

BLOCKCC

Maalämmön ja kulutusjouston kannattavuus Ainolan uudiskerrostalossa

Viiteryhmä A 29.1.2025

Jiayi Liu, Juha Jokisalo



Euroopan unionin
osarahoittama



Tavoitteena selvittää

- Maalämpöjärjestelmän energiansäästöpotentiali ja kannattavuus uudiskerrostalossa.
- Hajautetun kulutusjousto-ohjauksen taloudellinen kannattavuus.
- **Toteutus:**
 - Simulointitutkimus IDA ICE 5.0 ohjelmalla.



Euroopan unionin
osarahoittama



Simulointikohde lähtötilanteessa

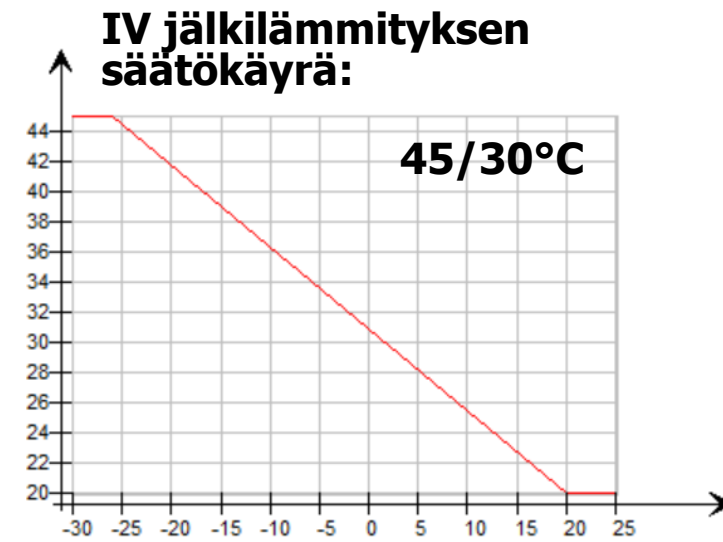
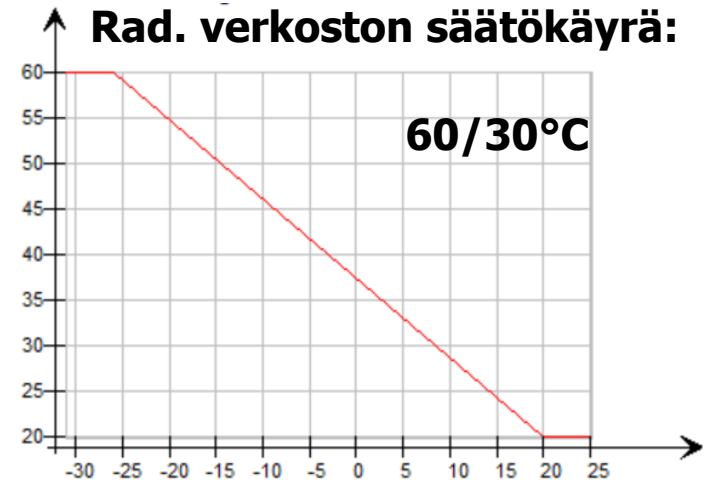
- Uudisasuinkerrostalo Ainolan Aura Järvenpäässä.
- Lämmitetty nettoala 3000 m².
- Kuusi kerrosta.
- Käytössä kaukolämpö ja vesiradiaattorilämmitys.
- Kylpyhuoneet sähköisellä lattialämmityksellä.
- Koneellinen tulo-/poistoilmanvaihto, jälkilämmitys kaukolämmöllä, LTO:n hyötysuhde = 55%.



Kuva: <https://www.etuovi.com>

Tutkitut lämmitysjärjestelmät

- **Kaukolämpö:** Sopimusteho 102kW
- **Maalämpöjärjestelmät:**
 - MLP:n tehomitoitus: 60% tai 80% tilojen ja IV:n max. lämmitystehontarpeesta käyttöolosuhteissa
 - MLP:n teho 44 tai 59 kW ja COP 4.5 testiolosuhteissa 0/35°C
 - **Lämpökaivot:**
 - 60%: 5 kpl 255m lämpökaivoja
 - 80%: 6 kpl 284m lämpökaivoja
 - **Apulämmitys:**
 - 60%: 92kW sähkökattilalla
 - 80%: 77kW sähkökattilalla
 - **Lämmönjako:**
 - Rad. verkosto 60/30°C ja IV (45/30°C)



Euroopan unionin
osarahoittama



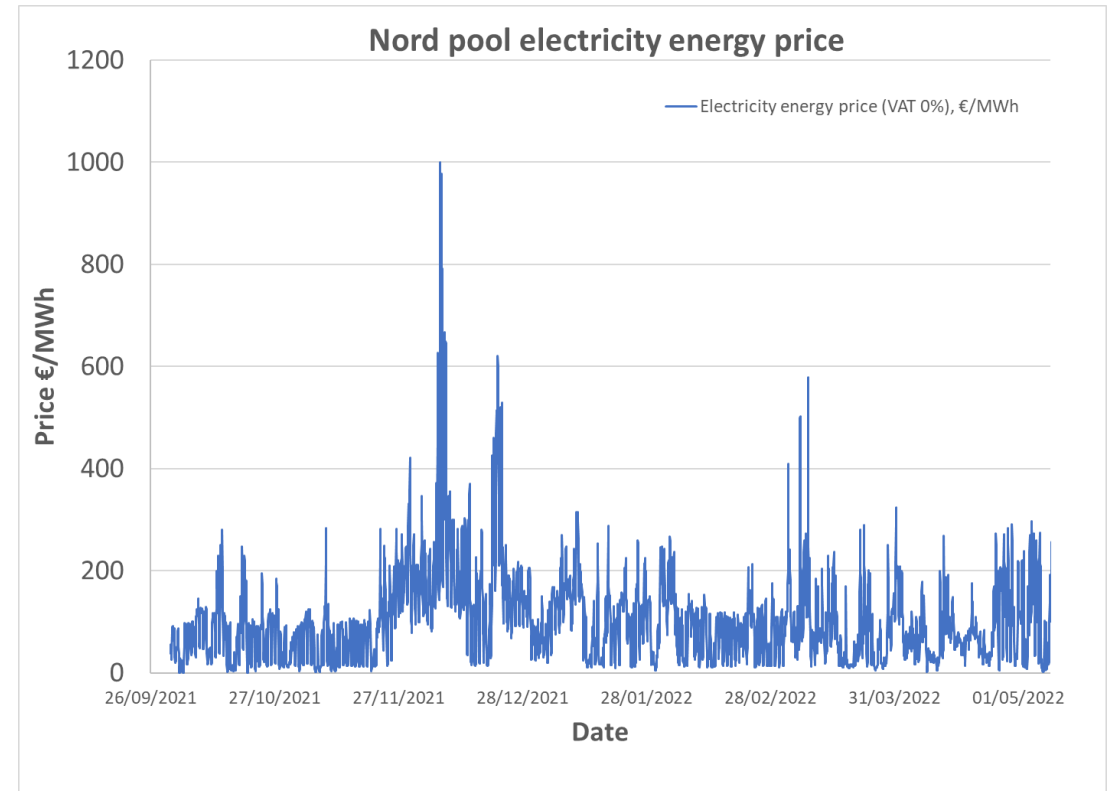
Kulutusjouston ohjaus

Ohjaussignaalina sähkön tunnit- tainen spot-hinta

- Simulointijaksolla veroton:
 - Keskihinta 100 €/MWh
 - Keskihajonta 62 €/MWh

Vertailun vuoksi spot-hinnan keskihajonta:

- Vuonna 2022: 102 €/MWh
- Vuonna 2023: 42 €/MWh



→ Sähkön hinnan vaihtelu
simulointijaksolla merkittävää
→ Mutta ei yllä vuoden 2022 tasoon



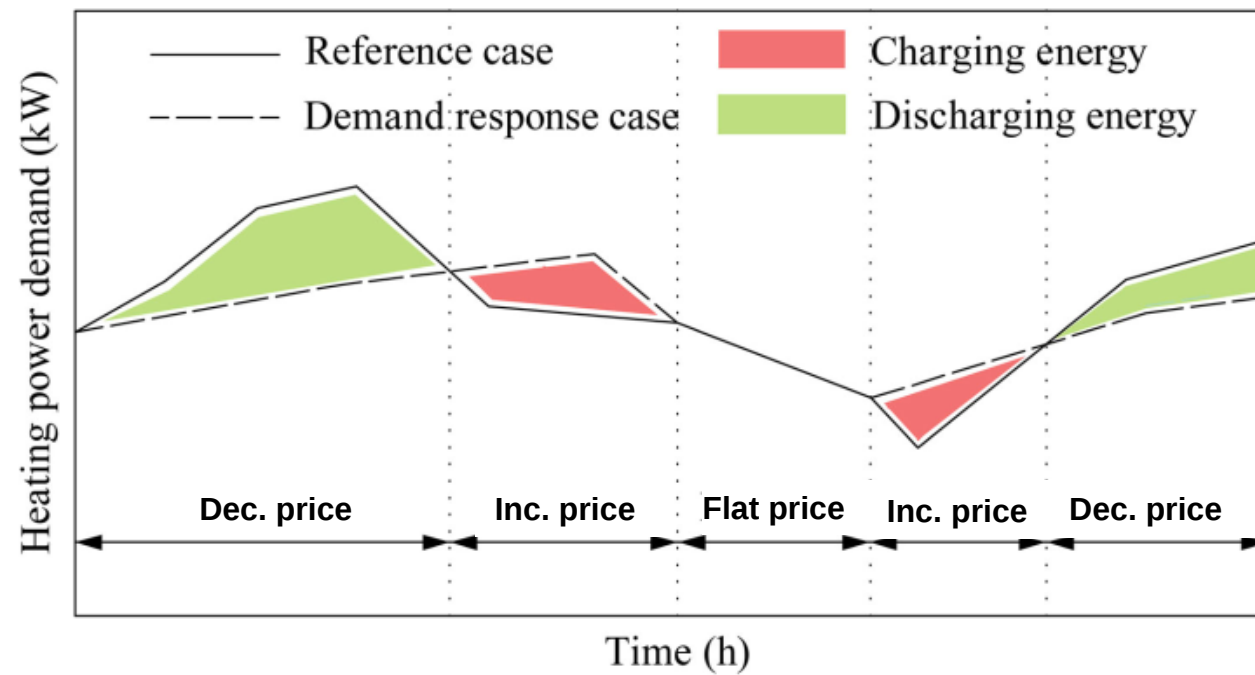
Euroopan unionin
osarahoittama



Kulutusjouston ohjaus

Käytössä sääntöperusteinen ohjausalgoritmi:

- Seuraa sähkön hintatrendiä 24 h eteenpäin:
 - **Nouseva trendi:**
 - Lisätään lämmitystä, jos ulkolämpötilan 24 h keskiarvo $\leq 0^{\circ}\text{C}$
 - **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



Kulutusjouston ohjaus

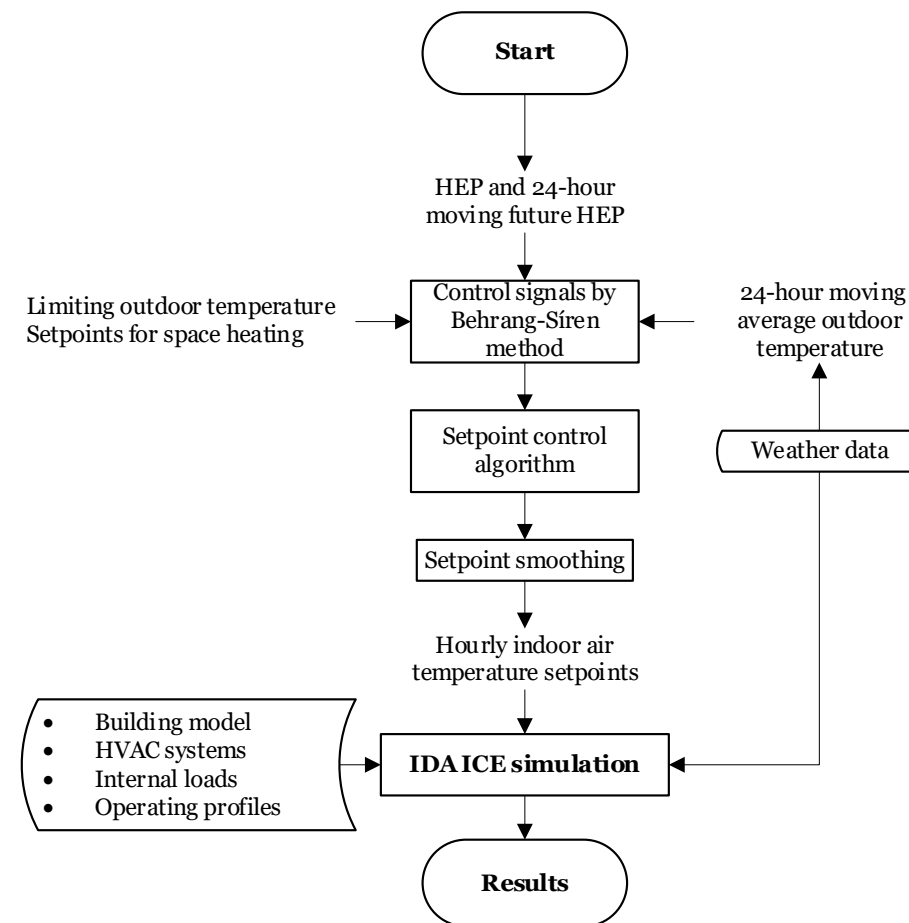
Sähkön hintatrendin seuranta:

- Verrataan nykyhetken hintaan (HEP) seuraavan 24h keskihintaan [3]:

IF HEP < $HEP_{avr}^{+1,+24}$ – marginal value, Then CS = +1
ELSEIF HEP > $HEP_{avr}^{+1,+24}$, Then CS = -1
ELSE CS = 0
END IF

→ Ohjaussignaali: CS = +1(lataus), CS = 0(norm.), CS = -1(purku)

- Lataus, eli asetusarvon nosto toteutetaan, jos edellisen 24h keskim. ulkolämpötila on alle 0°C.



[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>

Kulutusjouston ohjaus

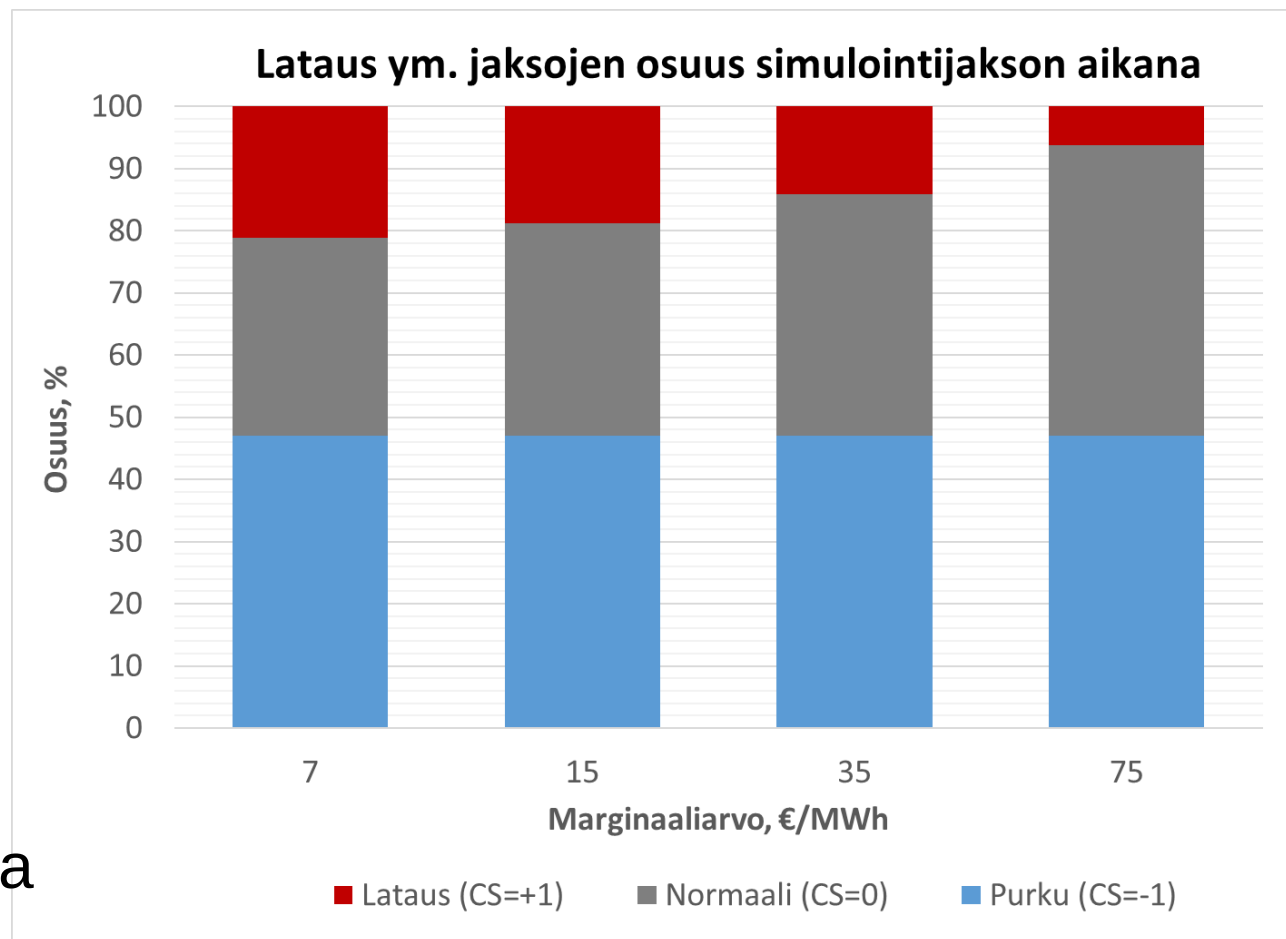
Ohjausalgoritmin marginaaliarvon valinta:

- Vaikuttaa algoritmin herkkyyteen generoida latausjaksoja:

```
IF  $HEP < HEP_{avr}^{+1,+24}$  – marginal value, Then  $CS = +1$   
ELSEIF  $HEP > HEP_{avr}^{+1,+24}$ , Then  $CS = -1$   
ELSE  $CS = 0$   
END IF
```

→ Pienempi marginaali lisää latausjaksojen määrää.

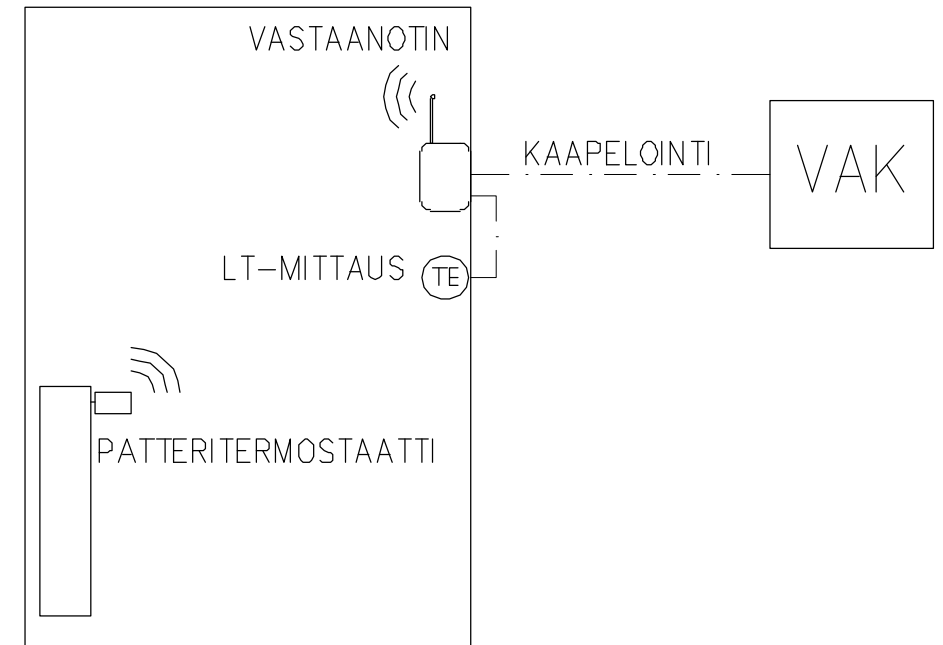
- Jos kohteen lämmöneristystaso on heikko, latausjaksojen määrä kannattaa minimoida.
- Perttu Karjalaisen tutkimuksen perusteella kohteen kannattavin marginaali 7 €/MWh
→ Käytetään sitä myös tässä tutkimuksessa.



Hajautettu kulutusjousto tilalämmityksessä

Hajautettu kulutusjousto-ohjaus

- Ohjaa huonelämpötilan asetusarvoa.
 - Asuintiloissa 20-23°C.
 - Yleisissä tiloissa (porrashuoneet ja kellari) 15-19°C.
 - Asetusarvon muutokset toteutetaan hitaasti usean tunnin aikana tehopiikkien välttämiseksi.
- Edellyttää IoT-termostaattiventtiileitä.



Kannattavuuslaskelmat

- Tuusulanjärven Lämpö Oy:n kaukolämpöhinnasto 1.1.2024 [1]
- Sähkön spot-hinta simulointijaksolle + paikallisten toimijoiden marginaalit ja siirtohinnot sekä verot.
- Alv. 24 %.

Korollinen takaisinmaksuaika (N)

- Laskettu eri ratkaisujen vaatimille lisäinvestoinneille.
- Investointikustannukset (I_0):
 - MLP:n investointikustannukset aiemmista tutkimuksista [2] rak. kustannusindeksillä korjattuna.
 - Suuremman sähköliittymän kustannukset otettu huomioon MLP tapauksissa.
 - Kulutusjoustoratkaisun yksikköhinnat Granlund Oy:n asiantuntijoilta.
- Kassavirta (A) simulointijakson aikana saadut säästöt.
- Reaalikorko (3 %) ja energian hinnan eskalaatio 2 %.

$$N = \frac{\ln(1 - \frac{I_0}{A} r_e)}{\ln\left(\frac{1}{1 + r_e}\right)}$$

[1] Tuusulanjärven lämpö Oy, 2024. Kaukolämmön myyntihinnastot Järvenpää ja Tuusula

[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>

Simulointitapaukset

- **Uudiskerrostalo Ainolan Aura Järvenpäässä:**
 - Kaikissa tapauksissa veriradiaattorit (60/30°C) ja ilmanvaihdon jälkilämmitys 45/30°C mitoituksella.
 - LV-varaajan tilavuus mitoitettu MLP:n mitoituksesta riippuen:
 - Kylpyhuoneissa sähköinen lattialämmitys vakio asetusarvolla 22°C.

Tapaus	Lämmitys	Kulutus- jousto	LV- varaajan tilavuus [m³]	Lämmityksen asetusarvot: Asuntojen oleskelutilat			Lämmityksen asetusarvot: Yleiset tilat			Huomautukset
				min [°C]	norm. [°C]	max [°C]	min [°C]	norm. [°C]	max [°C]	
Ref DH	Kaukolämpö	Ei	-	-	21	-	-	17	-	
GSHP (60%)	MLP+sähkökattila	Ei	1.8	-	21	-	-	17	-	Käytössä tavalliset termostaatit
GSHP (80%)	MLP+sähkökattila	Ei	2.4	-	21	-	-	17	-	Käytössä tavalliset termostaatit
GSHP (60%)+DR	MLP+sähkökattila	Hajautettu	1.8	20	21	23	15	17	19	Käytössä IoT termostaatit
GSHP (80%)+DR	MLP+sähkökattila	Hajautettu	2.4	20	21	23	15	17	19	Käytössä IoT termostaatit



Euroopan unionin
osarahoittama



Kaukolämmön ja sähkön kulutus

- Ainolan Aura lämmityskaudella:

Tapaus	Kaukolämpö MWh	Sähkö, MWh					
		MLP	Apulämmitys	Sähköinen lattialämmitys	LVI- apulaitteet	Muut*	Yhteensä
Ref DH	173.4	-	-	12.5	16.2	64.2	92.9
GSHP (60%)	-	48.9	25.1	12.5	16.3	64.2	166.9
GSHP (80%)	-	54.5	18.5	12.5	16.3	64.2	165.9
GSHP (60%)+DR	-	47.9	29.1	9.7	16.3	64.1	167.1
GSHP (80%)+DR	-	54.9	20.2	9.7	16.3	64.2	165.1

* Laitteet+valaistus+yhteissaunan kiuas

- MLP:n asentaminen vähentää kok. ostoenergiankulutusta noin 38%
- MLP:n asentaminen kasvattaa sähkönkulutusta noin 80%
- MLP:n suurempi 80% tehomitoitus vähentää sähkönkulutusta:
 - Ei kulutusjousto: -0.6%
 - Kulutusjousto käytössä: -1.2%
- Kulutusjouston käytön vaikutus sähkönkulutukseen:
 - MLP:n tehomitoitus 60%: +0.1%
 - MLP:n tehomitoitus 80%: -0.5%
 - Sähköisen lattialämmityksen sähkönkulutus pienenee noin 20%

Kaukolämmön ja sähkön kustannukset

Tapaus	Energiakustannukset				Perusmaksut		Yhteensä		
	Kaukolämpö	Sähkö	Yht		Kauko- lämpö	Sähkö			
	€	€	€	Δ%	€	€	€	Δ€	Δ%
Ref DH	18095	12172	30267	0.0	6392	612	37272	0	0.0
GSHP (60%)	-	28599	29513	-2.5	0	3906	32506	-4766	-12.8%
GSHP (80%)	-	27928	28831	-4.7	0	3530	31457	-5815	-15.6%
GSHP (60%)+DR	-	27826	28744	-5.0	0	4076	31902	-5370	-14.4%
GSHP (80%)+DR	-	27064	27964	-7.6	0	3722	30786	-6486	-17.4%

- MLP:n asentaminen vähentää kokonaiskustannuksia 13-17%
- MLP:n suurempi 80% tehomitoitus vähentää kokonaiskustannuksia:
 - Ei kulutusjousto: -3.2%
 - Kulutusjousto käytössä: -3.5%
- Kulutusjouston käytön vaikutus kokonaiskustannuksiin:
 - MLP:n tehomitoitus 60%: -1.9%
 - MLP:n tehomitoitus 80%: -2.1%

Ratkaisujen korollinen takaisinmaksuaika

Tapaus	Kassavirta A [€/a]	Investointi I ₀ [€]	Takaisinmaksuaika* Nd [a]
Ref DH	0	0	-
GSHP (60%)	4766	90057	21.0
GSHP (80%)	5815	112729	21.6
GSHP (60%)+DR	5370	142622	30.9
GSHP (80%)+DR	6486	165294	29.5

- Kaikkien ratkaisujen takaisinmaksuajat ovat varsin pitkiä
- MLP:n asentamisen takaisinmaksuaika noin 21 vuotta
 - 60% tehomitoitus on hiukan kannattavampi
- Kulutusjouston mukaan ottaminen nostaa aikaisinmaksuajan noin 30 vuoteen.
- Hajautettu kulutusjousto ei ole suuren investointikustannuksen vuoksi kannattava ratkaisu tutkitussa tapauksessa.

**Reaalikorko 3% ja eskalaatio 2%*



Euroopan unionin
osarahoittama



Yhteenveto

- Maalämpöjärjestelmällä saadaan vähennettyä kokonaisostoenergian kulutusta hieman alle 40%.
→ Lämmityskustannukset vähenevät 13-17% ratkaisusta riippuen.
- Maalämpöjärjestelmän takaisinmaksuaika uudiskerrostaloissa noin 20 vuotta.
- Maalämpöjärjestelmä on kannattavampi ratkaisu paljon energiaa kuluttavissa kohteissa kuten vanhoissa kerrostaloissa.
→ *Kisakylän 50-luvun kerrostalossa MLP järjestelmän korollinen takaisinmaksuaika on 6-12 vuotta.*
- Hajautetun kulutusjousto-ohjauksen toteutus maalämpöjärjestelmän yhteydessä ei ole nykyisillä investointikustannuksilla kannattavaa.
- Sama havainto tehtiin myös Perttu Karjalaisen kaukolämmön kulutusjuostotutkimuksessa, joka esiteltiin edellisessä viiteryhmän kokouksessa.



Euroopan unionin
osarahoittama



Kiitos!
Kysyttävää?



**Euroopan unionin
osarahoittama**

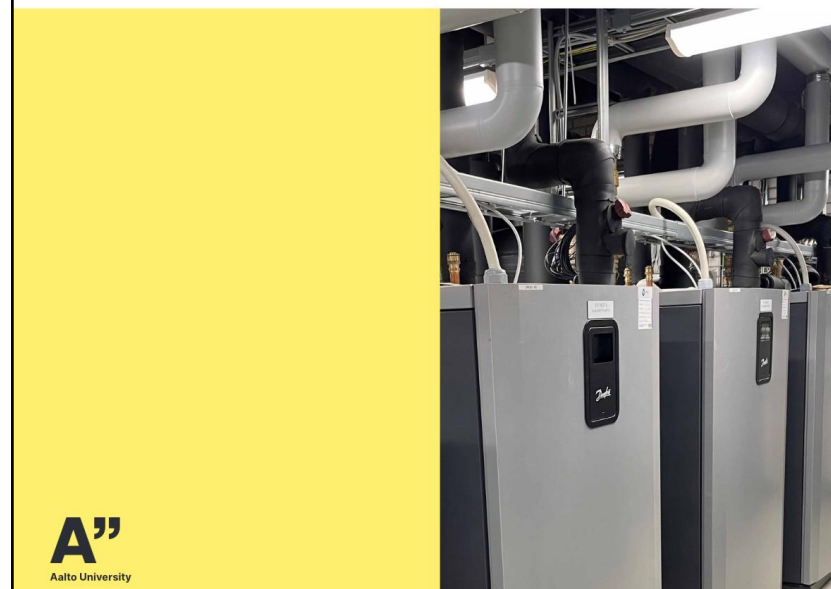


Väitös Aalto-yliopistossa

- **Aika:** pe 31.1 klo 12:15
- **Paikka:** Otakaari 4 (Sali 215), Otaniemi tai etänä Zoomissa ([Zoom Link](#))
- **Väitöskirja ladattavissa:**
<https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-64-2370-8>

Modelling, design, and control of hybrid ground source heat pump system coupled with district heating in an educational building complex

Tianchen Xue



Euroopan unionin
osarahoittama



BLOCKCC