



Alustava konsepti alue-energiajärjestelmästä uudelle asuinalueelle simulointien ja yhteiskehittämisen perusteella

- tarkastelutapaus kerrostalo Ainolassa Järvenpäässä

Raportti on osa BLOCKCC-hanketta (R.4.1)

Raportin julkaisupäivä: 8.5.2025

Kirjoittaja: Evilina Lutfi, Green Net Finland ry



Uudenmaan liitto
Nylands förbund



**Euroopan unionin
osarahoittama**

Sisällys

Johdanto sekä termien ja lyhenteiden listaus	3
1. Palvelumuotoilumalli ja konseptin määrittely	5
2. Ainolan alue tarkastelualueena	6
2.1 Kaukolämpö	6
2.2 Sähkön hintoja simuloinneissa	10
2.3 Investointikustannukset simuloinneissa	11
2.4 Asuinkerrostalo tarkastelun kohteena	12
3. Alustavan konseptin kehityskulku	13
3.1 Viiteryhmän A ensimmäinen kokous 4/2023	14
3.2 Viiteryhmän A toinen kokous 10/2023	14
3.3 Viiteryhmän A kolmas kokous 4/2024	15
3.4 Viiteryhmän A neljäs kokous 11/2024	15
3.5 Viiteryhmän A viides kokous 1/2025	15
4. Simulointiohjelmisto IDA ICE 5.0	16
4.1 Vyöhykemallit (Zone model)	17
4.2 Ulkovaipan mallit	17
4.2.1 Ikkunamallit	17
4.2.2 Seinämallit	18
4.3 Ilmavirran komponenttimallit	18
4.3.1 Suuret pystysuorat aukot - CeIVO-malli	18
4.3.2 Suuret vaakasuorat aukot - CelHO-malli	19
4.3.3 Vuotokomponentit	19
4.4 Säteilymallinnus	20
5. Kehitysnäkökulmia - kaukolämmön paluuveden hyödyntäminen, kulutusjousto ja maalämpö-kulutusjousto	21
5.1 Kaukolämmön paluuveden hyödyntäminen	21
5.2 Kaukolämmön kulutusjousto	23
5.2.1 Kulutusjousto tilälämmityksessä	24
5.2.2 Tehopiikkien madaltaminen lämminvesivaraajalla (LVV)	24
5.3 Maalämpö-kulutusjousto	27
6. Taloudellisesti kannattavimmat ratkaisut uudiskerrostalolle	31
6.1 Kulutusjousto-ohjaus	31
6.2 Kaukolämmön paluuvvedellä lämmitys	37
6.3 Maalämpö kulutusjoustolla	40
7. Kehitetyn konseptin kuvaus	41
7.1 Kaukolämmön paluuveden hyödyntäminen	41
7.2 Sähkökattila ja lämminvesivaraaja	42
7.3 Tehonrajoitussääntö ja dynaaminen ohjaus kulutusjoustossa sekä marginaaliarvo	43
7.5 Takaisinmaksuajan arviointi	45
7.6 Yhteenveto	46
Lähteet	48

Johdanto sekä termien ja lyhenteiden listaus

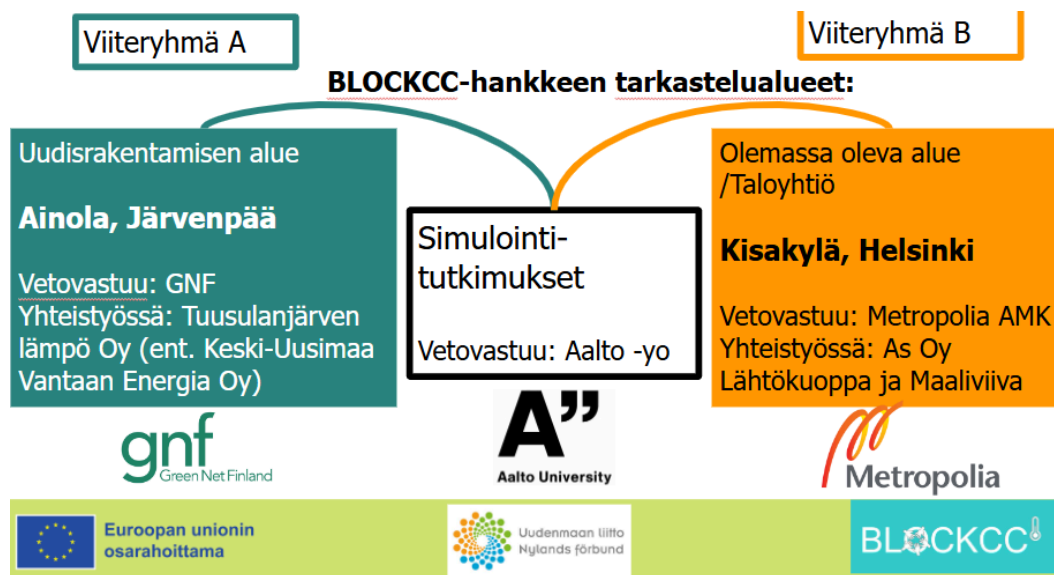
Tämä raportti on *BLOCKCC - Energiakorttelit -alueelliset toimintamallit ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi "Block the Climate Change"* -hankkeen (Ryhmähanke R- 00055) toimenpiteen TP 4.1 tulos R.4.1. Raportin rakenteen suunnittelua, sisällön hahmottamista ja kirjoitusta on toteutettu maaliskuusta 2024 helmikuuhun 2025. Toimenpiteen TP 4.1 päävastuullinen toteuttaja on Green Net Finland ry (GNF), joka on myös koko BLOCKCC -ryhmähankkeen päätoteuttaja. Muut hankkeen osatoteuttajat ovat Metropolia Ammattikorkeakoulu (AMK) ja Aalto-yliopisto.

BLOCKCC -hankkeessa kehitetään kokonaisvaltaista tapaa edesauttaa alueellista energiayhteistyötä kaukolämmön tuotantotapojen kehittämiseksi. Tavoitteena on löytää nopealla aikavälillä energiasiirtymää nopeuttavia innovatiivisia ratkaisuja energian tuottajien sekä muita energiapalveluita tarjoavien yritysten ja asiakkaiden välille. Hanke tuottaa vähintään kahteen erityyppiseen tarkastelualueeseen uutta tietoa ja ratkaisumalleja erilaisten alueelliseen lämpöliiketoimintaan keskittyvien kumppanuusmallien tueksi.

Yhteistoimintaperiaatteita noudattaen kehitetään asiakkaiden, rahoittajien sekä erilaisten lämpöenergiaratkaisujen toimittajien ymmärrystä tarjolla olevista vaihtoehdoista järjestelmän koko elinkaaren ajalta. Työ perustuu mallinnukseen ja markkinavuoropuheluun.

Uudisrakentamisen tarkastelualue Järvenpäässä on yksi BLOCKCC -hankkeen tarkastelukohteista. Tarkastelukohteeksi on suunniteltu Ainolan alueen laajennus Vantaalla ja Vantaan Energia on hankkeen valmisteluvaiheesta lähtien on sitoutunut hankkeeseen. Suunnitteilla oleva asuinalue kokonaisuudessaan on hankesimulointia varten liian laaja kokonaisuus, joten tarkastelualue on rajattu valitsemalla yksi tyypillinen ja Suomen mittakaavassa skaalautuva asuinkerrostaloyhtiö, jolloin tulokset ovat sovellettavissa laajemmin.

Hankkeen edellinen raportti (R.2.1) *Ainolan tarkastelualueen rajausta ja kuvausta* keskittyy alueen valintaan sekä rajaukseen. Raportti R.2.1 on saatavilla BLOCKCC-hankkeen sivuilla [1]. Raportin R.2.1 sisältöä on hyödynnetty myös hankkeen toimenpiteissä (TP) 3.2 *Ainola-tarkastelukohteeseen valittujen ratkaisujen simuloinnit* ja 4.1 *Ainolan alueen ja vastaavien uudisalueiden yhteiskehittämiseen keskittyvä viiteryhä (viiteryhä A)*. Aalto -yliopisto vastaa BLOCKCC -hankkeessa tarkastelukohteiden simuloinneista. Kuva 1 havainnollistaa BLOCKCC -hankkeen Ainola -alueen viitekehystä.



Kuva 1. Ainola-alueen tarkastelun BLOCKCC-hankkeessa viitekehys.

Tässä raportissa käytetyt termit, niiden lyhenteet sekä niihin liittyviä selityksiä on koottu Taulukkoon 1.

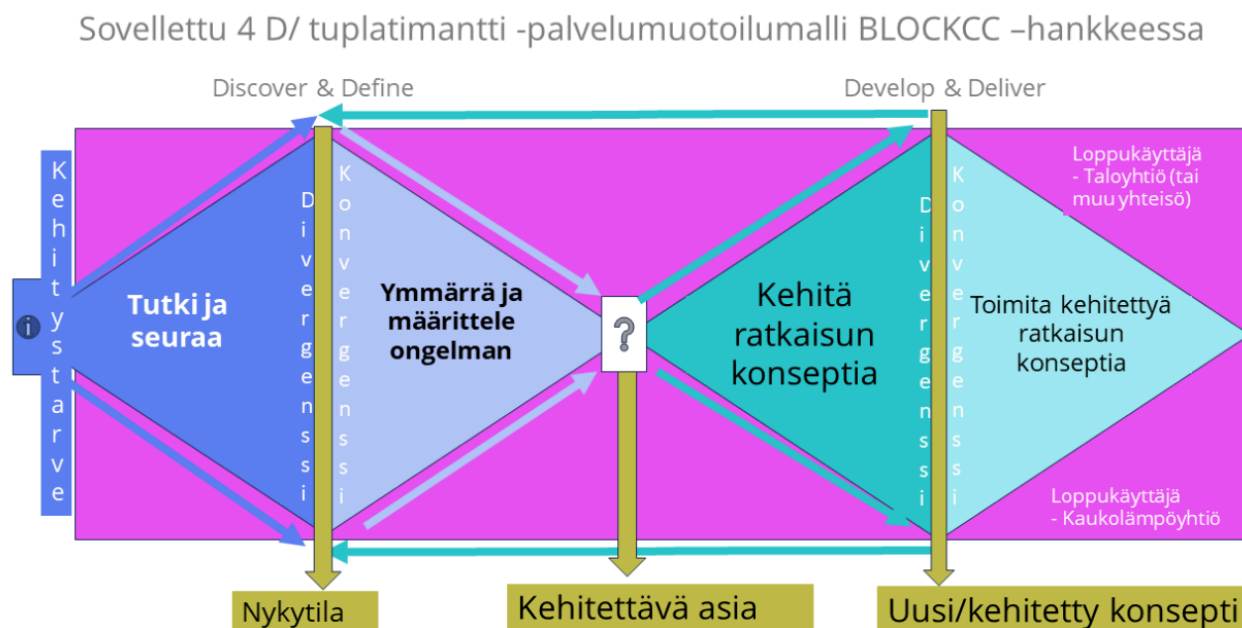
Taulukko 1. Raportissa käytetyt lyhenteet ja niihin liittyvät termit.

Lyhenne	Termi
DHRW	kaukolämmön paluuvesi (district heat return water)
DHSW	kaukolämmön menovesi
DC	dynaaminen lataus (dynamic charge)
KKJ tai Centr.	keskitetty kulutusjousto
HKJ tai Decentr.	hajautettu kulutusjousto
LVV	lämminvestivaraaja
SK	sähkökattila
Ref.	referenssitapaus, joka on kaukolämmöllä lämmitys tai toisin sanoen, normaali menovesilämmitys
M	marginaaliarvo €/MWh (kulutusjousto-ohjauksen yhteydessä)
IoT	Internet of Things (termi liittyy älykkääseen kulutusjousto-ohjaukseen)
KL	kaukolämpö
MLP	maalämpö
HP	lämpöpumppu (heat pump)

1. Palvelumuotoilumalli ja konseptin määrittely

BLOCKCC-viiteryhmät toimivat keskeisessä roolissa tarkastelukohteiden yhteiskehittämisessä ja mahdollistavat laajemman vuoropuhelun alueen energiakysymyksistä eri kohderyhmien välillä. Yhteiskehittämiseen osallistetaan monipuolisesti eri kohderyhmiä.

BLOCKCC-hanke sovelsi Ainola-alueen yhteiskehittämisessä ja markkinavuoropuhelussa kuvan 2 mukaista tuplatimantti- eli 4D-mallia. Tämän mallin avulla pyrittiin selkeyttämään prosessia ja rakentamaan yhteistä ymmärrystä. Tavoitteena on luoda tai kehittää alustava konsepti alueelliseksi energiajärjestelmäksi.



Kuva 2. Sovellettu palvelumuotoilumalli BLOCKCC-hankkeessa.

"Konsepti" on monimerkityksinen sana. Tässä BLOCKCC-hankkeessa, jonka painopiste on asuinrakennuksissa ja niiden kaukolämpöjärjestelmässä, "konseptilla" viitataan kuitenkin rajatumminkin Kuvan 3 havainnollistamaan kokonaisuuteen.

Konsepti:

Strategisen ja operatiivisen toiminnan rajapinta.

Vastaa kysymyksiin:

**"mitä",
"miten",
"kenelle" ja
"miksi".**

Strategia: pitkän tähtäimen suunnitelma ("PTS")
Vastaukset kysymykseen:
"Mitä pitää tehdä?"

10 v. perspektiivi - >

Operatiivinen toiminta:

lyhyen aikavälin taktiikka ("LTS")
Vastaukset kysymykseen:
"Miten tehdään oikein?"

1 v.
perspektiivi

Visualisointi: Evilina Lutfi | GNF | BLOCKCC-hanke | 14.3.2024

BLOCKCC

Kuva 3. Konsepti -määritelmä tässä raportissa.

BLOCKCC -hankkeen yhtenä tavoitteena on kehittää uudisrakentamisen alueen skaalautuvaa lämpöjärjestelmän konseptia. Hanke käyttää tarkastelualueena Ainolan aluetta Järvenpäässä, jonka tavoitteena konkretisoida ja tuoda kontekstia yhteiskehittämistyöhön, laajemmin ja pitemmässä aikaperspektiivissä on tarkoitus hyödyntää BLOCKCC -hankkeen tuloksia muualla Suomessa. Yleistä tilannetta asumisen uudisrakentamisesta Suomessa on kuvattu edellisessä raportissa R.2.1 [2].

2. Ainolan alue tarkastelualueena

Tässä kappaleessa kuvataan tiivistetysti kahta kehitettävän konseptin elementtiä - Ainolan kaukolämpöjärjestelmää ja asuinkerrostaloa, joka on valittu tarkastelukohteeksi. Kaukolämmön osalta kuvataan sekä taloudellisia että teknisiä näkökulmia.

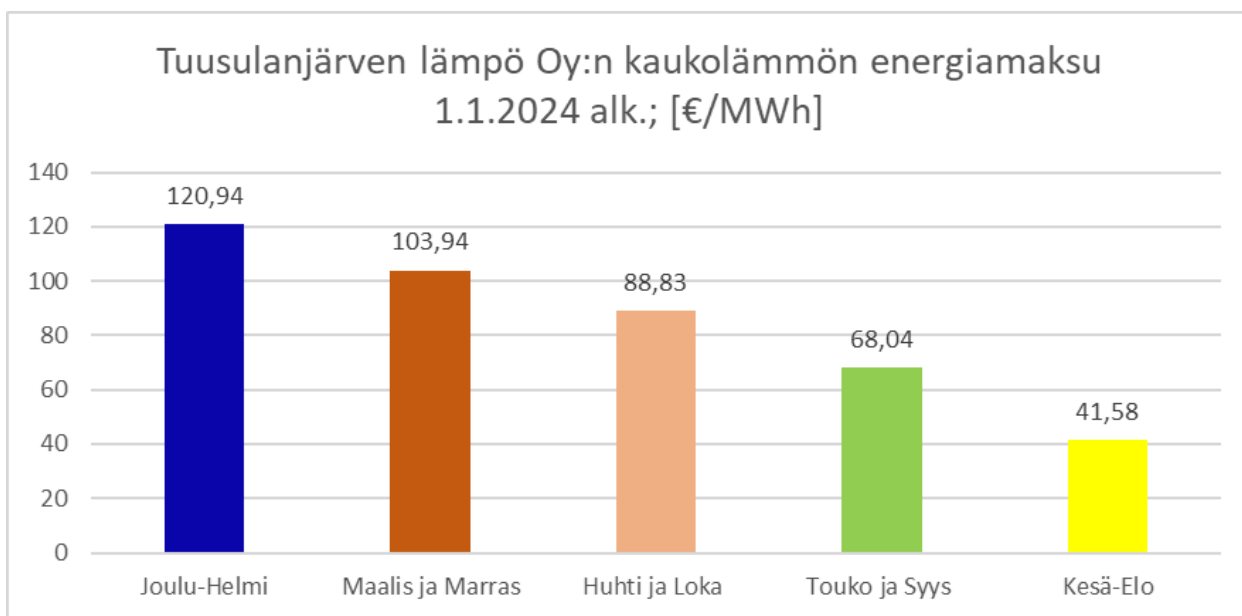
2.1 Kaukolämpö

Tuusulanjärven Lämpö Oy on suomalainen energiayhtiö, joka toimittaa lämpöä ja lämpöpalveluita Järvenpään ja Tuusulan alueella. Yhtiö on perustettu vuonna 2020 ja se toimi aiemmin nimellä Vantaan Energia Keski-Uusimaa Oy (nimenmuutos keväällä 2024). Tuusulanjärven Lämpö Oy:n omistavat Infranode, Keva ja Vantaan Energia. Tuusulanjärven Lämpö Oy on osa Vantaan Energia -konsernia. Vantaan Energia on yksi Suomen suurimmista kuntien omistamista energiayhtiöistä.

Tuusulanjärven Lämpö Oy:n kaukolämpö tuotetaan Järvenpään voimalaitoksessa. Yhtiön tuotantoprofiili on ympäristön kannalta kestävä, ja se tuottaa bio- ja jätepolttoaineilla yhteensä noin

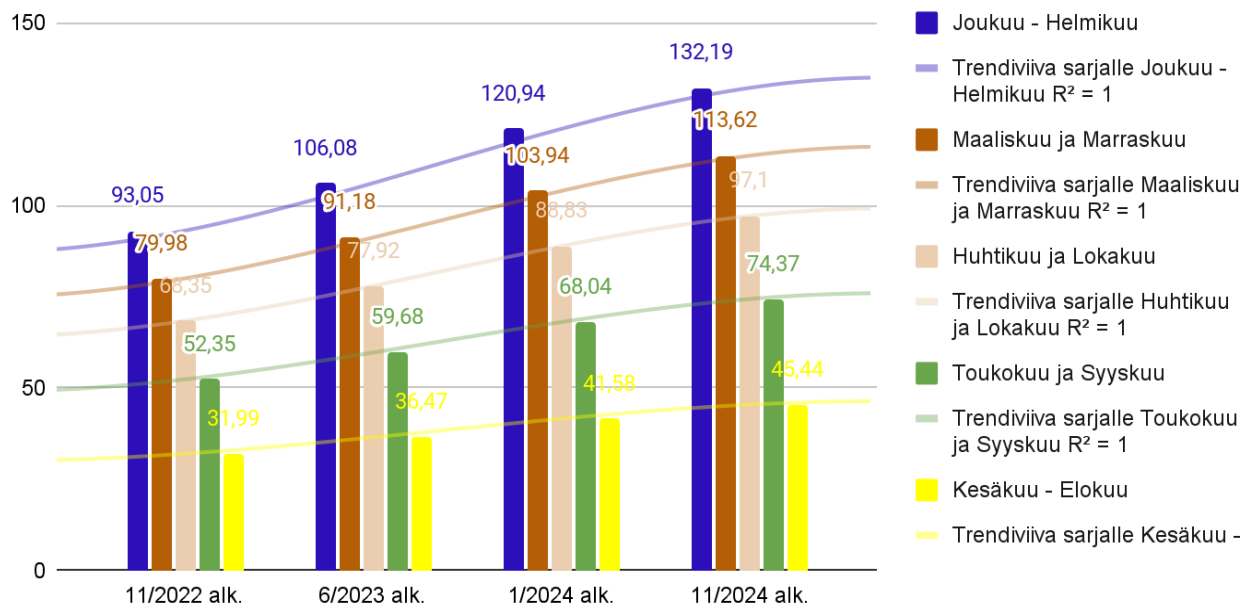
340 GWh lämpöä ja noin 90 GWh sähköä vuosittain. Tuusulanjärven Lämpö Oy:n liikevaihto vuonna 2023 oli 37,6 miljoonaa euroa.

Tuusulanjärven Lämpö Oy tuottaa ja toimittaa luotettavaa ja puhdasta lähilämpöä sekä yksityisille että yritysasiakkaille Järvenpään ja Tuusulan alueella. Yhtiön kattava kaukolämpöverkko varmistaa lämmönjakelun laajalla alueella. Taloyhtiöille ja yrityksille suunnattu Fiksulämpö-palvelu tarjoaa älykkäitä ratkaisuja lämmityksen optimointiin. Kaukolämmön hinnoittelu koostuu kahdesta osasta: energiamaksusta, joka määräytyy kulutetun energian (MWh) mukaan, ja perusmaksusta. Fiksulämpö-tuotteessa energiahinta vaihtelee kausittain (kuva 4). Tarkastelujaksolla jouluihelmikuun 2024 energiamaksu on noin kolmikertainen verrattuna kesä-elokuun 2024 maksuun (kuva 4) - noin 121 €/MWh vs. noin 42 €/MWh. [3]



Kuva 4. Tuusulanjärven lämpö Oy:n energiamaksut kausittain Fiksulämpö-tuotteessa 1.1.2024 alk. [3]

Energiamaksu [€/MWh] kausittain Fiksulämpö-tuotteessa taloyhtiöille ja yrityksille



Kuva 5. Kaukolämmön hintojen muutokset taloyhtiöille Järvenpäässä 11/2022-11/2024. [3] ja [4].

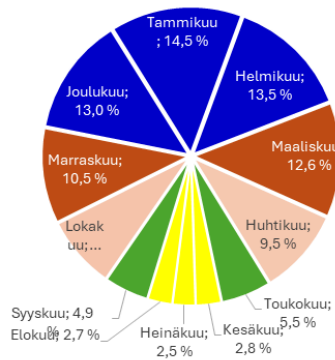
Fiksulämpö - perusmaksu

Perusmaksun teho-osuus perustuu asiakkaan käyttämään lämmitystehoon (kW). Tehomaksun perusteena on viimeisen 36 kk:n korkein kolmen tunnin keskiteho. Rakennustilavuusosuus perustuu käyttöpaikan rakennustilavuustietoihin. Rakennustilavuusmaksu on vähintään 85% teho-osuus maksusta. (Kuva 6). [3]

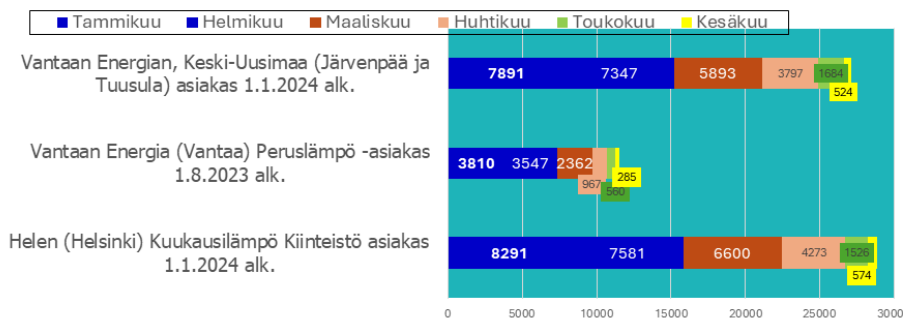
Alv 24 %	
Teho 1-160 kW	
Tehomaksu	61,43 €/kW
-	35,36 €
Rakennus-tilavuusmaksu*	0,3823 x m ³
Teho 161-400 kW	
Tehomaksu	35,36 €/kW
+	3 934,76 €
Rakennus-tilavuusmaksu*	0,5152 x m ³
Teho >400 kW	
Tehomaksu	18,61 €/kW
+	11 089,56 €
Rakennus-tilavuusmaksu*	0,7139 x m ³

Kuva 6. Kuvakaappaus. Kaukolämmön Fiksulämpö -perusmaksu, Tuusulanjärven lämpö, 1.1.2024 alk.; Otettu 13.8.2024. [3]

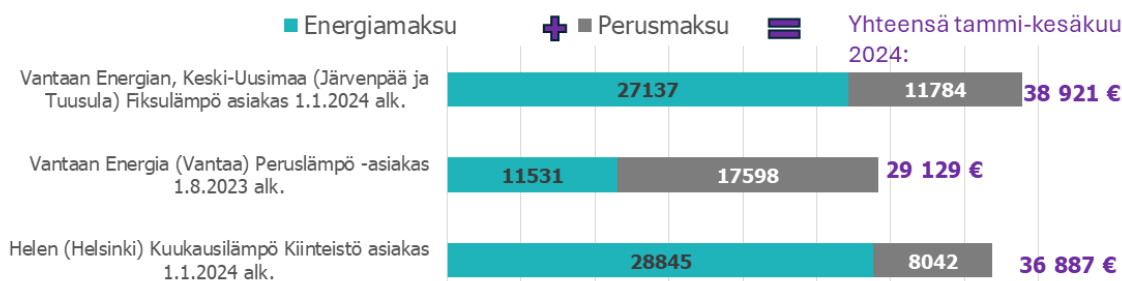
Normaalivuoden kaukolämmön
kulutusjakauma; Tietolähde: Energiateollisuus ry



Kaukolämmön **energiamaksun arvio [€/kk; Tammikuu-Kesäkuu 2024]**
esimerkkikerrostaloyhtiölle kulutuksella 450 MWh/vuosi



Taloyhtiön **kaukolämmön (KL) kokonaismaksujen arvio**



Kuva 7. Kaukolämmön kokonaismaksujen arvio taloyhtiöille - vertailussa kolme energiayhtiötä.

Taulukko 2. Tuusulanjärven lämmön kaukolämmön kausittaisen Fiksulämpö -tuotteessa energiamaksun muutoksen 11/2024 alkaen vaikutus energiamaksuun vuositasolla. [4]

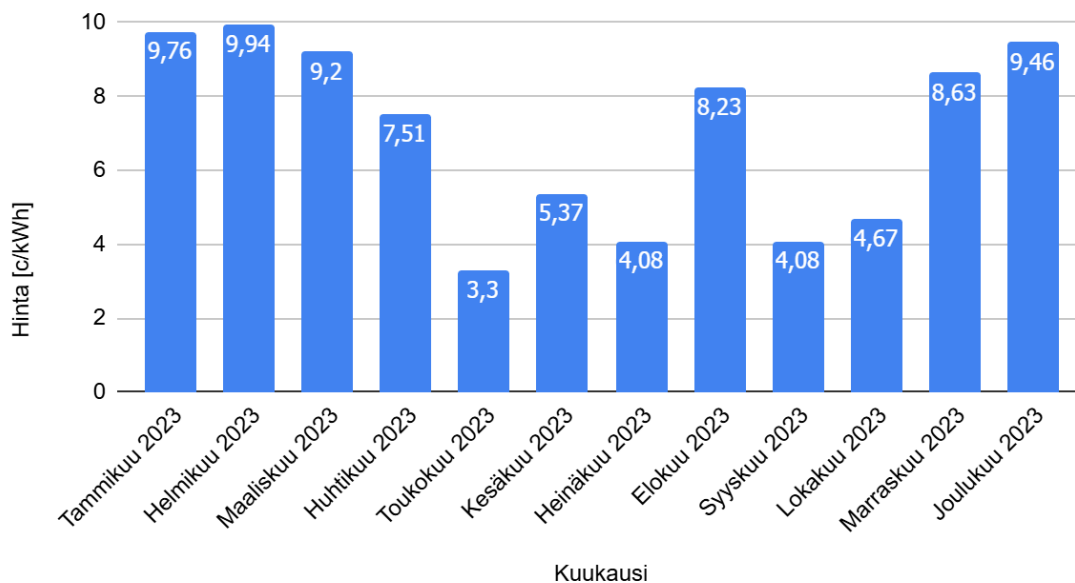
Kaukolämmön kulutus vuosittain [MWh/a]:		172					
	Kulutusosuus vuosittaisesta [%]	Kaukolämpö-energiankulutus [MWh/kk]		Energiamaksu Tuusulanjärven lämpö hinnaston mukaisesti [€/MWh]		Kulutusperusteinen KL energiamaksu [€]	
Tammikuu	14,5	25		1/2024 alk.	11/2024 alk.	1/2024 alk.	11/2024 alk.
Helmikuu	13,5	23	Joulukuu - Helmikuu	120,94	132,19	8529	9322
Maaliskuu	12,6	22	Maaliskuu ja Marraskuu	103,94	113,62	4130	4514
Huhtikuu	9,5	16	Huhtikuu ja Lokakuu	88,83	97,1	2674	2923
Toukokuu	5,5	9	Toukokuu ja Syyskuu	68,04	74,37	1217	1330
Kesäkuu	2,8	5	Kesäkuu - Elokuu	41,58	45,44	572	625
Heinäkuu	2,5	4	Yhteensä [€/a]:			17121	18715
Elokuu	2,7	5					
Syyskuu	4,9	8					
Lokakuu	8	14					
Marraskuu	10,5	18					
Joulukuu	13	22					

2.2 Sähkön hintoja simuloinneissa

Sähkön hinta vaikuttaa energian kokonaiskustannuksiin. Eri simulointitapaukset tuovat erilaisia vaikutuksia sähkönkäyttöön, toiset lisäten sähkönkulutuksen osuutta kulutetun energian kokonaisuudesta, toiset vähentäen sähkön osuutta ja nostaen kaukolämmön osuutta. Sähköenergian yksikköhinta kilowattitunnilta on eri arvoinen kuin kaukolämmön yksikköhinta. Joissakin tapauksissa voi käydä niin, että saavutetut säästöt kaukolämmön kulutuksessa voivat mitätöityä korotetulla sähkönkulutuksella, ja tehdä näin ratkaisusta kannattamattoman lisääntyneen energian kokonaishinnan johdosta.

BLOCKCC-simuloinneissa on käytetty lähtötietona Suomen sähkön spot-hintoja vuonna 2023 (kuva 8). Simuloinneissa sähkön kokonaishinnan laskemiseen spot-hintaan on lisätty Helen-energiayhtiön marginaali ja 24 % arvonlisävero (ALV). Huomioitavaa on, että ALV on muuttunut 1.9.2024 alk. 25,5%:ksi. Lisähuomiona on, että eri sähkönmyyntiyhtiöillä marginaali voi vaihdella ja että taloyhtiö voi valita vapaasti minkä sähkönmyyjän kanssa se tekee sähkön ostosopimuksen. Vertailun vuoksi mainittakoon, että kaukolämmön ja sähkönsiirron osalta tällainen vapaa valinta ei ole mahdollinen.

Hinta [c/kWh] vs. Kuukausi



Kuva 8. Suomen sähkön spot-hintoja 2023. [5]

Sähkön pörssihintoja voi seurata esimerkiksi:

- Nord Poolin verkkosivuilta
- Fingridin "Tuntihinta"-mobiilisovelluksesta
- Monien sähköyhtiöiden tarjoamista verkkopalveluista ja sovelluksista.

2.3 Investointikustannukset simuloinneissa

Eri ratkaisut tuovat mukanaan erilaiset lisäinvestointitarpeet. Voi käydä niin, että joku ratkaisu tuo merkittäviä säästöjä energiankulutuksessa ja vähentää päästöjä, mutta sen toteuttaminen vaatii merkittäviä lisäinvestointeja kohteen omistajille, mikä tekee ratkaisusta kannattamattoman.

Tässä raportissa kuvatuissa simuloinneissa on käytetty erilaisia investointien yksikköhintoja. Kaukolämmön paluuv veden hyödyntäminen lämmityksessä -tutkimustapauksissa on käytetty investointihintoja, joita on saatu tarjouspyyntöjen perusteella. Tätä tutkimustapausta on kuvattu luvussa 5.1 ja sen tuloksia osana kehitettyä konseptia luvussa 6.2. Kaukolämmön kulutusjousto -tutkimustapauksessa taas on käytetty Granlund Oy konsulttiyhtiön asiantuntijoilta saatuja investointien yksikköhintoja. Tätä tutkimustapausta on kuvattu luvussa 5.2 ja sen tuloksia osana kehitettyä konseptia luvussa 6.1.

2.4 Asuinkerrostalo tarkastelun kohteena

Kuten aiemmin on mainittu, Ainola sellaisenaan on liian iso alue simuloitavaksi, joten BLOCKCC -hankkeen alusta (1/2023) on aloitettu hahmottamaan tilannetta alueen rakennuttamisen etenemisestä. Muutaman rakennuksen kokonaisuuden rajausta oli tavoitteena. Tarkastelukohteeksi oli valikoitunut sellainen, josta on jo rakennustietoa, kuten esimerkiksi piirustuksia. Samoin oli toivottavaa, että tulevaan kohteeseen olisi jo tehty sopimus energiayhtiön kanssa liittämistä kaukolämpöverkkoon. Hartelan Aura kerrostalosta on muodostunut sellainen.

Asunto Oy Järvenpään Ainolan Aura sijaitsee Järvenpään Ristinummen kaupunginosassa korttelissa no. 2135 tontilla no. 2. Tontin pinta-ala on 1757 m² ja kaavan mukainen rakennusoikeus 3050 k- m². Pinta-ala: 2644 as-m². Asuntoja: 48. Ainolan Aura rakentuu valinnaiselle vuokratontille. Yhtiö käsittää asuinkerrostalon. Asuinrakennus on neli-kuusikerroksinen ja koostuu kahdesta porrashuoneesta. Rakennuksen energiatehokkuusluokka on A2018. [2]

Ainolan Aura kerrostalon perusrakenteita ja julkisivuja koskevia tietoja on esitetty taulukossa 3 ja talotekniikkaan liittyviä tietoja on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 3. Aura Ainola - rakenteet ja julkisivut [2].

Perustukset	betoniantureiden varaan maanvaraisesti teräsbetonipaalujen välityksellä.
Alapohja	betonirakenteisia, pääosin tuulettuvia
Yläpohja	kantavana rakenteena on betonirakenteinen ontelolaatta ja vesikatteena on konesaumattu pelti; vedenpoisto toteutetaan ulkopuolisella sadeveden poistolla
Välipohja	asuinrakennusten välipohjat ovat pääosin betonisia ontelolaattarakenteisia kuorielementtejä
Ulkoseinät	pääsääntöisesti betonirakenteisia sandwich-elementtejä tai kantavia
Julkisivu	uritettua betonia tai puupaneelia, parvekkeiden seinät ovat puupaneelia.
Väliseinät	Huoneistojen sekä huoneiston ja porrashuoneen väliset seinät ovat betonirakenteisia. Huoneiston sisäiset väliseinät ovat pääosin kevytrakenteisia kipsilevyseiniä
Ikkunat	Huoneistojen ikkunat ovat tehdasmaalattuja puu-alumiini -ikkunoita, joissa ulkopuite on maalattua alumiinia ja sisäpuite valkoiseksi maalattua puuta. Ikkunat varustetaan sälekaihtimin. Lisäksi osassa ikkunoista on matkapuhelinkuuluvuutta parantava rakenne, mikä saattaa näkyä kuviointina ikkunan reunassa.
Parveke- ja terassiovet	Parveke- ja terassiovet ovat yksilehtisiä puu-alumiiniovia. Parveke- ja terassiovet varustetaan sälekaihtimin.
Parvekkeet	lasitettuja, lattiapintana on parvekematto ja reunaalueilla betoni, kattopinnat ovat telattua betonia, kaiteet ovat metallirukoista lasia (Osassa huoneistoissa on ranskalainen parveke.)

Taulukossa 4 esitetään Aura Ainolan talotekniset ratkaisut. Asuinhuoneistojen lämmitys on toteutettu kaukolämpöön liitettyllä vesipatterilämmityksellä, ja kylpyhuoneissa sekä osin saunoissa on asuntokohtainen sähkötoiminen mukavuuslattialämmitys. Yleisissä tiloissa ja talosaunan pesuhuoneessa on vesikiertoinen patterilämmitys sekä sähköinen mukavuuslattialämmitys. Kiinteistö liitetään kunnan vesi- ja viemäriverkostoon, ja vedenkulutus mitataan huoneistokohtaisesti. Asunnoissa on huoneistokohtaiset lämmöntalteenotolla varustetut ilmanvaihtokoneet, jotka on kytketty yhtiön sähköön. Lisäksi asunnoissa on liesikuvun tehostusmahdollisuus. Sähköjärjestelmä liitetään alueelliseen sähköverkkoon, ja kiinteistöön asennetaan aurinkopaneelit. [2]

Taulukko 4. Aura Ainola - talotekniikka [2].

Lämmitys	Asuinhuoneistojen lämmitysmuotona on kaukolämpöön liitetty vesipatterilämmitys. Asunnon kylpyhuoneessa ja osin saunassa on sähkötoiminen mukavuuslattialämmitys, joka on liitetty asunnon sähkömittaukseen.
	Yleisissä tiloissa on vesikiertoinen patterilämmitys.
	Talosaunan pesuhuone varustetaan sähköisellä mukavuuslattialämmityksellä.
Vesi- ja viemärijärjestelmä	Yhtiö liitetään kunnan vesi- ja viemäriverkostoon.
	Sekä kylmän että lämpimän veden kulutuksen mittaus on huoneistokohtainen.
	Vesiputket asennetaan pääosin pinta-asenteisina ja osittain seinän sisälle.
Ilmanvaihto	Asunnoissa on lämmöntalteenotolla varustettu huoneistokohtainen ilmanvaihtokone, joka on kytketty yhtiön sähköön. Ilmanvaihtokone sijaitsee asunnon kylpyhuoneessa. Asunnon liesikuvussa on ilmanvaihdon tehostusmahdollisuus.
Sähköjärjestelmä	Yhtiö liitetään alueelliseen sähköverkkoon. Kiinteistö varustetaan aurinkopaneeleilla.

On kuitenkin huomattava, että BLOCKCC-hankkeessa Aalto-yliopiston tutkimuksissa päädyttiin simuloimaan kohdetta keskitetyillä porraskohtaisilla ilmanvaihtokoneilla, joissa tuloilman jälkilämmitys toteutetaan kaukolämmöllä. Tämä tarkoittaa, että hankkeen ilmanvaihtoa koskeva simulointimalli poikkeaa Taulukossa 4 esitetystä asuntokohtaisesta suunnitelmasta.

3. Alustavan konseptin kehityskulku

BLOCKCC-viiteryhmä A toimi yhteiskehittämisen ja markkinavuoropuhelun alustana ja kokoontui viisi kertaa. Kokouksissa kerättiin osallistujaorganisaatioiden toiveita simuloitaviin aiheisiin. Aalto-yliopisto toteutti hankkeessa kolme simulointitutkimusta. GNF tiedotti kokouksista ja osallistujista uutiskirjeillä hankkeen verkkosivulla [1].

3.1 Viiteryhmän A ensimmäinen kokous 4/2023

Ainolan alueen tarkastaelukohteen yhteiskehittämisen viiteryhmä A kokoontui ensimmäistä kertaa 4.4.2023 käsittelemään alueen energiaratkaisuja. Tilaisuuteen osallistui edustajia seuraavista organisaatioista: Hankkeen toteuttajat Green Net Finland, Metropolia AMK sekä Aalto-yliopisto ja muut organisaatiot Helsingin Seudun Ympäristöpalvelut HSY, Kymi-Solar oy, NollaE oy, Sähköinfo oy, Turku AMK sekä Vantaan Energia oy.

Aalto-yliopisto esitteli alustavia vaihtoehtoja tutkittavista teemoista, jotka ovat kaukolämmön kulutusjousto uudiskerrostalossa, rakennus- tai aluetason lämpövaraston hyödyntäminen kaukolämmön huipputehontarpeen vähentämiseksi ja jätelämmön hyödyntäminen rakennustasolla tai alueellisessa matalalämpötilaverkossa. Tuloksena saataisiin teho- ja energiantarpeet sekä energiavirrat rakennustasolla, energiakustannukset, elinkaarikustannukset ja energiankäytöstä johtuvat CO₂-päästöt.

Viiteryhmän kokouksessa mietittiin mahdollisia tapoja laskea taloyhtiön energiakustannuksia ja keskusteltiin Aalto yliopiston esittämien vaihtoehtojen pohjalta mahdollisista vaihtoehdoista, joita voidaan lähteä tarkemmin tutkimaan. Esitetyistä vaihtoehdoista tarkemman tarkastelun kohteeksi päätyi tässä vaiheessa kaukolämmön paluuveden lämmöntalteenotto. Kokouksessa todettiin, että jos paluuvirtaus jäähtyy, tämä olisi hyvä tekniikka, joka lisäisi koko järjestelmän hyötysuhdetta. [1]

3.2 Viiteryhmän A toinen kokous 10/2023

Ainolan alueen tarkastelukohteen yhteiskehittämisen viiteryhmä A kokoontui toista kertaa 3.10.2023 käsittelemään alueen energiaratkaisuja. Tilaisuuteen osallistui edustajia seuraavista organisaatioista: Green Net Finland, Aalto-yliopisto, Metropolia AMK, Vantaan Energia Oy, Kymi-Solar Oy, NollaE Oy, Residentia Oy, Sähköinfo Oy sekä Aalto- ja LUT-opiskelijoita.

Keskustelua simulointeihin liittyvistä ehdotuksista ja miten jatketaan -yhteenveto Kymi-Solar Oy HEC flow -tuotteen, jonka ominaisuuksina ovat:

- Sähköenergian kysyntäjousto
- Ottaa lämpöä kaukolämpöverkon paluuveden virtauksesta
- Kesällä tuottaa jäähdytystä
- Kaukolämpöyhtiölle hyöty jäähdytyksestä ilman erillisiä putkistoja
- Savukaasujen lämmöntalteenotto paranee ja sähköntuotantoa voidaan lisätä

HEC flow-ratkaisun esitys herätti kiinnostusta ja synnytti keskustelua [1]. Keskustelujen perusteella Aalto-yliopisto esitteli viiteryhmän simulointiehdotuksia, joita oli tuotu esiin kevään kokouksessa:

- Kaukolämmityksen kulutusjousto

- Kaukolämmön paluuveden käyttäminen kohteen lämmitykseen

3.3 Viiteryhmän A kolmas kokous 4/2024

Hankkeessa 17.4.2024 pidetty viiteryhmän A kokous oli järjestyksessään kolmas. Kokouksissa käydyistä keskusteluista ja pidetyistä esityksistä on kirjoitettu tämän tekstin tapaan uutisia, linkki näihin löytyy hankkeen kotisivuilta. [1]

Viiteryhmän A operointimallissa seuraava kokous jatkaa keskustelemaa yhteiskehittämistä siitä, mihin edellinen kokous jäi. Viiteryhmässä mietitään mahdollisia tapoja laskea taloyhtiön energiakustannuksia ja keskustellaan Aalto-yliopiston esittämien mallien pohjalta mahdollisista vaihtoehdoista, joita voidaan lähteä tarkemmin tutkimaan. Esitetyistä vaihtoehdoista tarkemman tarkastelun kohteeksi kokouksessa päättyi syksyllä 2023 kaukolämmön paluuveden käyttö Ainolan tarkastelukohteen lämmitykseen. Kokouksessa todettiin, että jos paluuvirtaus jäähtyy, tämä tekniikka lisäisi koko kaukolämpöjärjestelmän hyötysuhdetta. Toisen ja tämän kolmannen kokouksen välillä Aalto-yliopisto on toteuttanut simulointitutkimuksen.

Seuraavaksi BLOCKCC-hankkeen työ, joka liittyy viiteryhmän A yhteiskehittämiseen, keskittyy kulutusjoustoon ja maalämmön simulointiin Ainolan tarkastelukohteessa. Tavoitteena on, että Aalto-yliopisto toteuttaa suunnittelut simuloinnit vuoden 2024 loppuun mennessä. Tutkimustulosten valmistuttua on suunnitelmissa pitää seuraava (ja viimeinen) viiteryhmän A kokous. [1]

3.4 Viiteryhmän A neljäs kokous 11/2024

Ainolan alueen tarkastelukohteen yhteiskehittämisen viiteryhmä A kokoontui neljättä kertaa 20.11.2024 käsittelemään uusia simulointituloksia. Tilaisuuteen osallistui edustajia seuraavista organisaatioista: Green Net Finland (GNF), Aalto-yliopisto, Metropolia AMK, Vantaan Energia Oy, Kymi-Solar Oy, Action Energy Finance, Equa Simulation Finland oy, Tampereen yliopisto ja Helen. [1]

Aalto-yliopisto esitteli tilaisuudessa Ainola-kerrostalon simulointituloksia. Simuloinneissa vertailtiin erilaisten kaukolämmön kulutusjoustoratkaisujen taloudellista kannattavuutta kiinteistön omistajan näkökulmasta.

3.5 Viiteryhmän A viides kokous 1/2025

Ainolan alueen tarkastelukohteen yhteiskehittämisen viiteryhmä A kokoontui viidettä kertaa 29.1.2025 käsittelemään uusia simulointituloksia. Tilaisuuteen osallistui edustajia seuraavista organisaatioista: Green Net Finland (GNF), Aalto -yliopisto, Metropolia AMK, Helen Oy, Kymi-Solar Oy, Alajärven kunta, Suomen ympäristökeskus Syke, NollaE Oy, Kymi-Solar Oy sekä Suomen lämpöpumppuyhdistys ry. [1]

Aalto-yliopisto esitteli tilaisuudessa Ainola-kerrostalon simulointituloksia. Tarkastelussa oli Järvenpäässä sijaitsevan kaukolämpöön liitetyn uudiskerrostalokohteen mahdolliset maalämpöratkaisut.

Tiivistettynä viiteryhmän A työkulku:

Ensimmäisessä kokouksessa (4/2023) käsiteltiin Ainolan alueen energiaratkaisuja.

Aalto-yliopisto esitteli alustavia tutkimusaiheita, kuten kaukolämmön kulutusjoustoa, lämpövarastointia ja jätelämmön hyödyntämistä. Osallistujat pohtivat energiakustannusten laskemista ja päätyivät tarkastelemaan kaukolämmön paluuveden lämmöntalteenottoa.

Toisessa kokouksessa (10/2023) jatkettiin simulointiehdotusten käsittelyä. Kymi-Solar Oy esitteli HEC flow -ratkaisuaan, joka herätti kiinnostusta. Aalto-yliopisto esitteli simulointiehdotuksia kaukolämmityksen kulutusjoustosta ja paluuveden hyödyntämisestä lämmitykseen.

Kolmas kokous (4/2024) jatkoi edellisten kokousten teemoja. Syksyllä 2023 tarkempaan tarkasteluun valittu kaukolämmön paluuveden käyttö Ainolan lämmitykseen oli edelleen keskiössä. Aalto-yliopisto oli toteuttanut aiheesta simulointitutkimuksen. Seuraavaksi suunniteltiin kulutusjouston ja maalämmön simulointia, joiden tulosten pohjalta pidettäisiin viimeinen viiteryhmän A kokous vuoden 2024 loppuun mennessä.

Neljännessä kokouksessa (11/2024) Aalto-yliopisto esitteli Ainola-kerrostalon simulointituloksia, joissa vertailtiin erilaisten kaukolämmön kulutusjoustoratkaisujen taloudellista kannattavuutta.

Viidennessä kokouksessa (1/2025) Aalto-yliopisto esitteli Ainola-kerrostalon maalämpöratkaisujen simulointituloksia.

4. Simulointiohjelmisto IDA ICE 5.0

IDA Indoor Climate and Energy on edistysellinen simulointiohjelma, joka nostaa rakennusten energiatehokkuuslaskennan uudelle tasolle. Se mahdollistaa tarkan mallinnuksen rakennuksista ja niiden järjestelmistä, mikä takaa vähäisen energiankulutuksen ja hyvän asumisviihtyvyyden. [6]

IDA ICE on käyttöliittymä, jonka fysikaaliset mallit pohjautuvat viimeisimpään tutkimustietoon ja parhaimpiin saatavilla oleviin malleihin. IDA ICE käyttöliittymän avulla on helppoa rakentaa ja simuloida sekä yksinkertaisia että monimutkaisia malleja. Ulos saadaan taulukkomuotoista ja 3D graafista palautetta. BIM-mallien tuonti ja versionhallinta tekevät työskentelystä tehokkaampaa. IDA ICE tuo kaikki yleiset 2D ja 3D CAD-tiedostot ja tukee IFC malleja jotka on luotu esim. ArchiCAD, Revit, AutoCAD Architecture tai MagiCAD ohjelmistoilla. Yhtälöihin perustuva mallinnus joka käyttää Modelican kaltaista formaattia Neutral Model Format:ia (NMF) tekee helpoksi laajentaa ohjelmistoa uusilla mallinnustyökaluilla joko itse tai EQUA:n ammattilaisten toimesta. Käyttäjä voi tutkia jokaisessa

vyöhykkeessä noin tuhatta eri lämpötilaa, lämpövirtaa, CO₂-pitoisuutta, säätösignaalia ym. muuttujaa. Modernin yleiskäyttöisen aika-askel ratkaisijan etuna komponenttipohjaisiin simulointiohjelmiin verrattuna on, että se mukautuu automaattisesti ongelman luonteeseen. Muuttujien toleranssien valinnalla voidaan tehokkaasti eliminoida numeerisia virheitä ja nähdä, miten yhtälöt todella käyttäytyvät – vaikka tarvittaisiin sekuntikohtaista tarkastelua. [6]

IDA ICE on uudentyyppinen simulointiohjelma, joka vie rakennusten energiatehokkuuslaskennan uudelle tasolle. Sen avulla voidaan mallintaa tarkasti rakennus ja sen järjestelmät sekä säätölaitteet. Samalla varmistetaan mahdollisimman pieni energiankulutus ja paras asumisviihtyvyys.[6]

IDA ICE:a on kaksi versiota: perus ja Expert. Perusversion hintaan ei sisälly laajennuksia, kun taas Expert-versio sisältää seuraavat kolme lisäosaa: BIM-tuonti, Parannettu ikkunamalli, Lattijäähdytys ja -lämmitys [6].

4.1 Vyöhykemallit (Zone model)

Vyöhykemenetelmään perustuen IDA ICE käsittelee jokaista vyöhykettä homogeenisena tilavuutena, jossa suuret, kuten lämpötila, paine ja pitoisuus, edustavat koko vyöhykettä. Vyöhykkeet (myös solmut) edustavat esimerkiksi huonetta, rakennuskomponenttia tai lämpö- ja kontaminaatiokuorma. Jokaiselle näistä solmuista fyysiset ilmiöt on ratkaistu erikseen. [7]

Tällä hetkellä IDA ICE:ssä on toteutettu kaksivyöhykemalleja:

1. Yksinkertaisempi energiamalli (CESIMZON) ja
2. Yksityiskohtaisempi ilmastomalli (CEDETZON).

Tärkein ero näiden kahden mallin välillä on, että energiamallissa pitkäaaltosäteily mallinnetaan keskimääräiseen säteilylämpötilaan ja jakautuu pinta-alojen perusteella. Lyhytaalto säteily on myös jakautunut pinta-alan mukaan, mutta painotettu niiden vastaavilla absorptiokerroimilla. Lisäksi tämä malli yksinkertaistaa kaikkia sisäisiä (adiabaattisia) rakenteita ja lämpömassat (huonekalut) yhdeksi aktiiviseksi lämpökapasiteetiksi. CHTC:t on vain laskettu ulkorakenteet, ikkunat ja lämmitettävät/jäähdytetyt pinnat. Sisärakenteille, CHTC on käyttäjän syöttämä parametri. (Bring et al., 1999) [7]

4.2 Ulkovaipan mallit

4.2.1 Ikkunamallit

Ikkunat voidaan mallintaa kahdella tavalla: yksinkertaistettu malli (CEWIND) ja yksityiskohtainen malli (DETWIND) perustuu ISO 15099:2003:een. Seuraavassa on vain yksityiskohtainen malli kuvattu. Tämä malli käyttää ruutu ruudulta -mallia, joka laskee kaiken lämmön ja optisen

ikkunan ominaisuudet yksittäisten lasien ja onteloiden kaasutäytteiden perusteella. Tällöin myös ikkunan kulmasta riippuvat optiset ominaisuudet lasketaan huomioon ottaen useita heijastuksia ja jokaisen ruudun auringonpoisto. Lisäksi jopa lasien lämpökapasiteetti otetaan huomioon. Koska ISO 15099:2003 ei kata kulmasta riippuvia ominaisuuksia yksiruutuisista ikkunoista (pinnoitetut ja pinnoittamattomat), nämä lasketaan perustuen ASHRAE Fundamentals 1997 ("Fresnel-yhtälö") (Hilliaho, 2017). Lisäksi, jos kaikki käytetty lasi laseilla ja aurinkovarjoilla on määritelty spektritiedot, joille lasketaan optiset ominaisuudet jokainen aallonpituus, jotka sitten integroidaan keskiarvoihin standardin EN 410 (EQUA Simulaatio AB, 2018). Varjostus rakennuksista tai kiinteistä eväistä lasketaan WINSHADEssa ikkunaan liittyvät varjostukset, kuten sälekaihtimet, lasketaan ikkunamallissa. [7]

4.2.2 Seinämallit

Saatavilla on neljä seinämallia: RCWall, fdwall, BDFWaldwall ja Adwall.

RCWall käyttää RC-verkkomalli seinän käyttäytymisen laskemiseksi. Näin ollen materiaalikerrokset ovat vähennetty kolmeen (joskus kahteen) solmuun optimoimalla parametreja, kuten lämpökapasiteetti at eri solmut, solmujen välinen vastus ja sivujen vastus. Tämä malli lyhentää laskenta-aikaansa ja tarkkuus tunnetaan, kun taas haittana on, että siitä puuttuu fyysisesti mielekkäitä lämpötiloja seinän sisällä.

Adwall on perustuu RCWalliin ja sitä käytetään adiabaattisiin sisäseiniin, joissa lämmönsiirto voi tapahtua laiminlyöty (Bring et al., 1999).

fdwall ja BDFWall ovat monikerroksisen komponentin äärellisiä eromalleja. Jokainen materiaalikerros diskretoidaan siten n lukumäärään kerroksia ja seuraa ketjua sarjassa kytketyt lämpökapasiteetit ja lämpövastukset lasketaan. Erona on se BDFWall käyttää FORTRAN-alirutiinia numeeriseen integrointiin käyttämällä implisiittistä taaksepäin Euler-menetelmä tai keskipistemenetelmä, joilla molemmilla on korkea numeerinen stabiilisuus. Oletuksena IDA ICE käyttää käänteistä Euler-menetelmää. Seinien oletusmalli on BDFWall seinille lämmönsiirrolla ja Adwall seinille ilman. [7]

4.3 Ilmavirran komponenttimallit

IDA ICE:ssä on täysin integroitu ilmavirtaverkkomalli. Komponentit kahden vyöhykkeen välillä tai yksi vyöhyke ja ympäristö voivat olla vaaka- ja pystysuorat aukot, vuodot ja syöttö ja poistoilmaterminaa.

4.3.1 Suuret pystysuorat aukot - CeIVO-malli

Kahden vyöhykkeen välisen kaksisuuntaisen ilmavirran laskemiseen käytetty malli (CeIVO) perustuu Bernoullin yhtälöön, jossa aukko-yhtälö on hallitseva yhtälö (Hayati et al.,

2016).

CelVO-mallissa otetaan huomioon kaksi erilaista virtausprofiilia:

- vino profiili, jos tiheys vaihtelee vyöhykkeiden välillä
- tasainen profiili, jos tiheys on sama

Vinoprofiileissa massavirta riippuu tasosta, jolla paineet ovat yhtä suuret (neutraali taso). Paine-ero ylä- ja alaosassa, jotka ovat erikseen massavirrat kumpaankin suuntaan aukon läpi voidaan laskea riippuen profiilin muodosta. Lopuksi nettomassavirta, nettolämpövirta, nettomäärä jakeen kuljetuksen ja kosteuden siirrosta lasketaan. Yksityiskohtaiset yhtälöt on annettu julkaisussa Bring et al., 1999 kohdassa Large Vertical Openings. Tämän julkaisun yhtälöt ovat Perustuu van der Maasiin, 1992.

4.3.2 Suuret vaakasuorat aukot - CelHO-malli

Kaksisuuntainen virtaus suuren vaakasuuntaisen suorakaiteen muotoisen aukon (CelHO) läpi mallinnetaan perustuen tiheyteen sekä paine-eroon aukon ylä- ja alapuolella. Molemmat erot lasketaan, paine-eroista johtuva massavirta lasketaan. Tiheyserojen avulla määritetään tilavuusvirta. Lopuksi molemmat virrat ovat tottuneet laskea kokonaismassavirta, konvekoitu lämpö, konvekoitu epäpuhtausosuus ja konvekoitu kosteusfraktio.lit (Bring et al., 1999; Hilliaho, 2017). Nämä komponentit näkyvät ilmavirtausreiteinä ja yhdistä erilaiset ohjaustilavuudet idealisoiduksi kokoelmaksi (Axley, 2001). IDA ICE laskee siten ilmavirran paine-erojen perusteella yhdistetyt vyöhykkeet tai vyöhyke ja ympäristö. Paine-erojen vuoksi lämpötilaerot ja tuuli otetaan huomioon. [7]

Suuria pystysuoraa aukkoa ovat esimerkiksi sisä- tai ulko-ovet, ovettomat aukot ja avattavat ikkunat. Ne voidaan sijoittaa ulkoseinille ulospäin ja kahden vyöhykkeen välissä. Vyöhykkeitä yhdistäviin kattoihin voidaan sijoittaa suuret vaakasuorat vyöhykkeet mutta myös kattoihin. Kaikkien aukkojen ja ikkunoiden Cd-arvo (oletus on 0,65) voi olla päättänyt. [7]

4.3.3 Vuotokomponentit

IDA ICE:ssä tunkeutumisen laskemiseen käytetään erilaisia CeLeak kaksisuuntaisia tunkeutuminen vyöhykkeiden ja ympäristön välillä sekä kahden vyöhykkeen välillä. Yksisuuntaiselle tunkeutumisesta, käytetään MLeakia. Vyöhykkeiden ja ympäristön välinen tunkeutuminen voi määritellä yleiseksi tunkeutumiseksi koko rakennukselle, mutta myös jokaiselle vyöhykkeelle erikseen.

Kahden vyöhykkeen välillä määritetään yksittäiset vuodot jokaiselle pinnalle, jonka oletetaan olevan on vuoto. Siten se voidaan valita "paineohjatun virtauksen" (CeLeak) välillä, joka määritellään vuotoalueella 4 Pa:ssa ($Cd=1$) tai tehoklikertoimella tai "annetulla (paineella) riippumaton)(MLeak) flow", joka määritellään yksisuuntaisella virtauksella (l/s) ja aikataululla.

Massavirta määräytyy paine-erosta riippuvana, asennosta riippumatta- vyöhykkeen ja ympäristön tai kahden vyöhykkeen välillä. Molemmille vuotokomponenteille energiaa siirto, suojaisuus ja kosteus lasketaan myös.

Edellä mainittu ekvivalenttinen vuotoalue on rakenteen ja kaikkien halkeamien kokonaispinta-ala on laskettu Charlesworthin (1988) mukaan. [7]

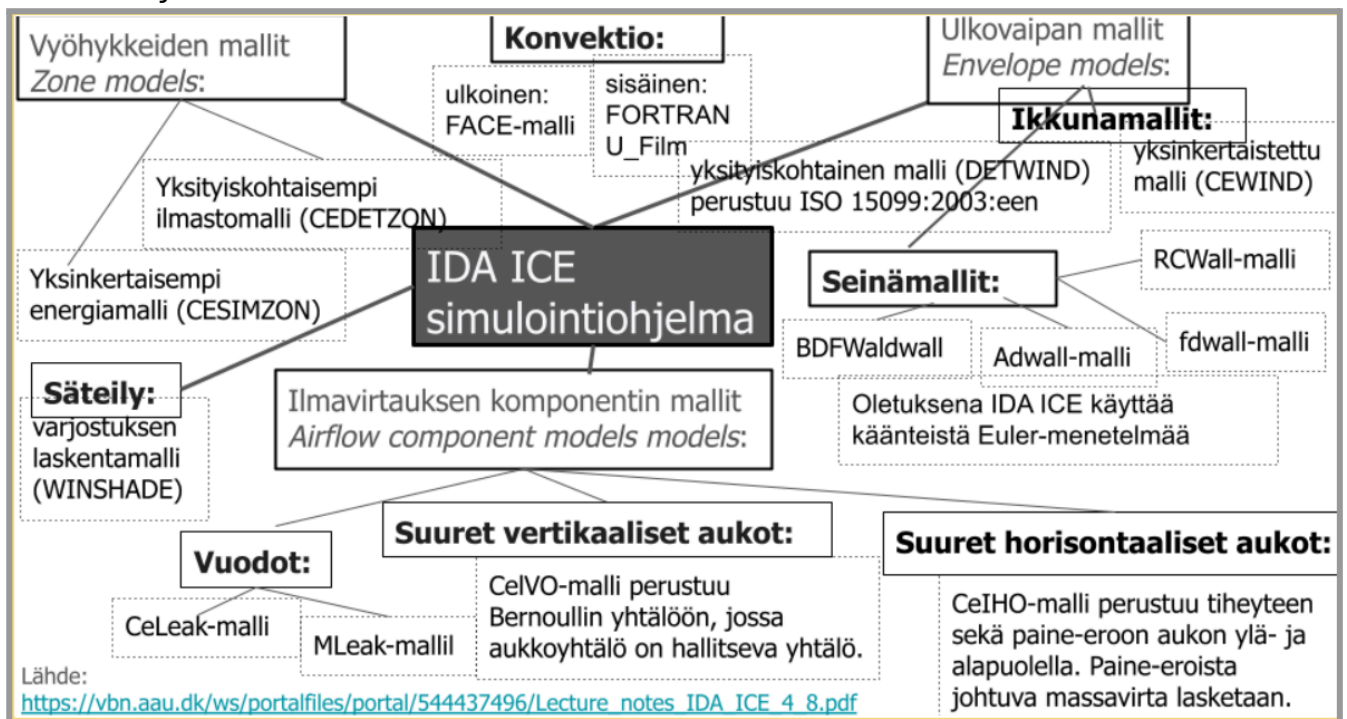
4.4 Säteilymallinnus

Jokaiselle objektille, kuten ikkunalle, on olemassa yksi varjostuksen laskentamalli (WINSHADE).

Tämä malli, varjostus ulkoisista kohteista (rakennus, ulkoinen varjostus) vastaaville pinta/objekti syntyy sekä suoraa että hajasäteilyä varten. Siten hajaantuu taivaalta tuleva säteily varjostetaan, mutta maasta tuleva heijastus otetaan aina huomioon ei saa varjostaa mikään ulkoinen esine. Koko ikkuna tai aukko pidetään lähteenä eikä vain osana, joka on todellinen lähde. Intensiteetti on mukautettu vastaavasti. Sen ensimmäisen heijastuksen jälkeen läpinäkymättömältä pinnalta myös suora säteily on hajanaisesti levinnyt. Siten samalla tavalla kuin ikkunoiden tai aukkojen kohdalla koko pintaa käsitellään lähteenä. Tämä mallinnus sopii sekä sisä- että ulkokäyttö

komponentteihin (EQUA Simulation AB, 2018). [7]

Alla olevassa Kuvassa 9 esitetään visuaalinen kokonaiskuva IDA ICE -simulointiohjelmasta, tuoden esiin sen laajan toiminnallisuuden.



Kuva 9. IDA ICE simulointiohjelman kokonaisuuden visualisointi.

Tiivistelmä IDA ICE:n vyöhyke-, ulkovaippa-, ilmavirta- ja säteilymalleista:

Vyöhykemallit (Zone model): IDA ICE käsittelee tiloja homogeenisina vyöhykkeinä, joissa esimerkiksi lämpötila on yhtenäinen. Fyysiset ilmiöt ratkaistaan erikseen jokaiselle vyöhykkeelle (esim. huone, rakennusosa). Ohjelmassa on kaksi päämallia: yksinkertaisempi energiamalli (CESIMZON) ja yksityiskohtaisempi ilmastomalli (CEDETZON), jotka eroavat muun muassa pitkä- ja lyhytaaltosäteilyn sekä sisä rakenteiden käsittelyssä.

Ulkovaipan mallit:

- **Ikkunamallit:** Tarjolla on yksinkertaistettu (CEWIND) ja yksityiskohtainen (DETWIND, ISO 15099:2003) malli. Yksityiskohtainen malli laskee ikkunan lämpö- ja optiset ominaisuudet lasikerroksittain, huomioiden kulmasta riippuvat ominaisuudet ja auringonpoiston.
- **Seinämallit:** Neljä vaihtoehtoa: RCWall (RC-verkkomalli nopeaan laskentaan, vähemmän fyysisiä lämpötiloja), Adwall (RCWall adiabaattisille seinille), fdwall ja BDFWall (äärellisten erojen mallit monikerroksisille rakenteille, BDFWallilla parempi numeerinen stabiilius). Oletuksena lämmönsiirtoon käytetään BDFWallia ja ilman Adwallia.

Ilmavirran komponenttimallit: IDA ICE:ssä on integroitu ilmavirtaverkkomalli, joka laskee ilmavirtoja vyöhykkeiden välillä ja ympäristöön aukkojen (vaaka- ja pystysuorat), vuotojen sekä ilmanotto- ja poistolaitteiden kautta. Suurille pystysuorille aukkoille (CeIVO) käytetään Bernoullin yhtälöön perustuvaa mallia, joka huomioi tiheyserot. Suurille vaakasuorille aukkoille (CeHO) mallinnus perustuu tiheyteen ja paine-eroon. Vuotoja (CeLeak, MLeak) mallinnetaan paineohjatusti tai kiinteänä virtauksena.

Säteilymallinnus: WINSHADE-malli laskee ulkoisten esteiden (rakennukset, varjostimet) aiheuttaman varjostuksen suoralle ja hajasäteilylle ikkunoille ja muille pinnoille. Myös epäläpinäkyvien pintojen ensimmäinen heijastus huomioidaan. Koko pinta käsitellään säteilylähteenä.

5. Kehitysnäkökulmia - kaukolämmön paluuveden hyödyntäminen, kulutusjousto ja maalämpö-kulutusjousto

Tässä luvussa esitetään tiivistetysti simuloituja ratkaisuja Ainola -tarkastelualueelle.

5.1 Kaukolämmön paluuveden hyödyntäminen

Kaukolämmön paluuveden käyttö rakennuksen lämmityksessä on yhtenä tutkimusaiheena BLOCKCC-hankkeessa. Tavoitteena on selvittää:

- Apulämmityksen tarve, kun päälämmitys kaukolämmön paluuviedellä?
- Paluuviesilämmityksen investoinnit ja käyttökustannukset verrattuna perinteiseen kaukolämmitykseen?
- Millainen hinnoittelumalli tekisi kaukolämmön paluulämmön hyödyntämisestä taloudellisesti kannattavaa uudessa asuinkerrostalossa? [8]

Toteuttajana on Aalto-yliopisto. Tutkimus on toteutettu IDA ICE 5.0 simulointiohjelmalla.

Paikallisesta kaukolämpöverkosta mitatulle paluuvien lämpötilalle tehtiin sovite ulkolämpötilan suhteen. Tapaukset simuloitiin 55/50°C lämpötilakäyrällä. Lisätarkastelu 45/40 lämpötilakäyrällä, joka kuvaa tavallisempaa lämpötilatasoa.

Kannattavuuteen liittyen laskettiin korollinen takaisinmaksuaika lisäinvestoinneille tavanomaiseen kaukolämmitykseen verrattuna kaavalla. Sisäinen korkokanta, eli investoinnista saatava tuotto, kun alennus kaukolämmön paluuvien energiasta ja tehomaksusta, on 50% kaavalla. Reaalikorko 3%. Eskalaatio 2%. Sähkön spot-hinta vuodelta 2023 plus Helen marginaali plus ALV 24%.

Investointikustannukset tarjouspyyntöjen perusteella.

Kaukolämmön menoveden energiahinta + tehomaksu Tuusulanjärven lämmön fiksulämpö hinnaston mukaisesti. Perusmaksun rakennustilavuusosuus hinnaston mukaisesti, vähintään 85% suuremmasta tehomaksusta. Kaukolämmön paluuvien energiahinta + tehomaksu = fiksulämpö hinnasto $\cdot (1 - \text{alennusprosentti})$.

Tutkitut tapaukset (yhteensä 8 kpl) on esitetty taulukossa 5 alla.

Taulukko 5. Tutkitut tapaukset kaukolämmön paluuvien hyödyntäminen -ratkaisussa.

1	Ref. DHSW Rad. 60/30	Referenssi, Normaali menovesilämmitys, radiaattori (rad.) 60/30
2	Ref. DHSW Rad. 45/30	Referenssi, Normaali menovesilämmitys, rad. 45/30
3	DHRW+HP Rad. 60/30	Paluuviesilämmitys ja paluuviesilämpöpumppu, rad. 60/30
4	DHRW+HP Rad. 45/30	Paluuviesilämmitys ja paluuviesilämpöpumppu, rad. 45/30
5	DHRW+EB Rad. 60/30	Paluuviesilämmitys ja sähkökattila, rad. 60/30
6	DHRW+EB Rad. 45/30	Paluuviesilämmitys ja sähkökattila, rad. 45/30
7	DHR+SW Rad. 60/30	Paluuviesi- ja menovesilämmitys, rad. 60/30
8	DHR+SW Rad. 45/30	Paluuviesi- ja menovesilämmitys, rad. 45/30

Tulokset:

- Vuosittainen lämmitysenergian kulutus.
- Kaukolämmön menoveden lisälämmitysenergian tarve kaukolämmön paluuviesikäytössä.
- Kaukolämmön paluuviesikäytön apulämmityksen (sähkökattila/lämpöpumppu) vaikutus sähkönkulutukseen.

5.2 Kaukolämmön kulutusjousto

Kulutusjoustolla tarkoitetaan energiankäytön optimointia siten, että energian käyttöä siirretään pois kulutuspiikkeistä.

BLOCKCC-hankkeessa on simuloitu kulutusjouston seuraavat vaihtoehdot:

- Keskitetty kulutusjousto (KKJ), mikä tarkoittaa kaukolämmön menoveden (KLMV) lämpötilan ohjausta.
- Hajautettu kulutusjousto (HKJ), mikä tarkoittaa tilojen lämpötilan ohjausta.
- Tehopiikkien madaltaminen lämminvesivaraajan (LVV) avulla.

Simulointeihin on käytetty IDA ICE 5.0 dynaamista ohjelmistoa. Tutkimukseen on kehitetty **kiinteistökohtaisen lämmönjakokeskuksen (KKLJK:n) simulointimalli**, joka on mahdollistanut lämmityspiirikohtaisen tarkastelun, lämminvesivaraajan (LVV:n) simuloinnin ja eri kulutusjoustoratkaisujen vaikutusten analysoinnin. Tuloksina on saatu sähkön ja kaukolämmön tunnittainen energiakulutus ja huonelämpötilat. [9]

Kulutusjoustosimulointeihin liittyvät energiajoustoindikkaattorit on kuvattu taulukossa 6.

Kannattavuuslaskelmissa on käytetty:

- Tuusulanjärven Lämpö Oy:n kaukolämpöhinnoista 1.1.2024 alk.
- Sähkön spot-hinta (SSH) simulointijaksolle, plus paikallisten toimijoiden marginaalit ja siirtohinnot sekä verot.
- ALV 24 %
- Energian hinnan reaalikorko ($r_e = 3\%$) laskettu olettaen inflaatio 1,9 % ja energian hinnan nousu 2 %. [9].

Eri ratkaisujen vaatimille lisäinvestoinneille on laskettu diskontattu takaisinmaksu aika (N) yksikkökustannusten perusteella (yksikköhinnat on saatu Granlund Oy:n asiantuntijoilta. [9].

Taulukko 6. Kulutusjoustosimulointeihin liittyvät energiajoustoindikkaattorit.

Kysymykset:	Tehojousto:	Lataus- ja purkujaksojen energiat:
Mitä kuvaa?	Kuvaa rakennuksen kykyä ladata ja purkaa lämpöä.	Kuvaa rakennuksen kykyä varastoida lämpöenergiaa.
Miten lasketaan?	Lasketaan tunnittaisen tehontarpeen erotuksena referenssitapaukseen verrattuna lataus-(P+) ja purkujaksoille(P-).	Lasketaan lataus-(q+) ja purkujaksojen(q-) energiamäärät.

5.2.1 Kulutusjousto tilalämmityksessä

Taulukko 7: Keskitetyn ja hajautetun kulutusjoustop ominaisuudet tilalämmityksessä

<i>Kysymykset:</i>	<i>Keskitetty kulutusjousto-ohjaus:</i>	<i>Hajautettu kulutusjousto-ohjaus:</i>
Mitä ohjaa?	Lämmitysverkoston menoveden lämpötilaa	Huonelämpötilan asetusarvoa
Latausjakso -asia?	Ei mahdollista latausjaksoja huonetermostaattien johdosta	Mahdollistaa latausjaksot nostamalla huonelämpötilaa
Rajoituksia?	Ohjaus rajoitettu kylmimpien tilojen lämpötilan perusteella	Edellyttää IoT-termostaattiventtiilit

5.2.2 Tehopiikkien madaltaminen lämminvesivaraajalla (LVV)

Tehopiikkien madaltaminen lämminvesivaraajalla tarkoittavan toimenpiteitä, joilla pyritään vähentämään sähköverkon tai lämmitysjärjestelmän lyhytaikaisia, suuria tehonkulutuspiikkejä käyttämällä lämminvesivaraajaa (LVV) joustavana kuormana.

Tämä voidaan saavuttaa ohjaamalla lämminvesivaraajan toimintaa siten, että sen lämmitystä ajoitetaan ajankohtiin, jolloin sähkön tai lämmön kysyntä on alhaisempaa, tai rajoittamalla sen hetkellistä tehonkulutusta. Taulukko 8 avaa vakiotehoisen ja dynaamisen lämminvesivaraajan (LVV) latauksen keskeisiä ominaisuuksia, erityisesti niiden soveltuvuutta tehopiikkien madaltamiseen.

Taulukko 8: Vakiotehoisen ja dynaamisen latauksen ominaisuudet lämminvesivaraajalla

<i>Kysymykset:</i>	<i>Vakioteholataus (VTL):</i>	<i>Dynaaminen lataus (DL):</i>
Mikä on tavoite?	Tasata lämpimän käyttöveden (LKV) lämmitystehoa	Leikata lämpökeskuksen huipputehoa LKV:n lämpötilaa ja olosuhteita vaarantamatta
Minkälainen on latauksen tehon rytmi?	Ladataan lämminvesivaraajan (LVV:n) säiliötä vakioteholla 24/7	Latausteho 18 tunnin latausajan mukaan
Miten latausta rajoitetaan?	Rajoitus kaukolämmön paluuv veden (KLPV:n) lämpötilan perusteella	Rajoitus kiinteistökohtaisen lämmönjakokeskuksen (KKLJK) kokonaistehon perusteella

Tehopiikkien madaltaminen lämminvesivaraajalla tutkitut tapaukset (yhteensä 18 kpl) on kuvattu taulukossa 9:

- kolme referenssitapausta eri lämmityksen asetusarvoille asuintilossa ja toissijaisissa tiloissa
- kaksi tapausta keskitetylle ohjaukselle
- neljä tapausta hajautetulle ohjaukselle laskettuna eri marginaaliarvoille (M7, M15, M35 ja M75); (*Huom.! marginaaliarvosta tarkemmin on kirjoitettu Luvussa 7*)
- kaksi tapausta hajautetulle ohjaukselle samalla M7 marginaaliarvolla ja eri asetusarvoille toissijaisissa tiloissa (max +2/min -1 ja max +2/min -2)
- kaksi tapausta hajautetulle ohjaukselle tehonrajoituksella max +2/min -2 lämpötila-asetuksella toissijaisissa tiloissa
- viisi lämminvesivaraajalla tapausta, joista:
 - kolme tapausta vakioteholatauksella
 - kaksi tapausta dynaamisella latauksella

Taulukko 9. Tehopiikkien madaltaminen lämminvesivaraajalla tutkitut tapaukset.

Tapaus	CS Marginaali [€/MWh]	Kulutus- jousto- metodi	Tehon- rajoitus P_{TOT}	LVV- lataus	Lämmityksen asetusarvot: Asuintilat			Lämmityksen asetusarvot: Toissijaiset tilat			$\Phi_{SH, norm}$ [%]
					min [°C]	norm. [°C]	max [°C]	min [°C]	norm. [°C]	max [°C]	
Ref1 21/17	-	-		-	-	21	-	-	17	-	-
Ref2 20/17	-	-		-	-	20	-	-	17	-	-
Ref3 20/15	-	-		-	-	20	-	-	15	-	-
Centr. $\Phi_{rad, -80\%}$	-	KKJ		-	20	21	-	-	-	-	-80
Centr. $\Phi_{rad, -80\%}$ Not occ.	-	KKJ		-	20	21	-	-	-	-	-80
Decentr. M7	7	HKJ		-	20	21	23	-	17	-	-
Decentr. M15	15	HKJ		-	20	21	23	-	17	-	-
Decentr. M35	35	HKJ		-	20	21	23	-	17	-	-
Decentr. M75	75	HKJ		-	20	21	23	-	17	-	-
Decentr. M7 SSDR +2/-1	7	HKJ		-	20	21	23	16	17	19	-
Decentr. M7 SSDR ± 2	7	Hajautett u		-	20	21	23	15	17	19	-
Decentr. M7 + Lim	7	Hajautett u	x	-	20	21	23	-	17	-	-
Decentr. M7 SSDR ± 2 + Lim	7	Hajautett u	x	-	20	21	23	15	17	19	-
DHW tank, CC	-	-		Vakio	-	21	-	-	17	-	-
DHW tank, CC + M7	7	Hajautett u		Vakio	20	21	23	-	17	-	-
DHW tank, CC + M7 + Lim	7	Hajautett u	x	Vakio	20	21	23	-	17	-	-
DHW tank, DC	-	-		Dyn.	-	21	-	-	17	-	-
DHW tank, DC + M7 + Lim	7	Hajautett u	x	Dyn.	20	21	23	-	17	-	-

5.3 Maalämpö-kulutusjousto

BLOCKCC-hankkeessa Aalto-yliopisto on tutkinut maalämpöjärjestelmän energiansäästöpotentiaalia ja kannattavuutta uudiskerrostalossa sekä hajautetun kulutusjousto-ohjauksen taloudellista kannattavuutta. Simulointitutkimus oli toteutettu IDA ICE 5.0 ohjelmalla. Tutkitut järjestelmät on esitetty taulukossa 10 alla.

Taulukko 10. BLOCKCC-hankkeessa tutkitut maalämpöjärjestelmät uudisrakennukselle.

	Tehomitoitus	
	60%	80%
Maalämpöjärjestelmät (MLP), [kW]	44	59
Lämpökaivot, kpl	5	6
Lämpökaivot, syvyys [m]	255	284
Apulämmitys sähkökattilalla, [kW]	92	77
Lämmönjako:		
Radiaattoriverkosto 60/30°C		
Ilmanvaihto (IV) IV 45/30°C		
Kaukolämpö sopimusteho, [kW]	102	

Kulutusjoustosimuloinneissa ohjaussignaalina sähkön tunnittainen veroton spot-hinta simulointijaksolla :

- Keskihinta 100 €/MWh
- Keskihajonta 62 €/MWh

Käytössä on sääntöpohjainen ohjausalgoritmi, joka ennakoi sähkön hintatrendiä 24 tuntia eteenpäin:

- Nouseva hintatrendi:
 - Lämmitystä tehostetaan, jos ulkolämpötilan 24 tunnin keskiarvo on ≤ 0 °C.
- Laskeva hintatrendi:
 - Lämmitystä vähennetään.
- Tasainen hintatrendi:
 - Käytetään normaaleja lämmityksen asetusarvoja.

Ohjausalgoritmi pyrkii ylläpitämään sisälämpötilojen tavoitetasot: Sisäilmastoluokitus 2018 ja SFS-EN 16798-1:2019.

Sähkön hintatrendiä arvioidaan vertaamalla nykyhetken tuntihintaa (HEP) seuraavan 24 tunnin keskimääräiseen tuntihintaan. HEP (Hinnan Ennuste Pörssissä) viittaa sähkön pörssihintaan, joka vaihtelee tunneittain. Sitä kutsutaan usein myös "spot-hinnaksi". Sähkön pörssihinta määräytyy Nord Pool -sähköpörssissä, jossa sähkön tuottajat ja ostajat käyvät kauppaa.

24 tunnin keskihinta tarkoittaa, että lasketaan yhteen seuraavan 24 tunnin tuntihinnat ja jaetaan ne 24:llä, jolloin saadaan keskimääräinen tuntihinta. Keskihinnan avulla tasoitetaan lyhytaikaisia hinnanvaihteluita ja saadaan parempi kuva kokonaistrendistä. Trendin arviointi -vertailussa katsotaan, onko nykyinen tuntihinta korkeampi vai matalampi kuin 24 tunnin keskihinta. Jos nykyinen hinta on korkeampi, se viittaa nousevaan trendiin, ja jos se on matalampi, se viittaa laskevaan trendiin. Hintatrendin seuranta mahdollistaa sähkönkulutuksen joustavan ohjauksen. Esimerkiksi, jos ennustetaan nousevaa hintatrendiä, kulutusta voidaan siirtää edullisempiin tunteihin tai varautua korkeampiin kustannuksiin.

Ohjaussignaali (CS) on digitaalinen signaali, joka ohjaa lämmitysjärjestelmän toimintaa.

Numerot (+1, 0, -1) edustavat eri toimintatiloja:

- **CS = +1 (lataus):**
 - Tämä signaali aktivoi lämmitysjärjestelmän lataustilan, eli asetusarvoa nostetaan.
- **CS = 0 (normaali):**
 - Tämä signaali palauttaa lämmitysjärjestelmän normaaliin toimintaan, jossa käytetään oletusasetuksia.
- **CS = -1 (purku):**
 - Tämä signaali mahdollistaa lämmön purkamisen, eli lämmitystehoa vähennetään.

Lataustila (asetusarvon nosto) aktivoituu, jos edellisen 24 tunnin keskimääräinen ulkolämpötila on alle 0 °C. Lataus tarkoittaa tässä tapauksessa lämmitysjärjestelmän tehon lisäämistä, jotta lämpöä varastoidaan. Tämä voidaan toteuttaa esimerkiksi nostamalla lämminvesivaraajan asetusarvoa. Edellisen 24 tunnin keskimääräinen ulkolämpötila on tärkeä tekijä lämmityksen ohjauksessa. Jos ulkolämpötila on ollut pitkään pakkasen puolella, on tarpeen varastoida lämpöä, jotta sisälämpötila pysyy tasaisena. Ohjausjärjestelmä käyttää CS-signaalia lämmitysjärjestelmän tilan ohjaamiseen. Ohjaus mahdollistaa sähkön kulutusjouston, kun sähkön hinta on edullisempaa, voidaan lämpöä ladata, ja kun hinta on kalliimpaa, voidaan lämpöä purkaa. Tämä säästää kustannuksissa.

Ohjausalgoritmin marginaaliarvo on säädettävä parametri, joka vaikuttaa siihen, kuinka herkästi ohjausalgoritmi käynnistää latausjaksoja. Marginaaliarvo määrittää, kuinka suuren hintaeron on oltava, ennen kuin algoritmi tulkitsee hintatrendin riittävän voimakkaaksi latausjakson aloittamiseksi. Toisin sanoen, marginaaliarvo on herkkyyden säätö. Taulukko 11 havainnollistaa marginaaliarvojen vaikutuksia.

Taulukko 11. Kulutusjouston ohjausalgoritmin marginaaliarvon vaikutukset.

Marginaaliarvon vaikutukset:	
Pienempi marginaali:	Suurempi marginaali:
Lisää latausjaksojen määrää.	Vähentää latausjaksojen määrää.
Algoritmi reagoi pienempiinkin hinnanmuutoksiin, mikä johtaa useampiin latausjaksoihin.	Algoritmi reagoi vain suurempiin hinnanmuutoksiin, mikä johtaa harvempiin latausjaksoihin.

Aikaisempi tutkimus (kuvattu kappaleessa 5.2) on analysoinut eri marginaaliarvojen vaikutuksia ja todennut 7 €/MWh:n tarjoavan parhaan tasapainon kustannussäästöjen ja järjestelmän tehokkuuden välillä. Tästä johtuen, tässä tutkimuksessa on käytetty samaa arvoa.

Korollisen takaisinmaksuajan laskeminen:

- Korollinen takaisinmaksuaika (N) laskettu selvittämällä, kuinka monta vuotta kestää, että investointikustannukset (I0) saadaan katettua kassavirralla (A), kun otetaan huomioon reaalikorko ja energian hinnan eskalaatio.
- Tämä laskenta antaa arvion siitä, kuinka nopeasti investointi maksaa itsensä takaisin ja kuinka kannattava se on pitkällä aikavälillä.
- Tämä on tärkeä tieto päätöksenteossa, kun vertaillaan eri lämmitysjärjestelmäratkaisujen taloudellista kannattavuutta.

Taloudelliset oletukset:

- **Reaalikorko:**
 - Laskelmissa käytetään 3 %:n reaalikorkoa, joka huomioi inflaation vaikutuksen. Reaalikorko kuvaa sijoitetun pääoman todellista tuottoa.
- **Energian hinnan eskalaatio:**
 - Energian hinnan oletetaan nousevan 2 % vuodessa. Tämä huomioi energiamarkkinoiden pitkän aikavälin trendit ja mahdolliset tulevat hintojen nousut.

Investointikustannukset (I0):

- **Maalämpöpumppu (MLP):**
 - MLP:n investointikustannukset on johdettu Aalto-yliopiston aiemmista tutkimuksista ja korjattu rakennuskustannusindeksillä, jotta ne vastaavat nykyistä hintatasoa.
 - MLP-tapauksissa on huomioitu myös suuremman sähköliittymän mahdolliset lisäkustannukset, jotka voivat syntyä suuremman sähkötarpeen vuoksi.
- **Kulutusjoustoratkaisut:**
 - Kulutusjoustoratkaisujen yksikköhinnat on saatu Granlund Oy:n asiantuntijoilta, mikä takaa realistiset ja ajantasaiset kustannusarviot.

Yleiset mitoitukset simuloituissa tapauksissa:

- **Vesikiertoiset radiaattorit:**
 - Kaikissa tapauksissa käytetään vesikiertoisia radiaattoreita, joiden mitoitus on 60/30 °C. Tämä tarkoittaa, että radiaattoreihin menevän veden lämpötila on 60 °C ja sieltä palaavan veden lämpötila on 30 °C.
- **Ilmanvaihdon jälkilämmitys:**
 - Ilmanvaihdon jälkilämmityksen mitoitus on 45/30 °C. Tämä tarkoittaa, että ilmanvaihtojärjestelmän lämmityspatteriin menevän veden lämpötila on 45 °C ja sieltä palaavan veden lämpötila on 30 °C.

Lämminvesivaraaja:

- **Tilavuuden mitoitus:**
 - Lämminvesivaraajan tilavuus mitoitetaan maalämpöpumpun (MLP) mitoituksen mukaisesti. Tämä varmistaa, että varaaja on riittävän suuri vastaamaan lämpimän käyttöveden tarvetta.
- **Maalämpöpumpun mitoitus:**
 - Maalämpöpumpun mitoitus vaikuttaa suoraan lämminvesivaraajan tarvittavaan kokoon. Suurempi maalämpöpumppu voi vaatia suuremman varaajan.

Sähköinen lattialämmitys:

- **Kylpyhuoneet:**
 - Kylpyhuoneissa käytetään sähköistä lattialämmitystä.
 - Asetusarvo:
 - Lattialämmityksen asetusarvo on vakio 22 °C. Tämä varmistaa miellyttävän lämpötilan kylpyhuoneissa.

Taulukko 12 esittää simuloitua maalämpö-kulutusjousto -tapaukset BLOCKCC-hankkeessa. Taulukossa käytetyt lyhenteet ovat:

- KL - kaukolämpö
- MLP - maalämpö
- SK - sähkökattila
- HKJ - hajautettu kulutusjousto

Taulukko 12 Tarkastelutapaukset BLOCKCC-hankkeen uudiskohteen maalämpö-kulutusjousto simumoinneissa.

Tapaus	Lämmitys	Kulutus- jousto (HKJ)	Lämminve- sivaraajan tilavuus [m³]	Lämmityksen asetusarvot: Asuntojen oleskelutilat			Lämmityksen asetusarvot: Yleiset tilat			Huomautu- kset termostaat- eista:
				min [°C]	norm. [°C]	max [°C]	min [°C]	norm. [°C]	max [°C]	
Ref. KL	Kaukolämpö	Ei	-	-	21	-	-	17	-	
MLP 60%+SK	MLP+SK	Ei	1.8	-	21	-	-	17	-	Tavalliset
MLP80%+SK	MLP+SK	Ei	2.4	-	21	-	-	17	-	Tavalliset
MLP 60%+SK+HKJ	MLP+SK	Hajautettu	1.8	20	21	23	15	17	19	IoT
MLP80%+SK+HKJ	MLP+SK	Hajautettu	2.4	20	21	23	15	17	19	IoT

6. Taloudellisesti kannattavimmat ratkaisut uudiskerrostalolle

Tässä kappaleessa pyritään tuomaan yhteen edellisessä kappaleessa kuvattujen simulointien tuloksia ja muodostamaan alustavaa energiajärjestelmän konseptia uudiskerrostalolle taloudellisesti kannattavimmista ratkaisuista.

6.1 Kulutusjousto-ohjaus

BLOCKCC-simulointitulokset antavat arvokasta tietoa kulutusjouston vaikutuksista lämmitysjärjestelmän toimintaan ja erityisesti maksimitehontarpeeseen. Tulosten merkitys:

1. Yleisten tilojen kulutusjouston vaikutus maksimitehontarpeeseen:

- Simulointitulokset osoittavat, että yleisten tilojen kulutusjousto nostaa eniten maksimitehontarvetta.
 - Tämä tarkoittaa, että kun yleisten tilojen lämmitystä säädetään kulutusjouston periaatteiden mukaisesti, se voi johtaa suurempiin tehopiikkeihin.
 - Tämä voi johtua siitä, että yleiset tilat, kuten porrashuoneet ja kellarit, voivat reagoida nopeammin lämpötilan muutoksiin tai että niiden lämmitystarve vaihtelee eri tavalla kuin asuintilojen.

2. Tehonrajoitussäännön vaikutus:

- BLOCKCC-hankkeen tutkimuksessa kehitetyllä tehonrajoituksen säännöllä maksimitehontarvetta saadaan pienennettyä.
 - Tämä osoittaa, että älykkäillä ohjausjärjestelmillä ja tehonrajoitussäännöillä voidaan tehokkaasti hallita tehopiikkejä ja tasapainottaa sähköverkon kuormitusta.
 - Tehonrajoitussääntö ei vaikuta merkittävästi energiankulutukseen.
 - Tämä on tärkeä havainto, koska se tarkoittaa, että tehopiikkejä voidaan pienentää ilman, että kokonaisenergiankulutus kasvaa.
 - Ks. tapaukset 10-11 vs. 12-13 taulukossa 13 alla.

3. Yleisten tilojen kulutusjouston vaikutus energiansäästöön:

- Yleisten tilojen kulutusjousto yli kaksinkertaistaa energian käytön ajoittamisella saavutettavaa säästöä verraten pelkkiin asuintiloihin.
 - Tämä korostaa yleisten tilojen merkitystä kulutusjouston potentiaalin kannalta.
 - Vaikka yleisten tilojen kulutusjousto voi nostaa maksimitehontarvetta, se tarjoaa merkittäviä energiansäästöjä, kun lämmitystä ohjataan älykkäästi.

Tulokset osoittavat, että kulutusjousto on tehokas tapa optimoida lämmitysjärjestelmän toimintaa ja saavuttaa energiansäästöjä. Yleisten tilojen kulutusjousto tarjoaa merkittäviä säästöjä, mutta se edellyttää älykästä ohjausta ja tehonrajoitussääntöjä, jotta tehopiikkejä voidaan hallita. BLOCKCC-hankkeen tutkimuksessa kehitetty tehonrajoitussääntö on arvokas työkalu tehopiikkien hallintaan ja sähköverkon tasapainottamiseen. On hyvä huomioida, että taulukon 13 tiedot antavat lisätietoa tutkituista tapauksista.

Taulukko 13. Kaukolämmön kulutusjouston simulointien tekniset tulokset (kW ja MWh/a).

	Tapaus	Max 3 h	KL energia		Sähkö		Sähköinen lattialämmitys
		kW	MWh/a	Δ%	MWh/a	Δ%	MWh/a
1	Ref1 21/17	98	172	0.00	54.7	0.00	12.4
2	Ref2 20/17	89	163	-5.40	59.8	9.23	17.5
3	Ref3 20/15	89	159	-7.18	60.1	9.88	17.9
4	Centr. Φrad,-80%	102	170	-0.89	55.6	1.64	13.2
5	Centr. Φrad,-80% Not occ.	102	173	0.77	55.1	0.70	13.6
6	Decentr M7	109	177	3.02	51.7	-5.49	9.5
7	Decentr M15	110	175	2.04	52.6	-3.90	10.3

8	Decentr M35	109	172	0.00	54.5	-0.36	12.3
9	Decentr M75	106	169	-1.59	56.2	2.59	13.9
10	Decentr. M7 SDR +2/-1	114	177	3.22	51.7	-5.63	9.4
11	Decentr. M7 SDR ±2	115	177	3.02	51.7	-5.56	9.4
12	Decentr. M7 + Lim	98	177	3.00	51.7	-5.47	9.5
13	Decentr. M7 SDR ±2 + Lim	99	177	2.98	51.7	-5.49	9.5

		Max 3 h	KL		Sähkö		Kokonais		DH	Elec.	Kokonaiskustannukset		
	Tapaus	kW	€/a	Δ%	€/a	Δ%	€/a	Δ%	€/a	€/a	€/a	Δ€/a	Δ%
1	Ref1 21/17	98	18640	0	12022	0.0	30662	0	6463	631	37756	0	0.0
2	Ref2 20/17	89	17570	-5.7	13246	10.2	30816	0.50	5869	631	37316	-440	-1.2
3	Ref3 20/15	89	17226	-8	13324	10.8	30550	-0.4	5851	631	37032	-724	-1.9
10	Decentr. M7 SDR +2/-1	114	18357	-1.5	11219	-6.7	29576	-3.54	7547	631	37754	-2	0.0
11	Decentr. M7 SDR ±2	115	18293	-2	11228	-6.6	29521	-3.7	7574	631	37726	-29	-0.1
12	Decentr. M7 + Lim	98	18516	-0.7	11244	-6.5	29760	-2.94	6498	631	36888	-867	-2.3
13	Decentr. M7 SDR ±2 + Lim	99	18288	-2	11245	-6.5	29533	-3.7	6545	631	36708	-1047	-2.8

Käyttövesivaraajan hyödyntämisellä voidaan leikata kaukolämmön tehopiikkejä.

Taulukon 14 tapauksessa #14 on simuloitu vakioteholataus-ratkaisu ja tapauksessa #17 dynaaminen lataus. Simulointien tulokset osoittavat, että dynaaminen lataus pienentää kohteen kaukolämmön maksimitehontarvetta 27%:lla. Kulutusjouston hyödyntäminen dynaamisen latauksen ohella muuttaa tilalämmityksen tehontarvetta niin, ettei varaajan dynaaminen lataus leikkaa merkittävästi maksimitehontarvetta. Vakioteholataus lisää kaukolämmön energiakustannuksia suhteessa enemmän kuin kulutusta. Vakioteholataus ei yksistään mahdollista merkittäviä kustannussäästöjä (Taulukko 14).

Taulukko 14. Tapausten #14-18 simulointien tulokset.

	Tapaus	Max 3 h	KL energia		Sähkö		Sähköinen lattialämm itys
		kW	MWh/a	Δ%	MWh/a	Δ%	MWh/a
14	DHW tank, CC	92	172	0.15	54.7	0.02	12.4
15	DHW tank, CC + M7	102	177	3.17	51.7	-5.48	9.5
16	DHW tank, CC + M7 + Lim	90	177	3.13	51.8	-5.42	9.5
17	DHW tank, DC	73	172	-0.10	54.7	0.01	12.4
18	DHW tank, DC + M7 + Lim	91	177	2.98	51.7	-5.48	9.5

Vakioteholataus yhdistettynä hajautetun kulutusjouston kanssa mahdollistaa suuremman säästön mitä nämä ratkaisut erikseen, johtuen tehontarpeen ajoituksen muuttumisesta. Dynaaminen lataus mahdollistaa suurimmat kustannussäästöt, mikä perustuu suurempaan maksimitehon pienentymiseen. (taulukko 15).

Taulukko 15. Kaukolämmön kulutusjouston simulointien teknis-taloudelliset tulokset (kW max 3h ja €/a).

	Tapaus	Max 3 h kW	Kulutusperusteiset maksut						Perusmaksut		Kokonaiskustannukset		
			KL		Sähkö		Kokonais		KL	Säh.			
			€/a	Δ%	€/a	Δ%	€/a	Δ%	€/a	€/a	€/a	Δ€/a	Δ%
1	Ref1 21/17	98	18640	0	12022	0.0	30662	0	6463	631	37756	0	0.0
2	Ref2 20/17	89	17570	-5.7	13246	10.2	30816	0.50	5869	631	37316	-440	-1.2
3	Ref3 20/15	89	17226	-8	13324	10.8	30550	-0.4	5851	631	37032	-724	-1.9
10	Decentr. M7 SSDR +2/-1	114	18357	-1.5	11219	-6.7	29576	-3.54	7547	631	37754	-2	0.0
11	Decentr. M7 SSDR ±2	115	18293	-2	11228	-6.6	29521	-3.7	7574	631	37726	-29	-0.1
12	Decentr. M7 + Lim	98	18516	-0.7	11244	-6.5	29760	-2.94	6498	631	36888	-867	-2.3
13	Decentr. M7 SSDR ±2 + Lim	99	18288	-2	11245	-6.5	29533	-3.7	6545	631	36708	-1047	-2.8
14	DHW tank, CC	92	18899	1.4	12024	0.0	30923	0.85	6073	631	37626	-129	-0.3
15	DHW tank, CC + M7	102	18777	0.7	11239	-6.5	30016	-2.1	6763	631	37410	-345	-0.9
16	DHW tank, CC + M7 + Lim	90	18773	0.7	11253	-6.4	30026	-2.07	5922	631	36579	-1177	-3.1
17	DHW tank, DC	73	18669	0.2	12023	0.0	30692	0.1	4839	631	36162	-1594	-4.2
18	DHW tank, DC + M7 + Lim	91	18585	-0.3	11239	-6.5	29824	-2.73	6007	631	36462	-1294	-3.4

Tutkitussa tapauksessa keskitetty kulutusjousto ei maksa itseään takaisin. Hajautetun kulutusjouston toteutus on tutkitussa tapauksessa liian kallis. **Lämminvesivaraaja dynaamisella latauksella -ratkaisulla on 10-vuoden takaisinmaksuaika.** Hajautetun kulutusjousto-ohjauksen toteutuksen hintaa pitäisi saada ~80% alaspäin (Taulukko 16). [9]

Taulukko 16. Kulutusjouston ratkaisujen kannattavuuskuvaus.

	Tapaus	Kulutusjousto	Kassavirta A [€/a]	Investointi Io [€]	Takaisinmaksu aika Nd [a]
1	Ref1 21/17	-	0	0	-
4	Centr. Φrad,-80%	Keskitetty	-80	1432	-
11	Decentr. M7 SSDR ±2 + Lim	Hajautettu +toissijaiset tilat	1047	52565	70
12	Decentr. M7 + Lim	Hajautettu +tehonrajoitus	867	45760	75
15	DHW tank, CC + M7 + Lim	Varaaja vakiolataus +hajautettu +tehonrajoitus	1177	60243	72
17	DHW tank, DC	Varaaja dynaaminen lataus	1594	14483	10
18	DHW tank, DC + M7 + Lim	Varaaja dynaaminen lataus +hajautettu +tehonrajoitus	1294	60243	63

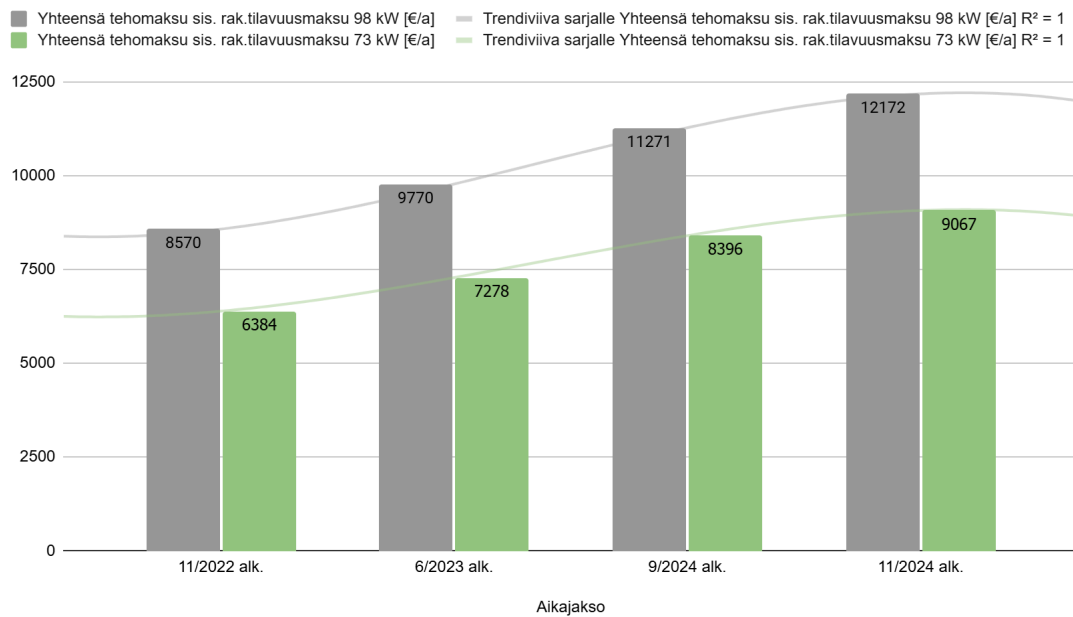
Taulukossa 17 esitetään kaukolämmön perusmaksun tarkastuslaskelmia 3000 m²:n kokoiselle rakennukselle. Laskelmat on ulotettu pidemmälle aikavälille, jotta hintakehityksen suuntaa olisi mahdollista arvioida. Selkeyden vuoksi laskelmaan on sisällytetty myös rakennustilavuusmaksu, joka on laskettu Tuusulan Järven hinnastojen mukaisesti (lisätietoja luvussa 2.1).

Kuva 10 havainnollistaa Taulukon 17 tietoja pylväsdiagrammin ja värikoodauksen avulla. Harmaa pylväs kuvaa referenssitilannetta (kaukolämmön teho 98 kW), ja vihreä pylväs esittää tutkittua tapausta #17, jossa hyödynnetään kulutusjoustoja lämminvestivaraajan dynaamisella latauksella. Tämän esitystavan tavoitteena on korostaa, että investointipäätöksiä tehdessä on tärkeää tarkastella hintoja kokonaisuutena ja pitkän aikavälin trendejä silmällä pitäen.

Taulukko 17. Kulutusjouston vaikutus kaukolämmön perusmaksuun.

Perusmaksu		11/2022 alk.		6/2023 alk.		9/2024 alk.		11/2024 alk.	
		€/kW	Rakennustila vuuskerroin (* m ³)	€/kW	Rakennustila vuuskerroin (* m ³)	€/kW	Rakennustila vuuskerroin (* m ³)	€/kW	Rakennustila vuuskerroin (* m ³)
	Tehomaksu (1 - 160 kW)	47,27	0,29	53,89	0,3353	62,17	0,3869	67,14	0,4179
85 % tarkistus			40,18€		45,81				57,07
3000 m ³			870		1006		1161		1254
		€/a		€/a				€/a	
Teho [kW] max 3 h Ref.	98	4632	3938	5281	4489	6093	5179	6580	5593
Teho max 3 h DHW tank DC	73	3451	2933	3934	3344	4538	3858	4901	4166
KL Perusmaksu Ref.			8570		9770		11271		12172
KL Perusmaksu DHW tank DC			6384		7278		8396		9067

Yhteensä tehomaksu sis. rakennustilavuusmaksu [€/a] - Ref. tapaus 98 kW teho vs. tutkittu tapaus #17 DHW tank+DC (lämminviesivaraaja dynaamisella latauksella)

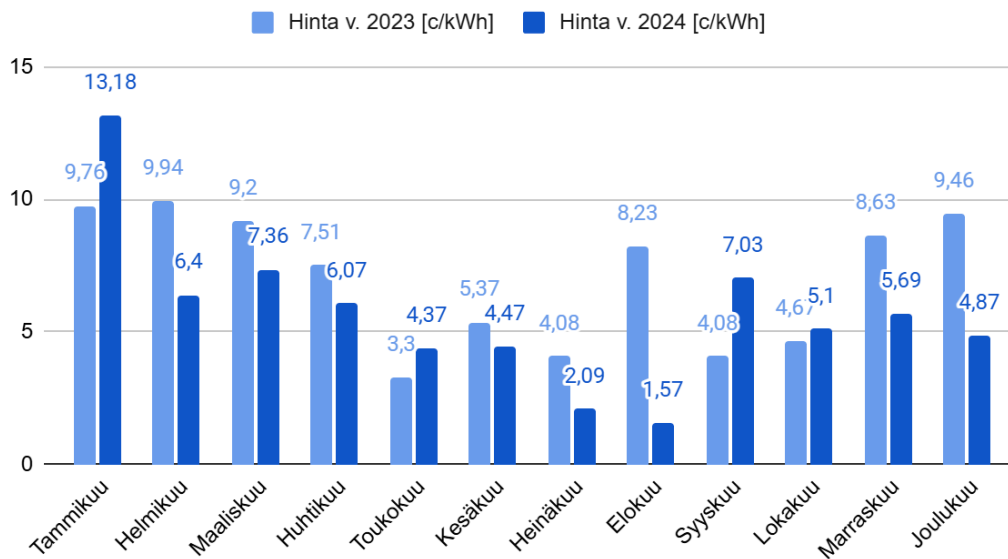


Kuva 10. Tuusulanjärven Lämpö Oy:n kaukolämmön tehomaksun hintakehitys 2022-2024 Fiksolämpö-palvelussa taloyhtiöille ja yrityksille.

BLOCKCC-hankkeen simuloinneissa on hyödynnetty Suomen pörssisähkön vuoden 2023 keskimääräistä spot-hintaa (ks. luku 2.2). On kuitenkin tärkeää huomioida, että simulointitulokset ovat herkkiä sähkön hinnan vaihteluille. Tämän vuoksi tulokset voisivat merkittävästikin poiketa nyt saavutetuista, jos laskelmat olisi toteutettu esimerkiksi vuoden 2024 keskimääräisillä pörssisähkön hinnoilla tai vielä tarkemmin, kuukausittaisilla spot-hinnoilla. Sähkön hinta ei ole vakio, vaan se vaihtelee merkittävästi eri ajanjaksoina kysynnän, tarjonnan, sääolosuhteiden ja muiden markkinatekijöiden vaikutuksesta. Vuoden 2023 keskihinta tasoittaa nämä vaihtelut, jolloin yksittäiset, potentiaalisesti hyvinkin kannattavat tai epäkannattavat ajanjaksot voivat jäädä piiloon.

Kuva 11 alla havainnollistaa selkeästi pörssisähkön kuukausittaisten hintojen huomattavia eroja vuosina 2023 ja 2024. Tämä visuaalinen vertailu korostaa, kuinka yhden vuoden keskihinnan käyttäminen voi yksinkertaistaa todellisuutta ja mahdollisesti johtaa harhaanjohtaviin johtopäätöksiin investointien kannattavuudesta tai järjestelmien toiminnasta eri aikoina vuotta. Esimerkiksi tietyissä kuukausissa kulutusjoustolla saavutettavat säästöt voivat olla huomattavasti suurempia kuin keskihintaa käytettäessä oletetaan, kun taas toisissa kuukausissa tilanne voi olla päinvastainen. Siksi tulevaisuuden analyyseissä voisi olla hyödyllistä tutkia herkkyyttä sähkön hinnan vaihtelulle käyttämällä erilaisia hintaskenaarioita, mukaan lukien kuukausittaiset hinnat ja mahdolliset tulevaisuuden hintaennusteet, jotta saataisiin kattavampi kuva eri ratkaisujen taloudellisesta potentiaalista.

Suomen pörssisähkön spot-hintoja v. 2023 ja v. 2024 [c/kWh]



Kuva 11. Suomen pörssisähkön keskiarvo spot-hintoja kuukausittain. [5]

6.2 Kaukolämmön paluuedellä lämmitys

BLOCKCC-simulointitulokset osoittavat kaukolämmön paluueden hyödyntämisen merkittävän potentiaalin tilojen lämmityksessä. Tulosten merkitys:

1. Vuosittainen lämmitysenergian kulutus:

- Simulointien mukaan kaukolämmön paluueden energialla voidaan kattaa 66–77 % vuosittaisesta lämmitysenergian kulutuksesta.
 - Tämä tarkoittaa, että suuri osa rakennuksen lämmitystarpeesta voidaan täyttää hyödyntämällä olemassa olevaa hukkalämpöä, mikä vähentää merkittävästi tarvetta tuottaa uutta lämpöenergiaa.
 - Tämä on merkittävä energiansäästö, joka voi johtaa merkittäviin kustannussäästöihin ja pienempiin ympäristövaikutuksiin.

2. Lämmityksen huipputehon tarve:

- Kaukolämmön paluuedellä voidaan kattaa 70–90 % lämmityksen huipputehon tarpeesta.
 - Tämä on erityisen tärkeää kylminä talvipäivinä, jolloin lämmitystarve on suurin.
 - Kyky kattaa suuri osa huipputehon tarpeesta paluuedellä vähentää tarvetta käyttää muita, mahdollisesti kalliimpia tai vähemmän ympäristöystävällisiä lämmitysmuotoja.
 - Tämä tasapainottaa lämmityksen tarvetta, ja vähentää erillisen lisälämmityksen tarvetta. (Taulukko 18).

Taulukko 18. Kaukolämmön paluuveden käyttöosuus energiankulutuksesta ja huipputehontarpeesta laskettuna kahdelle eri paluuveden lämpötilalle.

	Kaukolämmön paluuveden käyttöosuus [%]:	Energiankulutuksesta [MWh/a]		Huipputehontarpeesta [kW/a]	
Nro	Paluuveden lämpötila [celsiusaste]:	55-50	45-40	55-50	45-40
1	Referenssi, Normaali menovesilämmitys, radiaattori 60/30	0%	0%	0%	0%
2	Referenssi, Normaali menovesilämmitys, radiaattori 45/30	0%	0%	0%	0%
3	Paluuvesilämmitys ja paluuvesilämpöpumppu, rad. 60/30	77%	66%	91%	72%
4	Paluuvesilämmitys ja paluuvesilämpöpumppu, rad. 45/30	77%	67%	91%	82%
5	Paluuvesilämmitys ja sähkökattila, rad. 60/30	77%	66%	91%	72%
6	Paluuvesilämmitys ja sähkökattila, rad. 45/30	77%	67%	91%	82%
7	Paluuvesi- ja menovesilämmitys, rad. 60/30	77%	66%	91%	72%
8	Paluuvesi- ja menovesilämmitys, rad. 45/30	77%	67%	91%	82%

Kuvissa 12 ja 13 tarkastellaan eri energiatehokkuusratkaisujen taloudellista kannattavuutta kaukolämmön paluuveden hyödyntämisen näkökulmasta. **Kuva 12** esittää näiden ratkaisujen takaisinmaksuajat eri alennusprosentteilla kaukolämmön energia- ja tehomaksuissa laskettuna kahdella eri paluuveden lämpötilalle. Tämä mahdollistaa sen arvioinnin, kuinka nopeasti investoinnit maksavat itsensä takaisin eri alennustasoilla. **Kuva 13** puolestaan keskittyy osoittamaan eri ratkaisujen investointikustannukset sekä sen alennusprosentin energia- ja tehomaksuissa, joka vaaditaan 10 vuoden takaisinmaksuajan saavuttamiseksi. Yhdessä nämä kuvat valottavat eri ratkaisujen taloudellisia ominaisuuksia ja auttavat tunnistamaan ne, jotka ovat potentiaalisesti kannattavimpia erilaisissa alennus- ja lämpötilaolosuhteissa.

6.3 Maalämpö kulutusjoustolla

Simulointien tulokset osoittavat, että useimpien tutkittujen lämmitysratkaisujen takaisinmaksuajat ovat pitkiä (ks. Taulukko 19). [10]

Maalämpöpumpun (MLP) asentamisen takaisinmaksuaika on noin 21 vuotta.

- 60 %:n tehomitoitus on hieman kannattavampi vaihtoehto.
- Kulutusjouston lisääminen pidentää takaisinmaksuaikaa noin 30 vuoteen.
- Hajautettu kulutusjousto ei ole tutkitussa tapauksessa kannattava korkeiden investointikustannusten vuoksi.

Maalämpöjärjestelmän hyödyt:

- Maalämpöjärjestelmä vähentää kokonaisostoenergian kulutusta lähes 40 %.
 - Lämmityskustannukset pienenevät 13–17 % valitusta ratkaisusta riippuen.
- Uudiskerrostalossa maalämpöjärjestelmän takaisinmaksuaika on noin 20 vuotta.

Hajautettu kulutusjousto:

- Hajautetun kulutusjousto-ohjauksen toteutus maalämpöjärjestelmän yhteydessä ei ole nykyisillä investointikustannuksilla kannattavaa.
- Sama havainto tehtiin myös kaukolämmön kulutusjousto -tutkimuksessa (ks. Luku 6.1).

Keskeiset havainnot:

- Maalämpöjärjestelmä tuo merkittäviä energiansäästöjä, mutta takaisinmaksuajat voivat olla pitkiä, erityisesti uudisrakennuksissa.
- Vanhoissa, energiantensiivisissä rakennuksissa maalämpöjärjestelmän kannattavuus on huomattavasti parempi.
- Hajautettu kulutusjousto ei ole nykyisillä kustannuksilla taloudellisesti järkevä vaihtoehto tutkituissa tapauksissa.

On huomioitava, että takaisinmaksuajoihin vaikuttavat merkittävästi investointikustannukset ja energiansäästöjen suuruus. Energian hinnan kehitys tulevaisuudessa voi vaikuttaa merkittävästi kannattavuuteen.

Taulukko 19. Maalämpö-kulutusjousto simulointitulosten yhteenvedo. [10]

	Energiankulutus, [MWh]																				
	Sähkö, MWh							Energiamaksut, [€]		Energiamaksut Yhteensä		Perusmaksut, [€]		Energia- kustannukset yhteensä, €	Eroa energiakustannuksissa ref. tapaukseen - KL		Kannattavuus				
	KL, MWh	MLP	SK	Sähkön en lattial- lämmitys	LVI-apu laitteet	Muut*	Sähkö yhteensä, MWh	KL, €	Sähkö, €	€	Δ%	KL, €	Sähkö, €		Δ€	Δ%	Kassavirta A [€/a]	Investointi Io [€]	Takaisinma- ksuaika* Nd [a]		
Ref. KL	173	0	0	12,5	16,2	64,2	93	18095	12172	30267	0.0	6392	612	37272	0	0	0	0	-		
MLP 60%+SK	0	49	25	12,5	16,3	64,2	167	0	28599	29513	-2.5	0	3906	32506	-4766	-12.8%	4766	90057	21.0		
MLP80%+SK	0	55	19	12,5	16,3	64,2	166	0	27928	28831	-4.7	0	3530	31457	-5815	-15.6%	5815	112729	21.6		
MLP 60%+SK+HKJ	0	48	29	9,7	16,3	64,1	167	0	27826	28744	-5.0	0	4076	31902	-5370	-14.4%	5370	142622	30.9		
MLP80%+SK+HKJ	0	55	20	9,7	16,3	64,2	165	0	27064	27964	-7.6	0	3722	30786	-6486	-17.4%	6486	165294	29.5		

7. Kehitetyn konseptin kuvaus

Edellisissä luvuissa kuvattuja yhteiskehittämisen vuorovaikutuksia, niiden pohjalta toteutettuja simulointeja ja simulointien tuloksia on käytetty tässä luvussa kuvatun konseptin perusteena. Simulointien tuloksista on valittu osaksi konseptia kannattavimpia ratkaisuja energian kokonaiskulutuksen sekä tarvittavien lisäinvestointien kannalta. Lisäksi tässä luvussa on kuvattu konseptin osana olevia teknisiä järjestelmiä. Kaukolämmön paluuveden hyödyntäminen -ratkaisussa sähkökattila on osana järjestelmää (ks. luvut 5.1 ja 6.2). Kaukolämmön kulutusjousto -ratkaisussa on lämminvesivaraaja ja sen dynaaminen lataus on osana järjestelmää (ks. luvut 5.2 ja 6.1). Maalämpöjärjestelmä sähkökattilalla on myös mahdollinen osa järjestelmää (ks. luvut 5.3 ja 6.3).

7.1 Kaukolämmön paluuveden hyödyntäminen

Kaukolämmön paluuveden hyödyntäminen on ratkaisu, joka perustuu kaukolämpöjärjestelmän kiertovesien lämpöenergian uusiokäyttöön. Kaukolämpöjärjestelmän peruseriaate:

- Kaukolämpöjärjestelmässä lämpö tuotetaan keskitetysti, esimerkiksi sähkön ja lämmön yhteistuotantovoimalaitoksessa (käytetään myös termiä CHP-laitos - Combined Heat and Power)
- Tuotettu lämpö siirretään kuumana vetenä putkistossa kiinteistöihin, esimerkiksi asuintaloihin.
- Kiinteistöjen lämmönjakokeskuksissa kuuma vesi luovuttaa lämpöenergiansa kiinteistön lämmitysjärjestelmään, esimerkiksi radiaattoriverkostoon.
- Lämpöenergian luovutuksen jälkeen jäähtynyt vesi palautuu takaisin lämpökeskukseen, jolloin sitä kutsutaan paluuvedeksi.

Paluuveden hyödyntämisen idea on siinä, että vaikka paluuvesi on jäähtynyt, se sisältää edelleen merkittävän määrän lämpöenergiaa. Perinteisesti tämä energia menee osittain hukkaan. Paluuveden hyödyntämisessä pyritään ottamaan tämä hukkalämpö talteen ja käyttämään sitä uudelleen tilojen lämmitykseen. Paluuveden lämpöenergia voidaan siirtää lämmönvaihtimien avulla kiinteistön omaan lämmitysjärjestelmään. Tämä mahdollistaa paluuveden lämmön hyödyntämisen esimerkiksi ilmanvaihtojärjestelmässä.

Kehitetyissä kaukolämmön paluuvettä hyödyntävissä ratkaisuissa apulämmityksellä, kuten sähkökattilalla, lämmitetään tarvittaessa tilojen, ilmanvaihdon tai käyttöveden lämmitysverkostoja. Mutta, apulämmityksellä ei lämmitetä kaukolämmön paluuvettä. Älykkäiden ohjausjärjestelmien avulla voidaan optimoida paluuveden hyödyntämistä eri olosuhteissa. Paluuveden hyödyntäminen parantaa kaukolämpöjärjestelmän kokonaisenergiatehokkuutta. Se vähentää tarvetta tuottaa uutta lämpöä, mikä säästää energiaa ja vähentää päästöjä.

7.2 Sähkökattila ja lämminvesivaraaja

Sähkökattila ja lämminvesivaraaja ovat molemmat sähköllä toimivia laitteita, mutta niillä on selkeitä eroavaisuuksia käyttötarkoituksessa ja toimintaperiaatteessa (Taulukko 20). **Sähkökattila** lämmittää vettä pääasiassa tilojen lämmitykseen, kun taas **lämminvesivaraaja** lämmittää ja varastoi vettä käyttövetä varten. Molemmissa laitteissa käytetään sähkövastuksia, mutta niiden toimintaperiaatteet ja käyttötarkoitukset eroavat toisistaan. Usein lämminvesivaraajaa käytetään yhdessä jonkin muun lämmitysjärjestelmän kanssa, kuten juuri sähkökattilan, tai muiden lämmitysmuotojen kanssa

Taulukko 20. Sähkökattilan ja lämminvesivaraajan vertailua.

	Sähkökattila	Lämminvesivaraaja
Käyttötarkoitus:	Ensisijaisesti suunniteltu sisätilan vesikiertoiseen lämmitykseen. Se lämmittää vettä, joka sitten kiertää lämmitysjärjestelmässä, kuten radiaattoreissa ja lattialämmityspotkeissa. Vaikka sähkökattila voi joissain tapauksissa osallistua myös lämpimän käyttöveden tuottamiseen, sen pääasiallinen tehtävä on tilojen lämmitys.	Päätehtävä on tuottaa ja varastoida lämmintä käyttövetä, jota käytetään esimerkiksi suihkussa ja tiskauksessa.
Toimintaperiaate:	Lämmittää vettä sähkövastuksilla. Se tuottaa lämpöä tarpeen mukaan, eli kun lämmitystä tarvitaan, kattila käynnistyy ja lämmittää vettä. Sähkökattila voi olla kytkettynä lämminvesivaraajan kanssa, jolloin se tuottaa lämmintä vettä varaajaan.	Lämmittää vettä sähkövastuksilla ja varastoi sen säiliössä. Kun lämmintä vettä käytetään, varaajasta virtaa lämmintä vettä ja kylmää vettä tulee tilalle, jolloin uusi vesi lämmitetään.
Ominaisuudet:	Usein pienempi ja kompaktimpi kuin suuri lämminvesivaraaja. Sopii hyvin tiloihin, joissa on vesikiertoinen lämmitysjärjestelmä.	Säiliön koko vaihtelee tarpeen mukaan, pienistä muutaman kymmenen litran varaajista suuriin useiden satojen litran varaajiin. Varaajan eristys pyrkii pitämään veden lämpimänä mahdollisimman pitkään.

Lämminvesivaraaja on verrattavissa suljettuun säiliöön, jossa on lämmityskäminä toimiva putkikierukka. Käyttövesi virtaa lämmitysvettä sisältävää putkikierukkaa pitkin. Putkikierukka toimii nyt lämmönvaihtimena, joka siirtää lämpöä käyttöveteen. Sisään virtaava kylmä vesi lämpiää myös sitä mukaa, kun lämmintä käyttövetä poistuu varaajasta. On tärkeää, että lämminvesivaraajassa on hyvä lämpöeristys lämpöhäviöiden minimoimiseksi ja vähintään 60 °C:n lämpötilan säilyttämiseksi. Tällöin vältetään legionellabakteerien muodostuminen.

Hajautettu kulutusjousto-ohjaus -ratkaisu on myös osa kehitettyä konseptia. Kulutusjousto on tärkeä osa älykästä energiajärjestelmää. Se auttaa tasapainottamaan sähköverkon kuormitusta ja mahdollistaa uusiutuvan energian paremman hyödyntämisen. "Hajautettu" tarkoittaa, että

lämmityksen ohjaus ei ole keskitetty yhteen pisteeseen, vaan se tapahtuu hajautetusti, esimerkiksi yksittäisten huoneiden termostaattien kautta. Tämä mahdollistaa tarkemman ja joustavamman lämmityksen ohjauksen, koska lämpötilaa voidaan säätää tarpeen mukaan eri tiloissa. Lämpötila-alue asuin-/huonetiloissa on 20-23 °C, joka on yleisesti suositeltu mukavuusalue.

Yleisissä tiloissa on alempi lämpötila-alue - 15-19 °C - koska näissä tiloissa oleskellaan vähemmän aikaa. Lämpötila-alueiden valinta voi vaihdella rakennuksen käyttötarkoituksen ja käyttäjien mieltymysten mukaan. Hitaat, usean tunnin aikana, asetusarvon muutokset ovat tärkeitä tehopiikkien välttämiseksi. Äkilliset muutokset lämmitystehossa voivat kuormittaa sähköverkkoa ja aiheuttaa ongelmia. Hitaat muutokset mahdollistavat tasaisen lämmityksen ja vähentävät energiankulutuksen vaihteluita. Hajautettu ohjaus vaatii IoT-termostaattiventtiileja, jotka ovat älykkäitä laitteita, jotka mahdollistavat lämmityksen etäohjauksen ja automaattisen säädön. Ne mittaavat huonelämpötilaa ja säätävät lämmitystä tarpeen mukaan. IoT-termostaattiventtiilit mahdollistavat myös tiedon keräämisen lämmityksen kulutuksesta ja toiminnasta. Kulutusjousto-ohjauksen tehokkuus riippuu rakennuksen lämmöneristyksestä ja ilmanvaihdosta. Hyvä lämmöneristys vähentää lämmityksen tarvetta ja mahdollistaa suuremmat säästöt.

7.3 Tehonrajoitussäätö ja dynaaminen ohjaus kulutusjoustossa sekä marginaaliarvo

Älykkäät sähkönkulutuksen hallintamenetelmät, kuten tehonrajoitussäännöt ja dynaaminen ohjaus, ovat keskeisessä roolissa kulutusjouston toteuttamisessa. Dynaaminen ohjaus erityisesti tarjoaa joustavan tavan optimoida sähköllä toimivien lämmitysjärjestelmien toimintaa reaaliaikaisesti sähkön hinnan ja verkon kuormituksen mukaan. Se mahdollistaa sähkönkulutuksen siirtämisen edullisempiin tunteihin, mikä hyödyttää sekä käyttäjää alhaisempien sähkölaskujen muodossa että sähköverkkoa tasaisemman kuormituksen ansiosta. Dynaamisen ohjauksen "dynaamisuus" viittaa jatkuvaan, automaattiseen säätöön, joka perustuu ajankohtaiseen dataan sähköverkosta, hinnoista ja muista relevantteista tekijöistä, pyrkien näin maksimoimaan latauksen tehokkuuden ja kustannustehokkuuden samalla verkon ylikuormitusta välttämällä.

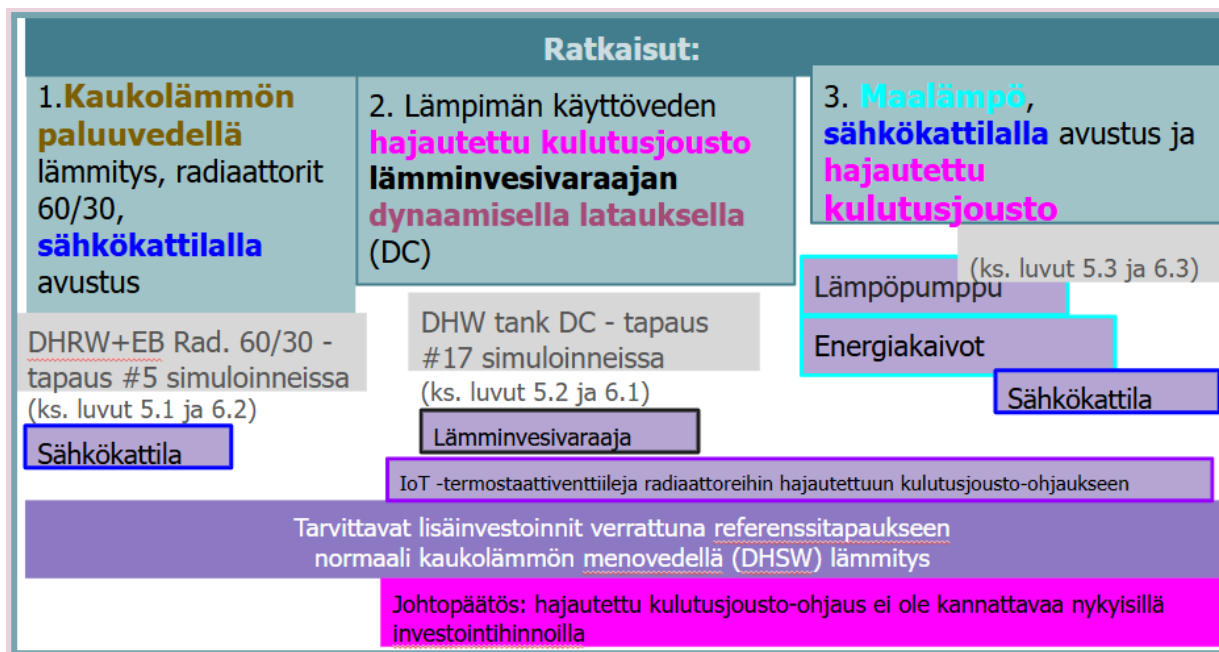
Taulukko 21 vertailee tehonrajoitussääntöjen ja dynaamisen ohjauksen keskeisiä eroja ja ominaisuuksia kulutusjoustossa. Taulukossa tuodaan esiin, miten nämä kaksi lähestymistapaa eroavat toisistaan sähkönkulutuksen hallinnan ja optimoinnin näkökulmista.

Taulukko 21. Tehonrajoitussääntö vs. dynaaminen ohjaus kulutusjoustossa.

	Tehonrajoitussääntö:	Dynaaminen ohjaus:
Tavoite:	Lämmitysjärjestelmän tehon rajoittaminen. Estää äkillisiä ja korkeita tehopiikkejä sähköverkossa. Pyrkii tasoittamaan sähkönkulutuksen vaihteluita ja varmistamaan sähköverkon vakauden.	Pyrkii optimoimaan sähkönkulutusta jatkuvasti ja reaaliaikaisesti. Ottaa huomioon useita tekijöitä, kuten sähkön hinnan, sähköverkon tilan ja käyttäjän tarpeet.
Toimintaperiaate:	Tehonrajoitussääntö aktivoituu, kun sähköverkon kuormitus lähestyy kriittistä rajaa. Voi rajoittaa sähkölaitteiden tehoa tai siirtää niiden toimintaa myöhemmälle ajankohdalle. Toiminta on usein reaktiivista, eli se käynnistyy vasta, kun tehopiikki on jo lähestymässä.	Ohjausjärjestelmä seuraa jatkuvasti sähköverkon tilaa ja tekee ennakoivia säätöjä sähkönkulutukseen. Voi esimerkiksi säätää lataustehoa, siirtää latausta edullisempiin ajankohtiin tai optimoida lämmitysjärjestelmän toimintaa. Toiminta on usein ennakoivaa ja mukautuvaa.

Marginaaliarvo (M) on keskeinen käsite kulutusjousto-ohjauksessa, joka toimii eräänlaisena herkkyysäätonä tai kynnysarvona tai puskurina, joka suodattaa pois "kohinan" ja mahdollistaa vain merkittävien hintatrendien huomioimisen. Se liittyy suoraan siihen, miten herkästi ohjausjärjestelmä reagoi sähkön hinnan vaihteluihin. Marginaaliarvo määrittää, kuinka suuren hintaeron on oltava olemassa, jotta ohjausjärjestelmä käynnistää toimenpiteitä, kuten lämmityksen latausjakson. Se estää järjestelmää reagoimasta liian pieniin ja lyhytaikaisiin hinnanvaihteluihin. Marginaaliarvon yksikkö on euro megawattituntia kohti (€/MWh).

Kuvaan 14 on luotu visuaalinen esitys kehitetystä konseptista. Sovelletun tuplatimantti-palvelumallin (ks. Kuva 2, luku 1) mukaisesti tämän konseptin on tarkoitus palvella vähintään kahta pääkäyttäjärhymää: taloyhtiöitä (tai muita vastaavia yhteisöjä) sekä kaukolämpöyhtiöitä.



Kuva 14. Alustava konsepti alue-energiajärjestelmästä.

7.5 Takaisinmaksuajan arviointi

Takaisinmaksuajan arviointi on monimutkainen prosessi, joka vaatii huolellista analyysiä useista tekijöistä. On tärkeää käyttää realistisia oletuksia ja ottaa huomioon mahdolliset epävarmuustekijät. Takaisinmaksuajan arviointi on vain yksi osa investointipäätöstä. On myös tärkeää arvioida investoinnin muita hyötyjä, kuten ympäristövaikutuksia ja energiariippumattomuutta.

Korollisen takaisinmaksuajan laskentatapa mahdollistaa eri lämmitysjärjestelmävaihtoehtojen taloudellisen vertailun, ottaen huomioon sekä investointikustannukset että tulevaisuuden säästöt.

Kassavirta edustaa simulointijakson aikana saatuja säästöjä. Nämä säästöt syntyvät, kun uusi lämmitysjärjestelmä tai kulutusjoustopäätös vähentää energiakustannuksia verrattuna aiempaan tilanteeseen. Laskelmat antavat selkeän kuvan siitä, kuinka nopeasti investointi maksaa itsensä takaisin, mikä on ratkaiseva tieto päätöksenteon kannalta. On hyvä huomioida, että tulevaisuuden ennustaminen sisältää aina epävarmuutta, joten laskelmat perustuvat oletuksiin, jotka voivat muuttua.

On tärkeää huomioida, että tässä raportissa esitetyt tulokset perustuvat BLOCKCC-hankkeessa toteutuihin simulointeihin, ja todelliset tulokset voivat vaihdella riippuen rakennuksen ominaisuuksista ja paikallisista olosuhteista. Kulutusjoustopäätös tehokkuus riippuu myös älykkäiden ohjausjärjestelmien ja IoT-termostaattiventtiilien toiminnasta. On myös hyvä huomioida, että sähkömarkkinat ovat jatkuvassa muutoksessa, joten tuloksien taloudellista kannattavuutta on hyvä tarkastella tapauskohtaisesti.

Takaisinmaksuaikojen arvioinnissa on olennaista ottaa huomioon useita muuttujia, jotka voivat vaikuttaa merkittävästi taloudelliseen kannattavuuteen:

1. Investointikustannukset:

- Investointikustannukset ovat takaisinmaksuajan perusta. Mitä suuremmat alkuinvestoinnit ovat, sitä pidempi on yleensä takaisinmaksuaika.
- Investointikustannuksiin sisältyvät:
 - Laitteiden hankintahinnat (esim. maalämpöpumppu, sähkökattila, lämminvesivaraaja, IoT-termostaattilla varustettu radiaattori).
 - Asennuskustannukset.
 - Mahdolliset lisäkustannukset (esim. sähköliittymän suurentaminen).
- On tärkeää, että investointikustannukset arvioidaan mahdollisimman tarkasti, jotta takaisinmaksuaika voidaan arvioida realistisesti.

2. Energiansäästöjen suuruus:

- Energiansäästöt määrittävät, kuinka nopeasti investointi maksaa itsensä takaisin. Mitä suuremmat energiansäästöt ovat, sitä lyhyempi on takaisinmaksuaika.

- Energiansäästöihin vaikuttavat:
 - Valitun ratkaisun energiatehokkuus.
 - Rakennuksen energiatehokkuus (esim. lämmöneristys).
 - Käyttäjien energiakulutustottumukset.
- Energiansäästöjen arvioinnissa on tärkeää ottaa huomioon sekä suorat (esim. pienempi sähkölasku) että epäsuorat säästöt (esim. pienemmät huoltokustannukset).

3. Energian hinnan kehitys:

- Energian hinnan tuleva kehitys on yksi merkittävimmistä epävarmuustekijöistä takaisinmaksuajan arvioinnissa.
- Energian hinnan nousu nopeuttaa takaisinmaksuaikaa, kun taas hinnan lasku pidentää sitä.
- Energian hinnan kehitykseen vaikuttavat:
 - Maailmanmarkkinoiden hintavaihtelut.
 - Poliittiset päätökset (esim. verotus).
 - Uusiutuvien energialähteiden yleistyminen.

4. Muut huomioitavat tekijät:

- **Rahoituskustannukset:**
 - Jos investointi rahoitetaan lainalla, korkokustannukset pidentävät takaisinmaksuaikaa.
- **Inflaatio:**
 - Inflaatio vaikuttaa sekä investointikustannuksiin että energiansäästöihin.
- **Teknologian kehitys:**
 - Uudempi ja tehokkaampi teknologia voi nopeuttaa takaisinmaksuaikaa.
- **Huolto- ja ylläpitokustannukset:**
 - Nämä kustannukset voivat vaikuttaa merkittävästi kokonaiskannattavuuteen.
- **Mahdolliset tuet ja avustukset:**
 - Valtion tai kuntien tarjoamat tuet ja avustukset voivat lyhentää takaisinmaksuaikaa.

7.6 Yhteenveto

BLOCKCC-hankkeessa kehitetty alustava konsepti alue-energiajärjestelmästä uudelle asuinalueelle simulointien ja yhteiskehittämisen perusteella pohjautuu tässä raportissa kuvattuihin yhteiskehittämisen tuloksiin, simulointeihin ja niiden analyysiin. Konseptin osiksi on valittu energiatehokkuuden ja taloudellisen kannattavuuden (investointikustannukset huomioiden) näkökulmasta lupaavimmat ratkaisut.

Kehitetty konsepti pitää sisällään kolme pääasiallista teknistä järjestelmäkokonaisuutta sekä taloudellisen näkökulman:

1. **Kaukolämmön paluuveden hyödyntäminen.** Tämä ratkaisu pyrkii parantamaan kaukolämpöjärjestelmän kokonaisenergiatehokkuutta ottamalla talteen paluuveden sisältämää

lämpöenergiaa ja käyttämään sitä uudelleen kiinteistöjen lämmityksessä (tiloissa, ilmanvaihdossa tai käyttöveden esilämmityksessä). Järjestelmään voi tarvittaessa kuulua sähkökattila apulämmitystä varten, mutta se ei lämmitä paluuvettä. Älykäs ohjaus optimoi paluuveden hyödyntämistä eri olosuhteissa.

2. **Sähkökattila ja lämminvesivaraaja.** Kehitetyssä alustavassa konseptissa sähkökattila ja lämminvesivaraaja, molemmat sähkökäyttöisiä laitteita, integroituvat osaksi kaukolämpöjärjestelmää. Tämä laitteiden yhdistäminen edustaa sektori-integraatiota, jossa kaukolämpö- ja sähköjärjestelmät kytkeytyvät toisiinsa. Sähkökattilan pääasiallinen käyttötarkoitus on tilojen lämmitys, kun taas lämminvesivaraaja on suunniteltu lämpimän käyttöveden tuottamiseen ja varastointiin. Lisäksi konseptiin kuuluu hajautettu kulutusjousto-ohjaus, joka mahdollistaa joustavan ja tarpeenmukaisen lämmityksen säädön eri tiloissa esimerkiksi huonetermostaattien avulla. Tämä auttaa välttämään sähköverkon tehopiikkejä, kun lämmityksen muutokset tehdään hitaasti. Järjestelmän toiminta edellyttää IoT-termostaattiventtiilien käyttöä.
3. **Tehonrajoitussäätö ja dynaaminen ohjaus kulutusjoustossa.** Edellä kuvatun sähkökattilan ja lämminvesivaraajan integroinnin mahdollistamaa sähkönkulutuksen hallintaa tehostetaan älykkäillä menetelmillä, kuten tehonrajoitussäännöillä ja dynaamisella ohjauksella kulutusjoustossa. Nämä menetelmät ovat avainasemassa sähkönkulutuksen optimoinnissa. Erityisesti **dynaaminen ohjaus** säätelee sähkön käyttöä reaaliaikaisesti sähkön hinnan ja verkon kuormituksen mukaan. Tämä mahdollistaa sähkönkulutuksen, kuten sähkökattilan lämmityksen tai lämminvesivaraajan latauksen, siirtämisen edullisempiin tunteihin. Ohjauksen herkkyyttä säädetään **marginaaliarvon** avulla, mikä estää järjestelmää reagoimasta liian pieniin hinnanvaihteluihin.
4. Edellä kuvatut älykkäät sähkönkulutuksen hallintamenetelmät, kuten dynaaminen ohjaus, pyrkivät optimoimaan energiankäyttöä ja potentiaalisesti lyhentämään uusien ratkaisujen takaisinmaksuaikoja. On kuitenkin tärkeää ymmärtää, että **takaisinmaksuajan arviointi on monimutkainen prosessi**, joka esitetään luvun lopussa. Tähän arviointiin vaikuttavat useat tekijät, kuten **investointikustannukset** uusiin laitteisiin (esim. sähkökattila, lämminvesivaraaja, IoT-termostaatit), saavutettavien **energiansäästöjen suuruus** dynaamisen ohjauksen avulla, **energian hinnan kehitys** tulevaisuudessa sekä muut taloudelliset seikat, kuten **rahoituskustannukset ja inflaatio**. Myös **teknologian kehitys, huolto- ja ylläpitokustannukset sekä mahdolliset tuet** on otettava huomioon kokonaiskuvassa. On olennaista muistaa, että tässä raportissa esitetyt takaisinmaksuaika-arviot perustuvat BLOCKCC-hankkeen simulointeihin, ja todelliset tulokset voivat vaihdella riippuen rakennuksen ominaisuuksista, paikallisista olosuhteista sekä **sähkömarkkinoiden jatkuvasta muutoksesta**.

Lähteet

1. BLOCKCC-hankkeen kotisivu: <https://gnf.fi/fi/gnf/blockcc/> .
2. Raportti "Ainolan tarkastelualueen raja- ja kuvaus" (2023);
https://gnf.fi/wp-content/uploads/2023/09/29.9.2023_BLOCKCC_TP2.1_raportti.docx.pdf
3. Tuusulanjärven lämpö (2023). Nettisivusto. Kaukolämmön myyntihinnastot Järvenpää ja Tuusula 1.1.2024 alk;
https://www.tuusulanjarvenlampo.fi/app/uploads/2024/03/TJL_kaukolammon-myyntihinnastot_Jarvenpaa-Tuusula_01012024_v02.pdf; Luettu 13.8.2024
4. https://www.tuusulanjarvenlampo.fi/app/uploads/2024/09/TJL_kaukolammon-myyntihinnastot_ALV255_1.11.2024_02.pdf ; Luettu 2.1.2025
5. <https://www.porssisahkoa.fi/porssisahko-keskihinta> ; Luettu 2.1.2025
6. <https://www.equa.se/fi/ida-ice> ; Luettu 8.2.2025
7. Schaffer, M., Bugenings, L. A., Andersen, K. H., & Melgaard, S. P. (2023). Experience-based user guide for IDAICE. Department of the Built Environment, Aalborg University. DCE Lecture notes No. 83;
https://vbn.aau.dk/ws/portalfiles/portal/544437496/Lecture_notes_IDA_ICE_4_8.pdf ; Luettu 3.10.2024
8. Jokisalo, Juha. Esitys BLOCKCC-viiteryhmän A kokouksessa 20.11.2024.
9. Karjalainen, Perttu. Esitys BLOCKCC-viiteryhmän A kokouksessa 20.11.2024.
10. Jokisalo, Juha. Esitys BLOCKCC-viiteryhmän A kokouksessa 23.1.2025