

Opinnäytetyö
Insinööri (YAMK), Hajautettu energiantuotanto
2025

Lauri Mikola

Kulutusjouston vaikutukset LVI- järjestelmissä



Opinnäytetyö (YAMK) | Tiivistelmä
Turun ammattikorkeakoulu
Insinööri (YAMK), Hajautettu energiantuotanto
26.2.2025 | 68 sivua, 13 liitesivua

Lauri Mikola

Kulutusjouston vaikutukset LVI-järjestelmissä

Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan sähkön kulutusjouston vaikutuksia LVI-tekniikan toimintaan. Teoriaosuudessa käsitellään LVI-tekniikan sähköenergian kulutusta, suunnittelun mitoituksen raja-arvoja sekä kulutusjouston määritelmää ja sen vaikutuksia LVI-tekniisiin järjestelmiin.

Työn tavoitteena oli saada tietoa ja näkemyksiä toimeksiantajan asiakkailta, jotta toimeksiantaja voi laatia asiakkailtensa entistä laadukkaampaa suunnittelumateriaalia aiheeseen liittyen. Tavoitteena oli saada uudis- ja peruskorjaushankkeiden hankesuunnittelumateriaaliin laadukasta sisältöä toimeksiantajalle liittyen kulutusjousto, jolla kiinteistöt pystyvät vastaamaan ennakkoidusti energiapulaan liittyviin kysymyksiin nyt ja tulevaisuudessa.

Työn tutkimusosassa selvitettiin toimeksiantajan asiakkaille suunnatun kyselytutkimuksen avulla heidän tietoisuuttaan ja kokemuksia kulutusjoustosta sekä valmiuttaan investoida sitä hyödyntäviin suunnittelupalveluihin.

Tutkimuksen lopputuloksena voidaan todeta, että kulutusjoustolla on potentiaalia kiinteistön energiankulutuksen laskemisessa. Lisäksi johtopäätöksenä voidaan todeta, että LVI-tekniikan osalta kysynnänjousto vaatii huolellista suunnittelua, jotta järjestelmien toiminta varmistetaan eikä kysynnänjousto mene käyttäjien olosuhteiden edelle.

Asiasanat:

talotekniikka, LVI, kulutusjousto, kysynnänjousto, sähkömarkkinat, energia, automaatio

Master's Thesis | Abstract
Turku University of Applied Sciences
Engineer (YAMK), decentralized energy production
26.2.2025 | 68 pages, 13 attachment pages

Lauri Mikola

The effect of demand response in HVAC systems

In this thesis, electricity consumption flexibility is central to the operation of HVAC technology. In the theory part, there is the consumption of electrical energy in HVAC technology, the limit values of design dimensioning, the definition of the consumption elasticity and its use in HVAC technical systems.

The purpose was to get information and views from the client of the client, to be able to prepare better quality design material related to the topic for their work. The goal was to get a high-quality consumer group suitable for the client of the new and renovation project planning, the properties can respond to the reported energy shortage when asked about the present and the future.

In the research part of the work, the customer's awareness and experiences of consumer flexibility are investigated with the help of a survey, as well as ready to invest in its utilization in the technical research of the design.

As a result of the research, it can be stated that the consumption flexibility has potential in calculating the property's energy consumption. In addition, it can be concluded that the demand flexibility of HVAC technology requires careful planning to ensure the functioning of the systems and not to place demand response ahead of performance.

Keywords:

building technology, HVAC, consumption elasticity, demand response, electricity market, energy, automation

Sisältö

1 Johdanto	8
2 LVI-tekniikan sähköenergian kulutus	10
2.1 Ilmanvaihdon sähköenergian kulutus	11
2.2 Lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmän sähköenergian kulutus	15
3 LVI- järjestelmien suunnittelun raja-arvot	20
3.1 Lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmät	22
3.2 Sisäilman laatu ja ulkoilmavirrat	24
3.3 Vesi- ja viemärijärjestelmät	28
4 Kulutusjouston määritelmä	30
4.1 Sähköverkon taajuus ja eri markkinapaikat	31
4.2 Periaatteet ohjausalgoritmeille	33
4.3 Osallistuminen kulutusjoustomarkkinoille ja ansaintamalli	34
4.4 Potentiaaliset joustot ja kriittisyys	36
5 Sähkötalon alentamisen vaikutukset LVI-tekniikkaan	37
5.1 Ilmanvaihtojärjestelmien ohjaus ja joustotavat	40
5.2 Lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmien ohjaus ja joustotavat	43
6 Tutkimuksen toteutus ja tulokset	46
6.1 Tutkimuksen päämäärän ja tavoitteiden tarkastelu	46
6.2 Tutkimusaineiston tuottaminen	46
6.3 Tutkimuksen luetettavuuden arviointi	47
6.4 Tutkimusaineiston analysointi	49
7 Kehitystoimenpiteet	62
8 Pohdinta	63
8.1 Jatkotutkimuksen mahdollisuudet	65
Lähteet	66

Liitteet	69
Liite 1. Sähköposti toimeksiantajan asiakkaille ja tutkimuksen kysymykset	69
Liite 2. Grundfos pumppumitoitus	75
Liite 3. Intervent puhallinmitoitus	79

Kuvat

Kuva 1. Ostoenergian laskennallisen energiatehokkuuden taseraja (RT RakMK-103174, 2020, 6.)	10
Kuva 2. Tavoitearvot operatiiviselle lämpötilalle luokassa S1 (RT 07-11299, 2018, 6.)	24
Kuva 3. Tavoitearvot operatiiviselle lämpötilalle luokassa S2 (RT 07-11299, 2018, 6.)	24
Kuva 4. Energian tasapainotus tuotannon kanssa kiinteistön kulutusjouston avulla (Määttä ym., 2020, 3)	30
Kuva 5. Suomessa kulutusjouston osallistuminen eri markkinapaikoille (Fingrid. n.d.-c)	33
Kuva 6. Yksinkertaistettu reservimarkkinoille tulon prosessi Fingrid. (n.d.-b)	35
Kuva 7. Rakennuksen painesuhteet (Björkroth & Eskola, 2019, 41)	39
Kuva 8. Graafinen esitys tulopuhaltimen säädöstä ja yhden huoneen lämpötilasta (Määttä ym., 2020, 9)	43
Kuva 9. Terminen malli lämmitysjärjestelmän jouston lähteestä. (Jokisalo ym., 2023, 10)	44
Kuva 10. Projektinjohtopalvelu-urakan sidosryhmät (Ratu KI-6033, 2018, 14)	48
Kuva 11. Kyselytutkimuksen kysymyksen 2 tulokset (Microsoft Forms, n.d)	50
Kuva 12. Kyselytutkimuksen kysymyksen 4 vastaukset	51
Kuva 13. Kyselytutkimuksen kysymyksen 5 vastaukset	52
Kuva 14. Kyselytutkimuksen kysymyksen 6 vastaukset	54
Kuva 15. Kyselytutkimuksen kysymyksen 7 vastaukset (Microsoft Forms, n.d)	55
Kuva 16. Kyselytutkimuksen kysymyksen 8 vastaukset (Microsoft Forms, n.d)	55
Kuva 17. Kyselytutkimuksen kysymyksen 10 vastaukset	57

Taulukot

Taulukko 1. Vuotuisia kylmäkertoimia jäähdytysenergian tuottoprosessille. (RT RAKMK-103174, 26.)	19
Taulukko 2. Kulutuskertoimien arvoja jäähdytyksen sähkönkulutukselle RT RAKMK-103174, 2020, 27.)	19
Taulukko 3. Toimistorakennuksen tyypilliset mitoitusilmavirrat eri sisäilmastoluokissa (RT 07-11299, 2018, 16)	27
Taulukko 4. Arvio erilaisten sähkökuormien kysyntäjoustopotentialista (Määttä ym., 2020, 5)	36
Taulukko 5. Kyselytutkimuksen kysymyksen 1 tulokset	49
Taulukko 6. Kyselytutkimuksen kysymyksen 3 tulokset	51
Taulukko 7. Kyselytutkimuksen kysymyksen 9 vastaukset	56
Taulukko 8. Kyselytutkimuksen kysymyksen 15 vastaukset	59
Taulukko 9. Kyselytutkimuksen kysymyksen 17 vastaukset	61

Käytetyt lyhenteet

Bq	Säteilyn radioaktiivisuuden mittayksikkö SI-järjestelmässä (Becquerel)
BREEAM	Rakentamisen ympäristöluokitusmenetelmä (Building research establishment environmental assessment method)
EC	Elektronisesti kommutoitu (Electronically Commutated)
FCR	Taajuuden vakautusreservit (Frequency Containment Reserve)
LEED	Rakentamisen ympäristöluokitusmenetelmä (Leadership in Energy and Environmental Design)
PPM	Miljoonasosa (Parts per million)
SFP	Puhaltimen ominaissähköteho (Specific Fan Power)
SPF	Lämpöpumpun täydellinen vuosihyötysuhde (Seasonal Performance Factor)

1 Johdanto

Tässä opinnäytetyössä tutkitaan sähkön kulutusjouston vaikutuksia kiinteistöiden LVI-tekniikan toimintaan. Kulutusjousto tarkoittaa energiankulutuksen ohjaamista sen saatavuuden ja hinnan mukaan, erityisesti sähköverkossa. Kulutusjoustolla ylläpidetään sähköverkon tasapainoa. Aihe on ajankohtainen, koska uusiutuvan energian määrä kasvaa jatkuvasti ja kulutusjoustolla pystytään tuomaan kuluttajalle joustavuutta epäsäännöllisessä uusiutuvan energian tuotannossa. Kulutusjousto pienentää lisäksi rakennuskannan päästöjä, joka on meidän kaikkien yhteinen tavoite.

Työn toteutetaan toimeksiantona, jossa toimeksiantaja on suunnittelu- ja konsulttialalla toimiva rakennusalan yritys Sweco Finland Oy. Toimeksiantajan liiketoimintayksikkö on talot- ja kiinteistöt, jolle opinnäytetyön lopputulokset toimitetaan.

Työn tavoitteena on tutkia asiakkaiden kokemuksia kysynnänjoustoan liittyen, jotta toimeksiantaja pystyy tuottamaan entistäkin laadukkaampaa suunnittelumateriaalia asiakkailleen. Työssä käytettiin laadullisen- ja määrällisen tutkimuksen yhdistävää lähestymistapaa, jossa asiakkaille laadittiin monimenetelmällinen tutkimus. Menetelmällä saadaan kuva asiakkaiden todellisista kokemuksista aiheeseen liittyen. Tutkimukseen valikoitiin alan asiantuntijoita satunnaisotoksen sijaan, jotta tutkimuksen luotettavuutta saataisiin nostettua.

Työ vastaa kysymykseen, miten sähkön kulutusjousto vaikuttaa kiinteistön LVI-tekniikkaan ja mitkä asiat vaikuttavat kulutusjoustoan. Työssä lähestytään myös mahdollisia kulutusjouston haasteita sekä toimeksiantajan asiakkaiden tietoisuutta ja kokemuksia kulutusjoustoan nähden. Lisäksi kyselyllä pyrin selvittämään, onko toimeksiantajan asiakkaiden mielestä ylimääräinen panostus kysynnänjoustoan suunnittelussa kannattava investointi ja olisivatko asiakkaat valmiita investoimaan kyseisiin palveluihin.

Työn lopputuloksena laaditaan toimeksiantajalle erillinen uudis- ja peruskorjaushankkeiden hankesuunniteluvaiheen ohjeistus, johon on koottu työn tärkeimpiä tuloksia. Tämä ohjeistus auttaa toimeksiantajan työntekijöitä huomiomaan kysynnäjouston mahdollisuudet ja haasteet heti rakennushankkeiden alkuvaiheessa. Työ ei ota kantaa lämmitys- ja jäähdytysenergian kulutukseen. Teoriaosuus suunnittelun raja-arvoista on rajattu toimistorakennuksiin.

Työ aloitetaan lähestymällä teoriapohjalta LVI-tekniikan sähkönkulutusta. Tässä tärkeimpänä on selvittää LVI-tekniikan sähkönkulutus, mistä se koostuu, jotta saadaan käsitys mistä on mahdollista joustoa tehdä. Tämän jälkeen tarkastellaan LVI-tekniikan erilaisia mitoitus teknisiä raja-arvoja, jotta varmistutaan tarvittavista sisäilman olosuhteista ja käyttäjien terveellisyydestä. Lisäksi teoriaosuudessa tarkastellaan kulutusjouston määritelmää sekä LVI-tekniikan toimivuutta joustojen aikana.

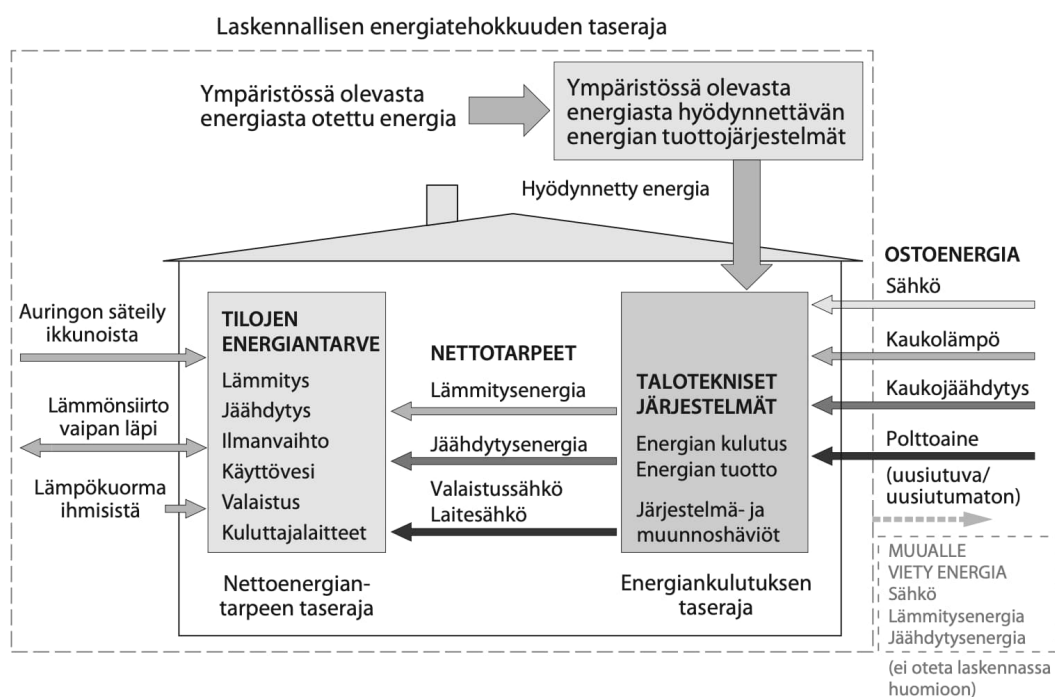
Tutkimuksen jälkeen voidaan todeta, että kulutusjoustolla on paikkansa ja potentiaalia kiinteistöjen sähkön kulutuksen laskemisessa. LVI-tekniikan osalta tämä kuitenkin vaatii huolellista suunnittelua, jotta haluttuun lopputulokseen päästään ja vältytään haluamattomilta ongelmilta. Lisäksi on tärkeää varmistaa riittävät olosuhteet, kun joustoja tehdään ja huomioida ettei joustot mene käyttäjien olosuhteiden edelle.

Tutkimuskyselyssä yhtenäistä vastauksissa asiakkailla oli, että nykyaikaisen automaatio ja anturointi on tärkeää, että joustot pystytään tekemään halutunlaisesti. Lisäksi asiakkaat nostivat esille yhteistyön energiantoimittajan kanssa, joka koettiin tärkeänä osana kulutusjouston toteuttamista ja tulevaisuutta. Kyselyn tuloksista nousi lisäksi esille, että asiakkaat ovat kiinnostuneita investoimaan kulutusjouston suunnittelupalveluihin, mutta lisätiedon tarvetta päätöksentekoon esiintyy. Vastaajien mielipide suunnitteluinvestoinnin kannattavuuteen jakautui kahtia, jossa osan mielestä ylimääräinen panostus kulutusjouston olisi kannattava investointi ja toisten mielestä ei.

2 LVI-tekniikan sähköenergian kulutus

Tämä kappale käsittelee kiinteistön talotekniikan sähköenergian kulutusta, jotta saadaan aluksi käsitys mistä kaikesta talotekniikan sähköenergian kulutus koostuu. Kappaleen painopisteenä on kiinteistön talotekniikan sähköenergian kulutus ja sen laskenta. Kiinteistössä on muitakin sähköenergiaa kuluttavia laitteita kuten valaistus ja käyttäjän omia laitteita, joihin tässä työssä ei oteta kantaa.

Talotekniikka on riippuvainen ostoenergiasta. Ilman ostoenergiaa kiinteistön talotekniikka lakkaa toimimasta, mikäli kiinteistössä ei ole ostoenergiaa korvaavia järjestelmiä, jotka tuottavat ostoenergian tilalle omavaraista energiaa käyttökatojen tilalle.



Kuva 1. Ostoenergian laskennallisen energiatehokkuuden taseraja (RT RakMK-103174, 2020, 6.)

Kuvassa yksi on esitetty havainnollistava kuva aiheesta, jossa ostoenergia kiinteistössä koostuu sähköstä, kaukolämmöstä, kaukojäähdytyksestä sekä

polttoaineista (uusiutuvista ja uusiutumattomista). Oikealla taloteknisten järjestelmien yläpuolella olevassa nuolessa on kohta ympäristössä olevasta energiasta hyödynnettävät energian tuotantojärjestelmät, jotka vähentävät ostoenergian tarvetta. Mitä vähemmän kiinteistössä pystytään omavaraisemmin tuottamaan ostoenergiaa vähentäviä nuolia tai vähentämään niitä, sitä enemmän kiinteistö on energioresilientti. Omavaraisuus voi sisältää esimerkiksi aurinkoenergiaa, lämpöpumppu- ja lämmöntalteenottojärjestelmiä sekä akustoja. Talotekniikan energiantarve koostuu ilmanvaihdosta, lämmityksestä, jäähdytyksestä, käyttövedestä, valaistuksesta ja erilaisista kuluttajalaitteista. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskennan säännöskortissa on määrittäviä talotekniikan energiankulutukselle. (RT RAKMK-103174, 2020, 6.)

2.1 Ilmanvaihdon sähköenergian kulutus

Ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergiankulutuksella tarkoitetaan puhaltimiin kuluva sähköä sekä mahdollisten apulaitteiden sähkönkulutusta, johon sisältyvät pumput, taajuusmuuttajat, säätölaitteet ja automaatio.

Tuloilman lämmitys ja jäähdytys lasketaan lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmien energiankulutuksen osana, eikä sisälly ilmanvaihtojärjestelmän sähkönkulutukseen. (RT RAKMK-103174, 2020, 2.)

Ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteholla ($\text{kW}/(\text{m}^3/\text{s})$) tarkoitetaan koko rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmän kaikkien puhaltimien, mahdollisten taajuusmuuttajien ja muiden tehonsäätölaitteiden yhteenlaskettua sähköverkosta ottamaa sähkötehoa jaettuna ilmanvaihtojärjestelmän koko mitoitusjäteilmavirralla tai mitoitusulkoilmavirralla. (RT RAKMK-103174, 2020, 2.)

Ominaissähkötehosta käytetään yleisesti sanontaa SFP, joka tulee englanninkielisestä termistä Specific Fan Power. Sähköenergiaa ja -tehoa voidaan huolellisella suunnittelulla huomattavasti vähentää. Hyvin ja huonosti suunnitellun ilmanvaihtojärjestelmän ero sähkötehosta saattaa olla jopa

kaksinkertainen, vaikka molemmat järjestelmät toteuttavat saman laatutason eli halutun ilmavirran haluttuun paikkaan oikeassa lämpötilassa. (Talotekniikkainfo c, 2024, 4)

Järjestelmän kaikki komponentit vaikuttavat ilmentäjäjärjestelmän puhaltimien sähkökulutukseen. Komponentteja ovat ulkosäleikkö, tulo- ja poistokanavisto, ulospuhallushajotin, ilmentäjäkone sekä päätelaitteet. (Talotekniikkainfo c, 2024, 4). Kanaviston painehäviö merkitsee vastusta, jonka puhaltimen on voitettava sähkömoottorin avulla, kanavajärjestelmän merkitys ominaissähkötehoon on suoraan verrannollinen. Tästä syystä kanavistot tulisi mitoittaa väljiksi ja käyttää pieniä kanavanopeuksia. (Talotekniikkainfo c, 16–17)

Ominaissähköteho (SFP), saa olla enintään $1,8 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$ koneellisessa tulo- ja poistoilmajärjestelmässä. Koneellisen poistoilmajärjestelmän ominaissähköteho saa olla enintään $0,9 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$. (RT RakMK-21763, 2018, 7.)

SFP-vaatimus ei ole aina ollut $1,8 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$, vuosina 2003 ja 2010 rakentamismääräyskokoelman osassa D2 tulo- ja poistoilmajärjestelmälle arvo oli $2,5 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$ ja poistoilmajärjestelmälle $1,0 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$. Vuonna 2012 ohjearvo uudistettiin rakentamismääräyskokoelman osassa D3, jossa arvot olivat tulo- ja poistoilmajärjestelmälle $2,0 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$ ja poistoilmajärjestelmälle $1,0 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$. (Talotekniikkainfo c, 2024, 7)

Nykyään osa tilaajista haluaa rakennukselleen tiukemman arvon, kuin $1,8 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$, johon kuitenkin päästään helpolla, kun mitoitetaan järjestelmä väljäksi. Erilaiset ympäristösertifikaatit ohjaavat myös SFP-arvoja, kuten BREAAAM tai LEED, jotta haluttuun luokitukseen päästään. Tulevaisuudessa arvoja todennäköisesti lasketaan, kun vastuullisuus- ja energiatehokkuusarvot tiukkenevat.

Seuraavalla sivulla on esitettyä ilmanvaihtojärjestelmien sähköenergiankulutuksen laskentaa.

Kaavassa yksi on esitetty koko ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergian kulutuksen laskenta. Sähkönkulutus puhaltimille tai ilmanvaihtokoneille lasketaan suunnitellun ominaissähkötehon, ilmavirran ja käyntiajan tulona kaavan 1 mukaisesti. Ilmanvaihtoa, jota ohjataan tarpeenmukaisesti, lasketaan erikseen siihen soveltuvalla menetelmällä. (RT RAKMK-103174, 2020, 24.)

$$W_{\text{ilmanvaihto}} = \Sigma SFP q_v \Delta t + W_{\text{iv, muu}} \quad (1)$$

jossa

$W_{\text{ilmanvaihto}}$	ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergian kulutus, kWh
SFP	puhaltimen tai ilmanvaihtokoneen ominaissähköteho, kW (m ³ /s)
q_v	puhaltimen tai ilmanvaihtokoneen ilmavirta, m ³ /s
Δt	puhaltimen tai ilmanvaihtokoneen käyttöaika laskentajaksolla, h
$W_{\text{iv, muu}}$	muu ilmanvaihtojärjestelmän sähkönkulutus, kWh.

Sähkötehon mittausta varten ryhmäkeskuksessa pitää olla mahdollisuus mitata pihtimittarilla moottorille lähtevien vaihejohtojen virta ja jännite. Tavallisen moottorin mittausta varten puhaltimen virtajohtoon jätetään riittävän löysä lenkki, johon mittauspihti mahtuu. Taajuusmuuttajakäyttöisen moottorin mittaus toteutetaan verkkopuolelta, ennen taajuusmuuttajaa, jolloin kokonaisteho huomioi myös taajuusmuuttajan häviöt. Mittauspisteessä pitää olla mahdollisuus mitata vaihejännitteet samanaikaisesti. (Talotekniikkainfo c, 2024, 20)

Ominais sähköteho ilmanvaihtojärjestelmässä voidaan laskea konekohtaisesti kaavalla 2. (RT RAKMK-103174, 2020, 25.).

$$SFP = \frac{P_{\text{puh}}}{q_v} \quad (2)$$

jossa

SFP puhaltimen tai ilmanvaihtokoneen ominais sähköteho, kW/(m³/s)

P_{puh} puhaltimen tai ilmanvaihtokoneen sähköteho tehonsäätölaitteineen, kW

q_v puhaltimen tai ilmanvaihtokoneen ilmavirta, m³/s.

Puhaltimen sähkötehon voi laskea kaavalla 3 (RT RAKMK-103174, 2020, 25.).

$$W_{\text{puhallin}} = \Delta p_{\text{puhallin}} \times q_v / \eta_{\text{puhallinkok}} \times 1000 \Delta t \quad (3)$$

jossa

W_{puhallin} puhaltimen sähköenergian kulutus, kWh

$\Delta p_{\text{puhallin}}$ puhaltimen paineen korotus, Pa

q_v puhaltimen tai ilmanvaihtokoneen ilmavirta, m³/s.

$\eta_{\text{puhallinkok}}$ puhaltimen kokonaishyötysuhde, -

Δt ajanjakson pituus, h.

Muiden ilmanvaihtojärjestelmien, kuten lämmöntalteenottojärjestelmien pumppujen ja pyörivän lämmöntalteenoton moottorin sähkönkulutus voidaan laskea kaavalla 4. (RT RAKMK-103174, 2020, 25.).

$$W_{iv, muu} = \sum P_{muu} \frac{\Delta t}{1000} \quad (4)$$

jossa

$W_{iv, muu}$	muu ilmanvaihtojärjestelmän sähkönkulutus, kWh.
P_{muu}	muiden ilmanvaihtojärjestelmän laitteiden kuin puhaltimien ja puhaltimien tehonsäätölaitteiden sähköteho, W
Δt	ajanjakson pituus, h.

2.2 Lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmän sähköenergian kulutus

Lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmän sähkönkulutus koostuu lämmityksen ja jäähdytyksen tuotannosta syntyvän mm. lämpöpumpun, vedenjäähdytyskoneen, sähkölämmittimen, öljypolttimen ja lämmöntuotannon apulaitteiden, kuten automaation, kiertopumppujen ja säätölaitteiden sähköenergian kulutuksesta.

Lämmitysjärjestelmän energiankulutus lasketaan lämmitysenergian nettotarpeesta, ottaen huomioon järjestelmän eri vaiheissa tapahtuvat häviöt ja muunnokset. Huomioon otetaan myös apulaitteiden sähkönkulutus. Järjestelmähäviöitä tapahtuu lämmitysenergian tuotannosta, varastoinnista, jakelusta ja luovutuksesta, sekä energiamuunnosten yhteydessä. (RT RAKMK-103174, 2020, 2.)

Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus koostuu jäähdytysenergian tuotannosta aiheutuvasta energiankulutuksesta sekä siihen liittyvien apulaitteiden sähkönkulutuksesta. Nettotarpeen perusteella tämä kulutus voidaan laskea,

huomioiden tuotannon, varastoinnin, jakelun ja luovutuksen häviöt ja muunnokset. (RT RAkMK-103174, 2020, 2.)

Sähköenergian kulutus lämpöpumpussa koostuu lämmitysenergian tuoton energiankulutuksesta sekä apulaitteiden sähkökulutuksesta. Lämpöpumpun tuottaman tilojen tai käyttöveden lämmitysenergian sekä lämpöpumpun kausisuorituskykykertoimen (SPF-luvun) avulla voidaan laskea lämpöpumpun sähköenergian kulutus. (RT RAkMK-103174, 2020, 22.)

Lämmitysjärjestelmä kokonaissähköenergian kulutus voidaan laskea kaavalla 5. Koko sähköenergian kulutus lämmitysjärjestelmään saadaan, kun lasketaan apulaitteiden, kiertopumppujen, lämpimän käyttöveden kiertopumpun ja lämpöpumppujen sähköteho yhteen. (RT RAkMK-103174, 2020, 21.)

$$W_{\text{lämmitys}} = W_{\text{tilat}} + W_{\text{tuotto,apu}} + W_{\text{lkv,pumppu}} + W_{\text{aurinko,pumput}} + W_{\text{LP,lämmitys}} \quad (5)$$

jossa

$W_{\text{lämmitys}}$	lämmitysjärjestelmän sähköenergian kulutus, kWh/a
W_{tilat}	lämmönjakojärjestelmän apulaitteiden sähköenergian kulutus, kWh/a
$W_{\text{tuotto, apu}}$	lämmöntuottojärjestelmän apulaitteiden sähköenergian kulutus, kWh/a
$W_{\text{lkv, pumppu}}$	lämpimän käyttöveden kiertopumpun sähköenergian kulutus, kWh/a
$W_{\text{aurinko, pumput}}$	aurinkolämpöjärjestelmän pumppujen sähköenergian kulutus, kWh/a
$W_{\text{LP, lämmitys}}$	lämpöpumppujärjestelmän sähköenergian kulutus, kWh/a.

Seuraavaksi on esitetty apulaitteiden sähköenergiankulutuksen ja lämpöpumppujärjestelmän sähkökulutuksen laskentaa. Sähköenergian kulutus

lämmönjakelujärjestelmän apulaitteiden, kuten säätölaitteiden ja pumppujen lasketaan kaavalla 6. (RT RAKMK-103174, 2020, 19.)

$$W_{\text{tilat}} = e_{\text{tilat}} + A_{\text{netto},i} \quad (6)$$

jossa

W_{tilat}	lämmön jakelujärjestelmän apulaitteiden sähköenergian kulutus, kWh/a
e_{tilat}	lämmön jakelujärjestelmän apulaitteiden sähköenergian ominaiskulutus
$A_{\text{netto},i}$	rakennuksen osan i lämmitetty nettoala, jonka lämmönjakelujärjestelmä kattaa, m ²

Lämpimän käyttöveden kiertopumpun sähköenergian kulutus voidaan laskea kaavalla 7. Sähkömoottorin ottotehona voidaan käyttää virtaamasta riippuvaa arvoa 200W/ (dm³/s) kerrottuna mitoitetulla virtaamalla. Pumpun käyttöaikana käytetään koko päivää, eli 24 h/vrk. (RT RAKMK-103174, 2020, 20.)

$$W_{\text{lkv, pumppu}} = P_{\text{lkv, pumppu}} t_{\text{lkv, umppu}} \frac{365}{1000} \quad (7)$$

jossa

$W_{\text{lkv, pumppu}}$	lämpimän käyttöveden kiertopumpun sähköenergian kulutus, kWh/a
$P_{\text{lkv, pumppu}}$	lämpimän käyttöveden kiertojohdon pumpun sähkömoottorin ottoteho, W
$t_{\text{lkv, pumppu}}$	lämpimän käyttöveden kiertojohdon pumpun käyttöaika, h / vrk.

Sähköenergiaa käyttävä järjestelmä, joka tuottaa jäähdytysenergiaa, vuotuinen sähköenergian käyttö voidaan laskea kaavalla 8. (RT RAKMK-103174, 2020, 26.)

$$W_{\text{jäähdytys}} = \frac{Q_{jk}}{\varepsilon_E} + W_{\text{jäähd, apu}} \quad (8)$$

jossa

$W_{\text{jäähdytys}}$	jäähdytysjärjestelmän sähköenergian kulutus, kWh/a
Q_{jk}	jäähdytysjärjestelmällä tuotettu jäähdytysenergia, kWh/a
ε_E	jäähdytysenergian tuotto prosessin vuotuinen kylmäkerroin
$W_{\text{jäähd, apu}}$	jäähdytysjärjestelmän apulaitteiden sähkönkulutus, kWh/a.

Vuotuisessa jäähdytysenergian tuotto prosessissa määritellään laskemalla prosessin vuoden aikana tuottaman jäähdytysenergian ja prosessiin vuoden aikana käytetyn energian suhde. Tässä prosessissa käytetty energia koostuu muun muassa lauhdutinkierrosta tarvittavasta pumppausenergiasta, lauhduttimen puhaltimien käyttämästä energiasta mahdollisen jäähdytystornin puhaltimien energiasta sekä muusta energiasta, jota jäähdytysprosessin aikaisessa toiminnassa kuluu.

Pumppujen, puhaltimien ja muiden apulaitteiden toimintoihin käytetään järjestelmissä sähköä, kun jäähdytysenergiaa jaetaan ja luovutetaan. Jäähdytysenergian jakeluun tarvittavan pumppausenergian sähkönkulutukseen sisältyy apulaitteet, jota tarvitaan tehostamaan jäähdytysenergian luovutukseen, kuten puhallinenergia puhallinkonvektorissa.

Taulukossa 1 on esitetty eri jäähdytysenergian tuottotapojen kylmäkertoimia. (RT RAKMK-103174, 2020, 26.)

Taulukko 1. Vuotuisia kylmäkertoimia jäähdytysenergian tuottoprosesseille. (RT RAKMK-103174, 26.)

Jäähdytysenergian tuottotapa	ϵ_E	ϵ_Q
Kompressori- kylmälaitos, ilmalauhdutteinen	2,5	-
Kompressori- kylmälaitos, vesilauhdutteinen	3	
Vapaajäähdytys, liuosjäähdytys (kuiva)	5	-
Vapaajäähdytys, jäähdytystorni (märkä)	7	-
Vapaajäähdytys, maaputkisto (vaakasuora)	30	-
Split laitteet	3	-
Kaukojäähdytys (lämmönsiirrin)	-	1
Absorptiojäähdytys	-	0,7

Sähkönkulutus on riippuvainen järjestelmän tyypistä ja se lasketaan kaavalla 9. Taulukossa 2 on esitetty arvoja kulutuskertoimelle tyypillisille jäähdytyksen jakotavoille. (RT RAKMK-103174, 2020, 27.)

$$W_{\text{jäähd, apu}} = \beta_{\text{apu jk}} Q_{\text{jk}} \quad (9)$$

jossa

$W_{\text{jäähd, apu}}$	jäähdytysjärjestelmän apulaitteiden sähköenergian kulutus, kWh/a
β_{apu}	järjestelmän apulaitteiden sähkönkulutuksen kulutuskerroin, -
Q_{jk}	jäähdytysjärjestelmällä tuotettu jäähdytysenergia, kWh/a

Taulukko 2. Kulutuskertoimien arvoja jäähdytyksen sähkönkulutukselle RT RAKMK-103174, 2020, 27.)

Jäähdytysjärjestelmä	β_{apu}
Vesijärjestelmä, jäähdytyspalkki	0,06
Vesijärjestelmä, puhallinkonvektori	0,08
Ilmajärjestelmä, ilmamääräsäätöinen järjestelmä	0,05

3 LVI- järjestelmien suunnittelun raja-arvot

Tässä kappaleessa käydään läpi LVI- suunnittelun mitoituksen raja-arvoja, jotka ohjaavat suunnittelua. Suunnitelmien mitoitusarvot pitää tiedostaa aluksi, jotta saadaan käsitys, mihin asti mm. lämpötiloja tai ilmavirtoja voidaan laskea tai muuttaa kulutusjoustolla. Suunnittelun minimi asetukset ohjaavat sähkötehojen rajoittamista LVI-laitteista tietyillä raja-arvoilla. Mietittäessä sähkötehojen rajoittamista sähköverkosta kiinteistön taloteknisistä järjestelmistä tulee huomioida niiden aiheuttamat vaikutukset. Asetusten mitoitusarvot asettavat vähimmäisvaatimustasoja ihmisten hyvinvoinnille rakennuksissa niiden käyttöaikoina. Tässä työssä keskitytään toimistorakennuksiin mitoitek teknisissä arvoissa, mutta samat periaatteet toistuvat muissa rakennustyypeissä eri mitoitusarvoilla.

Taloteknistä suunnittelua ohjaa ympäristöministeriön asetusteksti, joka on velvoittavaa. Ympäristöministeriön asetusteksti sisältää lisäksi suunnittelua ohjaavaa opastavaa tekstiä, joka ei ole velvoittavaa, mutta ne ovat kirjoitettu niin, että niitä noudattamalla saavutetaan asetuksessa esitetyt määräykset ja vaatimukset. Erityissuunnittelijan on varmistettava, että rakentamista koskevat säädökset ja määräykset sekä hyvä rakennustavan vaatimukset täyttyvät erityissuunnitelmissa. (Talotekniikkainfo a, b, 2024)

Rakennusvalvontaviranomainen voi vaatia lausuntoa, jos rakennushankkeessa käytetään suunnitteluun tai toteutukseen liittyviä menetelmiä tai materiaaleja, joiden vaikutukset rakennuksen turvallisuuteen, terveellisyteen tai kestävyys eivä t ole yleisesti tunnettuja tai joista ei ole riittävästi aiempaa kokemusta. Rakennusta suunniteltaessa on myös tärkeää huomioida, että usein on järkevää asettaa vaatimukset korkeammalle kuin vähimmäistaso, joka on määräyksissä esitetty. Asetuksen vaatimukset koskevat kaikkia rakennuksia, ja jokaiselle kohteelle määritellään lisäksi omat vaatimukset, jotta lopputulos palvelee käyttäjiä mahdollisimman hyvin. Suunnitteluvaiheessa tavoitteet asetetaan usein tiukemmiksi, kuin yleiset ja kohdekohtaiset vaatimukset, jotta voidaan varautua mahdollisiin muutoksiin rakentamisen ja käytön aikana sekä

siihen, ettei suunnitelmaa aina voida täysin toteuttaa suunnitellusti.
(Talotekniikkainfo a, b, 2024)

Eri sisäilmastoluokitukset asettavat omat vaatimuksensa luokituksissa pysymiseen. Sisäilmastoluokkia on kolme ja ne ovat nimetty S1, S2 ja S3 luokituksiin, S3 luokitus on asetuksen minimivaatimusluokka. (RT 07-11299, 2018, 5) Sisäilmastoluokitus ei ole virallinen ohjeistus, mutta se sitoo sopimusosapuolia hankkeen sopimusasiakirjoissa, kuten omistajan ja käyttäjän välisissä sopimuksissa sekä urakka- ja konsulttisopimuksissa. Luokituksen mukaiset tavoitteet varmistetaan rakentamisen aikaisella suunnittelulla ja valvonnalla. Sopimusasiakirjoissa käytetään tarkkoja viittauksia luokituksen osa-alueisiin. Mittausmenetelmät ja säädökset perustuvat vuoden 2018 voimassa oleviin standardeihin. (RT 07-11299, 2018, 5)

Sisäilmastoluokitukset ovat suunniteltu määrittelemään sisäilmaston tavoitteita normaaleille työ- ja asuintiloille, kuten toimistoille, kouluille ja asunnoille. Ne auttavat asettamaan sisäilman laatuvaatimuksia erityisesti uudisrakennuskohteissa sekä peruskorjaushankkeissa. Luokitukset ohjaavat rakennuksen käyttäjiä, omistajia, rakennuttajia ja suunnittelijoita määrittelemään terveydelle ja viihtyvyydelle turvallisia sisäilmasto-olosuhteita. (RT 07-11299, 2018, 5)

Rakennushankkeen aloittava osapuoli tai tilaaja yhdessä suunnittelijoiden kanssa päättää sisäympäristön tavoitteista. Sähkötehojen rajoittamiselle olennainen asia on käyttöajat, joista tulisi sopia suunnittelijan ja rakennuttajan yhteistyössä rakennushankkeen alkuvaiheessa. (RT 07-11299, 2018, 3)

Mikäli todellista käyttöä ei ole tiedossa voidaan käyttää seuraavia tilojen käyttöprofiileja toimistorakennusten suunnittelussa. Käyttöaikoina toimistotiloissa voidaan pitää klo 07:00–18:00, 11 h/vrk ja 5 vrk/vko. Henkilötiheytenä toimistotiloissa voidaan käyttää 12 m²/hlö. Neuvottelutiloissa voidaan käyttöaikoina pitää klo 07:00–17:00, 9 h/vrk ja 5 vrk/vko. Henkilötiheytenä neuvottelutiloissa voidaan käyttää 3 m²/hlö. (RT 07-11299, 2018, 14)

Rakennusautomaatiojärjestelmään liitetään kaikki kiinteistön talotekniikkaan liittyvät prosessit, jonka kautta niitä toimintaa voidaan valvoa, ohjata ja säätää. Sisäympäristön laadun ja energiatehokkuuden kannalta tärkeä rakennusautomaatiolla ohjattava järjestelmä on ilmanvaihdon ohjaus tilan käytön ja ilmanlaadun mukaan.

Tarpeenmukaisen ilmanvaihdon ohjauksessa käytetään oikosulkumoottorien yhteydessä taajuusmuuttajia tai EC-moottoreita. Taajuusmuuttajat tai EC-moottorit liitetään rakennusautomaatiojärjestelmään tyypillisesti käyttäen standardisoituja väylien tiedonsiirtoprotokollia, kuten Bacnet, Modbus RTU, TCP/IP, LonTalk ja KNX. (Sandberg E, 2018, 44–47)

3.1 Lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmät

Ympäristöministeriön asetuksessa uuden rakennuksen energiatehokkuudesta otetaan kantaa kesäajan huonelämpötilan hallintaan. Huonelämpötila kesäajalla ei saa nousta yli 27 °C käyttötarkoituluokassa 2 ja käyttötarkoituluokissa 3–8 jäähdytysrajan arvoa 25 °C ei saa ylittää enemmän kuin 150 astetuntia kesäkuun ensimmäisestä päivästä elokuun 31. päivän välisenä aikana, kun käytetään suunnitteluratkaisujen mukaisia ilmavirtoja. (RT RakMK-21763, 2018, 7)

Käyttötarkoituluokitukset menevät rakennuksen E-luvun mukaisesti, jossa raja arvoina ovat kWh_E / (m²a). Toimistorakennukset, joita tässä työssä tarkastellaan, sijoittuvat käyttötarkoituluokkaan 3. Kesäajan lämpötila ei saa nousta yli 25 asteen enempää, kuin 150 astetuntia kesäkuusta elokuun loppuun. (RT RakMK-21763, 2018, 7)

Asetustekstissä sisäilmasto ja ilmanvaihto-oppaan kappaleessa 4 on otettu kantaa huonelämpötilan hallintaan seuraavasti. (Talotekniikkainfo, 2024, 4)

Rakennuksen huonelämpötilan on oltava suunniteltuna käyttöaikana viihtyisiä, eivätkä ilman liike, lämpötilasäteily, lämpötilan vaihtelu, lämpötilaerot ja pintalämpötilat saa sitä heikentää. Huonelämpötilan lämmityskauden suunnitteluarvona on käytettävä lämpötilaa 21 °C. Huonelämpötilan hallinnan suunnittelussa huonelämpötila voi vaihdella välillä 20–25 °C lämmityskaudella ja välillä 20–27 °C lämmityskauden ulkopuolella. Erityisestä syystä, kuten tilan erityisiä lämpötiloja edellyttävän toiminnan tai tilan erityisluonteen vuoksi, voidaan huonelämpötilan suunnitteluarvona ja huonelämpötilan hallinnan suunnittelussa käyttää näistä arvoista poikkeavia lämpötiloja.

Asetusteksti ottaa kantaa siis lämpötilan vaihteluun lämmityskaudella viidellä asteella ja jäähdytyskaudella seitsemällä asteella.

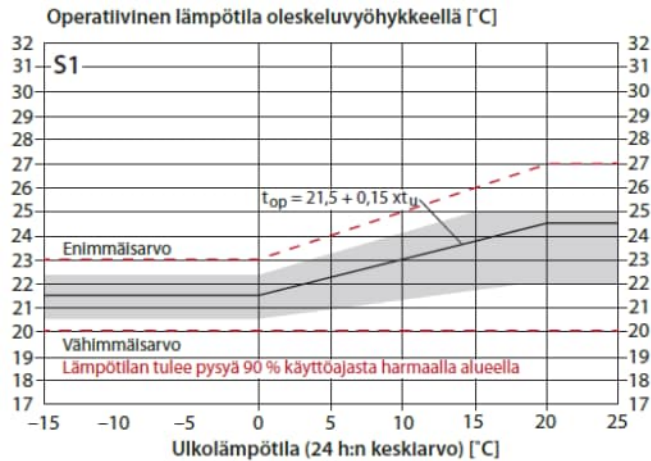
Mikäli rakennushankkeessa on tiukemmat vaatimukset lämpötilojen hallintaan, kuin asetuksen määräävät pienimmät vaatimukset, voidaan käyttää sisäilmastoluokituksien lämpöolosuhteiden tavoitearvoja, jotka ohjaavat huonetilojen lämpötilojen hallintaa oleskeluvyöhykkeellä.

Lämmitysjärjestelmälle on annettu seuraavat operatiivisen lämpötilan mitoitusarvot eri sisäilmastoluokissa.

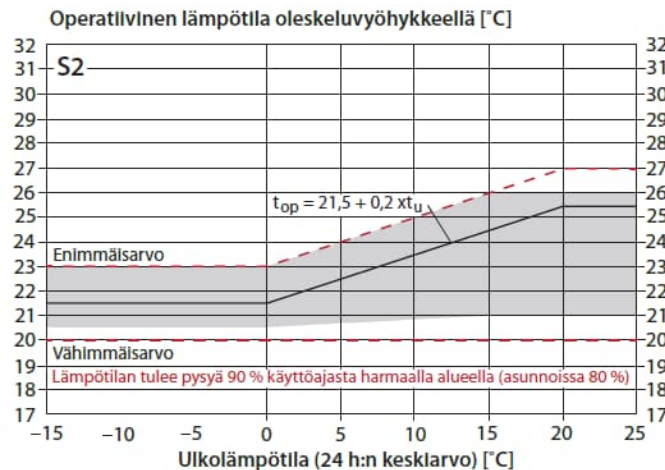
Luokassa S1 arvo on 21,5 °C, S2 luokassa 21,5 °C ja S3 luokassa 21 °C.

Jäähdytysjärjestelmän suunnitteluarvoiksi toimi- ja opetustiloissa on annettu eri sisäilmastoluokituksissa omat suunnitteluarvonsa. Luokassa S1 arvo on 24,5 °C ja S2 luokassa 25,5 °C ja S3 luokassa 27 °C. (RT 07-11299, 2018, 6)

Kuvissa 2 ja 3 on esitetty eri sisäilmastoluokkien operatiivisten lämpötilojen enimmäis- ja vähimmäisarvot eri ulkolämpötiloissa. Lämpötilan tulisi pysyä 90 % käyttöajasta harmaalla alueella ja S2 luokassa asuntotiloissa 80 % käyttöajasta.



Kuva 2. Tavoitearvot operatiiviselle lämpötilalle luokassa S1 (RT 07-11299, 2018, 6.)



Kuva 3. Tavoitearvot operatiiviselle lämpötilalle luokassa S2 (RT 07-11299, 2018, 6.)

3.2 Sisäilman laatu ja ulkoilmavirrat

Toimistorakennusten käyttö ja niissä työskentelevien ihmisten määrä saattavat vaihdella. Perinteisten yksityisten toimistohuoneiden sijaan on yhä useammin siirrytty käyttämään monitiloimistoja ja avokonttoreita, joissa ei ole selkeitä rajoja eri tilojen välillä, kuten omia huoneita tai erillisiä taukoalueita. Tämän vuoksi on tärkeää, että ilmanvaihto suunnitellaan niin, että se vastaa koko tilan käyttäjien määrää. Ilmanvaihtoa mitoitettaessa pääsääntöisesti otetaan huomioon henkilömäärä, mutta vähintään sen tulee olla 1 l/s/m^2 .

Toimistorakennuksissa ilmanvaihdon ulko- ja tuloilmamäärät ovat yleensä suurempia kuin vähimmäisvaatimukset. Ilmanvaihdon lisääminen voi parantaa työtehokkuutta ja viihtyvyyttä aina ilmavirtaan 10–15 l/s / hlö saakka. Lämpöolosuhteiden hallinnassa voi olla tarpeellista käyttää suurempia ilmavirtoja tai koneellista jäähdytystä. Ilmanvaihtokanavien suunnittelussa on hyvä ottaa huomioon mahdolliset tulevat muutokset tilojen käytössä, mikä voi vaatia ilmavirtojen suurentamista. (FINVAC, 2019, 8)

Ilmanvaihdon on oltava tarpeenmukaisesti säädettävissä tiloissa, joissa on suuri ilmavirta ja kuormitus vaihtelee merkittävästi. Esimerkiksi suurissa neuvotteluhuoneissa, koulutustiloissa ja auditorioissa, joissa ilmanvaihdon kuormitusaste on alle 50 %, tarpeenmukainen ohjaus on tärkeää. Avotiloissa voidaan käyttää alueellista ohjausta, mutta tällöinkin on varmistettava, että jokaisessa tilassa on riittävä vähimmäisilmanvaihto, joka on noin 30 % suunnitellusta käyttöilmavirrasta ja vähintään 0,35 l/s / m². On myös huomioitava ilmavirran suuruuden vaikutus huonelämpötilaan. (FINVAC, 2019, 8)

Käytävien ilmanvaihtona voi ainakin osittain hyödyntää toimistotiloista tulevaa siirtoilmaa. Rakennuksen sisäisiä paine-eroja voidaan tasapainottaa käyttämällä siirtoilmalaitteita. (FINVAC, 2019, 8)

Sisäilmaston laadun tavoitearvoille sekä tilojen ilmamäärille on asetettu erilaisia suunnitteluarvoja. Näihin sisältyy hiilidioksidipitoisuus [ppm], radonpitoisuus [Bq/m³] ja hiukkaspitoisuudet PM_{2,5} [µm/m³] ja PM_{2,5} sisällä/ulkona.

Ympäristöministeriön velvoittava teksti sisäilman laadusta ja kosteudesta on otettu sisäilmasto ja ilmanvaihto-oppaassa kantaa kappaleissa 5 ja 6 seuraavasti. (Talotekniikkainfo a, 2024, 5–6)

Sisäilmassa ei saa esiintyä terveydelle haitallisessa määrin hiukkasmaisia epäpuhtauksia, fysikaalisia, kemiallisia tai mikrobiologisia tekijöitä eikä viihtyisyyttä jatkuvasti heikentäviä hajuja. Sisäilman hiilidioksidin hetkellisen pitoisuuden suunnittelu-arvo huonetilan suunniteltuna käyttöaikana voi olla enintään 1450 mg/m³ (800 ppm) suurempi kuin ulkoilman pitoisuus.

Sisäilman kosteuden on pysyttävä tilojen suunnitellun käyttötarkoituksen mukaisissa arvoissa sisäilman kosteudesta aiheutuvia kosteusvaurioita, mikrobien kasvua tai terveydellistä haittaa välttämällä.

Hiilidioksidin pitoisuudelle on esitetty omat tavoitearvonsa, jotka koskevat ihmisperäistä hiilidioksidia. Sisäilmastoluokituksessa S1 hiilidioksidin pitoisuus voi olla 350 ppm suurempi kuin ulkoilman. Sisäilmastoluokassa S2 se voi nousta 550 ppm ja S3 luokassa 800 ppm suuremmaksi, kuin ulkoilman hiilidioksidi. (RT 07-11299, 2018) Ulkoilman hiilidioksidipitoisuudeksi on vuonna 2022 mitattu 417,06 ppm. (Lindsey, R. 2023)

Radonpitoisuuksien tulee olla sisäilmastoluokassa S1 ja S2 alle 100 [Bq/m³] ja luokassa S3 alle 800 [Bq/m³]. Säteilyturvakeskus hyväksyy mittausmenetelmän, jolla radonpitoisuus määritellään. Hiukkaspitoisuus tulee olla sisäilmastoluokassa S1 ja S2 alle 10 PM_{2,5} [µm/m³] ja S3 luokassa alle 25 PM_{2,5} [µm/m³]. (RT 07-11299, 2018, 7)

Sisäilmaston laadun olosuhteiden pysyvyydelle on annettu prosentuaaliset arvot sisäilmastoluokille S1 ja S2, jotka molemmat ovat 90 % käyttöajasta. S3 luokassa olosuhteiden pysyvyyteen ei ole otettu kantaa.

Ulkoilmavirrat suunnitellaan standardin SFS-EN 16798-3:2017 mukaisesti.

Ilmanvaihtuvuudeksi on esitetty ympäristöministeriön asetuksessa uuden rakennuksen sisäilmastosta 6 dm³/s henkilöä kohti, jos tilan käyttötarkoituksesta ei aiheudu lisäilmavirran tarvetta. Mikäli tarkkoja tilatyyppejä ei ole tiedossa, mutta sisäilmastoluokitus tai asetuksen minimi on suunnittelun lähtökohtana,

voidaan käyttää alapuolella lueteltuja mitoitusarvoja kyseisessä luokituksessa pysymiseen ilmavirtojen osalta. (RT 07-11299, 2018, 15)

- S1-luokka, ulkoilmavirta = 0,5 dm³/s, lattia-m² ja lisäksi 10 dm³/s, henkilö
- S2-luokka, ulkoilmavirta = 0,35 dm³/s, lattia-m² ja lisäksi 7 dm³/s, henkilö
- S3-luokka, ulkoilmavirta = 0,35 dm³/s, lattia-m² tai vähintään 6 dm³/s, henkilö.

Alapuolella olevassa taulukossa on esitetty tyypillisiä toimistorakennuksen tiloja ja niiden mitoitus ulkoilmavirtoja normaalin käyttötilanteen aikana, joita voidaan käyttää ilmanvaihdon suunnittelussa.

Taulukko 3. Toimistorakennuksen tyypilliset mitoitusilmavirrat eri sisäilmastoluokissa (RT 07-11299, 2018, 16)

Tila	Lattia-ala m ² /hlö	S1-luokka		S2-luokka		S3-luokka	
		dm ³ /s, hlö m ²	dm ³ /s,	dm ³ /s, hlö m ²	dm ³ /s,	dm ³ /s, hlö m ²	dm ³ /s,
Toimitila-normaali tilatehokkuus	10–12	16	1,5	11	1,0	6	1,0
Toimitila-suuri tilatehokkuus	6–8	14	2,0	9	1,5	6	1,5
Neuvotteluhuone	3	12	4,0	8	3,5	6	3,0
Taukotila, kahvio	1,5	11	5,0	8	4,0	6	2,0
Käytävä ja porrashuone			1,0		0,5		0,5
Käytävä ja aula			1,5		1,0		1,0
Ruokala ja kahvila	2	11	5,5	8	4,0	6	3,0

Ilman tulee vaihtua rakennuksessa myös normaalin käyttöajan ulkopuolella ja minimi ilmanvaihdon on oltava keskimäärin 0,15...0,2 dm³/s, siten että ilma vaihtuu kaikissa huonetiloissa. Minimi ilmanvaihtoa saa käyttää vain, kun tilassa ei ole ihmisiä. Minimi ilmanvaihtoa käytetään poistamaan rakennuksesta

peräisin olevia epäpuhtauksia. Ennen käyttäjien tuloa rakennukseen, tulee ilmanvaihtoa käyttää normaaliteholla 2 tuntia. (RT 07-11299, 2018, 16)

Sallitut ilman nopeudet ovat ilman nopeudelle 25 asteen (kesälämpötilassa) tarkastelupisteessä luokissa S1 < 0,20 m/s ja S2 luokassa <0,25 m/s ja S3 luokassa < 0,3 m/s. Talvimitoituksen aikana, kun tarkastelupisteessä olevan liikkuvan ilman lämpötilan ollessa 21 astetta ilman nopeus tulee olla S1 ja S2 luokassa alle 0,15 m/s ja S3 luokassa 0,2 m/s. (RT 07-11299, 2018, 16)

3.3 Vesi- ja viemärijärjestelmät

Sähkötehojen rajoittamista kiinteistöjen vesi- ja viemärijärjestelmistä tulee huomioida asetuksen minimivaatimukset käyttöveden lämpötilalle. Vesi- ja viemärijärjestelmissä joustettavissa kohteissa on mahdolliset pumppaamot, vedenlämmittimet ja kiinteistön kaivojen sulanapitokaapeloinnit.

Sähköisistä lämminvesivaraajista tulee huomioida kiinteistön käyttöveden mitoituslämpötilat. Käyttövedelle on asetettu sen lämpötilalle ja laadulle erilaiset ohjearvot asetuksessa. Nämä arvot ohjaavat suunnittelijoita, talotekniikkavalvojia ja -tarkastajia. Sosiaali- ja ympäristöministeriön asumisterveysasetuksessa vesi- ja viemärlaitteiston oppaan kohdassa 6 todetaan seuraavasti:

Kylmävesijohdon on oltava suunniteltu ja asennettu siten, että kylmävesilaitteistossa olevan veden lämpötila saa olla enintään 20 celsiusastetta. Vähintään kahdeksan tunnin käyttämättömän jakson jälkeen veden lämpötila saa olla enintään 24 celsiusastetta. Lämminvesilaitteistossa olevan veden lämpötilan on oltava vähintään 55 celsiusastetta ja sitä on saatava lämminvesikalusteesta 20 sekunnin kuluessa. Lämminvesilaitteistosta saatavan veden lämpötila saa olla korkeintaan 65 celsiusastetta.

Minimilämpötila on asetettu nimenomaan legionellabakteerin kasvun ehkäisemiseksi siten, että vaaditut lämpötilat saavutetaan. Veden lämpötiloissa 20–45 °C legionellabakteerit lisääntyvät. Legionellabakteeri voi aiheuttaa

ihmiselle terveydellisiä haittoja, jos niitä pääsee keuhkoihin suihkussa hengitetyn vesihöyryn seurauksena. Keuhkokuume on vakavin legionellan aiheuttama infektio. Herkimmin infektiolle sairastuu vanhukset, lapset sekä kroonisesti sairaat ihmiset. (Talotekniikkainfo b, 2024, 6)

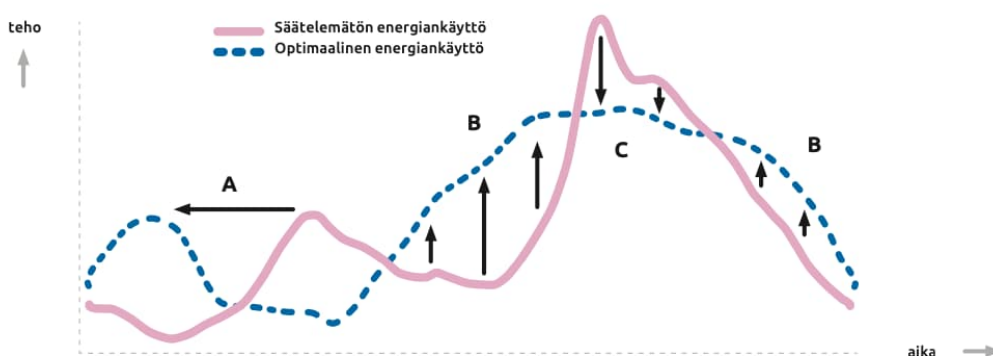
Mikäli rakennuksen jätevesiä ei voida painovoimaisesti johtaa rakennuksesta pois tulee suunnitella pumppaamo. Pumppaamoissa on oltava käyttöhäiriöilmaisoin. (Talotekniikkainfo b, 2024, 27) Lähtökohtaisesti kiinteistöt tulisi suunnitella siten, että rakennusten hulevedet ja perustusten kuivatusvedet suunniteltaisiin siten, ettei pumppaamolle ole tarvetta. Pumppaamon toiminta on riippuvainen sähköstä ja sähkönsaatavuudesta, joten se lisää riskiä järjestelmän toimintavarmuudesta. Ympäristötavoitteiden mukaista ei myöskään ole lisätä sähkön kulutusta kiinteistössä. (Talotekniikkainfo b, 2024, 7)

Rakennuksen sulanapitokaapeloinnit ovat usein kiinteistön suuritehoinen sähköjärjestelmän osa, jonka hetkellinen ohjaaminen pois päältä on toteutettavissa. Sulanapitokaapeleista joustoa tehdessä on huomioitava joustettava aika, että jäätymistä ei missään tilanteessa pääse tapahtumaan. Sulanapitokaapeleita on tyypillisesti termostaattiohjattuja sekä itsesäätyviä. Jousto-ohjauksissa on tarkasteltava, että kaikkien laitekuormat eivät välttämättä ole käytössä kaikilla ulkolämpötiloilla. Kontaktoriohjauksella voidaan katkaista sulanapitokaapelien syötöt kokonaan tai sulanapitotermostaattien tapauksessa termostaattiin tuotavalla ohjaustiedolla. (Sweco Finland, 2023, 16)

4 Kulutusjouston määritelmä

Kiinteistön sähkön- tai lämmönkulutuksen säätämistä ylös tai alaspäin kutsutaan kysyntä- tai kulutusjoustoksi. Energiankulutuksen siirto pois niiltä hetkiltä, jolloin kulutus on verkossa suurimmillaan tai energian hinta kalleimmillaan on tavoitteena. Varavoimallaitoksia joudutaan käyttämään, mikäli energian kulutus ylittää kulutuksen. Varavoimallaitosten käytöltä voidaan välttyä käyttämällä kysyntäjoustop avulla vähennettyä tilapäistä kulutusta. (Määttä ym., 2023, 3)

Kulutusjoustolla sähköverkossa ylläpidetään verkon tasapainoa. Sähköverkon taajuus laskee kysyntäpiikin aikana, ja omistaja voi saada korvausta, jos hänen kiinteistönsä osallistuu verkon tasapainotukseen kulutuksen vähentämällä. (Määttä ym., 2020, 3)



Kysyntäjoustopilla voidaan kiinteistön energiankulutus tasapainottaa tuotannon kanssa. Kysyntäjoustopon osallistuva kiinteistö voi siirtää kulutusta ajassa (A), tai lisätä (B) tai vähentää (C) hetkellistä kulutustaan.

Kuva 4. Energian tasapainotus tuotannon kanssa kiinteistön kulutusjoustop avulla (Määttä ym., 2020, 3)

Kulutusjoustop tuo tavan varautua uusituvan energian jatkuvasti kasvavaan määrään energiajärjestelmissä. Kulutusjoustop tuo kuluttajille enemmän joustavuutta epäsäännöllisessä uusituvan energian tuotannossa. Lämmön ja sähkön kysyntäjoustop toteutustavat eroavat toisistaan kiinteistön omistajille. Sähköverkon ollessa valtakunnallinen ovat lämpöverkot alueellisia. Keskitetty

markkinapaikka on myös olemassa sähkön kysyntäjoustolle. (Määttä ym., 2020, 3)

Kaikki hyötyvät kulutusjoustosta, rakennuksen omistajat, energian tuottajat ja koko yhteiskunta. Rakennuksen omistajalle säästöä tuo kulutuksen vähentäminen kalleimpina tunteina. Fingridin taajuussäätömarkkinoille osallistumisesta saa korvausta sähkönkulutuksen joustosta. Lisäksi rakennuskannan päästöt vähenevät ja kiinteistön arvo kasvaa. Rakennukset ovat lisäksi valmiita muutoksiin tulevaisuudessa. Energian tuottajat hyötyvät kulutusjoustosta sähköverkon tehon ja taajuuden pysyessä tasapainossa. Lisäksi energiajärjestelmien alttius häiriöille vähenee ja älykkyys energiajärjestelmässä kasvaa. Huippukysynnän leikkaaminen vähentää lisäksi kalleimpien ja saastuttavimpien energiantuotantomuotojen tarvetta. (Määttä ym., 2020, 3)

Kiinteistön automaatiolla on voitava ohjata kysyntäjoustoan hyödynnettävää kulutustyyppiä. Kulutustyyppin tulee lisäksi olla luotettavasti ja muusta kulutuksesta erillään mitattavissa tai todennettavissa. Kulutusjouston valmiuksien parantaminen helpottaa, kun jouston huomiointi on rakentamisvaiheessa valmiiksi tarkasteltu. Kiinteistön rakennusautomaatiojärjestelmien sekä energiamittausten kartoitus kannattaa kartoittaa kiinteistön omistajan toimesta. Kysyntäjoustoan nähden rakennuksen kiinteistön turvallisuudella ja sisäolosuhteilla on aina etusija joustoan nähden. Sisäolosuhteita tulee valvoa automaatiosta ja keskeyttää jousto, mikäli olosuhteen sen aikana heikentyvät. (Määttä ym., 2020, 8)

4.1 Sähköverkon taajuus ja eri markkinapaikat

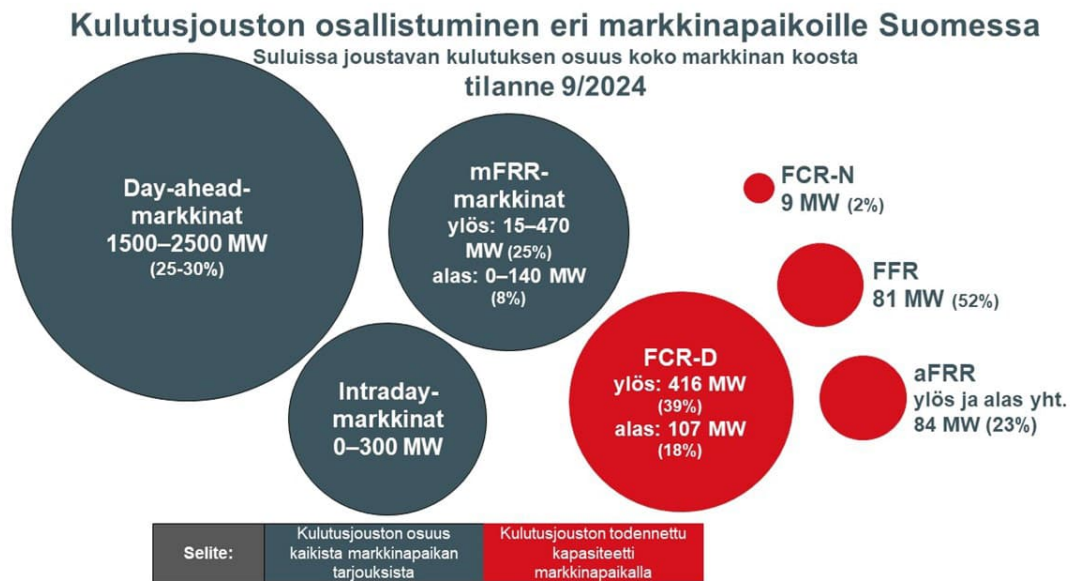
Sähköverkon taajuus kertoo tuotannon ja kulutuksen tasapainosta, tasapainotilassa taajuus on 50 Hz. Kiinteistöt, jotka osallituvat kulutusjoustoan osallituvat sähköverkon vakauden hallintaan sekunti- ja minuuttitasolla lisäämällä kulutustaan taajuuden noustessa yli 50 Hz ja vähentämällä

kulutustaan alle 50 Hz taajuuden aikana. Ilman ulkopuolista ohjausta voidaan vaihtelut toteuttaa taajuutta mittaavalla verkkoanalysointilailla. Mikäli verkkoanalysointila ei ole käytössä ohjaus tehdään internet- yhteydellä ulkoiselta palvelimelta. Markkinoille osallistuminen edellyttää mahdollisuutta energiamittareilta lukea ja todentaa lokitiedoista, että jousto on todella tapahtunut. Koska sähkönkulutus on pystyttävä lukemaan, tämä edellyttää usein mittarien vaihtamista. Mittarien vaihtamisen vaativuus riippuu miten kulutuskojeet ovat liitetty kiinteistön sähköjärjestelmään, millainen mittausjärjestelmä kiinteistössä on ja onko asennustilaa mittareille riittävästi. Vanhemmissa kiinteistöissä ongelmia voi tuoda ahtaat tilat ja vanhentunut tekniikka. Mittarointi ei ole välttämätöntä, mikäli automaatiolla voidaan todentaa jouston toteutuneen. Kiinteistön automaatio on oltava mahdollista kytkeä internettiin.

Parhaiten kiinteistöille soveltuu tällä hetkelle kaksi sähkön kysynnänjouston reservimarkkinapaikka, jotka ovat FCR-N ja FCR-D. Nämä markkinapaikat eroavat toisistaan odotetun tuottojen, vaaditun tehon ja markkinalle pääsyn suhteen. (Määttä ym., 2020, 9)

Kuormat, jotka ovat kytketty FCR-N markkinalle tulee kytkettyjen kuormien olla symmetrisesti säädettävissä tehoaan sekä alas- että ylöspäin. Enimmillään jouston kesto on puolituntia, mutta tavallisesti joustot ovat huomattavasti lyhytkestoisempia. FCR-N markkinalle pääsyn teho vaatimus on 100 kW. Yhdistämällä useampia kiinteistöjä samaan koriin aggregaattorin avulla tämä teho voidaan saavuttaa. (Määttä ym., 2020, 9)

FCR-D markkinalle osallistuminen edellyttää suurempaa teho vaatimusta 1MW ja nopeampi jouston aktivointi. FCR-D markkinalla säätö tapahtuu vain alaspäin. Tämä on edullisempi markkinataso. (Määttä ym., 2020, 9)



Kuva 5. Suomessa kulutusjouston osallistuminen eri markkinapaikoille (Fingrid. n.d.-c)

Kulutusjousto eri markkinapaikoilla Suomessa on esitetty kuvassa 5, jossa punaisella ovat todennetut kapasiteetit ja vihreällä kulutusjouston osuus kaikista markkinapaikan tarjouksista. FCR-N markkinan osuus kulutusjoustosta on todennetusti 2 % ja FCR-D markkinan ylöspäin joustettava 39 % ja alaspäin joustettava 18 %. (Fingrid. n.d.-c)

4.2 Periaatteet ohjausalgoritmeille

Kulutusjoustossa voidaan hyödyntää erilaisia strategisia ohjaustapoja tehon leikkaukseen sekä dynaamisen hinnan käyttöön. Seuraavaksi on lueteltuna erilaisia strategioita. Energianhinnan tai verkon tarpeiden mukaan voidaan ohjata tai muuttaa asetusarvoja lämpötilojen osalta. Lämpötilat voivat olla huoneilman, tuloilman tai varaajan lämpötilojen asetusarvojen muutoksia.

Toisena tapana on tehon siirto, jossa lämmitystarvetta siirretään kalliiden tuntien ulkopuolella esilämmittämällä termistä massaa rakennuksessa tai pienentämällä tehoa kalliin hinnan aikana. Yksi ohjausstrategia on lämpövarastointi, jossa lämpöä varastoidaan halvemman energian aikoina ja

käytetään kalliin energian aikana. Lisäksi sähkötehoa voidaan leikata, rajoittaa ja ennustaa. Leikkauksessa tehoa laskentaan, kun verkon stabiilius on uhattuna. Rajoituksessa voidaan asettaa rakennukselle tai rakennuksille maksimitehot. Tehontarpeen ennustaminen toteutetaan data-analytiikan ja koneoppimisalgoritmien perusteella, jossa käytetään ennustetusti kulutustietoja ja säätietoja lämmöntarpeen määrittämiseen. (Jokisalo ym., 2023, 11)

Rakennuksen LVI-tekniikassa joustoa voi olla haastavaa toteuttaa sähkötehojen osalta ylöspäin. Sähkötehojen nostaminen voi aiheuttaa tarpeettomia painehäviöitä verkostoissa sekä ääniongelmia. Päätelaitteet ja venttiilit mitoitetaan maksimikuorman perusteella, joten jos mitoituspisteestä nostetaan ylöspäin, teknisiä toimivuusongelmia voi syntyä.

4.3 Osallistuminen kulutusjoustomarkkinoille ja ansaintamalli

Kuluttaja voi osallistua kulutusjoustoprojektiin markkinoille ja voi hyötyä joustostaan myymällä sitä sähkömarkkinoille, kuten kantaverkkoyhtiön reservimarkkinoille, joita ylläpitää kantaverkkoyhtiö. (Fingrid. n.d.-c)

Kuvassa 6 on esitetty kulutusjoustomarkkinoille tuloprosessi. Prosessi lähtee yhteydenotosta Fingridin asiantuntijaan. Seuraavaksi tehdään teknisen ja kaupallisten resurssien soveltuvuuden selvittäminen tietoliikenneyhteyden osalta sekä tehdään tarvittavat toimenpiteet. Soveltuvuuden selvittämisen jälkeen tehdään säätökokeiden suorittaminen ja tietoliikenneyhteyksien järjestäminen kaupankäynti alustalle. Tämän jälkeen viimeisinä vaiheina on reservisopimuksen allekirjoitus sekä kaupankäynnin aloitus. Fingrid. (n.d.-b)

Laskennan keskiarvohintana käytetään volyympainotettua keskihintaa, joka lasketaan tuntihinnoista hankintamäärällä painottaen.

Esimerkiksi kohde, jossa on mahdollista säätää kulutusta ylös ja alaspäin, joka voi osallistua taajuusohjattuun häiriöreserviin. (Fingrid, n.d.-a)



Kuva 6. Yksinkertaistettu reservimarkkinoille tulon prosessi Fingrid. (n.d.-b)

Yksinkertaisella laskentakaavalla 10 voi arvioida mahdollista vuosituottoa.

$$\text{Vuosituotto (€)} = (MW) \times (\text{€/MW, } h) \times (h) \quad (10)$$

jossa

MW	kauppojen mukainen hyväksytty reservikapasiteetti
$(\text{€/MW, } h)$	keskiarvohinta
(h)	pysyvyys

Kulutuksen jousto mahdollistaa kustannussäästöjä, joka kiinnostaa suuresti rakennuksen omistajaa. Kaavalla 11 voidaan laskea kustannussäästö indeksillä FI. (Jokisalo ym., 2023, 6)

$$FI = 1 - \frac{C^1}{C^0} \quad (11)$$

jossa

C^1	energiankustannus kulutusjoustolla
C^0	energiakustannus ilman kulutusjousto

4.4 Potentiaaliset joustot ja kriittisyys

Taulukossa 4 on esitetty erilaisten sähkökuormien kysyntäjouston arvioita joustojen potentiaaleista. LVI-tekniikan osalta suurin potentiaali joustoon on ilmanvaihdolla, jossa sähköteho ja säätövara on suuri. Suuri potentiaali saavutetaan muutoksilla automaatioon. Toinen talotekniikan potentiaalinen säästökohde on kylmälaitteet, jotka edellyttävät investointeja automaatioon/laitteistoon. Näillä laitteilla on keskisuuri potentiaali. Molemmilla prosessin kriittisyys on arvioitu kohtalaiseksi. Kriittisyys riippuu toteutettavasta kohteesta. Kiertopumpuilla on pieni säästöpotentiaali pienen sähkötehon takia, näiden muutokset onnistuvat taloautomaatiosta.

Kolmen kriteerin perusteella voidaan arvioida yksittäisen kiinteistön kysyntäjoustopotentiaalia. Onko kokonaisteho riittävä, jotta kysyntäjousto olisi mielekästä toteuttaa, voiko kulutusjouston ulkoisen signaalin perusteella säätää tehoa sekä vaikuttaako kulutuksen säätö kiinteistössä tapahtuvaan toimintaan ja vaikuttaako se sisäilmaston laatuun. (Määttä ym., 2020, 5)

Taulukko 4. Arvio erilaisten sähkökuormien kysyntäjoustopotentiaalista (Määttä ym., 2020, 5)

Kuorma	Sähköteho	Säätövara	Ohjauksen toteutus	Prosessin kriittisyys	Kokonaisarvio
Ilmanvaihto	Suuri	Suuri	Onnistuu muutoksilla automaatioon	Kohtalainen	Suuri potentiaali
Kylmälaitteet	Suuri	Suuri	Edellyttää investointia automaatioon / laitteistoon	Kohtalainen	Keskisuuri potentiaali
Valaistus	Keskisuuri	Pieni	Yleensä edellyttää investointia automaatioon	Tärkeä	Pieni potentiaali
Pumput	Pieni	Suuri	Onnistuu muutoksilla automaatioon	Kohtalainen	Pieni potentiaali
Suurtalous keittiö	Suuri	Suuri	Edellyttää integrointia automaatioon / laitteistoon	Kohtalainen	Pieni potentiaali

5 Sähkötehon alentamisen vaikutukset LVI-tekniikkaan

Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta ottaa kantaa sähkötehojen rajoittamiselle seuraavasti, kohdassa 32 §.

Rakennuksen lämmön ja sähkön tehon tarve

Rakennuksen lämmitysjärjestelmän lämmitysteho on mitoitettava siten, että rakennuksen tilojen suunnitellut lämpöolot ja ilmanvaihto voidaan ylläpitää rakennuksen sijaintipaikkakunnan mukaisen säävyöhykkeen mitoittavilla ulkolämpötiloilla, jotka esitetään liitteessä 1.

Suunnittelussa on otettava huomioon mahdollisuuksia sähkön huipputehon tarpeen pienentämiseksi ja sähkötehon ohjattavuuden parantamiseksi.

Tässä on suoraan otettu kantaa, että huipputehon tarpeen pienentämiseksi ja ohjattavuuden parantaminen tulisi huomioida.

Sähkötehon rajoittaminen on suoraan verrannollinen LVI-tekniikan optimaaliseen toimintaan. Aiemmin käsitelimme mitoitusteknisiä arvoja ja missä rajoissa voidaan joustaa. Tässä kappaleessa käsitellään asetusten rajoissa olevia vaihteluvälejä ja tunnistetaan asioita, joita on hyvä huomioida, kun joustoa ruvetaan tekemään.

Kysynnänjouston tapahtuessa käyttäjien ei tulisi havaita milloinkaan muutoksia. Lähtökohtana joustolle on hyvät sisäilmaolosuhteet ja käyttäjien turvallisuus, joista ei tingitä. (Määttä ym., 2020, 8–9)

Ilmavirtoina toimistotiloissa on pidettävä minimissään 6 l/s, kuten aiemmassa kappaleessa todettiin. Mikäli halutaan pysyä S1 tai S2 luokituksen ilmavirroissa on suunniteltava suuremmat ilmavirrat luokituksessa pysymiseen. Suurempien ilmavirtojen käyttämisessä tulee huomioida oleskeluvyöhykkeiden ilmavirtojen sallitut nopeudet, joita tarkastelimme aiemmassa kappaleessa.

Huomion arvoista on tarkastella olemassa olevan rakennuksen ilmanvaihdon palvelualueet, johon joustoa ollaan tekemässä. Mistä ilmanvaihtokoneista joustoa kannattaa tehdä ja mistä ei. Arviointi tulee perustua koko ilmanvaihtojärjestelmän toiminnan varmistamiseen ja tilojen toiminnan kriittisyyteen ja sisäilmaston olosuhteisiin, jotka menevät jouston edelle.

Monesti ilmanvaihtokoneiden palvelualueet ovat valittu tilojen käyttötarkoituksen mukaisesti perustuen poistoilmaluokituksiin. Tällä tavoin varmistutaan ilmanvaihdon yhdistämisrajoitusten saavuttamisesta. Yhdistämisrajoituksilla vältetään epäpuhtauksien leviäminen muihin tiloihin. Poistoilmaluokkia on neljä, jossa poistoilmaluokan 4 ilma on likaisinta. Toimistorakennuksen erilaiset tilat sijoittuvat poistoilmaluokkiin 1 ja 2. Toimiston WC-tilat sijoittuvat poistoilmaluokkaan 3. (Talotekniikkainfo a, 2024)

Mikäli joustoa tehdään tietyille tulo- ja poistoilmajärjestelmälliselle ilmanvaihtokoneelle, tulee varmistua, että kone palvelee aina samaa tilaa ja ilmamäärät ovat tasapainossa. Varmistus tulee tehdä varsinkin poistojen osalta. Vanhemmissa rakennuksissa on tyypillisesti viety likaisempien poistojen suoraan vesikatolle, jossa on huippuimuri.

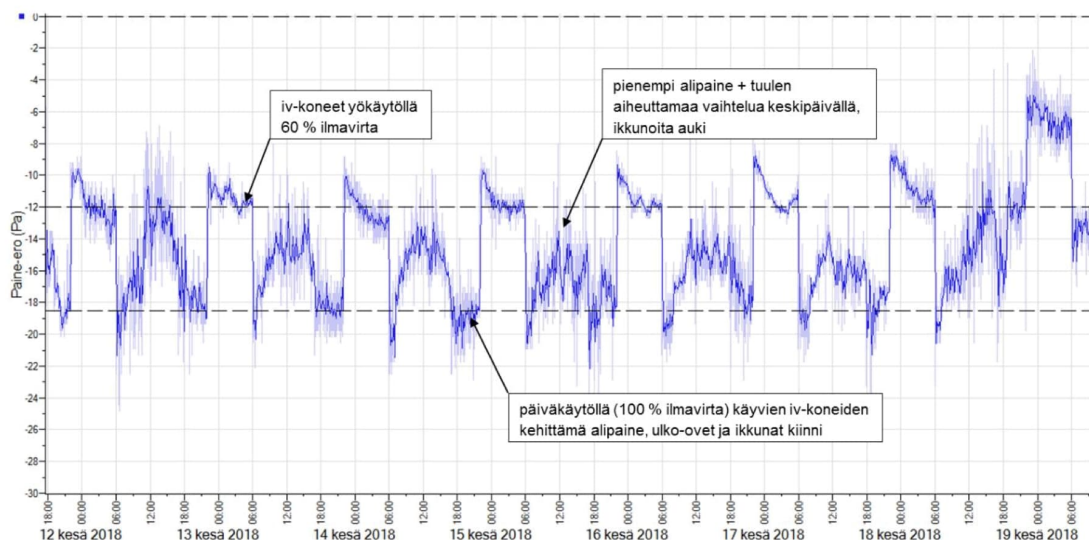
Oleskelutilojen ulkopuolella olevat toisarvoiset tilat, kuten varastot voivat hyvin soveltua joustojen sisään. Oleskelutiloja palvelevat ilmanvaihtokoneet soveltuvat myös jouston alle, mutta on tärkeää arvioida ja tarkastella olosuhteiden pysyvyys, kun joustoa tehdään kyseisistä tiloista. Teknisiä tiloja palvelevissa ilmanvaihtokoneissa tulee varmistua teknisten tilojen vaadituista lämpötiloista ja ilman vaihtuvuudesta, mikäli niitä palveleviin ilmanvaihtokoneisiin joustoja aletaan toteuttamaan.

Jaksottaisessa käytössä on huolehdittava, että puhaltimien toistuva käynnistyminen ei aiheuta haitallisia painevaihteluita. Tämä voidaan tehdä pyörimisnopeusohjatuilla puhaltimilla, jotka käynnistetään miniminopeudella ja joiden kierroksia nostetaan hitaasti haluttuun toimintatehoon. Lisäksi

puhaltimien käynnistyessä on huolehdittava riittävästä viiveestä, jotta ilmanvaihdon sulkupellit ehtivät avautua ennen puhaltimien käynnistymistä. (Talotekniikkainfo a, 10)

Painesuhteiden hallinta tulee ottaa huomioon, kun joustoa ilmanvaihtojärjestelmistä toteutetaan. Toimistorakennuksessa normaalissa käyttötilanteessa sisä- ja ulkoilman välinen paine-eron esitetty tavoitetaso on +5...–5Pa. Maksimiarvo on +5...–10 Pa. Nämä tavoitearvot on tarkoitettu tavanomaisille rakennuksille, joiden ulkovaippa on tiivis ja sisä- ja ulkoilman välinen paine-ero halutaan pitää mahdollisimman pienenä. Nämä yllä mainitut tavoitetasot tarkoittavat ilmanvaihtojärjestelmän tuottamaa paine-eroa neutraalitalanteessa, jossa ulkovaipan paine-eroon eivät vaikuta tuuli eikä lämpötilaero sisä- ja ulkoilman välillä. (Björkroth & Eskola, 2019, 15)

Kuvassa 7 on esitetty koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmän ja rakennuksen erilaisen käytön vaikutus paine-eroon. Sisä- ja ulkoilman välinen lämpötilaero on kuvassa pieni, koska mittaus on suoritettu kesällä. (Björkroth & Eskola, 2019, 41)



Kuva 7. Rakennuksen painesuhteet (Björkroth & Eskola, 2019, 41)

5.1 Ilmanvaihtojärjestelmien ohjaus ja joustotavat

Automaatio säätelee sisäilmaston olosuhteita tavalliseen tapaan kiinteistössä joka osallistuu kulutusjoustoan. Joustoan osallistuvien laitteiden kulutusta vähennetään hetkellisesti, kun tarve joustolle ilmenee. Pitkiä ramppiaikoja käytetään koneiden tehonmuutoksissa, näin vältetään nopeat muutokset ilmavirroissa ja vältetään laitteiden rikkoutuminen. (Määttä ym., 2020, 8–9)

Ilmavirtojen ohjaus suunnitellaan niin, että ilmavirtoja pystytään muuttamaan tilojen tai käyttötarkoituksen mukaisesti tila- tai vyöhykekohtaisesti. Tehostus voi pohjautua yksinkertaisimmillaan tehostuskytkimiin, lisäaikapainikkeisiin tai läsnäolotunnistimiin. Ilmanvaihdon tarpeenmukainen ohjaus ja energiatehokkuus voivat perustua lisäksi ilmanvaihdon ohjaukseen esimerkiksi epäpuhtauspitoisuuksien tai mittausten perusteella. (Talotekniikkainfo a, 10, 2024)

Aiemmassa kappaleessa todettiin, että käyttöajan ulkopuolella oleva ulkoilmavirta on vähintään $0,15 \text{ (dm}^3/\text{s) /m}^2$ koko rakennuksen lattian pinta-alaa kohden.

Jotta ilma saadaan vaihtumaan hallitusti kaikissa huonetiloissa, rakennuksen yleisilmanvaihtojärjestelmä pidetään käynnissä pienellä teholla myös silloin, kun rakennus ei ole käytössä. Mikäli ilmanvaihdon minimivirtaus on huomattavasti isompi, kuin $0,15 \text{ (dm}^3/\text{s) /m}^2$, järjestelmää voidaan käyttää jaksottaen esimerkiksi aikaohjelman tai olosuhdemittausten perusteella. (Talotekniikkainfo a, 10)

Jaksottaisessa käytössä ilmanvaihto voidaan pitää käyttöajan virtausmäärillä päällä 1–2 tuntia käytön päätyttyä ja sitten sammuttaa, jos olosuhdemittaukset osoittavat ilmanvaihdon tarpeen loppuneen. Vastaavasti ilmanvaihto voidaan käynnistää käyttöajan virtausmäärille esimerkiksi 2 tuntia ennen rakennuksen käytön alkamista. Mikäli rakennus ei ole jokapäiväisessä käytössä, ilmanvaihdolle voidaan määrittää aikaohjelma, joka mahdollistaa riittävän ilmanvaihdon esimerkiksi 12 tunnin välein niin, että vuorokautinen

minimivaatimus täyttyy. Tämän jälkeen ilmanvaihto voidaan pysäyttää, jos mittaukset osoittavat, ettei ilmanvaihdolle ole enää tarvetta. (Talotekniikkainfo a, 10)

Hygieniatilojen ilmanvaihto pidetään koko ajan päällä pienellä teholla, mikäli rakennukseen voidaan tuoda vastaava määrä tuloilmaa hallitusti. Jaksottaista ilmanvaihtoa käytettäessä on myös huomioitava jatkuvasti toimivien erillispoistojen tarvitsema korvausilma. (Talotekniikkainfo a, 10)

Taajuusmuuttajilla tai EC-puhallinmoottoreilla on helppo muuttaa puhaltimen sähkötehoa pienentämällä tai suurentamalla puhaltimen kierrosnopeutta. Jännitetietona tai väyläkäskynä pyörimisnopeutta voidaan säätää automaatiojärjestelmästä lähetettävällä nopeusohjeella. Tyypillisesti näitä ohjataan kello- ja kalenteriohjelman mukaisesti, mutta kehittyneemmissä järjestelmissä puhaltimen ohjaus voi tapahtua tilojen olosuhteiden mukaisesti. Hajautettuun ja integroitavaan automaatioon ollaan siirtymässä yhä enemmän perinteisestä valvonta-alakeskuspohjaisesta kiinteistöautomaatioarkkitehtuurista. Tämä mahdollistaa kiinteistöautomaatiojärjestelmien hajautuksen esimerkiksi ilmanvaihtokone- ja huonesäädinkohtaisesti. Tämä tulee ottaa huomioon kysynnänjouston ohjausten toteuttamisessa. (Järventausta ym., 2015, 141)

Helpoin toteutustapa kysynnänjouston toteuttamiseen ilmanvaihdon kannalta on pysäyttää tai pudottaa ilmanvaihdon tehoa hetkellisesti. Tämän ohjausjakson tulee olla kohtalaisen lyhyt. Ilmanvaihtoa voidaan vähentää niiltä alueilta tarpeenmukaisella olosuhdesäädöllä varustetuissa ilmanvaihtojärjestelmissä, jossa olosuhdemittaukset varmistavat, että suunniteltuja tavoitearvoja ei ylitetä tai aliteta. Tarpeenmukainen ilmanvaihto pienentää jo itsessään merkittävästi puhaltimen sähkönkulutusta, joka pienentää ilmanvaihdon kuormapotentiaalia kysynnänjouston kannalta. (Järventausta ym., 2015, 142–143)

Riittävän nopea sähkökuorman pudottaminen nousee kynnyskysymykseksi, mikäli ilmanvaihtoa hyödynnettäisiin kysynnänjouston reservikäytössä. Säädot

ilmanvaihtojärjestelmissä toteutetaan hyvin rauhallisiksi, jolloin ilmanvaihdon käyttäminen kriittisten kysynnänjouston jousto-ohjauksien osalta tulee vaatimaan lisäksi siirtymistä perinteisiin automaatiotoimintojen ohjelmointeihin. (Järventausta ym., 2015, 142–143)

Turvallisen toiminnan osalta ilmanvaihtokoneessa tulee ottaa huomioon, että koneen lukitus- ja varotoiminnot menevät jousto-ohjauksen priorisoinnissa kysynnänjouston edelle. Näitä ohjauksia ovat mm. iv-hätäpysäytys, palohälytys, lämmityspumpun lukitustoiminto, jäätymisvaaratoiminto ja tuloilman yli- ja alilämpötoiminto. (Järventausta ym., 2015, 142–143)

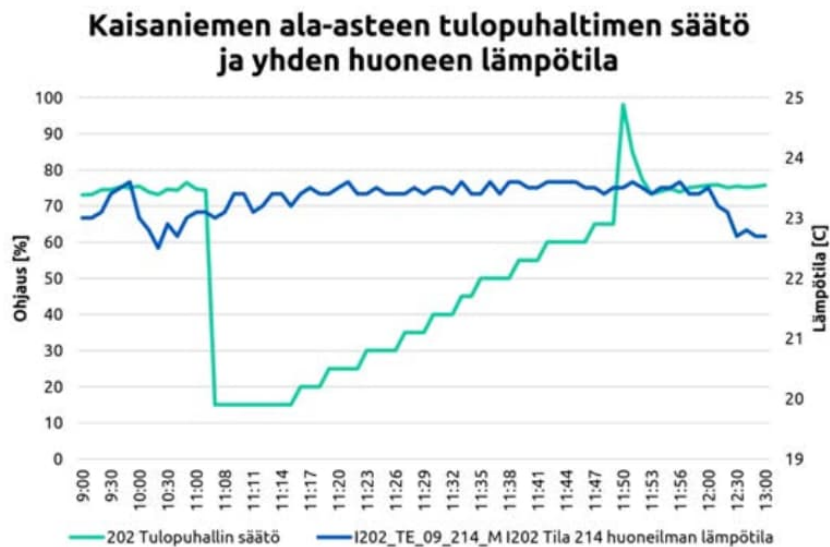
Oleellista toteutuksessa on mitata kysynnänjouston sähkökuormien sähkötehoa reaaliaikaisesti. Tällöin tiedetään kuormapotentialit reaaliaikaisesti ja varmistetaan myös tavoitellun teho-ohjauksen toteutumisesta. Tehotieto voidaan saada reaaliaikaisesti, joko jännite tai väylätietona. Tämä tarkoittaa tyypillisesti EC-puhaltimien osalta erillisen mittalaitteen lisäämistä ryhmäkeskuksiin. (Järventausta ym., 2015, 142–143)

Liitteessä 3 on esitetty Interventin ilmanvaihtokoneen puhaltimen RLM E6 -6371 puhallinkäyrä, jossa sähkötehoa on tiputettu 100 % mitoituspisteestä 50 % ja 70 %. Tässä on tarkoitus havainnollistaa puhaltimen käyttäytymistä, kun sähkötehoa rajoitetaan. Mitoituspisteessä käytetty ilmavirta on 5 m³/s ja kanavapaineen 200Pa. Puhaltimen kokonaispaine on mitoituspisteessä 800 Pa, jossa on huomioitu ulkoinen paine ja sisäinen paine. Tässä pisteessä akseliteho on 5,57kW. Seuraavassa pisteessä, jossa sähkötehoa tiputetaan 50 % ilmavirta tippuu alaspäin 3,97 m³/s ja paine 504 Pa ja akseliteho 2,78kW. Kolmannessa pisteessä, jossa sähköteho tiputetaan 30 % alkuperäisestä mitoituspisteestä. Kolmannessa pisteessä ilmavirta on 3,35 m³/s ja uusi paine 359Pa ja akseliteho 1,68kW. (Intervent Oy, n.d)

5.2 Lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmien ohjaus ja joustotavat

Lämmitystehon rajoittaminen lämmönvaihtimella on yksinkertainen tapa, mutta ongelmaksi voi muodostua lämmön tasainen jakautuminen rakennuksessa. Patteritermostaattien vaihto etäohjattaviin malleihin mahdollistaa lämpötilan säätelyn tilakohtaisesti. Lämmityksen ohjaukseen kannattaa kytkeä myös ilmanvaihto, jotta lämmintä sisäilmaa ei rajoituksen aikana puhalleta ulos liian paljon. Lämmityksen ohjaukseen on olemassa tekoälyyn pohjautuvia järjestelmiä. (Motiva, 2024)

Aikaohjelmalla voidaan myös säätää lämmitysverkostoa, tällöin otetaan huomioon rakennuksen kuormitus ja lasketaan lämmityksen menoveden lämpötilaa esimerkiksi toimistoissa sisäisten kuormien ollessa suuri. (Sandberg E, 2016, 45)



Kuva 8. Graafinen esitys tulopuhaltimen säädöstä ja yhden huoneen lämpötilasta (Määttä ym., 2020, 9)

Kuvassa kahdeksan on esitetty graafisesti tulopuhaltimen säätö ja yhden huoneen lämpötila. Esityksestä voi huomata, että kun ilmanvaihto ajetaan

minimiteholle kysyntäjouston ajaksi, ei lämpötila juuri ehdi reagoida muutokseen.

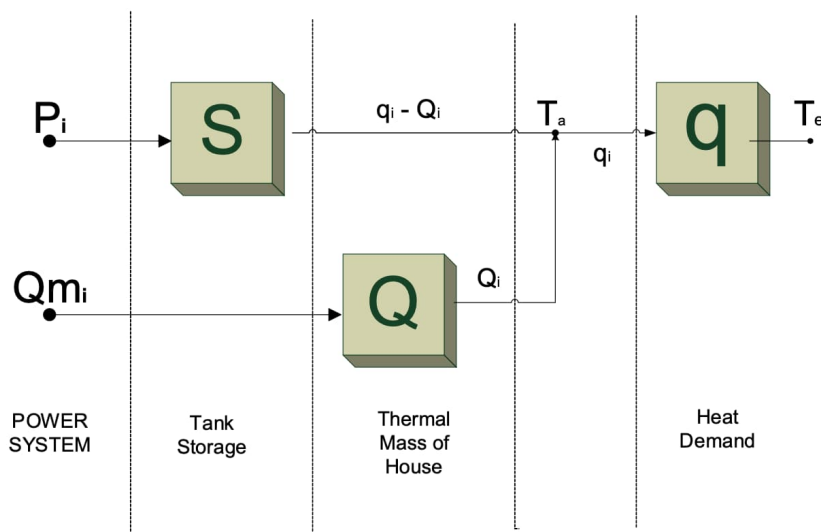
Lämmityksen rajoittamista kestää pidempään uudisrakennukset.

Uudisrakennukset ovat keskimäärin energiatehokkaampia ja siihen vaikuttaa rakenteiden kyky varastoida lämpöä. (Motiva, 2024)

Jouston aikana tapahtuva sähkötehon pienentämisen aikana tulee arvioida rakenteiden kyky varastoida lämpöä ja kuinka kauan riittävät

lämpötilaolosuhteet pysyvät halutulla tasolla. Kuten kappaleessa 2 aiemmin totesimme, että huonelämpötilan suunnitteluarvona 21 astetta.

Lämmityskaudelle voidaan joustaa 20–25 asteen rajoissa ja lämmityskauden ulkopuolella 20–27 asteen rajoissa asetuksen mukaisesti. Mikäli sisäilmastoluokituksissa halutaan pysyä, tulee tilanne tarkastella erikseen.



Kuva 9. Terminen malli lämmitysjärjestelmän jouston lähteestä. (Jokisalo ym., 2023, 10)

Joustopmahdollisuuksia sähkölämmityksestä on esitetty kuvassa 9. Vesivaraaja on S ja varastoitunut lämpö rakennuksen massoihin on Q. Lämmöntarve on q ja P & Q energiaverkosta otettu lämmitysenergia. Jousto voidaan yksinkertaisimmin toteuttaa lämmityksen vesivaraajalla, johon lämpö varataan halvemman sähkön aikana ja jaetaan kiinteistöön lämmitystarpeen mukaan.

Lisäksi voidaan hyödyntää rakennuksen massoihin varastoitunutta lämpöenergiaa. (Jokisalo ym., 2023, 9–10)

Liitteessä 2 on Grundfors Oy:n Magna3-sarjan kiertovesipumpun mitoitusajot. Magna3-sarjan pumppuja käytetään tyypillisesti erilaisissa lämmitysverkostoissa. Ajon tarkoituksena on havainnollistaa pumpun käyttäytyminen, kun pumpulta tiputetaan sähkötehoa. Magna3-sarjan pumpun kierrosnopeutta voidaan säätää integroidulla taajuusmuuttajalla. Pumppuajossa on esitetty kolme mitoituspistettä, jossa sähkötehoa tiputetaan mitoituspisteestä (100 %) puoleen (50 %) sekä neljäsosaan (25 %). Mitoituspisteessä eli lähtöpisteessä pumpun mitoitus on tehty virtaamalla 6 l/s nostokorkeuden ollessa 120kPa.

Ajossa olevasta kulutusprofiilista voi tarkastella virtaaman ja nostokorkeuden käyttäytymistä. Sähkötehon tippuessa puoleen, tippuu myös nostokorkeus 75 prosenttiin mitoituspisteestä. Sähkötehon tiputtaminen tuottaa 63 prosentin nostokorkeuden. Huomattavaa on kulutuksen nouseminen vuositason 609 kilowattitunnista 1383 kilowattituntiin vuodessa. Kulutusjoustossa tätä ei toki voi laskea tällä tasolla, koska joustot ovat lyhytaikaisia. Tämä johtuu hyötysuhteen laskusta. (Grundfos, n.d)

6 Tutkimuksen toteutus ja tulokset

6.1 Tutkimuksen päämäärän ja tavoitteiden tarkastelu

Tutkimuksen päämääränä oli selvittää, kuinka hyvin toimeksiantajan asiakkaat tiedostavat kulutusjouston määritelmän ja onko heillä käsitys siitä, että ylimääräinen panostus kysynnänjouston suunnittelussa tai toteutuksessa olisi verrattain kannattava investointi heidän rakennushankkeissaan tai olemassa olevissa kiinteistöissään. Kyselyssä tarkasteltiin myös ovatko he toteuttaneet kysynnänjouston ratkaisuja LVI-järjestelmistä aiemmin ja ovatko he kohdanneet jotain haasteita kysynnänjoustoan liittyen.

Lisäksi kyselyssä tarkastelin, ovatko he valmiita hyödyntämään ulkopuolista suunnittelu- ja konsultointiapua ja millaisia palveluita he saattaisivat tarvita kysynnänjoustoan hankkeissa.

Tutkimuksen tarkoituksena oli saada tietoa ja näkemyksiä asiakkailta kulutusjoustoan liittyen, jotta työn toimeksiantaja voi laatia asiakkailtensa entistä laadukkaampaa suunnittelumateriaalia aiheeseen liittyen. Tavoitteena oli saada uudis- ja peruskorjaushankkeiden hankesuunnittelumateriaaliin laadukasta sisältöä asiakkailta liittyen kulutusjoustoan, jolla kiinteistöt pystyvät vastaamaan ennakkoidusti energiapulaan liittyviin kysymyksiin nyt ja tulevaisuudessa.

6.2 Tutkimusaineiston tuottaminen

Aiheesta laadittiin monimenetelmällinen tutkimus, jossa kerättiin määrällistä ja laadullista tietoa. Monimenetelmällisestä tutkimustavasta käytetään myös englannin kielestä tulevaa sanaa mixed-methods. Tutkimuksessa yhdistyy laadullinen eli kvalitatiivinen ja määrällinen kvantitatiivinen tutkimuksen lähestymistapa. Määrällisen ja laadullisen tutkimustavan yhdistäminen tärkeimpänä perusteena pidetään sitä, että tutkimustyyppien yhdistäminen

tuottaa tutkimusongelmasta paremman ymmärryksen kuin lähestymistapojen soveltaminen keskenään. (Seppänen-Järvelä ym., 2019, 332)

Asiakkaille lähetettiin tieto kyselystä sähköpostilla. Lähetetty sähköposti ja kyselyn kysymykset on esitetty liitteessä 1. Kyselyyn vastausaikaa annettiin vastaajille 2 viikkoa. Kyselyyn osallistujat ovat kohdistettu suunnittelutoimiston asiakkaille.

Kyselyn toteuttamisessa hyödynnettiin Microsoftin Forms ohjelmistoa. Microsoft Forms on Microsoft-yhtiön kyselyohjelmisto, jolla voi laatia erilaisia kyselyitä. Tutkimusaineiston analyysin graafisena materiaalina on hyödynnetty ohjelmiston luomia kuvia kappaleessa 6.4.

Kyselyssä hyödynnettiin monivalintakysymyksiä, Likert asteikollisia kysymyksiä, matriisikysymyksiä sekä vapaita kysymyksiä. Kyselyssä oli lopuksi tilaa avoimelle sanalle, joihin vastaaja sai vasta vapaasti. Kysymyksiä oli yhteensä 17 kappaletta sekä vapaalle sanalle oli jätetty tilaa lopuksi.

6.3 Tutkimuksen luetettavuuden arviointi

Kyselyyn saatiin kerättyä toimeksiantajan asiakkaita yhteensä 43 kappaletta. Asiakkaat valittiin Länsi-Suomen alueelta kohdennetusti Turun ja Tampereen toimipisteiden asiakasryhmistä eri yrityksistä.

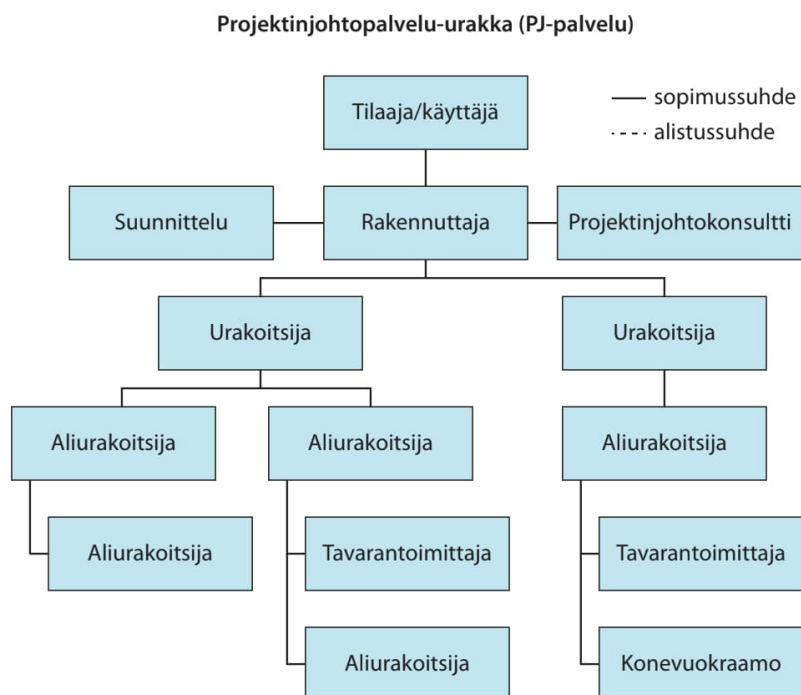
Kyselyyn vastauksia saatiin 19 kappaletta ja vastausprosentti oli 44 %. Keskimääräinen vastausaika oli n.17 minuuttia.

Vastausprosentti jäi melko matalaksi, mutta kyselyyn vastaavien otoksen relevanssi koostuu kohdennetusta ryhmästä asiantuntijoita, jotka valittiin huolellisesti. Kohdennettu ryhmä asiantuntijoita parantaa kyselyn laatua, eikä pienempi otos ole niin suuri haaste kuin satunnaisotos tässä tapauksessa. Tämä vahvistaa vastauksien arvoa toimeksiantajalle.

Kyselyyn osallistuviksi asiakkaiksi valittiin henkilöitä, joilla oli rakennusalalta taloteknistä kokemusta kiinteistöjen talotekniikasta. Asiakkaat, jotka osallistuivat kyselyyn ovat toimenkuvaltaan rakennuttajia, rakennuttajakonsultteja, taloteknisiä asiantuntijoita, taloteknisiä valvojia, tilaajan edustajia ja urakoitsijoita. Henkilöillä on laajalti näkemystä talotekniikasta, joten he ovat luotettavia henkilöitä kyselyn laatimiselle.

Kyselyyn haluttiin ottaa rakennusalalta kohdennetusti henkilöitä, joilla on kokemusta rakennusten talotekniikasta, jotta saataisiin tarkempi otanta vastauksia ja mielipiteitä.

Mikäli tutkimusta olisi halunnut rajata tarkemmaksi olisi tutkimuksen otanta pitänyt tehdä pelkästään yhden kohderyhmä perusteella, esimerkiksi pelkkien urakoitsijoiden mielipiteiden perusteella.



Kuva 10. Projektinjohtopalvelu-urakan sidosryhmät (Ratu KI-6033, 2018, 14)

Kuvassa 10 on esitetty projektinjohtopalvelu-urakan sopimussuhteet, joista näkyy kyselyyn osallistuneet sidosryhmät. Tutkimuksen laatijana on suunnittelija ja vastaajina tilaajan tai käyttäjän edustajat, rakennuttajat,

projektinjohtokonsultit ja urakoitsijat. Lisäksi kyselyyn osallistui talotekniikkavalvoja. Kohderyhmä on luotettava kyselyn onnistumisen kannalta, koska henkilöt ovat kaikki alan ammattilaisia.

6.4 Tutkimusaineiston analysointi

Ensimmäisenä kysymyksen tarkoituksena oli tiedustella kyselyyn osallistuvilta henkilöiltä heidän tietoisuutta kysynnänjouston käsitteestä.

1. Oletteko ollut ennen tätä kyselyä tietoinen kulutus- tai kysynnänjouston käsitteestä?

Taulukko 5. Kyselytutkimuksen kysymyksen 1 tulokset

Vastausvaihtoehto	kpl
Kyllä, todella tietoinen	12
Jossain määrin tietoinen	6
Olen kuullut käsitteestä, mutta en tunne tarkasti	1
En ole tietoinen käsitteestä	0

Vastaajista 12 henkilöä oli käsitteestä todella tietoinen, 6 henkilöä oli jossain määrin tietoinen ja yksi vastaajista oli kuullut käsitteestä, muttei tunne tarkasti käsitettä. Ketään vastaajista ei vastannut, että ei tunne käsitettä. Vastausten perusteella voidaan tulkita, että vastaajat tuntevat kulutus- tai kysynnänjouston käsitteen, osa paremmin ja osa ei niin tarkkaan. Tämä antaa hyvin pohjaa kyselyn muille kysymyksille ja parantaa tutkimuksen luotettavuutta.

Toisessa kysymyksessä kartoitin yleisellä tasolla energiatehokkuuden optimointia LVI-järjestelmistä. Vastaajia pyydettiin Likert asteikon avulla arvioimaan asteikolla 1–5 kuinka tärkeää energiatehokkuuden optimointi LVI-järjestelmistä on heidän hankkeissaan tai olemassa olevissa kiinteistöissään.

2. Kuinka tärkeänä pidätte energiatehokkuuden optimointia LVI-järjestelmissä omissa hankkeissanne tai kiinteistöissänne? Arvioikaa asteikolla 1–5. 1 (ei lainkaan tärkeä) - 5 (erittäin tärkeä)



Kuva 11. Kyselytutkimuksen kysymyksen 2 tulokset (Microsoft Forms, n.d)

Keskimääräinen arvio kysymyksellä on 4.26. Tämä viittaa siihen, että energiatehokkuus on vastaajille tärkeässä roolissa LVI-tekniikan osalta. Tasolle viisi vastauksia saatiin 7 ja tasolle 4 vastauksia tuli 11 ja vain yksi vastaajista vastasi tason 2. Asteikko antaa vastaajalle hieman tulkinnan varaa tasolle 3, joka on ns. neutraali vastaus. Kysymyksen olisi voinut tarkentaa asiakkaille käyttämällä seuraavia portaita: vahvasti eri mieltä, eri mieltä, neutraali, samaa mieltä ja vahvasti samaa mieltä. Tässä vastaajalla olisi ollut helpompi lähestyä kysymystä.

Kysymyksessä kolme pyrin selvittämään, onko vastaajan yritys tai organisaatio toteuttanut tai suunnitellut kulutusjoustoa hyödyntäviä ratkaisuja LVI-järjestelmistä. Kysymystä olisi voinut pilkkoa vielä erikseen suunnitteluun ja toteutukseen, tarkempien erillisarvioiden saamiseksi. Kysymys antaa kuitenkin yleiskuvaa siitä ovatko vastaajat perehtyneet aiheeseen toteutuksen tai suunnittelun kautta.

3. Onko yrityksenne tai organisaationne aiemmin toteuttanut tai suunnitellut kulutusjoustoa hyödyntäviä ratkaisuja LVI-järjestelmistä?

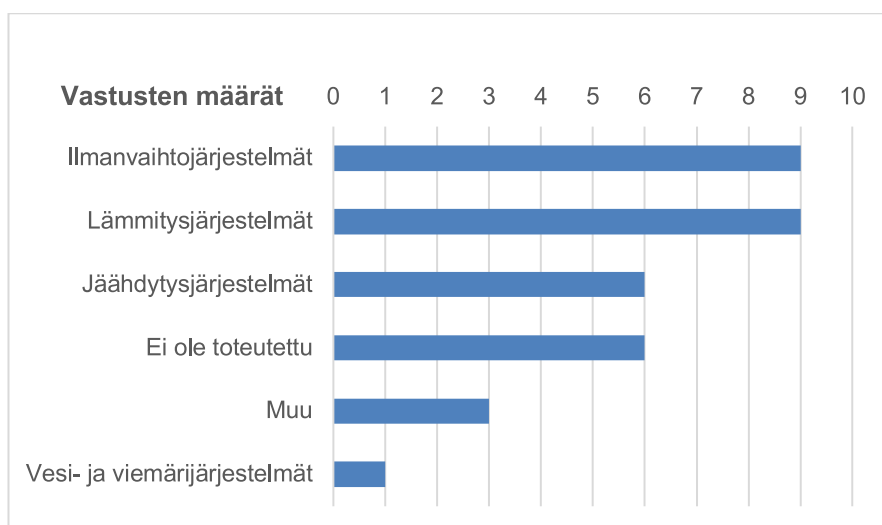
Taulukko 6. Kyselytutkimuksen kysymyksen 3 tulokset

Vastausvaihtoehto	kpl
Kyllä	13
Ei	5
En tiedä	1

Vastaajista 13 oli toteuttanut tai suunnitellut kulutusjoustoja hyödyntäviä ratkaisuja LVI-järjestelmistä. Vastaajista 5 ei ollut toteuttanut tai suunnitellut kulutusjoustoja ratkaisuja LVI-järjestelmistä. Yksi vastaajista ei tiennyt. Tästä voidaan päätellä, että yli puolet vastaajista on ollut tekemisissä kysynnänjouston hankkeissa, jossa joustoja on tehty LVI-järjestelmistä.

Kysymys neljä oli jatkoa aiempaan kysymykseen liittyen. Kyseinen kysymys ei ollut lomakkeella pakollinen ja siihen saatiin 18 vastausta. Kysymys jatkui aiempaan kysymykseen liittyen tarkennetulla kysymyksellä. Tarkoitus oli tiedustella mistä LVI-tekniikan osa-alueista joustoja olisi mahdollisesti tehty. Kysymys oli monivalintainen kysymys, jossa mahdollisuus oli vastata moneen vaihtoehtoon. Vaihtoehtoja kysymyksessä oli 5 sekä lisäksi muu-kohta.

4. Mikäli olette toteuttaneet tai suunnitelleet sähkön kysynnänjoustoja LVI-järjestelmistä, niin mistä olette joustoja tehneet tai suunnitelleet?

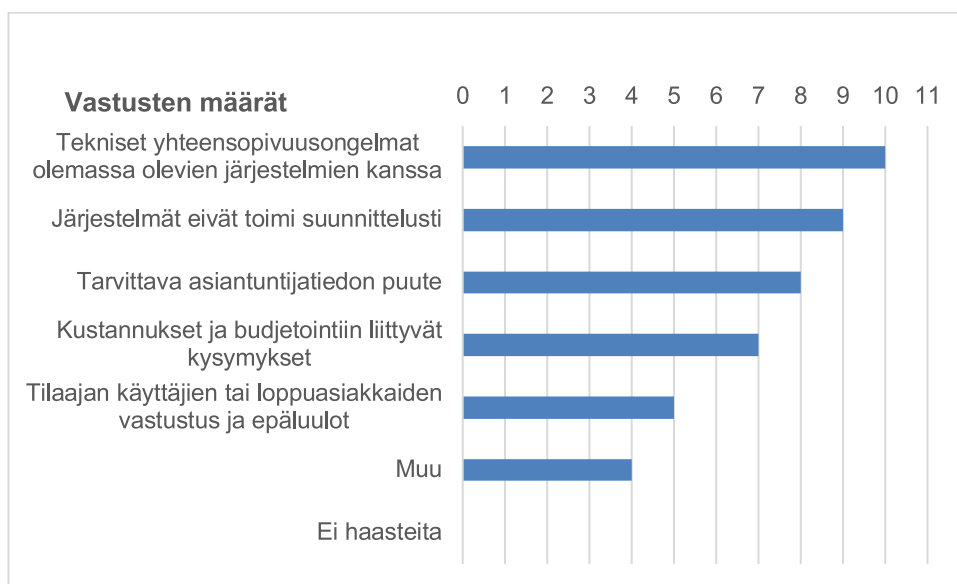


Kuva 12. Kyselytutkimuksen kysymyksen 4 vastaukset

Ilmanvaihto- ja lämmitysjärjestelmissä oli molemmissa yhdeksän kappaletta vastauksia. Lisäksi jäähdytysjärjestelmistä oli joustoa tehnyt vastaajista kuusi henkilöä. Muita vastauksia tuli kolme kappaletta, joissa oli nostettu sähkösulatukset, automaatio ja lämpöpumput joustettaviksi kohteiksi. Vesi- ja viemärijärjestelmissä oli vastauksia yksi kappale. Vastaukset tukevat työn teoriaosuuden tekstiä potentiaalisista joustettavista kohteista.

Seuraavassa kysymyksessä viisi oli tarkoitus kartoittaa suurimmat haasteet kulutusjoustop toteuttamiseen liittyen. Kysymys oli monivalintainen, joihin vastaaja sai valita yhden tai useamman vaihtoehdon. Lisäksi oli valittavana muu, kohta mikäli vaihtoehdoista yksikään ei soveltunut omiin kokemuksiin. Suurimmiksi haasteiksi kysymyksessä oli listattuna kustannuksiin liittyvät kysymykset, tekniset yhteensopivuusongelmat, asiantuntijatiedon puute, tilaajan tai käyttäjän epäluulot, järjestelmien toimivuus, muut ongelmat. Lisäksi oli vaihtoehto, jossa ei ole koettu ongelmia.

5. Mitkä ovat mielestänne suurimmat haasteet kulutusjoustop toteuttamisessa LVI-järjestelmissä?



Kuva 13. Kyselytutkimuksen kysymyksen 5 vastaukset

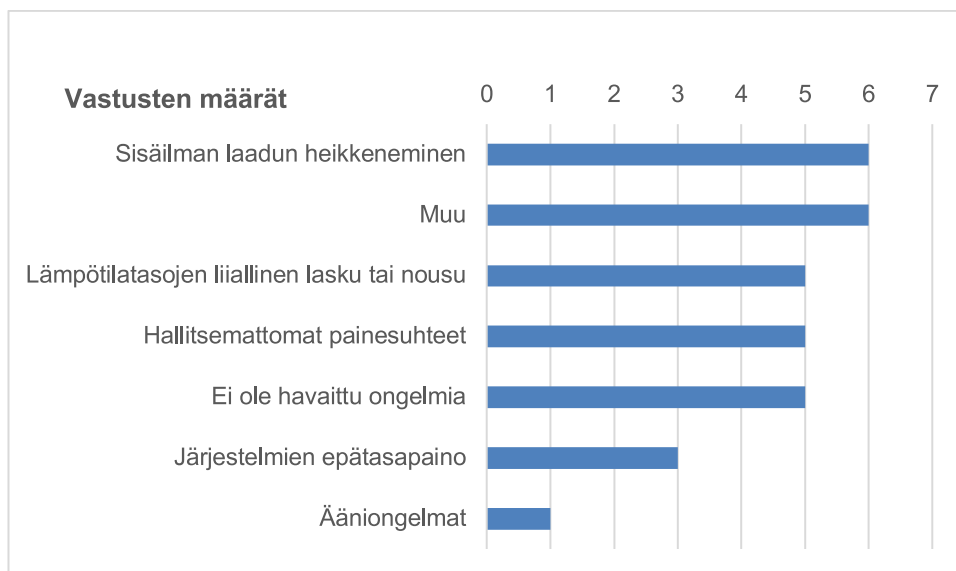
Graafisesta esityksestä voidaan huomata, että kaikki vastaajat ovat kokeneet haasteita kulutusjouston toteutuksessa. Tästä voidaan todeta, että kulutusjoustoon tarvitaan tulevaisuudessa selkeämpiä ratkaisuja, suunnitteluohjeita sekä lisää ymmärrystä asiaan. Isoimmiksi haasteiksi nousi tekniset yhteensopivuusongelmat olemassa olevien järjestelmien kanssa sekä se että järjestelmät eivät toimi suunnitellusti eikä tarvittavaa asiantuntijuutta asiaan löydy riittävästi. Muussa kohdassa oli vastauksia neljä, josta nostettu sovittujen olosuhteiden toteutumisen varmistamisen vuokralaisten tiloissa haasteeksi. Toinen nosto oli valtakunnallisissa sähkösopimuksissa, joissa isoissa asiakkuuksissa on hinnoissa suojauksia, joten kulutusjousto jää taka-alalle näissä sopimuksissa. Kolmannessa kohdassa oli mainittu, että vaaditaan laadukas ennakkosuunnitelma, jotta tiedetään mitä ollaan tekemässä ja mihin vaikutustoimet kohdistuvat ja miten säästövaikutukset saadaan selkeästi esitettyä. Neljäs nosto oli yksittäisten kohteiden pienuus, jossa korostettiin aggregointimarkkinan kehittämättömyyttä.

Kysymyksessä kuusi jatkettiin haasteiden tiedustelua. Tässä kysymyksessä oli tarkoitus kartoittaa mahdollisia esiin tulleita ongelmia LVI-tekniikan toimivuudesta, kun sähkötehoa on kiinteistöstä alennettu.

6. Millaisia ongelmia olette mahdollisesti kohdanneet LVI-tekniikan toimivuudessa joustojen aikana, kun sähkötehoa on kiinteistössä alennettu?

Sisäilman laadun heikkeneminen nousi joustojen aikana vastaajilla suurimmaksi koetuksi ongelmaksi, tämän vaihtoehdon vastasi kuusi henkilöä. Muu kohta nousi yhtä suureksi, kuin sisäilman heikkeneminen. Hallitsemattomat painesuhteet ja lämpötilojen liiallinen lasku tai nousu nousi toiseksi suurimmaksi koetuksi ongelmaksi, joihin molempiin vastauksia tuli viisi kappaletta. Vain yksi vastaajista oli kohdannut ääniongelmia joustojen aikana.

Huomion arvoista vastauksissa on, että viisi vastaajista ei ole kokenut joustojen aikana minkäänlaisia ongelmia, joka tuo viitteitä siitä, että järjestelmät voidaan saada toimimaan halutunlaisesti ilman esiin tulevia ongelmia.



Kuva 14. Kyselytutkimuksen kysymyksen 6 vastaukset

Seuraavassa kysymyksessä pyydettiin arvioimaan Likert asteikolla sitä, kuinka hyvin LVI-järjestelmät palautuvat normaalitilaan jouston jälkeen. Vastaajia pyydettiin arvioimaan asteikolla 1–5 palautumista. Arvioissa 1 oli erittäin heikosti ja 5 oli erittäin hyvin.

Keskiarvoksi vastauksista tuli 3.67, joka viittaa kohtuu hyvään palautumiseen, mutta ei täydelliseen. Suurimmaksi vastauskohdaksi osoittautui kohta neljä, joihin vastauksia tuli seitsemän, tämä taso luokitellaan hyväksi. Vain yksi vastauksista vastasi heikon tason 2, eli heikon palautumisen. Tasolle 1 ei arvioita tullut ollenkaan. Vastauksia tuli tasolle kolme viisi kappaletta, joka on neutraaliin taso, jossa vastaaja ei ole täysin varma asiasta.

7. Kuinka hyvin LVI-järjestelmät mielestänne palautuvat normaalitilaan kulutusjouston jälkeen? Arvioikaa asteikolla 1–5, 1 (erittäin heikosti) - 5 (erittäin hyvin)



Kuva 15. Kyselytutkimuksen kysymyksen 7 vastaukset (Microsoft Forms, n.d)

Kysymyksessä kahdeksan pyrin arvioimaan Likert asteikolla kuinka suuren mahdollisuuden asiakkaat näkevät kulutusjoustolla osana kiinteistöjen sähköenergian kulutuksen vähentämisessä. Tähän kysymykseen oli vapaavalintainen vastausvaihtoehto. Vastauksia kysymykseen saatiin 17 kappaletta. Yksi vastaajista jätti vastaamatta kyseiseen kysymykseen.

8. Kuinka suuren mahdollisuuden näette kulutusjoustolla kiinteistöjen sähköenergiakustannusten vähentämisessä? Arvioikaa asteikolla 1–5, 1 (ei lainkaan mahdollisuutta) – 5 (erittäin suuri mahdollisuus)



Kuva 16. Kyselytutkimuksen kysymyksen 8 vastaukset (Microsoft Forms, n.d)

Keskimääräiseksi arvioksi tuli 3.24. Tämä arvo antaa suuntaa sille, että vastaajien mielestä potentiaalia energiankustannusten vähentämiselle on, mutta kehitettävääkin riittää vielä. Eniten vastauksia tuli tasolle neljä ja vain yksi vastaus tasolle yksi, jossa kulutusjoustoa ei pidetty mahdollisuutena sähköenergian kustannusten laskemiseen. Suurin osa vastauksista oli arvioitu neutraaliakselin yläpuolelle.

Kysymyksessä yhdeksän oli tarkoitus kysellä asiakkaiden mielipiteitä sisäilman laadusta joustojen aikana.

9. Koetteko, että kulutusjousto voi parantaa rakennusten energiatehokkuutta ilman merkittäviä vaikutuksia sisäilman laatuun tai työntekijöiden mukavuuteen sisätiloissa?

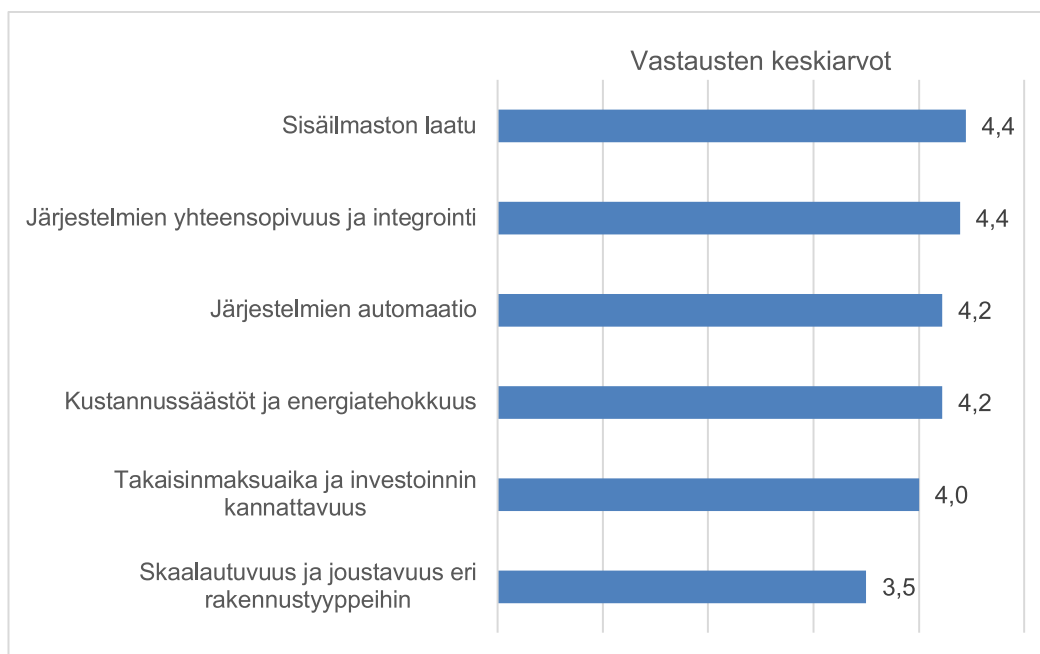
Taulukko 7. Kyselytutkimuksen kysymyksen 9 vastaukset

Vastausvaihtoehto	kpl
Kyllä	8
Ehkä	9
Ei	2
En osaa sanoa	0

Vastaajista kahdeksan oli sitä mieltä, että merkittäviä vaikutuksia sisäilman laadulle ei ole. Yhdeksän vastaajaa vastasi ehkä, joka viittaa epävarmuuteen sisäilman laadusta. Kaksi vastaajista oli sitä mieltä, että kulutusjousto vaikuttaa suoranaisesti sisäilman laatuun. Kukaan ei vastannut, että ei osaa sanoa. Vastaukset jakautuivat lähes puoliksi kyllä ja ehkä vastausten osalta. Tästä voidaan tulkita, että vastaajien mielestä potentiaalia on tehdä joustoja ilman merkittäviä vaikutuksia sisäilman laatuun, mutta epävarmuuttakin asiasta esiintyy.

Kysymyksessä kymmenen pyydettiin vastaajaa arvioimaan kysynnänjouston liittyvien asioiden tärkeyttä. Arviointina pidettiin Likert asteikkoa, jossa 1 ei ollenkaan tärkeä, 2 ei niin tärkeä, 3 melko tärkeä, 4 tärkeä ja 5 erittäin tärkeä. Vastauksia kysymykseen tuli 18 kappaletta. Yksi vastaajista jätti vastaamatta.

10. Kuinka tärkeitä seuraavat kohdat ovat, kun harkitsette kysynnänjouston ratkaisuja. (Arvioi asteikolla 1-5, missä 1 =ei ollenkaan tärkeä, 5 = erittäin tärkeä)



Kuva 17. Kyselytutkimuksen kysymyksen 10 vastaukset

Kuvassa 17 on esitetty vastaajien arvioiden keskiarvot eri vaihtoehdoista. Keskiarvo on lukujen summa jaettuna niiden lukumäärällä. Sisäilmaston laatu ja järjestelmien yhteensopivuus nousivat muiden vaihtoehtojen yläpuolelle vastausmäärissä, mutta erot ovat pienet järjestelmien automaatioon, kustannussäästöihin ja takaisinmaksu-aikaan nähden. Tärkeän alapuoliseksi jäi vain skaalautuvuus ja joustavuus eri rakennustyyppeihin, jossa keskiarvoksi vastauksista tuli 3,5. Tästä voidaan todeta, että koko taloteknisen järjestelmän osuus tulee kokonaisuudessaan huomioida, eikä yksittäinen asia nouse toisen edelle.

Kysymyksissä 11 ja 12 haluttiin selvittää vastaavien asiakkaiden yritysten strategista suunnittelua kysynnänjouston osana ja valmiutta siirtyä älykkäämpiin järjestelmiin. Molemmat kysymykset toteutettiin Likert asteikolla.

11. Kuinka tärkeäksi koette kulutusjouston mahdollisuudet osana yrityksenne strategista suunnittelua energiatehokkuuden suhteen?
Arvioikaa asteikolla 1-5, 1 = (ei lainkaan tärkeä) - 5 (erittäin tärkeä)

12. Miten arvioisitte yrityksenne valmiuden siirtyä älykkäämpään energiankulutuksen hallintaan LVI-järjestelmissä? Arvioikaa asteikolla 1–5, 1 (ei lainkaan valmis) - 5 (erittäin valmis)

Kysymyksen 11 keskimääräiseksi arvioksi tuli 3.39. Eniten vastuksia tuli tärkeälle osuudelle eli tasolle 4, johon vastauksia tuli 10. Tason 5 eli erittäin tärkeän vastasi yksi vastaajista. Tasolle 2 tuli vastauksia 5 kappaletta. Tähän kysymykseen vaikuttaa yrityksen toimenkuva, mutta tästä voi todeta, että kulutusjousto on vastaajilla neutraalilla tasolla energiatehokkuuden strategisen suunnittelun osalta. Ei tärkeimmästä päästä, mutta sitä ei koeta myöskään ollenkaan tärkeäksi.

Kysymyksessä 12 tuli kymmenen vastausta tasolle neljä, joka on arvioasteikolla valmis. Keskiarvoksi muodostui 3.50. Tämä kertoo, että vastaajien yrityksessä on perehdytty kulutusjouston toteuttamiseen jossain määrin. Neutraalille tasolle vastauksia tuli 4 kappaletta. Tasolle kaksi eli ei valmis vaihtoehdon valitsi kolme vastaajaa. Kysymykset 11 ja 12 jättävät hieman tulkinnanvaraa vastausten oikeellisuuteen, mutta niistä saa yleiskuvan vastaajien mielipiteistä. Lisäksi kysymyksissä olisi voinut antaa vastaajille tarkemmat vaihtoehdot väleille 4–3.

Seuraavat kysymykset 13 ja 14 olivat avoimia laadullisia kysymyksiä, joihin vastaajalla oli tilaa vapaalle vastaukselle. Vapaiden kysymysten tarkemmat vastaukset jäävät toimeksiantajan omaan käyttöön, mutta yleiskuvaa avataan vastauksista seuraavaksi.

13. Miten LVI-järjestelmien automaatio ja säätöjärjestelmät voisivat mielestänne paremmin tukea kysynnänjouston toteutusta?

Kysymykseen 13 sain vastauksia 14 kappaletta.

14. Millaisia ratkaisuja tai laitepäivityksiä pidätte tarpeellisina LVI-järjestelmien optimoimiseksi kysynnänjouston vaatimuksiin?

Kysymykseen 14 sain vastauksia 13 kappaletta.

Yleisesti monesta vastauksesta kysymyksiin 13 ja 14 nousi esiin kiinteistön nykyaikaisen automaation tärkeys sekä mittaroinnin ja anturoinnin tärkeys, joka tukee kysynnänjoustoja. Lisäksi nostoja oli hyvästä yhteistyöstä energian toimittajien kanssa.

Viimeisten kolmen kysymyksen oli tarkoitus kartoittaa toimeksiantajalle asiakkaiden suunnittelutarpeita ja suunnittelun kannattavuutta liittyen kysynnänjouston hankkeisiin.

Kysymyksessä 15 oli tarkoitus kartoittaa näkemyksiä siitä, onko ylimääräinen panostus suunnittelussa tai toteutuksessa kannattava investointi.

15. Onko teillä kokemusta tai käsitys, että ylimääräinen panostus kysyntäjouston suunnittelussa tai toteutuksessa olisi verrattain kannattava investointi, eli se maksaisi itsensä takaisin kohtuullisessa ajassa?

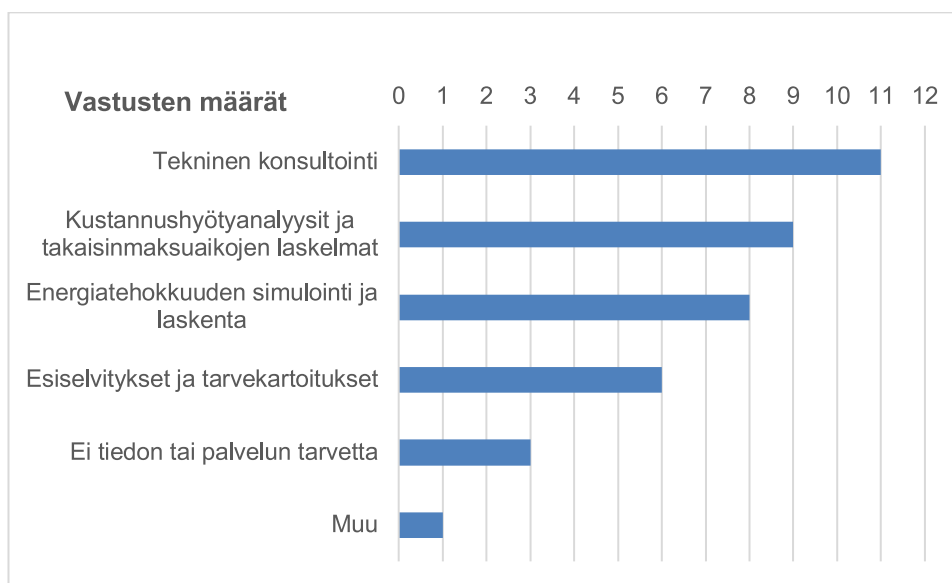
Taulukko 8. Kyselytutkimuksen kysymyksen 15 vastaukset

Vastausvaihtoehto	kpl
Kyllä	8
Ei	3
En osaa sanoa	4
Muu	4

Neljä vastaajaa ei osannut sanoa kannattavuudesta. Kyllä ja ei vastaukset olivat melko jakautuneita. Vastauksista kahdeksan mielestä se on kannattavaa ja kolmen vastaajan ei. Muissa vastauksissa, joita tuli neljä nousi esille, että ylimääräinen panostus ei olisi kannattavaa.

Kysymyksessä 16 kartoitettiin minkälaisia palveluita tai tietoa asiakkaat tarvitsevat kysynnänjouston hankkeissa. Kysymys laadittiin monivalintana, jossa vastaajalla oli eri vaihtoehtoja sekä muu kohta, johon sai vastata vapaasti. Kysymyksessä oli mahdollista valita yksi tai useampi vaihtoehto.

16. Minkälaista tietoa tai palveluita toivoisitte liittyen kysynnänjouston suunnitteluun tai optimointiin?



Kuva 18. Kyselytutkimuksen kysymyksen 16 vastaukset

Eniten vastauksia tuli tekniseen konsultointiin, mutta vastaukset palveluiden osalta jakaantuivat melko tasaisesti ja noin puolet vastaajista valitsivat enemmän, kuin yhden palvelun. Toiseksi suurimmaksi palvelun tarpeeksi koettiin kustannushyötyanalyysit ja takaisinmaksujen laskelmat, johon vastauksia tuli yhdeksän kappaletta. Kolme vastaajaa ei kokenut palvelun tai tiedon tarvetta aiheeseen liittyen.

Viimeisessä kysymyksessä 17 kysyttiin kiinnostusta ulkopuoliseen suunnittelu- ja konsultointiapuun kysynnänjouston hankkeissa.

17. Kuinka kiinnostuneita olette hyödyntämään ulkopuolista suunnittelu- ja konsultointiapua kysynnänjouston hankkeissa?

Taulukko 9. Kyselytutkimuksen kysymyksen 17 vastaukset

Vastausvaihtoehto	kpl
Todella kiinnostunut- haluamme ulkopuolista tukea asiantuntijoilta	3
Kiinnostunut- harkitsemme ulkopuolisen kumppanin käyttöä	7
Jonkin verran kiinnostunut- tarvitsemme lisätietoa ennen päätöksentekoa	7
Ei kiinnostusta	2

Vastausten perusteella kiinnostusta vastaajilla on aiheeseen liittyviin suunnittelupalveluihin, mutta harkintaa ja lisätiedon tarvetta päätöksentekoon liittyy. Vain kaksi vastaajista ei ollut kiinnostunut kyseisistä palveluista.

Viimeisessä kyselyn kohdassa oli tilaa vapaalle sanalle aiheeseen liittyen. Kommentteja aiheeseen liittyen saatiin 7 kappaletta. Vapaat kommentit jäävät toimeksiantajan omaan käyttöön.

7 Kehitystoimenpiteet

Kysynnäjoustolla on paikkansa kiinteistöjen päästöjen ja kustannusten vähentämisessä. Suunnittelussa tulisi tarkastella heti rakennushankkeen alkuvaiheessa kysynnäjousto osana talotekniikan kokonaisuutta, jolla se voitaisiin huomioida erilaisissa suunnitteluratkaisuissa yhteistyössä sähkö- ja automaatio-suunnittelijan kanssa. Rakennushankkeen alkuvaiheessa tulisi tunnistaa raamit, joissa joustoa voidaan toteuttaa LVI-tekniikasta. Etävalvottava automaatio, jota voidaan integroida muihin järjestelmiin auttaa joustojen toteuttamisessa. Paras tilanne saavutetaan, kun kulutusjousto on huomioitu jo rakennusautomaation suunnitteluvaiheessa.

LVI-suunnittelun osalta huomioitavia asioita ovat hankesuunnitteluvaiheessa ilmanvaihdon palvelualueet, joissa tulisi pitää mielessä ilmanvaihtokoneiden käyntiajat ja potentiaali sähkön kulutusjouston toteuttamiselle.

Avointa keskustelua on käytävä alalla kysyntäjoustopista ja sen toteutuksista. Tämä on jokaisen alalla toimivan haaste, eikä yksittäisen toimijan. Kysynnäjoustopin toteuttaminen ei tulisi olla erillinen projekti vaan se tulisi sisällyttää normaaliin uudis- tai peruskorjaushankkeen suunnitteluun, jossa huomioitu tilaajan tahtotila asiaan liittyen.

Aggregointiin, eli monen kiinteistön yhdistämiseen joustoihin tulisi esittää energiantoimittajilta selkeitä ohjeita joustojen toteuttamiselle. Talotekniikassa on haastavaa joustaa markkinoilla ylöspäin, koska tämä aiheuttaa mm. hallitsemattomia painehäviöitä ja ääniongelmia. Järjestelmät yleensä mitoitetaan maksimikuorman perusteella, ja jos mitoituspisteestä joustetaan paljon ylöspäin ongelmia saattaa esiintyä.

8 Pohdinta

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia kysynnänjouston vaikutuksia LVI-tekniikassa. Raportista saatiin hyvä yleiskuva LVI-tekniikan potentiaalista kysynnänjouston hankkeissa. Tarkoituksena oli selvittää LVI-tekniikan toiminta kysynnänjoustojen aikana, sekä tehdä kyselytutkimus toimeksiantajan asiakkaille aiheesta.

Tutkimuksen tuloksina voidaan todeta, että potentiaalia ja kiinnostusta kysynnänjoustoon liittyen on, mutta kehitettävääkin aiheeseen liittyy. Kehitettäviä asioita olisi mm. aggregoinnin järjestäminen, avoimet rakennusautomaatiojärjestelmät ja haasteet ylöspäin joustettaessa. Tutkimuksesta nousi kuitenkin esiin, että kulutusjousto olisi taloudellisesti kannattavaa ja lyhytjaksoisia joustoja voisi tehdä ilman merkittävää sisäilman laadun huonontamista. Tärkeintä on suunnitella joustot siten, että käyttäjälle ei aiheudu niistä haittaa ja kiinteistön olosuhteet menevät aina joustojen edelle.

Tutkimuksen tuloksena voidaan lisäksi todeta, että osalla toimeksiantajan asiakkailta riittää kiinnostusta aiheeseen liittyen ja suurin osa olisi valmiita investoimaan kyseisiin suunnittelupalveluihin.

Tutkimustyö onnistui kohtalaisesti ja vastaajia saatiin kerättyä hyvä määrä. Silti suurempi vastaajien määrä olisi lisännyt enemmän tulosten luotettavuutta. Tutkimustuloksiin vaikuttaa kuitenkin satunnaisvirhe, joka aiheutuu otoskoon pienuudesta. Vaikka vastaajat edustivat henkilöstöä, jolla on ammatillinen näkemys aiheesta, ei otos välttämättä edusta tasapuolisesti koko kohderyhmän mielipidettä. Tulosten yleistettävyyteen saattaa vaikuttaa myös se, että on mahdollista, että vastaamaan päätyivät henkilöt, joilla oli voimakkaampi mielipide aiheeseen liittyen. Tästä syystä työn tutkimuksen tuloksia tulee arvioida suuntaa antavina eikä ehdottoman yleistävinä. Työn toteutuksen

kannalta parannettavaa olisi ollut tarkempi Likert asteikon käyttö, jossa vastausten arviointiin käytettävät asteikot olisi voinut olla paremmin nimettyinä.

Työssä onnistuttiin hyvin löytämään kysynnänjoustoon vaikuttavia asioita. Työ ei paneutunut tarkemmin automaation toimintaan, joka voisi olla oma aiheensa tutkimukselle. Työ antoi itselleni laajemman kuvan kysynnänjouston toiminnasta. Tämä hyödyntää minua huomioimaan kysynnänjoustoon liittyviä asioita omassa työpanoksessani.

Työssä käytettiin ajankohtaisia ja luotettavia verkkolähteitä monipuolisesti. Verkkolähteiden painoarvona työssä käytettiin ohjekortteja, artikkeleita ja raportteja aiheeseen liittyen. Lähdemateriaalina olisi voinut käyttää enemmän lisäksi painettua kirjallisuutta. Työssä pyrittiin ottamaan aiheeseen näkökulmaa monesta eri suunnasta. Monen eri näkökulman valinta työhön toi erilaisia asioita aiheeseen esille, mutta vaikeutti syvällisemmän analyysin tekoa jokaisesta aihealueesta.

Työssä ei varsinaisesti löydetty uusia asioita kysynnänjouston vaikutuksista LVI-tekniikkaan liittyen, mutta kyselytutkimuksen avulla sain toimeksiantajalle kattavan kuvan asiakkaiden mielipiteistä aiheeseen liittyen. Tämä edesauttaa varsinaisen suunnittelumateriaalin laadintaa tulevaisuudessa toimeksiantajalle.

Kysynnänjousto tulee oletettavasti yleistymään enemmän tulevaisuudessa ja se tulee näkymään enemmän sähkö- ja automaatio suunnitelmissa. LVI-suunnitelmiin kysynnänjouston huomiointi vaatii hyvää yhteistyötä sähkö- ja automaatio suunnittelijoiden kesken suunnittelun aikana. Uusiutuvan energiantuotannon määrä lisääntyy ja sähköverkko tulee pitää jatkossakin tasapainossa. LVI-tekniikka kuluttaa suurimman osan rakennusten energiasta ja niissä on isoin potentiaali vähentää hiilidioksidipäästöjä, joka rakennusalalla tulee huomioida nyt ja tulevaisuudessa.

8.1 Jatkotutkimuksen mahdollisuudet

Työn teoriaosuus rajattiin toimistorakennuksiin, jossa mielestäni onnistuttiin hyvin saaden kattava listaus vaadituista mitoitusarvoista toimistorakennuksissa. Työtä olisi mahdollisuus laajentaa myös muihin rakennustyyppeihin ja tarkastella niiden mitoitusarvoja sekä joustomahdollisuuksia. Varsinkin isommassa kiinteistössä, jossa joustettavaa olisi paljon.

Jatkotutkimusehdotuksena voisi tutkia lisäksi käyttäjien kokemuksia esimerkiksi toimistorakennuksen neuvotteluhuoneiden osalta, miten he kokevat ilmavirtojen pienentämisen vaikutukset mm. S1 tai S2 luokasta S3 luokkaan, ilmamäärien sekä lämpötilojen osalta. Tämä vaatisi laajemman osallistumisen käyttäjiltä tutkimukseen sekä automaatiourakoitsijan muuttamaan neuvotteluhuoneiden olosuhteita. Lisäksi tutkimuksessa tulisi olla nykyaikainen rakennus, jossa tutkimus olisi talotekniikan osalta mahdollista tehdä.

Tässä olisi mahdollista haastatella laadullisen tutkimuksen avulla käyttäjiä esimerkiksi neuvotteluhuoneiden olosuhteista enne ja jälkeen joustojen ja tehdä näistä johtopäätöksiä. Samalla voisi vertailla automaation grafiikalta mitattuja olosuhteita ja verrata niitä käyttäjien kokemuksiin. Tarkastelun alle voisi ottaa lisäksi lämmön kysynnänjouston huomiot ja tehdä asiakkaille suunnatun kyselyn erikseen siitä.

Lähteet

Björkroth, M. & Eskola, L. (2019). *Rakennusten paine-erojen mittausohje-projektin loppuraportti*. A-Insinöörit.

https://talotekniikkainfo.fi/sites/default/files/rakennusten_paine-erojen_mittausohje_2019-10-11.pdf

Fingrid. (n.d.-a). *Ansaintamallit*. Haettu 7.12.2024 osoitteesta

<https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/reservit-jasaatosahko/kuinka-osallistua-reservimarkkinoille/ansaintamallit/>

Fingrid. (n.d.-b). *Kuinka osallistua reservimarkkinoille*. Haettu 7.12.2024

osoitteesta <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/reservit-ja-saatosahko/kuinka-osallistua-reservimarkkinoille/>

Fingrid. (n.d.-c). *Kulutusrjousto*. Haettu 7.12.2024 osoitteesta

<https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/markkinoiden-yhtenaisyyssahkomarkkinoiden-kehityshankkeet/kysyntajousto/>

FINVAC. (2019). *Opas ilmanvaihdon mitoittamiseen muissa kuin asuinrakennuksissa*. <https://urly.fi/3wDI>

Grundfos. (n.d). *Magna 3*. Haettu 8.1.2025 osoitteesta

<https://product-selection.grundfos.com/fi/products/magna/magna3?tab=explore>

Intervent. (n.d). *Mitoitusohjelma IV Product Designer*. Haettu 8.1.2025

osoitteesta <https://intervent.fi/mitoitusapu/ilmanvaihdon-mitoitusohjelma/>

Jokisalo, J., Lehtonen, M., Ju, Y., Yuan, X. & Kosonen, R. (2023). *Talotekniikka 2030 – Rakennusten energiatehokkuus ja kulutusrjousto*. Talotekniikka 2020 -

hanke. <https://www.aalto.fi/fi/tutkimus-ja-taide/talotekniikka-2030-tutkimusraportteja>

Järventausta, P., Repo, S., Trygg, P., Rautiainen, A., Mutanen, A., Lummi, K., ...

Belonogova, N. (2015). *Kysynnän rjousto - Suomeen soveltuvat käytännön ratkaisut ja vaikutukset verkkoyhtiöille (DR pooli): Loppuraportti*. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto. <https://trepo.tuni.fi/handle/10024/116742>

Lindsey, R. (9.4.2024). *Climate change: Atmospheric carbon dioxide*. NOAA Climate. <https://www.climate.gov/newsfeatures/understanding-climate/climate-change-atmospheric-carbon-dioxide>

Microsoft Forms (n.d) *Microsoft Forms*. <https://www.microsoft.com/fi-fi/microsoft-365/online-surveys-polls-quizzes>

Motiva. (17.10.2024). *Kulutusjousto osallistuminen ja huipputehon vähentäminen*. Haettu 7.12.2024 osoitteesta https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/energiatehokas_taloyhtio/taloautomaatio/kulutusjousto osallistuminen_ja_huipputehon_vahentaminen.

Määttä, T., Berg, E., Härkönen, K., Kangastie, T., Österberg-Aikio, A. & Katajainen, A. (2020). *Näin teet kiinteistöstäsi virtuaalivoimalaitoksen – Sähkön ja lämmön kysyntäjousto leikkaa päästöjä ja kustannuksia*. Energiaviisaat kaupungit -hanke. <https://energiaviisaat.fi/virtuaalivoimalaitos-opas/>

Ratu KI-6033. (2018) *Rakennushankkeen kustannushallinta*. Rakennustieto.

RT 07-11299. (2018). *Sisäilmastoluokitus 2018. Sisäympäristön tavoitearvot, suunnitteluohjeet ja tuotevaatimukset*. Rakennustieto.

RT RakMK-103174. (2020). *Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta*. Rakennustieto.

RT RakMK-21763. (2018). *Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta*. Rakennustieto.

Sandberg, E. (2016). *Ilmastointilaitoksen mitoitus. Ilmastointitekniikka osa 2*. (2. painos). Talotekniikka-Julkaisut.

Seppänen-Järvelä, R., Åkerblad, L. & Haapakoski, V. (2019). Monimenetelmällisen tutkimuksen integroivat strategiat. *Yhteiskuntapolitiikka*, 84(3), 319–327. <https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2019061220179>

Sweco Finland. (2023). *Asuinkerrostalon energiasuunnitteluohje*. Toimeksiantajan materiaali.

Talotekniikkainfo a. (2024). *Sisäilmasto ja ilmanvaihto- opas*. Talotekninen teollisuus ja kauppa.

Talotekniikkainfo b. (2024). *Vesi- ja viemärlaitteistot- opas*
Talotekninen teollisuus ja kauppa.

Talotekniikkainfo c. (2024). *SFP-opas - Opas ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähkötehon määrittämiseen, laskentaan ja mittaamiseen*. Talotekninen teollisuus ja kauppa.

Liitteet

Liite 1. Sähköposti toimeksiantajan asiakkaille ja tutkimuksen kysymykset

Hyvä vastaanottaja,

suoritan Turun ammattikorkeakoulussa ylemmän ammattikorkeakoulun tekniikan insinöörin YAMK tutkintoa hajautetun energiatekniikan linjalla.

Koulutuksen opinnäytetyötä kirjoitan toimeksiantajalleni Sweco Finland Oy:lle, tutkimusta liittyen sähkön kulutusjouston vaikutuksista LVI-tekniikkaan, jotta saamme asiakkaillemme laadittua entistäkin laadukkaampaa suunnittelumateriaalia aiheeseen liittyen sekä saamme asiakkaiden arvokkaita näkemyksiä aiheeseen liittyen selville.

Kyselyyn vastaaminen ei kestä kauaa ja siitä on asiakkaillemme ja toimeksiantajalleni suuresti hyötyä. Kyselyyn vastaamiseen menee arviolta 5–10 minuuttia. Vastaathan kyselyyn viimeistään 17.01.2025 mennessä.

Vastaajien henkilötietoja käsitellään täysin luottamuksellisesti, eikä niitä käytetä mihinkään muihin tarkoituksiin, kuin tutkimuksen tulosten analysointiin. Yhteystietoja tai muita tunnistetietoja ei säilytetä tutkimuksen valmistuttua, eikä niitä jaeta kolmansille osapuolille. Yksittäisiä vastaajia ei voida kyselystä tunnistaa. Kaikki vastaukset käsitellään anonyymisti.

Ennen kuin aloitamme kyselyn, haluan lyhyesti selventää kulutusjouston käsitettä, mikäli se ei entuudestaan ole käsitteenä tuttu.

Kulutusjoustossa tai toiselta nimeltä kysynnänjoustossa energian kulutusta ohjataan sähköverkon kuormituksen ja hinnan mukaan, mikä mahdollistaa energian kulutuksen optimoinnin varsinkin huipputuntien aikana. Tämä voi tarjota huomattavia taloudellisia etuja sähkön kulutuslaskuissa. Kulutusjoustolla

sähköverkossa ylläpidetään verkon tasapainoa. Sähköverkon taajuus laskee kysyntäpiikin aikana, ja omistaja voi saada korvausta, jos hänen kiinteistönsä osallistuu verkon tasapainotukseen kulutuksen vähentämiseksi.

LVI-järjestelmät kuluttavat sähköenergiaa mm. pumppujen, puhaltimien ja apulaitteiden osalta ja ne hyötyvät kulutusjoustosta esimerkiksi siten, että energiankulutusta siirretään ajankohtiin, jolloin sähkö on halvempaa tai sähköverkko vähemmän kuormitettu. Tämä voi laskea sähkönkulutuskustannuksia ja parantaa rakennuksen energiatehokkuutta, ilman sisäilman laadun tai työympäristön mukavuuden heikentymistä.

Tässä kyselyssä on tarkoitus kartoittaa asiakkaidemme tietoisuutta ja kokemuksia kulutusjoustopuomista mahdollisuuksista LVI-tekniikassa. Tiedustelen myös, näettekö haasteita tai esteitä kulutusjoustopuomissa toteuttamisessa sekä sitä, kuinka valmis yrityksenne olisi mahdollisesti investoimaan kulutusjoustopuomien tukeviin teknologioihin ja sen suunnitteluun. Kyselyllä pyrin saamaan selville, missä määrin asiakkaamme ovat valmiita hyödyntämään kulutusjoustopuomien talotekniikan sähköenergian kulutuksen hallinnassa omissa rakennushankkeissa tai olemassa olevissa kiinteistöissä ja mitkä seikat vaikuttavat päätöksentekoon.

Vastaamalla kyselyyn autatte meitä ymmärtämään paremmin, miten kulutusjoustopuomien koetaan käytännössä ja kuinka sen potentiaalia voitaisiin hyödyntää laajemmin LVI-järjestelmissä. Tietonne auttavat myös arvioimaan, miten taloudellisesti kannattavaa kulutusjoustopuomien käyttö voisi olla juuri teidän hankkeissanne.

Kyselyyn pääset seuraavan linkin kautta:

<https://forms.office.com/e/pt1aDkXJhG>

Kiitos ajastanne ja yhteistyöstänne!

Opinnäytetyön kyselytutkimus: Kulutusjouston vaikutukset LVI-tekniikassa

1. Oletteko ollut ennen tätä kyselyä tietoinen kulutusjouston käsitteestä?
 - a) Kyllä, todella tietoinen
 - b) Jossain määrin tietoinen
 - c) Olen kuullut käsitteestä, mutta en tunne tarkasti
 - d) En ole tietoinen käsitteestä

2. Kuinka tärkeänä pidätte energiatehokkuuden optimointia LVI-järjestelmissä omissa hankkeissanne tai kiinteistöissänne? Arvioikaa asteikolla 1–5
1 (ei lainkaan tärkeä) – 5 (erittäin tärkeä)

3. Onko yrityksenne tai organisaationne aiemmin toteuttanut tai suunnitellut kulutusjoustoja hyödyntäviä ratkaisuja LVI- järjestelmistä?
 - a) Kyllä
 - b) Ei

4. Mikäli olette toteuttaneet tai suunnitelleet sähkön kysynnänjoustoja LVI-järjestelmistä, niin mistä olette joustoja tehneet tai suunnitelleet?
 - a) Ilmanvaihtojärjestelmät
 - b) Lämmitysjärjestelmät
 - c) Jäähdytysjärjestelmät
 - d) Vesi- ja viemärijärjestelmät
 - e) Ei ole toteutettu
 - f) Muu

5. Mitkä ovat mielestänne suurimmat haasteet kulutusjouston toteuttamisessa LVI-järjestelmissä?
- a) Kustannukset ja budjetointiin liittyvät kysymykset
 - b) Tekniset yhteensopivuusongelmat olemassa olevien järjestelmien kanssa
 - c) Tarvittava asiantuntijatiedon puute
 - d) Tilaajan, käyttäjien tai loppuasiakkaiden vastustus tai epäluulot
 - e) Ei haasteita
 - f) Muita haasteita?
6. Millaisia ongelmia olette mahdollisesti kohdanneet LVI-tekniikan toimivuudessa joustojen aikana, kun sähkötehoa on kiinteistöä alennettu?
- a) Sisäilman laadun heikkeneminen
 - b) Lämpötilatasojen liiallinen lasku tai nousu
 - c) Hallitsemattomat painesuhteet
 - d) Ääniongelmat
 - e) Ei ole havaittu ongelmia
 - f) Muita haasteita?
7. Kuinka hyvin LVI-järjestelmät mielestänne palautuvat normaalitilaan kulutusjouston jälkeen? Arvioikaa asteikolla 1–5
1 (erittäin heikosti) – 5 (erittäin hyvin)
8. Kuinka suuren mahdollisuuden näette kulutusjoustolla kiinteistöjen sähköenergiakustannusten vähentämisessä? Arvioikaa asteikolla 1–5
1 (ei lainkaan mahdollisuutta) – 5 (erittäin suuri mahdollisuus)


9. Koetteko, että kulutusjousto voi parantaa rakennuksen energiatehokkuutta ilman merkittäviä vaikutuksia sisäilman laatuun tai työntekijöiden mukavuuteen sisätiloissa?
- Kyllä
 - Ehkä
 - Ei
 - En osaa sanoa
10. Kuinka tärkeitä seuraavat kohdat ovat, kun harkitsette kysynnänjouston ratkaisuja. (Arvioi asteikolla 1-5, missä 1=ei ollenkaan tärkeä, 5 = erittäin tärkeä)
- Kustannussäästöt ja energiatehokkuus
 - Skaalautuvuus ja joustavuus eri rakennustyyppeihin
 - Sisäilmaston laatu
 - Järjestelmien automaatio
 - Järjestelmien yhteensopivuus ja integrointi
 - Takaisinmaksuaika ja investoinnin kannattavuus
11. Kuinka tärkeäksi koette kulutusjouston mahdollisuudet osana yrityksenne strategista suunnittelua energiatehokkuuden suhteen? Arvioikaa asteikolla 1–5
- 1 (ei lainkaan tärkeä) – 5 (erittäin tärkeä)
12. Miten arvioisitte yrityksenne valmiuden toteuttaa kulutusjoustoja LVI-järjestelmistä? Arvioikaa asteikolla 1–5
- 1 (ei lainkaan valmis) – 5 (erittäin valmis)
13. Miten LVI-järjestelmien automaatio ja säätöjärjestelmät voisivat mielestänne paremmin tukea sähkön kysynnänjouston toteutusta?
14. Millaisia ratkaisuja tai laitepäivityksiä pidätte tarpeellisina LVI-järjestelmien optimoimiseksi sähkön kysynnänjouston vaatimuksiin?

15. Onko teillä kokemusta tai käsitys että ylimääräinen panostus kysyntäjouaston suunnittelussa tai toteutuksessa olisi verrattain kannattava investointi, eli se maksaisi itsensä takaisin kohtuullisessa ajassa?
- a) Kyllä
 - b) Ei
 - c) En osaa sanoa
 - d) Muu?
16. Minkälaista tietoa tai palveluita toivoisitte liittyen kysynnäjouaston optimointiin?
- a) Kustannushyötyanalyysit ja takaisinmaksuaikojen laskelmat
 - b) Tekninen konsultointi
 - c) Energiatehokkuuden simulointi ja laskenta
 - d) Esiselvitykset ja tarvekartoitukset
 - e) Ei tiedon tai palvelun tarvetta
 - f) Jokin muu?
17. Kuinka kiinnostuneita olette hyödyntämään ulkopuolista suunnittelu ja konsultointiapua kysynnäjouaston hankkeissa?
- a) Todella kiinnostunut- haluamme ulkopuolista tukea asiantuntijoilta
 - b) Kiinnostunut- harkitsemme ulkopuolisen kumppanin käyttöä
 - c) Jonkin verran kiinnostunut- tarvitsemme lisätietoa ennen päätöksentekoa
 - d) Ei kiinnostusta

18. Vapaa sana aiheeseen liittyen

-

Kiitos ajastanne! Kysely on päättynyt



Yhtiön nimi:
Luotu:
Puhelin:

Päiväys: 2.1.2025

97924299 MAGNA3 65-150 F 50 Hz

Syöttötieto

Mitoita	Pumppuperhe
Valitse pumppusarja	MAGNA
Matka	Standard
Valitse tuoteryhmä	MAGNA3

Elinkaarikustannuksen laskenta

Kulutusprofiili	Vakioprofiili
Lämmityskausi	365 pvää
Pienennetty yöaikainen käyttö	Ei
Säätötapa	Suhteellinen paine
Pienennä alhaisella virtaamalla	50 %
Energian hinta	0.18 EUR/kWh
Energian hinnannousu	6 %
CO ₂ -päästöintensiteetti	0.11 kg/kWh
Laskentajakso	15 v.
Miten tarkan elinkaarikustannus analyysin haluat?	Yksinkertainen LCC-analyysi

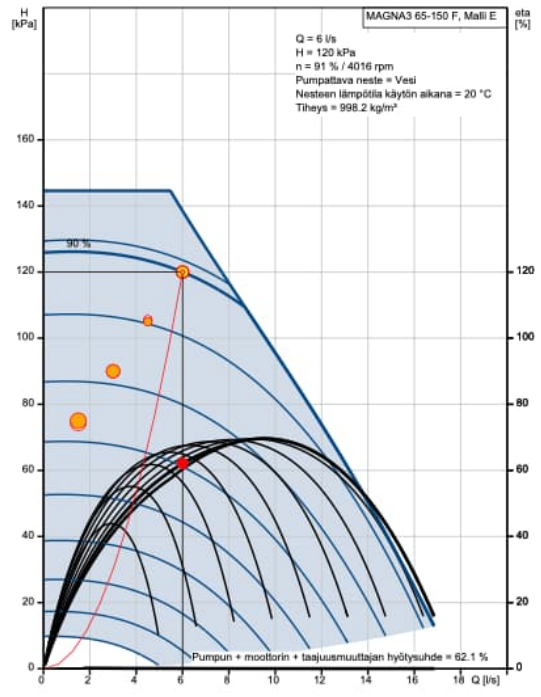
Kulutusprofiili

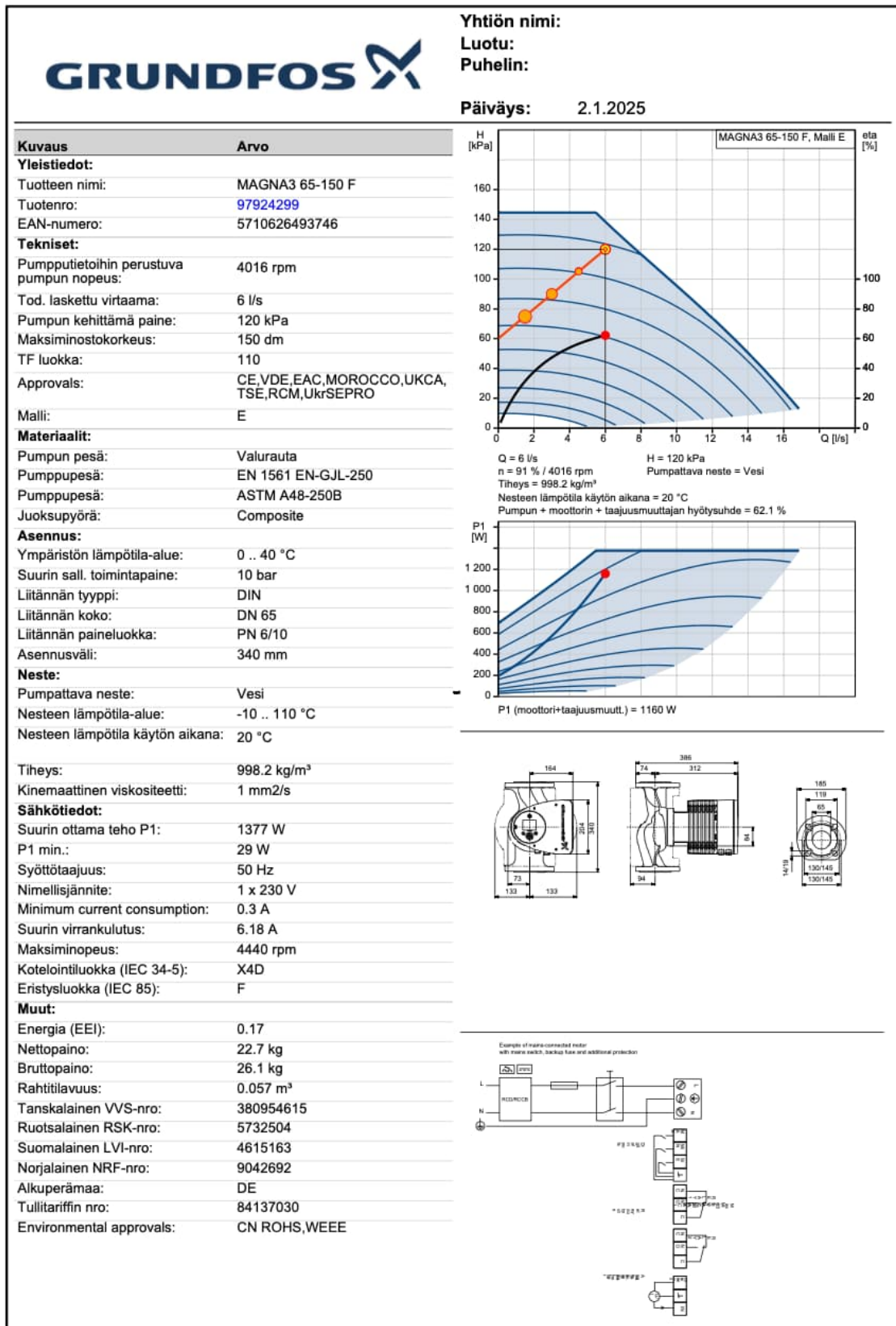
	1	2	3	4
Virtaama (%)	25	50	75	100
Virtaama (l/s)	1.5	3	4.5	6
Nostokorkeus (%)	63	75	88	100
Nostokorkeus (kPa)	75.01	90.01	105	120
P1 (kW)	0.359	0.571	0.837	1.16
kokhyötysuh. (%)	31.4	47.3	56.5	62.1
Aika (h/a)	3855	3066	1314	525
Kulutus (kWh/Vuosi)	1383	1752	1100	609
Määrä	1	1	1	1

Mitoitustulokset

Malli	MAGNA3 65-150 F
Määrä	1
Moott.	

Virtaama	6	l/s
Nostokorkeus	120	kPa
Teho P1	1.16	kW
Toimintapisteessä vaadittava teho P2	1.16	kW
Pumpun eta	62.1	%
Eta aggregate	62.1	% =Eta pump * Eta motor
Kulutus	4843	kWh/vuosi
CO ₂ päästöt	547	kg/Vuosi
Hinta	5.321,00	
Elinkaarik.	26216	€/15Vuod.







Yhtiön nimi:

Luotu:

Puhelin:

Päiväys: 2.1.2025

97924299 MAGNA3 65-150 F 50 Hz

Syöttötieto

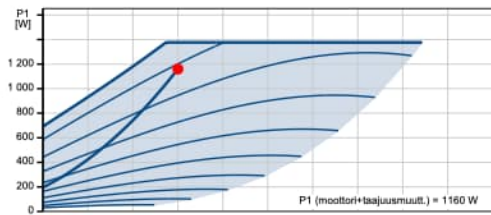
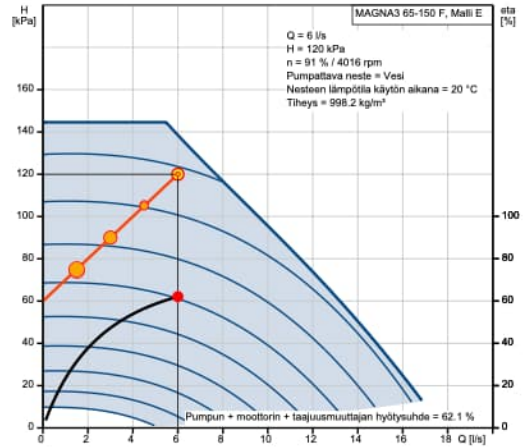
Mitoita	Pumppuperhe
Valitse pumppusarja	MAGNA
Matka	Standard
Valitse tuoteryhmä	MAGNA3
Elinkaarikustannuksen laskenta	
Kulutusprofiili	Vakioprofiili
Lämmityskausi	365 pvää
Pienennetty yöaikainen käyttö	Ei
Säätötapa	Suhteellinen paine
Pienennä alhaisella virtaamalla	50 %
Energian hinta	0.18 EUR/kWh
Energian hinnannousu	6 %
CO ₂ -päästöintensiteetti	0.11 kg/kWh
Laskentajakso	15 v.
Miten tarkan elinkaarikustannus analyysin haluat?	Yksinkertainen LCC-analyysi

Kulutusprofiili

	1	2	3	4
Virtaama (%)	25	50	75	100
Virtaama (l/s)	1.5	3	4.5	6
Nostokorkeus (%)	63	75	88	100
Nostokorkeus (kPa)	75.01	90.01	105	120
P1 (kW)	0.359	0.571	0.837	1.16
kokhyötysuh. (%)	31.4	47.3	56.5	62.1
Aika (h/a)	3855	3066	1314	525
Kulutus (kWh/Vuosi)	1383	1752	1100	609
Määrä	1	1	1	1

Mitoitustulokset

Malli	MAGNA3 65-150 F
Määrä	1
Moott.	
Virtaama	6 l/s
Nostokorkeus	120 kPa
Teho P1	1.16 kW
Toimintapisteessä vaadittava teho P2	1.16 kW
Pumpun eta	62.1 %
Eta aggregate	62.1 % =Eta pump * Eta motor
Kulutus	4843 kWh/vuosi
CO ₂ päästöt	547 kg/Vuosi
Hinta	5.321,00
Elinkaarik.	26216 €/15Vuod.



Liite 3. Intervent puhallinmitoitus



Flexomix

Puhallinkäyrät

Projektin nimi
Koneen tunnus
Koko

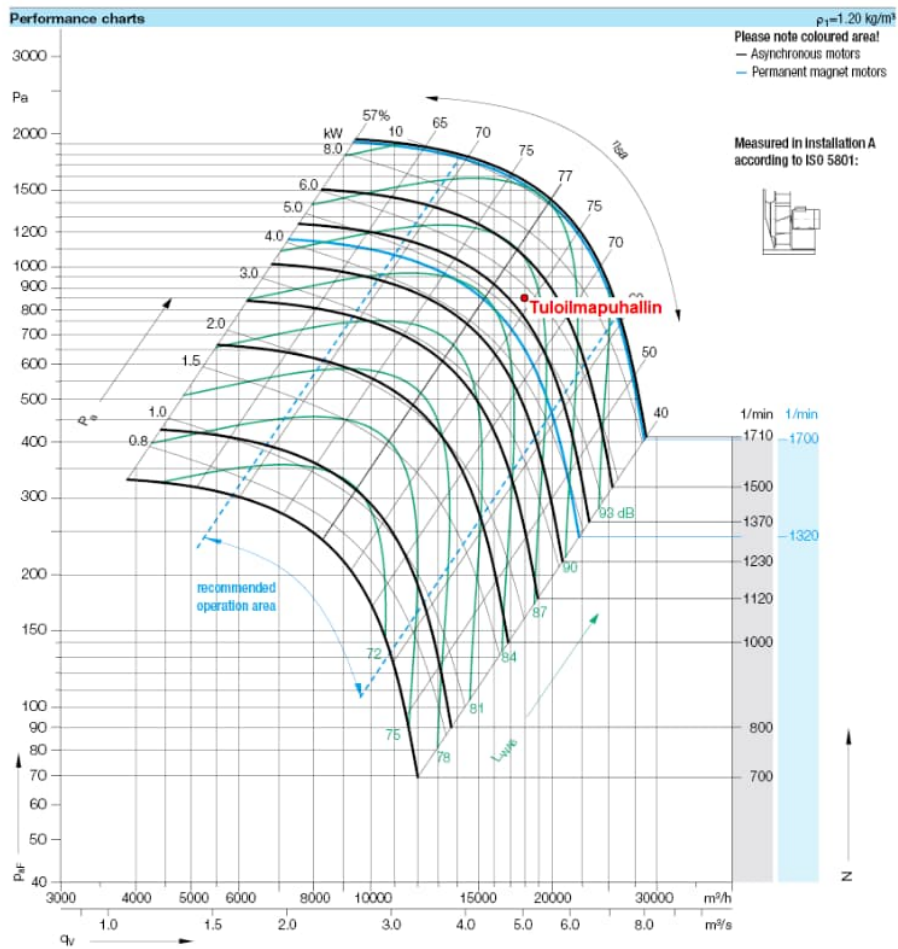
Puhallin mitoituksia
Ilmastointikone1
600 5,00 m³/s



Toimintapiste / puhallin. 1 / 1 tuloilma.

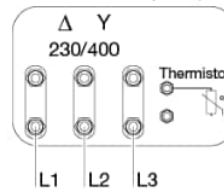
NICOTRA Gebhardt

RLM E6-6371

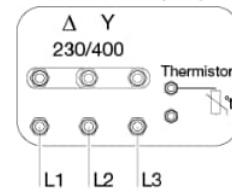


Tuloilma
 Ilmamäärä 5,00 m³/s
 Kokonaispainehäviö 846 Pa
 Puhallinkierrosnopeus 1402 r/m
 Moottoriteho 11,00 kW
 Max. kierrokset 1685 r/m
 Puhallintyyppi 071G-13S1-1100
 K-arvo 7,24
 Ilmamäärämittaukselle

3x230 V - Δ (Delta)



3x400 V - Y (Star)



Tekijä: JLi
 17.1.2025 12.46.16

IV Produkt Designer G3 Versio 305.27.9.0 10.1.2025
 Laskettu versiolla 305.27.9.0



Flexomix

Puhallinkäyrät

Projektin nimi
Koneen tunnus
Koko

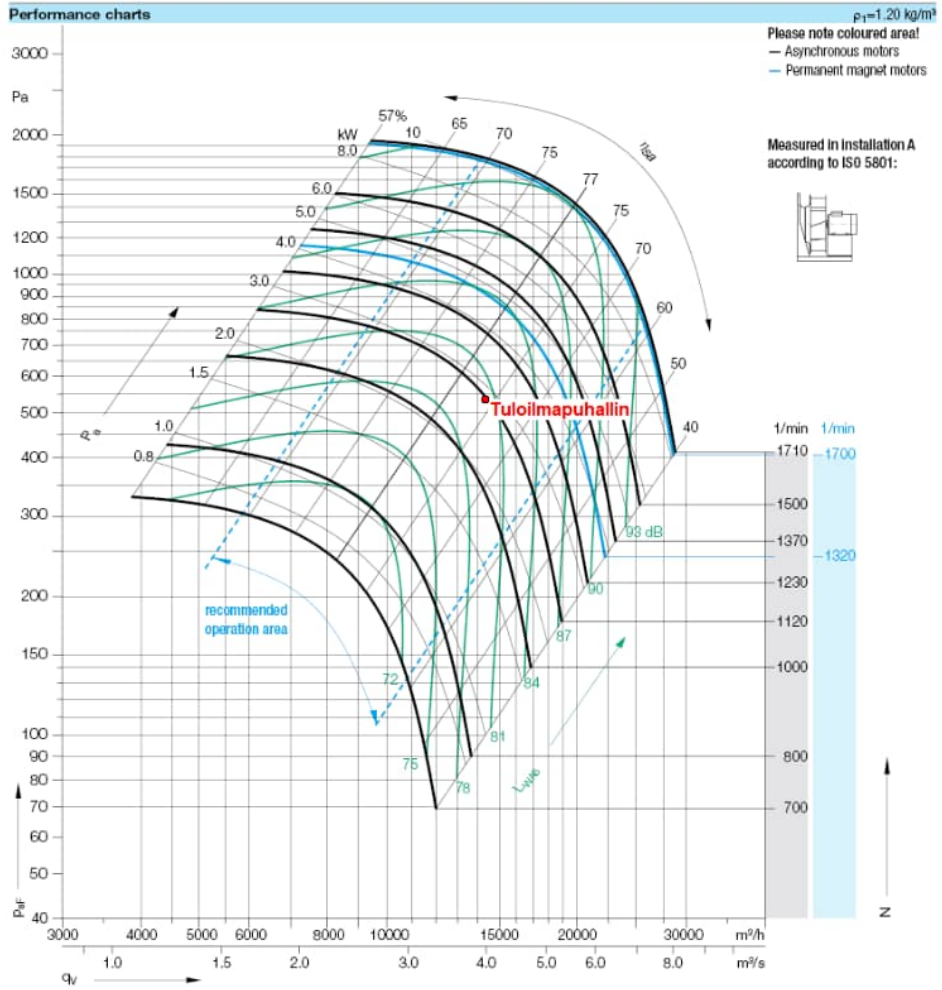
Puhallin mitoituksia
Ilmastointikone1 50%
600 3,97 m³/s



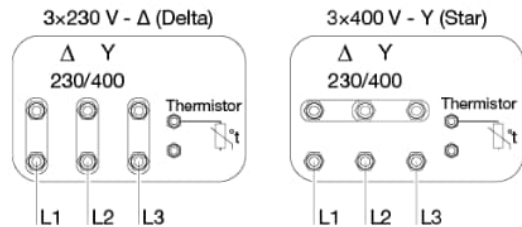
Toimintapiste / puhallin. 1 / 1 tuloilma.

NICOTRA Gebhardt

RLM E6-6371



Tuloilma	
Ilmamäärä	3,97 m³/s
Kokonaispainehäviö	533 Pa
Puhallinkierrosnopeus	1113 r/m
Moottoriteho	11,00 kW
Max. kierrokset	1685 r/m
Puhallintyyppi	071G-I3S1-1100
K-arvo	7,24
ilmamäärämittaukselle	



Tekijä: JLi
17.1.2025 12.46.17

IV Produkt Designer G3 Versio 305.27.9.0 10.1.2025
Laskettu versiolla 305.27.9.0



Flexomix

Puhallinkäyrät

Projektin nimi
Koneen tunnus
Koko

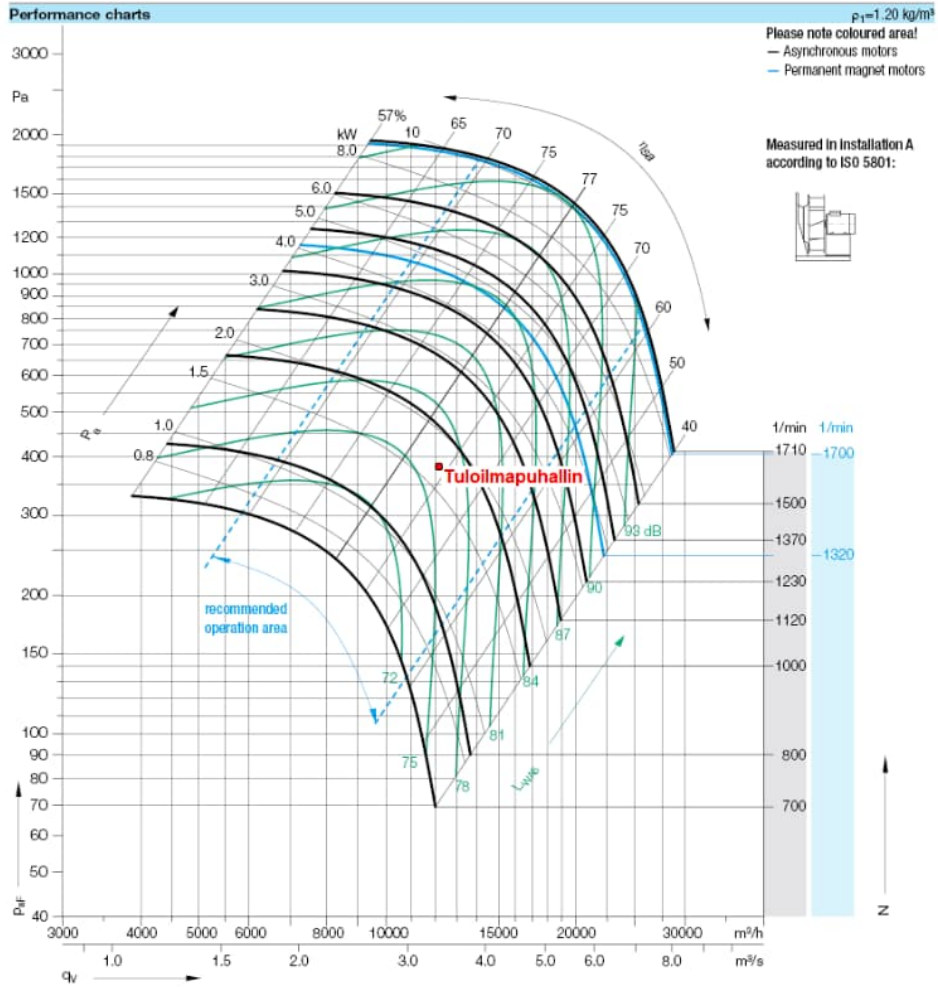
Puhallin mitoituksia
Ilmastointikone1 30%
600 3,35 m³/s



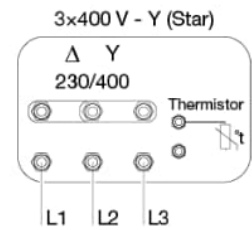
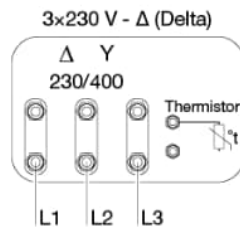
Toimintapiste / puhallin. 1 / 1 tuloilma.

NICOTRA/Gebhardt

RLM E6-6371



Tuloilma
Ilmamäärä 3,35 m³/s
Kokonaispainehäviö 380 Pa
Puhallinkierrosnopeus 939 r/m
Moottoriteho 11,00 kW
Max. kierrokset 1685 r/m
Puhallintyyppi 071G-I3S1-1100
K-arvo 7,24
ilmamäärämittaukselle



Tekijä: JLi
17.1.2025 12.46.18

IV Produkt Designer G3 Versio 305.27.9.0 10.1.2025
Laskettu versiolla 305.27.9.0