BLOCKCC

Energiakorjausten ja kaukolämmön kulutusjouston kannattavuus - Käpylän tarkastelukohde

Viiteryhmä B 23.1.2025

Yangmin Wang, Yuchen Ju ja Juha Jokisalo

Euroopan unionin osarahoittama

gnf Green Net Finland

Aalto University

Metropolia

BLOCKCC

Tavoitteena selvittää

- **Energiakorjausten:**
  - Taloudellinen kannattavuus ja sen riippuvuus kaukolämmön hinnasta?
  - CO_2 päästövaikutukset?
- **Kaukolämmön kulutusjousto:**
  - Taloudellinen kannattavuus kiinteistön omistajan kannalta?
  - Vaikutukset huonelämpötiloihin?

Koskelantie 15 - simulointikohde

- Rakennuksen valmistumisvuosi 1952
- Kohde suojeltu
- Lämmitetty nettoala: 3400m²
- Asuinkerroksia 3 + kellari
- Asuntoja 42 kpl
- Lämmitys: kaukolämpö
- Lämmönjako: vesirad. (80/60°C)
- Painovoimainen ilmanvaihto, ei korvausilmaventtiileitä.
- Lämmöneristystaso alkuperäinen:
  - US ja YP: 0.7 W/m²K
- Alkuperäiset 2-lasiset ikkunat (2.9 W/m²K)

Euroopan unionin osarahoittama

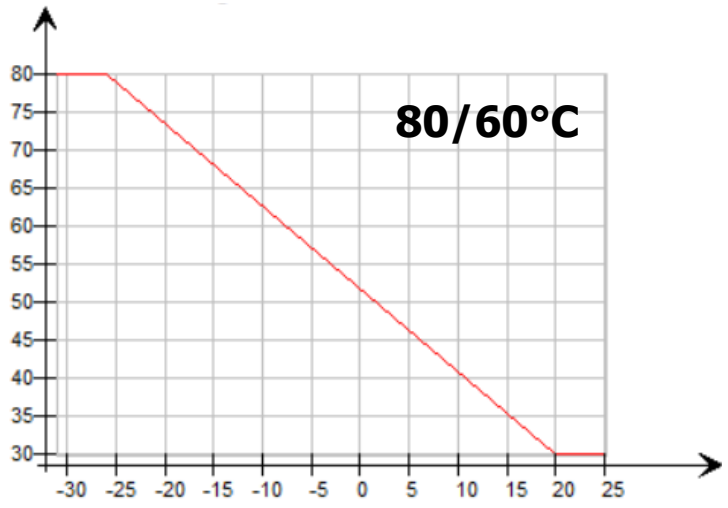
Energiakorjausten taloudellinen kannattavuus ja päästövaikutukset

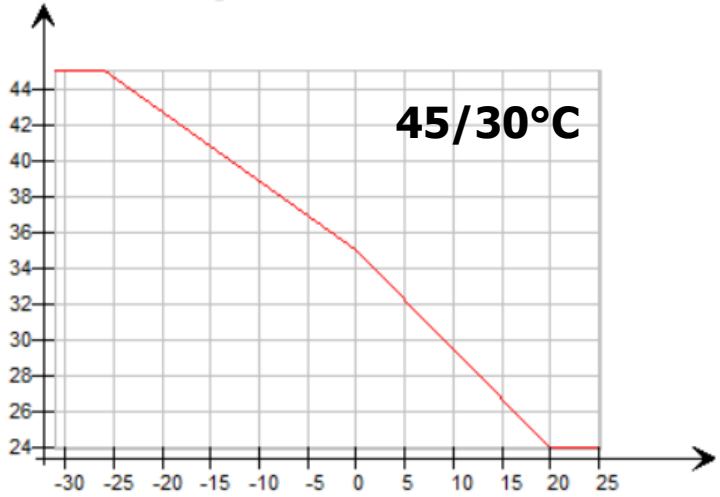
Euroopan unionin osarahoittama

Simuloidut energiakorjausratkaisut

- **Patteriverkoston säätö:**
  →Huonelämpötilat nykysuositusten mukaisiksi
- **Yläpohjan lisälämmöneristys** (+340mm)
- **Maalämpöpumppujärjestelmän asennus**:
  - MLP:n mitoitus: 60% tai 80% tilojen max. lämmitystehontarpeesta käyttöolosuhteissa
  - MLP:n teho 108 tai 144 kW ja COP 4.5 testiolosuhteissa 0/35°C
  - Lämpökaivot: 11 tai 15 kpl 280m lämpökaivoja
  - **Radiaattorit:**
    - Alkuperäiset (80/60°C) tai asennetaan matalalämpötilaradiaattorit (45/30°C)
  - **Apulämmitys:**
    - Kaukolämmöllä tai sähkökattilalla

Rad. verkoston säätökäyrät:





Euroopan unionin osarahoittama

Kustannuslaskennan lähtötiedot

- **Energian hinnat:**
  - Sähkö:
    - Spot-hinta vuodelta 2023 + Helenin marginaali
    - Helenin siirtohinta ml. perusmaksu+tehomaksu
  - Kaukolämpö:
    - HELEN:n energian hinnat ja tehomaksu vuodelta **2024 tai 2025**
- Verot (ALV ja sähkövero) otettu huomioon.

- **Investointikustannukset (sis. ALV):**
  - Kustannustietoja aiemmista Aallon tutkimuksista [1,2].
  - Kustannustiedot korjattu rakennuskustannus-indeksillä nykyistä hintatasoa vastaaviksi.
  - Huom! Uuden suuremman sähköliittymän kustannukset ml. uusi sähkökeskus otettu huomioon MLP tapauksissa.

Lähteet:

[1]: Niemelä, T., Kosonen. R. and Jokisalo, J. Cost-effectiveness of energy performance renovation measures in Finnish brick apartment buildings. Energy and Buildings 137, 2017. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.12.031

[2] Hirvonen, J. Jokisalo, J. Heljo, J and Kosonen R. Towards the EU emissions targets of 2050: optimal energy renovation measures of Finnish apartment buildings. International Journal of Sustainable Energy. 38. 7. 2019. https://doi.org/10.1080/14786451.2018.1559164

→Korollinen takaisinmaksuaika

→Ratkaisujen elinkaarikustannusten (25v) nykyarvo

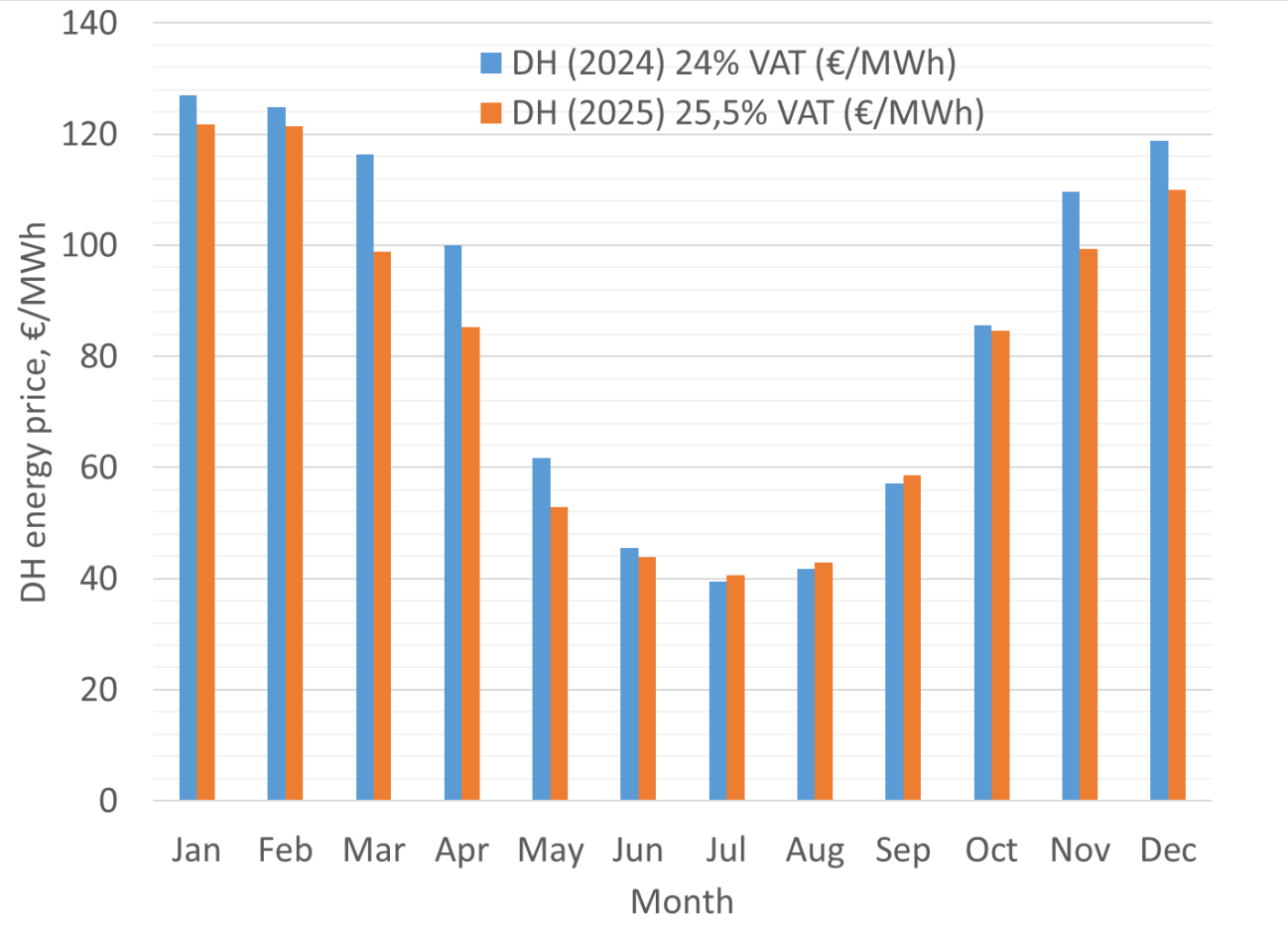
- Reaalikorko 3%, eskalaatio 2%

Euroopan unionin osarahoittama

Käytössä HELEN:n kaukolämmön energiahinnat vuosilta 2024 ja 2025

- **Verollinen kuluttajahinta*:**
  - Vuonna 2025 keskimäärin noin 7% matalampi kuin vuonna 2024
  - Suurin hintaero kk-tasolla maaliskuussa (15%)

** Hinnat heinäkuusta eteenpäin ovat energiamaksun ennusteita*



Euroopan unionin osarahoittama

Taloudellinen kannattavuus: 2024

- Käytössä HELEN:n kaukolämmön hinta vuodelta 2024
- Vertailutapauksessa rad. verkosto säädetty
- Reaalikorko 3%, eskalaatio 2%

	Ref. case: 2. Bal. rad. network	3. Ins. roof	4. GSHP + DH	5. GSHP + DH, Rad. (45/30)	6. GSHP + EL backup	7. GSHP + EL backup, Rad (45/30)	8. GSHP + EL backup, Ins. roof	9. GSHP + DH (60%)	10. GSHP + EL backup (60%)
Radiators	80/60°C	80/60°C	80/60°C	45/30°C	80/60°C	45/30°C	80/60°C	80/60°C	80/60°C
Discounted payback period (a)									
DH price **2024**	-	**2.8**	**7.4**	**10.6**	**7.2**	**10.4**	**7.1**	**6.2**	**6.4**
LCC_{25a} (€/m2-floor)									
DH price **2024**	**561.8**	**531.2**	**340.0**	**331.0**	**320.1**	**320.1**	**308.2**	**350.5**	**336.2**

Kaikki tutkitut ratkaisut ovat kannattavia:

→YP:n lisäeristämisen takaisinmaksuaika noin 3v.

→MLP-ratkaisujen takaisinmaksuaika noin 6-11v.

→MLP-ratkaisut laskevat LCC:tä merkittävästi (37-43%)

→MLP:n 80% tehomitoituksella LCC 3-5% pienempi kuin 60% mitoituksella →80% mitoitus on kannattavampi.

→ Sähköinen MLP:n apulämmitys kannattavampi kuin kaukolämpö.

→ Radiaattoreiden vaihto kannattaa apulämmityksen ollessa kaukolämpö, mutta se ei laske LCC:tä sähköistä apulämmitystä käytettäessä.

→ Tapaus 8 (YP lisäeristys + MLP + sähköinen apulämmitys kustannustehokkain ratkaisu

Taloudellinen kannattavuus: 2024/2025

- Käytössä HELEN:n kaukolämmön hinnat vuosilta 2024 ja 2025
- Vertailutapauksessa rad. verkosto säädetty
- Reaalikorko 3%, eskalaatio 2%

	Ref. case: 2. Bal. rad. network	3. Ins. roof	4. GSHP + DH	5. GSHP + DH, Rad. (45/30)	6. GSHP + EL backup	7. GSHP + EL backup, Rad (45/30)	8. GSHP + EL backup, Ins. roof	9. GSHP + DH (60%)	10. GSHP + EL backup (60%)
Radiators	80/60°C	80/60°C	80/60°C	45/30°C	80/60°C	45/30°C	80/60°C	80/60°C	80/60°C
Discounted payback period (a)									
DH price **2024**	-	**2.8**	**7.4**	**10.6**	**7.2**	**10.4**	**7.1**	**6.2**	**6.4**
DH price **2025**	-	**3.0**	**8.5**	**12.1**	**8.2**	**11.9**	**8.1**	**7.1**	**7.4**
LCC_{25a} (€/m2-floor)									
DH price **2024**	**561.8**	**531.2**	**340.0**	**331.0**	**320.1**	**320.1**	**308.2**	**350.5**	**336.2**
DH price **2025**	**528.3**	**499.7**	**338.5**	**330.4**	**320.1**	**320.1**	**308.2**	**346.1**	**336.2**

Kaukolämmön vuoden 2025 hinnan vaikutus kannattavuuteen :

→ Ratkaisujen takaisinmaksuaika kasvaa 0.2-1.5 vuotta.

→ Pelkällä kaukolämmöllä varustettujen ratkaisujen LCC pienenee 6%

→ Kaukolämpöä apulämmityksenä käyttävien MLP ratkaisujen LCC pienenee 0.2-1.3%

→ Sähköinen MLP:n apulämmitys on kannattavampi kuin kaukolämpö myös 2025 hinnalla.

→ Radiaattoreiden vaihto kannattaa apulämmityksen ollessa kaukolämpö myös 2025 hinnalla.

→ Sama tapaus 8 on kustannustehokkain ratkaisu myös vuoden 2025 hinnalla.

Energiakorjausten päästö-vaikutusten laskenta

- **Käytössä HELEN:in ja Suomen keskimääräiset päästökertoimet:**

→HELEN vuonna 2023 [1]
- Sähkö: 271 kg-CO_2/MWh
- Kaukolämpö: 162 kg-CO_2/MWh

→Suomi keskimäärin vuosina 2020-2022 [2]
- Sähkö: 70 kg-CO_2/MWh
- Kaukolämpö: 145 kg-CO_2/MWh

Lähteet:
[1] HELEN. Energian ominaispäästöt. https://www.helen.fi/tietoa-meista/energia/tietoa-energiasta/sahkon-ja-lammon-ominaispaastot
[2] Motiva. CO2 päästökertoimet. https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiankaytto_suomessa/co2-paastokertoimet

Euroopan unionin osarahoittama

Energiaremonttien päästövaikutukset

- Kohteen vuotuiset ominaspäästöt eri remonttivaihtoehdoilla:

	1. Orig.	2. Bal. rad. network	3. Ins. roof	4. GSHP + DH	5. GSHP + DH, Rad. (45/30)	6. GSHP + EL backup	7. GSHP + EL backup, rad. (45/30)	8. GSHP + EL backup, Ins. roof	9. GSHP + DH (60%)	10. GSHP + EL backup (60%)
CO2 emissions based on										
HELEN's factors, kg-CO2/m²,a	39.2	39.5	37.7	26.5	24.8	27.5	25.3	26.4	26.8	29.5
Difference, %	0	0.6	-4.0	-32.5	-36.7	-29.9	-35.4	-32.8	-31.7	-24.9
Average Finnish factors, kg-CO2/m²,a	30.9	31.1	29.5	7.9	6.9	7.1	6.5	6.8	9.7	7.6
Difference, %	0	0.7	-4.6	-74.5	-77.5	-77.0	-78.8	-77.9	-68.7	-75.4

→ Suomen keskim. päästökertoimilla ratkaisujen päästöt 21-74% pienemmät, kuin HELEN:in, johtuen merkittävästä sähkön päästökertoimen erosta (70 vs. 271 kg-CO_2/MWh)

Vain kaukolämpöä käytettäessä:

→Rad. verkoston säätö hieman alle +1%

→YP lisäeristys: -4-5%

Kun MLP päälämmitystarkaisu:

→ HELEN:in tuotannolla MLP: -25-37%

→ Suomen keskim tuotannolla MLP: -69-79%

Suurimmat päästövähennykset:

→ HELEN:in tuotannolla: **Tapaus 5**

→ Suomen keskim. tuotannolla: **Tapaus 7**

Yhteenveto (1/2)

- **Kaikki tutkitut energiakorjausratkaisut ovat taloudellisesti kannattavia**
- **Yläpohjan lisälämmöneristäminen:**
  - Takaisinmaksuaika on vain noin 3 vuotta ja laskee elinkaarikustannuksia noin 5%.
- **Maalämpöjärjestelmä:**
  - Takaisinmaksuaika 6-12 vuotta riippuen ratkaisusta ja KL:n hinnasta.
  - Elinkaarikustannukset pienenevät 37-43% ratkaisusta riippuen 2024 KL:n hinnalla.
  - 7% halvemmalla 2025 kaukolämmöllä MLP vähentää LCC:tä hiukan vähemmän (35-39%).
  - Sähköinen apulämmitys on elinkaarikustannuksiltaan edullisempi myös 2025 KL:n hinnalla
- **Elinkaarikustannuksiltaan edullisin energiakorjausratkaisu:**
  → MLP+sähköinen apulämmitys+YP-lisäeristäminen
  → Edullisin ratkaisuista myös 7% halvemmalla vuoden 2025 KL:n hinnalla.

Euroopan unionin osarahoittama

Yhteenveto (2/2)

- **Ratkaisujen päästövaikutukset riippuvat merkittävästi käytetyn sähkön ja kaukolämmön ominaispäästöistä:**
  - HELEN:n tuotantorakenteella päästövähennys max. 40%
  - Suomen keskim. tuotantorakenteella päästövähennys max. 80%
- **MLP:n käyttö vähentää päästöjä merkittävästi:**
  - HELEN:n tuotantorakenteella 25-40%
  - Suomen keskim. tuotantorakenteella 70-80%
- **Suurimmat päästövähennykset:**
  - HELEN:n tuotantorakenteella: MLP + kaukolämpö + 45/30°C radiaattorit
  - Suomen keskim. tuotantorakenteella: MLP + sähkö + 45/30°C radiaattorit
- **Kustannustehokkain tutkittu päästövähennysratkaisu molemmilla tuotantorakenteilla:**
  - MLP + sähkö +yläpohjan lisälämmöneristys

Euroopan unionin osarahoittama

Kaukolämmön kulutusjousto

Tutkittavat kulutusjoustoratkaisut:

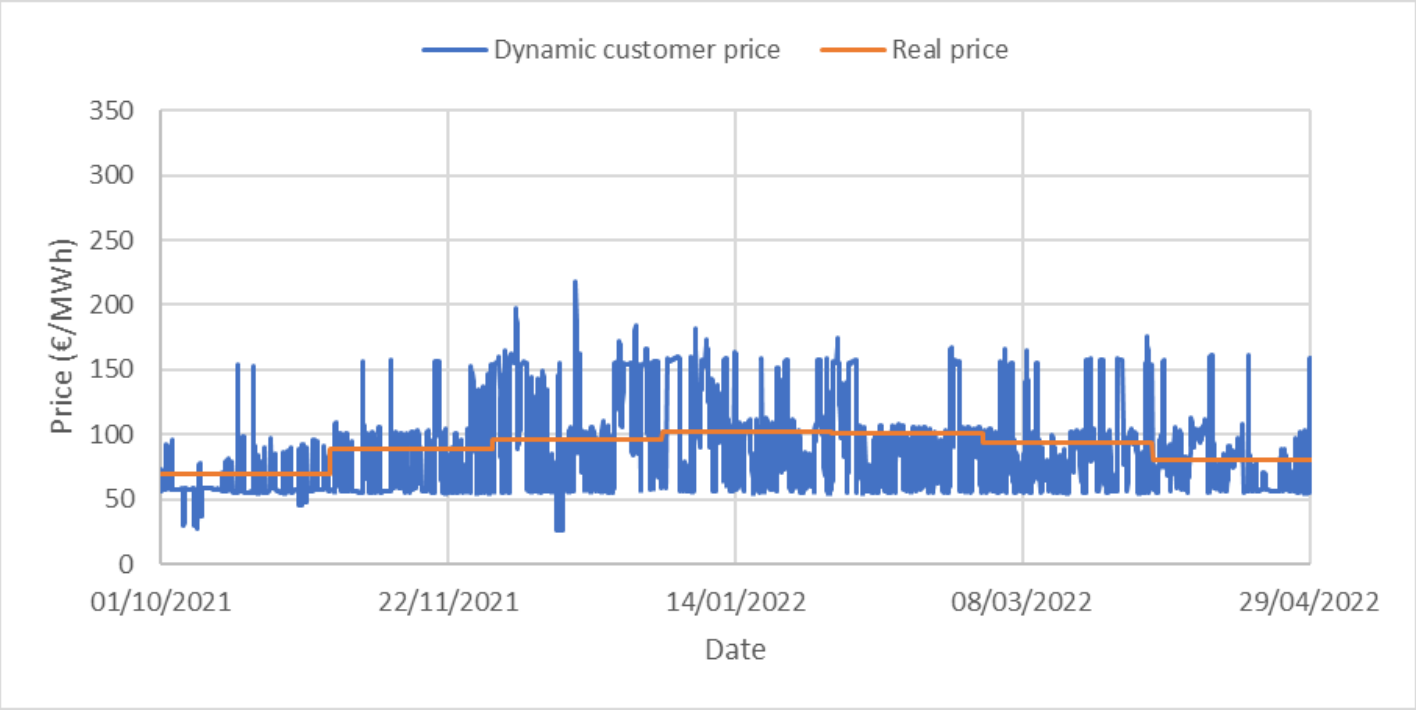
- Keskitetty kulutusjousto, menoveden lämpötilan ohjaus.
- Hajautettu kulutusjousto, tilojen lämpötilan ohjaus.
- Käyttövesivaraaja tehopiikkien leikkaamiseen.

Euroopan unionin osarahoittama

Kulutusjouston ohjaus

Ohjaussignaalina kaukolämmön tunnittainen kuluttajahinta:

- Perustuu erään kauko-lämpöverkon mallinnettuun tunnittaiseen kuluttajahintaan.[3]
- Normitettu vastaamaan HELEN:n vuoden 2024 kuukausittaisia kuluttajahintoja.



- HELEN:n kaukolämmön perusmaksu määräytyy 1.10.–31.3. välisen ajan suurimman vuorokauden keskitehon perusteella.
- Kaukolämmön paluuveden lämpötila kohteessa ei kasvata kaukolämmön perusmaksua.

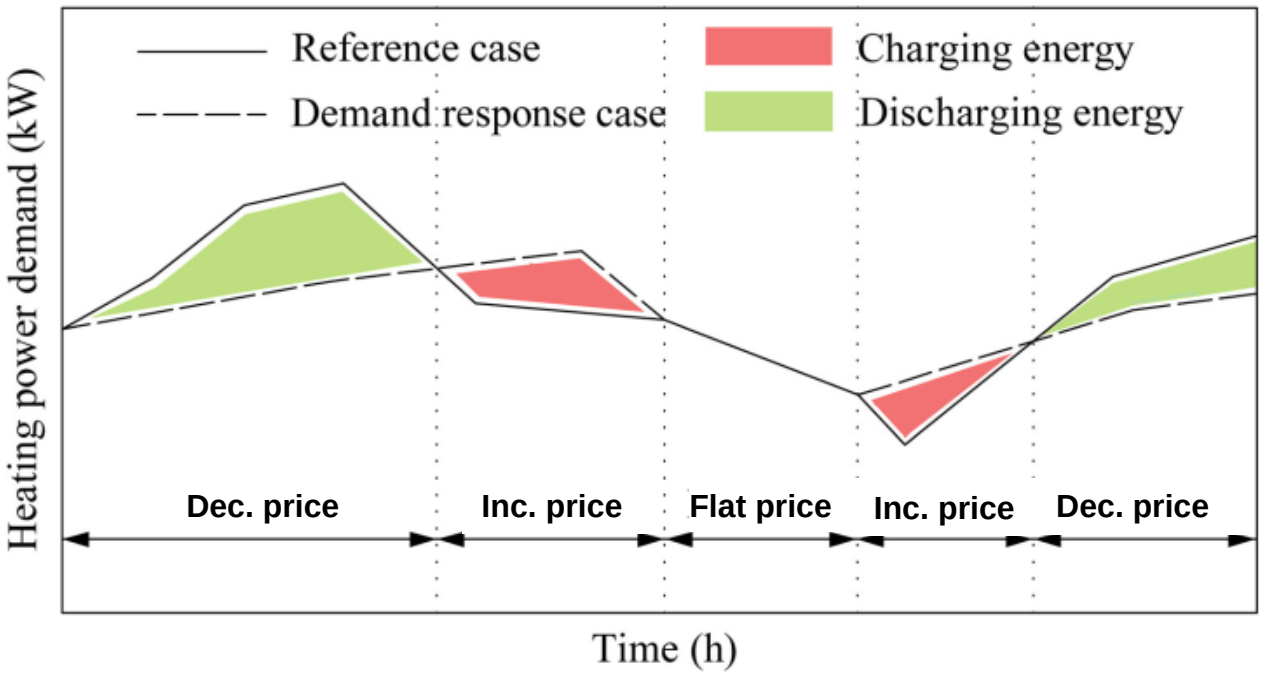
[3] Ju, Y.; Hiltunen, P.; Jokisalo, J.; Kosonen, R.; Syri, S. Benefits through Space Heating and Thermal Storage with Demand Response Control for a District-Heated Office Building. Buildings 2023, 13, 2670. https://doi.org/10.3390/buildings13102670

Euroopan unionin osarahoittama

Kulutusjouston ohjaus

Käytössä sääntöperusteinen ohjausalgoritmi:

- Seuraa kaukolämmön hintatrendiä 24 h eteenpäin:
  - **Nouseva trendi:**
    → Lisätään lämmitystä, jos ulkolämpötilan 24 h keskiarvo ≤ 0°C
  - **Laskeva trendi:**
    → Vähennetään lämmitystä
  - **Tasainen hintatrendi:**
    → Normaalit lämmityksen asetusarvot
- Ohjausalgoritmi pyrkii ylläpitämään:
  - Sisälämpötilojen tavoitetasot (Sisäilmastoluokitus 2018 ja SFS-EN 16798-1:2019)

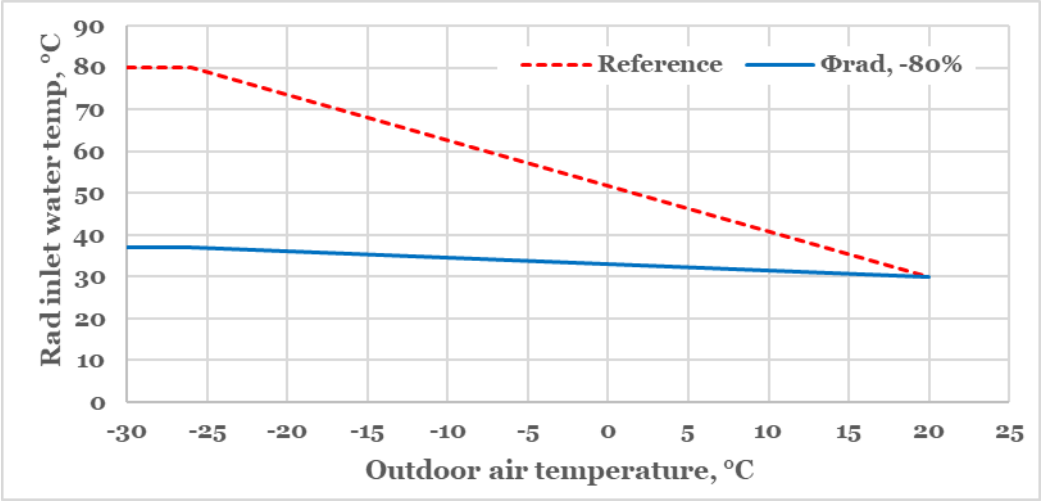


Euroopan unionin osarahoittama

Keskitetty kulutusjousto tilalämmityksessä

Keskitetty kulutusjousto-ohjaus:

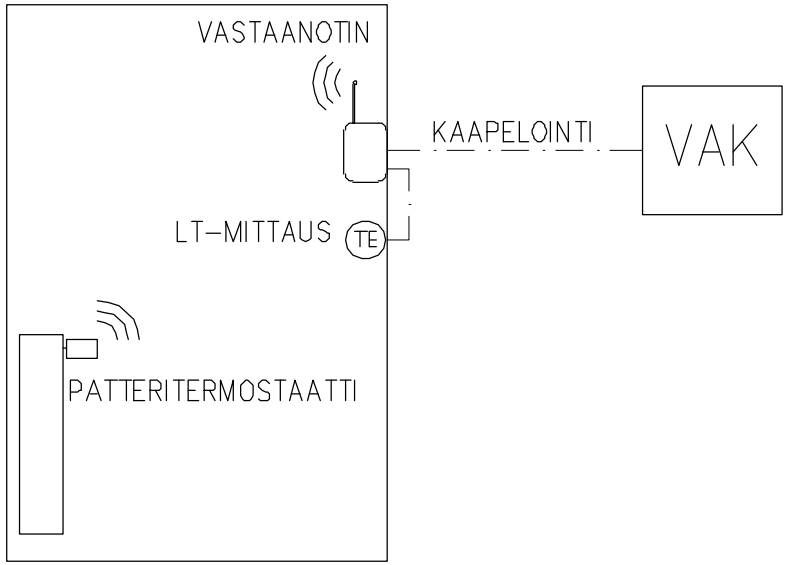
- Ohjaa lämmitysverkoston menoveden lämpötilaa:
  → Laskee menoveden lämpötilaa jota noin 40°C, jos kaukolämmön hintatrendi on nouseva.
  →Tällöin lämmitysteho pienenee noin 80%.
  → Menoveden lämpötilamuutokset toteutetaan hitaasti usean tunnin aikana tehopiikkien välttämiseksi.



- Ohjaus rajoitettu kylmimpien asuintilojen lämpötilan perusteella.
  → Menoveden lämpötilaa voidaan laskea vain, jos asuintiloissa T_{min}>20°C.
- Ei mahdollista latausjaksoja tavallisten huonetermostaattien vuoksi.

Euroopan unionin osarahoittama

Hajautettu kulutusjousto tilalämmityksessä



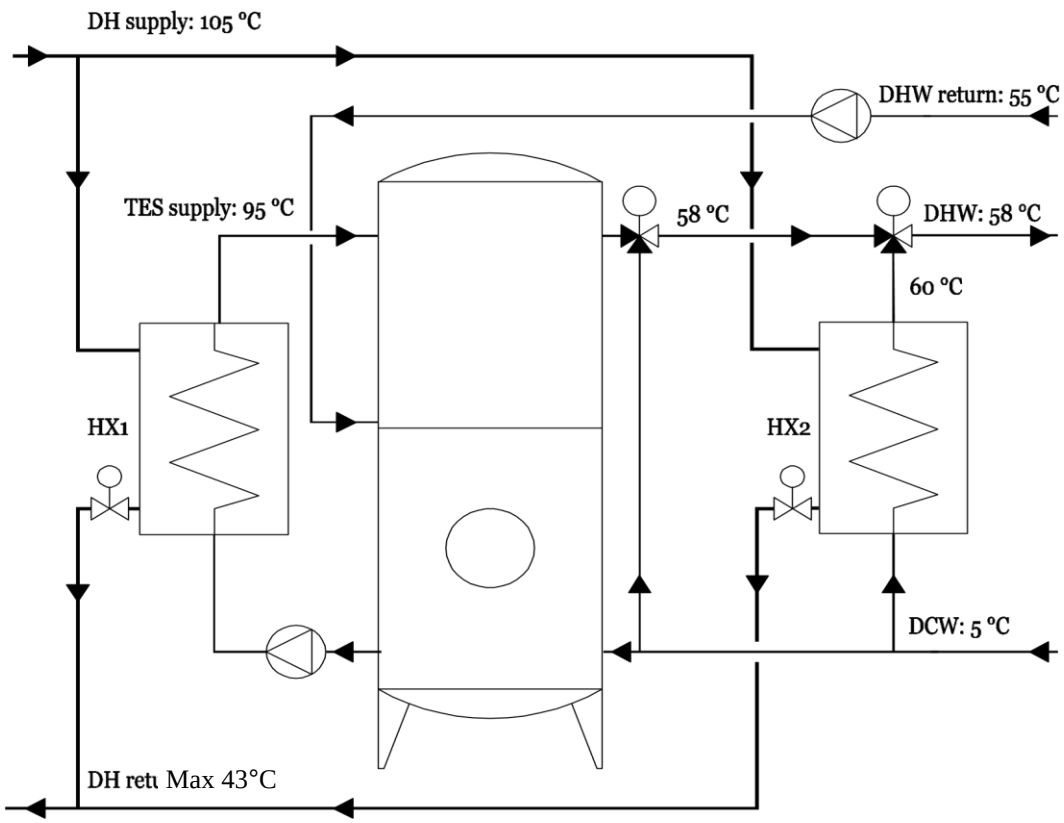
Hajautettu kulutusjousto-ohjaus

- Ohjaa huonelämpötilan asetusarvoa.
  → Asuintiloissa 20-23°C.
  → Yleisissä tiloissa (porrashuone ja kellari) 15-19°C.
  → Asetusarvon muutokset toteutetaan hitaasti usean tunnin aikana tehopiikkien välttämiseksi.
- Tehonrajoitus käytössä, joka palauttaa huonelämpötilan asetusarvon normaaliin, mikäli KL-alakeskuksen kokonaisteho nousee yli asetusarvon.
- Mahdollistaa latausjaksot nostamalla huonelämpötilaa.
- Edellyttää IoT-termostaattiventtiileitä.

Euroopan unionin osarahoittama

Tehopiikkien leikkaus käyttövesivaraajalla

- **<u>Dynaaminen lataus</u>**
  - Tavoitteena leikata KL-keskuksen huipputehoa LKV:n lämpötilaa ja olosuhteita vaarantamatta.
  - Rajoitetaan latausta KL-keskuksen kokonaistehon mukaan.
  - Varaajan tilavuus 2.5m³ mitoitettu vrk:n suurimman LKV:n lämmitystarpeen mukaan.
  - *Ohjaus varmistaa, että LKV:n ja KL:n paluuveden tavoitelämpötilat saavutetaan.*



Euroopan unionin osarahoittama

Simulointitapaukset

- **Käpylän tarkastelukohde (Koskelantie 15):**
  - Lämmitys kaukolämmöllä
  - Kaikissa tapauksissa radiaattoriverkosto (80/60°C) säädetty ja yläpohjassa lisälämmöneriste.
  - WC tilojen lämpötilan asetusarvo vakio 23°C.

Tapaus	CS Marginaali [€/MWh]	Kulutusjousto-tekniikka	Tehon-rajoitus	Käyttövesi varaaja	Lämmityksen asetusarvot: Asuntojen oleskelutilat			Lämmityksen asetusarvot: Yleiset tilat			Huomautukset
					min [°C]	norm. [°C]	max [°C]	min [°C]	norm. [°C]	max [°C]	
Ref	-	-		-	-	21	-	-	17	-	
DR Cent	-	Keskitetty		-	20	21	-	-	17	-	Käytössä tavalliset termostaatit
DR DeCent	75	Hajautettu	x	-	20	21	23	15	17	19	Käytössä IoT termostaatit
DR DHW tank	-	Tehon leikkaus LKV-varaajalla	x	Dynaaminen lataus	-	21	-	-	17	-	Varaajan tilavuus 2.5m³

Euroopan unionin osarahoittama

Energian- ja tehontarve sekä kustannukset

- Kaukolämmön tehon ja energiantarve*:

Tapaus	KL energia		KL teho			
	MWh	Δ%	Max. vrk ka, kW	Δ%	Max 3h ka, kW	Δ%
Ref	505.3	0.0	185.4	0.0	220	0.0
DR Cent	493.4	-2.3	184.6	-0.4	223.4	+1.5
DR DeCent	490.8	-2.9	185.5	+0.1	253.1	+15.0
DR DHW tank	511.5	+1.2	183.6	-1.0	185.1	-15.9

→ Hajautettu ja keskitetty kulutusjousto pienentävät energiantarvetta 2-3%

→ LKV-varaajan käyttö lisää 1% energiantarvetta

→ Ratkaisujen vaikutus vrk:n max. ka. tehoon vähäinen.

→ *Ratkaisujen vaikutus max. 3h ka. tehoon merkittävä*.

*Tarkastelujakso lämmityskausi 1. 10 – 30. 4

- Kaukolämmön kustannukset*:

Tapaus	KL energia		Perusmaksu		Yhteensä	
	€	Δ%	€	Δ%	€	Δ%
Ref	57253	0.0	7375	0.0	64628	0.0
DR Cent	55097	-3.8	7344	-0.4	62441	-3.4
DR DeCent	54095	-5.5	7380	+0.1	61475	-4.9
DR DHW tank	58139	+1.5	7302	-1.0	65442	+1.3

- **Ratkaisujen vaikutus KL:n kokonaiskustannuksiin:**
  → Keskitetty kulutusjousto: -3.4%
  → Hajautettu kulutusjousto: -4.9%
  →LKV-varaajan käyttö kasvattaa kustannuksia HELEN:n perusmaksun tariffilla.

→ *Jos perusmaksu määräytyisi max. 3h ka. tehon perusteella, kuten Ainolan kohteessa, KL:n kokonaiskustannukset vähenisivät:*
→ *Keskitetty: -2.7%*
→ *Hajautettu: -1.3%*
→ *LKV-varaaja: -2%*

Takaisinmaksuaika

- **Käytössä HELEN:n kaukolämmön perusmaksu vuodelta 2024:**

Tapaus	Kulutusjousto	Kassavirta A [€/a]	Investointi I_0 [€]	Takaisinmaksuaika* N_d [a]
Ref	-	0	0	-
DR Cent	Keskitetty	2147	1432	**0.7**
DR DeCent	Hajautettu + tehonrajoitus	3157	60580	**21.4**
DR DHW tank	Tehon leikkaus LKV-varaajalla	-784	14983	-

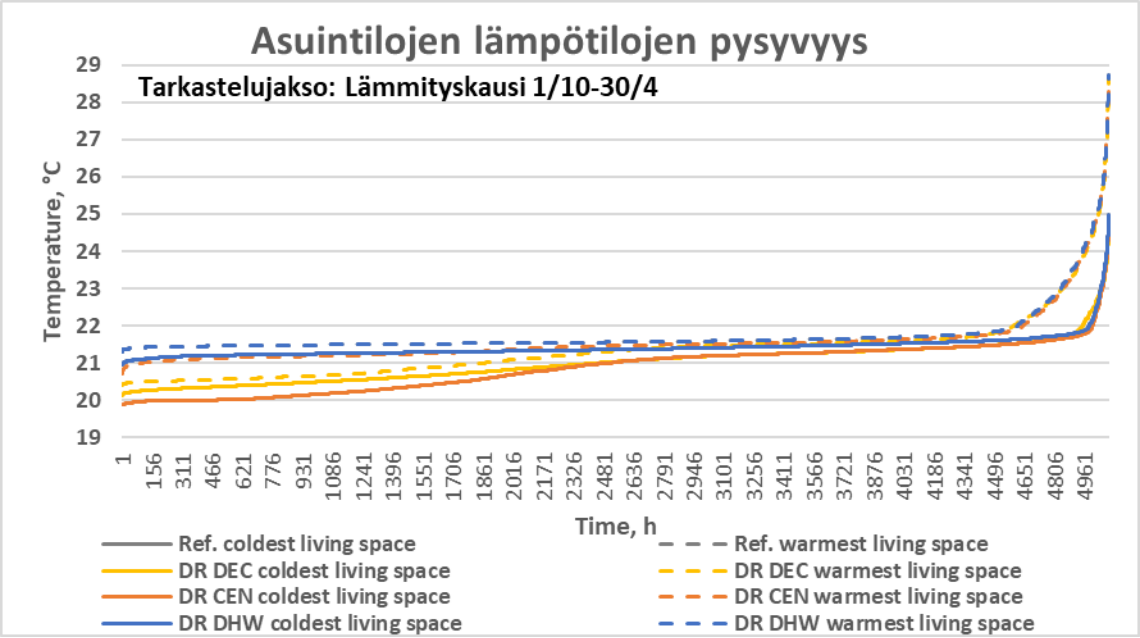
→ Keskitetyn kulutusjouston takaisinmaksuaika alle 1 vuoden.
→ Hajautetun kulutusjouston takaisinmaksuaika yli 20 vuotta.
→ LKV-varaajan ohjaus ei ole kannattava ratkaisu.

- ***Jos KL:n perusmaksu hinnoiteltaisiin käyttäen 3 max. tunnin keskitehoa, kuten Ainolan simulointikohteessa Tuusulanjärven lämmön perusmaksulla, takaisinmaksuajat:***

→ *Keskitetty kulutusjousto: Alle 1 vuoden.*
→ *Hajautetun kulutusjousto: 98 vuotta*
→ *LKV-varaajan ohjaus: 11 vuotta*

**Korollinen takaisinmaksuaika, kun reaalikorko 3% ja eskalaatio 2%*

Ratkaisujen vaikutus lämpöoloihin



- **Asuintilojen lämpötila alimmillaan:**
  →Ilman kulutusjousto-ohjausta 21°C
  → Keskitetyllä ja hajautetulla ohjauksella 20°C
  → LKV-varaajalla ei vaikutusta lämpöoloihin.

Tapaus	Matalin huonelämpötila, °C		
	Kylpyhuoneet	Kellaritilat	Porrashuoneet
Ref	22.6	16.3	17.1
DR Cent	19.3	14.3	15.9
DR DeCent	22.4	15.2	15.3
DR DHW tank	22.6	16.3	17.1

- **Kylpyhuoneiden min. lämpötila:**
  →Ainoastaan keskitetyllä ohjauksella merkittävä vaikutus, mikäli kylpyhuone rajoittuu julkisivuun.
- **Kellaritilojen min. lämpötila:**
  →Keskitetty ja hajautettu ohjaus laskee min. lämpötilaa 2-1°C.
- **Porrashuoneet min. lämpötila:**
  →Keskitetty ja hajautettu ohjaus laskee min. lämpötilaa 1-2°C.

Euroopan unionin osarahoittama

Yhteenveto

- **Kaukolämmön perusmaksun hinnoitteluperiaatteilla on keskeinen vaikutus kiinteistön omistajan toteuttamien kulutusjousto-ratkaisujen kannattavuuteen.**
- **Jos perusmaksu hinnoitellaan vrk:n max. tehon perusteella:**
  →Keskitetty kulutusjousto on kannattava ratkaisu, jos tilojen lämpötiloille sallitaan joustoa.
  → Hajautetun kulutusjouston kannattavuutta heikentää suuret investointikustannukset.
  → Tehonleikkaus LKV-varaajalla ei kannata.
- **Jos perusmaksu hinnoitellaan tunnin aikaresoluutiolla:**
  → Tehonleikkaus LVK-varaajalla olisi kannattava ratkaisu.

Euroopan unionin osarahoittama

Kiitos!

Kysyttävää?

Euroopan unionin osarahoittama