

Jori Pihl

Energiatehokkuustoimenpiteiden vaikutus sisäilmaolosuhteisiin koulurakennuksessa

Opinnäytetyö
Talotekniikka insinööri (YAMK)

2022



**Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu**

Tekijä/Tekijät	Tutkinto	Aika
Jori Pihl	Insinööri (YAMK)	Toukokuu 2022
Opinnäytetyön nimi		
Energiatehokkuustoimenpiteiden vaikutus sisäilmaolosuhteisiin koulurakennuksessa		100 sivua 19 liitesivua
Toimeksiantaja		
Kotkan kaupunki, Toimitilahallinto		
Ohjaajat		
Johanna Arola & Risto Karnaattu		
Tiivistelmä		
<p>Opinnäytetyössä tutkittiin kiinteistön ilmanvaihdon käyttötapojen ja sisälämpötilojen vaikutusta energiankulutukseen ja sisäilmaolosuhteisiin. Työssä valittiin yksi Kotkan kaupungin alakoulu, johon asennettiin sähkö- ja lämpöenergiamittauksia sekä sisäilmaa mittaavia antureita koko koulun alueelle. Ilmanvaihdon ilmavirtoja ja kiinteistön sisälämpötilaa muutettiin suunnitellun aikataulun mukaisesti koulun käyttöajan ulkopuolella.</p> <p>Työn tuloksena laskettiin energian säästöä eri ilmavirroilla vuosittaisista sähkö- ja lämmitysenergiankulutuksista. Ilmanvaihto koneiden sammuttamisella koulun käyttöajan ulkopuolella voidaan saavuttaa jopa noin 50%:n säästö energiankulutuksessa. Ilmanvaihdon sammuttamisella ja jaksottaisella käytöllä käyttöajan ulkopuolella ei tutkimuksessa havaittu olevan vaikutusta koulun käyttöajan sisäilmaolosuhteisiin kuten sisälämpötiloihin, kosteuksiin, CO₂-pitoisuuksiin tai paine-eroihin rakennuksen vaipan yli.</p> <p>Työn tuloksena laadittiin selkeä ohjeistus siitä, miten kiinteistön ilmanvaihtoa ja sisälämpötilaa voidaan kiinteistöautomaation avulla säätää eri käyttötilanteissa. Ohjeistuksen mukaisella käytöllä voidaan lisäksi saavuttaa kaupungin energiatehokkuussopimuksien tavoitteet tuleville vuosille koko kiinteistökannassa ja vähentää CO₂-päästöjä rakennusten energiankäytössä merkittävästi.</p>		
Asiasanat energiatehokkuus, ilmanvaihto, ohjeistus		

Author (authors)	Degree	Time
Jori Pihl	Master of engineer	May 2022
Thesis Title		
Influence of energy efficiency on indoor climate in school building		100 pages 19 pages of appendices
Commissioned by		
City of Kotka, Toimitilahallinto		
Supervisors		
Johanna Arola & Risto Karnaattu		
Abstract		
<p>This master's thesis investigated the effect of air condition and indoor temperatures on energy consumption and indoor air conditions. One primary school in the city of Kotka was selected for the study, where electrical and thermal energy measurements and indoor air sensors were installed in the entire school area. Ventilation airflows and the internal temperature of the property were changed according to the planned schedule outside of school hours.</p>		
<p>As a result of the work, energy savings at different airflows from the annual electricity and heating energy consumption were calculated. By switching off the ventilation machines outside of school hours, savings in energy consumption of up to about 50% can be achieved. Ventilation shutdown outside of operating hours was not found to have an effect on indoor air conditions during school operation, such as indoor temperatures, humidity, CO₂ concentrations, or pressure differences across the building envelope.</p>		
<p>As a result of the work, clear instructions were drawn up on how the ventilation and indoor temperature of the property can be adjusted in different operating situations with the help of building automation. In addition, the use in accordance with the guidelines can help achieve the goals of the city's energy efficiency agreements in the coming years in the entire property portfolio and significantly reduce CO₂ emissions in the energy use of the buildings.</p>		
Keywords		
energy efficiency, indoor climate, instructions		

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	7
1.1	Kotkan kaupunki, Toimitilahallinto	7
1.2	Työn taustat	7
1.3	Työn rajausta ja tavoite	8
2	SISÄILMA-ARVOJEN OHJEISTUKSET	9
2.1	Ministeriön asetukset ja ohjeet	9
2.1.1	Ympäristöministeriön asetukset ja ohjeet	9
2.1.2	Sosiaali- ja Terveysministeriön asetukset ja ohjeet	11
2.1.3	Sisäilmastoluokitus 2018	15
2.2	Motivan ohjeistus ja energialaskenta	18
2.2.1	Rakennusten lämmityksen ohjeistus	18
2.2.2	Rakennusten energiankäytön CO ₂ -päästölaskenta	19
2.2.3	Rakennusten energiankulutuksen laskenta	21
3	TUTKIMUSTIETOA JA RATKAISUJA RAKENNUSTEN SISÄILMAAN JA ENERGIATEHOKKUUTEEN LIITTYEN	22
3.1	Ilmanvaihdon käyttötasojen vaikutukset	22
3.1.1	Kuntien opas ilmanvaihdon käyttöön	22
3.1.2	Ilmanvaihdon käyttöaikojen vaikutus työolosuhteisiin	26
3.1.3	Koulurakennuksien ilmanvaihdon käyttötapojen vaikutukset	29
3.2	Palveluja rakennuksen energiatehokkuuden hallintaan	31
3.2.1	Optiwatti Oy	31
3.2.2	Nuuka solution Oy	13

4	RAKENNUSTEN ENERGIATEHOKKUUS JA SISÄILMA KOTKASSA	34
4.1	Lähtötilanne Kotkassa	34
4.2	Aittakorven koulu.....	37
4.3	Kohteen rajausta	39
5	TUTKIMUSMENETELMÄT JA -JÄRJESTELYT	40
5.1	Esivalmistelut	40
5.1.1	Järjestelmien tarjouspyynnöt	40
5.1.2	Kanaviston puhdistus, mittaus- ja säätötyö	41
5.2	Optiwatti-järjestelmän asennus ja käyttöönotto	42
5.3	Nuuka-järjestelmän asennus ja käyttöönotto.....	45
6	OLOSUHDESIMULOINNIN AIKATAULU JA MITTAUKSET	50
6.1	Käyttöönotto ja järjestelyt	50
6.2	IV-koneiden aikataulut	51
6.3	Lämpötila pudotuksien aikataulut	52
7	ENERGIASIMULOINNIN TULOKSET	54
7.1	Energian kulutukset ja vaikutukset CO ₂ -päästöihin	54
7.1.1	Ilmamäärien pienennysten vaikutus sähkönkulutukseen.....	54
7.1.2	Ilmamäärien pienennysten vaikutus IV-verkostoon	58
7.1.3	Ilmamäärien pienennysten vaikutus patteriverkostoon.....	63
7.1.4	Huonelämpötilojen pudotusten vaikutus patteriverkostoon	67
7.1.5	Huonelämpötilojen pudotusten vaikutus IV-verkostoon.....	70
7.2	Sisäilmaolosuhteiden analysointi	72
7.2.1	Ilmamäärien pienennysten vaikutus sisäilman lämpötilaan ja kosteuteen.....	72
7.2.2	Ilmamäärien pienennysten vaikutus sisäilman CO ₂ -pitoisuuteen ..	77
7.2.3	Lämpötilojen pudotuksien vaikutus sisäilmaan.....	80

7.2.4 Ilmamäärien pienennysten vaikutus paine-eroihin.....	83
8 TOIMENPITEIDEN VAIKUTUKSIEN ARVIOINTI JA OHJEISTUS	86
8.1 Energiatehokkuustoimenpiteiden arviointi	86
8.1.1 Ilmamäärien pienennykset.....	86
8.1.2 Lämpötilojen pudotukset	90
8.1.3 Energiansäästötoimenpiteiden vaikutus käyttötilojen olosuhteisiin	93
8.2 Energiatehokkuus toimenpiteiden ohjeistus	94
8.2.1 IV-koneisiin liittyvät käyntiajat ja ilmavirrat.....	94
8.2.2 Lämmitysjärjestelmiin liittyvät huonelämpötilojen pudotukset.....	95
9 TYÖN MERKITYS	96
LÄHTEET	98

LIITTEET

- Liite 1. Ilmanvaihtojärjestelmän säädön prosessi
- Liite 2. Energiasimuloinnin aikataulu
- Liite 3. Sähköenergiankulutuksen laskenta
- Liite 4. TK1:n lämpöenergiankulutuksen laskenta
- Liite 5. TK2:n lämpöenergiankulutuksen laskenta
- Liite 6. Patteriverkoston energiankulutuksen laskenta
- Liite 7. Vesihöyryn kyllästyspitoisuus
- Liite 8. Ohje kiinteistöjen ilmanvaihdon käytölle

1 JOHDANTO

1.1 Kotkan kaupunki, Toimitilahallinto

Työn toimeksiantajana toimii Kotkan kaupunki ja toimitilahallinto. Toimitilahallinto omistaa ja isännöi kaupungin kiinteistöjä ja tuottaa niihin kiinteistönhoitopalveluja. Kotkan kaupungin teknisten palveluiden vastuualueeseen kuuluu teknisen toimialan palveluiden tuottaminen kuntalaisille suunnitelmallisesti ja taloudellisesti. Teknisten palveluiden henkilöstön määrä oli vuoden 2021 alussa noin 400 henkilöä, joista toimitilahallinnossa työskentelee neljä ihmistä. Teknisten palveluiden vastuualue jakautuu seuraaviin palvelualueisiin tehtäväkokonaisuuksittain: suunnitteluun, rakennuttamiseen, ylläpitoon ja Etelä-Kymenlaakson henkilökuljetusyksikköön. (Kotkan kaupunki 2021a.)

Toimitilahallinnon palvelualue vastaa pääsääntöisesti kaupungin omistamien rakennusten ylläpidosta ja kiinteistönhoidosta sekä sovittaessa oheispalveluista. Rakennuttamisen palvelualue vastaa tilahankkeiden sekä infran rakennuttamisesta, katujen ja muiden yleisten alueiden sekä niihin liittyvien laitteiden ja teollisuusraiteiden sekä maa- ja vesirakenteiden rakennuttamisesta. Henkilöstön tehtävänä on vastata sovittujen talo- ja infrahankkeiden läpivientiin liittyvien rakennuttajapalveluiden hoitamisesta. Talokunnossapidon palvelualue vastaa rakennusten kunnossapidosta, peruskorjauksesta ja rakentamisesta sekä kiinteistöautomaatiosta ja kiinteistöjen päivystyksistä. (Kotkan kaupunki 2021a.)

1.2 Työn taustat

Kiinteistöjen energian kulutukseen kiinnitetään yhä enemmän huomiota ja kuluista pyritään optimoimaan rakennuksen käyttöasteen ja käyttöajan mukaan. Rakennuksien ja kiinteistökannan energian kulutuksen vähentäminen on osa Kotkan kaupungin ilmasto-ohjelma 2021 tavoitetta. Kuntien energiatehokkuussopimuksen (KETS) tavoitteena Kotkassa on 7,5 %:n energiankulutuksen säästö vuoden 2016 kulutustasosta vuoteen 2025 mennessä. Lisäksi rakennusten energiankulutuksen pieneneminen tukee osaltaan kaupungin sitoutumista kohti hiilineutraalia kuntaa Hinku-hankkeessa. Hankkeen tavoitteena 80 %:n päästövähennys vuoteen 2030 mennessä vuoden 2007 kulutustasosta. (Kotkan kaupunki 2021b.)

Energiatehokkuustoimenpiteiden vaikutuksista sisäilman olosuhteisiin tarvitaan enemmän tietoa ja käyttökokemusta. Tällaisia toimenpiteitä ovat ilmavirtojen pudotukset käyttöajan mukaan, lämpötilojen pudotukset käyttöajan ulkopuolella sekä ilmanvaihdon pysäytys kokonaan käyttöajan ulkopuolella. Kotkan kaupungin kiinteistöissä ilmanvaihtokoneet toimivat tällä hetkellä pääsääntöisesti täysillä ilmavirroilla. Vanhemmissa kiinteistöissä sisäilmaan liittyvät ongelmat ja laitteiston heikko säädettävyys puoltavat ilmanvaihdon toimintaa täydellä teholla. Uusimmissa rakennuksissa takuuajalla materiaalipäästöjen takia ilmavirtoja ei pudoteta. Varsinkin koulu- ja päiväkotikohteissa käyttöajan ulkopuolella, öisin, viikonloppuisin ja loma-aikoina, on paljon potentiaalia pudottaa ilmavirtoja sekä sisälämpötiloja. (Karnaattu 2019.)

1.3 Työn rajaus ja tavoite

Työn tavoitteena on laatia selkeä ohjeistus siitä, miten kiinteistön ilmanvaihtoa ja sisälämpötilaa voidaan kiinteistöautomaation avulla säätää eri käyttötilanteissa. Ohjeistus on tarkoitettu toimitilahallinnon ohjeeksi kiinteistöautomaation henkilökunnalle sekä hankesuunnittelun tueksi tuleviin peruskorjaus- ja uudisrakennushankkeisiin. Ohjeistuksella halutaan myös varmistaa, että sisäilman laatu käyttäjälle täyttää sille asetetut vaatimukset ja että käyttäjät kokevat sisäilman hyväksi. Samalla varmistetaan, että rakennuksen kannalta oikeat olosuhteet toteutuvat.

Energian kulutuksen osalta tavoitteena on sekä puhallintehosta säästyvä sähköenergian säästö että IV-koneen jälkilämmityspatterin lämpöenergian säästö (kaukolämpö). Huoneiden lämpötilan pudotuksella haetaan lisäksi lämpöenergian säästöä patteriverkostosta. Näiden syntyneiden energiankulutussäästöjen avulla voidaan laskea, miten merkittävä vaikutus kiinteistöjen käyttöajan ulkopuolisella käyttötavalla on koko kiinteistökannan energiankulutukseen ja niistä laskettuihin CO₂-päästöihin.

Työssä tullaan myös keräämään hyödyllistä tietoa mittaus- ja datankeräysmenetelmistä ja -järjestelmistä, joita tarvitaan jatkossa varmistamaan olosuhteiden pysyvyys kiinteistöissä. Ohjeistuksessa määritellään lisäksi, mikä on riittävä määrä

mittausdataa kiinteistöstä, jotta sisäilmaolosuhteita pystytään valvomaan ja varmistamaan rakennuksen tarkoituksenmukaiset olosuhteet sen elinkaaren aikana. Työn tuloksena saadaan myös arvokasta tietoa olosuhdemittausten kustannuksista sekä sen mahdollisuudesta liittää osaksi rakennusautomaatiojärjestelmää tai kiinteistön sähköistä huoltokirjaa.

2 SISÄILMAN OHJEARVOT

2.1 Ministeriön asetukset ja RT-kortit

2.1.1 Ympäristöministeriön asetukset ja ohjeet

Ilmanvaihdon avulla yleisesti pyritään poistamaan sisäilmasta epäpuhtauksia sekä hallita kosteutta ja sisäilman lämpötiloja. Ilmanvaihdon on myös merkittävä vaikutus sisäilmaolosuhteisiin yhdessä kiinteistöjen lämmitysjärjestelmän, rakenteiden tiiveyden ja materiaalipäästöjen kanssa. Koneellisessa tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmässä tuloilman lämpötilalla voidaan myös hallita ilman sekoittuvuutta huoneilmaan ja jäähdytyskaudella tuloilmaa jäähdyttämällä viilentää huonetiloja. Lämmityskaudella tuloilmaa joudutaan lämmittämään huolimatta varsin tehokkaista LTO-laitteista. Tästä syystä ilmanvaihdon ilmavirroilla ja lämpötiloilla on suuri merkitys kiinteistön energian kulutuksessa. (Finvac ry 2018.)

Ympäristöministeriön asetuksissa (1009/2017) ilmanvaihdon mitoittamiseen on julkaistu Finvac Ry:n tuottama opas ilmavirtojen mitoittamiseen muissa kuin asuinrakennuksissa. Tämä opas on korvannut aiemman Suomen rakennusmääräyskoelman ohjeet ja määräykset (D2/2012-ohjeen), jotka korvattiin uusilla asetuksilla vuoden 2018 alussa. Oppaassa ulkoilmavirta määräytyy ensisijaisesti henkilöperusteen mukaan ja toinen mitoittava tekijä on rakennuksen huonekohtainen pinta-ala tai laitteiden ja kalusteiden määrään perustuva mitoitus. Ohjearvot ovat taulukoitu eri rakennustyypeille erikseen ja ne on esitetty alla olevassa taulukossa 1 opetusrakennuksille mukaan lukien päiväkodit. (Finvac ry 2018.)

Taulukko 1. Ilmanvaihdon ohjeavot opetusrakennuksille (Finvac ry 2018)

Tila / käyttötarkoitus	Ulkoilma- virta dm ³ /s,hlö	Ulkoilma- virta dm ³ /s,m ²	Poistoilma- virta dm ³ /s,m ²	Muita ohjeita
Koulurakennus	6			Oppilaiden, opettajien ja muun henkilöstön kokonaismäärän perusteella
Opetustilat (luokkahuoneet, pienryhmätilat jne.)	6	3		Taide- ja taitoaineet vähintään 8 dm ³ /s,hlö
Opettajainhuoneet		2		
Käytävät ja aulat		3		
Käytävät ja aulat, jotka on tarkoitettu vain läpikulkun		1		
Ulkovaatteiden säilytystilat			3	
Sali, liikuntakäyttö		2		Suurimpaan ilmanvaihtoon johtava kriteeri määrää mitoituksen, ilmanvaihdon on oltava ohjattavissa salin käytön mukaan
Sali, juhlasalikäyttö	6			
Liikuntasali / katsomo	6 dm ³ /s,katsomopaikka			Mitointu ja ilmanvaihdon ohjaus katsojamäärän mukaan
Sali, urheilutapahtumat	15-30	2-4		LVI 06-10600 ¹⁾ ; ohjeavot lajikohtaisesti, ks. myös taulukko 3.9.1
Luentosali	6 dm ³ /s,paikka			Ilmanvaihdon ohjaus käytön ja tarpeen mukaisesti
Kirjastot, toimistotilat		2		
Ruokailutilat	6	3		Ruokailutilat voivat olla ruokailuajojen ulkopuolella opetuskäytössä
Päiväkotien toimintatilat (ryhmätilat, lepoahuoneet, salit, pienryhmätilat, eteistilat)	6	3		
Päiväkotien henkilökuntatilat		2		
Päiväkodin märkäeteinen			5	
Keittiö	ks. taulukko 3.13.1 Keittiöt ja niiden aputilat			
Hygieniatilat				ks. taulukko 3.14.1 Tiloja, joita on monessa rakennustyyppissä kuten hygieniatilat

Opetusrakennuksien ilmavirrat mitoitetaan henkilöperusteisesti vähintään 6 l/s/henkilö tai taulukon 1 huonekohtaisia vähimmäisilmavirtoja noudattaen. Kuitenkin taide- ja taitoaineiden opiskelutilat sekä ammattiopetustilat mitoitetaan epäpuhtauksien takia vähintään 8 l/s/henkilö. Kaikille alueille on kuitenkin johdettava vähimmäis ulkoilmavirta 0,35 l/s,m². Lisäksi opas painottaa erillispoistojen korvausilmareittien tärkeyttä eli kohdepoistojen käynnistys ja päällä olo ei saa aiheuttaa tiloissa epätasapainoa rakennuksen painesuhteisiin. Siirtoilmareittien painehäviö ei saisi nousta yli 5 Pa. (Finvac ry 2018.)

Oppaassa annetaan lisäksi ohjearvo rakennuksen käyttöajan ulkopuoliselle ilmapuolelle. Käyttöajan ulkopuolella, muun kuin asuinrakennuksen vähimmäis ulkoilmavirta, on keskimäärin oltava 0,15 l/s,m². Ilman pitää tällöin vaihtua kaikissa huonetiloissa ja rakennuksen paine-erojen pitää pysyä tasapainossa. Lisäksi oppaassa ohjeistetaan suunnittelemaan rakennus pidettäväksi käynnissä käyttöajan ilmapuolella pienemmällä ilmapuolella tai sitten jaksoittain niin, että vähimmäis ulkoilmavirta 0,15 l/s,m² toteutuu keskimääräisesti. Jaksoittaisessa käynnissä on erityisesti kiinnitettävä huomiota rakennuksen paine-eron tasapainoon. (Finvac ry 2018.)

Ilmanvaihto on myös mitoitettava niin, että tilan laskennallinen hiilidioksidipitoisuus ei ylitä ulkoilman hiilidioksidipitoisuutta 800 ppm:llä. Tarpeenmukaista ilmanvaihtoa voidaan myös käyttää, mutta silloin ilmapuoleiden ohjaukseen on käytettävä indikaattorina esim. henkilö määrää, hiilidioksidipitoisuutta tai läsnäolotunnistinta. Tarpeenmukaisessa ohjauksessa on otettava huomioon ilmanvaihdon viive, eikä hiilidioksidipitoisuus saisi nousta yli mainitun 800 ppm-arvon ulkoilman pitoisuudesta. Oppaassa annetaan myös ohjearvoja ilmanvaihdon tuloilman nopeudelle, joka voi aiheuttaa käyttäjälle vedon tunnetta. Ilman suurin sallittu keskinopeus, esim. luokkatilassa 20°C:n lämpötilassa, on 0,2 m/s. Näihin voidaan vaikuttaa ilmanjakolaitteiden oikeilla valinnoilla ja sijoittelulla. (Finvac ry 2018.)

2.1.2 Sosiaali- ja Terveysministeriön asetukset ja ohjeet

Terveydensuojelulaisissa on esitetty oleskelutilojen yleiset terveydelliset vaatimukset. Lain mukaan sisäilman tulee olla puhtaasta eivätkä esimerkiksi lämpötila, kosteus, ilmanvaihto ja muut vastaavat tekijät saa aiheuttaa terveyshaittaa tiloissa oleskeleville. Lain tarkoittamana terveyshaittana pidetään esimerkiksi oleskeluympäristössä olevasta tekijästä tai olosuhteesta aiheutuvaa sairautta tai sairauden oireita taikka altistumista terveydelle haitalliselle aineelle tai olosuhteelle siten, että sairauden tai sen oireiden ilmenimen on mahdollista. (Terveydensuojelulaki 763/94.)

Tarkemmat terveydellisin perustein annetut säädökset ovat annettu Sosiaali- ja terveysministeriön asetuksessa asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista (545/2015) sekä Sosiaali- ja terveysalan lupa- ja valvontaviraston, Valviran antamassa Asumisterveysasetuksen soveltamisohjeessa (8/2016). Kun annetut säädökset ja toimenpiderajat täyttyvät, ei olosuhteista katsota yleensä aiheutuvan terveyshaittaa. (Sosiaali- ja Terveysministeriö 2015.)

Asumisterveysasetuksen soveltamisohje 1 on julkaistu vuonna 2016, ja se korvasi aiemman asumisterveysohjeen vuodelta 2002. Uusi ohje sisältää tarkennuksia ohje- ja viitearvoihin, joihin valvonnassa on todettu olevan muutostarpeita. Asetuksen tarkoituksena oli selkeyttää rakennusten terveydellisten olosuhteiden arviointia, ja se astui voimaan jo vuonna 2015. Asetusta sovelletaan terveydensuojelulain nojalla tehtävään asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisten olosuhteiden valvontaan. Muina oleskelutiloina pidetään esim. kouluja, päiväkoteja ja muita vastaavia julkisia kokoontumispaikkoja. (Sosiaali- ja Terveysministeriö 2015.)

Ilmanvaihdosta soveltamisohje ohjeistaa että, ilmanvaihdon ulkoilmavirran tulee olla rakennuksen käytön mukainen ja sisäilman pitää vaihtua koko oleskeluvyöhykkeellä. Oleskeluvyöhyke määritellään huonetilan osaksi, joka rajoittuu lattiasta 1,8 metrin korkeuteen ja 0,6 metrin etäisyydelle ulko- tai sisäseinistä. Kouluissa, päiväkodeissa ja vastaavissa oleskelutiloissa ulkoilmavirran tulee olla vähintään 6 l/s/henkilö. Lisäksi sallitaan pienempi ilmavirta 4 l/s/henkilö, mikäli sisäilman epäpuhtauspitoisuus tai lämpötila aiheuta terveyshaittaa tai riskiä mikrobikasvustolle rakenteessa. (Valvira 2016.)

Ohjeessa rakennuksen käyttöajan ulkopuolisen ilmanvaihdon pitää olla riittävä, jotta rakennus- ja sisustusmateriaaleista haihtuvien ja muista lähteistä vapautuvien epäpuhtauksien kertyminen sisäilmaan ei aiheuta tilojen käyttäjille terveyshaittaa. Tämä voidaan toteuttaa ilmanvaihdon pienellä osateholla, jaksottaisella käynnillä tai ilmanvaihto voidaan käynnistää niin aikaisin ennen tilojen käyttöä, että ilman laatu täyttää sille asetetut vaatimukset. Tämän lisäksi ohjeistetaan olla

sammuttamasta ilmanvaihtoa, mikäli ei olla varmistuttu rakennuksen rakenteen mikrobivaurioittumattomuudesta. (Valvira 2016.)

Rakennuksen painesuhteista todetaan, että rakennuksen yli- ja alipaineisuus vaikuttaa vuotoilmavirtojen suuntaan ja mahdollisen kosteuden tiivistymiseen rakenteisiin ja pintoihin. Rakennuksen geometria ja tuuliolosuhteet vaikuttavat luontaiseen paineron syntymiseen rakennuksen ulkovaippaan nähden, johon voi olla vaikea vaikuttaa ilmanvaihdolla. Mikäli alipaineisuus on yli 15 Pa, tulee sen syyt selvittää ja ilmanvaihtoa tarvittaessa säätää kohti tasapainoa. (Valvira 2016.)

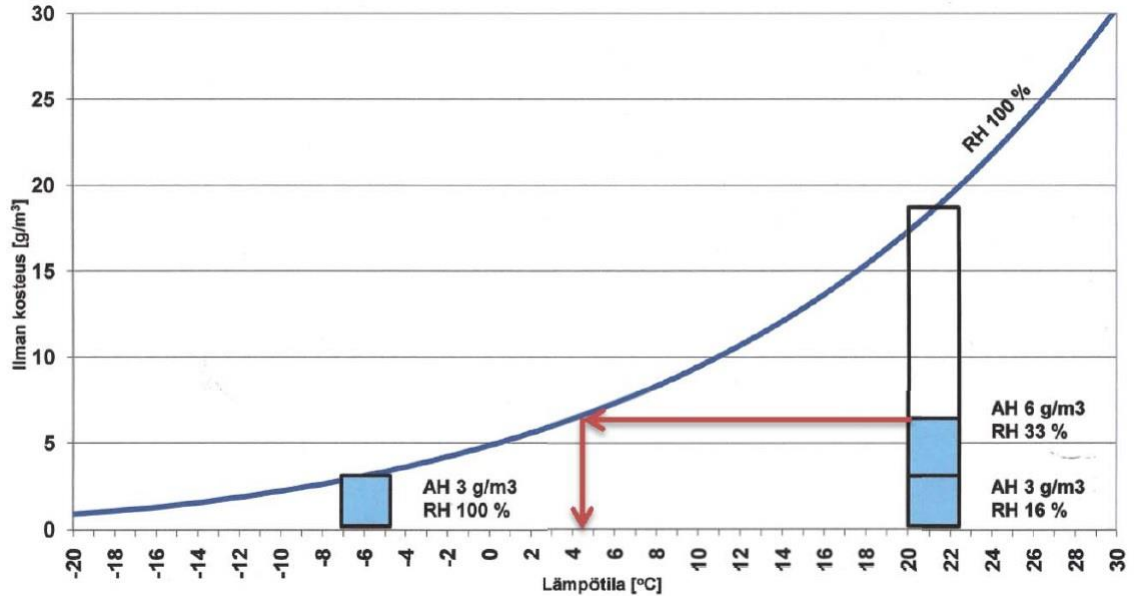
Valviran ohjeessa sisäilman hiilidioksidipitoisuuden toimenpiderajaksi määritellään 800 ppm yli ulkoilman hiilidioksidipitoisuuden. Tätä pidetään asumisterveysasetuksen toimenpiderajana 2100 mg/m³. Toimenpiderajalla tarkoitetaan altisteen pitoisuutta, mittaustulosta tai ominaisuutta, jonka ylittyessä on ryhdyttävä toimenpiteisiin terveyshaitan estämiseksi. Sisäilman hiilidioksidi pitoisuutta voidaan pitää ihmisistä peräisin olevana epäpuhtautena, ja sen toimenpiderajan ilmavirtana pidetään noin 4 l/s henkilöä kohti. Ulkoilman hiilidioksidipitoisuuden arvona voidaan käyttää arvoa 400 ppm. (Valvira 2016.)

Sisäilman lämpötilasta ja ilman virtausnopeudesta todetaan, että lämpötilat eivät saa aiheuttaa mikrobikasvuston riskiä. Riski liittyy enemmän huonekosteuksiin, johon huonelämpötilat vaikuttavat. Lämpötilojen toimenpiderajat on esitetty taulukossa 2. Lämmityskaudella huoneilman lämpötila oppilaitoksissa ja päiväkohteissa tulee asettua välille 20 – 26 °C. Lämpötila mitataan noin 1,1 m:n huonekorkeusdelta oleskeluvyöhykkeen sisältä. Lämpötilojen osalta ei oteta kantaa rakennuksen käyttöajan ulkopuoleisiin huonelämpötiloihin. (Valvira 2016.)

Taulukko 2. Sisälämpötilojen ohjearvot eri rakennuksiin (Valvira 2016)

	Lämpötilojen toimenpiderajat	Lämpötilaindeksi TI
<i>Asunnossa</i>		
Huoneilman lämpötila lämmityskaudella	+ 18 °C – + 26 °C	
Huoneilman lämpötila lämmityskauden ulkopuolella	+ 18 °C – + 32 °C	
Seinäpinnan alin keskiarvolämpötila	+ 16 °C	81
Lattiapinnan alin keskiarvolämpötila	+ 18 °C	87
Alin pistemäinen pintalämpötila	+ 11 °C	61
<i>Palvelutaloissa, vanhainkodeissa, lasten päivähoitopaikoissa, oppilaitoksissa ja vastaavissa tiloissa</i>		
Huoneilman lämpötila lämmityskaudella	+ 20 °C – + 26 °C	
Huoneilman lämpötila lämmityskauden ulkopuolella lasten päivähoitopaikat, oppilaitokset ja muut vastaavat tilat	+ 20 °C – + 32 °C	
Huoneilman lämpötila lämmityskauden ulkopuolella, palvelutalot, vanhainkodit ja muut vastaavat tilat	+ 20 °C – + 30 °C	
Seinäpinnan alin keskiarvolämpötila	+ 16 °C	81
Lattiapinnan alin keskiarvolämpötila	+ 19 °C	92
Alin pistemäinen pintalämpötila	+ 11 °C	61

Huoneilman kosteudesta puolestaan ohjeistetaan niin, että huoneilman kosteus eli vesihöyryn määrä tilassa ei saa pitkäkestoisesti nousta niin suureksi, että sillä aiheutetaan rakenteeseen tai laitteeseen tai niiden pinnoille mikrobikasvun riskiä. Tarkkoja rajoja huoneilman suhteelliselle kosteudelle ei ole säädetty, mutta vanhassa ohjeessa huoneilman suhteellisen kosteuden suosituksena pidettiin 20 – 60 % arvoja. Näiden rajojen saavuttaminen ei aina ole mahdollista, mutta esim. jo 60 %:n suhteellinen kosteus huoneilmassa pakkasjaksoilla voi aiheuttaa mikrobikasvuston riskin rakenteiden sisäpinnoilla ja kylmäsilloissa. Kuvassa 1 on esitetty ilman suhteellisen kosteuden kyllästymiskäyrä (RH 100 %) ilman lämpötilan funktiona. (Valvira 2016.)



Kuva 1. Ilman suhteellisen kosteuden kyllästymiskäyrä (Valvira 2016)

2.1.3 Sisäilmastoluokitus 2018

Sisäympäristön tavoitearvoja on myös käsitelty sisäilmaluokituksessa, joka korvasi vuonna 2008 ilmestyneen sisäilmaluokituksen. Tässä ohjekortissa esitellään sisäympäristön tavoitearvoja, suunnitteluohjeita ja tuotevaatimuksia rakennus- ja taloteknisen suunnittelun ja toteutuksen tarpeisiin. Siinä on myös otettu huomioon STM:n ja YM:n vuosien 2015-17 antamien asetusten vaatimukset ja muutokset. Tämä ei kuitenkaan kumoa viranomaissäädöksiä ja niistä julkaistuja tulkintoja. Sisäilmastoluokitus on tarkoitettu käytettäväksi asetettaessa sisäilmastotavoitteita, jotka koskevat toimisto- ja julkisia rakennuksia kuten päiväkoteja ja kouluja sekä asuinrakennuksia. (Rakennustieto 2018.)

Sisäilmastoluokitus luokittelee sisäilmaston laatuluokat kolmeen luokkaan S1, S2 ja S3. S1 vastaa yksilöllistä sisäilmastoa, jossa sisäilman laatu on erittäin hyvä ja rakenteissa ei ole epäpuhtauslähteitä. S1-luokan rakennuksessa lämpöolot sisällä ovat viihtyisät ja tiloissa on tarpeenmukainen jäähdytys, jota käyttäjä pystyy hallitsemaan. S2-luokan tiloissa ilman laatu on hyvä, mutta ylläampeminen on kesän hellepäivillä mahdollista. S3-luokassa sisäilma on tyydyttävällä tasolla, ja

se vastaa minimivaatimuksia, jotka täyttävät Ympäristöministeriön sekä STM:n asetukset. (Rakennustieto 2018.)

Sisäilmastoluokitus antaa kaikille kolmelle laatuluokille omat tavoitearvonsa. Esimerkiksi S1-luokassa ulkoilmavirran mitoitusarvo on 0,5 l/s,m², kun S2- ja S1-luokissa vastaava arvo on 0,35 l/s,m². Lisäksi henkilömitoituksessa annetaan S1-luokassa ohjearvo 10l/s henkilölle, kun S2-luokassa vastaava henkilömitoituservo on 7 l/s henkilöä kohti. Kaikille luokille annetaan käyttöajan ulkopuolella minimi-ilmanvaihdon määräksi keskimäärin 0,15 - 0,20 l/s, m². Lisäksi ohjeistetaan, että ilman on vaihduttava kaikissa huonetiloissa ja paine-ero-ulko- ja sisäilman välillä ei saa muuttua ilmanvaihdosta johtuen. Lisäksi ohjeistetaan käyttämään minimi-ilmanvaihdon jälkeen ilmavirtoja mitoitusteholla kaksi tuntia ennen käyttäjien tuloa rakennukseen. Lisäksi siivouksen aikana ilmanvaihto on oltava käyttötilanteen mukainen. (Rakennustieto 2018.)

Ilmanvaihtolaitteiston käyntiajoista ohjeistetaan niin, että uusissa tai peruskorjatuissa rakennuksissa ilmanvaihtoa tulee käyttää käyttöajan suunnitelluilla ilmavirroilla 6-12 kuukauden ajan. Kanavien puhdistuksista ohjeistetaan tekemään tarkastus vähintään viiden vuoden välein. Kanaviston pölykertymä mitataan vähintään viidestä pisteestä, ja P1-puhtausluokan kanavalle puhdistusraja-arvona pidetään 2 g/m² pölykertymää kanavassa. Myös rakennusmateriaalien päästöluokille annetaan sisäilmaluokituksessa omat luokat M1 ja M2, joista M1 on paras. Rakennus- ja sisustusmateriaaleista vapautuu huoneilmaan kemikaaleja, ja ne voivat olla peräisin erilaisista raaka-aineista tai valmistusprosessin virheistä tai yleensä materiaalien vanhenemisestä. Huoneilman epäpuhtauspitoisuutta pyritään alentamaan käyttämällä vähäpäästöisiä materiaaleja sekä huolehtimalla riittävästä ilmanvaihdosta. (Rakennustieto 2018.)

Sisäilmaluokitus antaa eri sisäilmaluokille omat raja-arvonsa. Hiilidioksidipitoisuudelle, esimerkiksi S2-luokassa, raja-arvo on vain 550 ppm suurempi kuin ulkoilman hiilidioksidipitoisuus. S3-luokan raja-arvo on YM-asetuksien mukainen 800 ppm vastaava arvo. Ilman suhteellisesta kosteudesta ei anneta tavoitearvoja,

mutta olosuhteiden pysyvyydestä, koskien hiilidioksidi-, radon- ja pienhiukkaspitoisuutta, annetaan S1- ja S2-luokissa 90 %:n pysyvyyssprosenttiarvo. Lisäksi mainitaan, että käytettäessä paikallista kostutusta ilman suhteellisen kosteuden tulee olla alle 60 %. Alla taulukossa 3 on esitetty sisäympäristön tavoitearvot. (Rakennustieto 2018.)

Taulukko 3. Sisäilmaluokituksen sisäympäristön tavoitearvot (Rakennustieto 2018)

	S1	S2	S3
Hiilidioksidipitoisuuslisä* [ppm]	< 350	< 550	< 800
Radonpitoisuus [Bq/m ³]	< 100	< 100	< 200
PM _{2,5} [µg/m ³]	< 10	< 10	< 25
PM _{2,5} sisällä/ulkona	< 0,5	< 0,7	–
Ilman suhteellinen kosteus [% RH]	–	–	–
Olosuhteiden pysyvyys [% käyttäjäajasta]			
toimi- ja opetustilat	90 %	90 %	–
asunnot	90 %	80 %	–

Lämpöolosuhteiden tavoitearvot on myös taulukoitu eri sisäilmastoluokille. Tässä yhteydessä puhutaan operatiivisesta lämpötilasta, joka terminä on poistettu Valviran ohjeistuksesta ja työssä sillä tarkoitetaan huonelämpötilaa oleskeluvyöhykkeeltä mitattuna. Esimerkiksi S2-luokassa operatiiviseksi lämpötilaksi sallitaan maksimissaan 25,5°C, kun ulkolämpötilan kohoaa yli +20°C. Sen sijaan minimilämpötilaksi määritellään 21,5°C ulkolämpötilan ollessa alle 0°C. Lisäksi olosuhteille määritellään pysyvyyssprosentti 90 % sekä S1- ja S2-luokissa toimi- ja opetustilojen osalta. Pysyvyyden edellyttämä osuus lasketaan rakennuksen suunnitellusta käyttäjäajasta. (Rakennustieto 2018.)

Rakennuksen ulkovaipan ilmanpitävyyteen ja rakenteiden ilmatiivyyteen sisäilmastoluokituksessa otetaan myös kantaa. Mikäli rakennuksessa pyritään hyvään sisäilman laatuun (S1,S2), niin ilmanpitävyyden tavoitearvo pitää olla $q_{50} < 1,0 \text{ m}^3/\text{h},\text{m}^2$. Rakennusvaipan ilmanvuotoluku mitataan 50 Pa:n paine-erolla rakennuksen vaipan yli, ja S1- ja S2-luokissa mittaus on pakollinen. Energiatodistusta varten ilmanvuotoluku mitataan aina koko rakennuksen osalta tai porrashuone mittauksena. Taulukossa 4. on esitetty kootusti eri tahojen vaatimukset sisäilman tavoitearvoille. (Rakennustieto 2018.)

Taulukko 4. Sisäympäristön raja-arvot ja vaatimukset

Vaatimustaho	Käyttöajan ilmapvirta	Käyttöajan ulkop. ilmapvirta	Sisäilman lämpötila	Sisäilman kosteus	Sisäilman CO ₂ -pitoisuus	Paineero vaiipan yli
YM asetukset	6 l/s/henkilö (0,35 l/s/m ²)	0,15 l/s/m ²	–	–	800 ppm	–
STM asetukset	4 l/s/henkilö	–	20–26°C	20–60 %	800 ppm	<15 Pa
Sisäilmas- toluokitus S2	7 l/s/henkilö (0,35 l/s/m ²)	0,15–0,20 l/s/m ²	21,5– 25,5°C	< 60 %	550 ppm	–

2.2 Motivan ohjeistukset ja energialaskenta

2.2.1 Rakennusten lämmityksen ohjeistus

Motiva Oy on valtion kokonaan omistama kestävä kehityksen yhtiö, joka kannustaa energian ja materiaalien tehokkaaseen ja kestäväan käyttöön. Motiva tarjoaa yrityksille, kaupungeille ja kunnille sekä yksityisille kuluttajille tietoutta ja palveluja, joiden avulla voidaan toteuttaa energiatehokkaita ja kestäviä valintoja. Motiva myös osallistuu ja toteuttaa monia kestävä kehitystä edistäviä hankkeita useiden toimijoiden kanssa. (Motiva Oy 2022a.)

Rakennusten sisälämpötilojen pudotuksia on toteutettu aiemmin varsinkin sähkölämmityskohteissa, missä sähköpattereille on laadittu lämmönsäätöohjelma tilojen käytön mukaan. Myös Motiva on julkaissut oppaan kunnille kiinteistöjen lämmityksestä vuonna 2017, jossa se opastaa lähinnä sähkö- ja öljylämmitteisten

kohteiden oikeissa säätö- ja käyttötapamuutoksissa sekä lämmitysmuodon vaihdosta erilaisiin lämpöpumpputeknikoihin, joita ovat ilma-, ilmavesi- ja maalämpöpumput. Oikeat käyttötapamuutokset voivat tuoda jopa 10-30 % kustannussäästöjä vuodessa lämmityskuluihin kiinteistöissä. (Motiva Oy 2018.)

Oppaassa kannustetaan alentamaan sisälämpötilaa, kun rakennus on tyhjiällä tai käyttöä ei ole. Sisälämpötilan alentamisen voi toteuttaa koko rakennuksessa, huonetiloittain tai se voi olla rajattu lämmitysryhmiin tai palvelualueisiin. Suoran sähkölämmityksen tapauksessa keskeisimmät keinot pudotuksille on paikalliskytkin tai keskitetty ohjausjärjestelmä, jolla lämpötilan pudotus käytön mukaan voidaan toteuttaa. Vesikiertoiselle lämmitysjärjestelmälle tehostamiskeinoiksi lähinnä vesivaraajiin liittyviä toimenpiteitä. Säätekäyrän ja ulkolämpötilan ohjauksen lisäys vaikuttaa kierrossa olevaan veden lämpötilaan, jolla voidaan estää verkoston yllilämmitys, joka voi aiheuttaa myös turhaa yllilämmitystä tiloihin. Mitä vähemmän varaavuutta esim. lämmitysvesiverkostossa on, sitä suuremmat isommat säästöt sisälämpötilan pudotuksilla, jopa lyhyellä jaksolla, voidaan saada aikaan. (Motiva Oy 2018.)

Ohjeistusta vesilämmitysjärjestelmään lämpötilan pudotukseen liittyen on vähän. Toimenpiteet ovat pääsääntöisesti verkoston lämmönsäätökäyrän tarkistaminen, patteriventtiilien ja termostaattien säännöllinen tarkistaminen ja vaihtaminen sekä verkoston huolellinen tasapainottaminen. Pelkästään näillä toimenpiteillä on joissakin kohteissa päästy 15–20 % lämmitysenergian säästö vähennyksiin. Ilmanvaihtokoneen tuloilman lämpötilalle annetaan ohjeistus, jonka mukaan lämmityskaudella suositeltava tuloilmanlämpötila voi olla 17–19 °C. Energian käytön tehokkuuden kannalta siis huonelämpötilan ylläpito siirretään varsinaisille huonetilan lämmittimille, jotta ne lämmittävän viileämmän tuloilman. (Motiva Oy 2018.)

2.2.2 Rakennusten energiankäytön CO₂-päästölaskenta

Rakennusten ja teollisuuden energiankäyttö muodostaa suuren osan maailman hiilidioksidipäästöistä. Tästä syystä myös energian kulutuksen ohella täytyy energian tuotantomuotoja muuttaa kohti uusiutuvia energianlähteitä. Uusiutuvien

energianlähteiden osuus sähkön ja kaukolämmön tuotannossa on noussut merkittävään rooliin taistelussa ilmaston lämpenemistä vastaan. Huomattavaa on, että energian tuotantoon ja kulutukseen liittyvät hiilidioksidipäästöt muodostavat noin 72 % koko maailman seurattavista päästöistä. (Motiva Oy 2022b.)

Uusiutuvalla energialla tuotetun sähkön osuus on kasvanut viime vuosina kymmeninä merkittävästi ja osuus on nyt jopa yli puolet sähköntuotannosta eli noin 52 %. Kaukolämmössä uusiutuvan energian osuus on kasvanut sähköntuotantoon verrattuna enemmän, vaikka sen osuus vuonna 2020 oli vain 44 % koko kaukolämmön tuotannosta. Suhteellisesti kaukolämmössä uusiutuvan energian osuus on yli kolminkertaistunut vuosien 2000–2020 välillä. (Motiva Oy 2022b.)

Motiva julkaisee vuosittain päivitettyt kaukolämmön ja Suomen keskimääräisen sähköntuotannon päästökertoimet. Paikalliselta energiatoimittajalta, kuten Kotkan Energialta, on saatavissa päästökertoimia tarkempaan kohdekohtaiseen laskentaan. Kotkan Energian oma päästökerroin on 76,7 kg CO₂/MWh, koska heidän tuottamasta kaukolämmöstä yli 70 % on jo nyt tuotettu uusiutuvilla polttoaineilla. Hiilidioksidipäästöjen laskennassa CO₂-kertoimet sähkön- ja kaukolämmöntuotannolle eroavat toisistaan muun muassa sen perusteella, onko laskennassa käytetty hyödynjako- vai energiamenetelmää sekä tarkastellaanko tietyn vuoden päästökerrointa vai liukuvaa keskiarvoa edellisiltä vuosilta. Suomen keskimääräisen kaukolämmöntuotannon CO₂-päästöille laskettu kolmen viimeisen tilastovuoden keskiarvo, jossa energiamenetelmällä jaettu yhteistuotanto, on 177 kg CO₂/MWh. (Kotkan Energia 2022; Motiva Oy 2022b.)

Motiva julkaisee myös kertoimia Suomen keskimääräisen sähköntuotannon CO₂-päästöille. Näistä laskettu kolmen viimeisen tilastovuoden keskiarvo, jossa yhteistuotanto on jaettu energiamenetelmällä, on 89 kg CO₂/MWh. Päästökertoimessa on huomioitu vain kotimainen energiantuotanto eli tuontisähkö ei ole mukana. Arvioitaessa energiansäästötoimenpiteen kulutusmuutoksen vaikutusta hiilidioksidipäästöihin voidaan sähkölle käyttää Suomen keskimääräisen sähkönhankinnan CO₂-päästökertoimen rinnalla myös marginaaliperusteista päästökerrointa. Marginaaliperusteinen CO₂-päästökerroin on 600 kg CO₂/MWh. (Motiva Oy 2022b.)

2.2.3 Rakennusten energiankulutuksen laskenta

Rakennusten lämmitys- ja jäähdytysenergiankulutuksen laskentaa varten ilmatieteenlaitos julkaisee nykyistä ilmastoa kuvaavan testivuoden tuntiaineiston. Ulkoilman lämpötilan lämpötilavyöhykkeittäin lasketut pysyvyysarvot nykyisessä ilmassa ovat saatavissa joko pdf- tai tekstitiedostona. Tuntiaineiston testivuotena käytetään vuoden 2012 ulkoilmanlämpötiloja, ja siitä käytetään nimitystä TRY2012. Kuitenkin pitää huomata, että tavanomaista kylmempinä tai lämpimämpinä kuukausina pysyvyysarvot voivat poiketa TRY2012-testivuosiaineistoihin perustuvista tuloksista huomattavastikin. TRY2012-pysyvyysarvot eivät esitä yhtä suuria lämpötilavaihteluita kuin 30 vuotta havaintoja koostuvasta aineistosta suoraan lasketut pysyvyysarvot. Esimerkiksi Vantaalla tavanomaisen tammikuun tunnittaiset lämpötilat ovat kaikki kylmempinä kuin +3 astetta ja 0,27 % niistä kylmempinä kuin -20 astetta. (Ilmatieteenlaitos 2022.)

Rakennusten lämmitys- ja jäähdytysenergiankulutuksen laskentaa varten on kehitetty myös nykyistä ilmastoa vastaava uusi testivuosi (TRY2020) sekä päivitetty tulevaisuuden ilmastoa kuvaavat testivuodet (TRY2030, TRY2050 ja TRY2100). Näiden avulla voidaan arvioida, miten Suomen ilmaston muuttuminen vaikuttaa rakennusten energiantarpeeseen tällä vuosisadalla. Nämä testivuodet ovat muodostettu muokkaamalla nykyistä ilmastoa kuvaavan testivuoden TRY2020 säätietoja, ottaen huomioon arvioitu odotettavissa oleva ilmastomuutos Suomessa. Tulevaisuuden testivuosien sääaineistot ovat pakostakin epävarmoja. Alla taulukossa 5 energiankulutuksen laskentaan käytettävästä ulkolämpötilan pysyvyysarvoista. (Ilmatieteenlaitos 2022.)

Taulukko 5. Testivuoden 2012 ulkolämpötilan pysyvyysarvot (Ilmatieteenlaitos 2022)

Ulkolämpötila [°C]	Kuukausi [h]												summa	
	tammikuu	helmikuu	maaliskuu	huhtikuu	toukokuu	kesäkuu	heinäkuu	elokuu	syyskuu	lokakuu	marraskuu	joulukuu		
-20,5	2,01	4,97	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,98	
-19,5	2,98	11,02	4,98	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	18,98	
-18,5	10,04	12,03	1,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	23,11	
-17,5	7,96	8,00	0,97	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,03	0,00	20,96	
-16,5	10,04	12,97	4,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,95	0,00	29,98	
-15,5	23,96	23,99	4,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,02	0,00	54,99	
-14,5	11,98	40,05	9,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15,98	6,03	83,04	
-13,5	12,05	22,98	3,94	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12,02	11,98	62,98	
-12,5	20,01	18,01	10,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13,97	9,97	72,00	
-11,5	9,97	9,00	5,95	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15,05	12,05	52,03	
-10,5	9,00	14,99	9,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,99	7,96	48,94	
-9,5	18,97	8,00	6,99	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,96	11,01	48,93	
-8,5	21,06	11,02	21,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12,02	11,01	76,17	
-7,5	30,95	20,97	37,94	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12,02	22,99	124,87	
-6,5	17,04	29,97	44,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	18,00	36,98	146,03	
-5,5	29,98	24,06	39,95	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13,97	61,01	168,97	
-4,5	40,03	23,99	29,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	16,99	63,98	174,01	
-3,5	38,99	26,01	45,01	5,98	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14,98	62,05	193,01	
-2,5	34,00	35,01	52,01	19,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,97	28,01	45,01	214,01	
-1,5	86,01	17,94	43,00	24,98	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,07	23,04	34,00	236,04	
-0,5	45,98	46,03	81,02	29,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,93	36,00	54,98	301,96	
0,5	131,99	57,99	143,00	49,03	6,03	0,00	0,00	0,00	0,00	2,02	19,05	54,00	54,98	518,08
1,5	104,01	45,02	84,00	99,00	7,96	0,00	0,00	0,00	3,96	40,03	45,00	65,03	494,01	
2,5	25,00	67,00	36,98	94,97	9,00	0,00	0,00	0,00	10,01	70,98	41,98	104,01	459,92	
3,5	0,00	39,98	13,02	88,99	11,01	2,02	0,00	0,00	21,02	82,96	49,03	45,98	354,01	
4,5	0,00	12,97	4,98	64,01	16,96	4,97	0,00	0,00	28,01	60,04	64,94	22,99	279,88	
5,5	0,00	19,02	6,99	49,03	33,03	5,04	0,00	0,00	23,98	84,96	80,06	0,00	302,12	
6,5	0,00	4,03	2,01	29,02	56,99	9,00	0,00	2,98	42,98	76,04	54,94	0,00	277,98	
7,5	0,00	3,96	0,00	30,96	72,99	14,98	2,01	9,67	61,99	61,01	42,05	0,00	299,62	
8,5	0,00	1,01	0,00	19,01	62,05	25,99	2,98	16,37	65,02	54,01	33,98	0,00	280,42	
9,5	0,00	0,00	0,00	14,98	79,98	39,02	11,01	20,83	63,00	55,95	0,00	0,00	284,77	
10,5	0,00	0,00	0,00	18,00	63,02	45,00	9,00	40,18	79,99	35,04	0,00	0,00	290,23	
11,5	0,00	0,00	0,00	20,02	66,96	52,99	29,98	46,13	56,02	20,98	0,00	0,00	293,08	
12,5	0,00	0,00	0,00	13,03	49,03	81,00	31,02	34,97	47,02	36,98	0,00	0,00	293,05	
13,5	0,00	0,00	0,00	10,01	43,97	67,97	50,00	59,52	60,98	29,02	0,00	0,00	321,46	
14,5	0,00	0,00	0,00	9,00	37,05	70,99	47,99	85,56	47,02	0,00	0,00	0,00	297,61	
15,5	0,00	0,00	0,00	4,97	23,96	62,06	78,05	78,86	42,98	0,00	0,00	0,00	290,88	
16,5	0,00	0,00	0,00	11,02	33,03	60,98	109,00	63,24	32,04	0,00	0,00	0,00	309,31	
17,5	0,00	0,00	0,00	7,99	16,96	40,97	75,96	53,57	13,97	0,00	0,00	0,00	209,42	
18,5	0,00	0,00	0,00	7,99	11,01	37,01	56,02	55,80	12,02	0,00	0,00	0,00	179,86	
19,5	0,00	0,00	0,00	0,00	11,98	41,98	63,02	37,20	5,98	0,00	0,00	0,00	160,15	

3 TUTKIMUSTIETOA JA RATKAISUJA RAKENNUSTEN SISÄILMAAN JA ENERGIATEHOKKUUTEEN LIITTYEN

3.1 Ilmanvaihdon käyttötasojen vaikutukset

3.1.1 Kuntien opas ilmanvaihdon käyttöön

Ilmanvaihdon käytöstä ja vaikutuksista sisäilmaan on varsin vähän tutkimustietoa saatavissa. Varsinkin julkisissa rakennuksissa tai muissa rakennuksissa, missä toiminta ei ole ympärivuorokautista, käyntiajoilla ja ilmajirroilla on suuri merkitys rakennusten energiankulutukseen. Oikeastaan tämänkin opinnäytetyön lähtökoh-tana on ollut vuonna 2019 julkaistu ilmanvaihdon käytön yleisohje julkisille palve-lurakennuksille. Yleisohjeen ovat laatineet suurempien kuntien sisäilmaverkoston asiantuntijaryhmä, joka halusi laatia yleisohjeen selkeyttämään ohjeistusta, miten julkisia palvelurakennuksien ilmanvaihtoa olisi tarpeenmukaista käyttää. Ohjeen

lisäksi on laadittu perustelumuistio, missä perustellaan tarkemmin ohjeen sisältöä ja viittauksia aiempiin tutkimuksiin tai kokemuksiin osa-alueesta. (Kuntien sisäilmaverkosto 2019.)

Yleisohje ohjeistaa käyttämään ilmanvaihtoa rakennuksien käyttöajan mukaan siten, että käyttöaikana käytetään mitoitusilmavirtoja, mikäli tarpeenmukainen ilmanvaihto ei ole toiminnassa. Käyttöajan jälkeen ilmanvaihto annetaan olla vielä päällä 1-2 tuntia, jonka jälkeen iv-koneet pysäytetään. Vastaavasti käyttöaikaa edeltävänä aikana iv-koneet käynnistetään kaksi tuntia ennen käyttöaikaa mitoitusteholle. Täysiteho koskee myös muuttuvatehoisia ilmanvaihtojärjestelmiä, jotka voivat käytön alkaessa siirtyä CO₂- tai muuhun läsnäoloon liittyvään -ohjaustapaan. (Kuntien sisäilmaverkosto 2019.)

Lisäksi yleisohje ohjeistaa, että rakennusten tuulettuvien alapohjien, putkikanaalien tai hissien ja vastaavien tilojen ilmanvaihto on oltava jatkuvaa, mutta yleisilmanvaihdon pysäyttäminen ei saa aiheuttaa rakennuksen ulkovaippaan alipainetta, mikäli tilaa ei ole suunniteltu näin esim. radonpoistot. Erittäin tärkeänä pidettiin paine-erojen seurantaan tai ainakin ilmavirrat pitäisi tasapainottaa kaikilla osatehoillakin ja eri ilmavirtojen käyttö ei saa aiheuttaa paine-eroa ulkovaipan yli. Myös tiloissa, joissa on kosteuskuormaa ympärivuorokauden, ilmanvaihtoa ei saa pysäyttää. Lisäksi tilojen iltakäyttöille on varmistettava niiden ilmanvaihdon käytön mahdollisuus käyttäjälle esim. lisäaikakytkimillä tai muulla tarkoituksen mukaisella ohjauksella. (Kuntien sisäilmaverkosto 2019.)

Loma-ajoille yleisohje ohjeistaa käynnistämään iv-koneet mitoitusteholla yhden tunnin ajaksi jokaista vuorokautta kohti. Loma-ajan jälkeen ilmanvaihto käynnistetään kolme tuntia ennen käyttöajan alkamista. Lisäksi perussiivouksen aikana ilmanvaihtoa käytetään täysillä sekä jatketaan käyttöä vielä kaksi vuorokautta siivouksen päätyttyä mahdollisten hajujen ja epäpuhtauksien leviämisen takia. Lisäksi uudisrakennuksessa kalusteiden ja materiaalien päästöjen takia ilmanvaihtoa ohjeistetaan pitämään mitoitusteholla yhden vuoden ajan jatkuvasti ja tarvittaessa pidempääkin aina toiseen vuoteen asti. (Kuntien sisäilmaverkosto 2019.)

Tuloilman lämpötilalle ohjeistetaan asettamaan asetusravoksi 2°C alempi kuin sisäilman tavoitelämpötila. Tämä parantaa sekoittuvan ilmanvaihdon toimintaa ja ilma laskeutuu oleskeluvyöhykkeelle suunnitellusti. Kesäisin hellejaksoilla käyttöajan jälkeen ohjeistetaan hyödyntämään ns. yö-tuuletusta, mikäli ulkoilman lämpötila on vähintään 3 °C alempi kuin tilojen poistoilman lämpötila. Mikäli palvelurakennuksessa ei ole käytössä jäähdytystä tai CO₂-ohjattua muuttuvilmavirtajärjestelmää, ikkuna tuuletusta on sallittua käyttää. Silloin on tosin huomioitava, että ikkunasta johtuva ulkoilma on suodattamatonta. (Kuntien sisäilmaverkosto 2019.)

Yleisohje ohjeistaa myös erityistilanteista, joissa kunnan sisäilma-asiantuntija päättää ilmanvaihdon käyntiajoista, mikäli rakennuksessa on tiedossa kosteus- ja mikrobivaurioita. Joissain tapauksissa ilmanvaihdon sammuttaminen voi parantaa paine-eroa ulkoilmaan nähden ja näin estää haitallisten epäpuhtauksien kulkeutumisen sisäilmaan. Yleisesti ottaen tehokas ilmanvaihto kuitenkin edesauttaa ilman epäpuhtauksien pitoisuuksien laimentamisessa, joten päätös käyntiajoista on aina tapauskohtainen. Liitteessä 1 on esitetty ilmanvaihdon säädön prosessi rakennuksen tasapainon varmistamiseksi. (Kuntien sisäilmaverkosto 2019.)

Perustelumuiotiossa käydään läpi ilmanvaihtojärjestelmän edellytyksiä ja toimenpiteitä, joita tulee varmistaa, kun ohjeen mukaisia IV-koneiden sammutuksia ja käynnistyksiä tehdään. Erityisesti kiinnitetään huomiota paineiskuihin, joita liian nopea puhaltimen käynnistyminen voi aiheuttaa, kun sulkupellit eivät ehdi aueta tai päinvastoin. Tähän suositellaan toteuttamaan automaatiojärjestelmään käynnistys viivettä, joka estää äkilliset paineenvaihtelut kanavassa. Tällöin ei ainaakaan aiheuteta riskiä kanaviston mahdollisten epäpuhtauksien kulkeutumiselle huonetiloihin. Lisäksi ohjeistetaan huolehtimaan ilmanvaihtojärjestelmän eristyksistä ja sulkupeltien tiiveydestä, jotta kosteuden riski kanavien sisäpinnoilla olisi mahdollisemman pieni. Mikäli kanavistoon ei pääse vettä, mikrobilähteen mahdollisuutta kanavistoon ei pääse muodostumaan. (Kuntien sisäilmaverkosto 2019.)

Energiankulutuksen ja ilmaston tuotetun CO₂-päästöjen näkökulmasta löytyy tilastotietoa Helsingissä sijaitsevan koulurakennuksen lämpöenergiankulutuksista kahden vuoden ajalta. Koulussa käytettiin ilmanvaihtoa ensimmäisenä mitattavana vuonna jatkuvasti mitoitusteholla ja toisena vuonna käyttöaikojenmukaisesti yleisohjeen mukaisesti. Iltakäytön osalta toisena vuonna liikuntatiloissa ilmanvaihto oli toiminnassa, mutta muuten ilmanvaihto oli mitoitusteholla vain arkisin klo. 7.00–16.00 välillä. Rakennus oli valmistunut vuonna 1997, ja ilmanvaihtojärjestelmä oli varustettu lämmöntalteenotolla. Alla taulukossa 6 on esitetty koulun 11 kk energiankulutuksista peräkkäisinä vuosina erilaisella ilmanvaihdon käynnillä. Helsinkiläisen alakoulun tuloksista nähdään, että kaukolämmön kulutuksissa päästään jopa 42 %:n säästöihin ja sähkönkulutuksessa 31 %:n säästöihin. CO₂-päästöjen osalta lämmön- ja sähkönkulutuksen päästöjen osalta päästään 38 % pienennyksiin. (Kuntien sisäilmaverkosto 2019.)

Taulukko 6. Helsinkiläisen ala-asteen energiankulutus vuosien 2017-2018 aikana (Kuntien sisäilmaverkosto 2019)

Helsinkiläinen ala-aste	Kaukolämpö-energian kulutus (MWh)	Sähköenergian kulutus (MWh)	Kaukolämpö-energian CO ₂ -päästöt (kgCO ₂)	Sähköenergian CO ₂ -päästöt (kgCO ₂)	CO ₂ -päästöt yhteensä (kgCO ₂)
11 kk vuonna 2017	710,1	313,2	122 137	59 821	181 958
11 kk vuonna 2018	413,2	214,6	71 070	40 988	112 059
Ero (%)	42 %	31 %	42 %	31 %	38 %

Lisäksi kohteesta on taulukoitu kuukausikohtaiset lämmönkulutukset, joista nähdään, että lämmityskaudella päästään noin 30–40 %:n säästöihin ja keväästä syksyyn jopa 60–70 %:n säästöihin. Toki näihin vaikuttaa myös koulun kesälomaajat, mutta silloin lämmönkulutus on muutenkin vähäistä. Taulukossa 7 on esitetty kaukolämmön kuukausikohtaiset kulutuserot. (Kuntien sisäilmaverkosto 2019.)

Taulukko 7. Helsinkiläisen ala-asteen kaukolämmön kulutus vuosien 2017-2018 aikana (Kuntien sisäilmaverkosto 2019)

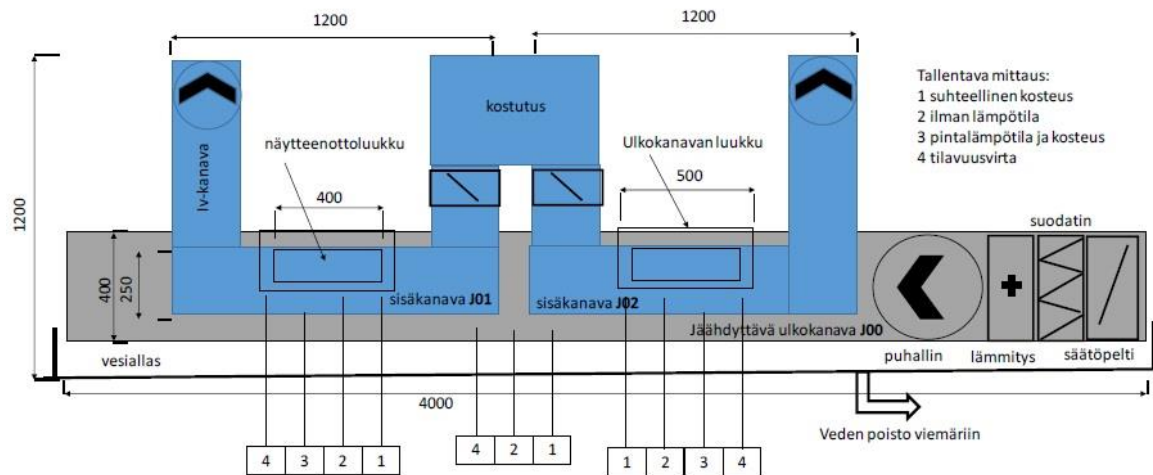
Kuukausi	Vuosi 2018 (kWh)	Vuosi 2017 (kWh)	Muutos (%)
2	82 248	129 536	-37
3	66 654	121 673	-45
4	39 557	76 057	-48
5	13 942	34 059	-59
6	8 380	22 883	-63
7	2 140	12 420	-83
8	3 930	12 214	-68
9	13 443	33 425	-60
10	42 216	66 839	-37
11	68 715	91 896	-25
12	72 024	109 110	-34
Yhteensä	413 249	710 112	

3.1.2 Ilmanvaihdon käyttöaikojen vaikutus työolosuhteisiin

Julkisten rakennusten ilmanvaihdon käyttöaikojen vaikutuksia sisäilmaan ja työolosuhteisiin on tutkittu myös työsuojelurahaston hankkeessa, jonka tutkimusraportti julkaistiin vasta viime vuonna. Tältä osin tutkimustieto on tuoretta. Se myös osin pohjautuu julkisille rakennuksille laadittuun yleisohjeeseen ja yöaikaisen ilmanvaihdon vaikutuksiin rakennusten sisäilma-olosuhteisiin. Tutkimuksessa mitattiin ilmavirtoja, paineroja tilojen ja ulkoilman välillä sekä huoneilman lämpötilaa ja suhteellista kosteutta. Näiden lisäksi tutkittiin tilojen ilmanäytteitä, joista etsittiin viitteitä hiukkasmaisista epäpuhtauksista, haihtuvista orgaanisista yhdisteistä eli TVOC:sta, kuiduista ja mikro-organismeista. Tutkimuskohteina oli erilaisia julkisia palvelurakennuksia yhteensä 11 kappaletta, jotka olivat pääasiassa kouluja ja päiväkotia. (Lestinen, Kilpeläinen & Kosonen 2021.)

Hankkeen tutkimuksissa käytettiin hyväksi Halton Oy:n tutkimuslaboratoriota, jossa testattiin kahta rinnakkaista ilmanvaihtojärjestelmää. Molempien simuloitujen tuloilmakanavistojen puhallimet pyörivät käyttöaikana 12 tuntia päivässä mitoitussilmavirroilla, joka testihuoneissa oli noin 3 l/s,m². Käyttöajan ulkopuolella toinen puhallin oli kokonaan pysäytettynä ja toinen puhallin pienennettiin YM ase-

tuksen mukaiselle minimi-ilmavirralla $0,15 \text{ l/s,m}^2$. Molempiin kanaviin oli rakennettu kostutus, jolla tavoiteltiin mikrobikasvustolle otollista 80–90 % kosteutta ja $10\text{--}15 \text{ }^\circ\text{C}$:n lämpötilaa. Ilmanvaihtokanaviston sisäpinnalle generoitiin tyypillisesti ilmanvaihtokanavan pinnalla esiintyviä homeen itiöitä. Näytteitä kanavasta tutkittiin kolmen kuukauden ajan. Kuvassa 2 on esitetty periaatekaavio iv-kanavan mikrobikasvuston koejärjestelyistä. (Lestinen ym. 2021.)



Kuva 2. IV-kanaviston koejärjestelyt tutkimuslaboratoriossa (Lestinen ym. 2021)

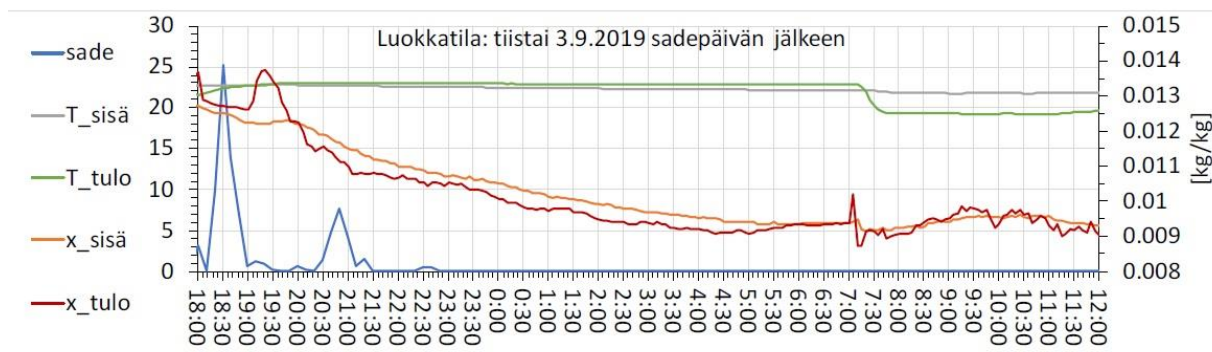
Tuloksissa kerättiin kanaviston pinnalta näytteitä kuukauden välein. Tulosten perusteella kanavan mikrobitasot pienenevät molemmissa kanavistoissa, eikä mikrobin kasvua kanavan pinnalla voitu osoittaa riippumatta yö-ilmanvaihdon käytöstä. Lisäksi kanavasta otettiin sivelynäytteet bakteerien ja homeiden erottamiseksi, ja nämäkin näytteet osoittivat lopputilanteessa bakteerien suhteellisen aleneman olevan molemmissa kanavistoissa samaa suuruusluokkaa. Ainoastaan homeitiöiden suhteellinen alenema oli suurempi jatkuvan yö-ilmanvaihdon kanavistossa. Ilmanäytteitä otettiin lisäksi mittausjakson alussa ja lopussa kanaviston läpivienneistä, joista mitattiin ilmanvirran sisältäviä bakteri- ja homemääriä. Näiden tulosten perusteella mikrobimäärä kanavistoissa ei kasvanut riippumatta siitä, oliko puhallin minimi-ilmavirralla vai pysäytettynä. (Lestinen ym. 2021.)

Tutkimuksissa oikeissa kohteissa tehdyt sisäilman materiaaliemissiomittaukset eli TVOC-arvot eivät tukeneet jatkuvan yö-ilmavaihdon käyttöä. Kuitenkin näissä mittauksissa havaittiin, että kahden tunnin huuhteluaika, käyttöaikaa ennen sekä jälkeen, on tarpeellista TVOC-pitoisuuksien laimentamisessa. Normaalilla jatkuvalla ilmavirralla ilman merkkiainepitoisuus saatiin tippumaan 5 % tasolle noin yhdessä tunnissa. Mittaustulosten perusteella TVOC-pitoisuudet olivat päivällä korkeammalla kuin aamulla, joten käyttäjän vaikutus tilojen pitoisuuksiin käyttöaikana on ilmeinen. TVOC-anturit reagoivat voimakkaammin hiuslakka- ja suihku-deodoranttipitoisuuksiin. Lisäksi mainittavaa oli, että jaksottaisesti käytetty ilmavaihto tuotti yöaikaan suurimmat TVOC-pitoisuudet, mikä epäiltiin johtuvan ilmavaihdon aiheuttamista paine-eroista ja epätasapainosta ilmavaihdon palvelualueiden välillä. Paineroja mitattiin myös vaipan yli kaikissa kohteissa, ja pääsääntöisesti kaikissa kohteissa paine-erot olivat maltillisia ja jäivät alle 10 Pa -arvoihin. (Lestinen ym. 2021.)

Tutkimuksessa osoitettiin erilaisilla ilmanjaon ja tuloilmanlämpötilan simuloinneilla lisäksi todeksi se, että ilmavirran määrä ja ilmanjaon toiminta vaikuttavat merkittävästi ilmavaihdon tehokkuuteen. Suurempi ilmavirta tuottaa suuremmat heittopituudet ja sekoittuu huoneilmaan tehokkaammin. Pienillä minimi-ilmavirroilla taas heittopituus pienenee ja epäpuhtauksien poistuminen huoneesta heikkenee. Myös tulo- ja poistoelinsijoittelulla on vaikutusta, jotta tuloilmavirtaus suoraan poistoelimeen vältetään. Lisäksi tutkittiin alilämpöisen tuloilman sekoittuvuutta huoneilmaan. Tietokonemallinnuksissa 18°C tuloilman käyttö tehostaa sisäilman sekoittuvuutta oleskeluvyöhykkeellä pienilläkin ilmavirroilla verrattuna huoneilmaa lämpimämpään tuloilmaan. (Lestinen ym. 2021.)

Yö-ilmavaihdon käytötapoja tutkittiin myös sadepäivien aikana muutamassa kohteessa. Sadejakson vaikutusta tutkittiin jatkuvalla minimi-ilmavaihdon sekä ilmavaihdon ollessa pysäytettynä. Pysäytetyn ilmavaihdon tilanteessa huoneilman kosteus ei kuitenkaan nouse yön aikana tuloilman kosteuden mukaan, vaan laskee. Ilmavaihdon käynnistyessä tuloilmankosteudessa on hetkellinen piikki, jolla ei kuitenkaan ollut merkittävää vaikutusta sisäilman kosteusolosuhteisiin. Tu-

lokset viittaavat siihen, että sadejakson vaikutus tutkittuihin huonetiloihin on vähäinen ja niiden kosteusolosuhteet vaihtelevat normaalisti. Alla kuvassa 3 on esitetty erään tutkitun koulun luokkahuoneen sisä- ja ulkoilman absoluuttisia kosteusarvoja ja lämpötiloja sekä sateen intensiteettiä. (Lestinen ym. 2021.)



Kuva 3. (Lestinen ym. 2021)

3.1.3 Koulurakennuksien ilmanvaihdon käyttötapojen vaikutukset

Ilmanvaihdon käyttötapojen vaikutuksia sisäilmaan koulurakennuksissa on tutkittu lisäksi Itä-Suomen Yliopiston rakennusterveyden alan opinnäytetyössä, joka on valmistunut vuonna 2018. Tutkimuksessa tarkasteltiin neljää eri ilmanjakotavalla rakennettua koulurakennusta, jotka olivat lisäksi rakennettu eri vuosikymmenillä ja poikkesivat rakenteellisesti myös toisistaan. Tutkimuksessa tarkasteltiin kanavistojen tasapainoa osatehokäytöllä sekä ilmanjaon toimivuutta eri ilmavirroilla. Lisäksi tutkittiin ilmanvaihdon käyttötapojen vaikutusta käyttöajan sisäilmasto-olosuhteisiin sekä vaikutusta rakennusten painesuhteisiin. (Alanko 2018.)

Tutkimuksissa ilmanvaihtoa käytettiin kohteissa käyttöajanulkopuolella noin 30 % osatehoilla sekä jaksottaisesti niin, että minimivaatimus $0,15 \text{ l/s/m}^2$ saatiin täytettyä. Näissä kohteissa se saatiin toteutumaan jo alle yhden tunnin mittaisella käyntijaksolla, jolloin ilmanvaihtoa käytettiin 100 % teholla. Kanaviston tasapainossa havaittiin 30 % osatehoilla muutoksia ja ilmavirtojen pienennys ei toteutunut kaikilla pääte-elinmalleilla samassa suhteessa. Ilmanjaon toimintaa tiloissa

tutkittiin lisäksi merkkiaine- ja savukokeilla. Osatehoilla ilman nopeus pääte-elimissä pienenee, ja sillä oli vaikutusta pääte-elimien heittokuvioihin verrattuna mitoitussilmavirtoihin. Sillä ei kuitenkaan ollut merkitystä tilan tuulettavuuteen, joten siltä osin tuulettumattomia tiloja ei päässyt syntymään. Kuvassa 4 on esitetty tutkimuksen kohteiden eri ilmanvaihdon käyttötilanteiden keskimääräisiä paineroja ja huomioita niihin. (Alanko 2018.)

	Työaika	Muu aika	Vuoro- kausi	Max	Min
Osatehokäytön ulkovaipan paine-eromittaukset, Pa	-2,2	-2,6	-2,6	6,5	-11,8
Jaksottaisen käytön ulkovaipan paine-eromittaukset, Pa	-1,6	-2,9	-2,5	8,3	-15,8
Osatehokäyttö	Jaksottainen käyttö				
Rakenteiden heikko tiiveys heikentää painesuhteiden arviointia.	Rakenteiden heikko tiiveys heikentää painesuhteiden arviointia.				
Ilmanvaihtokoneiden tehotasot eivät olleet portaattomasti säädettävissä.	Toisen rakennusosan ilmanvaihto ei ollut jaksottaisella käytöllä.				
Hygieniatilojen huippuimuri ei seurannut automatiikan ohjausta, minkä vuoksi se oli jatkuvasti mitoitusteholla käynnissä.	Hygieniatilojen huippuimuri ei seurannut automatiikan ohjausta, minkä vuoksi se oli jatkuvasti mitoitusteholla käynnissä.				

Kuva 4. (Alanko 2018)

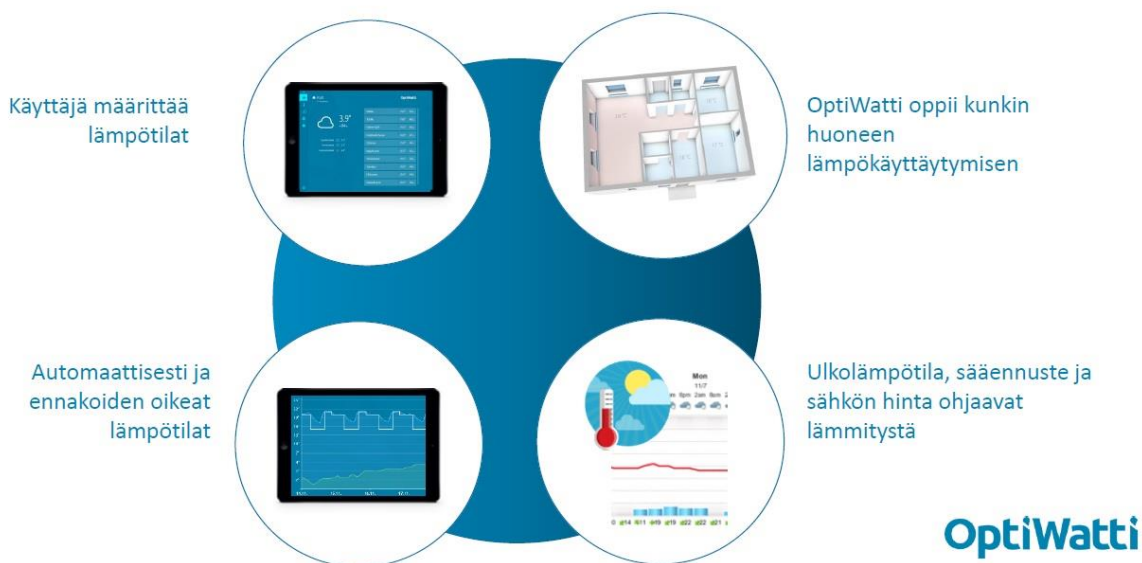
Ilmanvaihdon käyttötavan vaikutusta käyttöajan sisäilmasto-olosuhteisiin tutkittiin myös hiukkaspitoisuuksilla. Tutkimuksen VOC-mittausten perusteella merkkiaineena käytetty 1-kloorioktaani huuhtoutuu tehokkaasti sekä osatehokäytöllä että jaksottaisella käytöllä. Tilojen käytön alkaessa merkkiaine- ja TVOC-pitoisuudet olivat samalla tasolla ilmanvaihdon käyttötavasta riippumatta käyttöajan ulkopuolella. Painesuhteiden osalta tutkimuksen seurantamittauksissa molemmilla käyttötavoilla saavutettiin hyvät tai melko hyvät painesuhteet. Jokaisessa rakennuksessa jouduttiin tosin säätämään ilmamääriä ja tekemään muutoksia automaatioon, jotta painerot saatiin hallintaan ja tyydyttävälle tasolle. Tutkimuksessa ne vaihtelivat tyypillisesti -1,6 – -2,9 Pa välillä.

3.2 Palveluja rakennuksen energiatehokkuuden hallintaan

3.2.1 OptiWatti Oy

OptiWatti Oy on kotimainen yritys, joka tekee energiasäästöön ja hallintaan liittyviä ratkaisuja. Huonekohtainen lämmityksen optimointi tarkoittaa sitä, että lämmityksessä huomioidaan kunkin huoneen käyttö ja lämpötilaa lasketaan aina silloin kun tila ei ole käytössä. Lisäksi Optiwattia hyödyntämällä estetään huoneiden tai lämmitysverkostojen yllämmittämistä. Tämän tuloksena säästetään lämmityskustannuksissa ja huoneen lämpötilaa voidaan säätää yksilöllisesti. Kuvassa 5 on esitetty Optiwatti-järjestelmän ominaisuuksia. (Optiwatti Oy 2022.)

Oppiva ja älykäs ohjaus

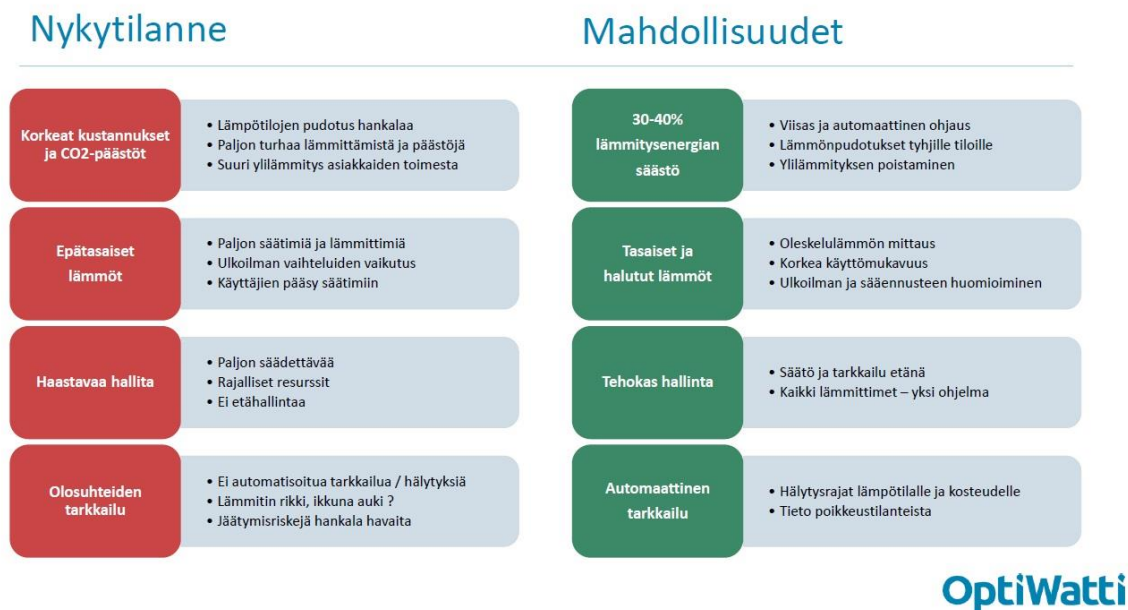


Kuva 5. (Optiwatti Oy 2022)

Manuaalisten termostaattien jatkuva säätäminen on usein hankalaa, joten Optiwatti-järjestelmä poistaa tämän ongelman. Sen avulla saadaan huoneiden lämpötilat helposti säädettyä käyttötilanteita vastaavaksi. Optiwatti osaa aloittaa lämmityksen nostamisen juuri oikeaan aikaan, jotta haluttu lämpötila saadaan haluttuna hetkenä. Optiwattiin on mahdollista lisäksi lisätä raportointi, joka kertoo lämmittä-

miseen kuluvan energian huonekohtaisesti. Datan perusteella myös kiinteistöhoi-
don ja omistajan ymmärrys kiinteistön energian kulutuksesta lisääntyy. Näin
myös havaitaan, mikäli jotkut huoneet kuluttavat energiaa suhteettoman paljon.
Uuden tiedon avulla on mahdollista muuttaa epätaloudellisia lämmitystottumuksia
ja kiinnittää huomiota rakennuksen vaipan tiiviyyteen ja lämpöhäviöihin. (Optiwatti
Oy 2022.)

Suurimmat säästöt saadaan kohteissa, joissa lämpötiloja ei aiemmin ole paljon
säädelty ja jossa huoneiden käyttöaste vaihtelee paljon. Älykkäällä ja ennakoi-
valla ohjauksella saadaan tyypillinen yllilämmitys leikattua pois. Tehokkain tapa
parantaa energiatehokkuutta on laskea huonetilan lämpötilaa muutamalla as-
teella silloin, kun tila ei ole käytössä. Automaattiohjaus palauttaa sisälämpötilan
takaisin, kun tilat ovat käytössä. Järjestelmä huomioi myös ulkolämpötilan, sää-
ennusteen sekä eri huoneiden reagoinnin. Kuvassa 6 on esitetty Optiwatin mah-
dollisuuksia kiinteistöjen nykytilanteeseen verrattuna. (Optiwatti Oy 2022.)



Kuva 6. (Optiwatti Oy 2022)

3.2.2 Nuuka Solution Oy

Nuuka Solution Oy on perustettu vuonna 2012, koska yrityksen omistajat havaitsivat, että kiinteistöalan datan käyttö oli alikehittyntä. Nuuka on nykyään kiinteistöalan teknologiayritys, joka on kehittänyt tekoälypohjaiset ohjelmistoratkaisut talotekniikan ja LVISA -järjestelmien optimointiin ja diagnosointiin. Nuukan kiinteistöille tarkoitetut ohjelmistot auttavat kiinteistöjen omistajia, vähittäiskauppaketjuja sekä kokonaisia kaupunkeja pienentämään hiilijalanjälkiään, tuottamaan parempaa sisäilmaa, säästämään energiaa, vähentämään kustannuksia ja lisäämään kiinteistöjen käyttöikä. Järjestelmän hyötyjä kiinteistön ylläpidolle ja käyttölle on esitetty kuvassa 7. (Nuuka Solution Oy 2022a.)

Hyödyt

- Kattavan datan ja analyysien avulla löydetään sisäilmaolosuhteiden, energiatehokkuuden ja LVISA prosessien kehityskohteet
 - LVISA prosessien optimoinnilla saavutetaan tavoitellut sisäilmaolosuhteet ja energiankulutus vähenee
 - Automaattinen valvonta-analytiikka seuraa prosesseja jatkuvasti ja kiinteistöhuollon reagoitua saadaan nopeutettua poikkeustilanteissa
- Asiantuntijat ja huolto voivat hyödyntää Nuuka palvelun työkaluja kiinteistön kehityksessä ja kaikilla toimioilla on sama reaaliaikainen data käytettävissä
- Kiinteistöjohto saa helppokäyttöisen työkalun tulosten seurantaan
- PTS suunnitelmien tueksi saadaan todelliseen dataan pohjautuvaa tietoa ja investoinnit voidaan ajoittaa ja perustella oikein

Kuva 7. (Nuuka Solution Oy 2022a)

Nuuka Analytics on operatiivinen analytiikka kiinteistöportfolioille. Se seuraa energiankulutusta, sisäilmastoa, kestävyyttä ja muita kiinteistön avainmittareita. Sen avulla kiinteistön omistajan on helppo suodattaa ja vertailla nopeasti poikkeamia rakennuksissa tai kiinteistösalkuissa. Nuuka vastaa tietojen lukemisesta mittauslaitteilta, automaatio- ja energiayhtiöiltä Nuukan pilvipalveluun. Nuuka-palvelu tekee automaattisen järkevyytarkistuksen kaikille datapisteille ja järkevyytarkistus havaitsee mm. tiedonsiirron pysähtymisen ja epätodelliset arvot.

Järjestelmä luo tiedonkeruun virhetilanteista hälytyksen, joka ohjataan järjestelmän ylläpitäjälle. (Nuuka Solution Oy 2022a.)

Suurista kaupungeista esimerkiksi Helsinki on käyttänyt Nuukan palveluja jo vuosia. Nyt jo lähes tuhat kaupungin kiinteistöä on yhteydessä Nuukan-järjestelmiin. Palvelujen avulla on saatu leikattua energiankulutusta, parannettua sisäilmastoa sekä kehitettyä kiinteistöportfoliota. Lisäksi Helsinki hyödyntää Nuukan palveluja myös tavoittaa hiilineutraalius vuoteen 2035 mennessä. Esimerkiksi Helsingin kaksi suurinta päästölähdettä ovat lämmitysenergian tuotanto ja käyttö, mikä vastaa noin 56 % päästöistä sekä kuljetukset ja liikenne, joista muodostuu 24 % päästöistä. Helsinki osallistuu myös EU-rahoittamaan AI4Cities-hankeeseen, johon on valittu ensivaiheessa 41 osallistujaa tavoitteena kehittää ja hyödyntää tekoälyä energiankulutukseen. Alla kuvassa 8 on esitetty hankkeen mainoskuva. (Nuuka Solution Oy 2022b.)



Helsinki has connected over 1000 buildings to Nuuka. This has enabled Helsinki to cut energy consumption, improve indoor climate, diagnose its building portfolio automatically,

Kuva 8. (Nuuka Solution Oy 2022b)

4 RAKENNUSTEN ENERGIATEHOKKUUS JA SISÄILMA KOTKASSA

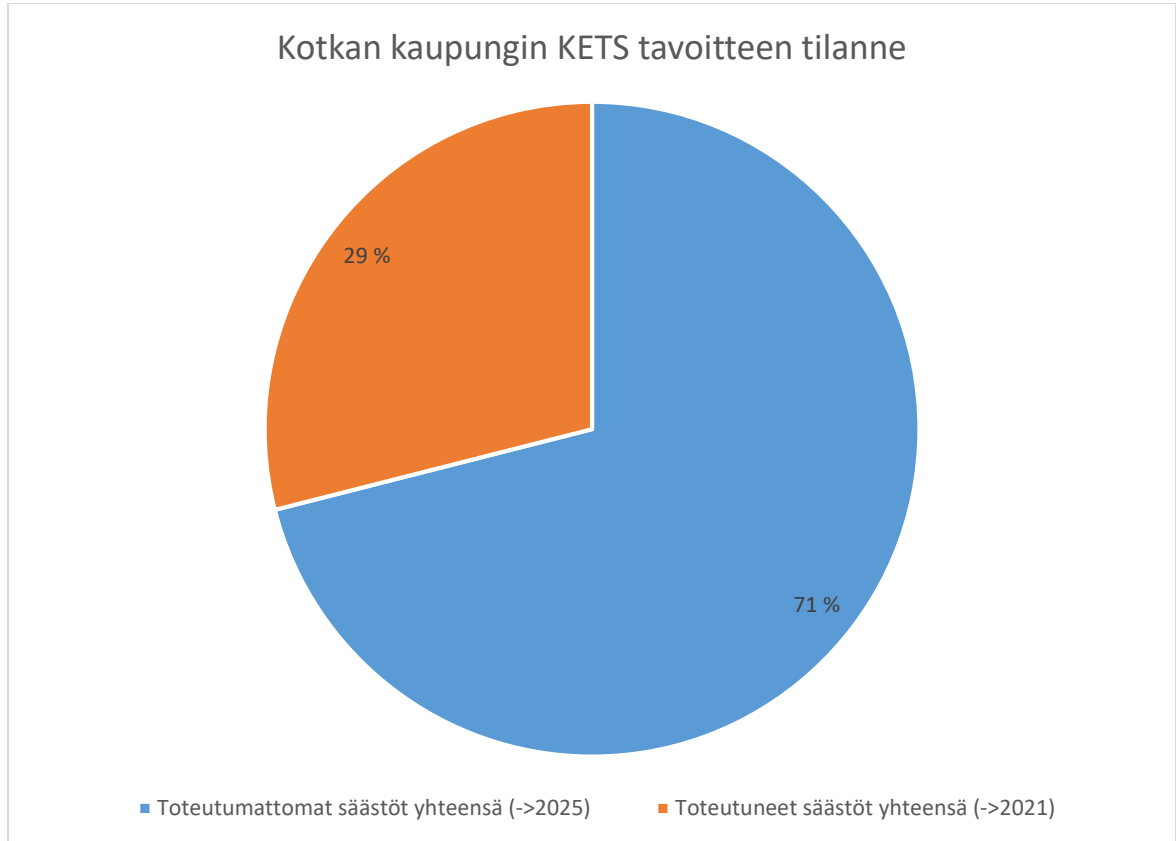
4.1 Lähtötilanne Kotkassa

Kotkan kaupungin oma kiinteistökanta kattaa yhteensä noin 250 kiinteistöä, joista peruskouluja ja päiväkoteja on yhteensä 32 kappaletta. Lisäksi kiinteistökanta koostuu muista palvelurakennuksista ja vuokra-asunnoista, jotka edustavat vanhempaa rakennuskantaa ja ovat talotekniikaltaan joko saneerattua tai alkupeleistä. Koulujen ja päiväkotien tilanne on tällä hetkellä haastava, sillä väistötiloja käyttää useampi alakoulu sekä päiväkotiryhmä. Tulevaisuudessa investointilitalla kaupungilla on kahden isomman alakoulun rakentaminen Karhulan alueelle sekä uuden päiväkodin sijoittuminen näiden yhteyteen. Kotkan kaupunki on lisäksi sitoutunut kunta-alan energiatehokkuussopimukseen (KETS) sekä se on mukana myös Hiilineutraalikunta-hankkeessa. (Rantanen 2022.)

Energiatehokkuussopimuksen tarkoituksena on toteuttaa energiatehokkuusdirektiivin mukaiset energiansäästötavoitteet. Energiatehokkuussopimuksen tavoitteena on myös kansallisella tasolla merkittävästi vaikuttaa EU:n vuoden 2030 energiatehokkuustavoitteen saavuttamiseen. Kotkan kaupungille energiatehokkuussopimus velvoittaa vähintään 7,5 %:n energiansäästötavoitteeseen vuoteen 2025 mennessä sekä välitavoitteena oli 4 %:n säästö jo vuonna 2020 vuoden 2016 tasosta. Kuvassa 9 on esitetty Kotkan toteutunut KETS-tilanne. (Rantanen 2022.)

Talotekniikan osalta kaikki uudemmat päiväkodit ja koulut ovat varustettu uudemmat määräykset täyttävillä LTO-koneilla, ja lisäksi ne ovat hyvin pitkälti automaation osalta etäkäyttöön suunniteltuja. Lisäksi vanhempien kohteiden talotekniikka on peruskorjausten yhteydessä parannettu ja yleisesti mahdollisuus vaikuttaa kohteiden IV-käyntiaikoihin on noin 20 kohteeseen. Tässä työssä on tarkoitus tutkia juuri koulujen ja päiväkotien energiansäästöpotentiaalia, joten tietyt ehdot, kohteiden taloteknisessä etäkäytössä ja ohjattavuudessa, tulee täytyä. Niitä ovat esimerkiksi valmomoalakeskus ohjatut IV-koneet, EC- tai taajuusmuuttajasäätöi-

set puhaltimet, järjestelmien vyöhykesäätöisyys, rakennuksen riittävän tiivis ulkovaippa, riskirakenteiden tunnistaminen ja aiemmat kokemukset sisäilmaongelmista. (Hukkanen 2021.)



Kuva 9. (Rantanen 2022)

Kotkan kaupungilla on pääsääntöisesti ajettu IV-koneita ainakin vuodesta 2014 lähtien täysillä ilmavirroilla. Tuohon aikaan sisäilmaongelmat olivat nousseet esille useissa kaupungin kohteissa. Sisäilmatutkimuksissa oli havaittu, että osatehoilla painesuhteet olivat usein pahasti alipaineisia johtuen esim. erillispoistoista ja IV-koneiden heikosta säädettävyydestä. Alipaineisuus lisäsi riskiä sisäilmaongelmien synnylle epätiiviestä vaipasta sisäilmaan. Lisäksi uudiskohteissa materiaalien päästöt puoltavat päätöstä ajaa takuuajalla rakennuksia täysillä ilmavirroilla. (Hukkanen 2021.)

Vieläkään ilmavirtojen pudotuksia ei ole pääsääntöisesti toteutettu uusissakaan rakennuksissa, joista kahden vuoden takuu aika on jo ohi ja joissa taloteknisen

säädettävyyden ja vaipan rakenteen johdosta pudotus olisi mahdollista. Tämä kuluttaa paljon energiaa sekä sähkön että lämmityksen osalta sekä nostaa tarpeettomasti rakennuksien CO₂-päästöjä käyttöaikana. Lisäksi lämmityksen osalta aktiivisessa käytössä olevissa kiinteistöissä ei ole käytössä lämmönsäätöautomaatiikkaa eli tilat pidetään mahdollisimman tasalämpöisinä käyttöasteesta huolimatta. Vajaakäyttöisten rakennusten ja tilojen lämmityksen pudotuksiin on vasta viime vuosina alettu kiinnittää kaupungin kohteissa huomiota.

4.2 Aittakorven koulu

Opinnäytetyön tutkimuskohteeksi valikoitui Länsi-Kotkassa sijaitseva Aittakorven koulu, joka on alakoulu 1–6-luokkalaisille sekä esikoululaisille. Rakennus on alunperin valmistunut vuonna 1971, mutta rakennuksissa havaittujen sisäilmaongelmien takia koulun vanhasiipi peruskorjattiin sekä sen yhteyteen rakennettiin uudisosa vuosina 2011–2012. Uuteen laajennusosaan sijoituivat ensimmäiseen kerrokseen teknisentyön opetustilat, liikuntasali sosiaalityötiloineen, kirjasto sekä jakelukeittiö ja ruokasali. Toiseen kerrokseen tulivat opettajien työskentely- ja hallintotilat sekä yhdistetty kuvaamataito- ja musiikkiluokka. Peruskorjattuun osaan sijoituivat varsinaiset opetustilat, esiopetuksen tilat ja iltapäiväkerhon tilat. Lisäksi koululle rakennettiin uusi lähiliikuntakenttä. Kuvassa 10 on esitetty Aittakorven koulun peruskorjattu vanhanosan 2-kerroksinen rakennusosa (Tilapalvelu 2013.)

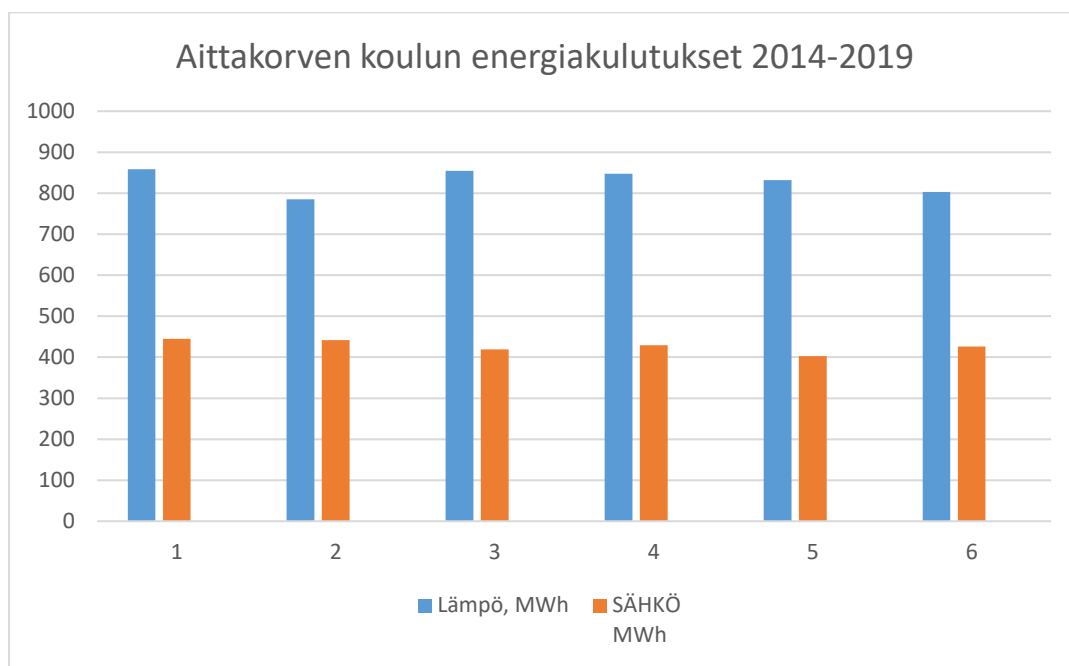


Kuva 10.

Koulun lämmönjakohuone sijaitsee vanhanosan 1. kerroksessa ja lämmitysmuotona on kaukolämpö. Lämmönjakotapana ovat radiaattoripatterit termostaattisilla patteriventtiileillä varustettuna. Vanhaa osaa palvelee katolle tehty uusi konehuone, jossa TK1 palvelee 1. kerrosta ja TK2 palvelee 2. kerrosta. Uuden laajennusosan katolla on toinen konehuone, joka palvelee uudisosan tiloja ja siellä sijaitsevat IV-koneet TK3–TK6. Lisäksi sisäänkäyntien yhteydessä olevat oviverho-kojeet ovat liitetty IV-verkoston piiriin. Kaikki IV-koneet ovat varustettu LTO:lla, pääsääntöisesti LTO-roottorilla, poikkeuksena teknisentyön ja keittiön IV-kone glykoli LTO-järjestelmällä. (LVI-studio Oy 2013)

Viimeisimmän vuoden 2012 remontin jälkeen koulun IV-koneet ovat käyneet mitoitusilmavirroilla. Vuosien 2014–2019 väliset kokonaisenergian kulutukset ovat kerätty kiinteistön energianhallintojärjestelmästä. Kiinteistön sähkö- ja kaukolämmön vuosikulutukset on esitetty kuvassa 11. Näiltä vuosilta laskettu sähkön kes-
kikulutus vuodessa on noin 430 MWh ja kaukolämmön osalta kes-
kikulutus vuodessa noin 830 MWh vuodessa. Mikäli kulutusarvot muutetaan CO₂-päästöiksi,

Motivan arvojen mukaan keskimääräisiksi vuosipäästöiksi saadaan sähköenergian osalta 258 000 kg CO₂, mikäli sähkön päästöarvona käytetään 600 kg CO₂/MWh. Vastaavasti kaukolämmön vuotuisiksi päästöiksi saadaan 146 910 kg CO₂, mikäli kaukolämmön päästöarvona käytetään 177 kg CO₂. (Rantanen 2022.)



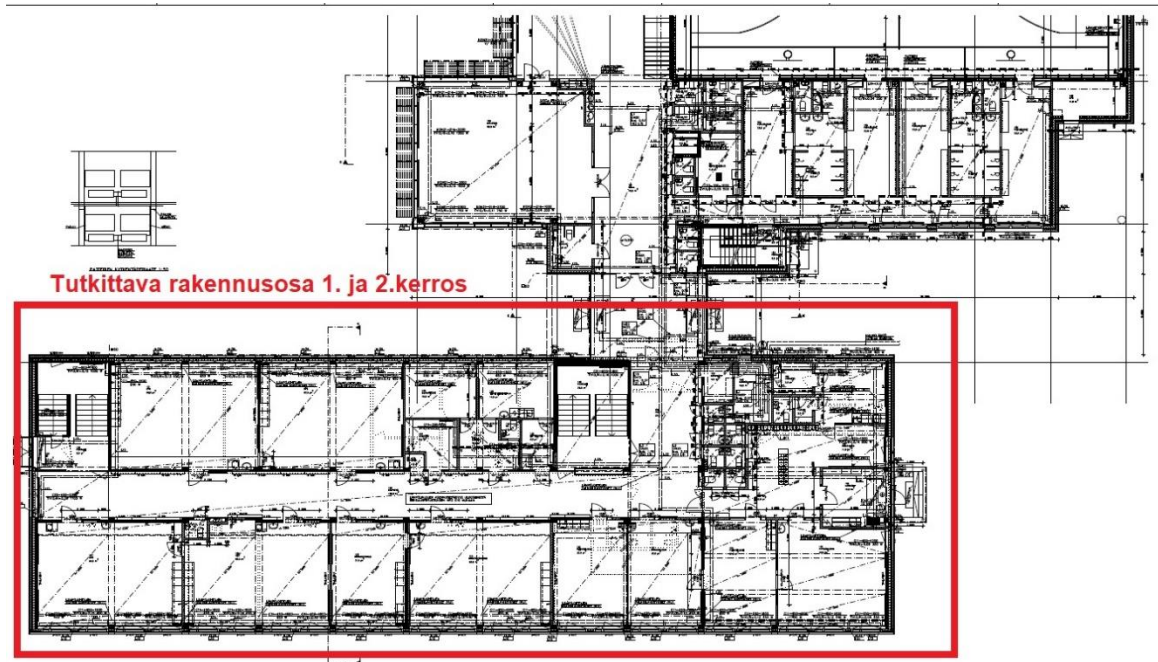
Kuva 11. (Rantanen 2022)

4.3 Kohteen rajaus

Opinnäytetyössä mitataan sisäilmaolosuhteita ja energiankulutusta eri verkostoissa erilaisilla IV-koneiden ilmavirroilla sekä tilojen lämpötilan pudotuksilla. Vanhan osan 1.kerroksessa on käytössä tiloja esikoululaisille sekä koulun henkilökunnalla ja 2. kerroksessa tilat ovat pääsääntöisesti pelkästään alakoulun oppilastiloja. Olosuhde- ja energiamittauksia asennettiin myös uudisosalle ja näin saadaan tietoa myös koko koulun osalta.

Lämpötilan pudotuslaitteiston osalta järjestelmän laajentaminen koko koulun osalle olisi ollut varsin kallista vain tätä pilottia ajatellen, joten päädyttiin toteuttamaan se vain vanhan osan 1. kerrokseen. Tutkimusmielessä tästä saadaan hy-

vää vertailupohjaa 2. kerroksen vastaaviin tiloihin. Molemmat vanhan rakennuksen siiven kerrokset ovat tiloiltaan lähes identtiset ja molempia kerroksia palvelee lisäksi oma IV-kone. Kuvassa 12 on merkitty tarkemmin tutkittava rakennusosa.



Kuva 12. (Tilapalvelu 2013)

5. TUTKIMUSMENETELMÄT JA JÄRJESTELYT

5.1 Esivalmistelut

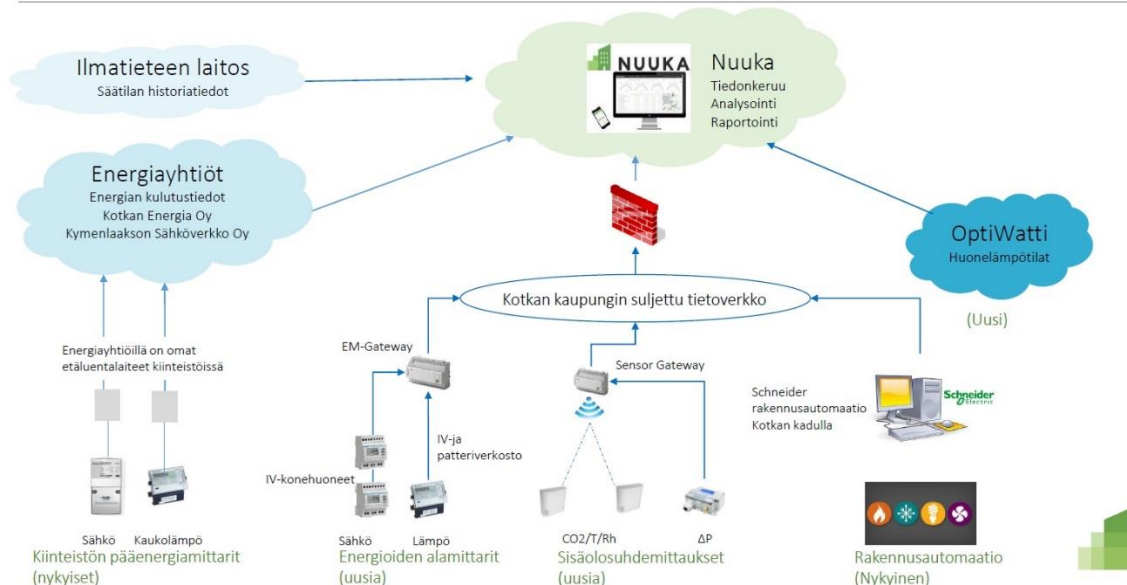
5.1.1 Järjestelmien tarjouspyynnöt

Tilojen olosuhdemittauksia ja energiamittauksia varten pyydettiin Nuuka Solution Oy:ltä tarjous, jossa mittarit ja ohjelmisto käyttöönottopalveluineen tulivat pääsääntöisesti toimittajalta valmiiksi viritettynä. Niiden asennus tiloihin ja verkostoihin tehtäisi yhteistyössä Kotkan kaupungin talokunnossapito henkilöstön sekä sähkötöiden osalta Proput Oy:n kanssa. Putkistojen väliin asennettavista mitta-
reista ja patteriventtiileiden vaihdosta vastasi Kotkan Lämpö- ja Vesityö Oy.

Toimittajan palvelusta otetaan käyttöön sisäilmaolosuhteiden, energiatehokkuuden ja LVISA-prosessien analysointityökalut. Kuvassa 13 on esitetty mittausjärjestelyn tekninen rakenne ja yhteydet. Koko koulun alueelle määritettiin uusia mittauksia seuraavasti:

- Yhdistelmämittauksia (CO₂, T, Rh) 25 kpl
- Paine-eromittauksia 10 kpl
- Sähkö- ja lämpöenergian päämittaukset (ostoenergia) 2kpl
- Sähköenergian alamittauksia IV-konehuoneista 5 kpl
- Lämpöenergian alamittauksia (Patteri- ja IV-verkostot) 5 kpl
- LVIS-prosessin mittaus- ja ohjaustietoja Schneider-automaatiojärjestelmästä noin 100 kpl

Kotkan kaupunki, Aittakorven koulu, Nuuka järjestelmän tekninen rakenne ja yhteydet



Kuva 13.

Lisäksi vanhan osan 1. kerrokseen pyydettiin lämpötilojen pudotuksiin Optiwatti Oy:ltä tarjous, mikä sisälsi 25 tilan patteriventtiilien toimilaitteen asennuksen, huonesensorin sekä langattoman, säädätällä ohjatun järjestelmän käyttöönotto-

neen. Järjestelmällä olisi siis mahdollista pudottaa 1.kerroksen osalta huonelämpötilaa halutun aikataulun mukaan. Lisäksi säädätän hyväksikäyttö lisäisi lämpötilojen ennustettavuutta ja kulutushuippuja.

4.1.2 Kanaviston puhdistus, mittaus- ja säätötyö

Kohdekoulun IV-kanavisto on uusittu kauttaaltaan vuoden 2012 remontissa, ja suositusten mukainen kanaviston puhdistusväli oli ajankohtainen. Sattumalta kohteen kanaviston puhdistus ajoittui kesälle 2019, jolloin tutkimus päästiin aloittamaan tutkimuksen puhtailla kanavilla vuoden 2020 alusta. Lisäksi puhdistuksen jälkeen kanavistoille tehtiin mittaus- ja säätötyö, jotta voitiin varmistaa, että kohteen ilmamäärät ovat hyvin tasapainossa. Ilmamäärät mitattiin ja säädettiin 100 %:n ilmavirroilla, 50 %:n ilmavirroilla sekä 25 %:n ilmavirroilla. Tällä toimenpiteellä varmistuttiin siitä, että kanavisto ja tilat ovat tasapainossa myös osatehoilla. Alla taulukossa 8 on esitetty koko kohteen puhaltimien osatehojen referenssipaineet.

Taulukko 8. TK1-TK6 puhaltimien osatehojen nopeudet

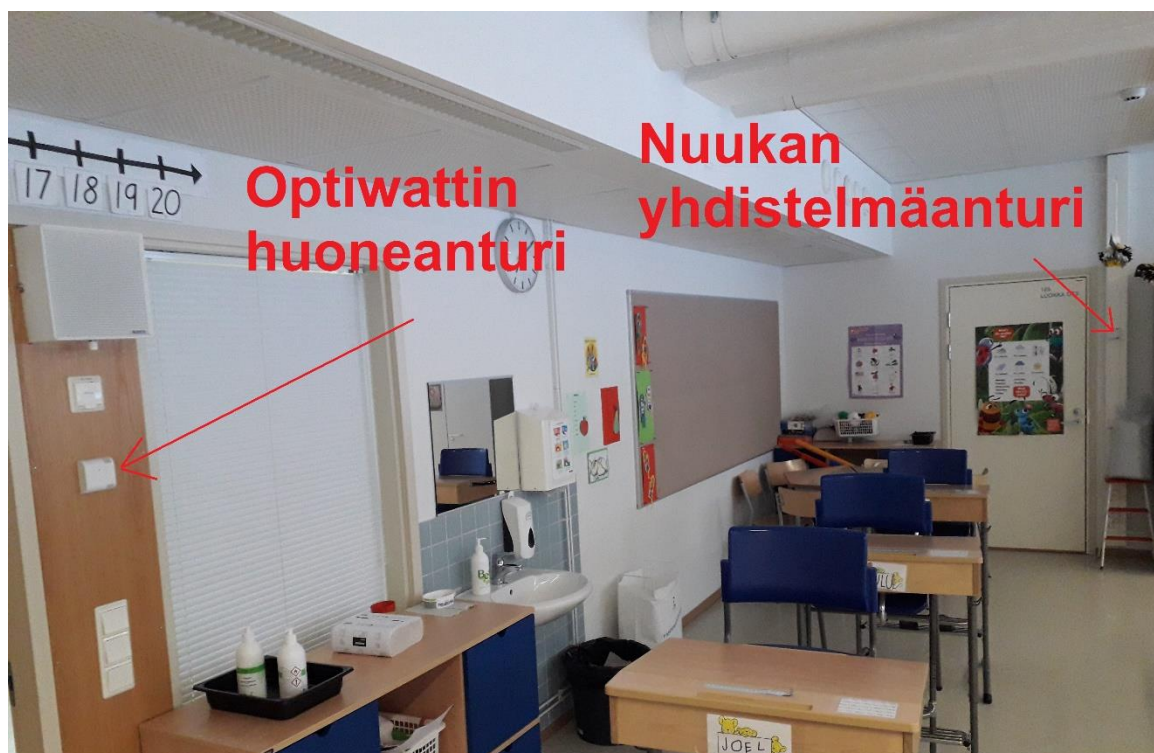
Aittakorven koulu	Tasomuutos			ILMA-EERO OY	10.1.2020	
ILMAMÄÄRIEN MITTAUSPÖYTÄKIRJA	Alnor & HK instruments			Mittaja:	Sami	
	TULOILMA			POISTOILMA		
Konetunnus	100 %	50 %	25 %	100 %	50 %	25 %
TK 1 / PK 1	47,5 Hz	26 Hz	16 Hz	60,5 Hz	35 Hz	22 Hz
TK 2 / PK 2	44 Hz	26 Hz	14,5 Hz	62 Hz	33 Hz	18 Hz
TK 3 / PK 3	80 Hz	41 Hz	22 Hz	77 Hz	38 Hz	21 Hz
TK 4 / PK 4	80 Hz	41 Hz	22 Hz	52 Hz	28 Hz	16 Hz
TK 5 / PK 5	45 Hz	24 Hz	13,5 Hz	67 Hz	31 Hz	16,5 Hz
TK 6 / PK 6	50 Hz	26 Hz	14 Hz	50 Hz	26 Hz	13 Hz
PF 1.2				48 Hz	27 Hz	16 Hz
PF 2.2				25 Hz	11 Hz	5 Hz
PF 3.2				42 Hz	24 Hz	15 Hz
PF 4.2				22 Hz	11 Hz	5 Hz
PF 4.3				40 Hz	19 Hz	7 Hz
PF 8				25 Hz	12 Hz	5 Hz
PF 9				28 Hz	14 Hz	6 Hz
PF 10				29 Hz	13 Hz	6 Hz

Ilmanvaihdon toimivuuden kannalta on erityisen tärkeää, että ilmavirrat ovat tasapainossa ja eivät aiheuta vaipan yli paine-eroja. Liian alipaineinen tila voi johtaa

tilaan epäpuhtauksia vaipan liitoksista ja taas liian ylipaineinen tila voi johtaa kosteuden johtumiseen rakenteeseen ja johtaa sitä kautta rakenteen kosteusvaurioon. Kohteessa ilmanvaihdon puhdistustyön ja mittaus- ja säätötyön suoritti Ilma-Eero Oy.

5.2 Optiwatti -järjestelmän asennus ja käyttöönotto

Kohteen huoneiden lämpötilojen pudotusta varten koulun vanhan osan 1.kerroksen huoneisiin asennettiin tarjouspyynnön mukainen Optiwatti-järjestelmä. Yhteensä 1. kerroksen 25 huoneeseen asennettiin huonesäädin, joka on langattomasti yhteydessä huoneessa sijaitseviin patteriventtiileiden toimimoottoreihin. Toimimoottorit kytkentöineen kuuluivat Optiwatti-järjestelmän toimitukseen, koska ne tarvitsivat johdotuksen virransyötölle. Samalla jouduttiin vaihtamaan patteriventtiilit IMI-TA:n Eclipse -malleihin, jotta kiinnitys saatiin yhteensopivaksi toimimoottoreiden kanssa. Huonesäätimet sijoitettiin sisäseiniin oven pieliin noin 1,6 m korkeudelle mahdollisimman neutraalin huonelämpötilan mittaamiseksi. Kuvassa 14 on havainnollistettu asennetut huoneanturit luokkahuoneessa.



Kuva 14.

Optiwatti-toimitukseen sisältyi lisäksi huonesäätimien keskusyksikkö, johon kuului lisäksi 4G-käyttöliittymä, jonka kautta järjestelmä linkittyy Optiwatin palvelimelle ja siitä saadaan etäyhteys, jotta käyttäjä voi hallita järjestelmää ja sen asetusarvoja. Tässä tapauksessa keskusyksiköitä asennettiin kaksi kappaletta, jotta yhteydet huonesäätimien välillä olisivat mahdollisimman luotettavat johtuen pitkästä rakennusosasta ja paksuista kantavista seinistä. Patteriventtiileiden toimilaite ja kaapelointi esitetty kuvassa 15.



Kuva 15.

Järjestelmän asennukset saatiin patteriventtiilien ja toimimoottoreiden osalta valmiiksi koulun joululomien aikaan, joten häiriötekijät käyttäjälle saatiin minimoitua. Järjestelmä saatiin heti toimintaan koulun alkaessa vuoden 2020 alussa. Käyttöön otossa käytiin pienimuotoinen koulutus järjestelmän etähallintaohjelmaan, johon käyttäjä saa tunnukset ja järjestelmään voidaan kirjautua omilla tunnuksilla. Jokaiselle huoneelle on mahdollista asettaa huonekohtainen tavoitelämpötila vuorokauden jokaiselle tunnille, mikäli siihen on tarvetta. Lisäksi järjestelmään on

mahdollista liittää energian säästöseuranta, mutta tällä kertaa säästö tutkittiin patteriverkoston kulutuksen perusteella sekä mahdollisen tuloilman lämmityksen säästönä. Kuvassa 16 on esitetty näkymä Optiwatti-käyttöjärjestelmästä ko. kohteessa.



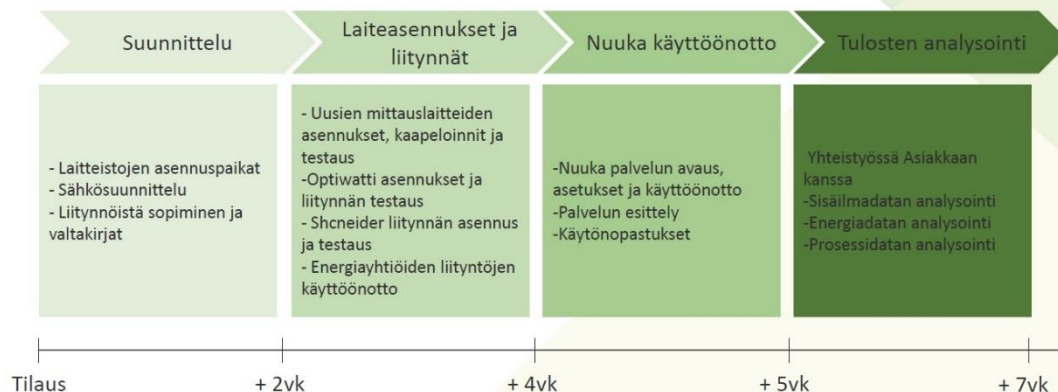
Kuva 16.

5.3 Nuuka-järjestelmän asennus ja käyttöönotto

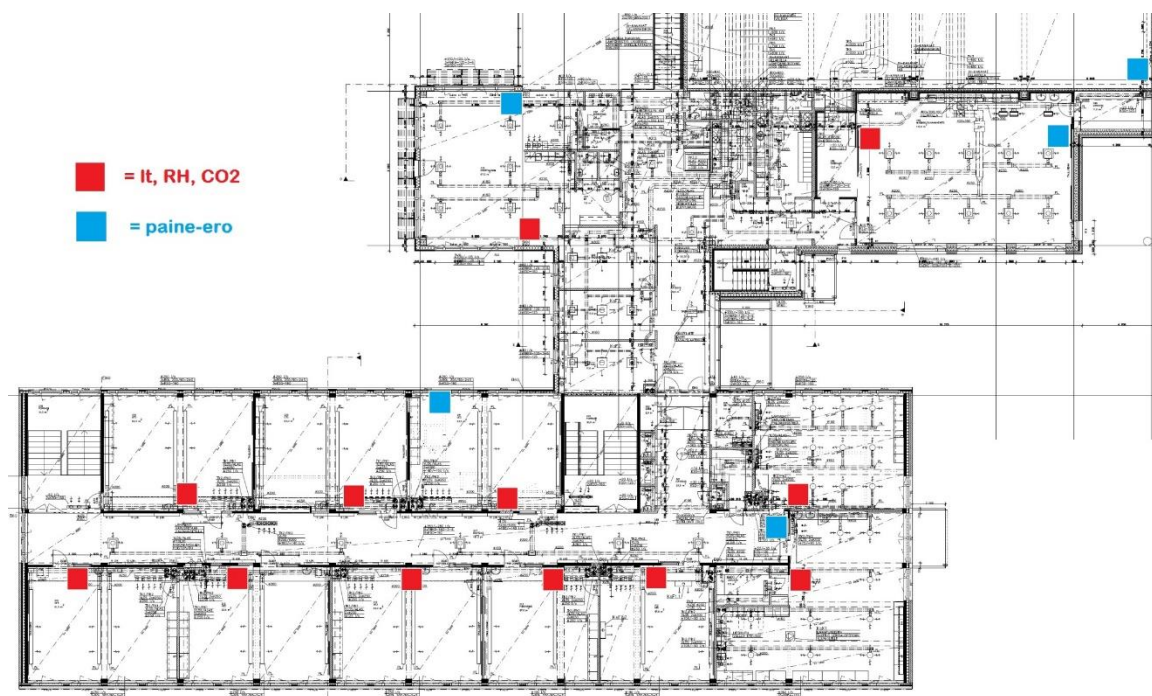
Kohteen sisäilmaolosuhteita ja energiankulutuksen seuranta varten koululle asennettiin tarjouspyynnön mukaisesti Nuukan Analytics-järjestelmä. Sisäilma-arvoja mittaavia yhdistelmäantureita asennettiin käytännössä kaikkiin tiloihin. Vanhan tutkittavan osan molempien kerrosten toimisto- ja luokkatiloihin asennettiin 20 kpl lämpötila-, kosteus- ja CO₂-antureita. Paine-eroantureita tälle osalle asennettiin neljä kpl. Näistä 1.kerroksen tiloja oli 11 kpl ja 2.kerroksen tiloja yhdeksän kpl. Paineroantureita asennettiin molempien kerrosten käytävälle sekä yhteen kerrosten referenssiluokkatilaan. Koko koulun alueelle yhdistelmäantureita asennettiin yhteensä 25 kpl sekä paine-eroantureita yhteensä 10 kpl mukaan lukien uudisosan luokkatilat. Nuuka solution Oy laati asennusprosessista karkean aikataulun, joka on esitetty alla olevassa kuvassa 17. Kuvassa 18. on esitetty yhdistelmäantureiden sijainnit 2.kerroksen vanhalla osalla.

Projektsuunnitelma

- Alla on kuvattu Pilot projektin tärkeimmät vaiheet ja niiden sisältö



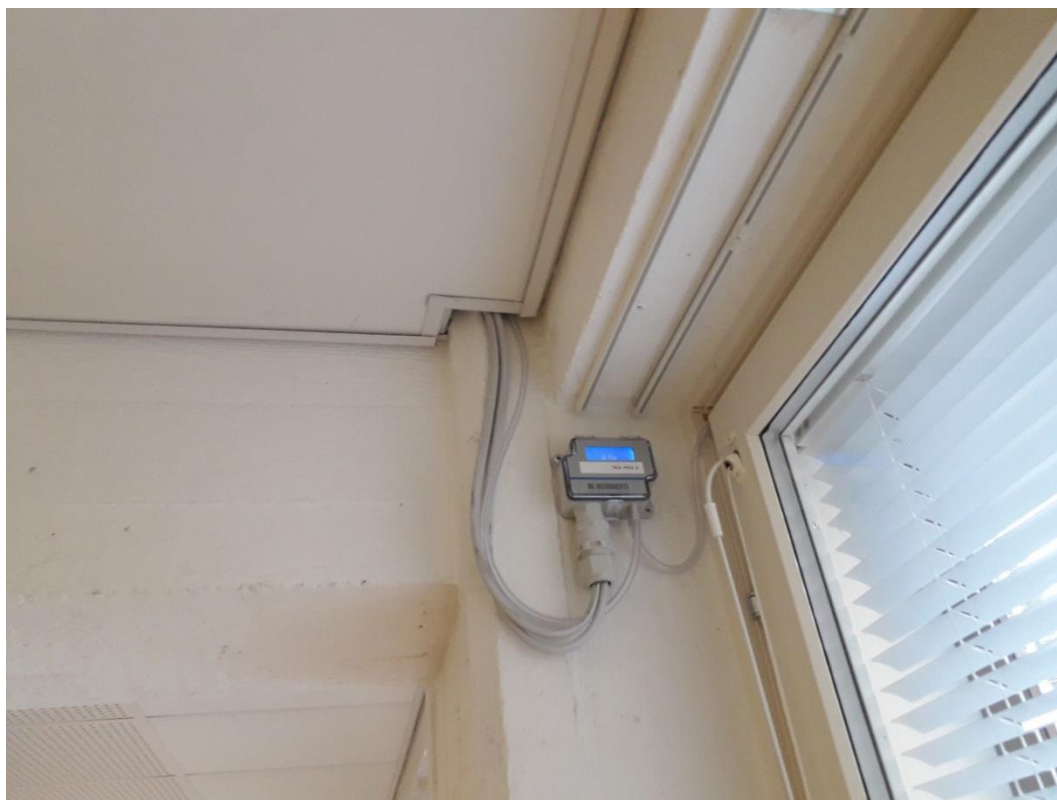
Kuva 17. (Nuuka Solution Oy 2022a)



Kuva 18.

Yhdistelmäanturit olivat langattomia Lansenin valmistamia AMR-multisensoreita, jotka itse asiassa olivat saman valmistajan tuotteita kun Optiwatti-järjestelmän

lämpötilaa ja kosteutta mittaavat huoneanturit. Nuukan järjestelmässä yhdistelmäanturit olivat yhteydessä M-Bus-langattomaan Gateway-keskussyksikköön, mikä liitettiin kiinteistön ATK-verkkoon, josta tiedot lähetetään Nuuka-palvelimelle. Anturit pyrittiin asentamaan suositellulle oleskeluvyöhykkeelle noin 1,6 m lattiapinnasta, mutta muutamissa luokissa sijainteja muutettiin sisäseiniltä myös esim. opettajan opetusseinille tai opiskelijoiden oleskeluvyöhykkeen nurkkiin. Näin voitiin myös tutkia ja tehdä päätelmiä antureiden eri sijoittumista ja vertailla saatua dataa ja poikkeavuuksia asennuspaikasta riippuvana tekijänä.



Kuva 18.

Paine-eroa mittaavat anturit (kuva 18) olivat HK Instrumentin valmistamia DPT-CTRL-MOD- johdollisia mittareita ja niiden asennus vaati 230V-syötön. Toimittajan mukaan täysin luotettavaa langatonta mallia ei ollut tuolloin saatavissa, joten näiden asennus vaati enemmän kaapelointia. Muut uudisosan paine-eromittaukset (6 kpl) sijoiteltiin isompiin tiloihin kuten liikuntasaliin, ruokalaan ja teknisen työn tiloihin. Nämä liitettiin energiamittareiden kanssa samaan Nuukan langalliseen M-Bus-keskussyksikköön, josta tiedot siirtyvät koulun ATK-verkosta Nuukan palvelimeen.

Energiankulutuksien osalta kohteeseen asennettiin tutkittavalle rakennusosalle omat lämpöenergiamittaukset patteriverkostolle ja IV-verkostolle sekä puhallin kohtaiset sähköenergiamittaukset IV-koneisiin. Nämäkin liitettiin Nuukan tiedonkeruujärjestelmään. Lämpöenergiamittareita asennettiin kohteeseen yhteensä viisi kpl, jotka olivat Kamstrupin valmistamia MC403 -multikalorimittareita. TK1:n ja TK2:n jälkilämmityspatteripiireihin asennettiin kaksi mittaria (kuva 19) ja IV-verkoston lämmönsiirtimelle kokonaistehoa mittaava lämpöenergiamittari. Patteriverkoston puolelle asennettiin uudispuolen haaraan oma mittari sekä kokonaistehoa mittaamaan oma mittari lämmönsiirtimen yhteyteen. Näiden erotuksesta saatiin selville tutkittavan vanhanosan patteriverkoston vaikutus lämpöenergiakulutukseen. Kaikki mittarit asennettiin verkostojen putkiston väliin, ja ne vaativat menoja paluulinjaan lisäksi lämpötilan mittausyhteet sekä virtakaapeloinnin.



Kuva 19.

Sähköenergiamittauksia kohteeseen asennettiin yhteensä viisi mittaria. Näistä neljä asennettiin tutkittavan osan TK1 ja TK2 IV-koneiden tulo- ja poistopuhaltimiin. Uudisosan konehuoneen IV-koneisiin TK3–TK6 asennettiin yhteismittari.

EM X/5A -sähköenergiamittarit vaativat 230V-kaapeloinnin. Niiden asennus suoritettiin sähköurakoitsijan toimesta puhaltimien sähkösyöttöjen väliin IV-konehuoneisiin.

Sähkön ja kaukolämmön kokonaisenergian lukemat liitettiin suoraan energiayhtiöiden järjestelmästä Nuuka-palveluun heidän omilta päämittareilta, joten lisää mittareita ei enää tarvittu. Molemmat, sekä lämpöenergia että sähkön jälkimitaukset, liitettiin Nuukan toimittamaan Wired M-Bus Gateway -langallisen keskusyksikön kautta kiinteistön internetin välityksellä Nuukan palvelimelle. Lisäksi kohteen Schneider-kiinteistöautomaatiosta siirrettiin liityntäohjelmiston avulla tiedot Nuuka-palveluun prosessipisteistä, joita oli noin 100 kappaletta. Näitä olivat mm. IV-koneiden aika-ohjelmien lupapisteet, tulo- ja poistopuhaltimien tilatiedot, prosessin mittaukset, asetusarvot ja säätöpisteet sekä lämmitysjärjestelmän prosessin mittaukset, säätöpisteet ja asetusarvot. Alla kuvassa 20 on esitetty Nuuka-järjestelmän kohdekohtainen rakenne ja yhteydet.

The screenshot shows the NUUKA web interface for the 'Aittakorven koulu' (Aittakorven school) project, covering the period from 2.4.2022 to 8.4.2022. The interface is divided into three main data sections:

- Kulutusdata (Consumption data):** Lists various energy consumption points, including IV- and PV-networks, and different parts of the building (TK1-EM1, TK1-EM2, TK1-QQ1, TK2-EM2, TK2-QQ2, TK3-6).
- Prosessidata (Process data):** Lists various control points and setpoints for the heating system, including LS1-TE1, LS1-TE4, LS1-TV1, LS2-PE2, LS2-TE2, LS2-TE2_A, LS2-TE5, LS2-TV2, LS3-PE3, LS3-TE3, LS3-TE3_A, LS3-TE6, LS3-TV3, and TE10.
- Sää (Weather):** Lists weather-related parameters such as Auringon säteilymäara, Haisevat rikkidyhdisteet, Hiukkaset max, Häkä, Ilmankosteus, Ilmanlaadun indeksi, Ilmanpaine, Kastepiste, Lämpötila, Otsooni, Pilvisuus, Rikkidioksidi, Sademäärä, and Tuulen nopeus.

The interface also includes a search bar, a date range selector (set to 7 days), and a legend at the bottom.

Kuva 20.

Olosuhde- ja energiamittauksien fyysinen asennus alkoi osittain samaan aikaan Optiwatti-järjestelmän asennusten kanssa. Lämpöenergiamittareiden asennus putkistoon tehtiin osittain koulun joululoman aikaan vuoden 2020 vaiheessa ja jatkettiin tammikuussa tiloissa, joissa siitä ei ollut haittaa käyttäjille. Samalla tavalla kaikki langallisten antureiden kaapeloinnit suoritettiin loma-aikana. Kaapelointia jatkettiin teknisissä tiloissa helmikuun 2020 loppuun asti. Maaliskuun puolivälissä kaikki oli asennettuna, ja tällöin pidettiin Nuukan kanssa järjestelmän käyttöönotto sekä pikainen koulutus Nuuka-palveluun ja sieltä saatavaan analysoitavaan dataan.

6. OLOSUHDESIMULOINNIN AIKATAULU JA MITTAUKSET

6.1 Käyttöönotto ja järjestelyt

Energiankulutukseen ja sisäilmaseurantaan liittyvät mittaukset ja järjestelmät saatiin asennettua vuoden 2020 maaliskuun loppuun mennessä. Valitettavasti samaan aikaan maailmalla levisi covid-19-pandemia, joka käytännössä vaikutti myös koulujen toimintoihin. Aittakorven koulussa siirryttiin etäopiskeluun, joten ainoa käyttäjäryhmä, jotka koululle jäivät, olivat osa opettajista sekä esikoulun ja päiväkodin toiminta, joka sijoittui vanhan siiven 1.kerroksen esiopetuksen tiloihin. Tästä syystä myös alun perin suunniteltu tutkimuksen simulointiaikataulu IV-koneiden käyttöaikoineen ja tehoinen muuttui.

Tästä huolimatta mittaukset otettiin käyttöön vuoden 2020 maaliskuussa ja kaikkien prosessipisteiden mittaukset saatiin viimeistään huhtikuussa otettua käyttöön. Ensimmäisenä kaikki mittaukset oli tarkistettava, että ne näyttävät realistista arvoa. Esimerkiksi energiamittaukset perustuivat jälkimittauksiin ja niitä voitiin verrata energiayhtiöiltä raportoituihin kokonaiskulutuksiin. Näin päästiin nopeasti kiinni ongelmiin, mikäli joku mittausviesti oli väärinpäin tai näytti jostain syystä väärin. Lisäksi mittausten avulla paljastui TK1:n LTO:ssa huomattava ero TK2:n lähes vastaavan kokoisen IV-koneen LTO:n suorituskykyyn. Tämän johdosta molemmille IV-koneille tehtiin LTO-roottorin tiivisteiden vaihtotyö vuoden 2020 toukokuun aikana. Muuten IV-koneita ajettiin täysillä ilmavirroilla, kuten oli ajettu

myös aiemminkin lähtötilanteena. Tämän tarkoituksena oli saada kulutuskuormaa mittauksille, vaikka tosiaan koulun käyttö oli ympärivuorokauden todella vajaata.

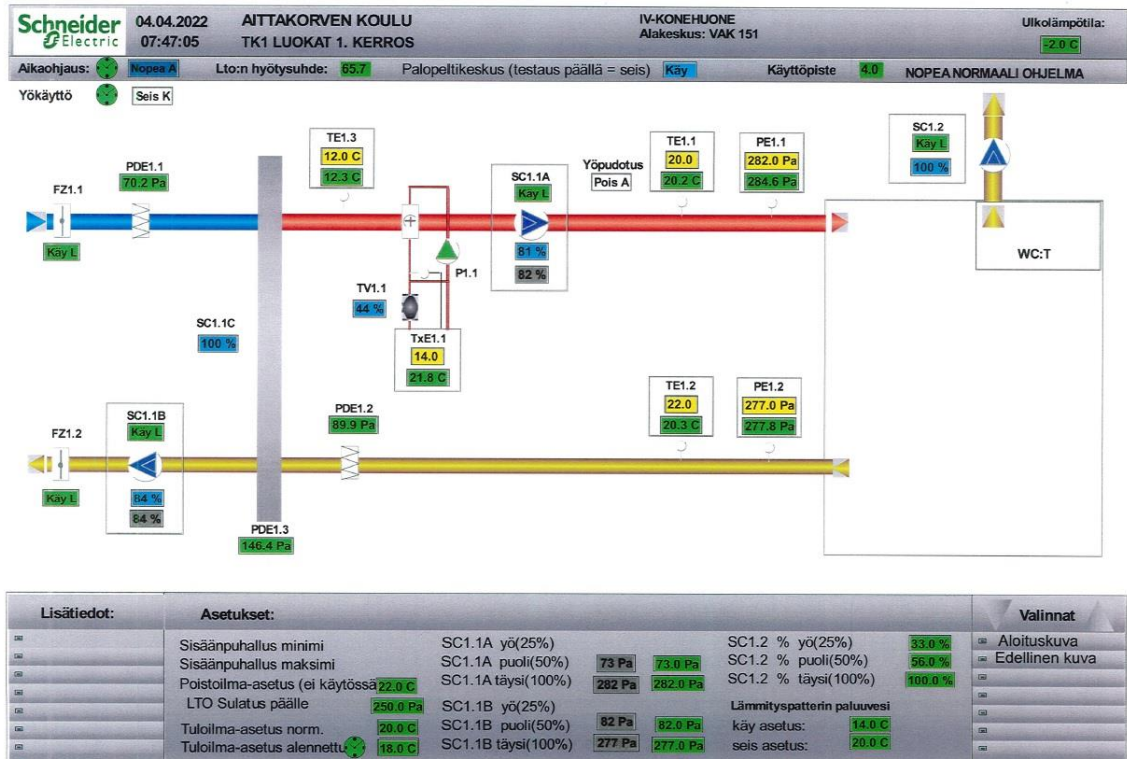
6.2 IV-koneiden aikataulut

Alkuperäisen suunnitelman mukaan tarkoitus oli testata myös koulun käyttöaikana arkisin ilmavirtojen pudotuksia ja seurata CO₂-arvojen kohoamista luokkatiloissa. Covid-19-pandemia kuitenkin pakotti pitämään koulujen ilmavirrat 100 % vähintään käyttöaikana, joten CO₂-arvojen seuraamista ja ilmavirtojen pudotusta käyttöaikana ei tutkimuksessa toteutettu. Tutkimuksen päivitetystä aikataulusta pyrittiin keskittymään käyttöajan ulkopuoleisiin ilmavirran pudotuksiin sekä IV-koneiden pysäyttämiseen kokonaan kuntien julkaiseman ilmanvaihdon käytön ohjeistuksen mukaisesti. Lisäksi tutkittiin kesäajan lomajaksojen sekä lämmityskauden lomajaksojen energiasäästö- ja sisäilmavaikutuksia. Liitteessä 2 on esitetty simuloinnin toteutunut aikataulu IV-koneiden ilmavirroille.

Aikataulussa pyrittiin toistamaan IV-koneiden ilmavirrat 100 %:n ja 50 %:n sekä pysähdykset vuoden eri aikoina. Tällöin saadaan kerättyä lämmitysenergian säästöpotentiaalia varten eri kulutustilanteita kesällä, syksyllä, talvella ja keväällä. IV-koneiden puhallinenergian sähkönkulutuksen osalta ei ulkolämpötiloilla ollut arvattavasti suurempaa vaikutusta, joten sen mittaustulokset saatiin helpommin kerättyä. Aikataulu asetettiin koskemaan kohteen kaikkia IV-koneita (yhteensä kuusi kappaletta), vaikka tässä tutkimuksessa keskitytään vain TK1:n ja TK2:n tuloksiin. Lisäksi liikuntasalin IV-kone TK6 muutettiin CO₂-säädölle eli poistokanavaan asennettiin CO₂-anturi, jolloin puhallin nostaa ilmavirtaa anturin ppm-arvojen mukaisesti.

Käyttöajan ulkopuolella IV-koneet valittiin käyvän kuntien ohjeen mukaisesti niin, että ennen ja jälkeen käyttöajan olevat ns. huuhteluajat täyttyvät. Mikäli koneet pudotettiin 50%:n teholle arkisin, ne starttasivat aamuisin klo. 5.00 100 %:n teholla ja vastaavasti putosivat klo. 17.00 50 %:n teholla. Näin noin kahden tunnin huutelu-aika ennen ja jälkeen käyttöajan toteutuivat kohteessa. Samalla aikataulukselle koneet pysäytettiin arkisin, ja lisäksi viikonloppuisin koneet huuhtelivat

100 %:n ilmavirroilla yhden tunnin ajan vuorokautta kohti. Vastaavasti 50 %:n tilanteessa koneet kävivät 50 %:n ilmavirroilla koko viikonlopun eli siellä ei tehostettua huuhtelua tehty. Nämä kaikki ajastukset saatiin toteutettua kohteen Schneiderin rakennusautomaatiojärjestelmän kautta. Kuvassa 21 on esitetty kiinteistövalvomon näkymä TK1:n osalta, johon lisätty aikatauluohjelmat osatehoille.



Kuva 21. (Hukkanen 2022)

6.3 Lämpötilan pudotuksien aikataulut

Optiwatti-järjestelmän käyttöohjelma on vapaasti määriteltävissä Optiwatin pilvipalvelussa, johon käyttäjä voi itse määrittää kunkin yksittäisen tilan lämpötila-asetukset. Optiwatti-järjestelmän tarkoituksena on pudottaa huonelämpötiloja käyttöajan ulkopuolella viikonloppuisin sekä loma-ajoilla. Lisäksi siihen on mahdollista säätää esim. yhden asteen pudotus arkisin yöajalle sekä erillinen ohjelma lomajoille, jolloin halutaan suurempia lämpötilan pudotuksia pidemmälle ajalle. Jär-

jestelmä myös käyttää hyväksi säädataa, joten se ennakoi ns. vaipan lämpöhäviöitä ja oppii sen käyttäytymistä, mitä pidemmän aikaa järjestelmää käyttää hyväkseen. (Optiwatti Oy 2022.)

Optiwatin asetukset säädettiin aluksi lähtötilanteen mukaiseksi eli tasaiselle 21 °C huonelämpötiloille vanhan siiven 1. kerroksen osalta. Saman siiven 2. kerroksen tilat olivat normaalisti patteritermostaattien mukaisissa 21 – 22°C asetusarvoissa koko mitattavan jakson. Vasta vuoden 2020 maaliskuun aikana asetukset muutettiin toimittajan kanssa siten, että arkisin klo. 5.00 –17.00 välillä huonelämpötila asetus on 21 °C ja arkisin tämän ajan ulkopuolella 20 °C sekä viikonloppuisin 18 °C. Lisäksi pidemmiksi loma-ajoiksi tehtiin pidempi kestoisia säästöasetuksia, jolloin huonelämpötilaksi pyrittiin pudottamaan jopa 16 °C:n. Kuvassa 21 näkyy myös Optiwatin aikataulutus liitettynä TK1:n tuloilman säätöön.



Kuva 21.

Optiwattia pyrittiin käyttämään kaikkina vuoden aikoina, mutta toki erityisesti säästö tulee lämmityskaudelta. 1. kerroksen osalta myös saman palvelualueen TK1:n IV-koneen tuloilman lämpötila pyrittiin säätämään saman aikataulun mukaisesti kohti haluttua huonelämpötilaa eli mikäli Optiwatin huoneasetusarvoksi oli valittu 18 °C, tuloilma pyrki ajamaan myös saman 18 °C. Tällä tavoin tila saa-

tiin myös nopeammin pudotettua asetustilämpötilaan sekä varmistettiin, ettei ilmanvaihdon tuloilman lämpötila jää huoneilman asetusta ylemmäksi ja ilma sekoittuu paremmin huonetilassa. Vastaavasti tuloilman palautus takaisin pyydettyyn tapahtui siten, että käyttöaikana 21 °C:n huonelämpötilassa tuloilma puhallettiin 20 °C:een eli yhden asteen viileämpänä, mikä myös vaikutti huoneen ilmanvaihdon huuhtelutehoon ja tuloilman laskeutumiseen oleskeluvyöhykkeelle.

7. ENERGIASIMULOINNIN TULOKSET

7.1 Energian kulutukset ja vaikutukset CO₂-päästöihin

7.1.1 Ilmamäärien pienennysten vaikutus sähkönkulutukseen

IV-koneiden puhaltimien sähköenergian kulutus voidaan mitata suoraan sinne asennetuista puhallinkohtaisista alamittauksista. Simulointiaikataulun mukaan TK1:n ja TK2:n IV-koneet ovat tutkimusjaksolla käyneet useammassa jaksossa 100 % ilmavirtojen mukaan. Puhaltimia ajettiin myös 50 %:n ilmavirroilla sekä pysäytettynä. Nuukan järjestelmästä voidaan kerätä kummankin IV-koneen, sekä tulo- että poistopuhaltimien, kuluttama energia eri tehotilanteissa. Alla kuvassa 22 on esitetty esimerkiksi TK1/PK1 energiankulutus koneen ollessa pysähdyksissä käyttöajan ulkopuolella yhden viikon ajalta.



Kuva 22. TK1/PK1:n sähköenergiankulutus 15.2-22.2.2021

Samanlainen kulutusjakso saadaan myös 100 %:n ja 50 %:n ilmavirtatilanteista käyttöajan ulkopuolella. Näistä voidaan laskea yhteen vuoden kokonaiskulutus, kun tiedetään, että koulun käyttöviikkoja vuodessa on 40 viikkoa ja lomaviikkoja 12 viikkoa. 100%:n ilmavirroilla yhden viikon aikana esimerkiksi TK1/PK1 kone kuluttaa mittausten mukaan 1 140 kWh. Näin saadaan vuoden kokonaiskulutukseksi TK1/PK1:n osalta 59 280 kWh. Samalla laskentamenetelmällä saadaan 50% ilmavirrat. Viikkokulutus koulun käyttöaikana TK1/PK1 osalta on 25 416 kWh ja lomaviikoilta 2 856 kWh. Vastaavasti IV-koneen ollessa pysäytettynä käyttöajan ulkopuolella kokonaan ja käydessä 100%:n teholla vain yhden tunnin jokaista lomapäivää kohti sen kulutukseksi saadaan yhteensä 16 922,3 kWh.

Kun vuoden kokonaissähkökulutuksia TK1/PK1:n osalta verrataan eri ilmavirroilla, niin 100%:n ilmavirtoihin verrattuna 50 %:n ilmavirroilla sähkönkulutus on vain noin 43%. Tällöin säästetään sähköenergiassa 33,9 MWh ja CO₂-päästö vähennys on 20340 kg CO₂. Koneen ollessa pysähdyksissä käyttöajan ulkopuolella säästetään vieläkin enemmän eli sähköenergiankulutus on vain noin 29 %. Sähköenergian säästö on puolestaan 42,4 MWh ja tämän CO₂-päästö vähennys on 25 440 kg CO₂. Alla olevassa taulukossa 9 on esitetty tulokset molempien IV-koneiden kohdalta.

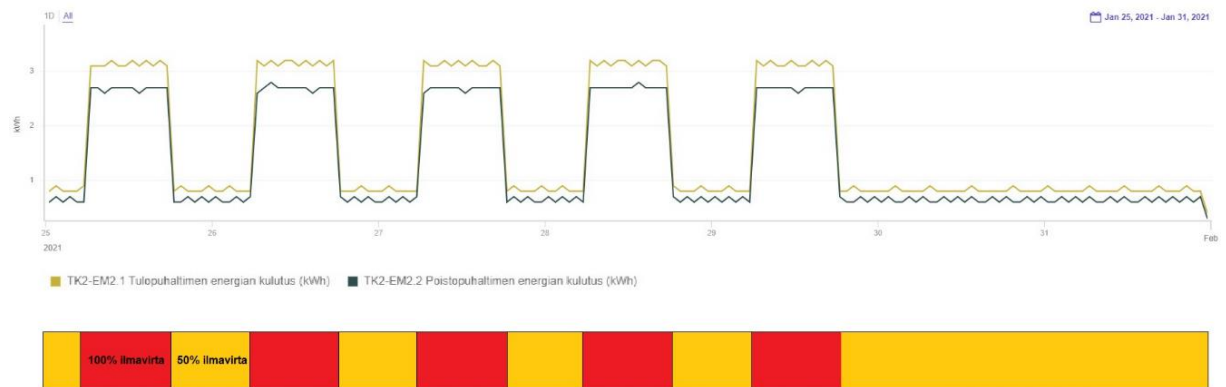
Taulukko 9. TK1:n ja TK2:n kuluttama sähköenergia eri ilmavirroilla

IV-kone	Ilmavirta käyttöajan ulkopuolella (%)	Sähköenergian kulutus (MWh)	CO ₂ -päästö vähennys(kg CO ₂)	Energiakustannukset (110 Eur/MWh)
TK1	100	59,3	(35 580)	6 523
TK1	50	25,4	-20 340	2 794
TK1	0	16,9	-25 440	1 859
TK2	100	52,8	(31 680)	5 808
TK2	50	23,3	-17 700	2 563
TK2	0	15,2	-22 560	1 672

Vastaavasti tarkastelu tehdään TK2/PK2:n IV-koneen sähkönkulutuksiin.

TK2/PK2:n osalta 100 % ilmavirroilla sähkönkulutus on 52 832 kWh vuodessa.

Laskettaessa 50%:n ilmavirroilla käyttöajan ulkopuolella sähköenergiassa säästetään 29,5 MWh vuodessa ja kulutus on suhteellisesti samaa kuin TK1/PK1:n eli 44 %. TK2/PK2:n ollessa kokonaan pysähdyksissä käyttöajan ulkopuolella säästöä tulee 37,6 MWh vuodessa, joka vastaa myöskin suhteellisesti samanlaista kulutusta kuin TK1/PK1:n eli 29%. Alla olevassa kuvassa 23 on esitetty TK2 IV-koneen yhden viikon puhaltimien sähkönkulutus 50 % ilmavirroilla käyttöajan ulkopuolella.



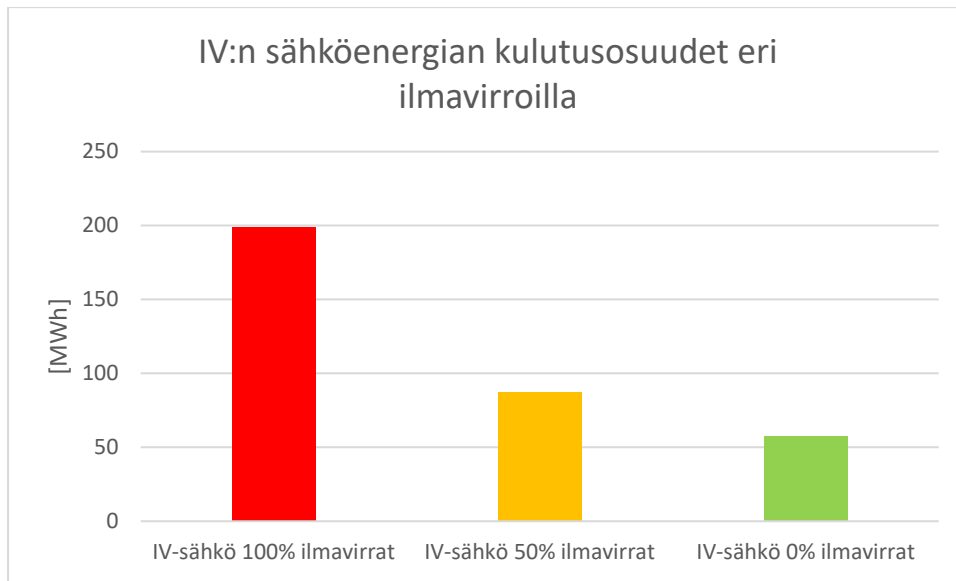
Kuva 23. TK2/PK2:n sähköenergiankulutus 25.1-1.2.2021

Tuloksista nähdään, että käytäjäjoilla voidaan saavuttaa isoja säästöjä sähköenergiankulutuksissa ja sitä kautta vaikuttaa myös kiinteistön elinkaarenaikaisten CO₂-päästöjen pienentämiseen kiinteistöissä. Tämän lisäksi säästöt voidaan mitata taloudellisissa säästöissä. Mikäli käytetään sähkön hintana 0,11 eur kilowattituntia kohti, TK1:n ja TK2:n IV-koneiden kuluttama sähkö maksaa 100 %:n ilmavirroilla noin 11 211 eur vuodessa. Mikäli IV-koneita ajettaisiin 50%:n ilmavirroilla käyttöajan ulkopuolella taloudellista säästöä tulisi noin 6 335 euroa vuodessa. Mikäli IV-koneet pysäytetään kokonaan käyttöajan ulkopuolella, säästöä kertyy vielä enemmän eli noin 7 999 euroa. Alla on esitetty kuvassa 24 koulun kaikkien IV-koneiden kulutuksista 100 %:n ilmavirroilla yhden viikon ajalta.



Kuva 24. TK1–TK6:n sähkönkulutus 11.1-17.1.2021

Tutkimuksessa rajattiin tarkastelu TK1:n ja TK2:n vaikutusalueelle eli koulun vanhalle osalle 2-kerroksiseen siipiosaan. Mikäli tästä osasta saatuja tuloksia käytetään hyväksi, voidaan rakennuksen kaikkien IV-koneiden säästöpotentiaalia myös tarkastella samalla laskentamenetelmällä. 100 %:n ilmavirroilla kaikkien puhaltimien yhteenlaskettu sähkökulutus on Nuukasta kerätyn datan mukaan noin 3 286 kWh viikkoa kohti. Tällöin vuoden eli 52 viikon aikana kulutus vastaa noin 198,9 MWh vuodessa ja noin 21 879 euroa. Käyttöajan ulkopuolella IV-koneiden käydessä 50% ilmavirroilla säästöä syntyy näin keskimäärin 56 %, joka vastaa 111,4 MWh kulutusta ja 12 254 euroa vuodessa. Vastaavasti voidaan laskea kaikkien IV-koneiden kulutus koneiden ollessa pysähdyksissä eli säästöä syntyy 71 % eli se vastaa 141,3 MWh kulutusta ja 15 543 euroa vuodessa. Alla kuvassa 25 on esitetty koulun IV-koneiden sähkönkulutuksen osuudet eri ilmanvaihdon ilmavirroilla. Tarkemmat sähkönkulutuskalkelmat on esitetty liitteessä 3.



Kuva 25.

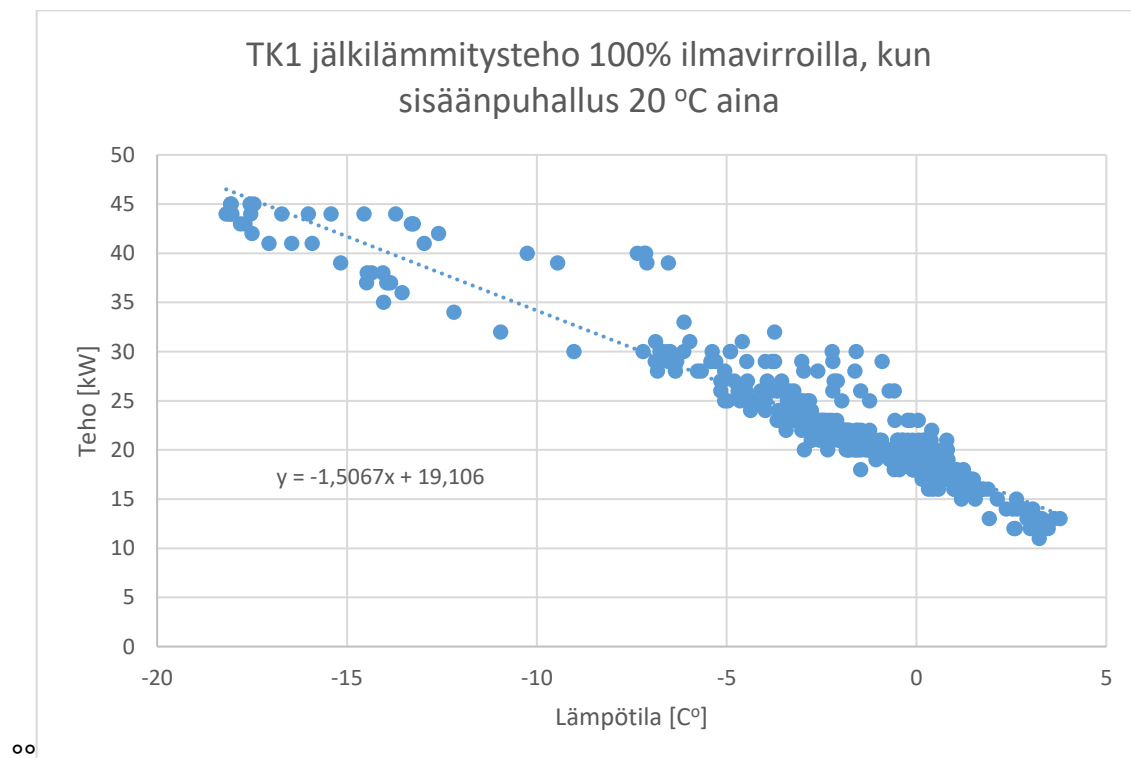
7.1.2 Ilmamäärien pienennysten vaikutus IV-verkostoon

Lämmitysenergian kulutuksen mittaus IV-koneilta perustuu TK1 ja TK2 jälkilämmityspattereiden jälkimittauksiin. Simulointiaikataulun mukaan TK1 ja TK2 IV-koneet ovat tutkimusjaksolla käyneet useammassa jaksossa 100 %:n ilmavirtojen mukaan. Puhaltimia on ajettu myös 50 %:n ilmavirroilla sekä pysäytettynä. Nuukan järjestelmästä voidaan kerätä kummankin IV-koneen jälkilämmityspatterin kuluttama energia eri ilmavirroilla. Haasteelliseksi tehon tarpeen laskennassa tekee lämmitystehon tarpeen vaihtelut, ja se että vuosien ja päivien kulutukset vaihtelevat keskenään paljon. Tämän johdosta lämpöenergian vuosikulutuksien laskennassa käytetään hyväksi Ilmatieteen laitoksen energianlaskennan testivuosien tuntiaineistoa vuodelta 2012. (Ilmatieteenlaitos 2022.)

IV-koneiden jälkilämmityspatterin lämpöteho riippuu ulkolämpötilasta. Lämpötehon ja ulkolämpötilan suhteen hahmottamiseksi mittausajanjaksojen ulkolämpötiloista ja niitä vastaavista hetkellisistä tehonkulutuksista muodostettiin pistejoukko. Hetkelliset jälkilämmityspatterin tehot taulukoitiin Excel-työkirjaan pistejoukkona Nuukan datan perusteella vastaamaan ulkolämpötiloja. Pistejoukon kautta piirrettiin trendiviiva, josta saatiin yhtälö patterin teholle ulkolämpötilan funktiona. Tä-

män perusteella molempien IV-koneiden TK1:n ja TK2:n vuotuinen lämmitystehon tarve saatiin arvioitua. Lämmitysmuotona on kaukolämpö, joten CO₂-päästökertoimena käytettiin 177 kg CO₂/MWh.

Nuukan keräämästä datasta kerättiin 100 %:n ilmavirroille omat taulukoidut tehoarvot sekä samalla tavalla 50%:n ilmavirroille saatiin omat huomattavasti pienemmät tehoarvot. Laskennassa ei otettu huomioon lämmityskauden loma-aikoja eli käytännössä syys-, joului- ja talvimaviikkoja (yhteensä neljä viikkoa), jotka laskettiin ns. normaalina käyttöaikana. Tämä tarkoittaa, että viikossa IV-koneet käyvät 168 tuntia 100 %:n ilmavirroilla. Mikäli ne käyttöajan ulkopuolella käyvät 50 %:n ilmavirroilla, tarkoittaa se 108 tuntia viikossa eli 12 tuntia arkipäivinä ja viikonloppuna 24 tuntia. Mikäli koneet ovat pysähdyksissä kokonaan käyttöajan ulkopuolella, koneet käyvät vain käyttöaikana 100 % teholla. Lisäksi laskennassa on huomioitu silloin yhden tunnin huuhtelu-aika 100 %:n ilmavirroilla viikonloppuna 24 tuntia kohti. Alla kuvassa 26 on esitetty TK1:n jälkilämmityspatterin teho ulkolämpötilan funktiona 100 %:n ilmavirroilla.



Kuva 26.

TK1:n osalta voidaan taulukoitujen ulkoilman pysyvyysarvojen perusteella saada laskettua 100 %:n ilmavirroilla nykytilanteen mukainen lämpöenergiankulutus tilanteessa, jossa kone käy koko ajan, lämpöenergian kulutukseksi noin 107,2 MWh. Mikäli IV-kone käy käyttöajan ulkopuolella 50 %:n ilmavirroilla, saadaan vuotuisesti lämpöenergian kulutukseksi 62,2 MWh vuodessa, joka vastaa noin 58% verrattuna nykyiseen tilanteeseen. Tällöin säästetään lämpöenergiassa 45,0 MWh ja CO₂-päästö vähennys on 7 965 kg CO₂.

Mikäli IV-kone pysäytetään kokonaan käyttöajan ulkopuolella, vuotuisesti lämpöenergian kulutukseksi saadaan 38,3 MWh eli vain noin 36 % verrattuna nykytilanteeseen. Tällöin säästetään lämpöenergiassa vieläkin enemmän eli 68,9 MWh ja CO₂-päästö vähenemä olisi tällöin 12 195 kg CO₂. Tarkemmat laskelmat TK1:n simuloituista lämpöenergiankulutuksista on esitetty liitteessä 4. Taulukossa 10 on esitetty tulokset molempien IV-koneiden kohdalta.

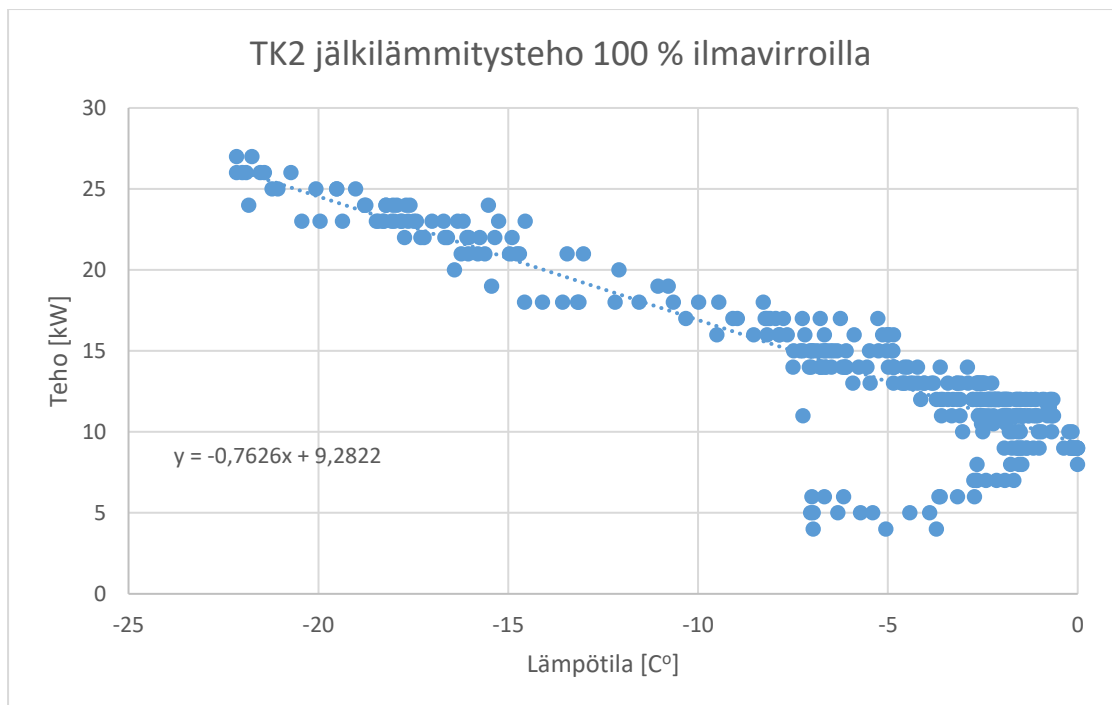
Taulukko 10. TK1:n ja TK2:n lämpöenergiankulutus eri ilmavirroilla

IV-kone	Ilmavirta käyttöajan ulkopuolella (%)	Lämpöenergian kulutus (MWh)	CO ₂ -päästö vähennys(kg CO ₂)	Energiakustannukset (65 Eur/MWh)
TK1	100	107,2	(189 744)	6 968
TK1	50	62,2	-7 965	4 043
TK1	0	38,3	-12 195	2 490
TK2	100	65,2	(11 540)	4 238
TK2	50	48,1	-3 027	3 126
TK2	0	23,3	-7 416	1 515

TK2:n osalta laskentamenetelmä on sama kuin TK1:n osalta. Huomion arvoista on, että jostain syystä TK2 kuluttaa melkein puolet vähemmän jälkilämmityspatterin energiaa LTO:n jälkeen, vaikka molempien koneiden ilmamäärät ovat lähes samoja. Tosin IV-koneiden fyysinen koko on eri, joten sillä voi olla vaikutusta pat-

tereiden mitoitukseen ja energiatehokkuuteen ja sitä kautta niiden vaatimaan jälkilämmitysmäärään. Kulutuksien erovaisuus tulee esille niin Nuukan jälkilämmityspatterin kokonaiskulutuksessa kuin hetkellisessä tehossa eri ulkolämpötiloissa.

TK2:n osalta vastaavasti laskettuna saadaan 100 %:n ilmavirroilla kone käy koko ajan, lämpöenergian kulutukseksi noin 65,2 MWh. Mikäli IV-kone käy käyttöajan ulkopuolella 50 %:n ilmavirroilla, saadaan vuotuisesti lämpöenergian kulutukseksi 48,1 MWh vuodessa, joka vastaa noin 73% kulutusta verrattuna nykyiseen tilanteeseen. Tällöin säästetään lämpöenergiassa 17,1. Mikäli IV-kone pysäytetään kokonaan käyttöajan ulkopuolella, niin vuotuinen lämpöenergian kulutukseksi saadaan 23,3 MWh eli noin 36 % verrattuna nykytilanteeseen. Tällöin säästetään lämpöenergiassa 41,9 MWh. Alla kuvassa 27 on esitetty TK2 jälkilämmityspatterinteho 100%:n ilmavirroilla ulkolämpötilan funktiona. Tarkemmat laskelmat TK2:n simuloituista lämpöenergiankulutuksista on esitetty liitteessä 5.

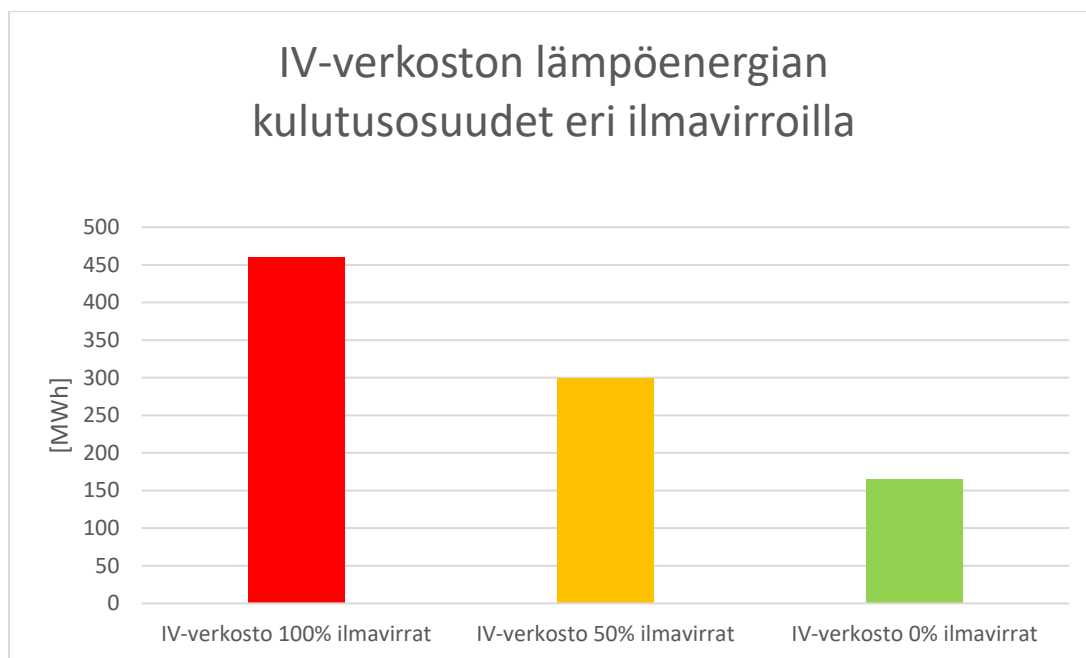


Kuva 27.

Tuloksista nähdään, että käyntiajoilla voidaan saavuttaa isoja säästöjä myös lämmityskaudella ilmanvaihtoverkoston lämpöenergiankulutuksissa ja sitä kautta vai-

kuttaa myös kiinteistön elinkaarenaikaisten CO₂-päästöjen pienentämiseen kiinteistöissä. Tämän lisäksi säästöt voidaan mitata taloudellisissa säästöissä. Mikäli käytetään kaukolämmön hintana 65 euroa megawattituntia kohti, TK1 ja TK2 IV-koneiden kuluttama lämpöenergia 172,4 MWh maksaa nykytilanteessa 100 %:n ilmavirroilla noin 11 206 euroa vuodessa. Mikäli IV-koneita ajettaisiin 50 %:n ilmavirroilla käyttöajan ulkopuolella taloudellista säästöä tulisi noin 4 037 euroa vuodessa. Mikäli IV-koneet pysäytetään kokonaan käyttöajan ulkopuolella, taloudellista säästöä kertyy vielä enemmän eli yhteensä noin 7 201 euroa vuodessa.

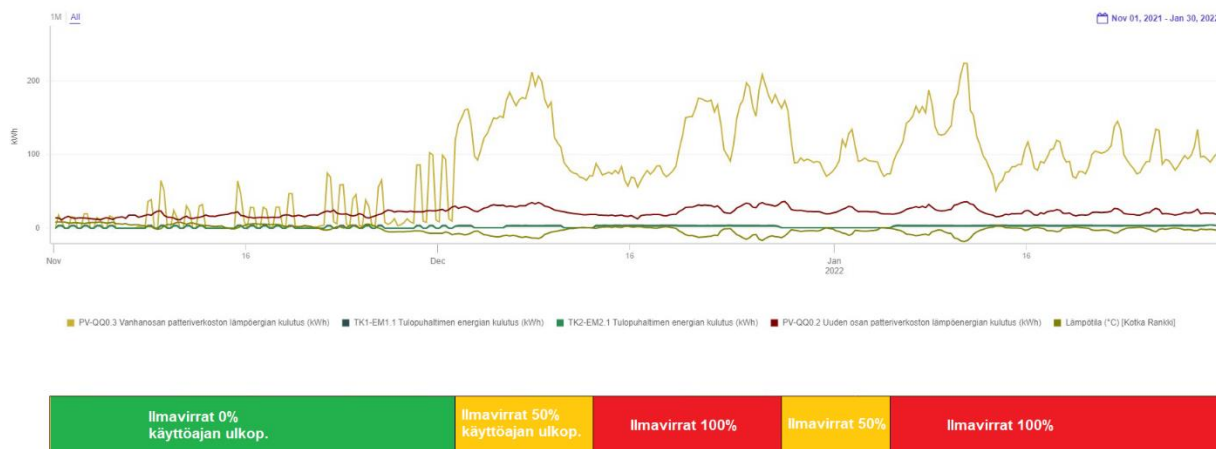
Lämpöenergian osalta ilmavirtojen pudotuksella on vaikutusta varsinkin lämmityskaudella. Tällöin energiansäästöä saadaan ilmanvaihtokoneiden jälkilämmityspattereiden kulutuksista. TK1:n ja TK2:n osalta ilmavirtojen pudotuksien vaikutuksia lämpöenergian kulutukseen simuloitiin tuloksissa aiemmin. Koko kiinteistön osalta IV-koneiden jälkilämmitys vastaa lähtötilanteessa noin 460 MWh:n osuutta vuodessa ja kaukolämmön kokonaiskulutuksesta kulutuksesta se vastaa 55 %:n osuutta. IV-koneiden kuluttama lämpöenergia 460 MWh maksaa nykytilanteessa 100% ilmavirroilla noin 29 900 euroa vuodessa. Käyttöajan ulkopuolella IV-koneiden käydessä 50 %:n ilmavirroilla säästöä syntyy keskimäärin 19 %, joka vastaa 161,0 MWh:n kulutusta ja 10 465 euroa vuodessa. IV-koneiden ollessa käyttöajan ulkopuolella kokonaan pysähdyksissä säästöä syntyy keskimäärin noin 35 % kokonaiskulutuksesta eli se vastaa 299,0 MWh:n kulutusta ja 19 435 euroa vuodessa. Alla kuvassa 28 esitetty koulun IV-verkoston kulutuksen osuudet eri ilmanvaihdon ilmavirroilla. (Rantanen 2022.)



Kuva 28.

7.1.3 Ilmamäärien pienentysten vaikutus patteriverkostoon

IV-koneiden käyntiaika ja ilmavirrat vaikuttavat myös huoneiden lämpöhäviöön. Ilmanvaihtokoneiden tuloilma pyritään puhaltamaan hieman alilämpöisenä huoneeseen, jotta ilma sekoittuu huoneilmaan ja laskeutuu hyvin oleskeluvyöhykkeelle. TK1:n ja TK2:n osalta tuloilman lämpötila on asetettu 20 °C ja näin huoneiden lämmityksen asetusarvossa 21–22 °C ilmanvaihdon mukana tuotu ilma lämpenee ja poistuu poistoelimiin. Mikäli ilmanvaihto ei ole päällä, jää ilmanvaihdosta johtuva lämpöhäviö toteutumatta tai se on ainakin hyvin pieni. Seuraavasta mittausjaksosta nähdään TK1:n ja TK2:n vaikutusalueen patteriverkoston kulkuskäyrä vuoden 2021 marraskuun alusta tammikuun loppuun. Marraskuussa IV-koneet ovat kokonaan pysähtyneinä käyttöajan ulkopuolella. Joulukuun alussa kaksi viikkoa on käytössä 50 %:n ilmavirrat käyttöajan ulkopuolella ja tammikuun aikana IV-koneet käy taas 100 %:n ilmavirroilla koko ajan. Mittausjakson kuvaajat on esitetty alla kuvassa 29.



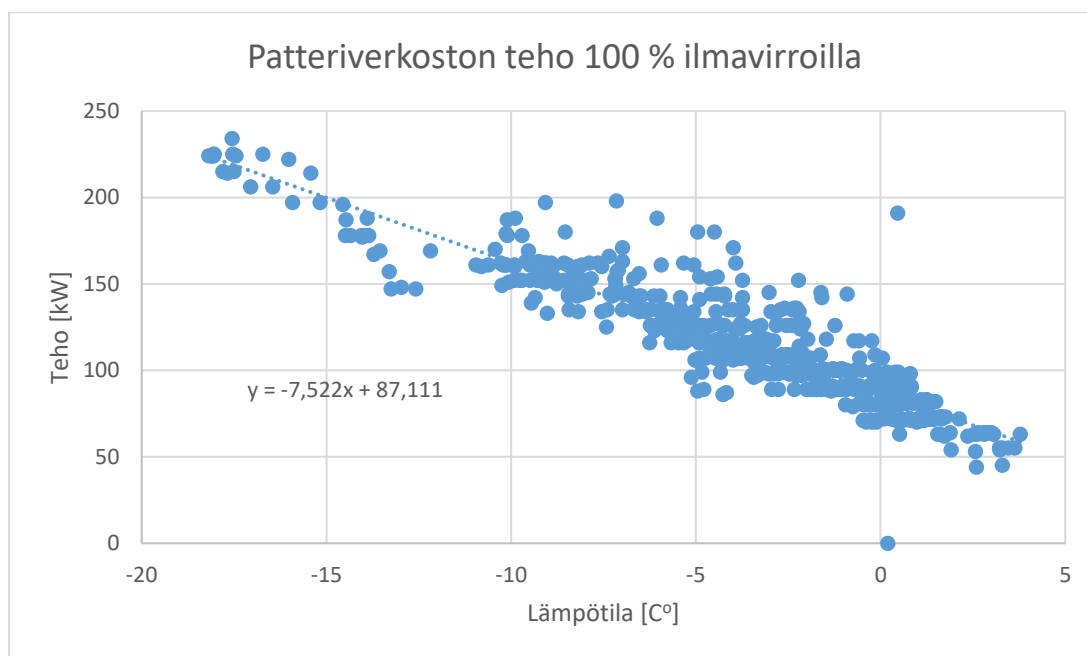
Kuva 29. TK1:n ja TK2:n vaikutusalueen huonelämmityksen energiankulutus 1.11–31.1.2022

TK1:n ja TK2:n vaikutusalueen eli vanhan siiven 1. ja 2. kerroksen patteriverkoston kulutuskäyrästä nähdään, että mikäli ilmanvaihto on pysäytettynä, lämmöntarvetta verkostoon ei ole tai se on hyvin vähäinen riippuen ulkolämpötilasta. Tähän mittaukseen ei vaikuta TK1:n alueelle lämpötilojen pudotukseen vaikuttava Optiwatti-järjestelmä, joten tuon järjestelmän lisävaikutusta tutkitaan enemmän seuraavassa osiossa. Myös IV-koneiden käydessä 50 %:n ilmavirroilla lämmitystarve on pienempi kuin 100 %:n ilmavirroilla.

Patteriverkoston lämpöteho riippuu ulkolämpötilasta sekä IV-koneiden ilmavirroista. Hetkelliset patteriverkoston lämmitystekokulutukset taulukoitiin Excel-taulukkoon pistejoukkona Nuukan datan perusteella vastaamaan ulkolämpötiloja. Pistejoukon kautta piirrettiin trendiviiva, josta saatiin yhtälö patteriverkoston teholle ulkolämpötilan funktiona eri ilmavirroilla. Kun TK1 ja TK2 käyvät aina 100 %:n ilmavirroilla, simuloiduksi patteriverkoston kokonaiskulutukseksi saadaan 482,5 MWh. Taulukossa 11 on esitetty tulokset molempien IV-koneiden kohdalta. Kuvassa 30 on esitetty patteriverkoston teho ulkolämpötilan funktiona 100% ilmavirroilla.

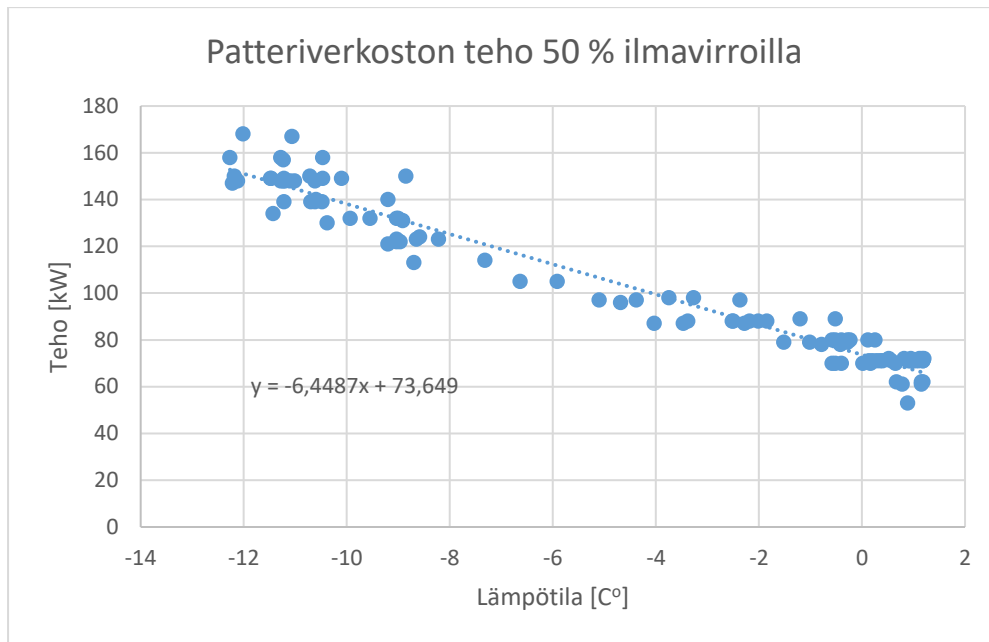
Taulukko 11. Patteriverkoston lämpöenergiankulutus eri ilmavirroilla

IV-kone	Ilmavirta käyttöajan ulkopuolella (%)	Lämpöenergian kulutus (MWh)	CO ₂ -päästö vähennys (kg CO ₂)	Energiakustannukset (65 Eur/MWh)
TK1/TK2	100	482,5	(85 403)	31 343
TK1/TK2	50	434,2	-8 549	28 223
TK1/TK2	0	216,2	-47 135	14 053



Kuva 30.

Mikäli TK1 ja TK2 käy käyttöajan ulkopuolella vain 50 %:n ilmavirroilla, kulutukseksi saadaan 434,2 MWh. Mikäli molemmat koneet ovat pysäytettynä käyttöajan ulkopuolella, patteriverkoston kulutus on todella vähäistä ja kulutukseksi saadaan vain 216 MWh. Energiakustannuksissa säästetään jopa 17 290 euroa vuodessa ja CO₂-päästö vähenemä olisi noin 47 135 kg CO₂. Patteriverkoston kulutus voi toki pidemmällä ajalla olla korkeampi, mutta arkiöisin ja viikonloppuna kulutus voi puolestaan olla vähäistä. Tähän vaikuttaa paljon rakennuksen ulkovaipan rakenne. Alla kuvassa 31 on esitetty patteriverkoston teho ulkolämpötilan funktiona 50% ilmavirroilla. Tarkemmat laskelmat patteriverkoston energiankulutuksista löytyy liitteestä 6.



Kuva 31.

Tuloksista nähdään, että ilmanvaihtokoneiden sammutuksella käyttöajanulkopuolella on yllättävän suuri vaikutus myöskin patteriverkoston kulutukseen. Mitä suurempi lämpöhäviö ilmanvaihdosta sen ollessa päällä tiloihin syntyy, sitä enemmän patteriverkosto kuluttaa. Tähän vaikuttaa oleellisesti myös asetusarvo, kuinka monta astetta viileämpänä tuloilma puhalletaan alle huoneen asetusarvon. Kuvassa 32 on esitetty patteriverkoston teho eri ilmavirroilla TK1:n ja TK2:n alueella.

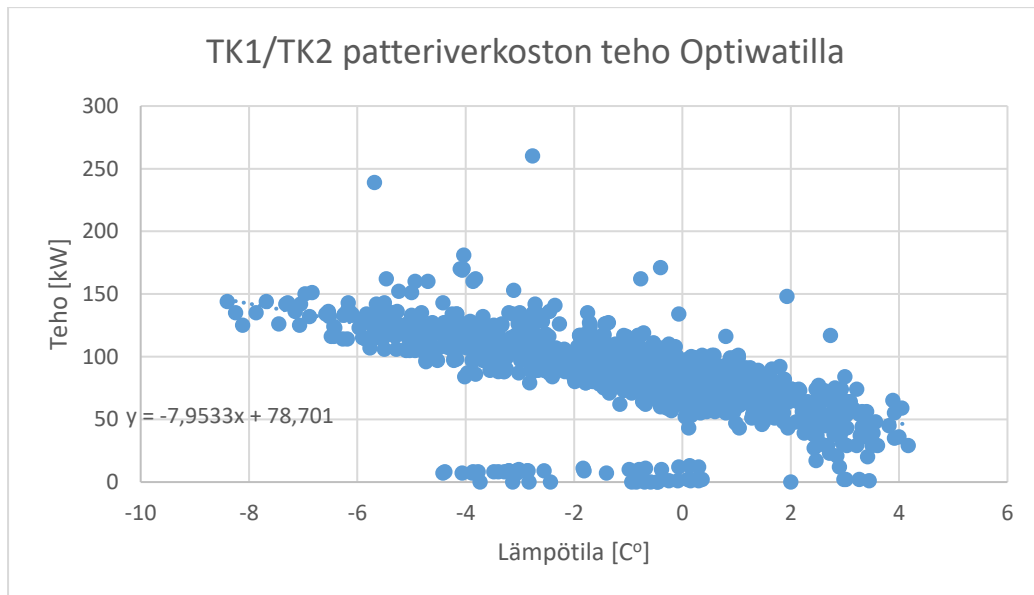


Kuva 32.

7.1.4 Huonelämpötilojen pudotusten vaikutus patteriverkoston

Huoneiden lämpötilojen pudotus käyttöajan ulkopuolella toteutettiin Optiwatti-järjestelmän avulla, joka ajastettiin halutun aikataulun mukaisesti. Lämpötilan pudotukset rajoittuivat 1. kerroksen vanhan osan huoneisiin, kun vastaavasti samojen tilojen yläpuolella 2. kerroksessa lämpötilan pudotuksia ei toteutettu mittausjaksolla. Näillä molemmilla kerroksilla on yhteinen patteriverkosto, joten mahdollinen lämpöenergian säästö olisi mitattavissa verkoston kulutuksen muutoksista. Lisäksi 1. kerroksen osalta sitä palveleva TK1 IV-kone kytkettiin samaan aikatauluun Optiwatin kanssa eli tuloilman lämpötila pudotetaan saman aikataulun mukaisesti samaan huoneasetusarvoon. Näin lämpötilan pudotus nopeutuu ja samalla huolehditaan, että tuloilma ei ole sisäilmaa lämpimämpää sekä tuloilma huuhtelee ja sekoittuu huoneessa tehokkaasti. Mikäli ilmanvaihto on samaan aikaan kokonaan pysähdyksissä, vastaavaa vaikutusta ei pääse tapahtumaan.

Nuukan keräämistä energiamittaus- ja huonelämpötilatuloksista päästään toteamaan mahdollinen patteriverkoston saatava lämpöenergian säästö. Mittausjaksoksi valittiin vuoden 2022 tammikuu, jolloin IV-koneet kävivät 100 %:n ilmavirroilla ja huonelämpötilan pudotus 1. kerroksessa eli TK1:n vaikutusalueella ei ollut käytössä. Vastaavasti helmikuun alusta lähtien Optiwatti-järjestelmän lämpötilanpudotukset aseteltiin päälle niin, että arki-iltana ja yönä pyritään tiputtamaan yhden asteen 20 °C:n lämpötilaan ja viikonloppuna pyritään kolmen asteen tiputukseen eli 18 °C:n lämpötilaan. Molemmilta mittausjaksoilta mitattiin vanhan siiven 1. ja 2.kerroksen patteriverkoston hetkelliset tehonkulutukset ja niistä muodostettiin pistejoukko mittausajanjaksoilta ulkolämpötiloista ja niitä vastaavista hetkellisistä tehonkulutuksista. TK1:n ja TK2:n vaikutusalueen patteriverkoston kulutuksia Optiwatti päällä on esitetty kuvassa 33.



Kuva 33.

Hetkelliset patteriverkoston kulutukset taulukoitiin Excel-taulukkaan pistejoukkona Nuukan datan perusteella vastaamaan ulkolämpötiloja. Pistejoukko on hyvin hajanainen, koska Optiwaitin säästöohjelma ja säädä ohjaavat lämmitystä, eikä se ole näin aina riippuvainen ulkolämpötilasta. Tästä syystä täysin luotettavan säästön löytäminen verkostonkulutuksien vertailuna on vaikeaa.

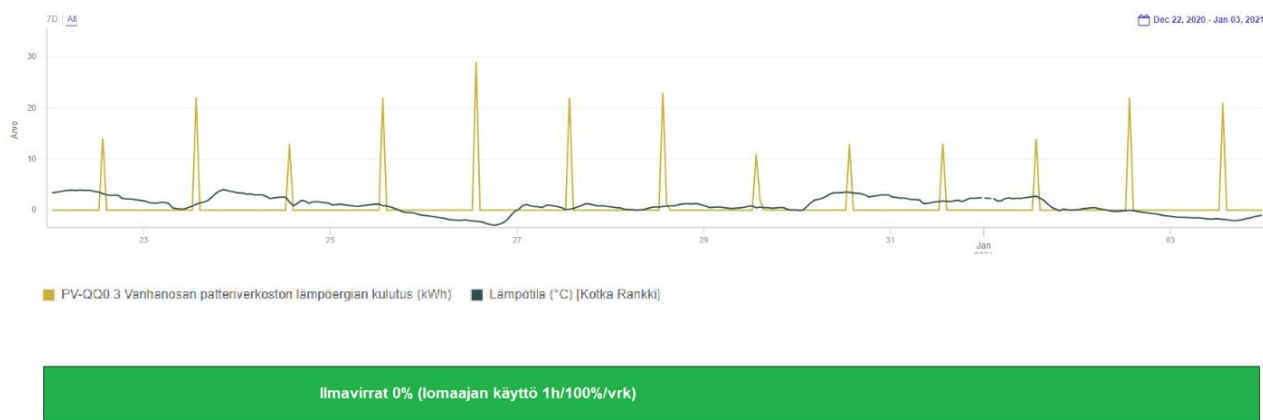
Pistejoukon kautta piirrettiin trendiviiva, josta saatiin yhtälö patteriverkoston teholle ulkolämpötilan funktiona 100 %:n ilmavirroilla. Kun TK1 ja TK2 käyvät aina 100 %:n ilmavirroilla, simuloitu patteriverkoston kokonaiskulutuksien erotus käyttäjän ulkopuolella oli noin 30,6 MWh. Taulukossa 12 on esitetty tulokset Optiwaitin vaikutuksista patteriverkoston kulutuksiin.

Taulukko 12. Huonelämpötilan pudotusten vaikutus patteriverkoston kulutukseen

IV-kone	Ilmavirta käyttäjän ulkopuolella (%)	Patteriverkoston lämpöenergian kulutuksen muutos(MWh)	CO ₂ -päästö vähennys (kg CO ₂)	Energiakustannuksen muutos (65 Eur/MWh)
TK1/TK2	100	-30,2	-5 416	-1 963
TK1/TK2	50	Ei tutkittu		
TK1/TK2	0	Ei eroa		

Mikäli Optiwatilla saavutettavaa säästöä verrataan koko patteriverkoston simuloituun vuotuiseseen energiamäärään, se vastaa noin 5 %:n osuutta patteriverkoston energiansäästöön. Tässä on kuitenkin epätarkkuutta mittauksissa, koska 2. kerroksen pattereista johtuen muutos verkoston kulutuksessa tasaa kulutuskäyrän muutoksia, jos verrataan tilanteeseen, että Optiwatti olisi asennettu vanhan osan molempiin kerroksiin. Tästä voidaan arvioida, että mikäli järjestelmä olisi toteutettu koko vanhan osan molempiin kerroksiin, niin mahdollinen säästöosuus koko verkostosta olisi ollut noin 10 %:n luokkaa.

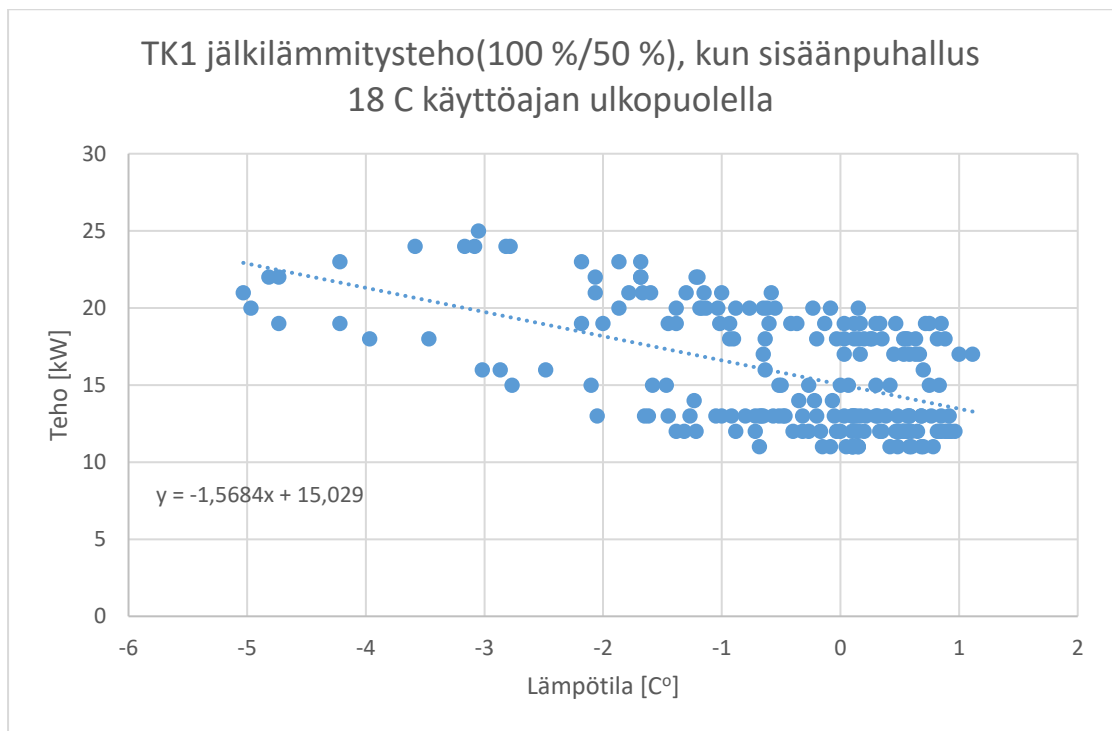
Kuvassa 34 on esitetty patteriverkoston kulutustrendi vuoden 2021 lopulta, jolloin koulu oli joululomalla. Tällöin aikataulun mukaisesti Optiwatti asetettiin 16 °C asetusravoon loman alussa ja tammikuun alussa viimeisellä lomaviikolla se otettiin pois käytöstä muutamaksi päiväksi. IV-koneet kävivät lomajaksolla vain lomaohjeistuksen mukaan yhden tunnin päivässä 100 %:n ilmavirroilla. Kuvasta nähdään, että verkoston kulutus on vähäistä ja vain ilmanvaihtokoneiden yhden tunnin käynti aiheuttaa patteriverkoston kulutusta. Myöskään Optiwatin pois kytkentä ei aiheuta verkostoon suurta kulutusta. Tästä voidaan päätellä, että Optiwatin käyttö ei tuo suuria säästöjä verkoston kulutukseen, kun IV-koneet ovat pysähtyneissä tai käytetään jaksoittain.



Kuva 34.

7.1.5 Huonelämpötilojen pudotusten vaikutus IV-verkostoon

Toinen lämpötilojen pudotukseen liittyvä tekijä on tuloilman lämpötilan pudotus huonelämpötilan pudotuksien aikataulujen mukaisesti. Nuukan keräämästä TK1 jälkilämmityspatterin tehosta saadaan ulkolämpötilan perusteella tehtyä oma pistejono ja tämän perusteella voidaan TK1 lämpöenergian kulutuksia laskea kuten edellisessä kohdassa. Mikäli ilmanvaihtoa käytetään 100 %:n ilmavirroilla myös käyttöajan ulkopuolella, tuloilman pudotuksesta 20 °C → 18 °C syntyy säästöä lämpöenergian jälkilämmityspatterin tehosta. Tuloilman asetuksen ollessa käyttöajan tilanteessa 20 °C, TK1 kuluttaa vuositasolla aiemmin lasketun 107,2 MWh lämpöenergiaa. Mikäli tuloilmanlämpötilaa pudotetaan 18 °C:een käyttöajan ulkopuolella, kulutukseksi saadaan 80,9 MWh. Alla kuvassa 35 on esitetty TK1 tehon tarpeesta 100 %:n ja 50%:n ilmavirroilla 18 °C tuloilmalämpötilassa. Tarkemmat laskelmat esitetty liitteessä 4.

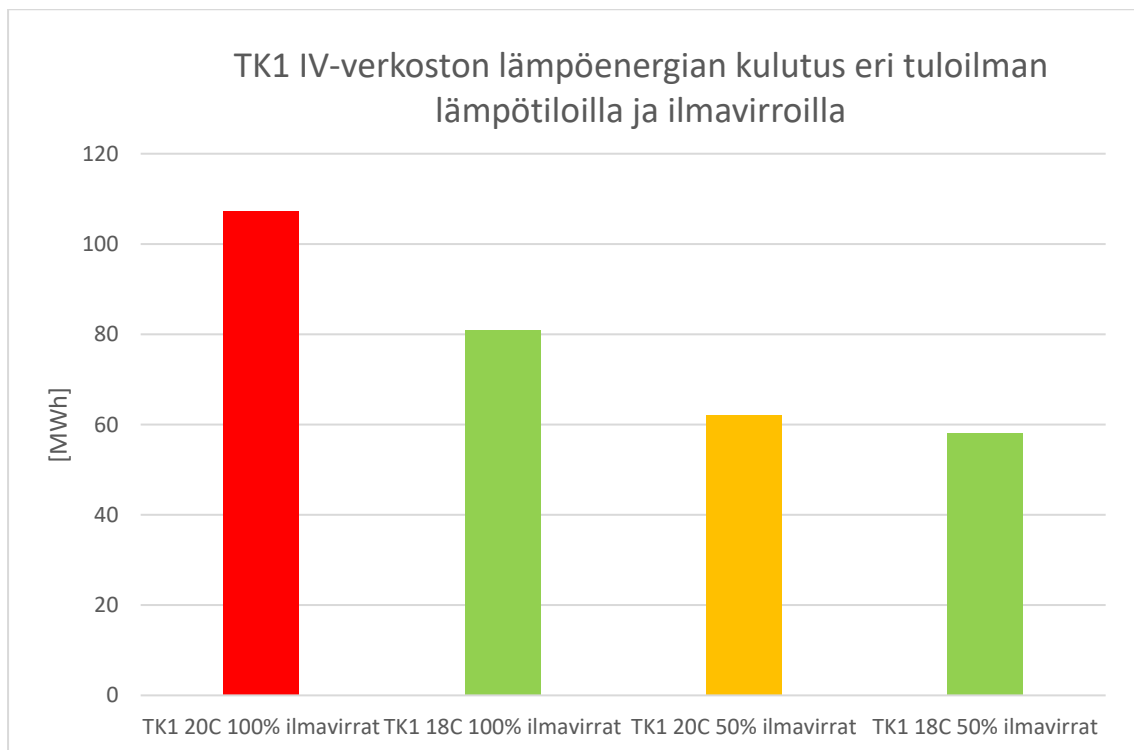


Kuva 35.

Seuraavaksi tarkasteltiin tilannetta, jossa ilmanvaihtoa käytetään 50% ilmavirroilla käyttöajan ulkopuolella. Vertailtaessa TK1 jälkilämmityspatterin tehoa ulkolämpötilaan 20°C:n ja 18°C:n tuloilmalämpötilassa päästään jopa noin 7 %:n säästöön 50 %:n ilmavirroilla. Alla taulukossa 13 on esitetty TK1 jälkilämmityksen kulutus tuloilman pudotuksen vaikutuksena sekä eri ilmavirroilla. Kuvassa 36 on lisäksi esitetty TK1 tuloilman lämpötilan vaikutuksen pudotus IV-verkoston energiankulutukseen.

Taulukko 13. Tuloilman pudotuksen vaikutus IV-verkoston kulutukseen eri ilmavirroilla

IV-kone	Ilmavirta käyttöajan ulkopuolella (%)	Lämpöenergian kulutus (MWh)	CO ₂ -päästö vähennys(kg CO ₂)	Energiakustannukset (65 Eur/MWh)
TK1(20C)	100	107,2	(18 974)	6 968
TK1(18C)	100	80,9	-4 655	5 259
TK1(20)	50	62,2	-7 965	4 043
TK1(18C)	50	58,0	-8 708	3 770



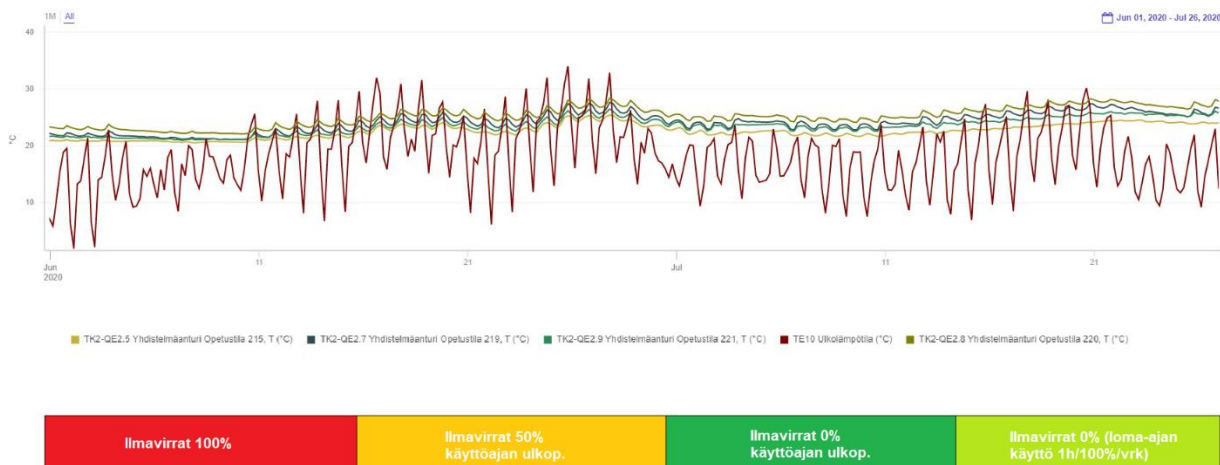
Kuva 36.

7.2 Sisäilmaolosuhteiden analysointi

7.2.1 Ilmamäärien pienennysten vaikutukset sisäilman lämpötilaan ja kosteuteen

Tutkitulle rakennusosalle asennettiin jokaiseen huoneeseen yhdistelmäanturi, joka mittasi jatkuvasti huoneen lämpötilaa, kosteutta sekä CO₂-pitoisuutta. 1.kerroksen osalta oli huoneissa käytössä myös toinen huoneanturi, joka sääti patteriventtiileitä ja siten lämpötilan pudotuksia käyttöajan ulkopuolella halutun aikataulun mukaisesti Optiwatti-järjestelmän avulla. Lämpötilojen vaihtelujen vaikutusta 1.kerroksen ja 2. kerroksen huoneiden ilman lämpötiloihin ja kosteuksiin tutkitaan erikseen, joten ilmamäärien pudotuksien ja vaihteluiden aiheuttamia vaikutuksia tutkitaan 2. kerroksen tilojen huoneantureiden perusteella, joissa sisäilman lämpötila pyrittiin pitämään patteritermostaateilla vakiona.

Ensimmäisenä tutkitaan huonelämpötilojen ja kosteuden pysyvyyttä. Vertailuna käytetään viikkodataa, kun TK2 käy 100%:n ilmavirroilla, 50 %:n ilmavirroilla sekä pysähdyksissä käyttöajan ulkopuolella normaali koulunkäyntiviikkona. Lisäksi vertaillaan pidempien loma-aikojen käyttäytymistä kesällä sekä lämmityskaudella. Ensimmäinen jakso on vuoden 2020 kesältä, jolloin koululla ei ole käyttäjiä eli se on tyhjillään. Jakso on mitattu väliltä 1.6–26.7 ja siinä on valittu neljä opetustilaa 2. kerroksen huoneista sekä koulun ulkoseinästä mitattu ulkolämpötila. Ajanjaksoilla IV-koneet ovat käyneet kaksi viikkoa 100 %:n ilmavirroilla, kaksi viikkoa 50 %:n ilmavirroilla, kaksi viikkoa pysähdyksissä kokonaan käyttöajan ulkopuolella sekä viimeiset kaksi viikkoa kokonaan pysähdyksissä vain yhden tunnin päivässä 100 %:n ilmavirroilla. Alla on esitetty kuvassa 37 tilojen lämpötila vaihtelut ja vertailuna ulkolämpötilan vaihtelut.

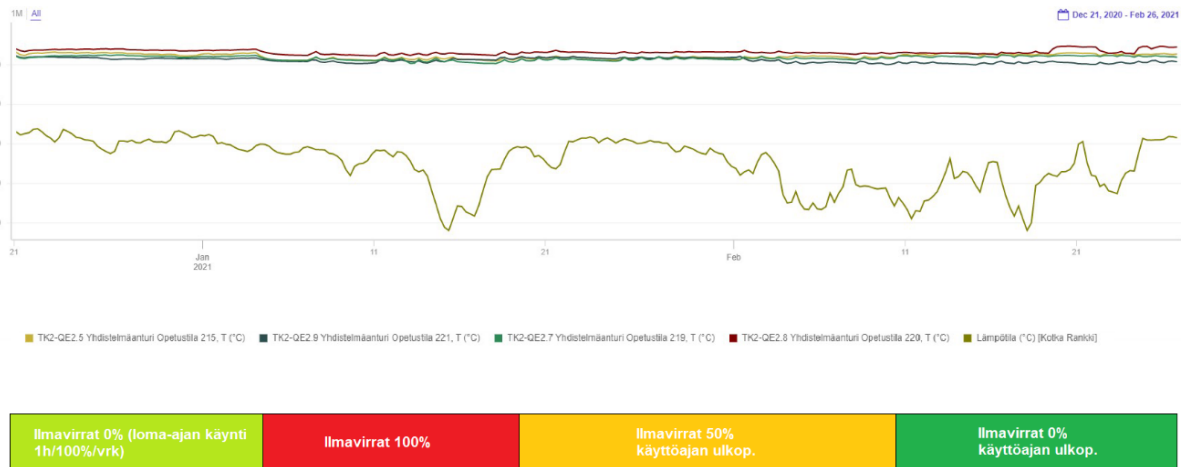


Kuva 37. 2.kerroksen huonelämpötilat 1.6–26.7.2020

Kesäajalla huonelämpötiloja nostaa ulkoilman lämpötila, koska kohteessa ei ole viilennystä, joten ilmanvaihdon tuloilman lämpötilan kohotessa myös huoneiden sisäilman lämpötila kohoaa ja lisäksi lämpötilan nousuun vaikuttaa myös rakenteellinen suojaus auringon säteilyltä. Mittausvälillä 2. kerroksen luokissa oli osassa tiloista sälekaihtimet suljettuna ja osassa tiloista auki, joten lämpösäteilyn aiheuttama sisäilman lämpötilan nousu vaikutti tiloihin epätasaisesti ja ikkunan sijainnilla on myös vaikutusta. Datasta voidaan havaita, että viimeisten viikkojen kohdalla, jolloin ilmanvaihto oli päällä vain ns. koulun käyttöajan mukaan ja viimeiset kaksi viikkoa kokonaan pysäytettynä, sisäilman lämpötilat kohoavat tai oikeastaan jäävät korkeammalle tasolle kuin mittausjakson alussa. Siis jatkuvalla 100 %:n ilmavirralla tai käyttöajan ulkopuolella 50 %:n ilmavirroilla huoneet ns. viilenevät tehokkaammin johtuen ns. yötuuletuksen vaikutuksesta. Varsinkin kun TK2 on kokonaan pysähdyksissä, huoneen lämpötila on datan mukaan jopa 5°C korkeammalla kuin ulkolämpötilan korkein arvo verrattuna vastaavan tilanteeseen, jossa TK2 käy 100 %:n ilmavirroilla koko ajan. Kesäolosuhteissa ilmanvaihdon pysäyttäminen siis selvästi nostaa sisälämpötiloja, kun ns. yötuuletus ei ole käynnissä.

Seuraavaksi otetaan tarkasteluun mittausjakso lämmityskaudelta, jossa on mitattu jakso 21.12–26.2.2021 ajalta. Mittausjakson alussa koulu on joululomalla,

jolloin TK2 oli pysähdyksissä kahden viikon ajan vain yhden tunnin huuhtelujaksolla vuorokautta kohti. Seuraavat kolme viikkoa koulun käyttö alkaa ja TK2 on 100 %:n ilmavirroilla aina, seuraavat kolme viikkoa 50 %:n ilmavirroilla käyttöajan ulkopuolella ja viimeiset viikot TK2 on pysähdyksissä käyttöajan ulkopuolella. Mittattu jakso on lämmityskaudelta, joten kesäajan auringon säteilystä tai tuloilman korkeasta lämpötilasta johtuvia lämpökuormia ei pitäisi esiintyä. Alla on esitetty kuvassa 38 tilojen lämpötilavaihtelut ja vertailuna ulkolämpötilan vaihtelut lämmityskaudella.



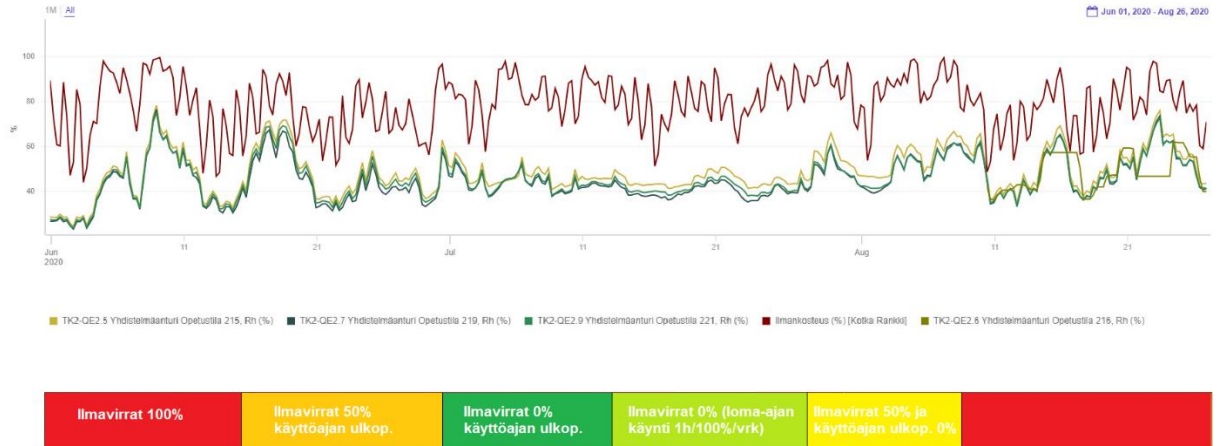
Kuva 38. 2 kerroksen huonelämpötilat 21.12–26.2.2021

Kuvan 38 perusteella lomajakson aikana, kun ilmanvaihto on kokonaan pysäytetty, huonelämpötilat ovat hieman koholla noin 22–24 °C:n välillä. Kun TK2 käynnistetään lomajakson jälkeen 100 %:n ilmavirralla koko ajaksi, huonelämpötilat putoavat patteritermostaattien asetusarvoon noin 21–22 °C:n huonelämpötilaan. Kun koulun käyttö alkaa, näkyy opetuspäivinä käyttäjien läsnäolo siten, että huonelämpötila kohoaa keskimäärin noin 1–1,5 °C tiloissa käyttöaikana, mutta ilmanvaihto huuhtelee tilat käyttöajan ulkopuolella jälleen lähelle 21 °C:n huonelämpötilaa. Oikeastaan sama ilmiö korostuu myös viimeisellä mittausjaksolla, jossa TK2 on pysähtyneenä käyttöajan ulkopuolella. Ilmanvaihdon huuhteluaikana noin kaksi tuntia ennen opetustuntien alkua ja vastaavasti kaksi tuntia opetustuntien

jälkeen huonelämpötila laskee lähelle 21 °C, kun taas ilmanvaihdon ollessa pysähtyneenä se nousee keskimäärin 1–1,5 °C ja sama käy myös opetuksen aikana ihmisten tuomasta lämpökuormasta johtuen.

Näiden tulosten perusteella tuo kahden tunnin huuhtelu-aika ennen opetusta sekä sen jälkeen riittää palauttamaan ainakin huonelämpötilat asetusarvoonsa. Lisäksi tästä voidaan päätellä, että ilmanvaihto lisää lämpöenergian tarvetta huoneessa. Tämä tietysti johtuu siitä, että tuloilmaa puhalletaan huoneisiin 20 °C lämpötilassa ja ilma lämpenee huoneessa sekoittuessaan ja poistuu poistokanavaan lisäten lämpöhäviötä. Muuten 2. kerroksen osalta huonelämpötilat riippumatta ilmanvaihdon käyttöajan ulkopuoleisista ilmavirroista asettuvat käyttöaikana 21–23 °C:n välille lämmityskaudella. Yhteenvetona voidaan todeta, että datan mukaan käyttöaikana käyttäjälle ei ilmanvaihdon käyntiajoilla ole lämpötilaolosuhteiden kannalta merkitystä, mikäli kahden tunnin huuhteluajoista ennen ja jälkeen käyttöajan pidetään kiinni. Kun kesäloman jälkeen palataan kouluun, olisi ilmanvaihto hyvä pitää lämpötilojen tasaamiseksi pidemmän jakson päällä sekä hyväksi käyttää yötuuletusta. Datan perusteella se tarkoittaa yhtä tai useampaa vuorokautta riippuen toki ulkona vallitsevasta ulkolämpötilasta.

Sisäilman kosteuksia voidaan tutkia samoilta mittausjaksoilta. Niissä erityisesti kiinnostaa, miten kesäaikana kosteus käyttäytyy, kun ilmanvaihto on päällä tai kokonaan pysäytettynä. Sama tarkastelu tehdään lämmityskauden jaksolle erityisesti myös syksyllä, jolloin ilman suhteellinen kosteus ulkona on todella korkealla. Ensin tarkastellaan kesän samaa mittausjaksoa kuin kuvan 37 kanssa. Vertailuksi kuvaan 39 on otettu ulkoilmankosteus Nuukasta. Datasta havaitaan, että kun ulkoilman kosteuden vaihteluväli on 50–100 %:n välillä, sisäilman kosteus vaihtelee ulkoilman kosteutta mukailleen 30–70 %:n välillä ja TK2 on tällöin 100 %:n ilmavirroilla koko ajan. TK2 käydessä käyttöajan ulkopuolella 50 %:n ilmavirroilla sisäilmasta mitatun kosteuden vaihteluväli supistuu 35–60 %:n väliin. Kun seuraavissa jaksoissa TK2 on pysähdyksissä käyttöajan ulkopuolella, vaihteluväli kapenee 35–55 %:n välille.



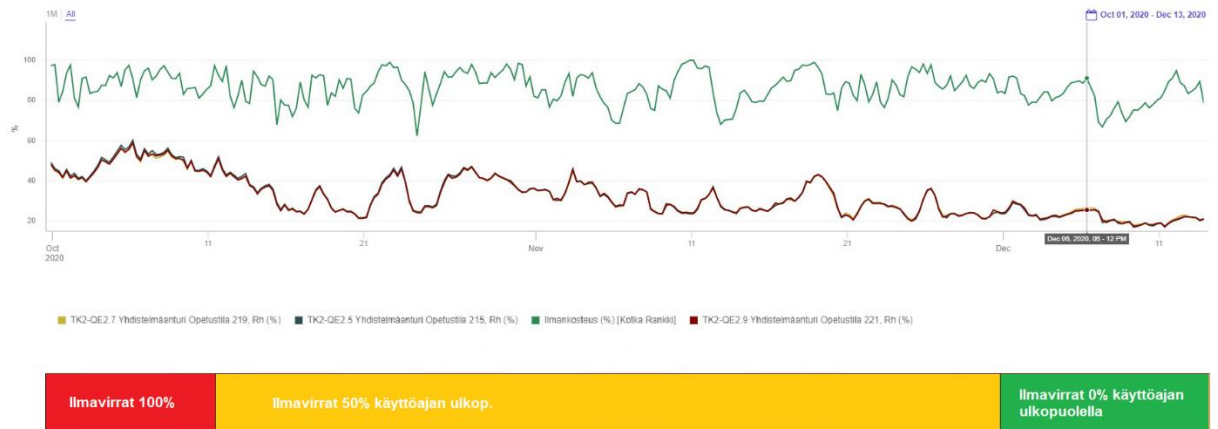
Kuva 39. 2. kerroksen huonekosteudet 1.6–26.7.2020

Kaikkein tasapainoisin olosuhde kosteudenvaihtelun kannalta on, kun ilmanvaihto on kokonaan pysäytetty ja huuhtelee vain yhden tunnin vuorokautta kohti 100 %:n ilmavirroilla. Tällä jaksolla huuhtelu tehtiin päivittäin klo.11.00 aikaan eli ilmaa ei vaihdettu viileinä yöaikoina, jolloin ulkoilman suhteellinen kosteus on aina yleensä korkeammillaan. Tällöin sisäilman kosteus asettuu vaihteluvälille 38–50 %.

Sama tilanne tarkasteltuna lämmityskaudella talvella, kun ulkoilman suhteellinen kosteus on 73–100 % välillä. Tällä jaksolla joululoman aikana, kun TK2 on ollut pysähdyksissä, sisäilman kosteuden vaihteluväli on todella pieni 19–28 %:n välissä sekä kosteustaso jäi tasaisesti korkeammalla. Vastaavasti kun TK2 käynnistettiin 100 %:n ilmavirroille tammikuun alussa, niin vaihteluväli asettui 4–22 %:n välille ja kosteus heilahteli enemmän ulkoilman kosteuden mukaan kuivattaen sisäilmaa enemmän. Mitä pidemmälle mittausjaksossa mennään tilanteeseen, että TK2 on pysähdyksissä käyttöajan ulkopuolella, sitä tasaisempaa sisäilman kosteus pysyy.

Syksyn mittausjakso ajoittuu marraskuun alusta joulukuun alkuun ajalle 1.10–13.12.2020. Ensimmäisessä pidemmässä mittausjaksossa TK2 käy 50 %:n teholla käyttöajan ulkopuolella ja mittausjakson lopussa TK2 on kokonaan pysäh-

dyksissä käyttöajan ulkopuolella. Tästäkin nähdään sama ilmiö, että mikäli ilmanvaihto on vähemmän käynnissä, sisäilman kosteuden vaihteluväli on kapeampi ja sisäilma pysyy kuivempuna ja tasaisempuna kuin ulkoilman kosteusvaihtelut. Talvella tilanne kääntyy toisin päin eli mitä enemmän ilmanvaihto on päällä, sitä kuivempaa ilmaa sisäilmaan sekoittuu. Alla kuvassa 40 on esitetty syksyn mittausjakso 2. kerroksen tilojen sisäilman kosteuksista.

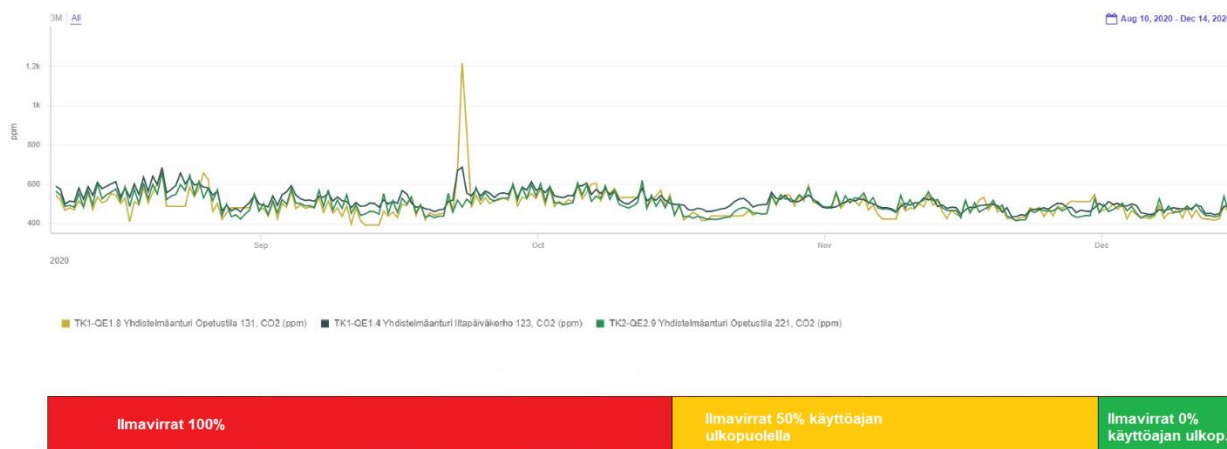


Kuva 40. 2. kerroksen huonekosteudet 1.10–13.12.2020

7.2.2 Ilmamäärien pienennysten vaikutukset sisäilman CO₂-pitoisuuksiin

Sisäilman laadun osalta tutkittiin myös CO₂-pitoisuuksien käyttäytymistä luokkahuoneissa. Käyttöaikana tutkittavalla rakennusosalla ilmavirrat ovat aina olleet 100 %:lla, joten tutkittavaksi jää, onko ilmanvaihdon huuhtelu-aika ennen ja jälkeen opetustuntien riittävä, jotta arkiaamuisin CO₂-pitoisuudet palautuvat perustasolle. Lisäksi Nuukasta kerätystä datasta voidaan päätellä käyttöaikojen CO₂-pitoisuutta ja tehdä päätelmiä, nouseeko se yli YM:n asettaman toimenpiderajan. Kuvassa 41 on esitetty kolmen satunnaisen opetustilan CO₂-pitoisuudet koko syyslukukaudelta, joissa ilmanvaihtokone käy 100 %:n ilmavirroilla, 50 %:n ilmavirroilla sekä pysähdyksissä käyttöajan ulkopuolella normaali koulunkäyntiviikona. Ensimmäinen tarkastelujakso on vuoden 2020 elokuun alusta, jolloin IV-koneet ovat käyneet noin kahdeksan viikkoa 100 %:n ilmavirroilla koko ajan, seu-

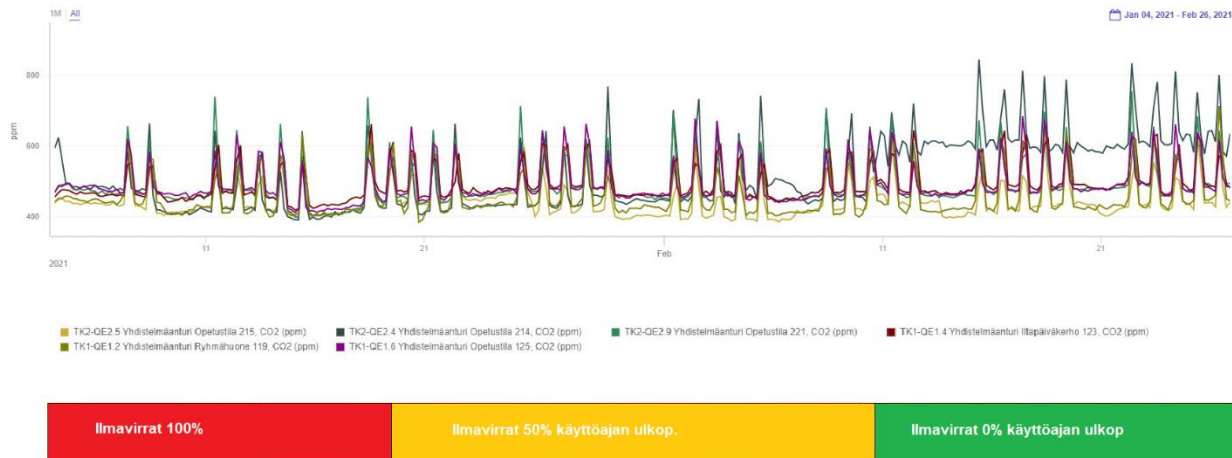
raavaksi 50 %:n ilmavirroilla seitsemän viikkoa käyttöajan ulkopuolella sekä viimeiset kaksi viikkoa kokonaan pysähdyksissä vain yhden tunnin päivässä 100 %:n ilmavirroilla käyttöajan ulkopuolella.



Kuva 41. 1–2. kerroksen CO₂-pitoisuudet 10.8–14.12.2020

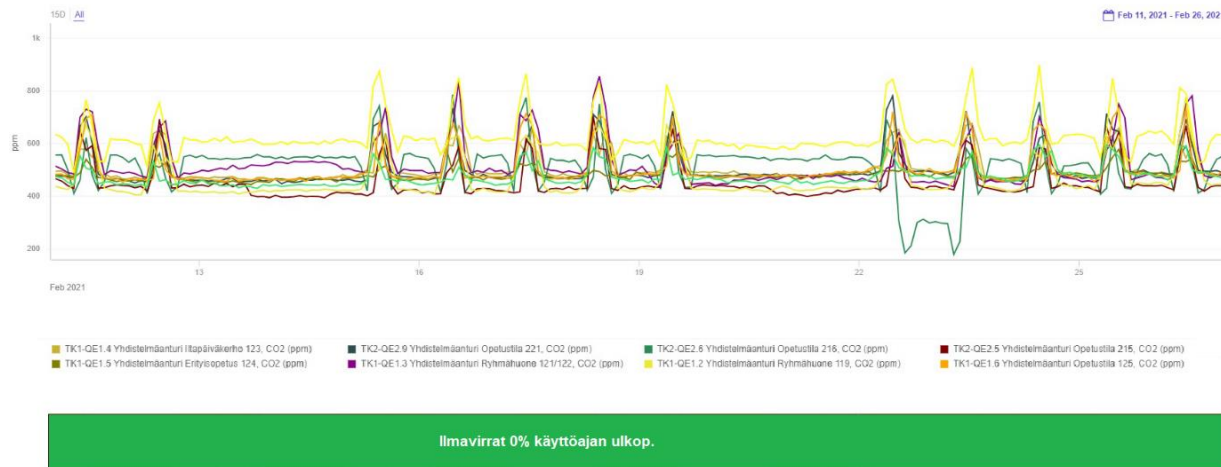
Kuvasta voidaan päätellä, että huoneiden käyttöajan CO₂-huippupitoisuudet nousevat maksimissaan 700 ppm tasolle ja pääsääntöisesti myös käyttöajanulkopuolella CO₂-taso vaihtelee välillä 450–500 ppm. Mitään huomattavaa eroa ei näy sillä, käykö ilmanvaihtokoneet TK1 ja TK2 100 %:n ilmavirroilla tai ovatko ne kokonaan seis käyttöajan ulkopuolella. Toinen mittausjakso, missä IV-koneita käytetään eri ilmavirroilla käyttöajan ulkopuolella, sijoittuu vuoden 2021 alkuun ja siitä helmikuun loppuun.

Tästäkin datasta nähdään, että pääsääntöisesti CO₂-pitoisuudet laskevat käyttöajan eli opetustuntien jälkeen samalle tasolle riippumatta ilmavirroista käyttöajan ulkopuolella. Poikkeuksena tässä datassa nähdään opetustilan 221 CO₂-pitoisuus, joka ei laske TK2:n ollessa pysähdyksissä opetustuntien jälkeen alle 600 ppm ja vastaavasti opetustuntien aikana pitoisuus nousee muita tiloja korkeammalla jopa 850 ppm tasolle. Huonemittauksen sijainti ei ainakaan selitä pitoisuuden poikkeamaa ja tila käyttäytyy samalla lailla, mikäli ilmavirrat ovat 100 %:n tai 50%:n teholla käyttöajan ulkopuolella. Kuvassa 42 on esitetty 1–2. kerroksen CO₂-pitoisuudet alkutalven ajalta.



Kuva 42. 1–2. kerroksen CO₂-pitoisuudet 4.1–26.2.2021

Tutkittaessa vielä tarkemmin helmikuun 2021 viimeisiä viikkoja ennen talvilomaa reilun viikon ajalta, voidaan nähdä CO₂-pitoisuuksien jäävän myös useammassa muussakin opetushuoneissa hieman koholle. Kuva 43 on otettu tilanteesta, missä TK1 ja TK2 IV-koneet pysähtyvät arkisin opetuksen jälkeen klo. 17.00 ja käynnistyvät taas aamulla uudelleen klo. 5.00. Tästä nähdään, että joissakin huoneissa tuo ns. kahden tunnin huuhteluaika huuhtelee opetuksen jälkeisiä CO₂-pitoisuuksia noin 50–100 ppm, mutta ne palaavat hieman koneiden pysähtyessä takaisin saman verran. Osaksi tästä syystä myös huoneiden CO₂-pitoisuudet opetusajana nousevat muita huoneita korkeammaksi noin 800–850 ppm tasolle. Näihin tiloihin pidempi huuhteluaika voisi olla tarpeen, mutta toki opetus aikanakaan CO₂-pitoisuus ei kuitenkaan nouse lähellekään toimenpiderajana pidettyä 1150 ppm tasoa.



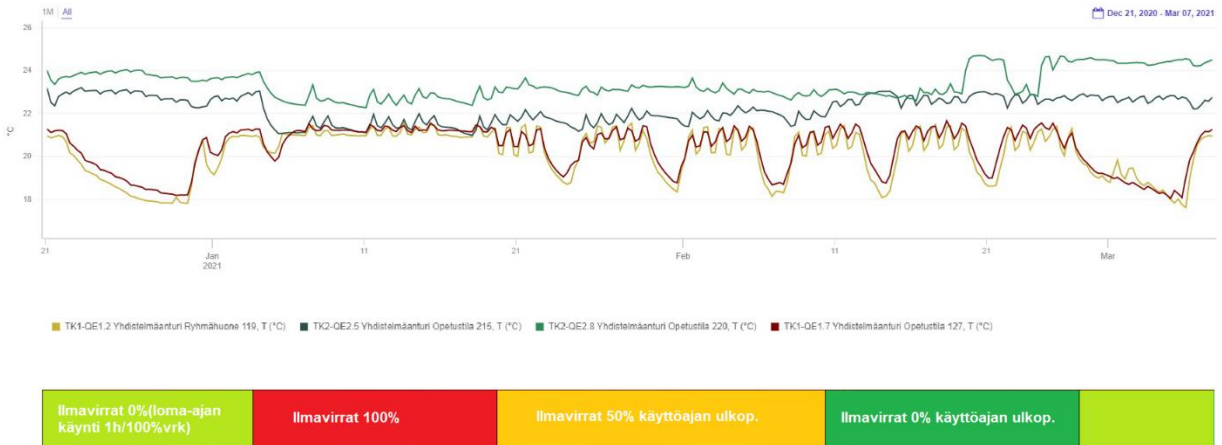
Kuva 43. 1–2. kerroksen CO₂-pitoisuudet 11.2–26.2.2021

7.2.3 Lämpötilojen pudotusten vaikutus sisäilman laatuun

Lämpötilojen vaikutuksia huoneilmaan on säädetty Optiwatti-järjestelmän avulla ja myös samasta järjestelmästä saadaan järjestelmän piirissä olevat 1. kerroksen tilojen eli TK1:n vaikutusalueen huonelämpötilat ja kosteudet selville. Tutkimuksessa käytettiin kuitenkin Nuukan mittauksissa olevia yhdistelmäantureita huoneiden lämpötilojen ja kosteuksien selvitykseen ja näin varmistettiin tulosten paikansa pitävyys. Lämpötilan pudotukset ovat tehokkaimmillaan lämmityskaudella ja siten mittausjaksoksi valitaan vuoden 2020 joululoma-aika ja sen jälkeinen koulun käyttöaika maaliskuun talvilomaviikolle. Optiwatti-järjestelmän ohjelma on säädetty kohteessa siten, että joululomalla pyrittiin 1. kerroksen tiloissa 16 °C:n huonelämpötiloihin ja vuoden alussa käytön alkaessa lämpötilan pudotukset kytkettiin pois päältä ja IV-koneet kävivät koko ajan 100 %:n ilmavirroilla.

Tammikuun lopulla lämpötilan pudotuksien säästöohjelma kytkettiin takaisin päälle siten, että arkipäivänä käyttöajan ulkopuolella pyrittiin 20 °C:n huonelämpötilaan eli yhden asteen pudotukseen ja viikonloppuna kolmen asteen pudotukseen eli 18 °C:n huonelämpötilaan. Tällöin IV-koneet kävivät 50 %:n teholla käyttöajan ulkopuolella, ja helmikuun loppupuolella IV-koneet olivat kokonaan pois päältä.

Maaliskuun alun talvilomaviikolla lämpötila taas pyrittiin tiputtamaan 18 °C:n tasolle. 1. ja 2. kerrosten väliset satunnaisten huoneiden 119, 127, 215 ja 220 lämpötilan vaihtelut ovat esitetty kuvassa 44.



Kuva 44. Huonelämpötilat 1–2. kerros 21.12–7.3.2021

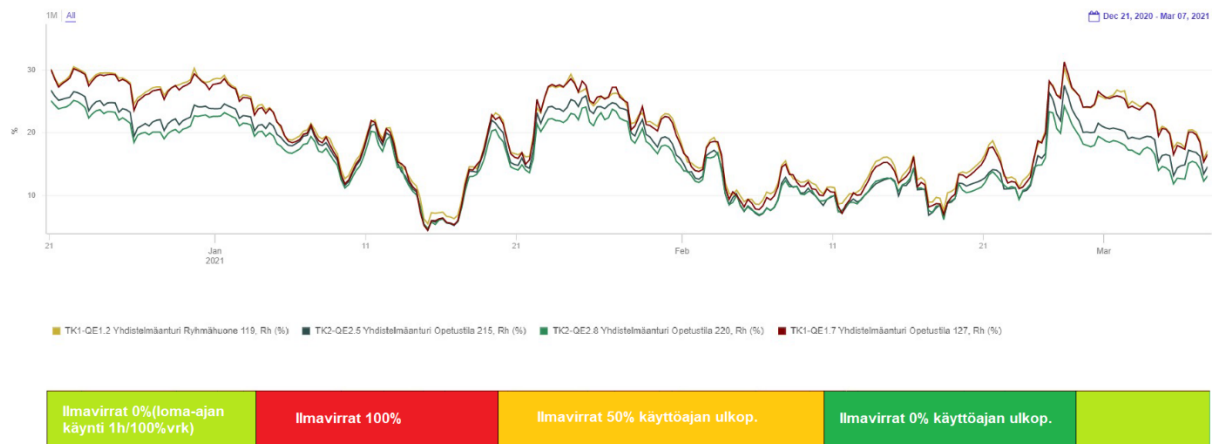
Nuuka-järjestelmän keräämästä datasta nähdään, että lämpötilan pudotukset toteutuvat miltei määritellyn ohjelman mukaisesti. Noin viikon ajan kestää loma-aikana, että lämpötilat putoavat 21 °C:n lämpötilasta 18 °C:een. Muutamassa päivässä lämpötila laskee vielä 17,5 °C:een asti. Tämän alemmaksi ne eivät kuitenkaan ehdi lyhyillä 1–2 viikon lomajaksoilla tippua. Siihen voi vaikuttaa päällä olevien 2. kerroksen tilojen korkeammat huonelämpötilat, missä pudotusta ei tapahdu. Lisäksi ulkoseinien raskas betoniseinärakenne voi varata lämpöä paremmin kuin kevytrakenteisempi ulkoseinärakenne. Tammikuun alussa, kun lämpötilan pudotuksia ei ole päällä ja IV-koneet käyvät koko ajan täysillä, huonelämpötilat käyttäytyvät kuten 2. kerroksen tiloissa. Opetuksen alkaessa arkisin huonelämpötilat nousevat keskimäärin yhden asteen ja palautuvat sitten asetusarvoonsa 21 °C:een 1. kerroksen osalta. Verrattuna 2. kerroksen tiloihin lämpötilat pysyvät paremmin asetusarvossa 1. kerroksen tiloissa. Tähän vaikuttaa myös 2. kerroksen patteritermostaattien asetusarvot, joita käyttäjät saattavat säädellä 21–23 °C:n lämpötilan mukaan. Lisäksi patteritermostaatit mittaavat huoneilman lämpötilaa ulkoseinältä, kun 1. kerrosta ohjaavat huonesäätimet luokan sisäseinältä pääsääntöisesti samasta paikasta kuin Nuukaan asennetut mittaukset.

Tammikuun lopussa lämpötilan pudotukset aktivoitiin uudestaan päälle ja TK1 ja TK2 kävivät 50 %:n ilmavirroilla käyttöajan ulkopuolella. Datan perusteella 1. kerroksessa arkisin lämpötilat laskivat lähelle 20 °C:ta käyttöajan ulkopuolella sekä saavuttavat viikonloppuisin 18–19 °C:n lämpötilan, asetusarvon ollessa 18 °C. Mitään kovin merkittävää eroa lämpötiloissa ei ole silloin kun ilmanvaihto on kokonaan pysähdyksissä tai 50 %:n ilmavirroilla päällä. Sen sijaan 2. kerroksen yksittäisessä tilassa huonelämpötila nousee viikonloppuna ja loma-aikana 23 °C:sta noin 1–1,5 °C:ta, kun TK2 on pysähdyksissä. Yhteenvetona voidaan todeta, että Optiwatti-järjestelmän avulla huonelämpötilat saadaan pudotettua 1. kerroksen tiloissa hyvinkin lähellä haluttua asetusarvoa.

Lämpötilan pudotukset vaikuttavat myös huonetilan kosteuksiin. Samalla mittausjaksolla, jolla tutkittiin lämpötiloja, saadaan myös tilan huonekosteudet kerättyä. Huonekosteudet jäljittelevät hyvin pitkälti ulkoilman kosteutta, kun raitisilman mukana ilmaa puhalletaan luokkahuoneisiin. Tämä todettiin jo ilmavirtojen vaikutuksessa huonekosteuksiin aiemmissa tuloksissa. Kerättyyn dataan ei lisätty kuitenkaan ulkoilman kosteuden käyrää näkyviin, vaan tutkitaan vain 1. ja 2. kerroksen välistä kosteuden vaihtelua lämpötilan pudotuksista johtuen.

Kuvasta 45 nähdään, että loma-aikoina kun 1. kerroksen lämpötilat ovat pudonneet lähelle 18 °C:ta, eli noin neljä astetta 2. kerroksen tiloja alemmaksi, kosteudet ovat koholla keskimäärin 5 %. 1. kerroksen huoneissa kosteudet vaihtelivat joululomalla 2020 25–30 %:n välillä, kun puolestaan samaan aikaan 2. kerroksen tiloissa ne ovat 20–25 % välillä. Kuvaajista nähdään myös, kun tammikuun alussa lämpötilanpudotukset ovat pois päältä ja ilmavirrat koko ajan 100 %, niin huonekosteudet ovat molempien kerrosten huoneissa aivan tasoissa. Talviaikana huonekosteudet ovat muutenkin ulkoilmankosteudesta johtuen alhaisempia verrattuna kesään tai syksyyn, joten 5–7 % kosteammasta huoneilmasta tuskin on haittaa loma-ajoilla rakennusfysiikan kannalta.

Mikäli tarkastellaan tilannetta vielä absoluuttisen kosteuden kannalta, niin vesihöyryn kyllästymistaulukosta (liite 7) voidaan laskea molempien tilanteiden kosteussisältö. Esimerkiksi 1. kerroksen osalta, 18 °C:n lämpötilassa ja RH:n ollessa 25–30 % välillä, absoluuttinen kosteus on välillä 3,84 – 4,61 g/m³. Vastaavasti 2. kerroksen osalta, 22 °C:n lämpötilassa ja RH:n ollessa 20–25 %:n välillä, absoluuttinen kosteus on välillä 3,88 – 4,85 g/m³. Pitoisuuserot ovat siis hyvin pieniä, joka selittyy sillä, että tiloissa ei esiinny loma-aikana käyttäjien tuottamaa kosteuslisää.



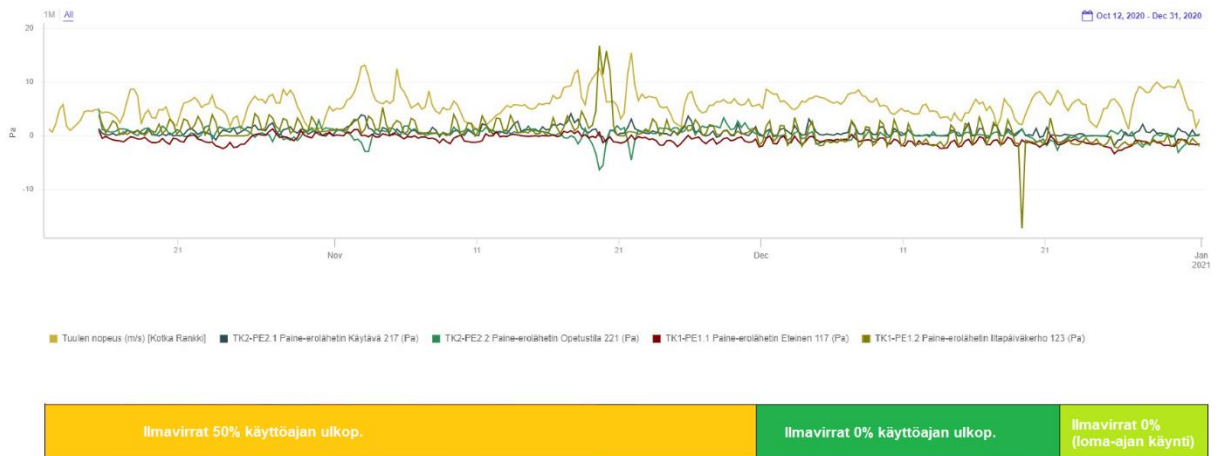
Kuva 45. Huonekosteudet 1–2. kerros 21.12–7.3.2021

7.2.4 Ilmamäärien pienennysten vaikutukset paine-eroihin

Kohteen paine-eroa vaipan yli ulkoilmaan nähden mitattiin TK1:n ja TK2:n vaikutusalueella neljästä mittauspisteestä. Molemmissa kerroksissa oli kaksi anturia, joista toinen sijaitsi referenssiluokassa ja toinen käytävän alueella. Lisäksi on huomioitava, että 1. kerroksen käytävämittaus oli päädyn ulko-oven yhteydessä, joten ulkoilman tuuli ja sen suunta ovat mahdollisesti päässeet vaikuttamaan tuloksiin. Paine-eromittauksella haluttiin selvittää, mikä on rakennuksen ns. luontainen paine-ero ulkoilmaan nähden ilmanvaihdon ollessa päällä 100 %:n ilmavir-

roilla, 50 %:n ilmavirroilla tai kokonaan pois. Tutkittavan palvelualueen IV-koneiden TK1 ja TK2 alueella ilmavirrat säädettiin 100 %:n ja 50%:n ilmavirroilla ennen mittausjakson alkua, joten lähtötilanne piti olla kunnossa.

Ensimmäinen mittausjakso on vuoden 2020 syksyiltä, lokakuun puolivälistä vuoden loppuun, jossa IV-koneet ovat käyneet ensin 50 %:n teholla käyttöajan ulkopuolella ja olleet joulukuussa kokonaan pysähdyksissä. Lisäksi aivan viimeisellä viikolla, joululoman aikaan, TK1 ja TK2 ovat olleet koko ajan pysähdyksissä. Nuu-kasta kerättyyn dataan on otettu lisäksi tuulen nopeuden käyrä vertailun vuoksi mukaan. Yleisesti voidaan todeta paine-erojen olevan poikkeuksetta hyvin tasapainossa. Paine-erokäyrät sijoittuvat tällä mittausjaksolla -2 Pa – +5 Pa välille. Selvästi huomataan, kun tuulen nopeus on lisääntynyt, 2. kerroksen opetustilan mittaus on satunnaisesti painunut alipaineen puolelle, noin -7 Pa tasolle. Muissa mittauksissa tuulen vaikutus on vain noin 0–3 Pa. Kuvassa 46 on esitetty 1–2. kerroksen paine-erot mittausjaksolla.

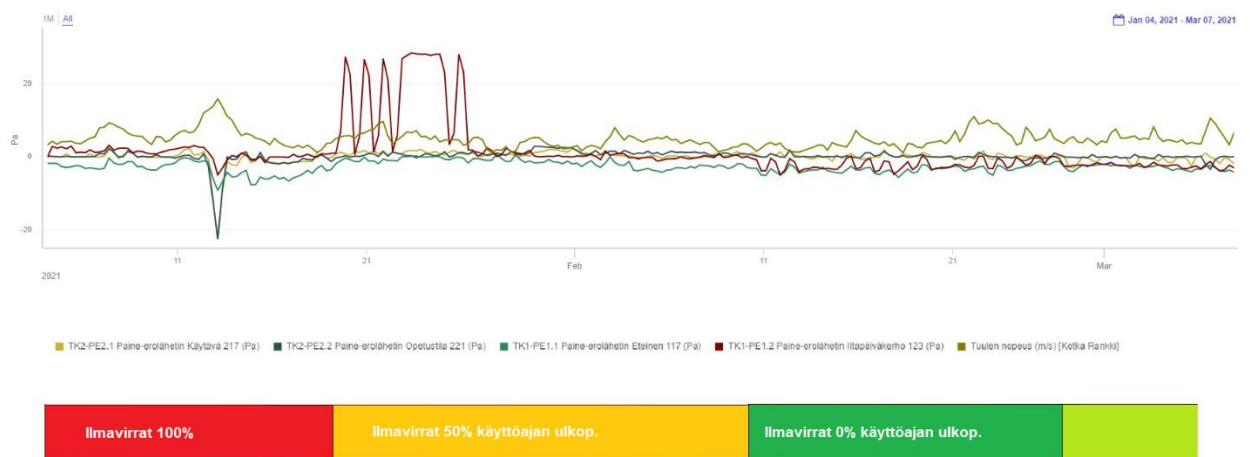


Kuva 46. 1–2. kerroksen paine-erot 16.10–31.12.2020

Kuvan 46 paine-ero trendeistä voidaan kuitenkin nähdä, että kun IV-koneet ovat käynnissä arkisin opetusaikana 100 %:n ilmavirroilla, paine-erot vaipan yli pääsääntöisesti nousevat noin 2–4 Pa. Vastaavasti, kun IV-koneet ovat pysähdyksissä, sama vaihteluväli on vain 0–2 Pa riippumatta tuulen nopeudesta. Tästä voidaan päätellä, että paine-erot ovat hieman tasaisemmat kun TK1 ja TK2 ovat

täysin pois päältä. Kuitenkin käyttöaikanakin 100 %:n ilmavirroilla vaikutus paine-eroon on vähäinen ja tulosten perusteella se on jopa hieman ylipaineinen, 2–4 Pa.

Toinen tarkastelujakso ajoittuu kevättalvelle, tammikuun alusta maaliskuun alkuun. Tällä jaksolla TK1 ja TK2 ovat yhtäjaksoisesti 100 %:n ilmavirroilla noin kolme viikkoa, sitten sitten viikkoa 50 %:n ilmavirroilla käyttöajan ulkopuolella ja lopuksi helmikuun aikana pysäytettynä käyttöajan ulkopuolella ja maaliskuun ensimmäisellä viikolla loma-ajan käynnillä yhden tunnin käynnillä vuorokaudessa. Tällä mittausjaksolla on huomattava noin +30 Pa huojunta mittauksissa, 1. kerroksen referenssihuoneen kohdalla, mikä voi johtua mittarin ulkopuolen letkun jäätymisestä tai muusta häiriöstä mittauksessa. Voimakasta huojuntaa on noin viikon ajalla, jonka jälkeen mittaustulos on rauhoittunut ns. normaalille tasolle. Kun tarkastellaan huojuntajaksolla TK1:n ja TK2:n puhaltimien toimintaa ja energiankulutusta, huomataan että puhaltimet ovat käyneet epätahdissa. TK2 on käynyt 50 %:n ilmavirroilla käyttöajan ulkopuolella, kun samaan aikaan TK1 on käynyt noin viikon ajan vielä 100 %:n ilmavirroilla. Tämä ns. epätahdi koneiden välillä on aiheuttanut 1. kerroksen referenssihuoneen paine-eroon noin +30 Pa:n ylipaineen käyttöajan ulkopuolella. Kuvassa 47 on esitetty 1–2. kerroksen paine-erot mittausjaksolla.



Kuva 47. 1-2 kerroksen paine-erot 4.1-8.3.2021

Kun sitten tarkastellaan taas paine-eron vaihteluväliä tällä mittausjaksolla, huomataan sen olevan noin +4 – -3 Pa välillä. Varsinkin 1. kerroksen TK1:n vaikutusalueella vaihteluväli on hieman suurempaa verrattuna 2. kerroksen mittauksiin. Kovin suurta eroa ei ole käyrien mukaan havaittavissa, käytetäänkö 100% vai 50% ilmavirrat käytössä. Sen sijaan myös edellisen mittausjakson tavoin, kun IV-koneet ovat kokonaan täysin pysäytettynä, paine-erojen huojunta rauhoittuu huomattavasti 0–1 Pa välille. Käyttöaikana 100 %:n ilmavirroilla paine-erot nousevat varsinkin TK1:n vaikutusalueella noin 3–4 Pa ja asettuvat lähelle ± 0 Pa:n tasapaino tilaa. Tilojen paine-erot ilmanvaihto pysäytettynä siis asettuvat pitkällä jaksolla noin 3–4 Pa alipaineiseksi. Tämän on pakko siis johtua ns. luontaisesta paine-erosta vaipan yli ilman ilmanvaihdon vaikutusta.

8 TOIMENPITEIDEN VAIKUTUKSIEN ARVIOINTI JA OHJEISTUS

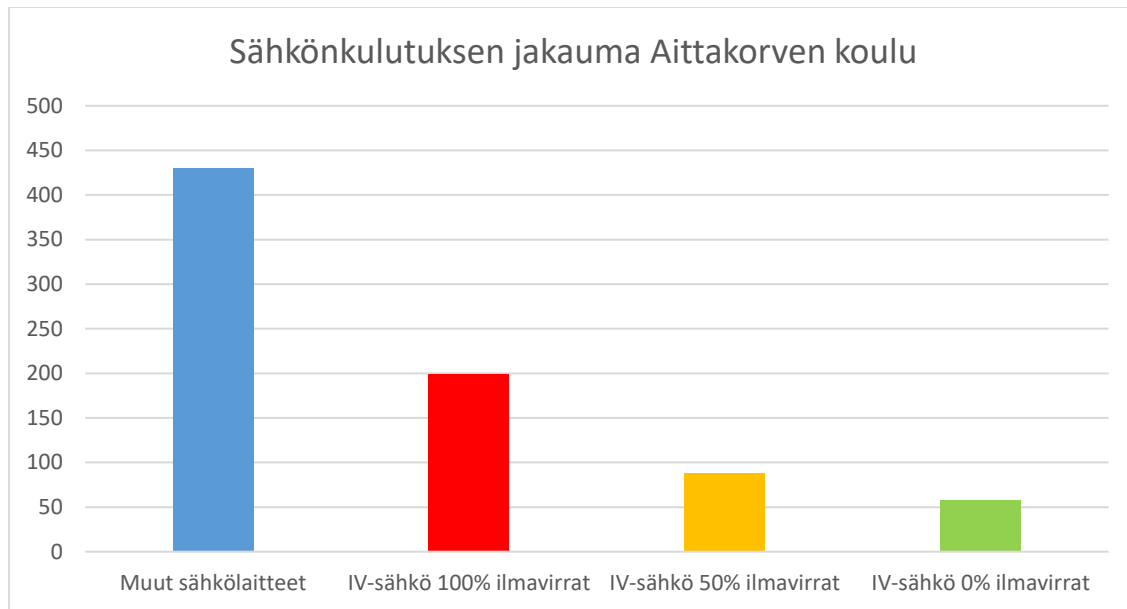
8.1 Energiatehokkuustoimenpiteiden arviointi

8.1.1 Ilmamäärien pienennykset

Saatujen tulosten perusteella kohteen ilmanvaihtokoneiden TK1:n ja TK2:n osalta voidaan todeta, että ilmavirran pudotuksilla tai pysäytyksillä säästetään merkittävästi sekä sähkö- että lämpöenergiaa. Lisäksi on huomattavaa, kuinka paljon varsinkin ilmanvaihdon pysäytyksellä on vaikutusta tilojen lämmityksen lämmöntarpeeseen. Lisäksi sisäilma-arvoista voidaan päätellä, mitkä ovat vaikutukset käyttäjän sisäilman laatuun, kun ilmanvaihtoa käytetään lähtötilanteen mukaisesti 100 %:n ilmavirroilla aina tai osatehoilla tai kokonaan pysäytettynä.

Sähköenergian kulutuksesta voidaan TK1:n ja TK2:n tulosten perusteella laskea keskimääräinen säästöpotentiaali koulun kaikille IV-koneille yhteensä. Tarkasteltaessa koko kohteen osalta sähköenergian säästöjä, jotka tulevat suoraan IV-koneiden puhallinenergian kulutuksista, nähdään että IV-koneiden (100 %:n ilmavirrat) kuluttama sähköenergia 199 MWh vastaa noin 46 % koko kiinteistön sähkönkulutuksesta, kun keskimääräisesti vuosien 2014–2019 vuosikulutus on yhteensä

430 MWh. Alla olevassa kuvassa 48 on esitetty, mikä vaikutus IV-koneiden ilma-
virroilla käyttöajan ulkopuolella on kohteen kuluttamaan vuotuisen sähkönkulu-
tukseen. (Rantanen 2022.)

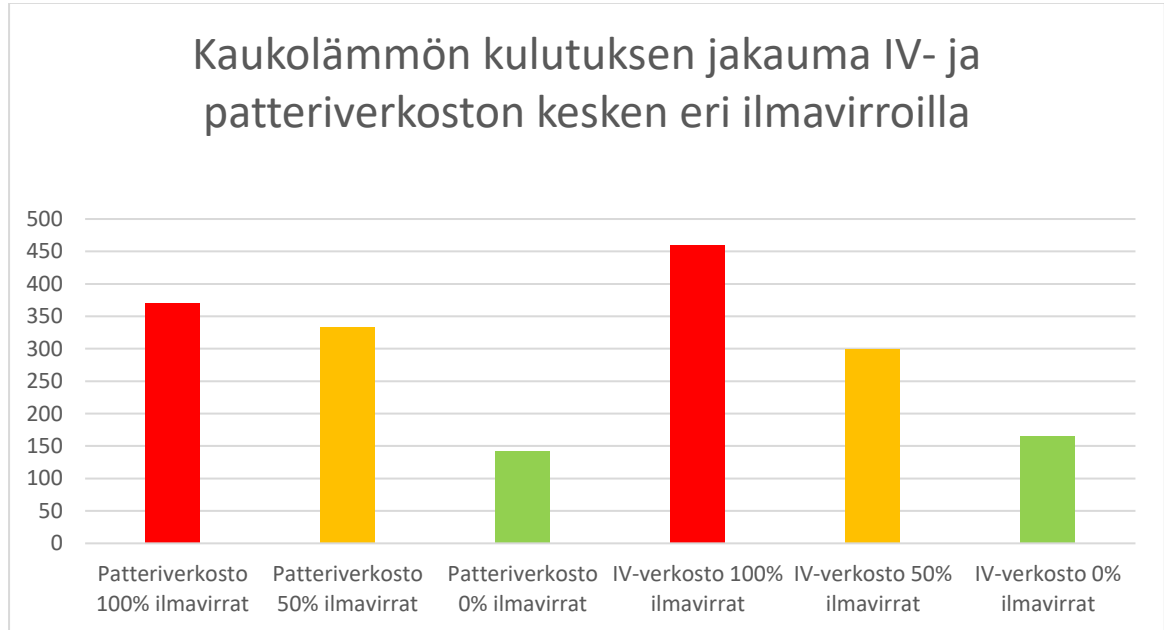


Kuva 48.

Kuvasta voidaan todeta, että kaikkein suurimmat säästöt saavutetaan sammutta-
malla IV-koneet kokonaan käyttöajan ulkopuolella. Sillä voidaan saavuttaa jopa
33 %:n säästöt kokonaissähkönkulutuksessa vuodessa. Mikäli IV-koneet
kävisivät 50 %:n ilmavirroilla käyttöajan ulkopuolella, kokonaissäästö olisi vain
noin 26 %.

Lämmitysenergian osalta ilmavirroilla voidaan saavuttaa säästöä sekä IV-koneen
jätkälämmityspatterin eli IV-verkoston että tilojen lämmitysjärjestelmän eli patteri-
verkoston lämpöenergian kulutuksessa. Energiasimuloinnissa ja Nuukasta kerä-
tyistä energiamittauksista saatu IV-koneiden kuluttama lämpöenergia on noin 460
MWh lähtötilanteessa silloin, kun IV-koneet käyvät aina 100 %:n ilmavirroilla.
Kohteen keskimääräinen vuosien 2014–2019 lämpöenergian vuosikulutus on yh-
teensä 830 MWh, josta patteriverkoston ja käyttöveden lämmityksen osuus on
noin 44 %. Alla olevassa kuvassa 49 on esitetty, mikä vaikutus IV-koneiden ilma-

virroilla käyttäjän ulkopuolella on kohteen kuluttamaan vuotuisen lämmitysenergiaan. Lämpöenergian kulutuksessa ei ole huomioitu käyttöveden lämmityksestä aiheutuvaa kulutusta. (Rantanen 2022.)



Kuva 49.

Kuvasta 49 voidaan todeta, että kaikkein suurimmat säästöt saavutetaan sammuttamalla IV-koneet kokonaan käyttäjän ulkopuolella. Sillä voidaan saavuttaa jopa noin 63 %:n säästöt lämmitysenergian kulutuksessa vuodessa. Mikäli IV-koneet kävisivät 50 %:n ilmavirroilla käyttäjän ulkopuolella, kokonaissäästö olisi vain noin 24 %. Testivuoden 2012 simuloituilla ulkolämpötiloilla lasketuissa tuloksissa voi olla pieniä marginaaliheittoja, joten ilmanvaihdon pysäytyksen vaikutuksista patteriverkoston kulutuksen pienenemiseen voi olla ehkä hieman liian suuri. Joka tapauksessa tästä voidaan päätellä, että suurin säästöpotentiaali on sammuttaa IV-koneet käyttäjän jälkeen kokonaan.

Tässä ei lisäksi ole huomioitu iltakäytöstä johtuvia IV-käyntejä, jotka covid-19-pandemian aikaan olivat vähäisiä. Liikuntasalin IV-kone muutettiin ennen simuloinnin aloitusta ohjautumaan CO₂-pitoisuuden mukaan, joten sen kulutus on mukana Nuukan keräämässä datassa. Lisäksi koulun muiden IV-koneiden LTO-tapa ja hyötysuhde vaikuttavat jälkilämmityspatterilta saatuihin lämmitysenergiänsäätöihin. Laskelmissa käytettiin TK1 ja TK2 IV-koneiden simuloinnissa saatujen

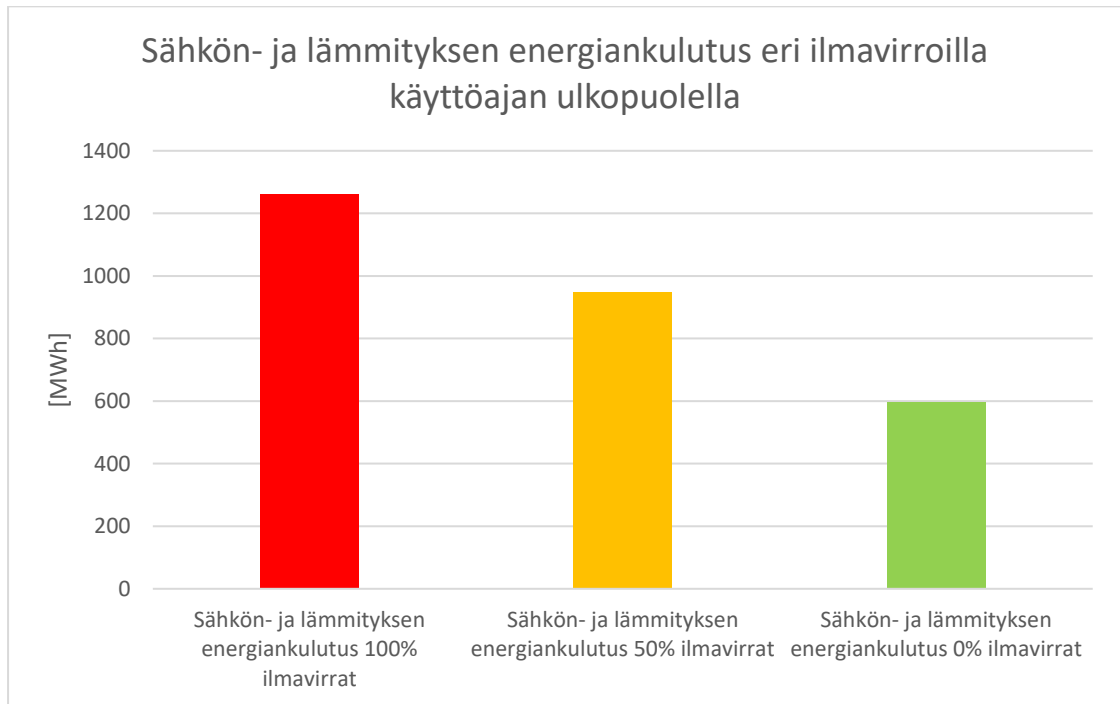
lämpöenergian säästöprosenttien keskiarvoja, jotka esimerkiksi glykoli-LTO:lla varustetuissa IV-koneissa voivat vielä merkittävästi lisätä säästöpotentiaalia.

Voidaan todeta, että sähkö- että lämpöenergian kulutuksissa suurimmat säästöt saadaan sammuttamalla IV-koneet käyttöajan ulkopuolella. Merkittäviä säästöjä, varsinkin sähköenergian kulutuksissa, saadaan myös mikäli IV-koneet käyvät vain 50 %:n ilmavirroilla käyttöajan jälkeen. Saadut säästöt kulutuksissa ovat suoraan verrannollisia CO₂-päästöjen määrään. Alla taulukossa 13 on esitetty IV-koneiden käytön vaikutus Aittakorven koulun vuotuisiin energiakustannuksiin ja CO₂-päästöihin.

Taulukko 13. IV-koneiden käytön vaikutus energiakustannuksiin ja CO₂-päästöihin

IV-koneiden ilmavirrat käyttöajan ulkopuolella	Kulutettu kokonais-sähköenergia (MWh)	Kulutettu kokonais-lämpöenergia (MWh)	Energia kustannuksien säästö (Eur)	CO ₂ -päästö vähennys (kg CO ₂)	Energian kulutuksien ero %
100%	430	830	(101250)	(380840)	100
50%	318	630	-25320	-96800	75
0%	288	307	-49615	-162604	47

Kun saatuja tuloksia verrataan esimerkiksi kuntien sisäilmaryhmän perustelu-
muistion tuloksiin, voidaan niiden olevan linjassa niiden kanssa. Esimerkiksi Hel-
sinkiläisen ala-asteen tuloksissa sähköenergian kulutuksissa olivat vuosien 2017
ja 2018 välillä oli noin 31%:n muutos ja vastaavasti lämmönkulutuksissa 42 %:n
muutos. Näissä Aittakorven koulun tuloksissa tuo lämmityksen isompi osuus joh-
tuu patteriverkoston suuremmasta vaikutuksessa. Mikäli tarkastellaan CO₂-pääs-
töjen vähennystä, molemmissa kohteissa voidaan saavuttaa sama 38 %:n sääs-
töt sammuttamalla IV-koneet käyttöajan ulkopuolella. Kuvassa 50 on esitetty ko-
konaisenergian kulutukset eri ilmavirroilla käyttöajan ulkopuolella. (Kuntien sisäil-
maverkosto 2019.)



Kuva 50.

Lisäksi tämän tutkimuksen aikana IV-koneet pysäytettiin käyttöajanulkopuolella yhtä jaksoisesti seitsemän kuukauden aikana vuoden 2021 toukokuusta marraskuulle. Tällä jaksolla saatiin vuosikulutuksessa aikaan todellisia säästöjä noin 200 MWh:n lämmitysenergiassa sekä noin 130 MWh:n sähköenergiassa. Näistä tuloksista voidaan todeta, että nuo taulukossa olevat laskennalliset säästöt ovat täysin mahdollista saavuttaa vuodessa, kun varsinainen lämmityskausi ei ollut vielä edes tässä mittausjaksossa mukana.

8.1.2 Lämpötilojen pudotukset

Tuloksista nähdään, että tutkittavan rakennusosan 1. kerroksen huoneisiin asennettu huonelämpötilojen pudotusjärjestelmästä eli Optiwatti-järjestelmästä oli hyötyä patteriverkoston kulutuksen kannalta. Suurin säästöpotentiaali järjestelmällä on viikonloppuisin ja muina pidempinä loma-aikoina lämmityskaudella. Varsinaisesti järjestelmää ohjaavan säädäntä hyödyntäminen jäi tutkimuksessa selvittämättä, kun patteriverkoston kulutustrendeistä ei saanut tarkkaa vaikutuksista ulkolämpötilan vaihteluihin. Tähän vaikutti myös se, että järjestelmä asennettiin

vain rakennusosan 1. kerrokseen ja näin 2. kerroksen ”normaali” lämpöiset tilat osaltaan häiritsivät verkoston kulutustrendejä sekä huonelämpötilojen tasoittumista ympäröiviin rakenteisiin ja huoneisiin.

Optiwatilla suurin energiansäästö voidaan saavuttaa tilanteessa, jossa ilmanvaihtokoneet ovat 100%:n tai 50%:n ilmavirroilla käyttöajan ulkopuolella. Mikäli koneet sammutetaan käyttöajan ulkopuolella, sen vaikutus patteriverkoston energiansäätöön pienenee huomattavasti ja eroa normaaliin patteriverkoston kulutusikäyrään on todella vähäinen, ainakin viikonloppuisin. Tuloksissa saatiin patteriverkoston energiasäästöpotentiaaliksi noin 60 MWh, mikäli IV-koneet käy 100 %:n ilmavirroilla myös käyttöajan ulkopuolella ja se vastaa koko koulun patteriverkoston kulutuksesta noin 10 %:n osuutta.

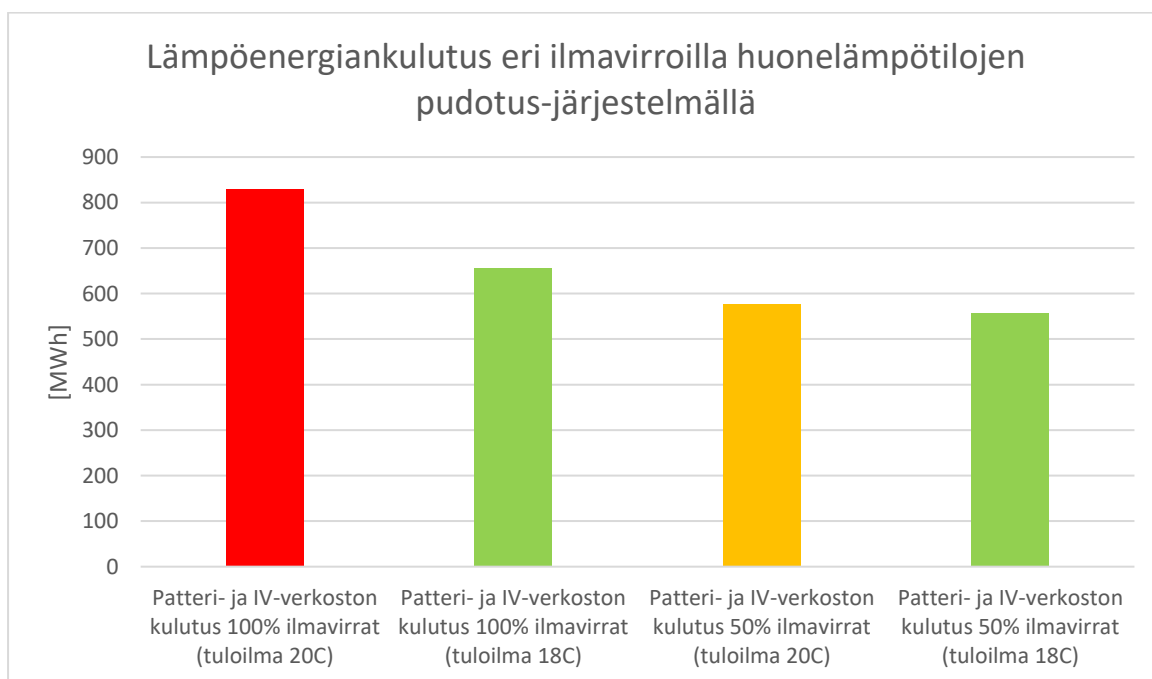
Mikäli tarkastellaan Optiwatilla saavutettavia säästöjä IV-verkoston kannalta, niin energian säästöä saadaan tuloilman pudotuksesta 20°C:n lämpötilasta 18°C:n lämpötilaan. TK1:n osalta IV-verkostosta saadaan noin 25 %:n säästö 100 %:n ilmavirroilla ja 7 %:n säästö 50 %:n ilmavirroilla. Näillä säästöprosentteilla arvioituna koko koulun IV-verkoston säästöksi saadaan tuloilman pudotuksella noin 115 MWh, mikäli IV-koneet käyvät 100 %:n ilmavirroilla aina. Vastaavasti 50 %:n ilmavirroilla käyttöajan ulkopuolella säästö on 20 MWh:n luokkaa. Kun nämä säästöt yhdistetään patteriverkostosta saatavaan energiasäästöön, niin päästään koko Optiwatti-järjestelmän avulla saatavaan säästöön. Alla taulukossa 14 on esitetty huonelämpötilojen pudotuksista syntyvät säästöt.

Taulukko 14. Huonelämpötilojen pudotusten vaikutus energiakustannuksiin ja CO₂-päästöihin

IV-koneiden ilmavirrat käyttöajan ulkopuolella	Kulutettu kokonais patteriverkoston energia (MWh)	Kulutettu kokonais IV-verkoston lämpöenergia (MWh)	Energia kustannusten säästö (Eur)	CO ₂ -päästö vähennys (kg CO ₂)	Energian kulutuksen ero %
100%(20C)	370	460	53 950	(146 910)	100
100%(18C)	310	345	-11 375	-27 435	81

50%(20C)	310	267	-16 445	-44 781	69
50%(18C)	310	248	-17 680	-48 144	67
0%	-	-	-	-	-

Lämpötilojen pudotuksilla ja tuloilman lämpötilan pudotuksilla voidaan siis päästä huomattaviin energiasäästöihin, mikäli IV-koneet ovat käynnissä. Optiwatti sopii erityisesti kohteisiin, missä ilmanvaihtoa on pidettävä käynnissä käyttöajan ulkopuolella. Sen sijaan kohteissa, missä ilmanvaihto on mahdollista sammuttaa käyttöajan ulkopuolella, hyödyt ovat pienemmät. Varsinkin järjestelmän lisääminen vanhoihin kohteisiin vaatii paljon asennusta, ja sen investointikustannukset voivat nousta kohteesta riippuen varsin korkeiksi. Uusiin kohteisiin on perusteltua, ainakin suunnitteluvaiheessa, kaapeloinnin ja huoneanturoinnin osalta varautua järjestelmään, jossa huonelämpötiloja voidaan ohjata keskusvalvomosta käsin (VAK) tai erillisen palveluntarjoajan säädäta-ohjelman perusteella. Kuvassa 51 on esitetty patteri- ja IV-verkoston kulutuksen muutokset eri ilmavirroilla.



Kuva 51.

Tulevaisuudessa ennakoivaa kulutustietoa voidaan hyödyntää entistä enemmän kaukolämpöverkoston jakelussa, joten kiinteistön energiankulutusta ennustavan datan käyttö voi hyvinkin yleistyä. Kiinteistön lämmitystarpeen ennustettavuutta

voidaan parantaa, mikäli lämmitysverkoston kulutusta voidaan ohjata entistä paremmin tulevan käyttötilanteen ja sääennusteen mukaan. Kaukolämpöön liitettyjen kohteiden osalta on hyvin mahdollista tulevaisuudessa, että kaukolämpöverkon lämpötilaa ja kuormitusta voidaan alkaa säätää yhä enemmän sen kulutuskohteilta saatavien kulutusennustusten mukaan. Tällä on merkitystä sekä kaukolämpöverkon sekä kiinteistön lämmitysverkoston yllämmön leikkauksissa ja tuomolemmille osapuolille energiasäästöjä. Tämä voi vaikuttaa tulevaisuudessa myös uuteen hinnoittelumalliin kaukolämmön osalta, missä huomioidaan ns. kysyntäjousto.

8.1.3 Energiasäästötoimenpiteiden vaikutus käyttötilojen olosuhteisiin

Terveydensuojelulain mukaan sisäilman tulee olla puhdasta eivätkä esimerkiksi lämpötila, kosteus, ilmanvaihto ja muut vastaavat tekijät saa aiheuttaa terveyshaittaa tiloissa oleskeleville. Keskeisin sisätilojen olosuhteisiin vaikuttava tekijä on ilmanvaihto. Ilmanvaihto huolehtii paitsi riittävästä ja puhtaasta tuloilman saannista myös epäpuhtauksien ja kosteuden poistosta sisäilmasta. Ilmanvaihto vaikuttaa myös lämpöolosuhteisiin. Tilojen terveydellisten olosuhteiden täyttymisen seurannassa ovat oleskelutilojen käyttöaikaiset ilmanvaihdon riittävyys ja lämpö- ja kosteusmittausdatan tulokset täyttäneet terveysperusteisesti edellytetyt toimenpiderajat. Tilojen käyttöaikoina IV-koneet ja muu talotekniikka ovat toteutuneet suunnittelulla tavalla. (Terveydensuojelulaki 763/94.)

Energiasäästövaikutuksien selvittämiseksi tehdyt IV-koneiden seisautukset ja lämpötilojen pudotukset on toteutettu ja suunnattu koulun käyttöaikojen ulkopuolelle. Asumisterveysasetuksen mukaan rakennuksen käyttöajan ulkopuolella ilmanvaihdon tulee olla sellainen, ettei rakennus- ja sisustusmateriaaleista tai muista lähteistä vapautuvien ja kulkeutuvien epäpuhtauksien kertyminen sisäilmaan aiheuta käyttöaikana tiloissa oleskeleville terveyshaittaa. Kohdekoulu on josiksi vanha, että rakennusaikaiset materiaalipäästöt ovat haihtuneet. Materiaaliemissioihin viittaavia hajuja ei ole havaittu. Ilmanvaihtuvuuden riittävyyden ja haju- ja epäpuhtauskertymien estämiseksi on käyttötilojen pysäytetty ilmanvaihto käynnistetty siten, että sisäilma on ehtinyt vaihtua mitoituksen mukaan ennen

käyttäjien saapumista. Huoneilman kosteus ei ole kohonnut IV-koneiden ollessa pysäytettyinä pintojen ja rakenteiden kastepisterajoille, aiheuttaakseen mikrobikasvun riskiä.

Käyttjähaastattelujen perusteella käyttäjät eivät ole kokeneet tiloissa olosuhdehaittoja muutoin kuin hetkittäisten talotekniikan käyntihäiriöiden takia. Häiriöt ovat aiheutuneet tavanomaisista laitevioista ja ne on kunnostettu aina viipymättä. Koulunkäyttäjiltä ei ole tullut viestejä ilmanvaihdon riittämättömyydestä eikä sisäilman tunkkaisuudesta, poikkeavasta lämpötilavaihtelusta tai kuivuudesta, jotka ovat yleisempiä haittatuntemuksia koulutiloissa. Covid-19-pandemian johdosta ei käyttäjäkunnalle suunniteltua toistettavaa olosuhdekartoitusta päästy toteuttamaan.

8.2 Energiatehokkuus toimenpiteiden ohjeistus

8.2.1 IV-koneisiin liittyvät käyntiajat ja ilmavirrat

Opinnäyte työssä laadittiin ohje Kotkan kaupungin omistamien palvelurakennusten ilmanvaihdon käytölle. Se koskee palvelurakennuksia, joiden käyttö ei ole ympärivuorokautista. Tällä tarkoitetaan esimerkiksi kouluja, päiväkoteja ja muita palvelurakennuksia, joissa toiminta painottuu pääasiassa arkipäiviin. Ilmanvaihtoa suositellaan alkaa käyttää palvelurakennuksissa niin, että siinä toteutetaan kuntien sisäilmaryhmän ohjeistusta. Tämä tarkoittaa, että rakennuksen mitoitusilmavirtoja käytetään aina noin kaksi tuntia ennen käyttöajan alkamista ja käyttöajan jälkeen ilmanvaihdolla vielä huuhdellaan tiloja mitoitusilmavirralla kahden tunnin ajan. Käytännössä esimerkiksi kouluissa IV-koneet käynnistyvät arki-iltaisoin klo. 05.00 ja IV-koneet pysähtyvät klo. 17.00. Mikäli kiinteistössä on iltatoimintaa, kyseistä toimintaa koskevan alueen ilmanvaihto voidaan säätää toimivaksi hiilidioksidipitoisuuden ja/tai läsnäolotiedon mukaan tai käyttäjillä on mahdollisuus jatkaa tilan ilmanvaihtoa esim. lisäaikakytkimestä.

Viikonloppuna ja muina loma-aikoina ilmanvaihto käynnistyy mitoitusilmavirralla yhden tunnin ajaksi vuorokautta kohti. Lisäksi vuosisiivouksien aikana ilmanvaihto käy mitoitusilmavirroilla 2–3 vuorokautta siivouksen päättymisen jälkeen.

Kesäaikana voidaan lisäksi hyödyntää yötuuletusta, mikäli ulkoilmanlämpötila on noin 3 °C matalampi kuin rakennuksen sisäilmanlämpötila. Tämä vaatii aina kiinteistön sisäilmanlämpötilan mittaustiedon lisäämistä kiinteistön rakennusautomaatiojärjestelmään, jotta yötuuletusta voidaan hyödyntää tehokkaasti ja tarkoituksenmukaisesti. Ohje on esitetty kokonaisuudessa liitteessä 8, ja se sisältää taulukon 1, jonka mukaan rakennusautomaatiojärjestelmän tai käyttäjän on tarkoitus ilmanvaihtoa ohjata.

IV-järjestelmien käyntiaikamuutosten lisäksi ohjeistetaan suorittamaan toimenpiteitä ja esivalmisteluja, jotta käyntiaikamuutoksien vaikutukset kiinteistön olosuhteisiin voidaan valvoa säännöllisesti sekä varmistua, että suoritettavat IV-koneiden pysähdykset ja käynnistykset eivät aiheuta sisäilmaolosuhteisiin muutoksia tai rakennusfysikaalista riskiä toiminnallaan. Lisäksi kiinteistöhoiton ja käyttäjien omalla toiminnallaan varmistettava ilmanvaihdon oikeaoppinen käyttö esimerkiksi ilta- ja juhlaikäytössä tai vuosisiivousjaksojen aikana. Liitteen 8. taulukossa 2. on esitetty toimenpiteitä ja selvityksiä, mitä rakennukseen ja ilmanvaihtojärjestelmään on tarpeen tehdä ennen kuin käyntiaikojen muutoksen siirrytään.

Ohjeessa ohjeistetaan lisäksi olosuhdeseurantajärjestelmistä ja mittauksista, jotka kiinteistöön olisi hyvä lisätä kohteen koosta tai IV-koneiden määrästä riippuen. Ohje myös antaa myös karkeaa kustannustietoa seurantajärjestelmien asennuskustannuksista sekä ominaisuuksista, joita seurantajärjestelmältä vaaditaan.

8.2.2 Lämmitysjärjestelmiin liittyvät huonelämpötilojen pudotukset

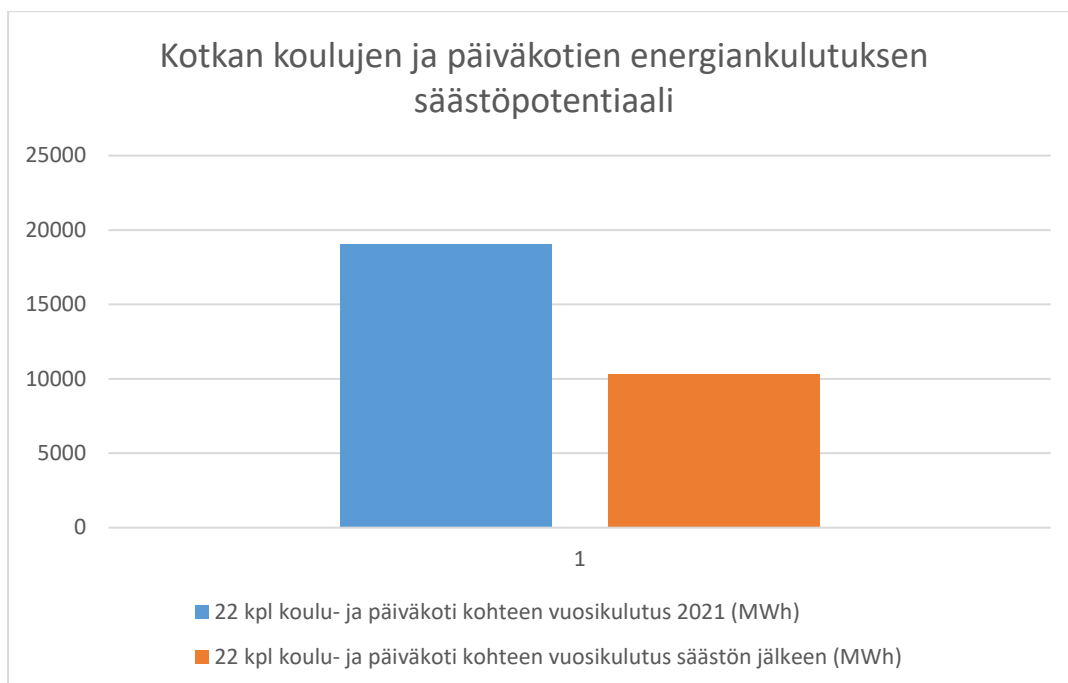
Opinnäytetyössä saatujen tulosten ja kokemusten perusteella Kotkan kaupungin rakennettaviin uudiskohteisiin suositellaan lisäämään mahdolliseksi huone- tai vaikutusaluekohtainen mahdollisuus pudottaa sisälämpötiloja käyttöajan ulkopuolella. Tämä tarkoittaa sitä, että tulevaisuudessa patteri- tai lattialämmitystä voidaan säätää rakennusautomaatiojärjestelmästä huonekohtaisesti niin, että sisälämpötilojen pudotus käyttöajan ulkopuolella voidaan toteuttaa. Tämä mahdollistaa myös tulevaisuudessa sääennusteeseen perustuvan lisäpalvelun lisäämisen

kiinteistöihin. Ilmanvaihdon käytön ohjeessa ohjeistetaan sisälämpötilan asetusarvoja ja aikoja, joihin lämpötilan pudotuksilla kiinteistöissä pyritään. Siinä on myös erikseen ohjeistus lämpötilojen pudotuksista kohteille, joissa on pidempää vajaata käyttöä tai kohde ei ole käytössä ollenkaan.

Sisälämpötilojen pudokset voidaan toteuttaa huonekohtaisilla säätimillä, joiden asetusarvoja on voitava muuttaa rakennusautomaatiosta tai palvelutarjoajan käyttöohjelmasta käsin. Näin myös varmistutaan olosuhteiden pysyvyydestä, kun huonesäätimiltä on mahdollista kerätä ja seurata trenditietoa lämpötilojen vaihteluista. Mikäli sisälämpötilojen pudotusta tehdään isommalle rakennusosalle esim. lämmitysverkoston käyrän pudotuksella, olosuhteiden pysyvyydestä ja seurannasta on huolehdittava esimerkiksi lämpötilaa ja kosteutta mittaavilla yhdistelmäantureilla. Käyttäjien ja kiinteistöhoidon kannalta sisälämpötilojen pudotuksien aikataulutuksissa on huomioitava toiminta kohteissa esimerkiksi ilta- ja juhlakäytössä tai vuosisiivousjaksojen aikana.

9 TYÖN MERKITYS

Työn merkitys kansallisten energiatehokkuussopimusten energiantehokkuustavoitteiden saavuttamiseksi on myös merkittävä. Mikäli työn tuloksena kootun ohjeen mukaista ilmanvaihdon käyttötapaa laajennetaan esimerkiksi 22 kiinteistöön Kotkassa, jotka ovat koulu- ja päiväkotikohteita, saavutetaan kirkkaasti KETS-tavoite 7,5 % energiansäättötavoitteesta vuoteen 2025 mennessä. Tämä noin 10000 MWh:n säästöpotentiaali vastaa noin 8,5 % koko kaupungin raportoimasta kiinteistökannan kulutuksesta. Ilmanvaihdon käyttötapaa on potentiaalia laajentaa myös muihin palvelurakennuksiin ja sillä voitaisiin saavuttaa jopa useamman kymmenen prosentin säästöt koko kiinteistökannan energiankulutuksissa tulevaisuudessa. Alla kuvassa 52 on esitetty vuoden 2021 energiankulutustiedoilla 22 kohteen energiasäästöpotentiaali. (Rantanen 2022.)



Kuva 52.

Työn avulla kerättiin ja saatiin myös arvokasta tietoa ja kokemusta eri olosuhde-seurantajärjestelmistä ja niiden toimivuudesta kiinteistöissä. Näiden kokemusten perusteella on helpompaa päivittää kiinteistöjen rakennusautomaatio- ja huolto-kirjajärjestelmää, kun tiedetään tulevaisuuden muutostarpeet sisäilmaolosuhteiden- ja energiaraportoinnin osalta. Työn tulokset myös ohjaavat varsinkin uusien rakennusten talotekniikan suunnitteluohjeiden päivytystä, jolla pyritään entistä suurempiin energiasäästöihin kiinteistöjen käyttöajan ulkopuolella sekä huolehditaan siitä, että olosuhteet käyttäjälle käyttöajalla toteutuvat suunnitellusti.

Toivottavasti työn tulokset myös rohkaisevat muita kuntia, kaupunkeja tai muita kiinteistöjä omistavia julkisyhteisöjä käyttämään kiinteistökantansa talotekniikkaa energiataloudellisesti ja samalla huolehtimaan riittävästä sisäilman olosuhdeseurannasta kohteissa. Sähkön- ja kaukolämmön energiataloudellinen käyttö ja sen ennustettavuus kiinteistöissä voi lisäksi johtaa kysyntäjoukseen perustavaan energian käyttöön, jolla voi olla suuri merkitys energiaverkkojen kuormitukseen ja energian hinnoitteluun tulevaisuudessa.

LÄHTEET

Alanko, A. 2018. Ilmanvaihdon käyttötapojen ja tasojen vaikutus sisäilmaan koulurakennuksessa. Itä-Suomen Yliopisto. Opinnäytetyö.

Finvac ry. 2018. Opas ilmanvaihdon mitoitukseen muissa kuin asuinrakennuksissa. WWW-dokumentti. Saatavissa: [https://finvac.org/wp-content/uploads/2020/06/Opas ilmanvaihdon mitoitukseen muissa kuin asuinrakennuksissa 2019b.pdf](https://finvac.org/wp-content/uploads/2020/06/Opas_ilmanvaihdon_mitoitukseen_muissa_kuin_asuinrakennuksissa_2019b.pdf) [viitattu 12.4.2021]

Hukkanen, M. 2022. Automaatioasentaja. Haastattelu 15.3.2021. Kotkan kaupunki. Tekniset Palvelut

Ilmatieteen laitos. 2022. Energialaskennan testivuodet. WWW-dokumentti. Saatavissa: [Energialaskennan testivuodet TRY2012 - Ilmatieteen laitos](#) [viitattu 24.01.2022]

Karnaattu, R. 2019. Sisäilma-asiantuntija. Haastattelu 09.08.2019. Kotkan kaupunki. Toimitilahallinto

Kotkan kaupunki. 2021a. Organisaatio. WWW-dokumentti. Saatavissa; <https://www.kotka.fi/yhteystieto/toimitilahallinto/> [viitattu 18.02.2021]

Kotkan kaupunki. 2021b. Kotkan kaupungin ilmasto-ohjelma 2021. WWW-dokumentti. Saatavissa: https://www.kotka.fi/wp-content/uploads/2021/04/kotka_ilmastoohjelma2021_2030_hyvaksytty_korjattu2021-04-29.pdf [viitattu 12.01.2022]

Kotkan Energia Oy. 2022. Energiatehokkuus. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.kotkanenergia.fi/palvelut/kaukolampo/energiatehokkuus/> [viitattu 24.01.2022]

Kuntien sisäilmaverkosto. 2019. Julkisten palvelurakennusten ilmanvaihdon käytön yleisohje ja sen perustelumuistio. WWW-dokumentti. Saatavissa:

<https://www.kuopio.fi/documents/7369547/7452926/Ilmanvaihdon+k%C3%A4yt%C3%B6n+yleisohje/d3884267-9723-44e4-9a12-937b2d4b022e> [viitattu 12.01.2020]

Lestinen, S., Kilpeläinen, S. & Kosonen, R. 2021. Julkisten rakennusten ilmanvaihdon käyttöaikojen vaikutus työolosuhteisiin ja sisäilman laatuun. Aalto-yliopisto. Opinnäytetyö.

LVI-Studio Oy. 2013. LVI-selostus Aittakorven koulu. Tekniset Palvelut arkisto

Motiva Oy. 2018. Kiinteistöjen lämmitysopas. WWW-dokumentti. Saatavissa: https://www.motiva.fi/files/13534/Kiinteistojen_lammitys_-_opas_kunnille.pdf [viitattu 01.11.2021]

Motiva Oy. 2022a. Kestävän kehityksen palvelut. WWW-dokumentti. Saatavissa: https://www.motiva.fi/motiva/kestavan_kehityksen_palvelut [viitattu 01.02.2022]

Motiva Oy. 2022b. Energian käyttö Suomessa. WWW-dokumentti. Saatavissa: https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiankaytto_suomessa/co2-paastokertoimet [viitattu 12.03.2022]

Nuuka Solution Oy. 2022a. Ratkaisut. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.nuuka.com/fi/solutions> [viitattu 12.02.2022]

Nuuka Solution Oy. 2022b. Uutiset. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.nuuka.com/fi/news#/pressreleases/nuuka-enables-helsinki-to-share-its-building-data-to-accelerate-carbon-neutral-future-3111217> [viitattu 12.02.2022]

Optiwatti Oy. 2022. OptiWatti lanseeraa älykkään lämmityksen ohjauksen vesikiertoisiin kiinteistöihin. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.optiwatti.fi/optiwatti-lanseeraa-alykkaan-ohjauksen-vesikiertoisen-lammityksen-kiinteistoihin/> [viitattu 12.02.2022]

Rakennustieto Oy. 2018. Sisäilmaluokitus 2018. RT 07-11299.

Rakennustieto Oy. 2004. Rakennusosien fysikaalinen toiminta. Rakentajain kalenteri 2004.

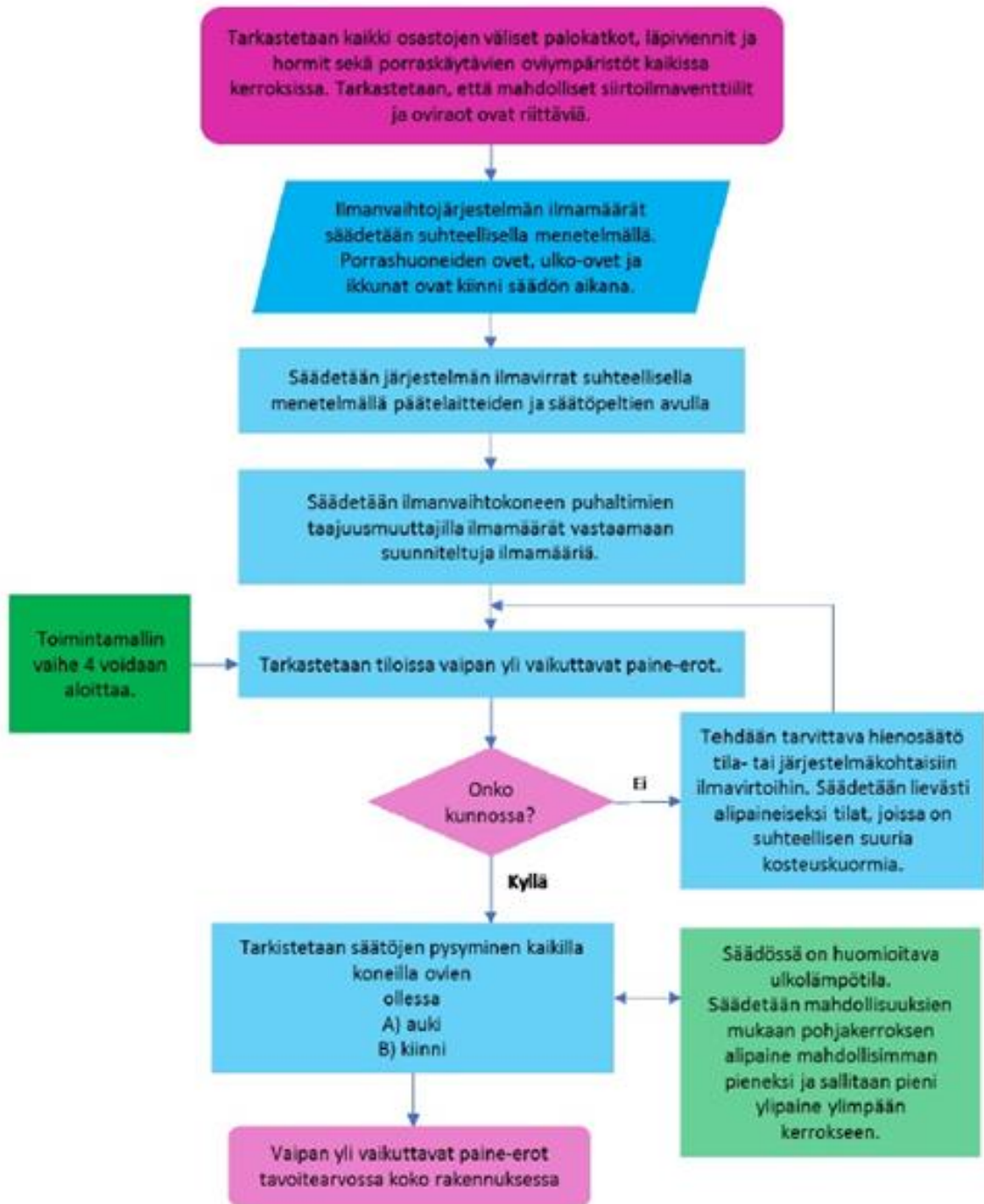
Rantanen, A. 2022. Tekninen tilasihteeri. Sähköpostiviesti 10.2.2022. Kotkan kaupunki. Tekniset Palvelut

Sosiaali- ja terveysministeriö. 2015. Asumisterveysasetus. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://stm.fi/documents/1271139/1408010/Asumisterveysasetus/> [viitattu 12.06.2021]

Terveydensuojelulaki (763/94)

Tilapalvelu. 2013. Loppuraportti peruskorjaus ja laajennus Aittakorven koulu. Tekniset Palvelut arkisto

Valvira. 2016. Asumisterveys asetuksen soveltamisohje. WWW-dokumentti. Saatavissa <https://www.valvira.fi/documents/14444/261239/Asumisterveysasetuksen+soveltamisohje/ac8d5e16-97be-456c-9c9c-ce8560f2092e> [viitattu 12.06.2021]



(Kuntien sisäilmaverkosto 2019)

Aittakorven koulu 2020-21 energiasimulointi		
Tehdyt toimenpiteet		
Päivämäärä	Optiwatti käytössä TK1 alue	Kaikki koneet ilmajärrät
16.3.2020	Säästö 19C, muuten 21,5 C	100% TK1 seuraa optiwattia
30.3.2020	Säästö 18C, muuten 21 C	100% TK1 seuraa optiwattia
11.5.2020	Ei käytössä, aina 21,5 C	100 %
1.6.2020	Säästö 18C, muuten 21 C	100% TK1 seuraa optiwattia
15.6.2020	Säästö 18C, muuten 21 C	100% päivällä, yöllä+ vkl 50 %
29.6.2020	Säästö 18C, muuten 21 C	100% päivällä, yöllä+ vkl 0 %
13.7.2020	Säästö 16C kokoajan	0% aina + lomakäynti(ohjeistus)
27.7.2020	Säästö 16C kokoajan	50% päivällä, yöllä + vkl 0%
7.8.2020	Säästö 18C(20C), muuten 21 C	100% TK1 seuraa optiwattia
12.10.2020	Ei käytössä, aina 21 C	100% päivällä, yöllä+ vkl 50 %
9.11.2020	Säästö 18C(20C), muuten 21C	100% päivällä, yöllä+ vkl 50 % TK1 seuraa optiwattia
30.11.2020	Säästö 18C(20C), muuten 21C	100% päivällä, yöllä+ vkl 0%
9.12.2020	Ei käytössä	100% päivällä, yöllä+ vkl 0%
21.12.2020	Säästö 16C kokoajan	0% aina + lomakäynti(ohjeistus)
2.1.2021	Ei käytössä, aina 21 C	0 %
4.1.2021	Ei käytössä, aina 21 C	100 %
19.1.2021	Säästö 18C(20C), muuten 21C	100% päivällä, yöllä+ vkl 50 % TK1 seuraa optiwattia
10.2.2021	Säästö 18C(20C), muuten 21C	100% päivällä, yöllä+ vkl 0%
26.2.2021	Säästö 16C kokoajan	0% aina + lomakäynti(ohjeistus)
8.3.2021	Ei käytössä, aina 21 C	100% päivällä, yöllä+ vkl 0%
23.3.2021	Säästö 18C(20C), muuten 21C	100% TK1 seuraa optiwattia
6.4.2021	Säästö 18C(20C), muuten 21C	100% päivällä, yöllä+ vkl 0%
2.5.2021	Ei käytössä, aina 21 C	100% päivällä, yöllä+ vkl 0%
3.12.2021	Ei käytössä, aina 21 C	100% päivällä, yöllä+ vkl 50 %
13.12.2021	Säästö 18C(20C), muuten 21C	100 %
27.12.2021	Säästö 17 C kokoajan	TK1/TK2 50% kokoajan/TK1 17C kokoajan
5.1.2022	Ei käytössä, aina 21 C	100% kokoajan
4.2.2022	Säästö 18C(20C), muuten 21C	100% TK1 seuraa optiwattia

TK1 ja TK2 sähköenergian säästö eri simuloimella

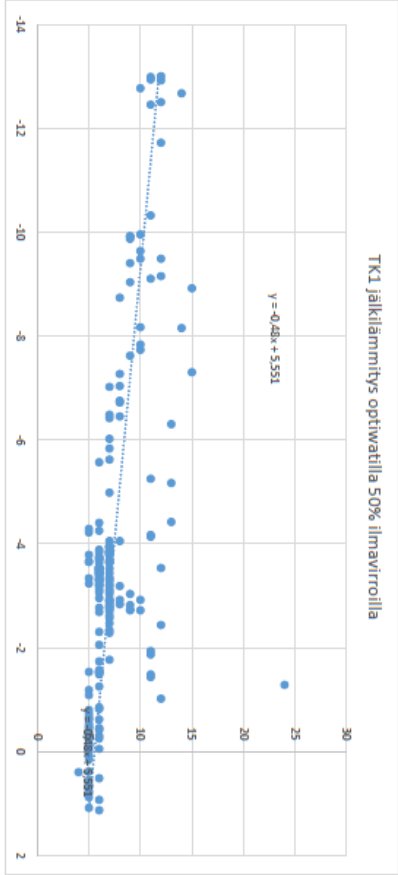
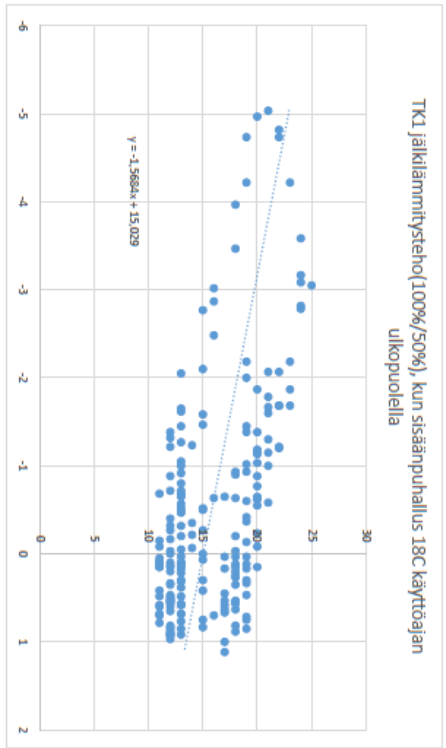
Vikitehtävän puhallin energiankulutus, käyttöaika 40k, konna 12k

0% raho. lähtökäytön ulko. (40%)	kompensointi 1h:20h 100% (12%)	100% raho. lähtökäytön ulko. (40%)	kompensointi 50% rahoilla (12%)	100% raho. lähtökäytön ulko. (40%)	kompensointi 50% rahoilla (12%)	100% raho. lähtökäytön ulko. (40%)	kompensointi 50% rahoilla (12%)
TK1	1670	1670	1670	1670	1670	1670	1670
TK2	1550	1550	1550	1550	1550	1550	1550
TK1 ja TK2 yhteensä	3220	3220	3220	3220	3220	3220	3220
TK1 säästö eri ajoilla:	18922,8	48593,3	42357,2	15200,8	41593,4	37531,2	29280,0
TK2 säästö eri ajoilla:	25416,0	31223,6	23342,0	23342,0	32989,0	29280,0	29280,0
TK1 ja TK2 yhteensä	44338,8	79816,9	65699,2	38542,8	73582,4	66811,2	58560,0

0,11 eur/kWh

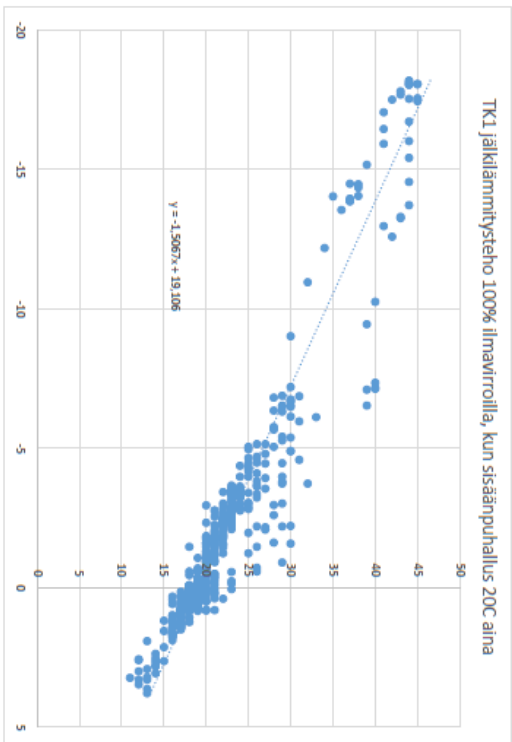
Yhteensä:

TK1 ja TK2 sähköenergian kulutus 50% hinnoilla käyttöajan ulkopuolella	TK1 ja TK2 sähköenergian kulutus kompensoitua käyttöajan ulkopuolella	TK1 ja TK2 yhteensä
132313,0 kWh	48756,0 kWh	132313,0 kWh
TK1 säästö eri ajoilla:	TK1 säästö eri ajoilla:	TK1 säästö eri ajoilla:
18922,8 kWh (29%)	18922,8 kWh (29%)	18922,8 kWh (29%)
48593,3 kWh (44%)	48593,3 kWh (44%)	48593,3 kWh (44%)
42357,2 kWh (32%)	42357,2 kWh (32%)	42357,2 kWh (32%)
TK2 säästö eri ajoilla:	TK2 säästö eri ajoilla:	TK2 säästö eri ajoilla:
25416,0 kWh (19%)	25416,0 kWh (19%)	25416,0 kWh (19%)
31223,6 kWh (24%)	31223,6 kWh (24%)	31223,6 kWh (24%)
23342,0 kWh (18%)	23342,0 kWh (18%)	23342,0 kWh (18%)
23342,0 kWh (18%)	23342,0 kWh (18%)	23342,0 kWh (18%)
32989,0 kWh (25%)	32989,0 kWh (25%)	32989,0 kWh (25%)
29280,0 kWh (22%)	29280,0 kWh (22%)	29280,0 kWh (22%)
TK1 ja TK2 yhteensä	TK1 ja TK2 yhteensä	TK1 ja TK2 yhteensä
132313,0 kWh	132313,0 kWh	132313,0 kWh
44338,8 kWh (34%)	44338,8 kWh (34%)	44338,8 kWh (34%)
79816,9 kWh (60%)	79816,9 kWh (60%)	79816,9 kWh (60%)



65 eur/MWh

TK1 jälkiämmitysteho energiankulutus 100% ilmavirroilla (20C)	107,2 MWh	6962,2 EUR
TK1 jälkiämmitysteho energiankulutus 100% ilmavirroilla (18C)	80,9 MWh	5255,6 EUR
TK1 jälkiämmitysteho energiankulutus 50% ilmavirroilla (20C)	62,2 MWh	4042,7 EUR
TK1 jälkiämmitysteho energiankulutus 50% ilmavirroilla (18C)	58,0 MWh	3772,2 EUR
TK1 jälkiämmitysteho energiankulutus 0% ilmavirroilla	39,3 MWh	2487,6 EUR



TK2 lämpöenergiankulutus vuodessa simuloituna (testivuoden 2012 säädattäällä)

Vuoden tunnit

8760 h

Osuus vuoden tunneista	Tuntia vuodessa	Ulkolämpötila	TK2 teho (20C)100%	TK2 teho (20C) 50%	tunnit 100% teho käyttöajan ntk.	lk energia 50%	tunnit 100%teho käyttöajalla	lk energia 100%tehoilla	lk energia kokoojan 100 %
0,0008	7	-20,5	26,9	22,9	4,5	102,9	2,5	67,3	186,4
0,0022	19,3	-19,5	26,2	22,1	12,4	274,1	6,9	180,3	504,8
0,0026	22,8	-18,5	25,4	21,3	14,7	312,5	8,1	206,7	576,9
0,0024	21	-17,5	24,6	20,6	13,5	277,4	7,5	184,7	517,2
0,0034	29,8	-16,5	23,9	19,8	19,2	378,9	10,6	254,0	711,2
0,0063	55,2	-15,5	23,1	19,0	35,5	674,5	19,7	455,4	1273,3
0,0095	83,2	-14,5	22,3	18,2	53,5	975,4	29,7	663,8	1858,7
0,0072	63,1	-13,5	21,6	17,5	40,6	708,5	22,5	486,3	1364,5
0,0082	71,8	-12,5	20,8	16,7	46,2	770,5	25,6	533,7	1494,5
0,0059	51,7	-11,5	20,1	15,9	33,2	539,2	18,5	370,2	1056,7
0,0056	48,1	-10,5	19,3	15,2	31,6	478,2	17,5	338,3	947,1
0,0056	48,1	-9,5	18,5	14,4	31,6	453,9	17,5	324,9	909,7
0,0087	76,2	-8,5	17,8	13,6	49,0	666,6	27,2	483,4	1353,6
0,0142	124,4	-7,5	17,0	12,8	80,0	1026,5	44,4	755,4	2115,0
0,0167	146,3	-6,5	16,2	12,1	94,1	1134,7	52,3	848,5	2375,8
0,0199	169,1	-5,5	15,5	11,3	106,7	1227,6	60,4	934,7	2617,1
0,0199	174,3	-4,5	14,7	10,5	112,1	1178,9	62,3	915,9	2564,6
0,022	192,7	-3,5	14,0	9,8	123,9	1207,8	68,8	960,1	2688,4
0,0244	213,7	-2,5	13,2	9,0	137,4	1233,5	76,3	1006,6	2818,4
0,027	236,5	-1,5	12,4	8,2	152,0	1247,8	84,5	1049,6	2938,8
0,0344	301,3	-0,5	11,7	7,4	193,7	1440,2	107,6	1253,1	3514,2
0,0592	518,6	0,5	10,9	6,7	333,4	2221,7	185,2	2019,0	5653,2
0,0564	494,1	1,5	10,1	5,9	317,6	1871,7	176,5	1789,0	5009,3
0,0525	459,9	2,5	9,4	5,1	295,7	1514,0	164,3	1540,9	4311,9
0,0404	353,9	3,5	8,6	4,3	227,5	989,6	126,4	1088,6	3048,2
0,032	280,3	4,5	7,9	3,8	180,2	644,7	100,1	782,9	2200,5
0,0344	301,3	5,5	7,1	3,6	193,7	543,6	107,6	782,7	2135,6
0,0318	278,6	6,5	6,3	2,0	179,1	364,5	99,5	629,4	1762,2
0,0342	299,6	7,5	5,6	1,3	192,6	243,4	107,0	595,2	1666,6
0,032	280,3	8,5	4,8	0,5	180,2	88,7	100,1	480,5	1345,5
0,0325	284,7	9,5	4,0	0,0	183,0	0,0	101,7	410,5	1149,5
0,0331	290	10,5	3,3	0,0	186,4	0,0	103,6	339,2	949,7
0,0335	293,5	11,5	2,5	0,0	188,7	0,0	104,8	263,3	737,4
0,0332	290,8	12,5	1,7	0,0	186,9	0,0	103,9	181,7	506,8
0,0388	322,4	13,5	1,0	0,0	207,3	0,0	115,1	113,7	316,2
0,0339	297	14,5	0,2	0,0	190,9	0,0	106,1	23,8	66,7
0,0332	290,8	15,5	0,0	0,0	186,9	0,0	103,9	0,0	0,0
0,0333	299,2	16,5	0,0	0,0	198,8	0,0	110,4	0,0	0,0
0,0239	209,4	17,5	0,0	0,0	134,6	0,0	74,8	0,0	0,0
0,0206	180,5	18,5	0,0	0,0	116,0	0,0	64,5	0,0	0,0
0,0183	160,3	19,5	0,0	0,0	103,1	0,0	57,3	0,0	0,0
0,0162	141,9	20,5	0,0	0,0	91,2	0,0	50,7	0,0	0,0
0,0112	98,1	21,5	0,0	0,0	63,1	0,0	35,0	0,0	0,0
0,0055	48,2	22,5	0,0	0,0	31,0	0,0	17,2	0,0	0,0
0,0047	41,2	23,5	0,0	0,0	26,5	0,0	14,7	0,0	0,0
0,0033	28,9	24,5	0,0	0,0	18,6	0,0	10,3	0,0	0,0
0,0038	33,3	25,5	0,0	0,0	21,4	0,0	11,9	0,0	0,0
0,0007	6,1	26,5	0,0	0,0	3,9	0,0	2,2	0,0	0,0
0,0003	2,6	27,5	0,0	0,0	1,7	0,0	0,9	0,0	0,0
0,0006	5,3	28,5	0,0	0,0	3,4	0,0	1,9	0,0	0,0
			0,0	0,0	0,0	24781,5		23297,5	65333,1

Vuoden simuloitu energia yhteensä

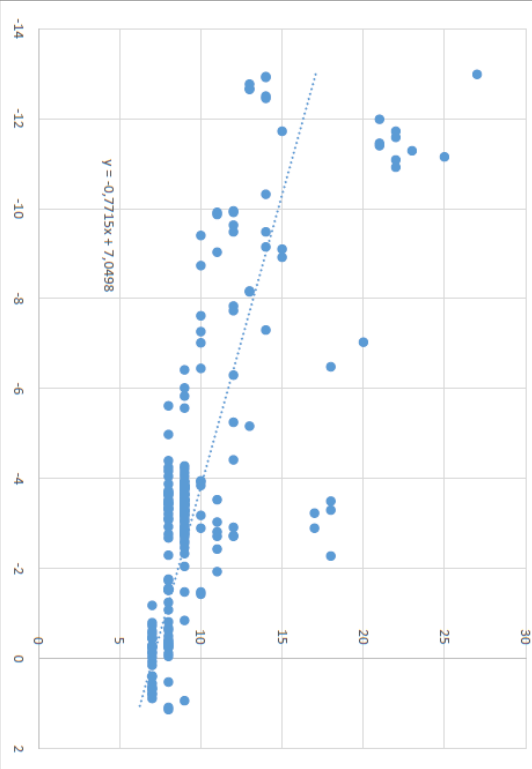
65 eur/MWh

TK1 jälkilämmityksen energiankulutus 100% ilmavirroilla (20C) 65,2 MWh 4240,1 EUR

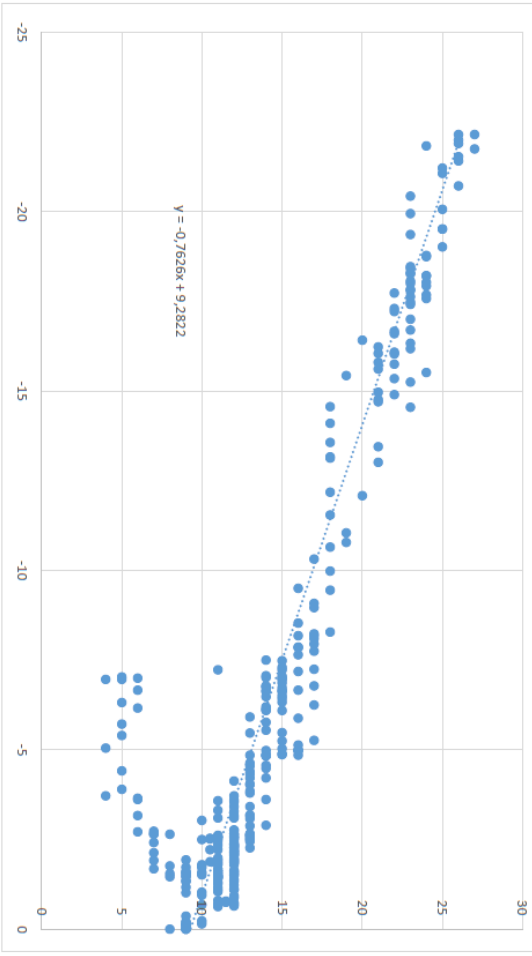
TK1 jälkilämmityksen energiankulutus 50% ilmavirroilla (20C) 48,1 MWh 3125,1 EUR

TK1 jälkilämmityksen energiankulutus 0% ilmavirroilla 23,3 MWh 1514,3 EUR

TK2 jälkilämmityspatterin teho 50% ilmavirroilla

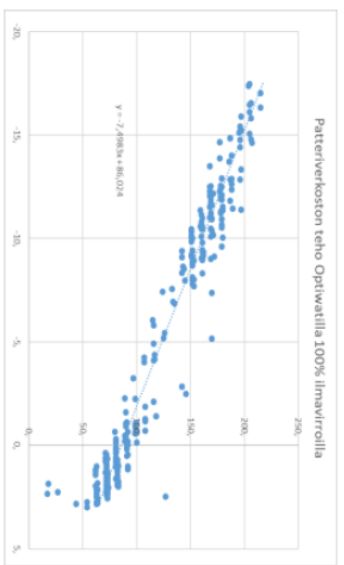
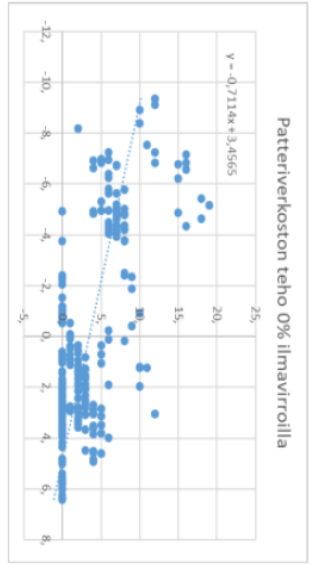
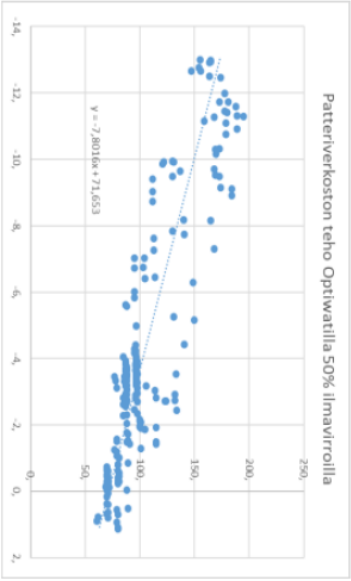
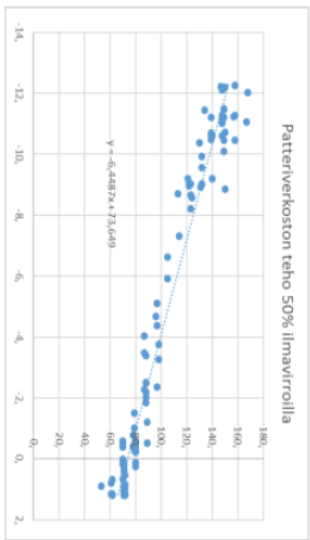
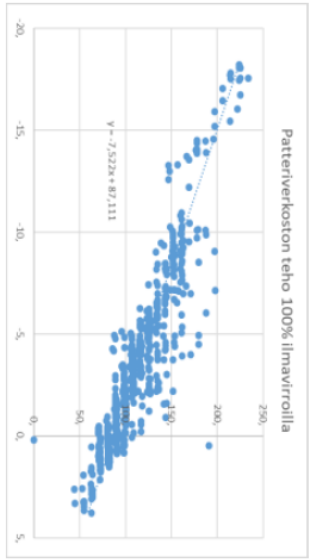


TK2 jälkilämmitysteho 100% ilmavirroilla



TKL/T2 Patterverkoston emarginalisuus 100% ilmavirroilla 100%	482,5	1490	3180,6 EUR
TKL/T3 Patterverkoston emarginalisuus 100% ilmavirroilla 130%	475,9	MMH	3093,4 EUR
TKL/T3 Patterverkoston emarginalisuus 50% ilmavirroilla sytytyksen alkupuolella(20%)	454,2	MMH	2822,4 EUR
TKL/T2 Patterverkoston emarginalisuus 0% ilmavirroilla sytytyksen alkupuolella	216,2	MMH	1405,6 EUR
TKL/T2 Patterverkoston emarginalisuus 0% ilmavirroilla 130%	173,3	MMH	1128,9 EUR

65 eur/MMH



Vesihöyryn kylästyypitoisuus v_k ja kylästytilian osapaine p_k

t °C	v_k g/m ³	p_k Pa	t °C	v_k g/m ³	p_k Pa	t °C	v_k g/m ³	p_k Pa
-20	0,87	102	-3	3,89	485	14	12,10	1602
-19	0,95	111	-2	4,19	524	15	12,86	1708
-18	1,04	122	-1	4,51	566	16	13,65	1820
-17	1,14	135	0	4,85	611	17	14,49	1939
-16	1,25	149	1	5,21	658	18	15,37	2064
-15	1,38	164	2	5,58	708	19	16,30	2197
-14	1,52	181	3	5,98	762	20	17,28	2337
-13	1,67	200	4	6,40	818	21	18,31	2484
-12	1,83	221	5	6,84	878	22	19,40	2640
-11	2,01	242	6	7,31	941	23	20,54	2805
-10	2,20	266	7	7,80	1008	24	21,74	2979
-9	2,40	292	8	8,32	1079	25	23,00	3162
-8	2,61	319	9	8,87	1154	26	24,32	3355
-7	2,84	348	10	9,45	1234	27	25,71	3559
-6	3,08	379	11	10,06	1318	28	27,17	3773
-5	3,33	412	12	10,71	1408	29	28,70	3999
-4	3,60	447	13	11,38	1502	30	30,31	4237



Ohje kiinteistöjen ilmanvaihdon käytölle ja sisälämpötilojen asetuksille käyttöajan ulkopuolella

Kotkan kaupunki, Toimitilahallinto

Ilmanvaihtoon liittyvä käyttö ja ilmavirrat

Tämä ohjeistus on tehty Kotkan kaupungin omistamien palvelurakennusten ilmanvaihdon käytön ohjeeksi ja koskee palvelurakennuksia, joiden käyttö ei ole ympärivuorokautista. Tällä tarkoitetaan esimerkiksi kouluja, päiväkoteja ja muita palvelurakennuksia, joissa toiminta painottuu pääasiassa arkipäiviin. Ilmanvaihtoa voidaan alkaa käyttää palvelurakennuksissa niin, että siinä toteutetaan Kuntien sisäilmaryhmän ohjeistusta. Tämä tarkoittaa, että rakennuksen mitoitusilmavirtoja käytetään aina noin 2 tuntia ennen käyttöajan alkamista ja käyttöajan jälkeen ilmanvaihdolla vielä huuhdellaan tiloja mitoitusilmavirralla 2 tunnin ajan. Käytännössä esimerkiksi kouluissa IV-koneet käynnistyvät arki-aamuisin klo.05.00 ja IV-koneet pysähtyvät arki-iltaisoin klo. 17.00. Mikäli kiinteistössä on iltatoimintaa, kyseistä toimintaa koskevan alueen ilmanvaihto voidaan säätää toimivaksi hiilidioksidipitoisuuden ja/tai läsnäolotiedon mukaan tai käyttäjillä on mahdollisuus jatkaa tilan ilmanvaihtoa esim. lisäaikakytkimestä.

Viikonloppuna ja muina loma-aikoina ilmanvaihto käynnistyy mitoitusilmavirralla 1 tunnin ajaksi vuorokautta kohti. Lisäksi vuosisiivouksien aikana ilmanvaihto käy mitoitusilmavirroilla 2-3 vuorokautta siivouksen päättymisen jälkeen. Kesä aikana voidaan lisäksi hyödyntää yötuuletusta, mikäli ulkoilmanlämpötila on noin 3 °C matalampi kuin rakennuksen sisäilmanlämpötila. Tämä vaatii aina kiinteistön sisäilmanlämpötilan mittaustiedon lisäämistä kiinteistön rakennusautomaatiojärjestelmään, jotta yötuuletusta voidaan hyödyntää tehokkaasti ja tarkoituksen mukaisesti. Ilmanvaihdon käyntiaikoihin ja tehostustilanteita ohjaava taulukko 1, jonka mukaan rakennusautomaatiojärjestelmän tai käyttäjän on tarkoitus ilmanvaihtoa ohjata.

Taulukko 1. Ilmanvaihdon käyntiajat ja ilmavirrat

Aikataulu	IV-käynti/teho	Ohjaustapa
Arkisin klo. 5.00–17.00	100 %	VAK
Arkisin klo. 17.00–05.00	0 %	VAK
Vkl pe klo. 17.00 – ma klo. 5.00	0 %/ 1h 100%/vrk	VAK
Loma pe klo. 17.00 – ma klo. 5.00	0 %/ 1h 100%/vrk	VAK
Siivousaikana ja 2–3 vrk jälkeen	100 %	VAK/siivouskyt-kin
Iltakäytössä käyttäjän mukaan tai kiinteä aikataulu	100 % tai CO ₂ -ohjauksen mukaan	VAK/lisäaikakyt-kin
CO ₂ -ohjatussa IV-järjestelmässä Arkisin klo. 5.00-17.00	100 % vähintään 2h ennen käyttöä	VAK

IV-järjestelmien käyntiaikamuutosten lisäksi ohjeistetaan suorittamaan toimenpiteitä ja esivalmisteluja, jotta käyntiaikamuutoksien vaikutukset kiinteistön olosuhteisiin voidaan valvoa säännöllisesti sekä varmistua, että suoritettavat IV-koneiden pysähdykset ja käynnistykset eivät aiheuta sisäilmaolosuhteisiin muutoksia tai rakennusfysikaalista riskiä toiminnallaan. Lisäksi kiinteistöhoitajan ja käyttäjien omalla toiminnallaan varmistettava ilmanvaihdon oikeaoppinen käyttö esimerkiksi ilta- ja juhlaikäytössä tai vuosisiivousjaksojen aikana. Taulukossa 2 on esitetty toimenpiteitä ja selvityksiä, mitä rakennukseen ja ilmanvaihtojärjestelmään on tarpeen tehdä, ennen kuin käyntiaikojen muutoksen siirytään.

Taulukko 2. Toimenpiteet järjestelmiin ja kiinteistöihin

Toimenpide	Vaikutus	Lisävarusteet	Kustannukset
1. Rakennusten kartoittaminen käyttöajan ja kunnon perusteella	Käyttäjä Toimitilahallinto		
2. Rakennusten ilmanvaihtojärjestelmän ja rakennusautomaatiojärjestelmän kartoitus	IV-järjestelmä, RAU-järjestelmä		
3. Ilmanvaihdon ilmavirtojen tasapainoitus ja järjestelmän toiminnan tarkastus	IV-järjestelmä RAU-järjestelmä IV-urakoitsija		
4. Käyttäjän ja kiinteistöhoidon normaalin käyttöajan ulkopuolisiin tilanteisiin varautuminen	Käyttäjä, Kiinteistöhoito Puhtauspalvelut Talokunnossapito		
5. Rakennusautomaatiojärjestelmään tehtävät muutokset ja mahdolliset laajennukset	RAU-järjestelmä Talokunnossapito		
6. Olosuhdemittausten ja ohjelmiston asentaminen (paineerot, lämpötila/kosteus, CO₂-antureiden paikat)	Koulurakennus Olosuhdepalvelutoimittaja		
7. Käyttäjien ja kiinteistöhoidon lisäkoulutus	Käyttäjä, Kiinteistöhoito Puhtauspalvelut Talokunnossapito		
8. IV-käyntiaikojen käyttöönotto ja olosuhdeseuranta	RAU-järjestelmä Olosuhdepalvelutoimittaja Talokunnossapito Toimitilahallinto		
9. Energiatohokkuuden seuranta ja raportointi Motiva järjestelmiin	Toimitilahallinto		
10. Lisäjärjestelmiin varautuminen tulevissa rakennuskohdeissa	Toimitilahallinto Rakennuttaminen		

1. Rakennusten kartoittaminen käyttöajan ja kunnan perusteella

Tämän tarkoittaa sitä, että kartoitetaan kaikki mahdolliset potentiaaliset palvelurakennukset, joissa ei ole esiintynyt sisäilmaongelmia tai tutkimukset osoittaneet rakenteellisia mikrobivaurioita. Kaupungin sisäilma-asiantuntija yhdessä toimitilahallinnon kanssa tekee lopullisen päätöksen kohteista, joihin ilmanvaihdon käyttötavan muutos voidaan toteuttaa. Lisäksi kohteen käyttötarkoitus tarkistetaan, että käyttötavan muutos voidaan toteuttaa. Ympäri vuorokauden toimivat julkiset palvelurakennukset kuten esimerkiksi palasemat ja vuoropäiväkodit jätetään käyttötavan muutoksen ulkopuolelle.

2. Rakennusten ilmanvaihtojärjestelmän ja rakennusautomaationjärjestelmän kartoitus

Kun kohteet on valittu, tehdään niiden ilmanvaihtojärjestelmiin esikartoitus. Kartoituksessa käydään läpi kohteen IV-koneet ja niiden palvelu- ja vaikutusalueet. Lisäksi tarkistetaan IV-koneiden liittyminen Kotkan kaupungin keskusvalvomoon. On mahdollista, että jotkut ns. pakettikoneet eivät ole luotettavasti keskusvalvomoon ohjattavissa tai osa erillispoistoista ei ole keskusvalvomoon ohjauksen perässä. Tällaisissa tapauksissa joudutaan mahdollisesti tekemään kiinteistön rakennusautomaatiojärjestelmään muutoksia, jotta IV-käyntiaikojen asettelu keskusvalvomosta käsin on mahdollista.

3. Ilmanvaihdon ilmavirtojen tasapainoitus ja järjestelmän toiminnan tarkastus

Mikäli kohteeseen on mahdollista toteuttaa IV-käyntiaikojen muutos, täytyy ilmanvaihtokanavistolle ja päätelaitteille tehdä ilmavirtojen tasapainotus. Mikäli IV-koneita käytetään osatehoilla esim. CO₂-ohjattujen koneiden vaikutusalueilla, täytyy ilmatase tarkistaa ja tasapainottaa kaikilla ilmanvaihdon osatehoilla. Lisäksi on tarkistettava, että kohteen ilmanvaihtokanavisto on nuohottu ja puhdistettu sisäilmaluokituksessa mainittujen suosituspuhdistusaikojen välein. Kouluilla ja päiväkodeilla ilmanvaihdon puhdistus väliksi suositellaan 6–12 vuotta. Jo viiden vuoden välein on hyvä tarkistaa kanaviston puhtaustaso.

Ilmavirtojen tasapainoituksen jälkeen on testattava kaikkien sulkupeltien toiminta ja tiiveys, jotta kylmävuodot kanavistoon ja sieltä pois ovat mahdollisimman vähäisiä. Lisäksi kaikki erillispoistopuhaltimet on tarkistettava, että myös ne pysähtyvät pääkoneiden kanssa yhtä aikaa. Kaikki olosuhteiden kannalta välttämättömät kohdepoistot jätetään

käyntiin. Niitä ovat esimerkiksi radon-, maalikaappi- tai muut jatkuvalle käytölle luokitellut poistopuhaltimet. Mutta niiden käynnissä olo ei saa aiheuttaa ulkovaipan paineroon muutoksia, joten niiden vaikutus paine-eroon on tarkistettava aina erikseen.

4. Käyttäjän normaalin käyttöajan ulkopuolisiin tilanteisiin varautuminen

(lisäaika kytkimet, juhlien yms. ilmoittaminen, iltakäytön opastukset)

Rakennuksen käyttöajan ulkopuoleinen toiminta täytyy selvittää käyttäjiltä ja esim. kaupungin liikuntapalveluilta ja varmistaa mikäli rakennuksessa suoritetaan vakioitua iltatoimintaa esimerkiksi liikuntasalissa tai teknisentyön tiloissa. Lisäksi puhtauspalveluilta on selvitettävä kausi- tai vuosisiivouksen ajankohdat. Tämän jälkeen tehdään päätös miten käyttöajan ulkopuoliselle toiminnalle ilmanvaihdon ohjaus toteutetaan. Mikäli tilassa on tai siihen on mahdollista lisäaikakytkin, niin silloin käyttäjä ohjaa esimerkiksi 1-4h lisää IV-koneen käynnille, joka kyseisen toiminnan palvelualueita palvelee. Tämä vaatii aina käyttäjältä reagoitua ja muistamista. Mikäli tilassa on CO₂-anturi tai se voidaan toteuttaa esim. liikuntasalin poistokanavaan, voidaan lisäaikakytkin korvata CO₂-ohjauksella. Tämän mittauksen toiminta on kuitenkin testattava huolella, jotta IV-koneen tehostus on toiminnaltaan tarpeenmukainen. Myös läsnäoloanturin anturin käyttö on mahdollista.

Loma-ajoilla järjestettyjen juhlien tai kausisiivouksien aikataulut on mahdollista lisätä RAU-järjestelmään, kunhan tieto käyttäjältä tai puhtauspalveluilta saavuttaa kiinteistövalvomon. Näiden erikoisempien käyttötilanteiden kanssa on sovittava käyttäjän kanssa erikseen, miten näissä halutaan menetellä. Mikäli kiinteistöjä on monia kymmeniä tai satoja, lisää näiden aikataulutusten lisääminen RAU-järjestelmään kiinteistövalvomon resursseja. Tältä kannalta lisäaikakytkimien ja CO₂- tai läsnäoloantureiden käyttö kiinteistössä olisi järkevää.

5. Rakennusautomaatiojärjestelmään tehtävät muutokset ja mahdolliset laajennukset

Pääsääntöisesti Kotkan kaupungin kiinteistöjen RAU-järjestelmät ovat toteutettu etävalvontaan valvomoalakeskuksilla esimerkiksi Schneider- tai Caverion -järjestelmillä. IV-käyntiaikojen lisäys voidaan toteuttaa järjestelmiin, mutta mikäli esim. jotain prosessimittauksia joudutaan lisäämään järjestelmään, voi se olla jälkeen päin hankalaa. Vanhem

missä järjestelmissä laajennusvaraa ei ole tai niiden varaosien saatavuus on heikkoa. Lisäksi joissakin kohteissa, missä IV-koneiden ohjaus on toteutettu ns. tehdasvalmiilla IV-koneen omalla automaatiolla, voi olla hankalaa keskusvalvomosta käsin vaikuttaa puhaltimien taajuusmuuttajiin. IV-koneiden käyntilupa on kuitenkin pääsääntöisesti VAK-ohjattu, joten käynnistyksen ja pysäytyksen ohjausta voidaan aikatauluttaa.

Lisäksi erillispoistojen ohjattavuus eri IV-koneiden vaikutusalueella pitää selvittää ja tehdä tarvittavat muutokset, jotta tarvittavien erillispoistojen ohjaus keskusvalvomon aikataulun mukaisesti on mahdollista. Myös IV-koneiden käynnistyksen ja pysäytyksen viiveisiin ja automatiikkaan on mahdollisesti tehtävä muutoksia, jotta rakennukselle haitallisia paineiskuja sulkupeltejä vasten ei pääse syntymään. Yötuuletuksen käyttäminen vaatii lisäksi sisäilmanlämpötila mittauksen lisäämisen, joka pitää liittää RAU-järjestelmään.

6. Olosuhdemittausten ja ohjelmiston asentaminen (paine-erot, lämpötila-CO₂-antureiden paikat)

Olosuhdemittauksia on tarpeenmukaista asentaa rakennukseen, jossa ilmanvaihdon käynti vaihtelee käytön mukaisesti. Nämä mittaukset eivät ohjaa RAU-järjestelmää, vaan toimivat itsenäisesti ja mittaustulokset kerätään palvelutuottajan järjestelmään. Lämpötila-, kosteus- ja CO₂-yhdistelmä antureita on hyvä sijoittaa kunkin IV-koneen palvelualueelle vähintään 1 kpl. Esimerkiksi viiden IV-koneen rakennuksessa yhdistelmäantureita asennetaan 5 kpl jne. Lisäksi mikäli kohde on toteutettu isommilla IV-koneilla, jotka palvelevat useampaa palvelualueita, niin mittauksia voidaan toteuttaa 1 kpl / 500m² mitoitusperiaatteella.

Ulkovaipan yli mitattavan paine-eron mittaukseen on hyvä sijoittaa myös vähintään 1 kpl antureita yhtä IV-konetta kohti. Lisäksi mikäli kohde on toteutettu isommilla IV-koneilla, jotka palvelevat useampaa palvelualueita, niin mittauksia voidaan toteuttaa 1 kpl / 500m² mitoitusperiaatteella. Sisäilman lämpötilojen ja suhteellisten kosteuksien sekä paine-erojen seuranta on tärkeää, jotta varmistutaan ilmanvaihdon käyntiaikojen aiheuttamista olosuhteista. Näiden mittausten olosuhdeseurantaan on hyvä valita oma palveluntuottaja, joka kerää tiedot rakennusten antureista ja kokoaa ne omaan järjestelmään seurantaan varten. Järjestelmässä olisi hyvä olla sallitut vaihteluvälit esim. kosteudelle tai paineeroille, joten niiden poikkeavuus aiheuttaisi ns. hälytyksen. Poikkeamat olisi hyvä raportoida.

toida Toimitilahallinnolle tai muulle ylläpito-organisaatiolle, jotta korjaustoimenpiteitä voitaisiin tehdä heti. Se, että olisiko olosuhdejärjestelmälle hyvä olla jokin kuukausiraportti, missä mahdolliset poikkeamat tai muut muutokset näkyvät jää myöhempään arviointiin.

Olosuhdemittauksien asennukset suoritetaan yhdessä olosuhdeseuranta palvelutoimitajan ja talokunnossapidon kanssa. Toimitus- ja asennusrajoista sovitaan tapauskohtaisesti sekä antureiden hankinta olisi hyvä olla toimitilahallinnolla. Näin voidaan valita antureiden valmistajat ja ominaisuudet, jotka sitten olosuhdeseuranta palvelutoimitajan on yhteen sovitettava heidän järjestelmän kanssa. Lisäksi jatkossa mahdolliset TVOC- tai muut langattomien antureiden mittaustulosten keräys onnistuisi jatkossa samaan järjestelmään. Kyseessä voi olla esim. yksittäisen huonetilan olosuhteiden seuranta sisäilmasiantuntijan toimesta.

7. Käyttäjien ja kiinteistöhoidon lisäkoulutus

Kiinteistön käyttöajanulkopuolinen käyttö voi vaatia lisäkoulutusta tilojen käyttäjille tai kiinteistöhoidolle. Mikäli käytetään lisäaikakytkimiä, niin erityisesti iltakäyttäjän on oltava tietoinen kytkimestä, mistä ilmanvaihdolle annetaan lisää aikaa käydä. Lisäksi koulutustarvetta voi olla pääkäyttäjän eli koulun tai päiväkodin puolella, mikäli tiloja käytetään satunnaisesti normaalin käyttöajan jälkeen. Kiinteistöhoidolle tai puhtauspalveluille on myös ohjeistettava pitämään siivouksen aikana ilmanvaihto mitoitusilmavirralla tai vaihtoehtoisesti ilmoittamaan siivoustarpeista ja aikatauluista kiinteistövalvomoon.

Myös ilmanvaihto koneiden palvelualueiden ja niitä mittaavien olosuhdeseurannan antureiden paikat on ohjeistettava kiinteistöhoidolle ja niiden toiminta ja kiinnityspaikka on varmistettava säännöllisesti. Myös kiinteistöhoidolla pitää olla mahdollisuus liittyä rakennukseen liitettyyn olosuhdeseurantajärjestelmään tai sen raportointiin. Olosuhdeseurannan perusteella todettuihin poikkeamiin on reagoitava pikaisesti. Lisäksi IV-koneiden käyntiajoilla voi olla vaikutusta IV-suodattimien vaihtoväleihin tai vaihtoajankohtiin. Normaalisti Kotkan kaupungin kiinteistöissä IV-suodattimet vaihdetaan 2 kertaa vuodessa, mutta jatkossa kun IV-koneet käyvät noin 40% verrattuna lähtötilanteeseen, niin vaihtoväli tai ajankohta voi muuttua.

8. IV-käyntiaikojen käyttöönotto ja olosuhdeseuranta

Kun edelliset kohdat on toteutettu, voidaan IV-koneiden käynti käyttöaikojen mukaan aloittaa. Tämän yhteydessä vielä testataan IV-järjestelmän toimintaa sekä samalla seurataan olosuhdemittauksista varsinkin ulkovaipan yli mittaavien paine-eromittausten toimintaa ja arvoja. Näiden perusteella voidaan vielä ilmavirtoja tasapainottaa tai selvittää mahdollisten käyntiin jäävien kohdepoistojen aiheuttamat paine-eron heilahtelut. Lisäksi olisi hyvä ensimmäisinä käyttöönottoviikkoina tarkkailla IV-koneen käynnistymisten ja pysähdysten vaikutuksia paikan päällä ja seurata olosuhteita aktiivisesti.

Olosuhdeseuranta otetaan myös viimeistään tässä yhteydessä käyttöön palvelutoimittajan kanssa. Palvelutoimittaja antaa järjestelmään käyttökoulutuksen toimitilahallinnon määrittelemille osapuolille ja antaa ohjeet olosuhdeseurannan raportoinnista ja mahdollisten olosuhdepoikkeamien vaatimista jatkotoimenpiteistä. Olosuhdeseurannasta on hyvä laatia erillinen ohjeistus, miten vastuut jakautuu kullekin osapuolelle. Lisäksi olosuhdeseurannan olisi hyvä olla pitkälle automatisoitu palvelu, josta esimerkiksi ennakkoon määriteltyjen hälytysrajojen johdosta olosuhdepoikkeamat tulevat heti tietoon ja niihin voidaan reagoida nopeasti.

9. Energiatehokkuuden seuranta ja raportointi Motiva järjestelmiin

Energiatehokkuutta on myös tarpeenmukaista seurata IV-käyntiaikojen käyttöönoton jälkeen. Tällä hetkellä kulutustiedot kerätään sähkö- ja lämpöenergiayhtiöiden järjestelmistä viiveellä, mutta tulevaisuudessa kiinteistöjen huoltokirjaan on suunniteltu toteutettavaksi online-tietoon perustuvaa kulutusseurantaan. Vuosittain kaupungin rakennuksista raportoidaan Motivalle, jolla luovutetaan vuotuiset sähkö- ja lämpöenergian kulutustiedot sekä vedenkulutukset. Viimeistään vuoden päästä käyttöönotosta voidaan laskea kohteen käyntiaikojen vaikutukset sähkö- ja lämmitysenergian säästössä.

10. Lisäjärjestelmiin varautuminen tulevissa rakennuskohteissa

Tulevaisuudessa uusissa rakennuskohteissa tai peruskorjauksien suunnittelussa on hyvä varustautua olosuhdeseurannan ja CO₂-ohjauksen vaatimiin järjestelmiin tai kaape

lointeihin. Lisäksi varsinkin tilojen iltakäyttöä ajatellen on järkevää suunnitella IV-koneiden palvelualueet niin, että iltakäyttö on mahdollista ja muut käytön ulkopuoliset tilat voivat eivät vaadi ilmanvaihdon käynnistämistä. Lisäksi iltakäytön osalle on järkevää sijoittaa tarpeellinen määrä lisäaikakytkimiä, jotta käyttäjällä on mahdollisuus vaikuttaa käytössä olevien tilojen ilmanvaihdon tehoon.