



HUKKAVEKS – HUKKALÄMMÖN VERKOSTOT JA HYÖDYNTÄMISMAHDOLLISUUDET KYMENLAAKSSOSSA

Maunu Kuosa, Tuija Korpela, Paulus Kiviranta, Erja Tuliniemi,
Hannu Sarvelainen



Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu

Maunu Kuosa, Tuija Korpela, Paulus Kiviranta,
Erja Tuliniemi, Hannu Sarvelainen

HUKKAVEKS – HUKKALÄMMÖN VERKOSTOT JA HYÖDYNTÄMIS- MAHDOLLISUUDET KYMENLAAKSSOSSA



Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu



Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

KYMEN
LAAKSON
LIITTO

Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

XAMK KEHITTÄÄ 222

KAAKKOIS-SUOMEN AMMATTIKORKEAKOULU
MIKKELI 2023

© Tekijät ja Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu

Kannen kuva: Getty Image

Taitto ja paino: Grano Oy

ISBN: 978-952-344-540-6 (PDF)

ISSN: 2489-3102 (verkko)

julkaisut@xamk.fi

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	4
2	YLIJÄÄMÄLÄMMÖN LÄHTEET JA HYÖDYNTÄMINEN	5
3	TEOLLISUUDEN YLIJÄÄMÄLÄMPÖ	6
3.1	Teollisuuden ylijäämälämmön talteenottoteknologiat	6
3.2	Datakeskukset.....	7
3.3	Kotkamills Oy.....	8
4	ENERGIANTUOTANNON ENERGIAEHOJKUUSTARKASTELUT.....	9
4.1	KSS Energia kaukolämpöverkko.....	9
4.1.1	Viljavan kattilalaitos.....	9
4.1.2	Kaukolämmön tuotannon optimointi kulutusmuutoksien ja -ennusteiden mukaisesti.....	10
4.1.3	Kaukolämpöverkko lämmön varaajana	10
5	ASUINKERROSTALOJEN YLIJÄÄMÄLÄMPÖ.....	13
5.1	Lämpöhäviöiden muodostuminen rakennuksissa	13
5.2	Kymenlaakson asuinkerrostalojen ylijäämälämpöpotentiaali.....	13
6	ENERGIARATKAISUJA	18
6.1	Urheilupaikkojen integroidut lämmitysratkaisut.....	18
6.1.1	Arto Tolsa -areena ja Katariinan uimahalli	18
6.2	Jäähallin lauhde-energian hyödyntäminen.....	19
6.2.1	Karhulan jäähalli.....	19
6.3	Uimahallin lämmöntalteenoton parannus.....	21
6.3.1	Karhulan uimahalli	21
6.4	Hybridilämmitysjärjestelmän teknistaloudellinen tarkastelu	24
6.4.1	Harjun oppimiskeskus.....	24
7	ADSORPTIOJÄÄHDYTTINPILOTTI	26
7.1	Adsorptiojäähdyttimen kuormitusmittaukset.....	26
8	LÄMPÖVUOTOKUVAUKSET DRONELLA.....	29
9	JOHTOPÄÄTÖKSET	31
	LÄHTEET	33
	LIITTEET	36
	Liite 1. Hankkeessa tehdyt opinnäytetyöt ja opiskelijaprojektit.....	36

1 JOHDANTO

Hiilineutraalisuustavoitteiden myötä valtakunnallisella ja maakuntatasoilla on ollut tahtotila löytää ilmastonmuutosta hillitseviä vaihtoehtoja ja ratkaisuja. Kymenlaakson alueen yritykset ja kunnat ovat olleet kiinnostuneita ylijäämälämpöjen ja uusiutuvien energialähteiden hyödyntämismahdollisuuksista ja niihin liittyvistä uusista sovellutuksista. Ylijäämälämpöä voidaan ottaa talteen eri teknologioilla, jotka mahdollistavat arvokkaita energian lähteitä ja vähentävät energian kokonaiskulutusta, sillä hukkalämpöjen (termejä ylijäämälämpö ja hukkalämpö termejä on käytetty esityksessä synonyymeinä) suuruus erilaisista sivuvirroista voi olla merkittävä.

Tässä julkaisussa tuodaan tiivistäen esille Hukkaveks – Hukkalämmön verkostot ja hyödyntämismahdollisuudet Kymenlaaksossa -hankkeen aikana tehtyjä selvityksiä ja kokeiluja. Hankkeen tavoitteena on ollut edistää Kymenlaakson alueen vähähiilisyyttä ja energiatehokkuutta tehostamalla lämpöenergian hyötykäyttöä. Maakuntatason tarkastelukohteita on löytynyt laaja-alaisesti, kuten teollisuudesta, energiantuotannosta ja asuin- ja palvelurakennuksista, kuten kerrostalot ja urheilukeskukset (jalkapalloareena, jää- ja uimahalli), eräs oppimiskeskus sekä tänä päivänä vielä harvinaisia yksittäisiä teknologiakokeiluja, kuten adsorptiojäähdytin ja lämpövuotokuvaukset dronella. Hanke toteutettiin vuosina 2020–2022 Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun (Xamk) Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusalan alla ja hankkeen päärahoittajana toimi Kymenlaakson liiton koordinoimana Euroopan aluekehitysrahasto (EAKR). Lisäksi rahoittajina olivat Kotkan Energia, Haminan Energia, KSS Lämpö ja Kotkan kaupunki.

2 YLIJÄÄMÄLÄMMÖN LÄHTEET JA HYÖDYNTÄMINEN

Ylijäämälämmönlähteitä ovat esimerkiksi teollisuus (prosessit, datakeskukset), energian tuotanto (savukaasut, kaukolämmön paluuvirtaus), lämmönlähteet rakennuksissa (poistoilma, harmaa vesi), kylmälaitteet (kaupan kylmälaitteet, jäähallit) ja julkiset kohteet (jäteveden puhdistamot, parkkihallit). Hukkalämmön hyödyntämismahdollisuudet vaihtelevat paikallisesti sekä tapauskohtaisesti. EU-direktiivit jättävät asuinrakennukset sekä julkisen sektorin tilat mainitsematta potentiaalisina ylijäämälämmön lähteinä, mutta vaikka näitä ei direktiivien mukaisessa raportoinnissa voikaan ottaa huomioon, voidaan ne silti nähdä kansallisesti kaukolämmön potentiaalisina, järkevästi hyödynnettävinä lämmönlähteinä. (Rämä 2020.)

Ylijäämälämpöä tulisi hyödyntää mahdollisimman lähellä syntypaikkaansa, sillä mitä kauemmaksi lämpöä siirretään, sitä korkeampia ovat tyypillisesti investointikustannukset. Hyödyntämismahdollisuuksiin vaikuttavia tekijöitä ovat mm. lämpötilatasot, teho ja energia (pysyvyys, ajallinen vaihtelu), lämpövirran väliaine ja faasi sekä kysyntä. Hukkalämpöä voidaan hyödyntää esimerkiksi lämmönvaihtimen avulla laitoksen prosessiin tai kiinteistöissä lämmityksen tai jäähdytyksen tarpeisiin esimerkiksi lämpöpumpun tai adsorptiojäähdyttimen avulla. Ylijäämälämpöä voidaan myydä myös ulkopuolelle, esimerkiksi paikalliselle energiayhtiölle kaukolämpönä tai lähialueen yrityksille. Toisaalta sitä voidaan hyödyntää myös lähistölle perustettavaan uuteen yritystoimintaan, kuten biopolttoaineen kuivatukseen tai kasvihuoneisiin. Mikäli ylijäämälämmön hyödyntämiseksi ei ole lähialueen ratkaisua, lämmön kausivarastointi voi olla vaihtoehto.

Kaukolämpöverkossa ylijäämälämmön hyödyntäminen vaatii lämpöenergiaa, joka on saatavissa sopivassa paineessa ja lämpötilassa. Lämpöä voidaan siirtää kaukolämpöverkkoon suoraan lämmönvaihtimella menopuolelle, jolloin ylijäämälämmön lämpötilan on oltava vähintään noin 80 °C kesällä ja 100 °C talvella. Paluuputkeen siirrettävän ylijäämälämmön lämpötila on yleensä noin 40-60 °C vaikkakin kaukolämpöveden meno- ja paluulinjan välinen jäähtymä tulisi olla mahdollisimman suuri (Kuosa ym. 2019). Matalalämpöisten ylijäämälämpöjen hyödyntämiseksi käytetään lämpöpumppuja, jolloin jopa alle 10 °C ylijäämälämpöjä voidaan hyödyntää kaukolämmöntuotannossa. (Motiva Oy 2019.)

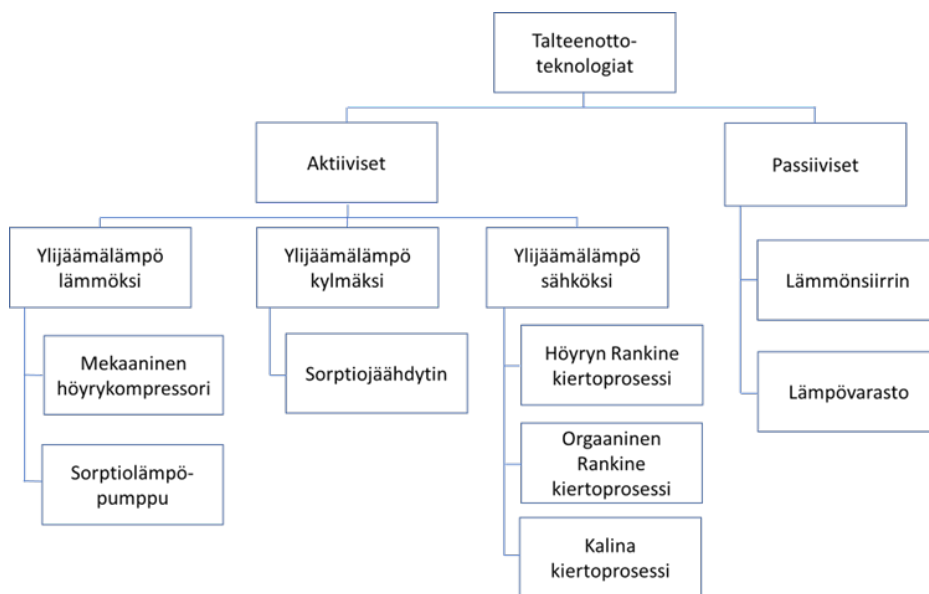
Ylijäämälämpöä voidaan käyttää lisäksi sähköntuotannossa. Tunnetuimpia tekniikoita ovat ORC-prosessi sekä Stirling-moottorit, jotka tuottavat mekaanista energiaa lämpötilaerojen avulla. Orgaanisten kiertoaineiden käyttöön perustuvilla ORC-prosesseilla (Organic Rankine Cycle) on mahdollista tuottaa sähköä sellaisista lämpövirroista, joiden hyödyntäminen perinteisillä voimaprosesseilla on teknisesti haastavaa. ORC-teknologia mahdollistaa myös erittäin pienitehoisten voimalaitosprosessien toteutuksen esimerkiksi hajautettuun energiantuotantoon. (Hukkalämmöstä sähköä 2015.)

3 TEOLLISUUDEN YLIJÄÄMÄLÄMPÖ

3.1 TEOLLISUUDEN YLIJÄÄMÄLÄMMÖN TALTEENOTTOTEKNOLOGIAT

Teollisuuden hukkalämpö on teollisissa prosesseissa syntyvää energiaa, jota ei ole otettu käyttöön ja joka hukataan ympäristöön. Ylijäämälämpöä voidaan ottaa talteen eri teknologioilla, jotka mahdollistavat arvokkaita energianlähteitä ja vähentävät energian kokonaiskulutusta. Lämpöhäviöt voidaan luokitella korkea- ($>400^{\circ}\text{C}$)^a, keski- ($100\text{--}400^{\circ}\text{C}$)^b ja matalalämpötilan ($<100^{\circ}\text{C}$)^c lämpöhäviöiksi (a: suorat palamisprosessit, b: polttoyksiköiden pakokaasut, c: lämpöä prosessiyksiköiden osista, tuotteista ja laitteista). Ylijäämälämmön lämpötilatasot ja talteenotto riippuvat teollisuuden alasta, jolloin eniten energiaa kuluttavilla sektoreilla (kuumemmat valmistusprosessit) ylijäämälämpö on suurinta. (Jouhara ym. 2018.)

Kuvassa 1 esitetään kaaviomuodossa teollisuuden ylijäämälämmön aktiiviset ja passiiviset lämmön talteenottoteknologiat.



Kuva 1. Teollisuuden ylijäämälämmön talteenottoteknologiat (Kuva: Maunu Kuosa, kuva on mukailtu lähteestä Miró ym. 2016)

useimmissa perinteisissä ilmajäähdytteisissä datakeskuksissa. Joissakin jäähdytyskokoonpanoissa, erityisesti ”rear door” -jäähdytysteknikassa tulokset osoittivat kuitenkin taloudellista kannattavuutta noin 10 vuoden takaisinmaksuajalle.

3.3 KOTKAMILLS OY

Kotkamills Oy:n Kotkan tehtaat ovat Kotkansaarella sijaitseva tehdasintegraatti. Tehdas koostuu sahasta, sellutehtaasta, voimalaitoksesta, paperi- ja kartonkitehtaasta, kierrätyskuitulaitoksesta, kemikuumahierrelaitoksesta sekä jätevedenpuhdistamosta. Lisäksi tehdasalueella toimii Dongwha Finland Oy:n impregnointitehdas, joka jatkojalostaa Kotkamillsin paperikoneen tuottamaa paperia.

Ylijäämälämpöjä muodostuu Kotkamillsin prosessien eri vaiheissa. Tarkastelussa olivat lämpövirrat, jotka johdetaan jäähdytysvesijärjestelmän paluuputkeen. Nämä lämpövirtaamat koostuvat kolmesta päälähteestä, jotka ovat apulauhdutin, suljettu jäähdytysvesijärjestelmä ja 7-kattilan ylikaato. Apulauhduttimen tarkoituksena on tasata höyryverkon kuormitusta tehtaan äkillisissä muutostilanteissa. 7-kattila puolestaan toimii keruusäiliönä sellutehtaan eri osissa toimiville jäähdytysvesille.

Hukkalämpöjen hyödyntämiseksi esitettiin paluuputken patoamista lämpöakuksi, jolloin akun sisältämää lämpöenergiaa voisi nostaa lämpöpumpuilla ja syöttää edelleen kaukolämpöverkkoon. Tällä hetkellä paluuputki laskee mereen. Paluuputken patoamiseksi sen kaltevuutta pitäisi lisätä, jotta ajoittainen kovempi virtaus pääsee laskemaan läpi. Padottu paluuputki muodostaisi tilavuudeltaan 430 m³ lämpöakun, jonka sisältämä energiamäärä laskettiin työssä eri veden lämpötilan arvoilla. Padotun paluuputken sisältämä energiamäärä olisi keskimäärin 10 MWh.

Kotkamills Oy Kotkan tehtaat tuottavat huomattavia määriä ylijäämälämpöä. Johtuen tehtaan prosessien luonteesta, ylijäämälämpö on hankalasti hyödynnettävissä. Paluuputkea voidaan periaatteessa käyttää lämpöakkuna, josta ylijäämälämpöä voisi hyödyntää yhdessä lämpöpumppujen kanssa. Riittävän korkean lämpötilan ylläpitäminen lämpöakussa saattaa kuitenkin osoittautua ongelmalliseksi. Tämän vuoksi ylijäämälämpöjen hyödyntäminen ei kykene takaamaan jatkuvasti riittävää lämmön toimitusta alueen kaukolämpöverkkoon vaan varalämmönlähde tarvitaan.

4 ENERGIANTUOTANNON ENERGIATEHOKKUUS-TARKASTELUT

Energiateollisuuden osalta ylijäämälämpöjen hyödyntämisen potentiaali liittyy yhteistuotanto- ja kattilalaitosten savukaasujen lämmöntalteenottoon, kaukojäähdytykseen lämmönlähteenä sekä sähköasemien lämpöhäviöiden talteenottoon. Savukaasujen lämmöntalteenoton hukkalämmöillä tarkoitetaan sitä osaa, jonka hyödyntämiseen tarvitaan tai hyödyntämisen mahdollistaa erillinen lämpöpumppu. Yhteistuotantolaitoksen lämmöntuotanto ei sinänsä siis ole ylijäämälämpöä. Toisaalta korkean lämpötilatason (esim. metalliteollisuus) mahdollistama tulistetun höyryn tuotanto yhteistuotannon tarpeisiin luetaan hukkalämmön piiriin. Kaikkien näiden osalta pätee hukkalämmön yleismääritelmä kaukolämmityksessä tai -jäähdytyksessä hyödynnettävästä lämmöntuotannosta, jonka käyttöenergia syntyy väistämättä ja sivutuotteena. Kaukolämmön paluuvirtaus voi myös toimia lämpöpumpun lämmönlähteenä, mikäli halutaan parantaa kaukolämmön jäähdytystä. Sinänsä talteen otettu lämpö on poissa itse primäärisestä tuotantomuodosta (esim. yhteistuotantolaitos), mutta toisaalta voi mahdollistaa tehokkaamman lämmön talteenoton savukaasuista. (Rämä ym. 2020.)

4.1 KSS ENERGIA KAUKOLÄMPÖVERKKO

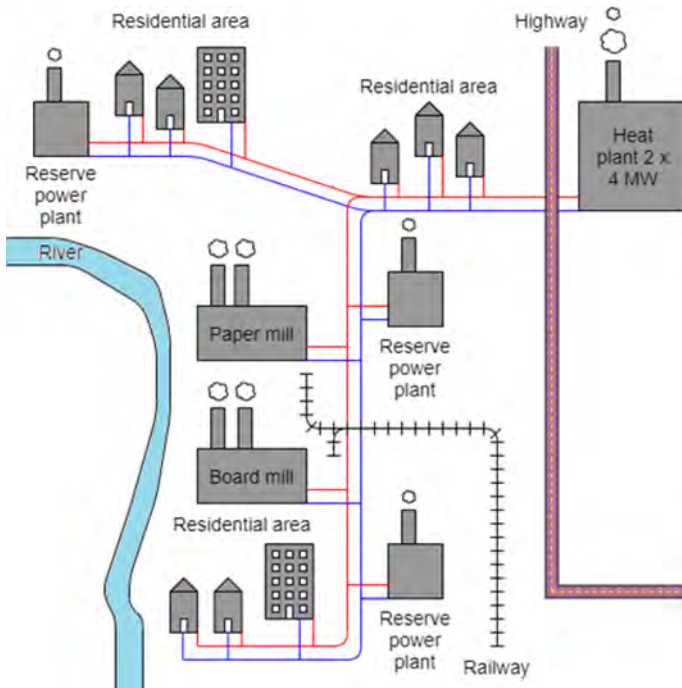
4.1.1 VILJAVAN KATTILALAITOS

Suomen Viljava Oy on Suomen suurin viljan ja agri-bulkraaka-aineiden käsittelyyn ja varastointiin erikoistunut yritys. Viljavan kattilalaitos hyödyntää isoista viljamääristä kertyvää viljapölyä ja tuottaa siitä lämpöä omaan kuivatustarpeeseensa ja pääosin KSS Lämmön asiakkaille toimitettavaksi. Kesällä 2016 käynnistynyt laitos kattaa Korian alueen kaukolämpötarpeesta noin 90 prosenttia.

Kattilalaitosta tarkasteltiin toiminnan tehokkuuden parantamiseksi. Mittauksilla selvitetiin kattilan nykyisiä palamisilma- ja savukaasumääriä. Selvityksen perusteella voidaan tehdä säätötoimia palamisilma- ja savukaasupuhaltimien toimintaa optimoimalla. Tämä mahdollistaa kattilan hyötysuhteen paranemisen ja vähentää polttoaineen kulutusta – tai mahdollistaa kaukolämmön tuotannon lisäämisen. Lisäksi selvittiin laitoksen käyttämän polttoaineen vaikutusta kattilan toimintaan. Kehitysideaksi nousi myös hienojakoisen viljapölyn laadun parantaminen esimerkiksi briketöimällä, mikä vähentäisi pussisuodattimien huollon tarvetta. (Opiskelijat mukana energiatehokkuustoiminnassa 2021.)

4.1.2 KAUKOLÄMMÖN TUOTANNON OPTIMOINTI KULUTUSMUUTOKSIEN JA -ENNUSTEIDEN MUKAISESTI

Anjalankosken alueella on yhdistetty kolme erillistä kaukolämpöverkkoa yhdeksi kokonaisuudeksi. Uusien kaukolämpölinjojen lisäksi on rakennettu lämpölaite, jossa on kaksi puupohjaisia kierrätyspolttoainetta käyttävää lämmityskattilaa. Niillä on korvattu vuoden 2021 alusta lähtien maakaasupohjaista lämmöntuotantoa. Kuvassa 3 esitetään periaatekuva lämpölaitoksesta (2x4 MW) ja alueen kaukolämpöverkosta lämmityskohteineen.



Kuva 3. Anjalankosken lämpölaite ja kaukolämpöverkko lämmityskohteineen. (Kuva: Paulus Kiviranta)

Kaukolämpöverkkokokonaisuuteen liittyen selvitettiin kaukolämpöverkon lataamisella saavutettavia hyötyjä varatehon käytön vähentämisessä ja lämmöntarpeen päiväkohtaisten kulutushuippujen tasoittamisessa säännustetta hyödyntäen.

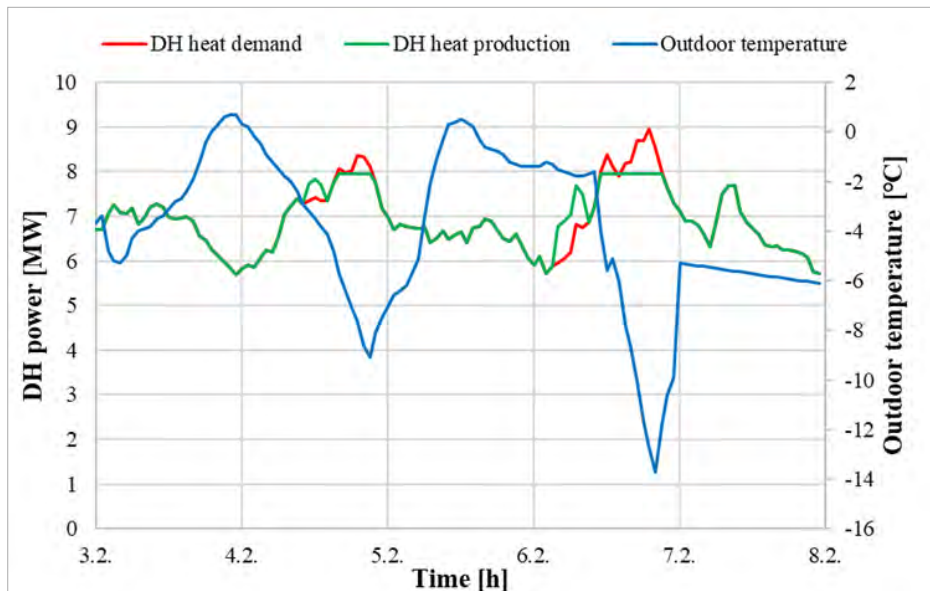
4.1.3 KAUKOLÄMPÖVERKKO LÄMMÖN VARAAJANA

Kaukolämpöverkko itsessään varastoi energiaa. Lämmöntuotannon ja -kulutuksen ei tarvitse olla jatkuvasti täysin tasapainossa. Kaukolämpöverkon varaamaa energiamäärää voidaan kasvattaa lataamalla kaukolämpöverkkoa.

Latauksessa menoveden lämpötilaa nostetaan normaalia ajotilannetta suuremmaksi, jolloin veden virtausnopeus hidastuu kaukolämpöverkossa. Latauksen sisältämä energiamäärä riippuu kaukolämpöverkon tilavuudesta ja latauksen aikaisesta lämpötilan korotuksesta.

Säästöpotentiaali voidaan hyödyntää, kun kaukolämpöverkkoa ladataan oikein sääennusteiden ja kokemuksen kerryttämän tietoisuuden perusteella. Säästöpotentiaalın suuruus riippuu kaukolämpöverkon varauskyvystä sekä vuotuisesta latauskertojen määrästä, johon vaikuttaa tarvittava varatehon määrä. Lataamisella voidaan vähentää kalliimman varatehon käyttöä ja näin säästää lämmöntuotannon kustannuksissa. Lisäksi varatehon käytön vähentäminen pienentää hiilidioksidipäästöjä, jos varateho tuotetaan fossiililla polttoaineilla. (Kuosa ym. 2022.)

Esimerkki säästöpotentiaalın muodostumisesta ja sen hyödyntämisestä esitetään kuvassa 4. Varatehon käytön mahdollinen säästöpotentiaali, joka olisi voitu saavuttaa vuosina 2018–2020 Anjalankosken alueen kaukolämpöverkossa on esitetty taulukossa 1.



Kuva 4. Tutkitun kaukolämpöverkon lämmitysteho ajan funktiona 3.-7.2.2019 ja kulu-tushuippujen tasaus hyödyntämällä verkon varastointimahdollisuutta. (Kuva: Paulus Kiviranta)

Vihreä viiva kuvassa 4 edustaa ylimääräistä energiaa, joka tuodaan kaukolämpöverkkoon lataamalla sitä etukäteen. Tätä ylimääräistä lämpöä otetaan käyttöön myöhemmin huippukulutuksen aikana, yli 8 MW tehontarpeen aikana. Vihreän ja punaisen viivan väliin muodostuvat alueet ovat yhtä suuria. Kun vihreä viiva on punaisen viivan yläpuolella, kaukolämpöverkko latautuu, ja kun vihreä viiva on punaisen alapuolella, ladattua lämpö-

energiaa puretaan kaukolämpöverkosta, jolloin kulutus huippuja tasoitetaan.

Taulukko 1. Varatehon säästöpotentiaali vuosina 2018–2020

Vuosi	Kaukolämmön kokonaistuotanto [MWh]	Kaukolämmön tuotanto varateholla [MWh]	Säästöpotentiaali varatehosta [MWh]
2018	39 501,8	1 526,3	120,7
2019	36 169,5	336,3	53,8
2020	34 590,8	10,4	10,4

Varavoiman ja sen polttoainekustannusten säästöpotentiaali tarkastellun kaukolämpöverkon mahdollisesta lataamisesta vuosina 2018–2020 laskettiin aiempien vuosien todellisten lämmöntuotantotietojen ja ulkolämpötilojen perusteella (taulukko 1). Varavoiman säästöpotentiaali kyseisille vuosille olisi yhteensä 185 MWh lämpöenergiana ja 9260 € sen kustannuksina. Hiilidioksidipäästöjen vähenemä olisi 40 tCO₂ johtuen tutkitun lämmitysverkon lataamisesta uusiutuvalla polttoaineella tuotetulla lämpövoimalla.

Tämän selvityksen tulokset voivat osoittautua hyödyllisiksi tulevaisuuden ympäristöystävällisissä kaukolämmitysjärjestelmissä johtaen säästöihin lämmöntuotantokustannuksissa ja CO₂-päästöissä.

5 ASUINKERROSTALOJEN YLIJÄÄMÄLÄMPÖ

5.1 LÄMPÖHÄVIÖIDEN MUODOSTUMINEN RAKENNUKSISSA

Suomessa rakennuskanta on suhteellisen ikääntynyttä: noin 60 % taloyhtiöiden kerrostaloista on rakennettu ennen 1980-lukua. Kerrostaloyhtiöissä käytetään valtavasti energiaa, josta suurin osa kuluu asuintilojen lämmitykseen. Ominaislämmönkulutuksia eri vuosikymmeninä esitetään taulukossa 2.

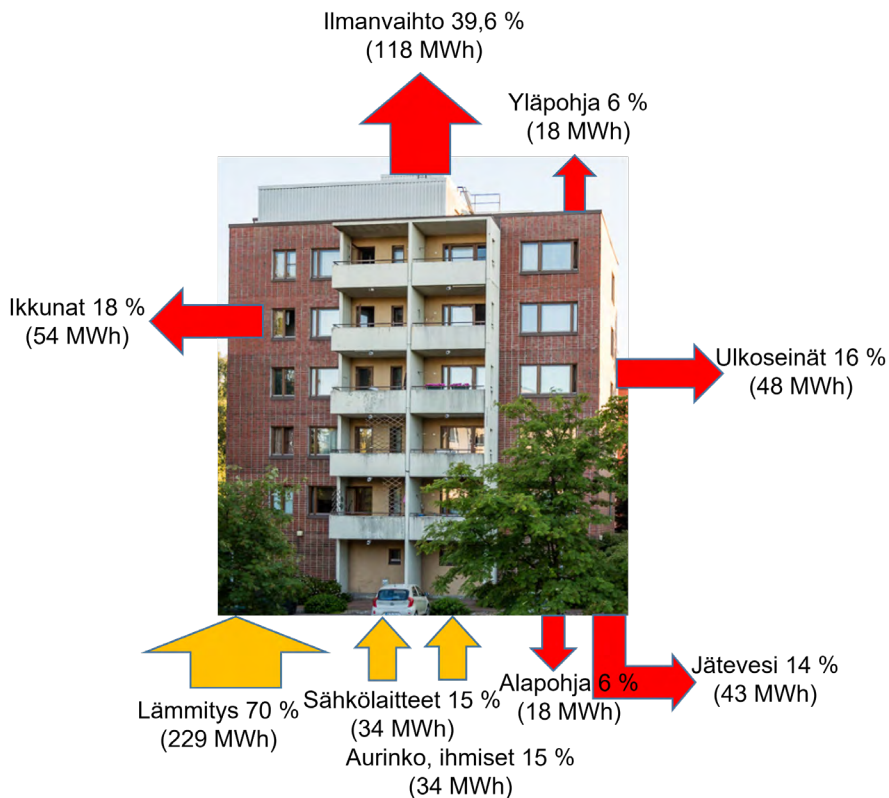
Taulukko 2. Asuinkerrostalojen ominaislämmönkulutukset ja kaukolämmön kulutukset eri vuosikymmeninä (Rämä ym. 2015)

Rakennusaika	Kerrosala [1000 m ²]	Ominaiskulutus [kWh/m ²]	Kaukolämmön kulutus [GWh]
1960–1969	12 355	200	2 471
1970–1979	18 584	170	3 159
1980–1989	8 781	120	1 054

Ominaislämmönkulutuksista huomataan, että ikääntyneet rakennukset kuluttavat lisäksi selkeästi enemmän lämpöenergiaa kuin uudemmat rakennukset. Lämmönlähteiksi rakennuksissa luetaan poistoilman lämmöntalteenotto, harmaa vesi ja kiinteistökohtaisen jäähdytyksen lauhdelämpö. Seuraavissa laskelmissa on tuotu esiin koneellisen poistoilmanvaihdon kautta hukkaan menevä lämpö ja sen talteenottopotentiaali Kotkan ja Kouvolan asuinkerrostaloissa.

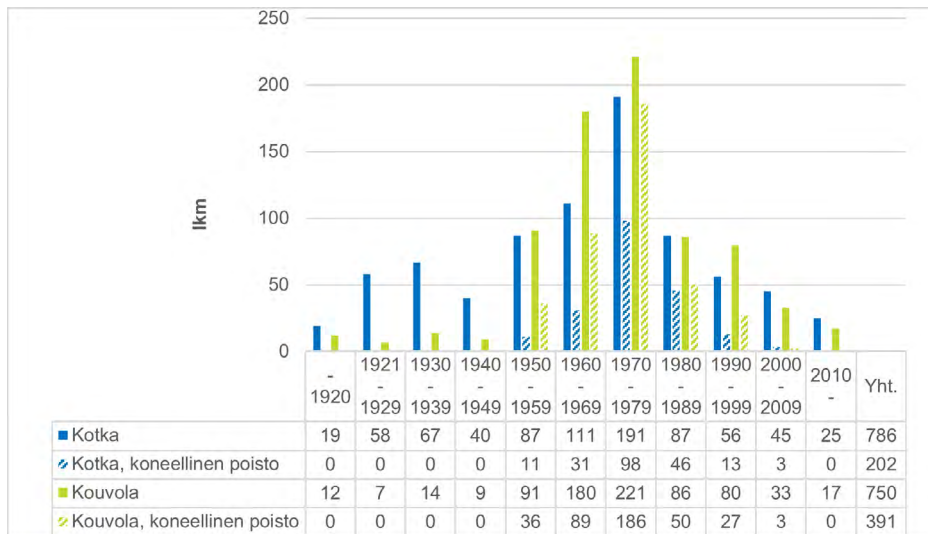
5.2 KYMENLAAKSON ASUINKERROSTALOJEN YLIJÄÄMÄLÄMPÖPOTENTIAALI

Hankkeessa kartoitettiin tarkasteluun todellisia kohteita, joita olivat asuinkerrostalot eri vuosikymmeniltä. Ensin laskettiin talojen lämpöenergiatase. Rakennukseen tulevat ja sieltä poistuvat lämpövirrat (lämpöhäviöt) määritettiin. Kuvassa 5 on esitetty eräs 1980-luvun asuinkerrostalo Kotkan alueelta, jonka lämpöenergiatase on laskettu osittain vuoden 2019 säätietoihin perustuvilla lukemilla (ilmavirrat, lämmönkulutus ja käyttöveden kulutus).



Kuva 5. Asuinkerrostalo Kotkassa ja sen lämpöenergiatase. (Kuva: Tuija Korpela)

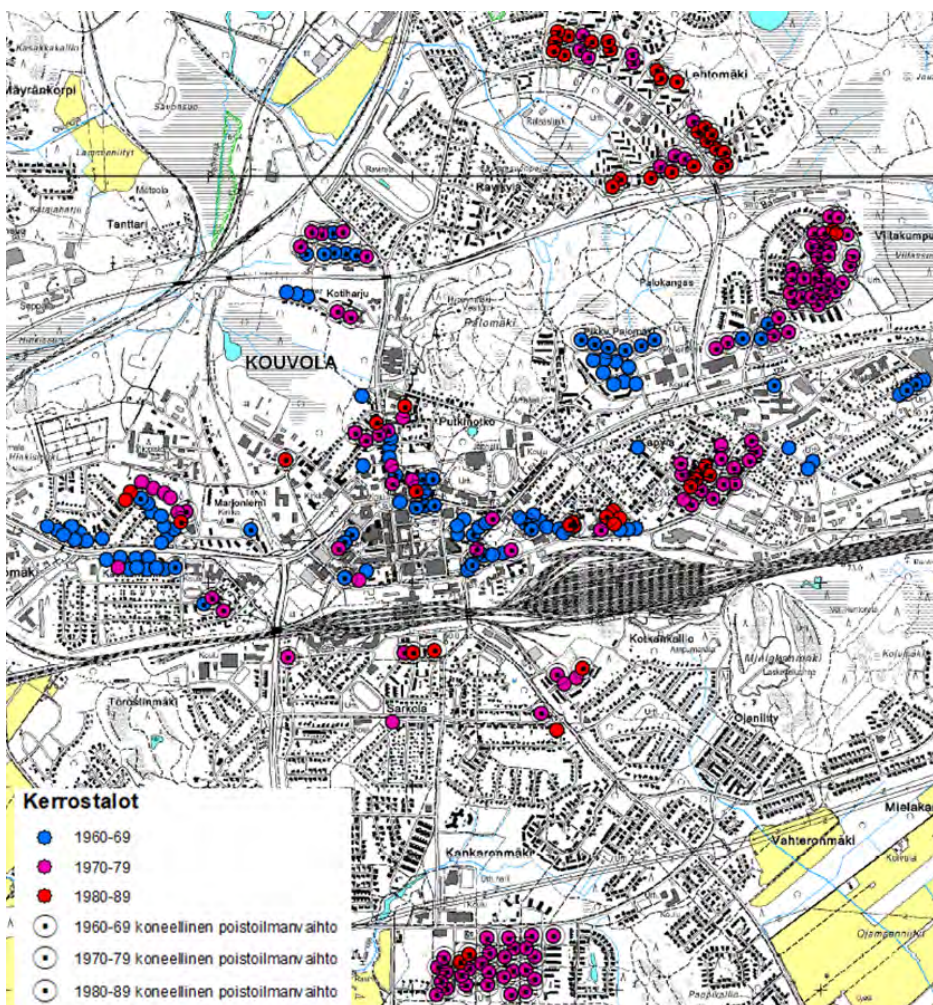
Lämpöenergiataseesta nähdään, että selkeästi suurin osa lämpöhäviöistä tällaisessa rakennuksessa tapahtuu ilmanvaihdon poistoilman kautta. Esimerkiksi kuvan 5 rakennuksessa lähes 40 % on ilmanvaihdon poistoilman lämpöhäviöitä. Seuraavaksi kartoitettiin Kymenlaakson asuinkerrostalokanta Kotkan ja Kouvolan kaupunkien rakennusvalvonnan kautta (kuva 6).



Kuva 6. Kotkan ja Kouvolan asuinkestoalokanta eri vuosikymmeninä ja kerrostalot, joissa on koneellinen poisto. (Kuva: Tuija Korpela)

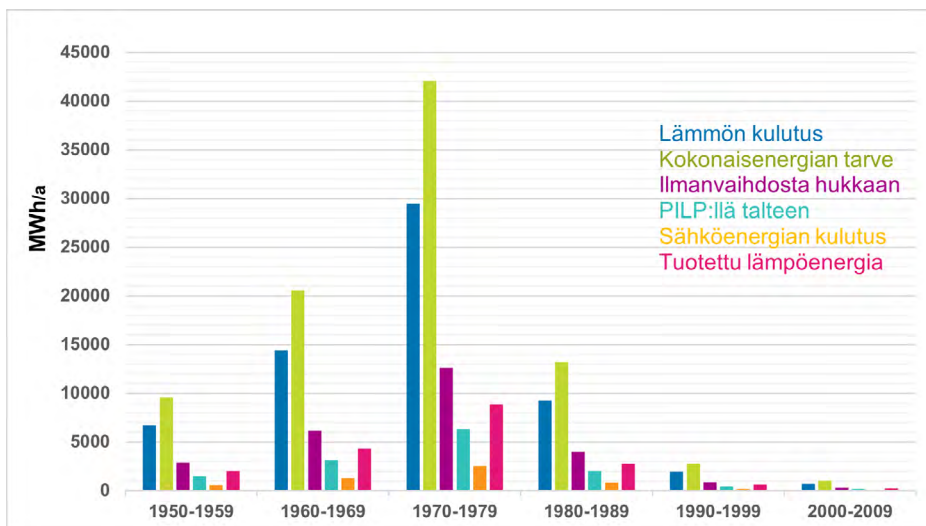
Asuinkestoalokannasta pääteltiin potentiaaliset kerrostalot, joissa voitaisiin hyödyntää ilmanvaihdon kautta hukkaan menevä lämpö. Suurin potentiaali on 1960–80-luvun kerrostaloissa, joissa ilmanvaihtona on koneellinen poisto. Kotkassa kerrostalokanta painottuu enemmän ennen 1960-lukua rakennettuihin (Kotkassa noin 270, Kouvolassa noin 130), kun taas Kouvolan rakennuskanta painottuu 1960–70-luvuille (Kotkassa noin 300, Kouvolassa noin 400). Vaikka sekä Kotkan että Kouvolan kaupungeissa on melko samankokoinen kerrostalokanta, yhteensä noin 750 kerrostaloa, sijoittuu Kouvolaan lähes puolta enemmän 1960–70-lukujen asuinkestoaloja, jotka on varustettu koneellisella poistoilmanvaihdolla.

Kouvolan keskusta-alueen kerrostalot 1960–80-luvuilta (väritetyt ympyrät), sekä erikseen merkittynä talot, joissa on koneellinen poistoilmanvaihto (pisteet ympyröiden sisällä), on havainnollistettu karttakuvassa 7. Koneellisen poistoilmanvaihdon kerrostalot sijaitsevat useasti lähellä toisiaan.

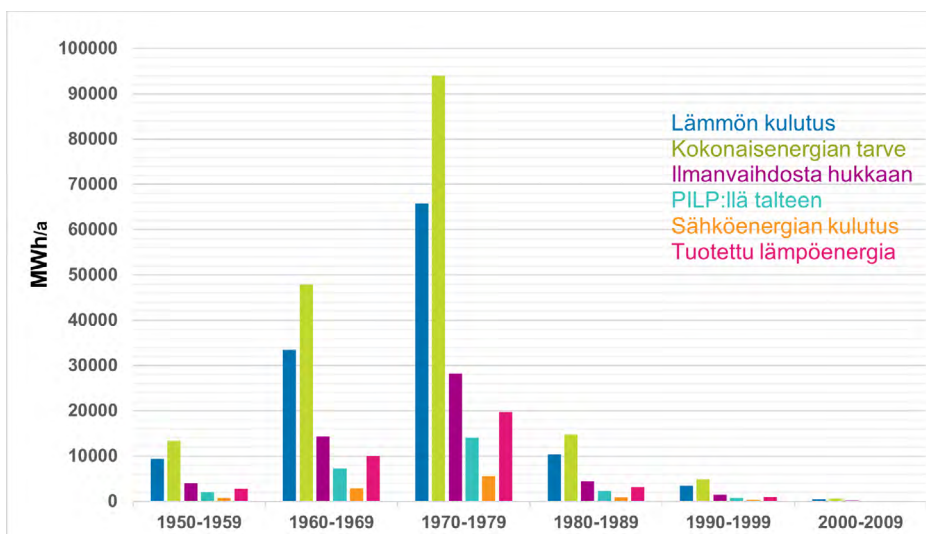


Kuva 7. Karttakuvassa Kouvolan keskusta-alueen kerrostalot 60–80-luvuilta, sekä erikseen merkittynä kerrostalot, joissa on koneellinen poistoilmanvaihto. (Kuva: Tuija Korpela)

Poistoilmalämpöpumpulla (PILP) voidaan ottaa lämpöenergiaa talteen ilmanvaihdon poistoilmasta ja siirtää sitä lämpimän käyttöveden lämmitykseen tai vesikiertoiseen lämmitysjärjestelmään. Selvityksessä laskettiin PILP:in lämmön talteenotto- ja tuotantopotentialit (PILP:llä talteen otettu ja tuotettu lämmitysenergia) ja kokonaissästöt Kotkan ja Kouvolan soveltuvissa kohteissa. Kuvassa 8 esitetään eri vuosikymmeninä rakennettujen Kotkan ja kuvassa 9 Kouvolan kerrostalojen koneellisen poistoilmanvaihdon vuotuiset ylijäämälämpömäärät ja niiden hyödynnettävyys. Kuvissa 8 ja 9 on kuvattu sinisillä pylväillä rakennusten lämmönkulutus ja vihreillä kokonaisenergian tarve, johon sisältyvät myös sähkölaitteista, auringosta ja ihmisistä vapautuvat lämpöenergiat. Violetit pylväät kuvaavat ilmanvaihdosta hukkaan menevää energiaa ja vaalean siniset siitä PILP:llä talteen otettua lämpöä. PILP:n sähköenergian kulutusta esittävät oranssit pylväät. (Korpela ym. 2022.)



Kuva 8. Eri vuosikymmeninä rakennettujen Kotkan kerrostalojen koneellisen poistoilmavaihdon vuotuiset ylijäämälämpömäärät ja niiden hyödynnettävyys. (Kuva: Tuija Korpela)



Kuva 9. Eri vuosikymmeninä rakennettujen Kouvolan kerrostalojen koneellisen poistoilmavaihdon vuotuiset ylijäämälämpömäärät ja niiden hyödynnettävyys. (Kuva: Tuija Korpela)

Jos tarkastellun rakennuskannan vuotuinen ylijäämälämmön potentiaali voitaisiin hyödyntää PILP:llä (vaalean siniset pylväät), se tarkoittaisi eri vuosikymmenillä rakennettujen kerrostalojen poistoilmasta PILP:llä tuotettavuutuista lämpöenergiaa Kotkassa yhteensä 18,7 GWh/a ja Kouvolassa 36,8 GWh/a (punaiset pylväät kuvissa 8 ja 9). Laskennallinen vuotuinen hiilidioksidipäästöjen vähennys olisi Kotkassa noin 590 tCO₂ ja Kouvolassa 944 tCO₂. Lopuksi Kotkan kerrostalokannasta valittiin sopivia rakennuksia, joihin PILP voisi soveltua. Laskennalliset takaisinmaksuajat PILP-investoinnille vaihtelivat 7–13 vuoden välillä.

6 ENERGIARATKAISUJA

6.1 URHEILUPAIKKOJEN INTEGROIDUT LÄMMITYSRATKAISUT

6.1.1 ARTO TOLSA -AREENA JA KATARIINAN UIMAHALLI

Arto Tolsa -areena on Kotkan Katariinan kaupunginosassa sijaitseva jalkapallostadion, joka on rakennettu vuoden 1952 olympialaisia varten (kuva 10). Uimala Katariina on vieressä sijaitseva uimahalli (valmistunut 1970), jonka yhteydessä on myös maauimala (avattu 1955). Hankkeessa tarkasteltiin tilannetta, jossa uimahallin kaukolämmön paluupuolen sisältämää lämpöenergiaa hyödynnettäisiin jalkapallostadionin nurmen sulana pidossa talvisin, jolloin suoran kaukolämmön tarvetta on mahdollista vähentää. Lisäksi alueelle on mahdollisesti rakenteilla ulkotekojää, jonka kylmäkoneiston tuottama lauhde-energia oli tarkastelussa mukana.



Kuva 10. Arto Tolsa –areena (Kotkan kaupungin kuvapankki s.a.)

Uimahalli ja jalkapallostadion sijaitsevat aivan vierekkäin, ja kohteilla on suurelta osin samat tekniset tilat. Kaukolämmön kulutus Katariinan uimahallissa on melko tasaista läpi vuoden, kun kaukolämmön paluuveden lämpötila on tasaisesti noin 40°C. Arto Tolsa jalkapallostadionin nurmea pidetään sulana talven harjoituskauden ajan, tällä hetkellä suoralla kaukolämmöllä. Kenttää pidetään sulana erillisellä glykoliseos-kierrolla, jossa kaukolämpövesi jäähtyy noin 10°C:een.

Pienillä muutostöillä on mahdollista hyödyntää uimahallin kaukolämmön paluupuolen sisältämää lämpöenergiaa jalkapallostadionin kentän nurmen sulanapidossa. Uimahallin kaukolämmön paluuvirtausta hyödyntämällä Arto Tolsa areenan suoran kaukolämmön tarvetta voidaan vähentää tyypillisellä vuositasolla noin 38 %. Uusi kytkentä vaatii uuden lämmönjakopaketin asennuksen lisäksi putkitöitä.

Kaukolämpöveden paremmasta jäähtymästä hyöttyy myös energiayhtiö. Paluuvirtauksen parempi jäähtymä pienentää kaukolämpöverkon siirtohäviöitä (lämpö- ja pumppaushäviöitä), parantaa sähköntuotannon hyötysuhdetta yhdistetyssä sähkön- ja lämmöntuotannossa sekä parantaa voimalaitosten savukaasupesureiden toimintaa, kun savukaasuja voidaan jäähdyttää matalampaan lämpötilaan.

6.2 JÄÄHALLIN LAUHDE-ENERGIAN HYÖDYNTÄMINEN

6.2.1 KARHULAN JÄÄHALLI

Karhulan jäähalli sijaitsee Kotkan Rauhalan kaupunginosassa (kuva 11). Halli on valmistunut vuonna 2005 (Titaanit - HK Titaanit ry. s.a). Jäähallin vieressä sijaitsee myös harjoitushalli. Kohteessa käytetään lämmitykseen kaukolämpöä sekä jäänteon ja sen ylläpidon seurauksena syntyvää, kompressorin tuottamaa, lauhde-energiaa. Kylmäkoneiston tuottamalla lauhdeella katetaan 63 % kilpahallin lämmitystarpeesta, mutta loput lauhde-energiasta (58 %) jää tällä hetkellä hyödyntämättä. Hankkeessa seurattiin ylijäämäluhteen määrää ja tuloksia on hyödynnetty jäähallin läheisyyteen rakennettavan uudiskohteen lämmitysratkaisujen suunnittelussa.

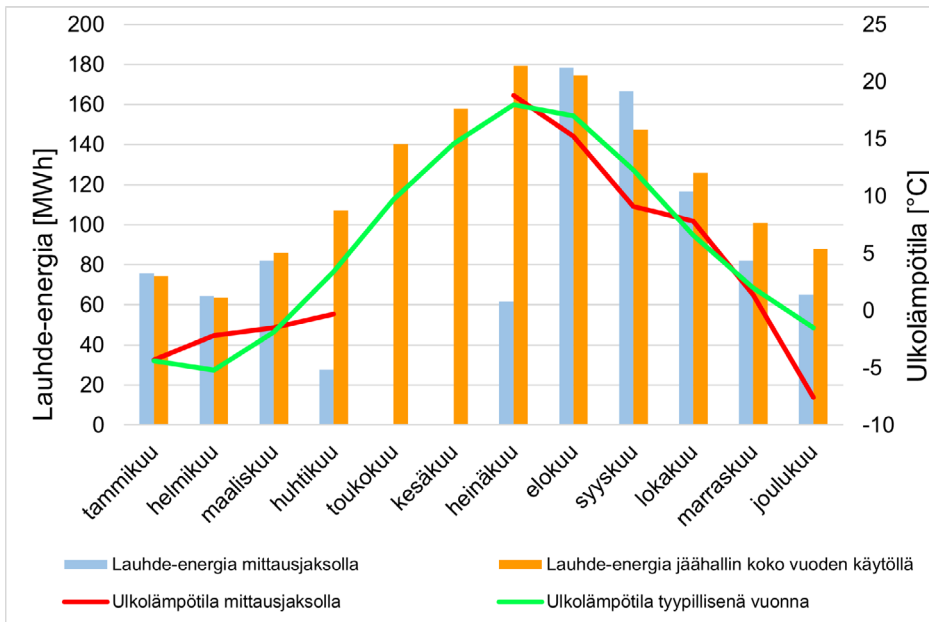


Kuva 11. Karhulan jäähalli (Kotkan kaupungin kuvapankki s.a.)

Hankkeen aikana selvitettiin Karhulan jäähallin lauhde-energian hyödyntämismahdollisuuksia. Ensimmäiseksi jäähalliin tehtiin energiakatselmus. Katselmuksessa keskityttiin kilpahalliin, sekä sen yhteydessä olevaan huoltorakennukseen. Selvityksessä huomattiin, että kohteesta oli haastavaa saada alkuarvoiksi sopivaa tietoa. Lisäksi käytettävissä oleviakin tietoja oli monesti tarkasteltava kriittisesti. (Kant & Kaipainen 2021.) Seuraavaksi tarkasteltiin Karhulan jäähallin energiatasetta ja tuotettua lauhde-energian määrää kuukausitasolla. Kuukausitason laajassa selvitystyössä huomioitiin Karhulan jäähallin lämpöhäviöt ja -kuormat, hallien lämmitys lauhdelämmöllä ja kaukolämmöllä. Jäähallit tuottavat lauhde-energiaa lähes koko vuoden. (Kaipainen 2021.)

Kylmäkoneiston tuottamaa lauhde-energiaa havaittiin syntyvän enemmän, kuin mitä jäähallin oma lämmöntarve on. Vuotuisesti jäähallin kylmäkoneiston tuottaman lauhde-energian määräksi saatiin koko vuoden aikaisella jäähallin käytöllä noin 1 450 MWh (kuva 12). Tämä vastaa keskimäärin noin 165 kW lauhdelämpötehoa. Kuvasta 12 on nähtävissä se, että aikaisemmassa selvityksessä lasketut (oranssin väriset pylväät) ja mitatut kuukausitason lauhdelämmön tuotot (vaalean sinisellä) ovat samansuuntaisia.

Kuvassa 12 on esitetty selvityksessä saadut lauhde-energian tuotantomäärät kuukausittain pystypalkkeina sekä vastaavat ulkolämpötilat viivakaaviona.



Kuva 12. Karhulan jäähallin laskettu ja mitattu kuukausittainen lauhde-energian tuotanto vuoden aikana. (Kuva: Paulus Kiviranta)

Kuvasta voidaan havaita, että lauhde-energian tuotanto riippuu ulkoilmanlämpötilasta. Kesäkuukausina lauhde-energiaa syntyy eniten, koska tällöin jään tekemiseen kuluu enemmän jäähdytyskoneen työtä, jolloin vastaavasti myös lauhde-energiaa syntyy eniten. Jäähalli pidetään kuitenkin kesäkautena kiinni, tyypillisesti noin huhtikuun puolesta välistä heinäkuun puoleen väliin. Tällöin jäätä ei tehdä eikä lauhde-energiaa myöskään synny.

Vuotuisten käyttökuukausien ylijäämäksi, lauhde-energian tuotannoksi, saatiin mitattua 912,16 MWh mittausjakson ollessa 22.07.2021–12.04.2022. Energiämääränä tämä on melko paljon, mutta samalla on myös huomioitava, että syntyvä lauhde on melko matalalämpöistä energiaa (noin 30 °C) ja näin vaikeammin hyödynnettävissä. Lauhteen lämpötilaa voidaan nostaa lämpöpumpun avulla tai sitä voidaan hyödyntää esimerkiksi lattialämmityspiirissä sellaisenaan ilman lämpöpumppua. Alhaisen lämpötilatason lisäksi on huomioitava energian siirtohäviöt jäähallilta uudiskohteeseen.

6.3 UIMAHALLIN LÄMMÖNTALTEENOTON PARANNUS

6.3.1 KARHULAN UIMAHALLI

Karhulan uimahalli on Kotkan Karhulan kaupunginosassa sijaitseva uimahalli. Uimahallirakennuksessa lämmöntuototapa on kaukolämpö. Kaukolämmön kulutuskohteita ovat allasvesi (kuva 13, kahdessa uima-altaassa), ilmanvaihtokoneiden tuloilma, lämmin käyttövesi sekä lattialämmitys (Heikkinen ym. 2020). Hankkeessa tutkittiin poistoilman ja lisälämmöntalteenottopatterin käyttöä hallin lämmitykseen yhdessä lämpöpumpputeknologian ja pilotoinnin avulla.



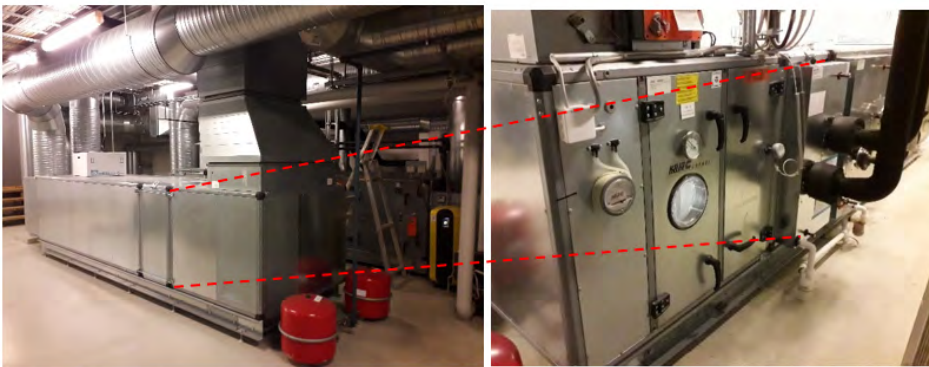
Kuva 13. Karhulan uimahalli (Kotkan kaupunki s.a.)

Uimahallit tuottavat paljon hyödynnettävissä olevaa ylijäämälämpöä. Yhteistyössä Xamkin ja Kotkan kaupungin kanssa tavoitteena oli parantaa uimahallin energiatehokkuutta lisäämällä pesu- ja pukuhuonetiloja palvelevaan poistoilmakoneeseen (kuva 14) poistoilman lisälämmöntalteenotto, sillä mittauksissa oli huomattu ulospuhallusilman olevan vielä lämmintä ja kosteuspietoista. Aluksi kaavailtiin, että liuosputket johdettaisiin LTO-patterista lämpöpumpulle uimahallin allasvesien lämmitykseen ja lämpöpumppu (LP) korvaisi osan uimahallin allasveden lämmitystarpeesta.



Kuva 14. Poistoilmakone PK3 ja mittaukset lämmöntalteenottopotentialin määrittämiseksi. (Kuva: Tuija Korpela)

Energiajärjestelmän osalta nousi esille kuitenkin uusi ratkaisu: talteen otettu ylijäämälämpö siirretään pelkän allaslämmityksen sijasta IV-verkoston lämmitykseen. Lämmitys toteutuisi rinnakkain kytketyn lämpöpumpun ja kaukolämmityksen kesken. Asennustyöt aloitettiin heinäkuussa 2021 ja käyttöönotto toteutui lokakuussa. Kuvassa 15 on poistoilmakone (PK3), johon asennettiin lisälämmöntalteenottopatteri (punainen katkoviiva osoittaa paikan).

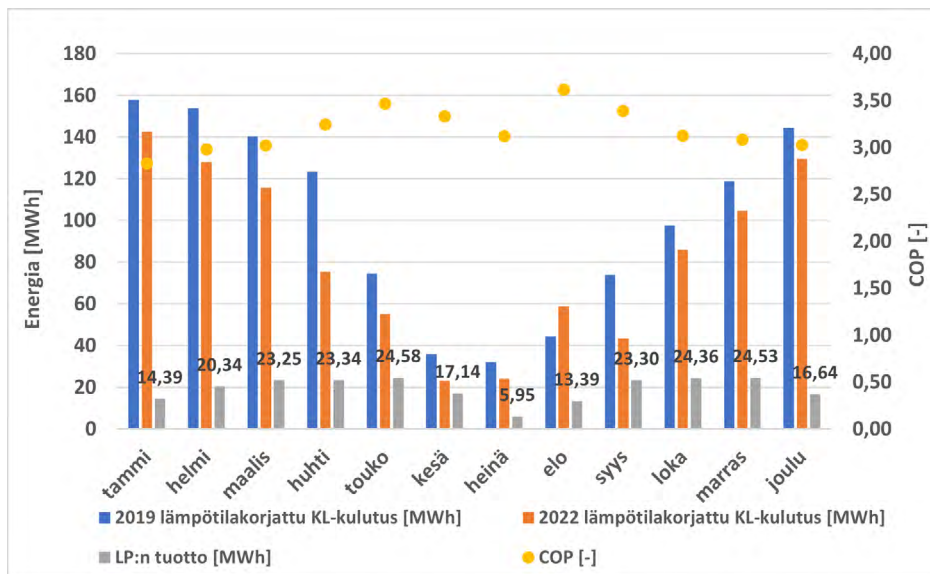


Kuva 15. Poistoilmakone PK3 ja asennettu lisälämmöntalteenottopatteri IV-koneen eri puolilta kuvattuna. (Kuva: Tuija Korpela)

Toteutetussa järjestelmässä talteen otettu ylijäämälämpö siirrettiin glykoli- /vesiliuoske-ruuputkiston ja lämpöpumpun (32 kW) avulla IV-verkoston lämmitykseen. Järjestelmän toimivuutta ja kannattavuutta seurattiin useiden energiamittareiden avulla.

Alussa LP:n toiminnassa oli vielä jonkin verran säädettävää ja käyntihäiriöitä, joita ratkottiin yhdessä Kotkan kaupungin kanssa. Pumpun pysähtymisiä havaittiin aluksi talvella -15 °C:n pakkasilla. Tähän oli tarkoitus hakea oikea säätö esimerkiksi LTO:n ohituksella tai pienellä lisälämmityksellä LTO:n jälkeen, jotta LP olisi toiminnassa mahdollisimman paljon silloin, kun lämmöntarve on suurin. Kesäajan säätö haettiin siten, että kaikki IV-verkon tarvitsema lämmitysteho katettiin pelkästään LP:lla niin kauan kuin lämmöntarvetta oli.

Kuvassa 16 esitetään vertailuvuoden 2019 ja vuoden 2022 lämpötilakorjatut kaukolämmön kulutukset (sininen ja oranssi palkki), lämpöpumpun tuottama lämpöenergia (harmaa palkki) sekä COP-arvo kuukausittain (keltaiset pisteet).



Kuva 16. Vertailuvuoden 2019 ja vuoden 2022 lämpötilakorjatut kaukolämmön kulutukset, lämpöpumpun tuottama lämpöenergia sekä COP-arvo kuukausittain. (Kuva: Tuija Korpela)

Lämpöpumppu on tuottanut 32–35 kW:n teholla keskimäärin 23 MWh/kk lämpöä hyödynnettäväksi IV-verkoston lämmitykseen. Vuonna 2022 toteutunut lämpöenergian tuotto oli 230 MWh. Sähkönkulutus oli 74 MWh COP arvon vaihdellessa välillä 2,8–3,6. COP-arvo kertoo, kuinka tehokkaasti lämpöpumpun kuluttama sähköenergia on muutettu lämpöenergiaksi. Kannattavuuden parantamiseksi säätöjen tekoa jatketaan. Rahallinen säästö oli noin 8000 € (alv 24). Arvioitu päästövähennys oli 30 tCO₂/a.

6.4 HYBRIDILÄMMITYSJÄRJESTELMÄN TEKNISTALOUDELLINEN TARKASTELU

6.4.1 HARJUN OPPIMISKESKUS

Kartanomaisemissa sijaitseva Harjun oppimiskeskus on yksityinen luonnonvara-alan oppilaitos Virolahdella (kuva 17). Koulutuksen lisäksi Harjun tarjontaan kuuluvat ravintolapalvelut, majoituspalvelut ja ohjelmapalvelut.

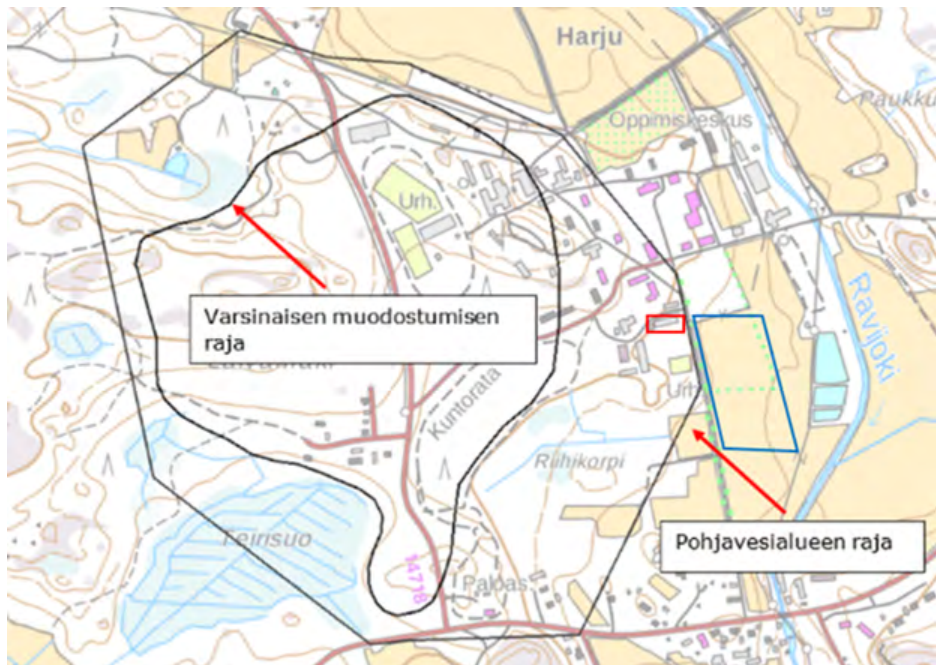


Kuva 17. Harjun oppimiskeskus (Harjun oppimiskeskus s.a)

Fossiilisia polttoaineita pyritään korvaamaan nykypäivänä uusiutuvilla energiamuodoilla. Tarkastelussa oli maalämmön soveltuvuus kohteena olevan alueen päälämmitysmuodoksi. Tarkasteltu kohde on pieni yhdistetyn sähkön- ja lämmöntuotantolaitos (CHP-laitos). CHP-laitos on kytketty aluelämmitysverkkoon (pieni kaukolämpöverkko), jota käytetään Harjun rakennusten tilojen sekä lämpimän käyttöveden lämmitykseen. Tällä hetkellä laitoksen polttoaineena käytetään maakaasua.

Teknistaloudellisen mitoituksen lähtökohtana oli kohteen lämmitysenergian tarve. Alustavien laskelmien perusteella oli mahdollista vertailla eri kokoisten lämpöpumppujärjestelmien avulla saavutettavia säästöjä. Maalämpöön perustuvan järjestelmän (maalämpöpumppu) mitoitus tehtiin pysyvyyssäyrää hyväksi käyttäen 20, 35, 50 % osatehoille. Selvityksestä oli nähtävissä, että siirtyminen fossiilisista polttoaineista uusiutuviin tuottaa merkittäviä päästövähennyksiä (56, 83 ja 97 %) tarkastelluilla osatehoilla, vaikka laitteisto olisi mitoi-

tettu vain osalle huipputehosta. Harjun oppimiskeskus sijaitsee osittain pohjavesialueella ja lämpökeskus sijoittuisi pohjavesialueen idänpuoleiseen reunaan (kuva 18). (Gröhn-Lampinen 2020.)



Kuva 18. Mahdollinen lämpökeskuksen ja lämmityskaivojen sijoitus Harjun oppimiskeskuksen läheisyyteen (punainen ja sininen suunnikas kartalla). (Gröhn-Lampinen 2020)

Aalto yliopistossa tehdystä tutkimuksesta käsiteltiin kaukolämmön ja maalämpöpumppujen sekä näiden yhdistelmien taloudellista toimivuutta Suomessa eri rakennustyypeittäin sekä tarkasteltiin kaukolämmön hinnoittelun joustavuuden lisäämisen vaikutuksia sen kilpailukykyyn. Tutkimuksen tarkastelussa tehtiin huomio, että kannattavin maalämpöjärjestelmä on sellainen, joka kattaa hieman yli kolmasosan tarvittavasta huipputehosta ja tällainen järjestelmä tuottaa parhaimmillaan yli 90 % vuotuisesta energiantarpeesta. (Kontu ym. 2020.)

7 ADSORPTIOJÄÄHDYTTIN-PILOTTI

7.1 ADSORPTIOJÄÄHDYTTIMEN KUORMITUSMITTAUKSET

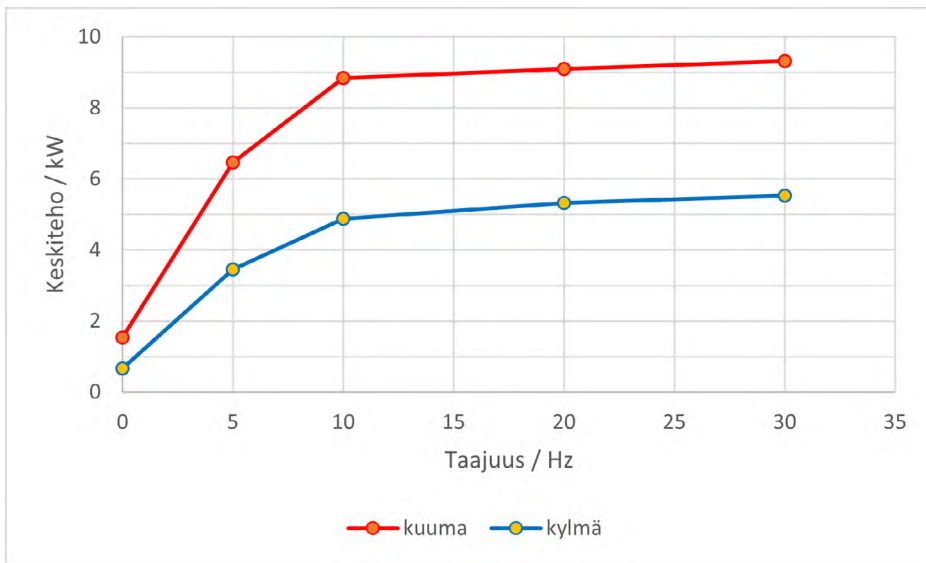
Hankkeessa selvitettiin jäähdytykseen liittyviä teknologisia ratkaisuja, joista on vain vähän kokemuksia Suomessa. Tarkastellun adsorptiojäähdyttimen toimintaperiaatteena on käyttää lämmönlähdettä, esim. kuumaa vettä, jäähdytetyn veden tuottamiseksi, esim. tilojen jäähdytykseen. Adsorptio on prosessi, jossa kaasu (vesi) sitoutuu kiinteän aineen pintaan (zeoliitti), kun työaineparina on vesi ja zeoliitti. Prosessin jäähdytysvaikutus perustuu käytettävän kiertoaineen (adsorbaatin) höyrystymiseen ja lauhtumiseen (Laitinen ym. 2016).

SolarNext Chillii ISC10V -adsorptiojäähdytin hankittiin Xamk:n BioSampo- kiertotaloustutkimuskeskukseen Anjalaan vuonna 2014 (kuva 19). Tavoitteena oli demokoulutusympäristön toteuttaminen ja käyttökokemuksen saaminen kyseisestä jäähdytysjärjestelmästä. Kymbio -hankkeessa (Tallinen ym. 2019) laitteisto saatettiin toimintakuntoon, jolloin sen lämmönlähteenä oli vesihöyry. Hukkaveks -hankkeessa laitteistoon tehtiin prosessin kuuma- ja kylmäpiirien energiamittareiden ja moottoriventtiilin lisäasennuksia. Tässä vaiheessa BioSammon höyrykattila oli kuitenkin tullut jo tiensä päähän ja jäähdyttimen käyttövoimaksi tuli BioSammon 5000 l lämminvesivaraaja, josta oli mahdollista siirtää lämpöä lämmönsiirtimen kautta jäähdyttimen kuumavesisäiliöön. Tarvittava kuumavesilinja rakennettiin ja lämpöeristettiin. Jäähdyttimen kuormitusmittauksia tehtiin kesällä 2021.



Kuva 19. Adsorptiojäähdytyn yksikkö BioSampo-tutkimuskeskuksessa on kuvassa vasemmalla. Harmaa säiliö, kuvassa oikealla, on laitteiston kuumavesisäiliö, musta kylmavesisäiliö on keskellä ja lämmönsiirtimen sijainti on kuumavesisäiliön vieressä alhaalla. (Kuva: Maunu Kuosa)

Prosessissa tuotettua kylmää vettä johdettiin halleja jäähdyttäviin radiaattoreihin (2 kpl). Jäähdytintä kuormitettiin radiaattoreiden puhaltimien pyörimistaajuuksia muuttamalla välillä 0–30 Hz. Alkutestien jälkeen toteutettiin laitteiston 3–4 päivän pituisia kuormitusmittausjaksoja. Jaksojen aikana muun muassa mitattiin prosessin lämpötiloja sekä kuuma- ja kylmäsäiliöistä siirtyviä keskitehoja. Lämminvesivaraaja toimitti 70–76 °C vettä jäähdyttimen harmaan säiliön lämmitykseen (kuva 19). Kiertoprosessin lämmönlähteenä toimivan kuuman veden lämpötila vaihteli 57–71 °C (harmaa säiliö) ja tuotetun kylmän veden lämpötila 11–16 °C (musta säiliö). Keskimääräiset kuuma- ja kylmätehot vaihtelivat välillä 1.54–9.32 kW ja 0.66–5.53 kW (kuva 20), kun jäähdyttimen mitoituskylmäteho oli 10 kW. Mitattu hyötysuhde (kylmän tuotanto / käytetty lämpöenergia) oli kuitenkin korkea, parhaimmillaan noin 59 %.



Kuva 20. Adsorptiojäähdyttimen keskimääräinen kuuma- ja kylmäteho kuormitustaa-juuden funktiona. (Kuva: Maunu Kuosa)

Alkuperäisen suunnitelman mukainen toteutus olisi ollut sellainen, jossa höyrykattilan vesihöyry olisi toiminut jäähdyttimen lämmönlähteenä ja kuumavesisäiliön lämpötilan säätö olisi tapahtunut moottoriventtiilillä. Tämä olisi sallinut laajempialaiset ja tarkemat lämmönlähteen lämpötilatarkastelut sekä mahdollistanut mitattuja matalammat että korkeammat lämpötilat kuumavesisäiliöön. Silloin eri ylijäämälämpöjen lämpötilatasojen vaikutusta laitteen suorituskykyyn (mm. jäähdytystehoon) olisi ollut mahdollista tutkia paremmin kuormituksen lisäksi.

Mittausten perusteella adsorptiolaitteiston toiminta on riippuvainen sen toimintaympäristöstä ja lämpökuormasta. Alkukesän helteet vaikuttivat jäähdyttimen kuormitukseen enemmän kuin radiaattoreiden tehon nosto puhaltimien avulla loppukesän viileämmillä keleillä.

Adsorptiojäähdytintä on mahdollista käyttää monilla eri lämmönlähteillä, kuten prosessien ylijäämälämmöllä tai aurinkoenergialla. Laitteisto pystyy hyödyntämään matalalämpötilaista vettä aina lämpötilatasolle 55 °C asti. Jäähdyttimen lämmönlähteeksi sopisi ylijäämälämmön lisäksi kesäaikana hyvin myös kaukolämpövesi, jolloin sen kulutus on vähäistä. Tämä tekee adsorptiotekniikasta varteenotettavan ja ympäristöystävällisen vaihtoehdon jäähdytysjärjestelmäksi.

8 LÄMPÖVUOTOKUVAUKSET DRONELLA

Hankkeessa selvitettiin tarkkailumenetelmiä, joilla energiahukkakohteita voidaan löytää ja seurata. Lämpöenergia havaitaan lämpösäteilystä eli infrapunasäteilystä, jota voidaan mitata lämpökameralla. Kun aikaisemmin on käytetty yleisesti käsimittaria, nyt lämpövuotokuvia suoritettiin dronen ja lämpökameran avulla. Näin voitiin havaita esimerkiksi kaukolämpöverkon ja rakennuksien lämpövuotoja.

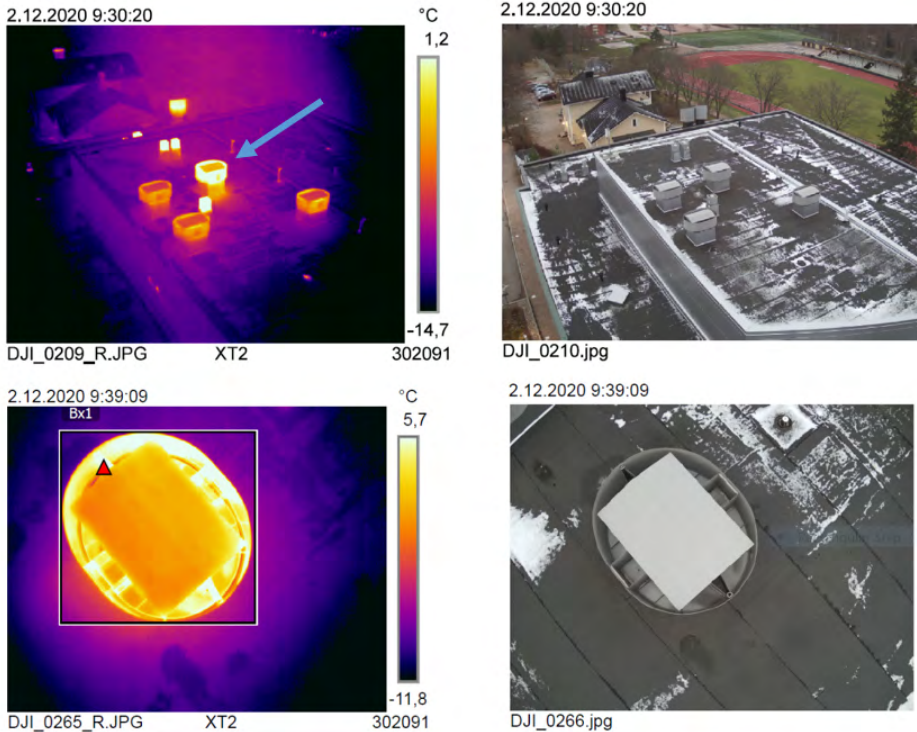
Yhteistyössä VED-hankkeen (Vähähiilisyyttä tukevat dronepalveluratkaisut Etelä-Suomessa) kanssa suoritettiin mm. teollisuushallin, koulurakennuksen ja kerrostalon lämpövuotokuvaukset. Eräässä kerrostalossa tehtiin ikkunoiden vuotokuvaus ikkunaremontin jälkeen. Dronen avulla tämä oli mahdollista tehdä tarkasti ja nopeasti.

Myös hankkeen pilottikohteessa Karhulan uimahallilla suoritettiin lämpökuvia, joissa seurattiin ilmanvaihdon ulospuhalluksen lämpötilatasoja ennen ja jälkeen lämmöntalteenoton parannuksen (kuva 21).



Kuva 21. Drone-kuvaus Karhulan uimahallilla, jossa lämpökameran avulla tutkittiin ilmanvaihdon ulospuhalluksen lämpötilatasoja. (Kuva: Maunu Kuosa)

Ensimmäinen kuvaus uimahallin katon ilmanvaihdon ulospuhalluksesta suoritettiin ennen lisälämmöntalteenottopatterin asennusta talvella 2020 (kuva 22). Kuvaryhmän vasemman laidan värikuvat ovat lämpökuvia uimahallin katolla sijaitsevista ilmanvaihdon ulospuhallushajottimista. Kuvassa 22 on oikealla puolella vastaavia kuvia päiväsaikaan kuvattuina. PK3:n, johon lämmöntalteenoton parannus tehtiin, ulospuhallus on vasemman yläkulman kuvassa sinisellä nuolella merkittynä ja alakuvassa yksinään, ylhäältä kohtisuoraan kuvattuna. Kuvasta havaitaan, että PK3 ulospuhalluksen lämpötila on korkeampi verrattuna muihin ulospuhalluksiin.



Kuva 22. Lämpö- ja valokuvia uimahallin katolta. Kuvaryhmän vasemman laidan värikuvat ovat lämpökuvia uimahallin katolla sijaitsevista ilmanvaihdon ulospuhallushajottimista (PK3:n hajottaja on esitettyä yläkulman kuvassa sinisellä nuolella merkittynä ja alakuvassa ylhäältä kohtisuoraan). (Kuva: Tomi Oravasaari)

Vastaava kuvaus tehtiin talvella 2021 lämpöpumppu- ja lisälämmöntalteenottopatterin asennuksen jälkeen. Tarkoitus oli vertailla, näkykö parantunut lämmöntalteenotto tällaisissa kuvissa. Tarkkuuteen vaikuttavat kuitenkin suuresti muun muassa ulkoilman olosuhteet, joten tuloksista ei odotettu erityisen tarkkoja vaan lähinnä visuaalisia.

Lisälämmöntalteenottopatterin ja hallin poistoilmaa hyödyntävän lämpöpumpun avulla ulospuhalluksen lämpötilaa saatiin laskettua 8–10 °C:tta. Ulospuhallusilma oli kuitenkin aikaisemman uimahallin sulkutilan vuoksi melko saman lämpöistä molempien kuvauksien aikaan, joten eroa ei saatu näkymään lämpökuvauksessa.

9 JOHTOPÄÄTÖKSET

Hiilineutraaliustavoitteet ja vihreä siirtymä vaativat isoja askeleita uusiutuvan energian lisäämiseksi ja energiatehokkuuden parantamiseksi. Uusiutuvan lämpöenergian tuotannolle on monia vaihtoehtoja sekä energiantuottajille että kuluttajille, mutta se vaatii myös ylijäämälämpöjen nykyistä tehokkaampaa hyödyntämistä ja lisäksi lämpöenergian varastointia. Kuluttajien rooli energiaverkostoissa on kasvanut, kun energian varastointi ja kotitalouksien tuottaman energian siirto energiaverkkoon on tullut mahdolliseksi. Kaksisuuntaisen kaukolämmön liiketoimintamallissa kiinteistö voi sekä tuottaa itse lämpöä että syöttää ylijäämälämmön kaukolämpöverkkoon. Näiden ympärille muodostuva liiketoiminta kasvaa selvästi tulevaisuudessa ja sen kehittämiseksi vaaditaan toimia. Selkeä kehitystarve on myös rakennusta laajempien alueiden, esimerkiksi kortteleiden, yhteiset energiaratkaisut. Olisi hyvä pilotoida erilaisia kokonaisuuksia sekä luoda uusia sopimusmalleja toiminnan kannattavuuden lisäämiseksi.

Hybridiennergiajärjestelmät mahdollistavat osaltaan hukkalämpöjen hyödyntämisen tulevaisuudessa. Järjestelmien osana voi olla lämpöpumppuja, aurinkopaneeleita sekä erityyppisiä ja -kokoisia lämpöenergian varastoja. Älykkäät energiajärjestelmät hyötyvät myös sähkön ja lämmön kulutusjoustosta. Jotta investointeja tällaisiin järjestelmiin tehtäisiin, täytyisi hyöty saada koko elinkaaren ajalta. Kuitenkin myös nopeat takaisinmaksuajat vaikuttavat tällä hetkellä suuresti investointipäätöksiin. Tutkimuksessa (Korppi 2021) kävi ilmi, että hybridilämmitys on suositellumpi valinta vanhemmille saneerauskohteille ja pienille rakennuksille. Suuremmissa rakennuksissa ja uudiskohteissa hyödynnetään enemmän matalaenergiajärjestelmiä ja -rakentamista. Matalalämpöenergian hyödyntäminen on saavuttamassa suurta suosiota, ja tälle nähdään valtavasti potentiaalia kehittyvässä energiaverkostossa.

Lämpöpumppujen korkealämpötekniikka avaa myös uusia mahdollisuuksia hukkalämmön hyödyntämiseen. Tällöin voidaan hyödyntää esimerkiksi teollisuusprosessin jäähdytysvesien ylijäämälämpö pelkän kiinteistön lämmityksen sijaan korkeampia lämpötiloja vaativiin kohteisiin. Kymenlaaksossa kehittyvä akkuteollisuus voi myös synnyttää alueelle uusia mahdollisuuksia ylijäämälämmön hyödyntämiseksi. Lisäksi datakeskusten jäähdytysvesien ylijäämälämpö voidaan valjastaa hyötykäyttöön. Muita kehityssuuntia ovat suuren kokoluokan lämpövarastot (mm. käytöstä poistuneet öljyluolat), joiden avulla voidaan tasata esimerkiksi kaukolämpöverkon kulutushuippuja.

Hukkaveks-hankkeessa aloitettua yhteistyötä tullaan edistämään Heat Circulation Innovation Platform (HCIP)-verkoston kanssa, joka on koonnut yhteiseen keskusteluun alan toimijoita hiilineutraalien energian tuotantoteknologioiden tiimoilta ja edistänyt alan liiketoimintamahdollisuuksia. Yhteistyötä edistetään myös Kotkassa sijaitsevan Kymi-Solar

Oy:n kanssa, joka kehittää ratkaisuaan tekoälyn hyödyntämisestä kaupunkien älykkäissä energiajärjestelmissä. Myös Aalto-yliopiston kanssa on käyty keskusteluja hankeyhteistyöstä energiajärjestelmiin liittyen. Tärkeässä yhteistyöroolissa on Kotkan Kantasatamaan rakennettava Euroopan ensimmäinen Turvapuisto, jossa yksi toimintaympäristö tulee havainnollistamaan paikallista uusiutuvan energian tuotantoa ja seuraamaan olosuhteiden vaikutusta energian kulutukseen.

Ilmastoystävällinen energiantuotanto ja tarpeenmukainen energiankäyttö tarvitsevat lisää innovatiivista ajattelua. Energiamurroksessa erilaisen uusiutuvien energialähteiden joukossa muun muassa geoterminen energia soveltuisi erinomaisesti lämpösovellutuksiin, kuten tilojen lämmityksen ja jäähdytykseen. Yritysten ja TKI-toiminnan yhteistyötä tulee edistää, jolloin saadaan puolueetonta tutkimustietoa julkiseksi. Tutkimushankkeiden tuoma realistinen tieto energiajärjestelmien toimivuudesta ja kannattavuudesta lisää luottamusta tehdä investointeja ja ottaa käyttöön alan uutta tekniikkaa.

LÄHTEET

Harjun oppimiskeskus. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://www.harjunopk.fi/fi> [viitattu 9.7.2020]

Heat Road Map Europe s.a. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://heatroadmap.eu/> [viitattu 9.7.2020]

Heikkinen, A. & Nieminen, V. 2020. Energiakatselmusraportti. Karhulan uimahalli.

Hukkalämmöstä sähköä. 2015. Verkkolehti. Saatavissa: <https://promaintlehti.fi/Turvallisuus-ja-ymparisto/Hukkalammosta-sahkoa> [viitattu 22.6.2022]

Jouhara H., Khordehgh N., Almahmoud S., Delpech B., Chauhan A. & Tassou S. A. Waste heat recovery technologies and applications. Thermal Science and Engineering Progress 6 (2018) 268–289.

Kaipainen T. 2021. Jäähallien lauhdelämmön hyödyntämisen mahdollisuudet – Kotkan jäähalli. Opinnäytetyö. Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu.

Kant, J. & Kaipainen, T. 2021. Energiakatselmus. Karhulan jäähalli.

Kontu, K., Vimpari, J., Penttinen, P. & Junnila, S. 2020. Individual ground source heat pumps: Can district heating compete with real estate owners' return expectations? Sustainable Cities and Society. Volume 53.

Korpela, T., Kuosa, M., Sarvelainen, H., Tuliniemi, E., Kiviranta, P., Tallinen, K., Koponen, H.-K. 2022. Waste heat recovery potential in residential apartment buildings in Finland's Kymenlaakso region by using mechanical exhaust air ventilation and heat pumps. International Journal of Thermofluids 13 (2022) 100127.

Kotkan kaupungin kuvapankki s.a. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://kotka.kuvat.fi/> [viitattu 11.8.2022]

Kotkan kaupunki s.a. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.kotka.fi/vapaa-aika/liikunta/uimahallit/karhulan-uimahalli/> [viitattu 11.8.2022]

Kuosa, M., Rahiala, S., Tallinen, K., Mäkilä, T., Lampinen, M., Lahdelma, R., Pulkkinen, L. 2019. Mass flow controlled district heating with an extract air heat pump in apartment buildings: A practical concept study. Applied Thermal Engineering 157 (2019) 1137–1145.

Kuosa, M., Kiviranta, P., Sarvelainen, H., Tuliniemi, E., Korpela, T., Tallinen, K., Koponen, H.-K. 2022. Optimisation of district heating production by utilising the storage capacity of a district heating network on the basis of weather forecasts. Results in Engineering 13 (2022) 100318.

Kymenlaakson liitto s.a. Maakuntaohjelma 2022–2025. Kestävä Kymenlaakso/ luonnon monimuotoisuuden turvaaminen ja kestävä luonnonvarojen käyttö. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://maakuntaohjelma.kymenlaakso.fi/maakuntaohjelma-2022-2025/kesta-va-kymenlaakso/luonnon-monimuotoisuus-ja-kestaevae-luonnonvarojen-kaeyttoe> [viitattu 30.8.2022]

Laitinen, A., Rämä, M. & Airaksinen, M. 2016. Jäähdytyksen teknologiset ratkaisut. Asiakasraportti VTT-CR-05415-16. 16.12.2016. Saatavissa https://energia.fi/files/1359/Jaahdytysteknologiaselvitys_VTT_221216.pdf [viitattu 24.9.2021]

Lipsanen, O. 2019. Cooling with renewable energy. Opinnäytetyö. Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2019112823294>

Miró, L., Gasia, J. & Cabeza, F. 2016. Thermal energy storage (TES) for industrial waste heat (IWH) recovery: A review. Applied Energy 179 (2016) 284-301.

Motiva Oy. 2019. Esiselvitys – Ylijäämälämmön potentiaali teollisuudessa, Saatavissa: https://www.motiva.fi/files/16214/Esiselvitys_-_Ylijaamalammon_potentiaali_teollisuudessa.pdf

Motiva Oy. 2021. Uutta energiatehokkuuteen 2022. Webinaari 9.12.2021.

Opiskelijat mukana energiatehokkuustoiminnassa. 2.6.2021. Xamk Read 2/2021. Saatavissa: <https://read.xamk.fi/2021/metsa-ymparisto-ja-energia/opiskelijat-mukana-energiatehokkuustoiminnassa/>

Oró, E., Taddeo, P. & Salom, J. 2019. Waste heat recovery from urban air cooled data centres to increase energy efficiency of district heating networks. Sustainable Cities and Society 45 (2019) 522-542.

Remes, M. 2021. Hajautettu jäähdytys yleistyy kaukolämmön kyljessä. Kylmä Extra 2/2021.

Rämä, M., Niemi, R & Similä L. 2015. Poistoilmalämpöpumput kaukolämpöjärjestelmässä. Asiakasraportti VTT-CR-00564-15. Saatavissa: [Poistoilmalampopumput-kaukolampojarjestelmassa.pdf](https://www.vtt.fi/inf/pdf/asiakasraportit/2015/Poistoilmalampopumput-kaukolampojarjestelmassa.pdf)-Poistoilmalampopumput-kaukolampojarjestelmassa-730346C8_01D2_49FB_B9EA_9961965EDB22-111934.pdf (ym.fi)

Rämä, M. & Klobut, K. 2020. Hukkalämpö kaukolämpöjärjestelmissä. Asiakasraportti VTT-CR-00340-20. Saatavissa: https://energia.fi/files/4831/Hukkalampo_kaukolampo-jarjestelmissa_-_maarittely_ja_luokittelu_VTT_2020.pdf

Tallinen, K., Kuosa, M., Rätty, V. 2019. Kymenlaakson biotaloustoimintaympäristön kehittäminen – KYMBIO. Biotalousstrategian jalkauttaminen. Xamk kehittää 79. Kaakkois-Suomen Ammattikorkeakoulu.

Titaanit - HK Titaanit ry s.a. Saatavissa: <https://www.titaanit.fi/yhteystiedot/> [viitattu 9.7.2020]

HANKKEESSA TEHDYT OPINNÄYTETYÖT JA OPISKELIJAPROJEKTIT

Opinnäytetyöt

2019

Ossi Lipsanen / Cooling with renewable energy / <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2019112823294>

2020

Anniina Linkovuo / Dronen hyödyntäminen hukkaenergian kartoituksessa

Jenni Gröhn-Lampinen / Harjun oppimiskeskuksen hybridilämmitysjärjestelmän teknis-taloudellinen tarkastelu

2021

Paulus Kiviranta / Kaukolämmön tuotannon optimointi kulutusmuutoksien ja -ennusteiden mukaisesti / <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-202101241466>

Tero Kaipainen / Jäähallien lauhdelämmön hyödyntämisen mahdollisuudet

2022

Janna Korppi / Uusiutuvan energian hyödyntäminen matalalämpöenergiaratkaisuihin / <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-202204084805>

Sami Piskonen / Matalaenergisestä lämmön hyödyntäminen sähkötuotannossa Stirling-tekniikalla / <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-202204135129>

Tuija Korpela / Ulospuhallusilman hyödyntäminen uimahallin ilmanvaihdon esiläm-mitykseen lämpöpumpputekniikalla / <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2022060214529>

Opiskelijaprojektit

Veera Nieminen, Antti Heikkinen / Energiakatselmustoiminta – Karhulan uimahalli

Tero Kaipainen, Joni Kant / Energiatieteiden palvelut - Hukkalämpö, jäähalli-palvelu-keskus hybridi

Tiina Lankinen, Anniina Linkovuo / Energiatieteiden palvelut – Hukkalämpö, harras-tuskeskus

Raino Hellberg, Pasi Pikkarainen, Jere Kola / Energiatohokkuuspalvelut - Hukkalämpö, case Viljava (kattilalaitos + kuivuri)

Virpi Vestola, Kaisu Hämäläinen / Energiatohokkuuspalvelut - Hukkalämpö, Meripirtin päiväkot

Galya Begjanova, Jani Harju, Kimmo Joronen, Lauri Lehtomäki, Åke Stenberg, Kaj Sundholm / Hukkalämmön hyödyntäminen, Case: Kotkamills

Jonni Päivinen, Tuukka Ollikainen, Anton Mensonen / Energiatohokkuuspalvelut - Hukkalämpö, Katariinan alueen energiavirrat (Arto Tolsa-areena, maauimala)

Yhteistyössä Yritysverstas-hankkeen kanssa:

Pekka Arolainen / Lämpö- ja sähköliittymäkokojen tarkistus Jukin kiinteistöissä
Tiina Lankinen, Anniina Linkovuo / Vellamon jäähdytystarkastelu

Joni Kant / IV-koneiden suodattimien testaus

