

BLOCKCC

Kaukolämmön kulutusjousto uudiskerrostalossa

-

Simulointitulokset

Viiteryhmän A kokous 20.11.2024

Perttu Karjalainen



Euroopan unionin
osarahoittama



Kaukolämmön kulutusjousto uudiskerrostalossa

Kulutusjoustolla pyritään siirtämään energian käyttöä halvemmille ajanjaksoille.

- Lämmöntuotannon päästöjen väheneminen.^[1]
- Lämmöntuotannon hinnan aleneminen.^[1,2]

[1] Suhonen, J., Lindholm, J., Verbeck, M., Ju, Y., Jokisalo, J., Kosonen, R., ... Schäfers, H. (2023). Energy, cost and emission saving potential of demand response and peak power limiting in the German district heating system. *International Journal of Sustainable Energy*, 42(1), 1092–1127. <https://doi.org/10.1080/14786451.2023.2251601>

[2] Penttinen, P. (2024) Kehityspäällikkö, Vantaan energia. Interview 7.6.2024.3



**Euroopan unionin
osarahoittama**



Tutkimuskysymykset

- Kuinka suuri on rahallinen säästöpotentiaali erilaisilla kulutusjouston metodeilla kerrostalossa, kiinteistön omistajan kannalta?
- Kuinka suuri on energianjoustopotentiaali erilaisilla kulutusjouston metodeilla uudisrakentamisen asuinkerrostalossa?
- Tutkittavat kulutusjoustoratkaisut
 - Keskitetty kulutusjousto, menoveden lämpötilan ohjaus
 - Hajautettu kulutusjousto, tilojen lämpötilan ohjaus
 - Käyttövesivaraaja tehopiikkien leikkaamiseen

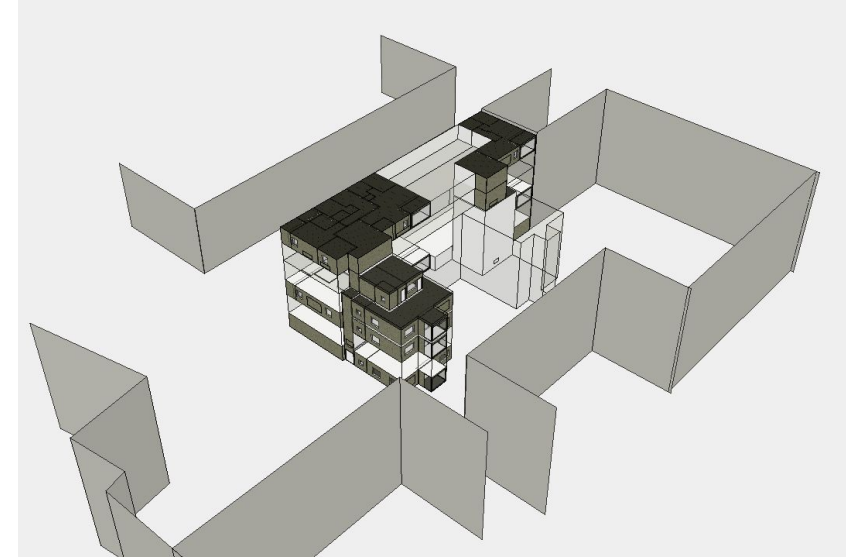


Euroopan unionin
osarahoittama



Kohdekuvaus

- Ainolan Aura
- Tyypillinen uudiskerrostalo Etelä-Suomessa .
- Lämmitetty nettoala $\sim 3000 \text{ m}^2$, kuudessa kerroksessa.
- Sisäiset kuormat vuositasolla YMa:n asetuksen 1010/2017 mukaiset.
- Käyttöprofiilit huonekohtaiset.
- Lämmitys
Vesiradiaattorilämmitys, kylpyhuoneissa sähköinen lattialämmitys.
- Ilmanvaihto
Mekaaninen tulo-/poistoilmanvaihto, lämmitys kaukolämmöllä, lämmöntalteenoton hyötysuhde = 55%.



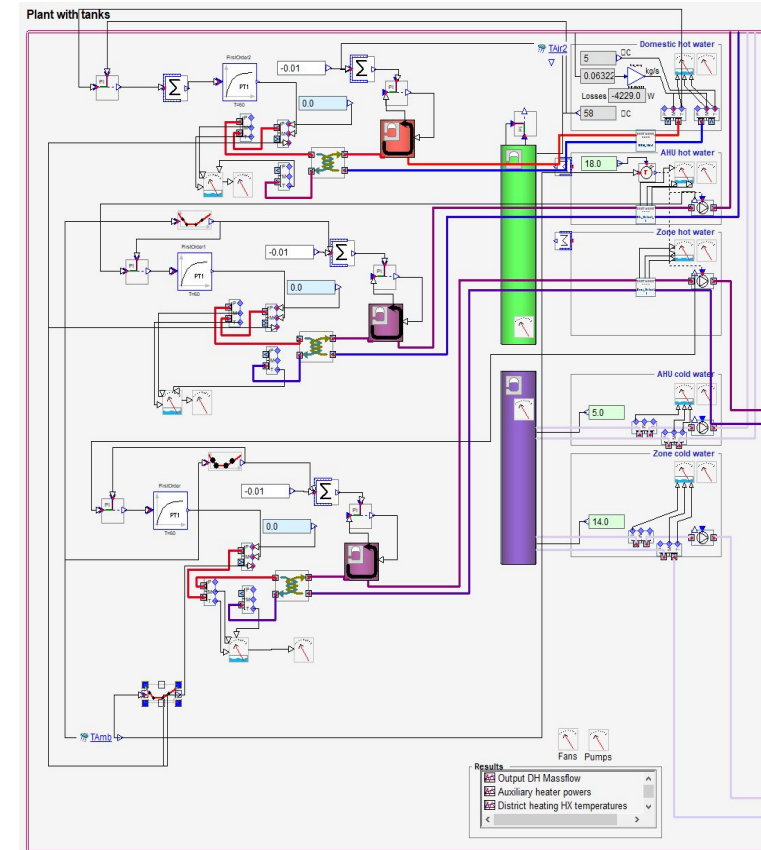
Euroopan unionin
osarahoittama



Simulointiohjelmisto

Dynaaminen energiasimulointiohjelma IDA ICE 5.0

- Säädata: Helsinki-Vantaan sääasema 2021-2022
- Tutkimukseen kehitetyt lämpökeskusmallit mahdollistavat
 - lämmityspiirikohtaisen tarkastelun,
 - käyttövesivaraajan simuloinnin,
 - eri kulutusjoustoratkaisujen vaikutusten analysoinnin.
- Tulokset:
 - Sähkön ja kaukolämmön tunnittainen energiankulutus
 - Huonelämpötilat



Euroopan unionin
osarahoittama

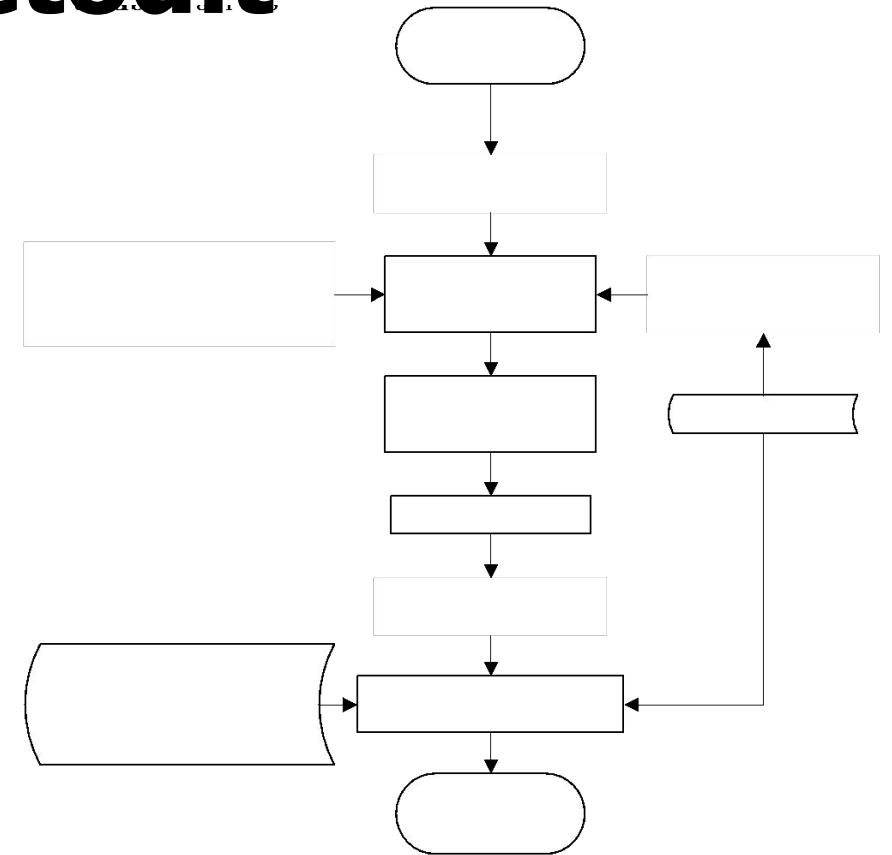


Kulutusjoustometodit

Sääntöperusteinen ohjausalgorithmi

Tilalämmitys

- Simuloitu kaukolämmön dynaaminen hintaprofiili.^[3]
- Ohjaussignaali ns. Behrang-Síren metodilla.^[3]
 - Ohjaus kaukolämmön 24-tunnin hintatrendin perusteella.
 - Latausjaksojen rajoitus ulkolämpötilan mukaan.
 - $CS = +1$ (lataus), $CS = 0$ (normi), $CS = -1$ (purku).
- Sisälämpötilojen tavoitetasot.
 - Sisäilmastoluokitus 2018 ja SFS-EN 16798-1:2019



*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*

[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>

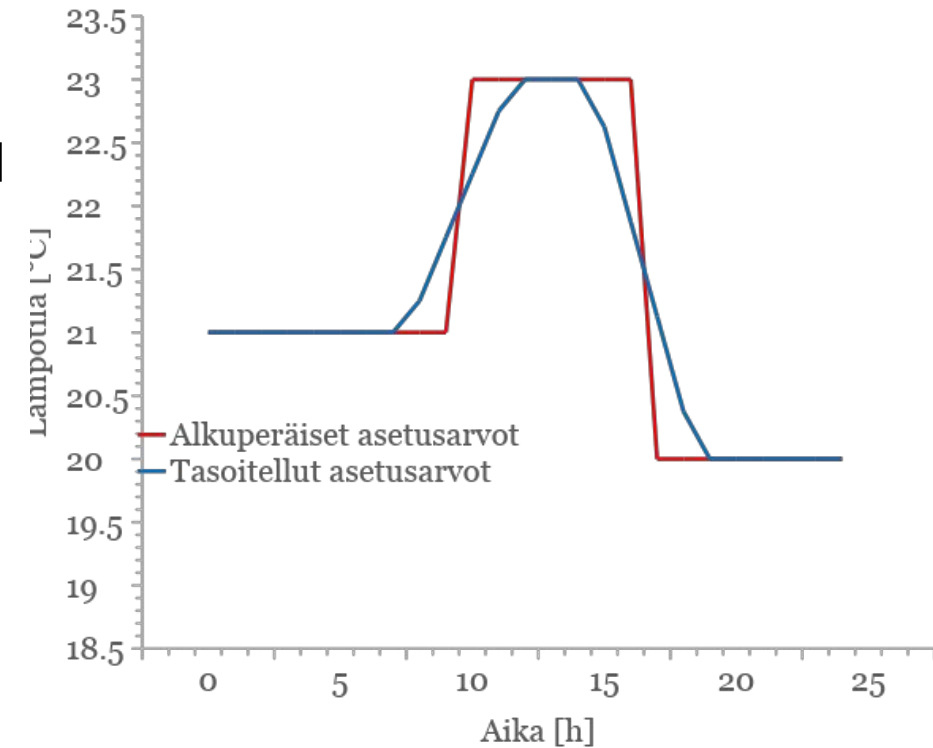
Kulutusjoustometodit

Säätöperusteinen ohjausalgorithmi

Tilalämmitys

- Simuloitu kaukolämmön dynaaminen hintaprofiili.^[3]
- Ohjaussignaali ns. Behrang-Síren metodilla.^[3]
 - Ohjaus kaukolämmön 24-tunnin hintatrendin perusteella.
 - Latausjaksojen rajoitus ulkolämpötilan mukaan.
 - CS = +1(lataus), CS = 0(normi), CS = -1(purku).
- Sisälämpötilojen tavoitetasot.
 - Sisäilmastoluokitus 2018 ja SFS-EN 16798-1:2019

Asetusarvojen tasoittelu



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

[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

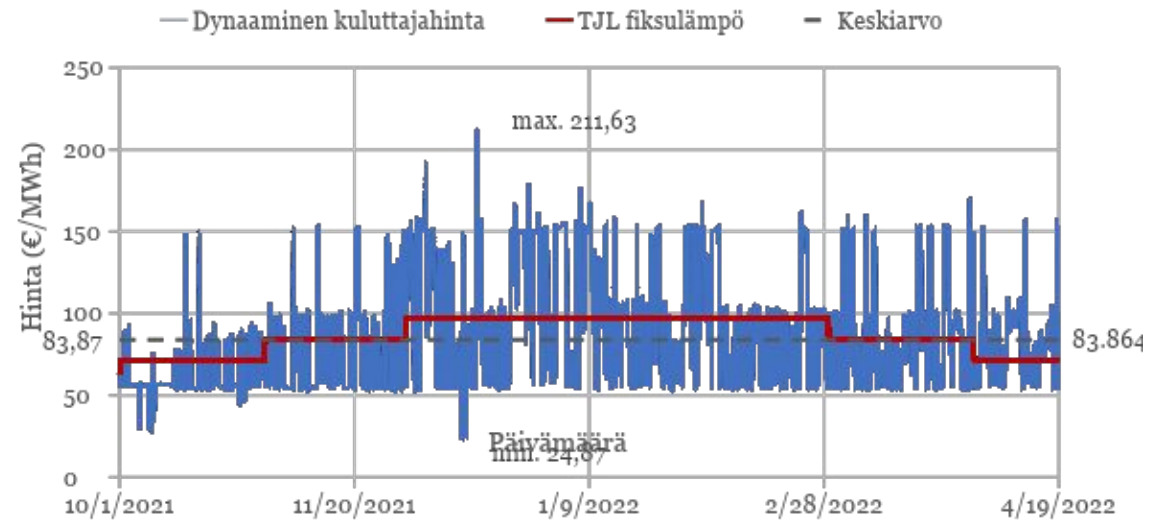


Kulutusjoustometodit

Sääntöperusteinen ohjausalgorithmi

Hintaprofiili

- Perustuu erään kaukolämpöverkon mallinnettuun tunnittaiseen kuluttajahintaan.^[3]
- Normitettu vastaamaan paikallisen kaukolämpöyhtiön kuukausittaisia kuluttajahintoja.^[4]



[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>

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



Euroopan unionin
osarahoittama



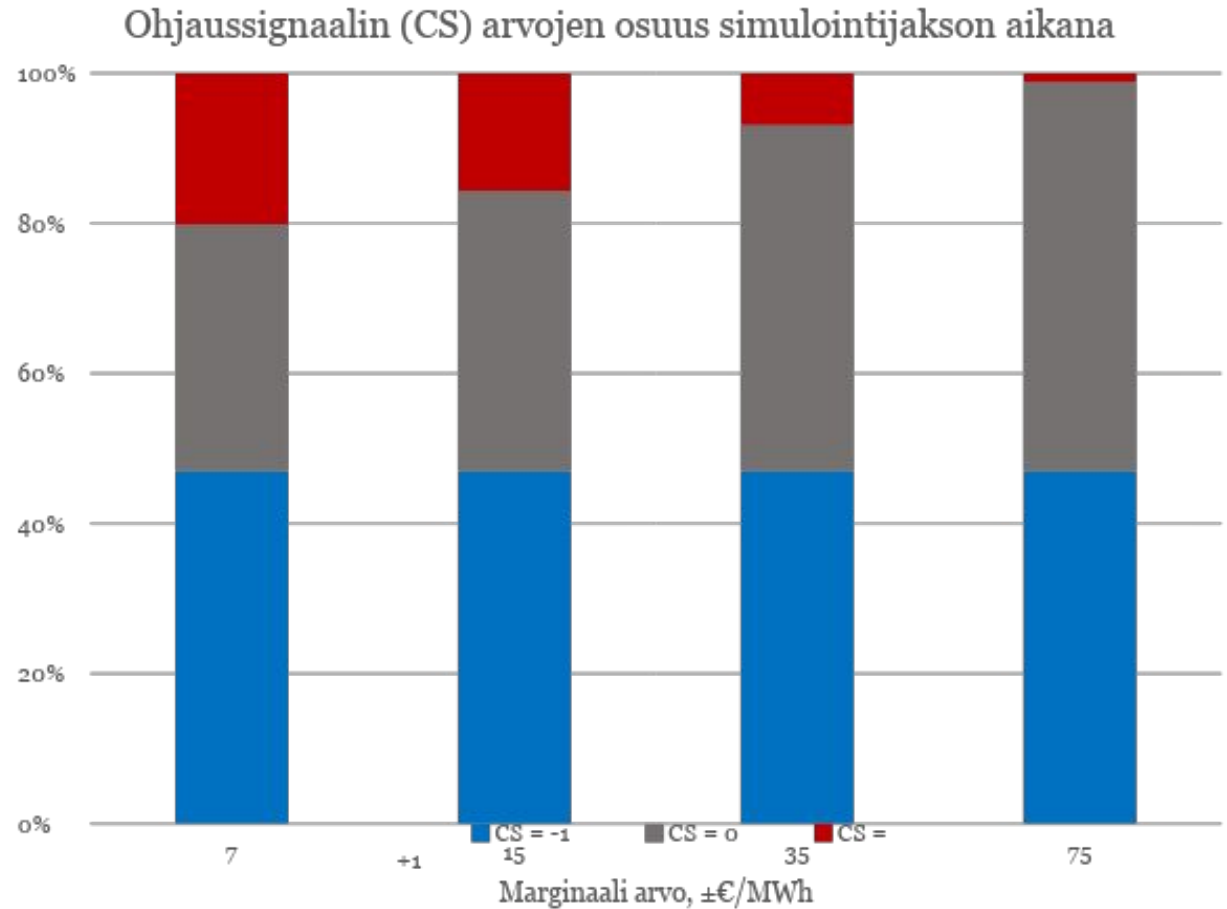
Kulutustjoustometodit

Sääntöperusteinen ohjausalgorithmi

Marginaaliarvo

- Vaikuttaa algoritmin herkkyyteen
- Pienempi marginaali lisää latausjaksojen määrää

```
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
```



Euroopan unionin
osarahoittama



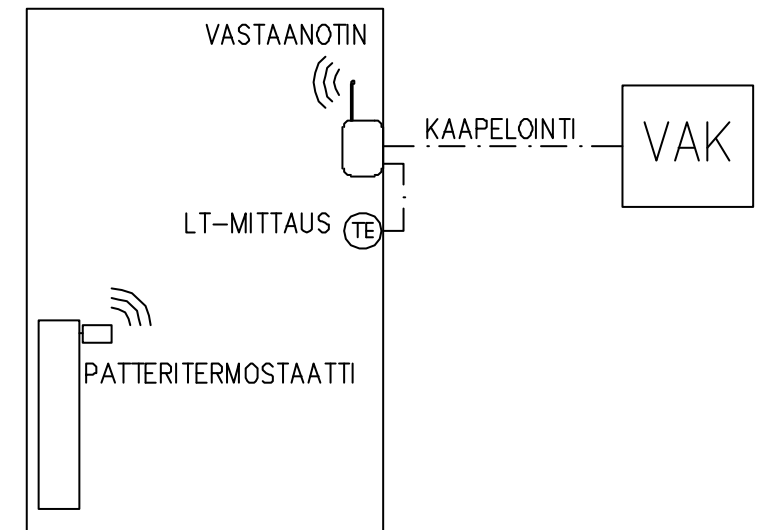
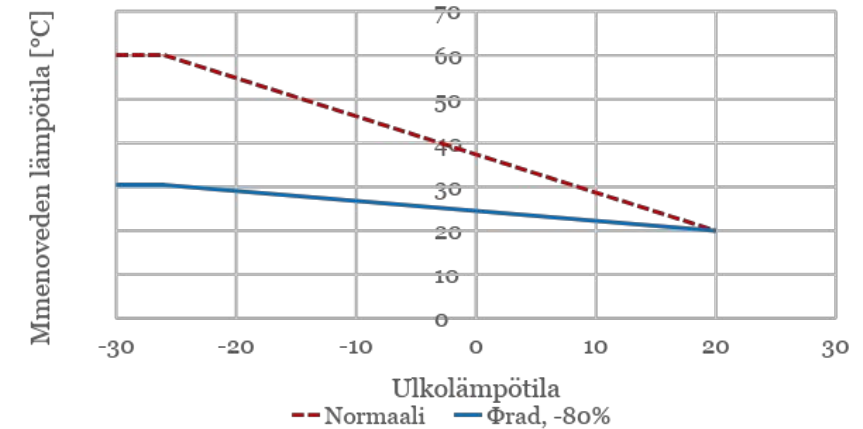
Kulutusjousto tilalämmityksessä

Keskitetty kulutusjousto-ohjaus

- Ohjaa lämmitysverkoston menoveden lämpötilaa.
- Ei mahdollista latausjaksoja huonetermostaattien takia.
- Ohjaus rajoitettu kylmimpien tilojen lämpötilan perusteella.

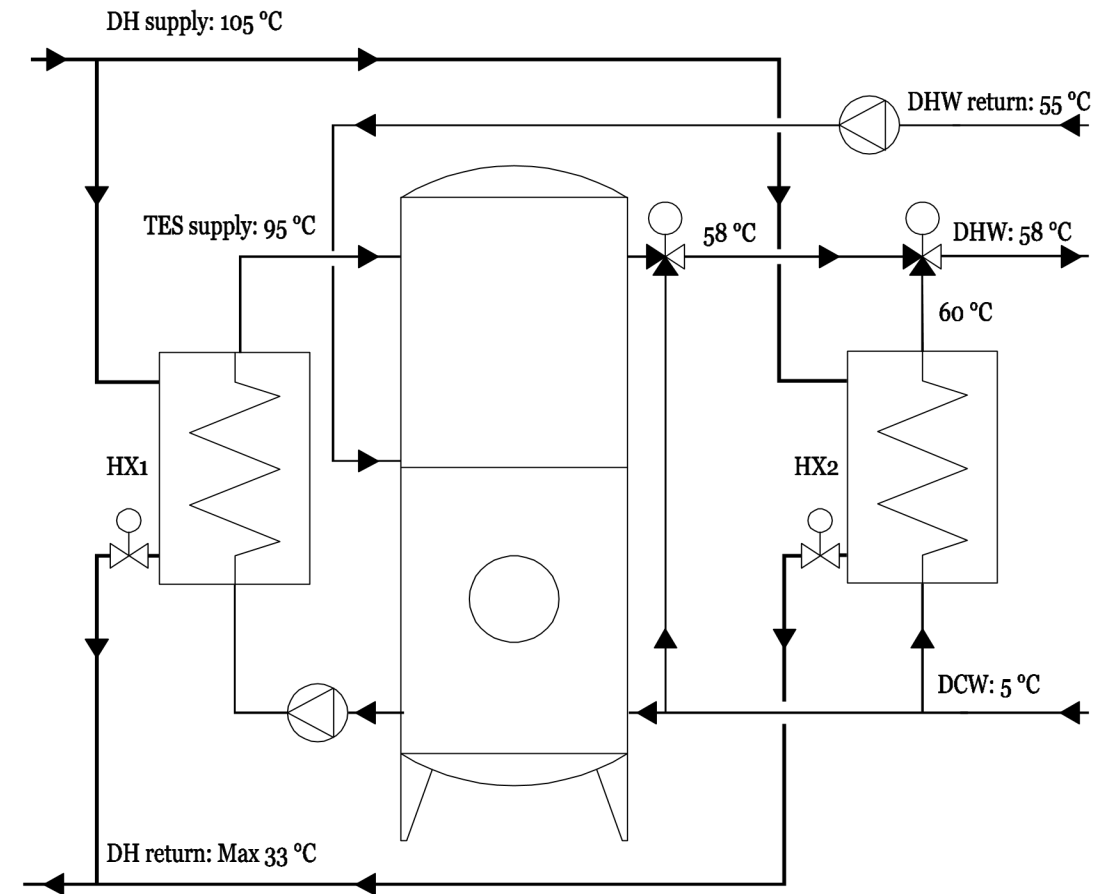
Hajautettu kulutusjousto-ohjaus

- Ohjaa huonelämpötilan asetusarvoa.
- Mahdollistaa latausjaksot nostamalla huonelämpötilaa.
- Edellyttää IoT-termostaattiventtiilit.



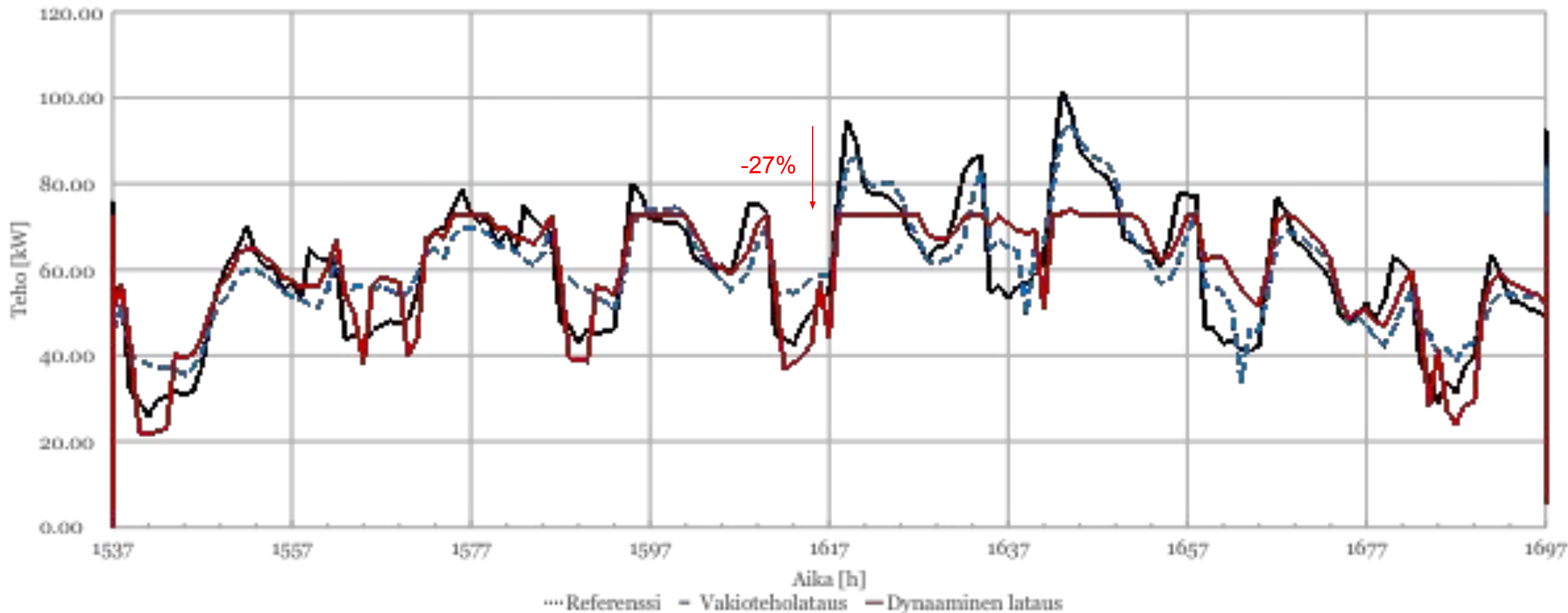
Tehopiikkien leikkaus käyttövesivaraajalla

- Vakioteholataus
 - Tavoitteena tasata LKV lämmitysteho.
 - Ladataan säiliötä vakioteholla 24/7.
 - Latauksen rajoitus kaukolämmön paluuveden lämpötilan perusteella.
- Dynaaminen lataus
 - Tavoitteena leikata KL-keskuksen huipputehoa LKV:n lämpötilaa ja olosuhteita vaarantamatta.
 - Latausteho 18-tunnin latausajan mukaan.
 - Rajoitetaan latausta KL-keskuksen kokonaistehon mukaan.



Tehopiikkien leikkaus käyttövesivaraajalla

KL-alakeskuksen kokonaisteho



Euroopan unionin
osarahoittama



Kannattavuuslaskelmat

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

Diskontattu takaisinmaksu aika (N)

- Laskettu eri ratkaisujen vaatimille lisäinvestoinneille.
- Investointikustannukset (I_0) yksikkökustannusten mukaan.
 - Yksikköhinnat Granlund Oy:n asiantuntijoilta
- Kassavirta (A) simulointijakson aikana saadut säästöt.
- Energian hinnan reaalikorko ($r_e = 3\%$) laskettu olettaen inflaatio 1,9 % ja energian hinnan nousu 2 %.

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

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



Euroopan unionin
osarahoittama



Energiajoustoindikaattorit

Tehojousto

- Kuvaa rakennuksen kykyä ladata ja purkaa lämpöä.
- Lasketaan tunnittaisen tehontarpeen erotuksena referenssitapaukseen verrattuna lataus- (P^+) ja purkujaksoille (P^-).

$$P^+ = P_{temp,inc} - P_{ref}$$

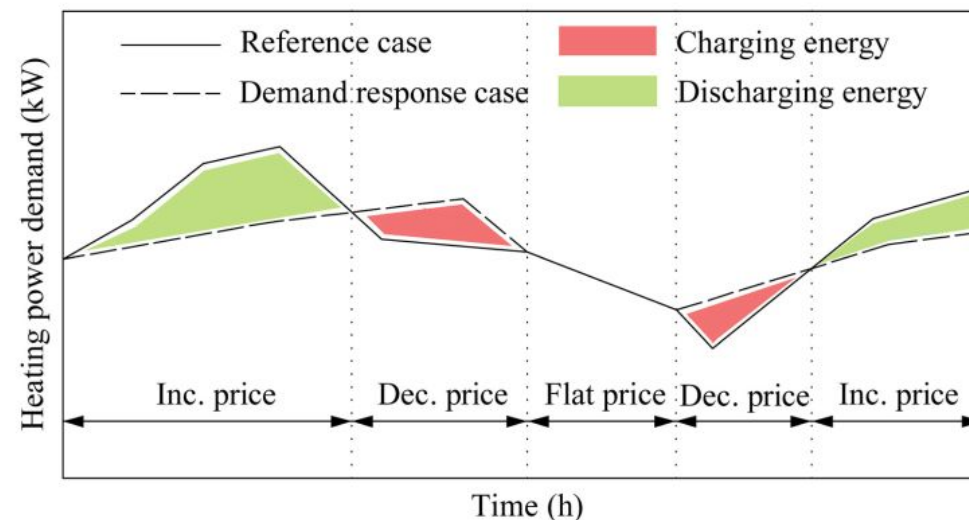
$$P^- = P_{temp,dec} - P_{ref}$$

$$q^+ = \int_0^{\tau_{charging}} P^+ dt$$

$$q^- = \int_0^{\tau_{charging}} P^- dt$$

Lataus- ja purkujaksojen energiat

- Kuvaa rakennuksen kykyä varastoida lämpöenergiaa.
- Lasketaan lataus- (q^+) ja purkujaksojen (q^-) energiamäärät.



Euroopan unionin
osarahoittama



Simulointitapaukset

Tapaus	CS Marginaali [€/MWh]	Kulutusjousto-tekniikka	Tehonrajoitus P_{TOT}	Käyttövesi varaaja	Lämmityksen asetusarvot: Asuintilat			Lämmityksen asetusarvot: Toissijaiset tilat			$\Phi_{SH, norm}$ [%]	Huomautukset
					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. $\Phi_{rad, -80\%}$	-	Keskitetty		-	20	21	-	-	-	-	-80	
Centr. $\Phi_{rad, -80\%}$ Not occ.	-	Keskitetty		-	20	21	-	-	-	-	-80	Tyhjä asunto
Decentr. M7	7	Hajautettu		-	20	21	23	-	17	-	-	
Decentr. M15	15	Hajautettu		-	20	21	23	-	17	-	-	
Decentr. M35	35	Hajautettu		-	20	21	23	-	17	-	-	
Decentr. M75	75	Hajautettu		-	20	21	23	-	17	-	-	
Decentr. M7 SSTR +2/-1	7	Hajautettu		-	20	21	23	16	17	19	-	
Decentr. M7 SSTR ±2	7	Hajautettu		-	20	21	23	15	17	19	-	
Decentr. M7 + Lim	7	Hajautettu	x	-	20	21	23	-	17	-	-	
Decentr. M7 SSTR ±2 + Lim	7	Hajautettu	x	-	20	21	23	15	17	19	-	
DHW tank, CC	-	-		Vakioteholataus	-	21	-	-	17	-	-	
DHW tank, CC + M7	7	Hajautettu		Vakioteholataus	20	21	23	-	17	-	-	
DHW tank, CC + M7 + Lim	7	Hajautettu	x	Vakioteholataus	20	21	23	-	17	-	-	
DHW tank, DC	-	-		Dynaaminen lataus	-	21	-	-	17	-	-	
DHW tank, DC + M7 + Lim	7	Hajautettu	x	Dynaaminen lataus	20	21	23	-	17	-	-	

Tehonrajoitus P_{TOT} : Palauttaa huonelämpötilan asetusarvon normaaliin, mikäli KL-keskuksen kokonaisteho nousee yli asetusarvon.



Euroopan unionin
osarahoittama



Tulokset



Euroopan unionin
osarahoittama



Energian kulutus ja kustannukset

- Lämpötilan lasku asuintiloissa siirtää lämmitystarvetta kylpyhuoneiden sähköiselle lattialämmitykselle.
- Latausjaksot nostavat asuinhuoneiden lämpötilaa, mikä vähentää sähköisen lattialämmityksen tarvetta.

Tapaus	Max 3 h	KL energia		Sähkö		Sähköinen lattialämmitys
	kW	MWh/a	$\Delta\%$	MWh/a	$\Delta\%$	MWh/a
Ref1 21/17	98	172	0.00	54.7	0.00	12.4
Ref2 20/17	89	163	-5.40	59.8	9.23	17.5
Ref3 20/15	89	159	-7.18	60.1	9.88	17.9
Centr. $\Phi_{\text{rad}, -80\%}$	102	170	-0.89	55.6	1.64	13.2
Centr. $\Phi_{\text{rad}, -80\%}$ Not occ.	102	173	0.77	55.1	0.70	13.6
Decentr M7	109	177	3.02	51.7	-5.49	9.5
Decentr M15	110	175	2.04	52.6	-3.90	10.3
Decentr M35	109	172	0.00	54.5	-0.36	12.3
Decentr M75	106	169	-1.59	56.2	2.59	13.9
Decentr. M7 SSDR $\pm 2/-1$	114	177	3.22	51.7	-5.63	9.4
Decentr. M7 SSDR ± 2	115	177	3.02	51.7	-5.56	9.4
Decentr. M7 + Lim	98	177	3.00	51.7	-5.47	9.5
Decentr. M7 SSDR ± 2 + Lim	99	177	2.98	51.7	-5.49	9.5
DHW tank, CC	92	172	0.15	54.7	0.02	12.4
DHW tank, CC + M7	102	177	3.17	51.7	-5.48	9.5
DHW tank, CC + M7 + Lim	90	177	3.13	51.8	-5.42	9.5
DHW tank, DC	73	172	-0.10	54.7	0.01	12.4
DHW tank, DC + M7 + Lim	91	177	2.98	51.7	-5.48	9.5



Euroopan unionin
osarahoittama



Energian kulutus ja kustannukset

- Kulutusjousto-ohjaukset nostavat maksimi tehontarvetta
- Hintaprofiili ohjaa tehontarvetta sellaisille tunneille, joilla kulutus on valmiiksi korkea.

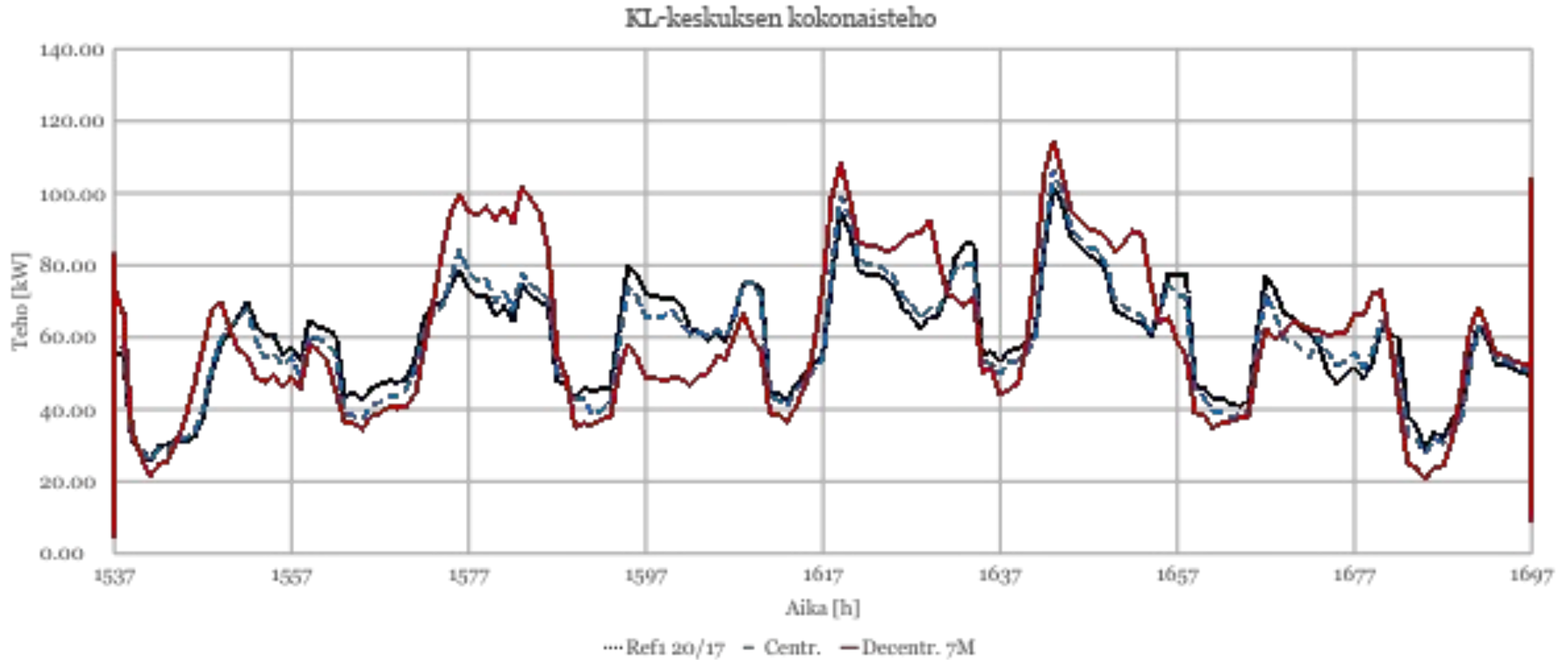
Tapaus	Max 3 h	KL energia		Sähkö		Sähköinen lattialämmitys
	kW	MWh/a	$\Delta\%$	MWh/a	$\Delta\%$	MWh/a
Ref1 21/17	98	172	0.00	54.7	0.00	12.4
Ref2 20/17	89	163	-5.40	59.8	9.23	17.5
Ref3 20/15	89	159	-7.18	60.1	9.88	17.9
Centr. $\Phi_{\text{rad}, -80\%}$	102	170	-0.89	55.6	1.64	13.2
Centr. $\Phi_{\text{rad}, -80\%}$ Not occ.	102	173	0.77	55.1	0.70	13.6
Decentr M7	109	177	3.02	51.7	-5.49	9.5
Decentr M15	110	175	2.04	52.6	-3.90	10.3
Decentr M35	109	172	0.00	54.5	-0.36	12.3
Decentr M75	106	169	-1.59	56.2	2.59	13.9
Decentr. M7 SSDR $\pm 2/-1$	114	177	3.22	51.7	-5.63	9.4
Decentr. M7 SSDR ± 2	115	177	3.02	51.7	-5.56	9.4
Decentr. M7 + Lim	98	177	3.00	51.7	-5.47	9.5
Decentr. M7 SSDR ± 2 + Lim	99	177	2.98	51.7	-5.49	9.5
DHW tank, CC	92	172	0.15	54.7	0.02	12.4
DHW tank, CC + M7	102	177	3.17	51.7	-5.48	9.5
DHW tank, CC + M7 + Lim	90	177	3.13	51.8	-5.42	9.5
DHW tank, DC	73	172	-0.10	54.7	0.01	12.4
DHW tank, DC + M7 + Lim	91	177	2.98	51.7	-5.48	9.5



Euroopan unionin
osarahoittama



Energian kulutus ja kustannukset



Euroopan unionin
osarahoittama



Energian kulutus ja kustannukset

- Keskitetyllä kulutusjoustolla kaukolämmönkulutus laskee, koska ohjaus perustuu vain lämpötilan laskuun.
- Tyhjä asunto esti kulutusjouston käytön 44 % ajasta.

Tapaus	Max 3 h	KL energia		Sähkö		Sähköinen lattialämmitys
	kW	MWh/a	$\Delta\%$	MWh/a	$\Delta\%$	MWh/a
Ref1 21/17	98	172	0.00	54.7	0.00	12.4
Ref2 20/17	89	163	-5.40	59.8	9.23	17.5
Ref3 20/15	89	159	-7.18	60.1	9.88	17.9
Centr. $\Phi_{\text{rad}, -80\%}$	102	170	-0.89	55.6	1.64	13.2
Centr. $\Phi_{\text{rad}, -80\%}$ Not occ.	102	173	0.77	55.1	0.70	13.6
Decentr M7	109	177	3.02	51.7	-5.49	9.5
Decentr M15	110	175	2.04	52.6	-3.90	10.3
Decentr M35	109	172	0.00	54.5	-0.36	12.3
Decentr M75	106	169	-1.59	56.2	2.59	13.9
Decentr. M7 SSTR $\pm 2/-1$	114	177	3.22	51.7	-5.63	9.4
Decentr. M7 SSTR ± 2	115	177	3.02	51.7	-5.56	9.4
Decentr. M7 + Lim	98	177	3.00	51.7	-5.47	9.5
Decentr. M7 SSTR ± 2 + Lim	99	177	2.98	51.7	-5.49	9.5
DHW tank, CC	92	172	0.15	54.7	0.02	12.4
DHW tank, CC + M7	102	177	3.17	51.7	-5.48	9.5
DHW tank, CC + M7 + Lim	90	177	3.13	51.8	-5.42	9.5
DHW tank, DC	73	172	-0.10	54.7	0.01	12.4
DHW tank, DC + M7 + Lim	91	177	2.98	51.7	-5.48	9.5



Euroopan unionin
osarahoittama



Energian kulutus ja kustannukset

- Yleisten tilojen kulutusjoustolla ei ole merkittävää vaikutusta energian kulutukseen verrattuna pelkkien asuintilojen ohjaukseen,
- mutta se nostaa maksimitehontarvetta entisestään.

Tapaus	Max 3 h	KL energia		Sähkö		Sähköinen lattialämmitys
	kW	MWh/a	Δ%	MWh/a	Δ%	MWh/a
Ref1 21/17	98	172	0.00	54.7	0.00	12.4
Ref2 20/17	89	163	-5.40	59.8	9.23	17.5
Ref3 20/15	89	159	-7.18	60.1	9.88	17.9
Centr. $\Phi_{\text{rad}, -80\%}$	102	170	-0.89	55.6	1.64	13.2
Centr. $\Phi_{\text{rad}, -80\%}$ Not occ.	102	173	0.77	55.1	0.70	13.6
Decentr M7	109	177	3.02	51.7	-5.49	9.5
Decentr M15	110	175	2.04	52.6	-3.90	10.3
Decentr M35	109	172	0.00	54.5	-0.36	12.3
Decentr M75	106	169	-1.59	56.2	2.59	13.9
Decentr. M7 SSDR +2/-1	114	177	3.22	51.7	-5.63	9.4
Decentr. M7 SSDR ±2	115	177	3.02	51.7	-5.56	9.4
Decentr. M7 + Lim	98	177	3.00	51.7	-5.47	9.5
Decentr. M7 SSDR ±2 + Lim	99	177	2.98	51.7	-5.49	9.5
DHW tank, CC	92	172	0.15	54.7	0.02	12.4
DHW tank, CC + M7	102	177	3.17	51.7	-5.48	9.5
DHW tank, CC + M7 + Lim	90	177	3.13	51.8	-5.42	9.5
DHW tank, DC	73	172	-0.10	54.7	0.01	12.4
DHW tank, DC + M7 + Lim	91	177	2.98	51.7	-5.48	9.5



Euroopan unionin
osarahoittama



Energian kulutus ja kustannukset

- Tutkimuksessa kehitetyllä tehonrajoitus säännöllä maksimitehon nousu saadaan ehkäistyä.
- Tehonrajoitus sääntö ei vaikuta merkittävästi energian kulutukseen.

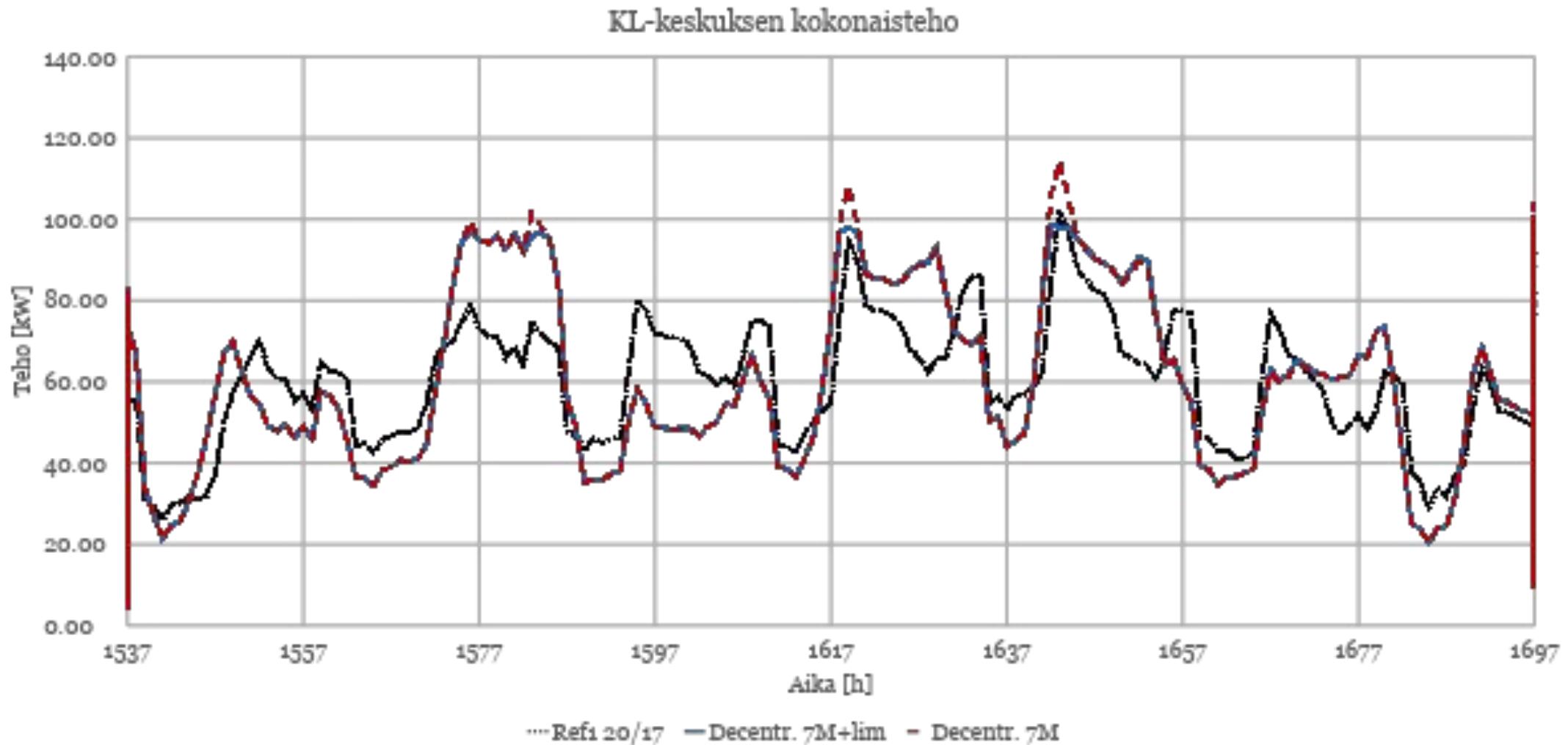
Tapaus	Max 3 h	KL energia		Sähkö		Sähköinen lattialämmitys
	kW	MWh/a	$\Delta\%$	MWh/a	$\Delta\%$	MWh/a
Ref1 21/17	98	172	0.00	54.7	0.00	12.4
Ref2 20/17	89	163	-5.40	59.8	9.23	17.5
Ref3 20/15	89	159	-7.18	60.1	9.88	17.9
Centr. $\Phi_{\text{rad}, -80\%}$	102	170	-0.89	55.6	1.64	13.2
Centr. $\Phi_{\text{rad}, -80\%}$ Not occ.	102	173	0.77	55.1	0.70	13.6
Decentr M7	109	177	3.02	51.7	-5.49	9.5
Decentr M15	110	175	2.04	52.6	-3.90	10.3
Decentr M35	109	172	0.00	54.5	-0.36	12.3
Decentr M75	106	169	-1.59	56.2	2.59	13.9
Decentr. M7 SSDR +2/-1	114	177	3.22	51.7	-5.63	9.4
Decentr. M7 SSDR ± 2	115	177	3.02	51.7	-5.56	9.4
Decentr. M7 + Lim	98	177	3.00	51.7	-5.47	9.5
Decentr. M7 SSDR ± 2 + Lim	99	177	2.98	51.7	-5.49	9.5
DHW tank, CC	92	172	0.15	54.7	0.02	12.4
DHW tank, CC + M7	102	177	3.17	51.7	-5.48	9.5
DHW tank, CC + M7 + Lim	90	177	3.13	51.8	-5.42	9.5
DHW tank, DC	73	172	-0.10	54.7	0.01	12.4
DHW tank, DC + M7 + Lim	91	177	2.98	51.7	-5.48	9.5



Euroopan unionin
osarahoittama



Energian kulutus ja kustannukset



Energian kulutus ja kustannukset

- Pelkällä vakioteholatauksella saadaan pudotettua maksimitehon tarvetta n. 7%.
- Kulutusjousto muuttaa kulutuksen ajoitusta niin, että se vakioteholataus mahdollistaa ~2% suuremman maksimitehon-tarpeen pudotuksen.

Tapaus	Max 3 h	KL energia		Sähkö		Sähköinen lattia- lämmitys
	kW	MWh/a	Δ%	MWh/a	Δ%	MWh/a
Ref1 21/17	98	172	0.00	54.7	0.00	12.4
Ref2 20/17	89	163	-5.40	59.8	9.23	17.5
Ref3 20/15	89	159	-7.18	60.1	9.88	17.9
Centr. $\Phi_{\text{rad}, -80\%}$	102	170	-0.89	55.6	1.64	13.2
Centr. $\Phi_{\text{rad}, -80\%}$ Not occ.	102	173	0.77	55.1	0.70	13.6
Decentr M7	109	177	3.02	51.7	-5.49	9.5
Decentr M15	110	175	2.04	52.6	-3.90	10.3
Decentr M35	109	172	0.00	54.5	-0.36	12.3
Decentr M75	106	169	-1.59	56.2	2.59	13.9
Decentr. M7 SSTR +2/-1	114	177	3.22	51.7	-5.63	9.4
Decentr. M7 SSTR ±2	115	177	3.02	51.7	-5.56	9.4
Decentr. M7 + Lim	98	177	3.00	51.7	-5.47	9.5
Decentr. M7 SSTR ±2 + Lim	99	177	2.98	51.7	-5.49	9.5
DHW tank, CC	92	172	0.15	54.7	0.02	12.4
DHW tank, CC + M7	102	177	3.17	51.7	-5.48	9.5
DHW tank, CC + M7 + Lim	90	177	3.13	51.8	-5.42	9.5
DHW tank, DC	73	172	-0.10	54.7	0.01	12.4
DHW tank, DC + M7 + Lim	91	177	2.98	51.7	-5.48	9.5



Euroopan unionin
osarahoittama



Energian kulutus ja kustannukset

- Dynaaminen lataus mahdollistaa ~27 % maksimitehon pudotuksen.
- Kulutusjousto muuttaa tilalämmityksen tehontarvetta, niin että varaajan dynaamisella latauksella ei saavuteta merkittävää maksimitehon alennusta.

Tapaus	Max 3 h	KL energia		Sähkö		Sähköinen lattialämmitys
	kW	MWh/a	$\Delta\%$	MWh/a	$\Delta\%$	MWh/a
Ref1 21/17	98	172	0.00	54.7	0.00	12.4
Ref2 20/17	89	163	-5.40	59.8	9.23	17.5
Ref3 20/15	89	159	-7.18	60.1	9.88	17.9
Centr. $\Phi_{\text{rad}, -80\%}$	102	170	-0.89	55.6	1.64	13.2
Centr. $\Phi_{\text{rad}, -80\%}$ Not occ.	102	173	0.77	55.1	0.70	13.6
Decentr M7	109	177	3.02	51.7	-5.49	9.5
Decentr M15	110	175	2.04	52.6	-3.90	10.3
Decentr M35	109	172	0.00	54.5	-0.36	12.3
Decentr M75	106	169	-1.59	56.2	2.59	13.9
Decentr. M7 SSDR +2/-1	114	177	3.22	51.7	-5.63	9.4
Decentr. M7 SSDR ± 2	115	177	3.02	51.7	-5.56	9.4
Decentr. M7 + Lim	98	177	3.00	51.7	-5.47	9.5
Decentr. M7 SSDR ± 2 + Lim	99	177	2.98	51.7	-5.49	9.5
DHW tank, CC	92	172	0.15	54.7	0.02	12.4
DHW tank, CC + M7	102	177	3.17	51.7	-5.48	9.5
DHW tank, CC + M7 + Lim	90	177	3.13	51.8	-5.42	9.5
DHW tank, DC	73	172	-0.10	54.7	0.01	12.4
DHW tank, DC + M7 + Lim	91	177	2.98	51.7	-5.48	9.5



Euroopan unionin
osarahoittama



Energian kulutus ja kustannukset

- Sähkönkulutuksen kasvu kumoaa kaukolämpöenergiasta saadut kustannussäästöt.
- Maksimitehon pudotus tuo verraten suuret säästöt.

Case	Kulutusperusteiset maksut						Perusmaksut		Kokonaiskustannukset		
	KL		Sähkö		Kokonais		DH	Elec.			
	€/a	Δ%	€/a	Δ%	€/a	Δ%	€/a	€/a	€/a	Δ€/a	Δ%
Ref1 21/17	18640	0	12022	0.0	30662	0	6463	631	37756	0	0.0
Ref2 20/17	17570	-5.7	13246	10.2	30816	0.50	5869	631	37316	-440	-1.2
Ref3 20/15	17226	-8	13324	10.8	30550	-0.4	5851	631	37032	-724	-1.9
Centr. $\Phi_{rad,-80\%}$	18296	-1.8	12172	1.2	30467	-0.63	6712	631	37810	54	0.1
Centr. $\Phi_{rad,-80\%}$ Not occ.	18629	-0	12091	0.6	30720	0.19	6721	631	38071	316	0.8
Decentr M7	18517	-0.7	11237	-6.5	29755	-2.96	7237	631	37622	-133	-0.4
Decentr M15	18369	-1	11461	-4.7	29830	-2.7	7259	631	37720	-35	-0.1
Decentr M35	18099	-2.9	11927	-0.8	30026	-2.07	7209	631	37866	110	0.3
Decentr M75	17920	-4	12321	2.5	30241	-1.4	7030	631	37903	147	0.4
Decentr. M7 SSDR +2/-1	18357	-1.5	11219	-6.7	29576	-3.54	7547	631	37754	-2	0.0
Decentr. M7 SSDR ±2	18293	-2	11228	-6.6	29521	-3.7	7574	631	37726	-29	-0.1
Decentr. M7 + Lim	18516	-0.7	11244	-6.5	29760	-2.94	6498	631	36888	-867	-2.3
Decentr. M7 SSDR ±2 + Lim	18288	-2	11245	-6.5	29533	-3.7	6545	631	36708	-1047	-2.8
DHW tank, CC	18899	1.4	12024	0.0	30923	0.85	6073	631	37626	-129	-0.3
DHW tank, CC + M7	18777	0.7	11239	-6.5	30016	-2.1	6763	631	37410	-345	-0.9
DHW tank, CC + M7 + Lim	18773	0.7	11253	-6.4	30026	-2.07	5922	631	36579	-1177	-3.1
DHW tank, DC	18669	0.2	12023	0.0	30692	0.1	4839	631	36162	-1594	-4.2
DHW tank, DC + M7 + Lim	18585	-0.3	11239	-6.5	29824	-2.73	6007	631	36462	-1294	-3.4



Euroopan unionin
osarahoittama



Energian kulutus ja kustannukset

- Keskitetty kulutusjousto ajoittaa kulutusta halvemmille tunneille.
- Sähkönkulutuksen lisääntyminen ja tehomaksun nouseminen kumoaa kuitenkin säästöt.

Case	Kulutusperusteiset maksut						Perusmaksut		Kokonaiskustannukset		
	KL		Sähkö		Kokonais		DH	Elec.			
	€/a	Δ%	€/a	Δ%	€/a	Δ%	€/a	€/a	€/a	Δ€/a	Δ%
Ref1 21/17	18640	0	12022	0.0	30662	0	6463	631	37756	0	0.0
Ref2 20/17	17570	-5.7	13246	10.2	30816	0.50	5869	631	37316	-440	-1.2
Ref3 20/15	17226	-6.8	13324	10.8	30550	-0.4	5851	631	37032	-724	-1.9
Centr. $\Phi_{rad,-80\%}$	18296	-1.8	12172	1.2	30467	-0.63	6712	631	37810	54	0.1
Centr. $\Phi_{rad,-80\%}$ Not occ.	18629	-0	12091	0.6	30720	0.19	6721	631	38071	316	0.8
Decentr M7	18517	-0.7	11237	-6.5	29755	-2.06	7237	631	37622	-133	-0.4
Decentr M15	18369	-1	11461	-4.7	29830	-2.7	7259	631	37720	-35	-0.1
Decentr M35	18099	-2.9	11927	-0.8	30026	-2.07	7209	631	37866	110	0.3
Decentr M75	17920	-4	12321	2.5	30241	-1.4	7030	631	37903	147	0.4
Decentr. M7 SSTR +2/-1	18357	-1.5	11219	-6.7	29576	-3.54	7547	631	37754	-2	0.0
Decentr. M7 SSTR ±2	18293	-2	11228	-6.6	29521	-3.7	7574	631	37726	-29	-0.1
Decentr. M7 + Lim	18516	-0.7	11244	-6.5	29760	-2.94	6498	631	36888	-867	-2.3
Decentr. M7 SSTR ±2 + Lim	18288	-2	11245	-6.5	29533	-3.7	6545	631	36708	-1047	-2.8
DHW tank, CC	18899	1.4	12024	0.0	30923	0.85	6073	631	37626	-129	-0.3
DHW tank, CC + M7	18777	0.7	11239	-6.5	30016	-2.1	6763	631	37410	-345	-0.9
DHW tank, CC + M7 + Lim	18773	0.7	11253	-6.4	30026	-2.07	5922	631	36579	-1177	-3.1
DHW tank, DC	18669	0.2	12023	0.0	30692	0.1	4839	631	36162	-1594	-4.2
DHW tank, DC + M7 + Lim	18585	-0.3	11239	-6.5	29824	-2.73	6007	631	36462	-1294	-3.4



Euroopan unionin
osarahoittama



Energian kulutus ja kustannukset

- Pienempi marginaali lisää kaukolämmönkulutusta ja näin ollen vähentää sähkön kulutusta.
- Sähköllä lämmittäminen kalliimpaa.
- Maksimitehon nousu kumoaa säästöt.

Case	Kulutusperusteiset maksut						Perusmaksut		Kokonaiskustannukset		
	KL		Sähkö		Kokonais		DH	Elec.			
	€/a	Δ%	€/a	Δ%	€/a	Δ%	€/a	€/a	€/a	Δ€/a	Δ%
Ref1 21/17	18640	0	12022	0.0	30662	0	6463	631	37756	0	0.0
Ref2 20/17	17570	-5.7	13246	10.2	30816	0.50	5869	631	37316	-440	-1.2
Ref3 20/15	17226	-8	13324	10.8	30550	-0.4	5851	631	37032	-724	-1.9
Centr. $\Phi_{rad, 80\%}$	18296	-1.8	12172	1.2	30467	-0.63	6712	631	37810	54	0.1
Centr. $\Phi_{rad, 80\%}$ Not occ.	18629	-0	12091	0.6	30720	0.19	6721	631	38071	316	0.8
Decentr M7	18517	-0.7	11237	-6.5	29755	-2.96	7237	631	37622	-133	-0.4
Decentr M15	18369	-1	11461	-4.7	29830	-2.7	7259	631	37720	-35	-0.1
Decentr M35	18099	-2.9	11927	-0.8	30026	-2.07	7209	631	37866	110	0.3
Decentr M75	17920	-4	12321	2.5	30241	-1.4	7030	631	37903	147	0.4
Decentr. M7 SSDR +2/-1	18357	-1.5	11219	-6.7	29576	-3.54	7547	631	37754	-2	0.0
Decentr. M7 SSDR ±2	18293	-2	11228	-6.6	29521	-3.7	7574	631	37726	-29	-0.1
Decentr. M7 + Lim	18516	-0.7	11244	-6.5	29760	-2.94	6498	631	36888	-867	-2.3
Decentr. M7 SSDR ±2 + Lim	18288	-2	11245	-6.5	29533	-3.7	6545	631	36708	-1047	-2.8
DHW tank, CC	18899	1.4	12024	0.0	30923	0.85	6073	631	37626	-129	-0.3
DHW tank, CC + M7	18777	0.7	11239	-6.5	30016	-2.1	6763	631	37410	-345	-0.9
DHW tank, CC + M7 + Lim	18773	0.7	11253	-6.4	30026	-2.07	5922	631	36579	-1177	-3.1
DHW tank, DC	18669	0.2	12023	0.0	30692	0.1	4839	631	36162	-1594	-4.2
DHW tank, DC + M7 + Lim	18585	-0.3	11239	-6.5	29824	-2.73	6007	631	36462	-1294	-3.4



Euroopan unionin
osarahoittama



Energian kulutus ja kustannukset

- Yleisten tilojen kulutusjousto yli kaksinkertaistaa energian käytön ajoittamisella saavutettavaa säästöä verraten pelkkiin asuintiloihin.

Case	Kulutusperusteiset maksut						Perusmaksut		Kokonaiskustannukset		
	KL		Sähkö		Kokonais		DH	Elec.			
	€/a	Δ%	€/a	Δ%	€/a	Δ%	€/a	€/a	€/a	Δ€/a	Δ%
Ref1 21/17	18640	0	12022	0.0	30662	0	6463	631	37756	0	0.0
Ref2 20/17	17570	-5.7	13246	10.2	30816	0.50	5869	631	37316	-440	-1.2
Ref3 20/15	17226	-8	13324	10.8	30550	-0.4	5851	631	37032	-724	-1.9
Centr. $\Phi_{rad-80\%}$	18296	-1.8	12172	1.2	30467	-0.63	6712	631	37810	54	0.1
Centr. $\Phi_{rad-80\%}$ Not occ.	18629	-0	12091	0.6	30720	0.19	6721	631	38071	316	0.8
Decentr M7	18517	-0.7	11237	-6.5	29755	-2.96	7237	631	37622	-133	-0.4
Decentr M15	18369	-1	11461	-4.7	29830	-2.7	7259	631	37720	-35	-0.1
Decentr M35	18099	-2.9	11927	-0.8	30026	-2.07	7209	631	37866	110	0.3
Decentr M75	17920	-4	12321	2.5	30241	-1.4	7030	631	37903	147	0.4
Decentr. M7 SSDR +2/-1	18357	-1.5	11219	-6.7	29576	-3.54	7547	631	37754	-2	0.0
Decentr. M7 SSDR ±2	18293	-2	11228	-6.6	29521	-3.7	7574	631	37726	-29	-0.1
Decentr. M7 + Lim	18516	-0.7	11244	-6.5	29760	-2.94	6498	631	36888	-867	-2.3
Decentr. M7 SSDR ±2 + Lim	18288	-2	11245	-6.5	29533	-3.7	6545	631	36708	-1047	-2.8
DHW tank, CC	18899	1.4	12024	0.0	30923	0.85	6073	631	37626	-129	-0.3
DHW tank, CC + M7	18777	0.7	11239	-6.5	30016	-2.1	6763	631	37410	-345	-0.9
DHW tank, CC + M7 + Lim	18773	0.7	11253	-6.4	30026	-2.07	5922	631	36579	-1177	-3.1
DHW tank, DC	18669	0.2	12023	0.0	30692	0.1	4839	631	36162	-1594	-4.2
DHW tank, DC + M7 + Lim	18585	-0.3	11239	-6.5	29824	-2.73	6007	631	36462	-1294	-3.4



Euroopan unionin
osarahoittama



Energian kulutus ja kustannukset

- Tehonrajoitussääntö:
 - Ei merkittävästi vaikuta energiankulutuksen ajoitukseen.
 - Rajoittaa maksimitehon nousun.
 - Mahdollistaa säästöt kokonaiskustannuksissa.

Case	Kulutusperusteiset maksut						Perusmaksut		Kokonaiskustannukset		
	KL		Sähkö		Kokonais		DH	Elec.			
	€/a	Δ%	€/a	Δ%	€/a	Δ%	€/a	€/a	€/a	Δ€/a	Δ%
Ref1 21/17	18640	0	12022	0.0	30662	0	6463	631	37756	0	0.0
Ref2 20/17	17570	-5.7	13246	10.2	30816	0.50	5869	631	37316	-440	-1.2
Ref3 20/15	17226	-8	13324	10.8	30550	-0.4	5851	631	37032	-724	-1.9
Centr. $\Phi_{rad-80\%}$	18296	-1.8	12172	1.2	30467	-0.63	6712	631	37810	54	0.1
Centr. $\Phi_{rad-80\%}$ Not occ.	18629	-0	12091	0.6	30720	0.19	6721	631	38071	316	0.8
Decentr M7	18517	-0.7	11237	-6.5	29755	-2.96	7237	631	37622	-133	-0.4
Decentr M15	18369	-1	11461	-4.7	29830	-2.7	7259	631	37720	-35	-0.1
Decentr M35	18099	-2.9	11927	-0.8	30026	-2.07	7209	631	37866	110	0.3
Decentr M75	17920	-4	12321	2.5	30241	-1.4	7030	631	37903	147	0.4
Decentr. M7 SSDR +2/-1	18357	-1.5	11219	-6.7	29576	-3.54	7547	631	37754	-2	0.0
Decentr. M7 SSDR ±2	18293	-2	11228	-6.6	29521	-3.7	7574	631	37726	-29	-0.1
Decentr. M7 + Lim	18516	-0.7	11244	-6.5	29760	-2.94	6498	631	36888	-867	-2.3
Decentr. M7 SSDR ±2 + Lim	18288	-2	11245	-6.5	29533	-3.7	6545	631	36708	-1047	-2.8
DHW tank, CC	18899	1.4	12024	0.0	30923	0.85	6073	631	37626	-129	-0.3
DHW tank, CC + M7	18777	0.7	11239	-6.5	30016	-2.1	6763	631	37410	-345	-0.9
DHW tank, CC + M7 + Lim	18773	0.7	11253	-6.4	30026	-2.07	5922	631	36579	-1177	-3.1
DHW tank, DC	18669	0.2	12023	0.0	30692	0.1	4839	631	36162	-1594	-4.2
DHW tank, DC + M7 + Lim	18585	-0.3	11239	-6.5	29824	-2.73	6007	631	36462	-1294	-3.4



Euroopan unionin
osarahoittama



Energian kulutus ja kustannukset

- Vakioteholataus lisää kaukolämmön energiakustannuksia suhteessa enemmän kuin kulutusta.
- Vakioteholataus ei yksistään mahdollista merkittäviä kustannussäästöjä.

Case	Kulutusperusteiset maksut						Perusmaksut		Kokonaiskustannukset		
	KL		Sähkö		Kokonais		DH	Elec.	€/a	Δ€/a	Δ%
	€/a	Δ%	€/a	Δ%	€/a	Δ%	€/a	€/a			
Ref1 21/17	18640	0	12022	0.0	30662	0	6463	631	37756	0	0.0
Ref2 20/17	17570	-5.7	13246	10.2	30816	0.50	5869	631	37316	-440	-1.2
Ref3 20/15	17226	-8	13324	10.8	30550	-0.4	5851	631	37032	-724	-1.9
Centr. $\Phi_{rad-80\%}$	18296	-1.8	12172	1.2	30467	-0.63	6712	631	37810	54	0.1
Centr. $\Phi_{rad-80\%}$ Not occ.	18629	-0	12091	0.6	30720	0.19	6721	631	38071	316	0.8
Decentr M7	18517	-0.7	11237	-6.5	29755	-2.96	7237	631	37622	-133	-0.4
Decentr M15	18369	-1	11461	-4.7	29830	-2.7	7259	631	37720	-35	-0.1
Decentr M35	18099	-2.9	11927	-0.8	30026	-2.07	7209	631	37866	110	0.3
Decentr M75	17920	-4	12321	2.5	30241	-1.4	7030	631	37903	147	0.4
Decentr. M7 SSDR +2/-1	18357	-1.5	11219	-6.7	29576	-3.54	7547	631	37754	-2	0.0
Decentr. M7 SSDR ±2	18293	-2	11228	-6.6	29521	-3.7	7574	631	37726	-29	-0.1
Decentr. M7 + Lim	18516	-0.7	11244	-6.5	29760	-2.94	6498	631	36888	-867	-2.3
Decentr. M7 SSDR ±2 + Lim	18288	-2	11245	-6.5	29533	-3.7	6545	631	36708	-1047	-2.8
DHW tank, CC	18899	1.4	12024	0.0	30923	0.85	6073	631	37626	-129	-0.3
DHW tank, CC + M7	18777	0.7	11239	-6.5	30016	-2.1	6763	631	37410	-345	-0.9
DHW tank, CC + M7 + Lim	18773	0.7	11253	-6.4	30026	-2.07	5922	631	36579	-1177	-3.1
DHW tank, DC	18669	0.2	12023	0.0	30692	0.1	4839	631	36162	-1594	-4.2
DHW tank, DC + M7 + Lim	18585	-0.3	11239	-6.5	29824	-2.73	6007	631	36462	-1294	-3.4



Euroopan unionin
osarahoittama



Energian kulutus ja kustannukset

- Vakioteholataus yhdistettynä hajautetun kulutusjouston kanssa mahdollistaa suuremman säästön mitä nämä metodit erikseen, johtuen tehontarpeen ajoituksen muuttumisesta.

Case	Kulutusperusteiset maksut						Perusmaksut		Kokonaiskustannukset		
	KL		Sähkö		Kokonais		DH	Elec.	€/a	Δ€/a	Δ%
	€/a	Δ%	€/a	Δ%	€/a	Δ%	€/a	€/a			
Ref1 21/17	18640	0	12022	0.0	30662	0	6463	631	37756	0	0.0
Ref2 20/17	17570	-5.7	13246	10.2	30816	0.50	5869	631	37316	-440	-1.2
Ref3 20/15	17226	-8	13324	10.8	30550	-0.4	5851	631	37032	-724	-1.9
Centr. $\Phi_{rad-80\%}$	18296	-1.8	12172	1.2	30467	-0.63	6712	631	37810	54	0.1
Centr. $\Phi_{rad-80\%}$ Not occ.	18629	-0	12091	0.6	30720	0.19	6721	631	38071	316	0.8
Decentr M7	18517	-0.7	11237	-6.5	29755	-2.96	7237	631	37622	-133	-0.4
Decentr M15	18369	-1	11461	-4.7	29830	-2.7	7259	631	37720	-35	-0.1
Decentr M35	18099	-2.9	11927	-0.8	30026	-2.07	7209	631	37866	110	0.3
Decentr M75	17920	-4	12321	2.5	30241	-1.4	7030	631	37903	147	0.4
Decentr. M7 SSDR +2/-1	18357	-1.5	11219	-6.7	29576	-3.54	7547	631	37754	-2	0.0
Decentr. M7 SSDR ±2	18293	-2	11228	-6.6	29521	-3.7	7574	631	37726	-29	-0.1
Decentr. M7 + Lim	18516	-0.7	11244	-6.5	29760	-2.94	6498	631	36888	-867	-2.3
Decentr. M7 SSDR ±2 + Lim	18288	-2	11245	-6.5	29533	-3.7	6545	631	36708	-1047	-2.8
DHW tank, CC	18899	1.4	12024	0.0	30923	0.85	6073	631	37626	-129	-0.3
DHW tank, CC + M7	18777	0.7	11239	-6.5	30016	-2.1	6763	631	37410	-345	-0.9
DHW tank, CC + M7 + Lim	18773	0.7	11253	-6.4	30026	-2.07	5922	631	36579	-1177	-3.1
DHW tank, DC	18669	0.2	12023	0.0	30692	0.1	4839	631	36162	-1594	-4.2
DHW tank, DC + M7 + Lim	18585	-0.3	11239	-6.5	29824	-2.73	6007	631	36462	-1294	-3.4



Euroopan unionin
osarahoittama



Energian kulutus ja kustannukset

- Dynaaminen lataus mahdollistaa suurimmat kustannussäästöt, johtuen suurimmasta maksimitehon pudotuksesta.

Case	Kulutusperusteiset maksut						Perusmaksut		Kokonaiskustannukset		
	KL		Sähkö		Kokonais		DH	Elec.	€/a	Δ€/a	Δ%
	€/a	Δ%	€/a	Δ%	€/a	Δ%	€/a	€/a			
Ref1 21/17	18640	0	12022	0.0	30662	0	6463	631	37756	0	0.0
Ref2 20/17	17570	-5.7	13246	10.2	30816	0.50	5869	631	37316	-440	-1.2
Ref3 20/15	17226	-8	13324	10.8	30550	-0.4	5851	631	37032	-724	-1.9
Centr. $\Phi_{rad-80\%}$	18296	-1.8	12172	1.2	30467	-0.63	6712	631	37810	54	0.1
Centr. $\Phi_{rad-80\%}$ Not occ.	18629	-0	12091	0.6	30720	0.19	6721	631	38071	316	0.8
Decentr M7	18517	-0.7	11237	-6.5	29755	-2.96	7237	631	37622	-133	-0.4
Decentr M15	18369	-1	11461	-4.7	29830	-2.7	7259	631	37720	-35	-0.1
Decentr M35	18099	-2.9	11927	-0.8	30026	-2.07	7209	631	37866	110	0.3
Decentr M75	17920	-4	12321	2.5	30241	-1.4	7030	631	37903	147	0.4
Decentr. M7 SSDR +2/-1	18357	-1.5	11219	-6.7	29576	-3.54	7547	631	37754	-2	0.0
Decentr. M7 SSDR ±2	18293	-2	11228	-6.6	29521	-3.7	7574	631	37726	-29	-0.1
Decentr. M7 + Lim	18516	-0.7	11244	-6.5	29760	-2.94	6498	631	36888	-867	-2.3
Decentr. M7 SSDR ±2 + Lim	18288	-2	11245	-6.5	29533	-3.7	6545	631	36708	-1047	-2.8
DHW tank, CC	18899	1.4	12024	0.0	30923	0.85	6073	631	37626	-129	-0.3
DHW tank, CC + M7	18777	0.7	11239	-6.5	30016	-2.1	6763	631	37410	-345	-0.9
DHW tank, CC + M7 + Lim	18773	0.7	11253	-6.4	30026	-2.07	5922	631	36579	-1177	-3.1
DHW tank, DC	18669	0.2	12023	0.0	30692	0.1	4839	631	36162	-1594	-4.2
DHW tank, DC + M7 + Lim	18585	-0.3	11239	-6.5	29824	-2.73	6007	631	36462	-1294	-3.4



Euroopan unionin
osarahoittama



Takaisinmaksuaika

- Tutkitussa tapauksessa keskitetty kulutusjousto ei maksa itseään takaisin.
- Hajautetun kulutusjouston toteutus on tutkitussa tapauksessa liian kallis.
- Käyttövesivaraaja dynaamisella latauksella 10-vuoden takaisinmaksuaika.
- Hajautetun kulutusjousto-ohjauksen toteutuksen hintaa pitäisi saada ~80% alaspäin.

Tapaus	Kulutusjousto	Kassavirta A [€/a]	Investointi I_0 [€]	Takaisinmaksu aika N_a [a]
Ref1 21/17	-	0	0	-
Centr. $\Phi_{rad, -80\%}$	Keskitetty	-80	1432	-
Decentr. M7 + Lim	Hajautettu +tehonrajoitus	867	45760	75
Decentr. M7 SSTR ± 2 + Lim	Hajautettu +toissijaiset tilat +tehonrajoitus	1047	52565	70
DHW tank, CC + M7 + Lim	Varaaja vakiolataus +hajautettu +tehonrajoitus	1177	60243	72
DHW tank, DC	Varaaja dyn. lataus	1594	14483	10
DHW tank, DC + M7 + Lim	Varaaja dyn. lataus +hajautettu +tehonrajoitus	1294	60243	63

Investointikustannukset 10-vuoden takaisinmaksuajalle.

Tapaus	Kulutusjousto	Investointi I_0 [€]	Alennus prosentti ΔI_0 [%]
Decentr. M7 + Lim	Hajautettu +tehonrajoitus	8214	-82.0
Decentr. M7 SSTR ± 2 + Lim	Hajautettu +toissijaiset tilat +tehonrajoitus	9921	-81.1



Euroopan unionin
osarahoittama



Tehojousto

- Hajautettu kulutusjousto-ohjaus mahdollistaa huomattavasti suuremman lataus- ja purkutehon.
- Käyttövesivaraaja tasaa päivittäisiä kulutuspiikkejä, jonka takia mediaaniarvot suuremmat.

Tapaus	Lataus- ja purkuteho [kW]			
	Maksimit		Mediaanit	
	P ⁺	P ⁻	P ⁺	P ⁻
Centr. $\Phi_{\text{rad.-80\%}}$	8	-11.4	0.5	-1.1
Centr. $\Phi_{\text{rad.-80\%}}$ Not occ.	7.7	-11.5	1	-1.1
Decentr. M7	29.3	-24.6	2.1	-1.6
Decentr. M15	29.4	-24.6	1	-1.6
Decentr. M35	31.5	-24.3	0.7	-1.4
Decentr. M75	30.8	-22.5	0.8	-1.3
Decentr. M7 + Lim	29.3	-24.6	2.1	-1.7
Decentr. M7 SSDR ± 2 + Lim	35	-28.3	2.9	-3.1
DHW tank, CC	14.4	-18.2	6.7	-5.4
DHW tank, CC + M7 + Lim	35.9	-32.7	7.9	-6.7
DHW tank, DC	19.7	-28.7	3.8	-4.8
DHW tank, DC + M7 + Lim	35.3	-31.5	7.2	-6.4



Euroopan unionin
osarahoittama



Lataus- ja purkujaksojen energiat

- Suurin purkuenergia vastaa 14 m³ varaajaa lämmitysverkoston lämpötiloilla.

Tapaus	Jaksojen energiat [kWh]			
	Maksimit		Mediaanit	
	q ⁺	q ⁻	q ⁺ _{med}	q ⁻ _{med}
Centr. $\Phi_{\text{rad},-80\%}$	49	-137	3.5	-4.9
Centr. $\Phi_{\text{rad},-80\%}$ Not occ.	54	-132	9.3	-3.1
Decentr. M7	463	-435	3.1	-9.2
Decentr. M15	474	-431	2.9	-9.1
Decentr. M35	414	-410	3.1	-8.4
Decentr. M75	292	-343	3.6	-7.9
Decentr. M7 + Lim	463	-435	3	-9
Decentr. M7 SSDR ± 2 + Lim	567	-494	6.5	-17.7
DHW tank, CC	92	-101	56.4	-43.3
DHW tank, CC + M7 + Lim	473	-440	53.6	-41.8
DHW tank, DC	104	-126	17.1	-18.1
DHW tank, DC + M7 + Lim	466	-458	16.3	-23.1



Euroopan unionin
osarahoittama



Yhteenveto 1/3

- Keskitetyllä kulutusjoustopohjauksella saavutetaan alle 1% säästö energiakustannuksissa.
 - Maksimitehon kasvu ja tehomaksu kumoaa säästöt.
- Keskitetty kulutusjoustopohjaus on herkkä sisäisten kuormien puutteelle.
- Huolimatta alhaisista investointikustannuksista keskitetty kulutusjoustopohjaus ei maksa itseään takaisin tutkitussa tapauksessa



Euroopan unionin
osarahoittama



Yhteenveto 2/3

- Hajautetulla kulutusjousto-ohjauksella voidaan hyödyntää rakennuksen massaa energiavarastona ja saavuttaa 3– 4% säästöt energiakustannuksissa.
- Yleisten tilojen kulutusjoustolla voidaan merkittävästi lisätä kulutusjouston potentiaalia.
- Hajautetun kulutusjousto-ohjauksen toteutus ei ole nykyhinnoilla kannattavaa tutkitussa tapauksessa.



Euroopan unionin
osarahoittama



Yhteenveto 3/3

- Käyttövesivaraajalla ja dynaamisella latauksen ohjauksella voidaan merkittävästi leikata tehopiikkejä ja näin ollen saada säästöjä tehomaksuihin.
 - 27 % maksimitehon alennus
 - 4 % säästöt kokonaiskustannuksissa
- Takaisinmaksuaika käyttövesivaraajalle dynaamisella latauksella on 10 vuotta tutkitussa tapauksessa.



Euroopan unionin
osarahoittama



Kiitos!
Kysymyksiä?



**Euroopan unionin
osarahoittama**

