



Aalto University
School of Engineering

COMBI WP4

Lämmitys- ja jäädytysratkaisujen vaikutus palvelurakennusten energiatehokkuuteen

Jonathan Nyman ja Juha Jokisalo

Aalto-yliopisto

LVI-tekniikan ryhmä

28.1.2016

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



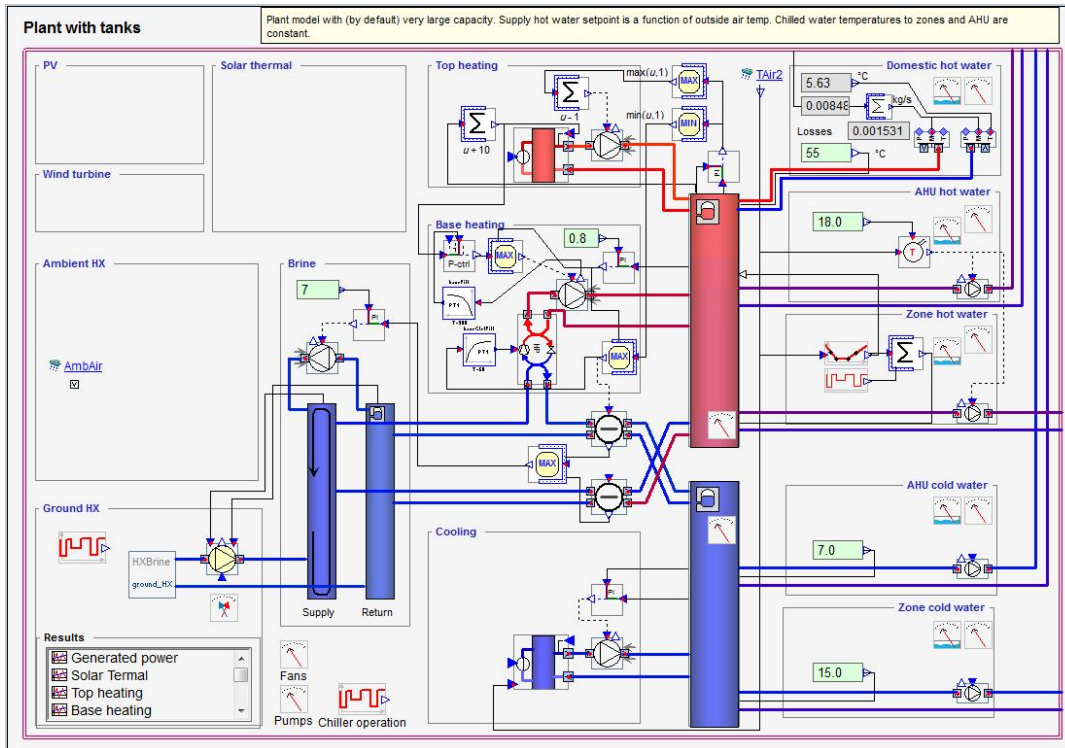
Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

Tausta ja tavoite

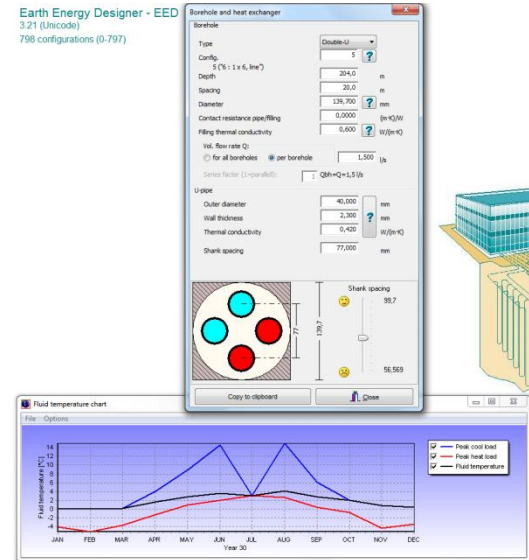
- Simulointitutkimukseen valittiin 3 Tampereen kaupungin palvelurakennusta.
- Kohteet mallinnettiin ja simuloitiin erilaisilla järjestelmävaihtoehtoilla käyttäen mahdollisimman todenmukaisia lähtötietoja.
 - à Tavoite on laskea mahdollisimman todenmukaiseen käyttöön perustuva ostoenergia ja E-luku

Menetelmät

- Rakennusten simulointi:
IDA-ICE 4.6

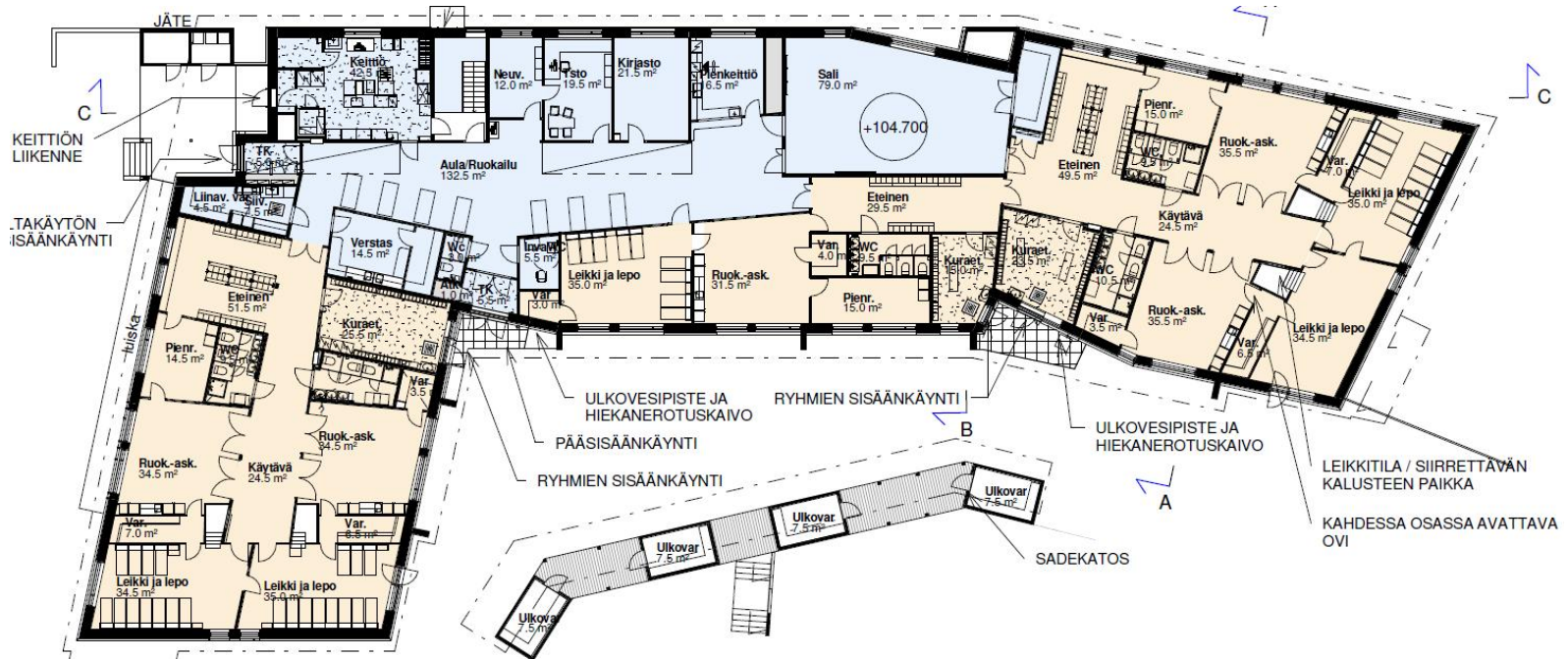


- Maalämpökaivojen
mitoitus: EED 3.21
(Earth Energy Designer)



Luhtaan päiväkoti

- Suomen 1. passiivitason päiväkoti
- Valmistunut 2012
- Noin 140 lasta
- Lämmitetty nettoala 1438m²



Luhtaan päiväkotii

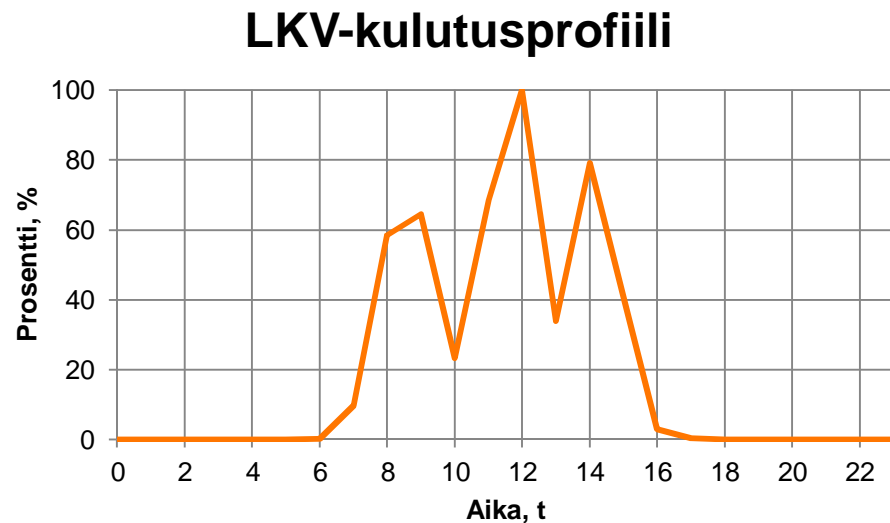
- U-arvot, W/m²K
 - US: 0.09
 - YP: 0.06
 - AP: 0.07
 - Ikkunat: 0.66



- Mitattu ilmavuotoluku $n_{50} = 0.34$ 1/h
- Nykyinen lämmitystapa: kaukolämpö
- Lämmönjako: vesik. lattialämmitys / IV-lämmitys / vesirad.
- IV: Kon. tulo- ja poisto (LTO LT-hyötysuhde 60-80%)
- WC tilojen poistoilmassa ei LTO:ta
- Kok. tulo- ja poistoilmavirta 3.6 m³/s
- *Kohteessa on 150m² aurinkosähköjärjestelmä, mutta sitä ei oteta huomioon vielä tässä tutkimusvaiheessa (T4.1) , vaan vasta seuraavassa vaiheessa (T4.2)*

Rakennuksen käyttö

- Henkilömäärä ja läsnäoloprofiili perustuvat kyselytutkimukseen
- Huonelaite- ja valaistusprofiilit perustuvat ns. FINVAC*-profiileihin ja kohteen läsnäoloprofiileihin
- LKV-kulutusprofiili perustuu mitattuun kulutukseen
- Mitattu LKV-kulutus
(186 dm³/m²,a)



*FINVAC: The Finnish Association of HVAC Societies
Profiilit saatavilla: <http://www.finvac.org/>

Mitoitustehot

- Lämmityksen asetusarvo: 21°C
- Jäähdytyksen asetusarvo: 25°C

Lämmityksen mitoitusteho	Lämpöpumput*	Kaukolämpö/ pellettikattila
Tilat	24 kW	30 kW
IV	48 kW	66 kW
Yhteensä	72 kW	96 kW

Jäähdytyksen mitoitusteho	
IV	21 kW

* Lisäksi lämpöpumppujen apulämmitys sähköllä

Luhtaan simuloitavat tapaukset

	1: KL	2: MLP	3: IVLP	4: Pellettikattila
Päälämmitys- ja jäähdytysjärjestelmä	Kaukolämpö + ilmalauhdutteinen kompr. kylmälaite	Maalämpöpumppu + vapaajäähdytys maaperällä	Ilma-vesi-lämpöpumppu + ilmalauhdutteinen kompr. kylmälaite	Pellettikattila + ilmalauhdutteinen kompr. kylmälaite
Lämmitysteho ja hyötysuhde / COP	100kW η: 0.97	54kW COP: 4.5 (0/35°C)	46kW COP: 3.65 (7/35°C)	100kW η: 0.75
Lisälämmitys	-	Sähkö	Sähkö	-
Lämmönjakojärjestelmä	Lattia-, rad.- ja IV-lämmitys (35/30°C)	Lattia-, rad.- ja IV-lämmitys (35/30°C)	Lattia-, rad.- ja IV-lämmitys (35/30°C)	Lattia-, rad.- ja IV-lämmitys (35/30°C)
LV-varaaja	400L (keräimet)	400L	400L	400L
Jäähdytysteho ja ESEER / COP	21kW ESEER: 3.6	21kW COP: 30	21kW ESEER: 3.6	21kW ESEER: 3.6
Jäähdytyksen jakelu	IV-jäähdytys (7/12°C)	IV-jäähdytys (7/12°C)	IV-jäähdytys (7/12°C)	IV-jäähdytys (7/12°C)
Kylmävesi varaaja	140L	140L	140L	140L
Aurinkokeräin ja pinta-ala	Tasokeräimet Int. (12/24m ²) Eri. (11/19m ²)	-	-	Tasokeräimet Int. (12/24m ²) Eri. (11/19m ²)

Vehmaisten koulu ja päiväkoti

- Rakennetaan 2015-2016
- Mitoitettu 300 oppilaalle (1-6.luokat) ja 160 päiväkotilapselle
- Huoneistoala: 4843m² (koulu) 1730m² (pk.), 6573m² (yht.)

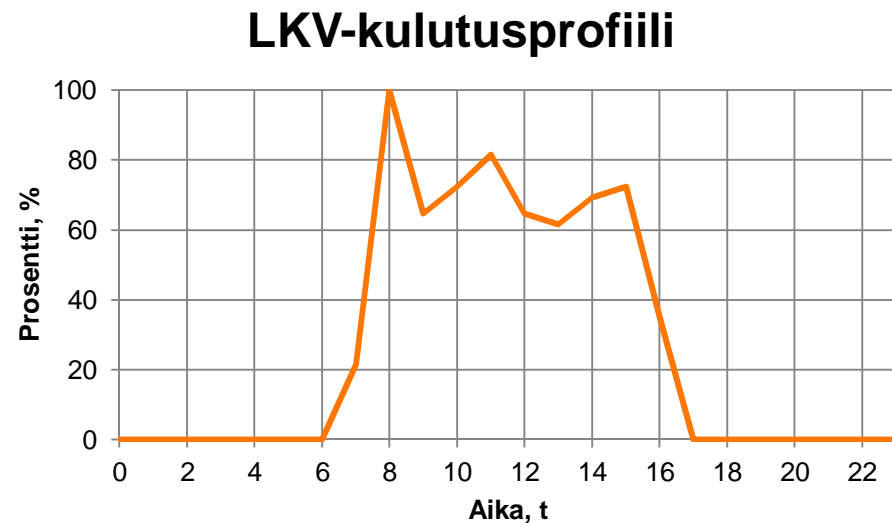


Vehmaisten koulu ja päiväkot

- U-arvot, W/m²K
 - US: 0.17
 - YP: 0.09
 - AP: 0.08
 - Ikkunat: 0.8
- Ilmavuotoluvun tavoitetaso $n_{50} \sim 1.5$ 1/h
- Nykyinen lämmitystapa: kaukolämpö
- Lämmönjako: vesirad. / vesik. lattialämmitys / IV-lämmitys
- IV: Kon. tulo- ja poisto (LTO LT-hyötysuhde 50-75%)
- WC- ja siivoustilojen poistoissa LTO (50%)
- Kok. tulo- ja poistoilmavirta ~ 19.9 m³/s

Rakennuksen käyttö

- Läsnaöloprofiili perustuu koulupuolella FINVAC-profiileihin ja päiväkotipuolella Luhtaan päiväkotiin
- Huonelaite- ja valaistusprofiilit perustuvat FINVAC-profiileihin ja kohteen läsnäoloprofiileihin
- LKV-kulutusprofiili perustuu mitattuun kulutukseen Vuoreksen koulukeskuksesta
- Arvioitu LKV-kulutus
(137 dm³/m²,a)



Mitoitustehot

- Lämmityksen asetusarvo: 21°C
- Jäähdytyksen asetusarvo: 25°C

Lämmityksen mitoitusteho	Lämpöpumput*	Kaukolämpö/ pellettikattila
Tilat	260 kW	364 kW
IV	274 kW	359 kW
Yhteensä	534 kW	723 kW

Jäähdytyksen mitoitusteho	
Tilat	1.5 kW
IV	83.5 kW
Yhteensä	85 kW

* Lisäksi lämpöpumppujen apulämmitys sähköllä

Vehmaisten simuloitavat tapaukset

	1: KL	2: MLP	3: IVLP	4: Pellettikattila	5: KL&KJ
Päälämmitys- ja jäähdytysjärjestelmä	Kaukolämpö + ilmalauhdutteinen kompr. kylmälaite	Maalämpöpumppu + vapaajäähdytys maaperällä	Ilma-vesi-lämpöpumppu + ilmalauhdutteinen kompr. kylmälaite	Pellettikattila + ilmalauhdutteinen kompr. kylmälaite	Kaukolämpö + kaukojäähdytys
Lämmitysteho ja hyötysuhde / COP	725kW η: 0.97	279kW COP: 4.8 (0/35°C)	268kW COP: 3.7 (7/45°C)	725kW η: 0.84	725kW η: 0.97
Lisälämmitys	-	Sähkö	Sähkö	-	-
Lämmönjakojärjestelmä	Rad.-, IV- ja lattialämmitys (45/35°C)	Rad.-, IV- ja lattialämmitys (45/35°C)	Rad.-, IV- ja lattialämmitys (45/35°C)	Rad.-, IV- ja lattialämmitys (45/35°C)	Rad.-, IV- ja lattialämmitys (45/35°C)
LV-varaaja	1300L (keräimet)	1300L	1300L	1300L	-
Jäähdytysteho ja ESEER / COP	110kW ESEER: 4.0	110kW COP: 30	110kW ESEER: 4.0	110kW ESEER: 4.0	110kW
Jäähdytyksen jakelu	IV-jääh. (7/12°C) Jääh.palkit (15/18.5°C)	IV-jääh. (7/12°C) Jääh.palkit (15/18.5°C)	IV-jääh. (7/12°C) Jääh.palkit (15/18.5°C)	IV-jääh. (7/12°C) Jääh.palkit (15/18.5°C)	IV-jääh. (7/12°C) Jääh.palkit (15/18.5°C)
Kylmävesi varaaja	450L	450L	450L	450L	-
Aurinkokeräin ja pinta-ala	Tasokeräimet Int. (40/80m ²) Eril. (39/67m ²)	-	-	Tasokeräimet Int. (40/80m ²) Eril. (39/67m ²)	-

Koukkuniemen vanhainkoti, Jukola-talo

- Valmistunut 1955, Tampere
- Peruskorjaus valmistunut 2013
 - LVI-tekniikka uusittu kokonaan
 - Ikkunat, ovet ja YP uusittu / remontoitu
 - US ja AP lämmöneristys ennallaan
- 5 asuinkerrosta, 67 asuntoa, asukaspaikkoja 71
- Huoneistoala 4709m²

1-4. krs.
pohjakuva:



Koukkuniemen vanhainkoti, Jukola-talo

- U-arvot, W/m²K

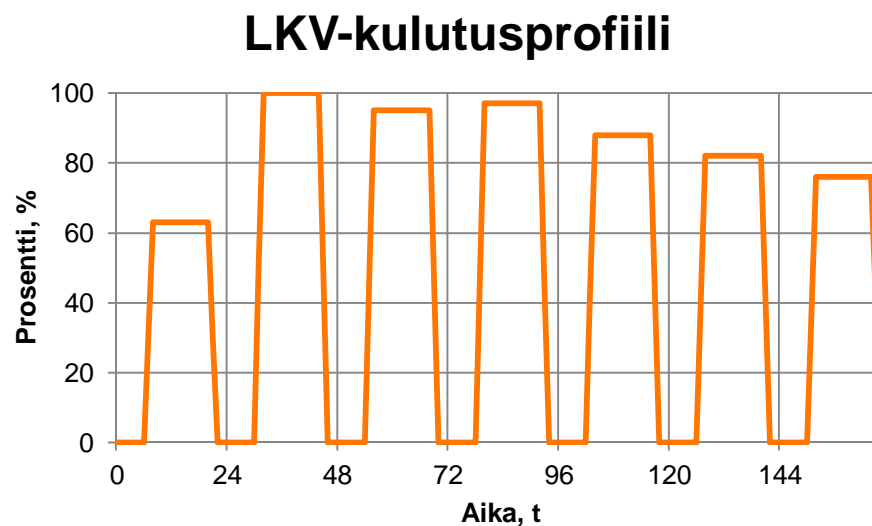
- US: 0.7
- YP: 0.09
- AP: 0.36
- Ikkunat: 0.9



- Arvioitu ilmavuotoluku $n_{50} \sim 6.0$ 1/h
- Nykyinen lämmitystapa: kaukolämpö
- Lämmönjako: vesirad.
- IV: Kon. tulo- ja poisto (LTO LT-hyötysuhde 60%)
- Kok. tulo- ja poistoilmavirta ~ 5.2 m³/s

Rakennuksen käyttö

- Henkilömäärä ja läsnäoloprofiili perustuvat kyselytutkimukseen
- Huonelaite- ja valaistusprofiilit perustuvat FINVAC-profiileihin ja läsnäoloprofiileihin
- LKV-kulutusprofiili perustuu mitattuun kulutukseen ja läsnäoloprofiiliin
- Mitattu LKV-kulutus
(242 dm³/m²,a)



Mitoitustehot

- Lämmityksen asetusarvo: 22°C
- Jäähdytyksen asetusarvo: 25°C

Lämmityksen mitoitusteho	Lämpöpumput*	Kaukolämpö/ pellettikattila
Tilat	87 kW	133 kW
IV	129 kW	183 kW
Yhteensä	216 kW	316 kW

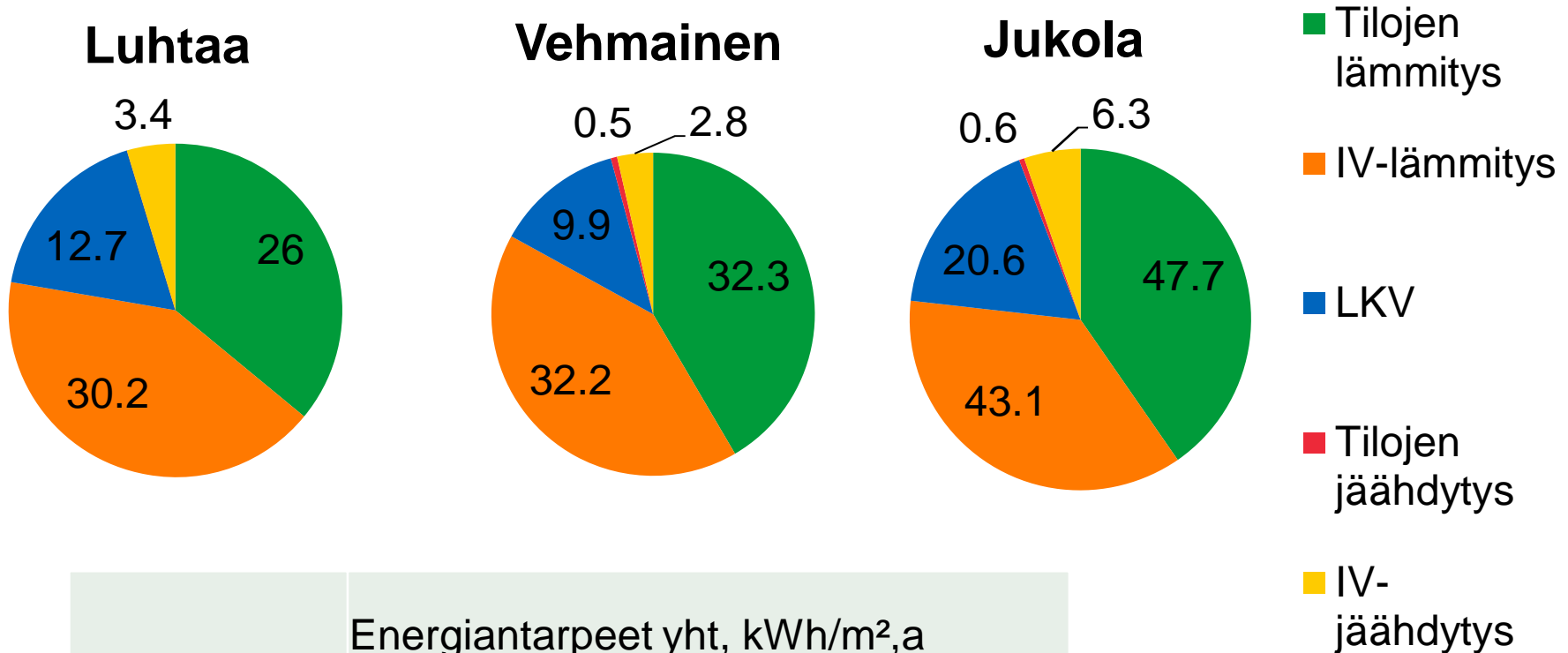
Jäähdytyksen mitoitusteho	
Tilat	6 kW
IV	61 kW
Yhteensä	67 kW

* Lisäksi lämpöpumppujen apulämmitys sähköllä

Jukolan simuloitavat tapaukset

	1: KL	2: MLP	3: IVLP	4: Pellettikattila	5: KL&KJ
Päälämmitys- ja jäähdytysjärjestelmä	Kaukolämpö + vesilauhdutteinen kompr. kylmälaite	Maalämpöpumppu + vapaajäähdytys maaperällä	Ilma-vesi-lämpöpumppu + vesilauhdutteinen kompr. kylmälaite	Pellettikattila + vesilauhdutteinen kompr. kylmälaite	Kaukolämpö + kaukojäähdytys
Lämmitysteho ja hyötysuhde / COP	320kW η: 0.97	186kW COP: 4.8 (0/35°C)	134kW COP: 3.7 (7/45°C)	320kW η: 0.84	320kW η: 0.97
Lisälämmitys	-	Sähkö	Sähkö	-	-
Lämmönjakojärjestelmä	Alkuperäinen rad. lämmitys (65/35°C)	Matalalämpötila-rad. lämmitys (45/35°C)	Matalalämpötila-rad. ämmitys (45/35°C)	Alkuperäinen rad. lämmitys (65/35°C)	Alkuperäinen rad. lämmitys (65/35°C)
LV-varaaja	1600L (keräimet)	1600L	1600L	1600L	-
Jäähdytysteho ja ESEER / COP	77kW ESEER: 4.2	77kW COP: 30	77kW ESEER: 4.2	77kW ESEER: 4.2	77kW
Jäähdytyksen jakelu	IV-jääh. (7/12°C) Jääh.palkit (15/18.5°C)	IV-jääh. (7/12°C) Jääh.palkit (15/18.5°C)	IV-jääh. (7/12°C) Jääh.palkit (15/18.5°C)	IV-jääh. (7/12°C) Jääh.palkit (15/18.5°C)	IV-jääh. (7/12°C) Jääh.palkit (15/18.5°C)
Kylmävesi varaaja	450L	450L	450L	450L	-
Aurinkokeräin ja pinta-ala	Tasokeräimet Int. (58/116m ²) Eril. (58/93m ²)	-	-	Tasokeräimet Int. (58/116m ²) Eril. (58/93m ²)	-

Kohteiden lämmityksen ja jäähdytyksen energiantarpeet, kWh/m²,a

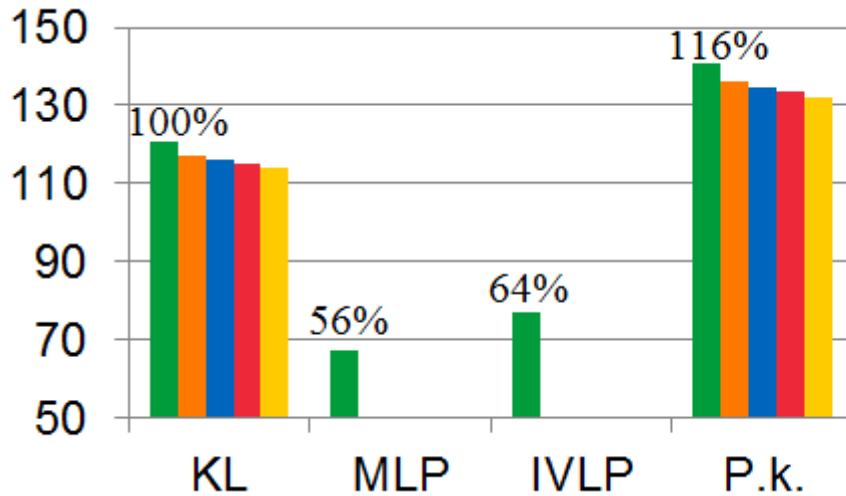


	Energiantarpeet yht, kWh/m ² ,a		
	Luhtaa	Vehmainen	Jukola
Lämmitys	68.9	74.4	111.4
Jäähdytys	3.4	3.3	6.9

Luhtaa: Energiatulokset

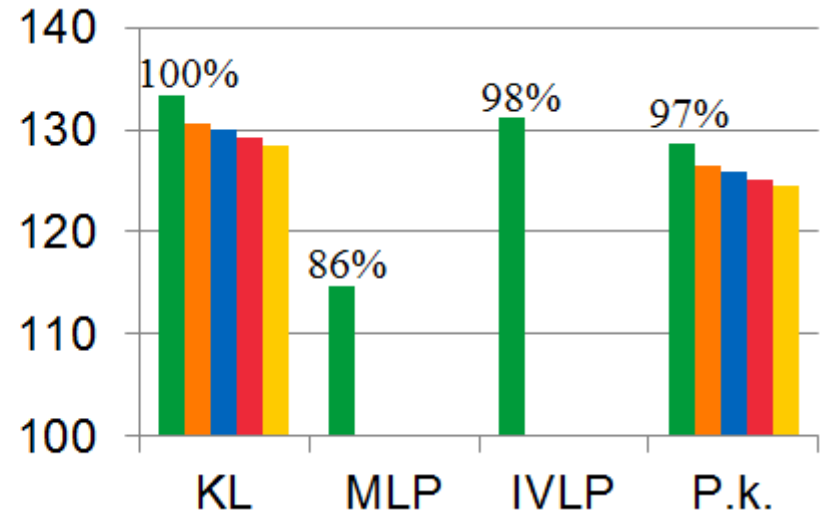
Kokonaisostoenergia

(kWh/m²,a)



E-luku*

(kWh/m²,a)



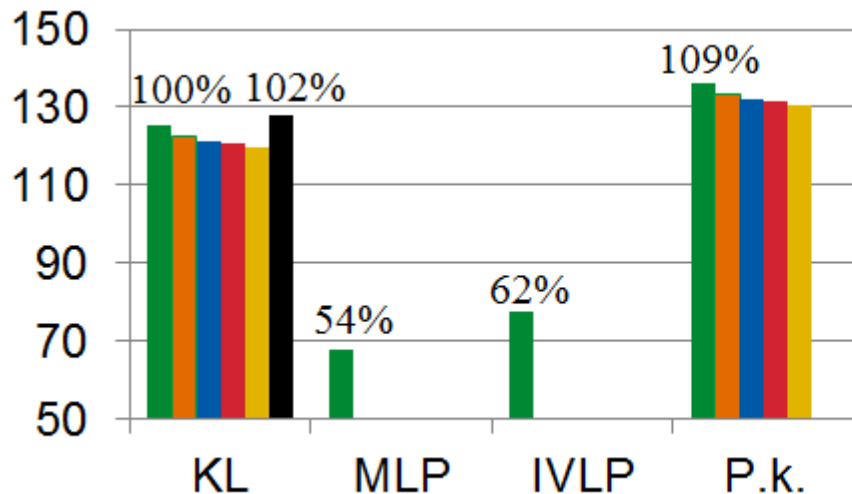
■ ei keräimiä (Ak.) ■ Int. Ak. 12m² ■ Eri. Ak. 11m² ■ Int. Ak. 24m² ■ Eri. Ak. 19m²

*E-luku ei ole D3 (2012) mukainen, koska kohteen energiankulutus perustuu mitattuun / arvioituun käyttöön

Vehmainen: Energiatulokset

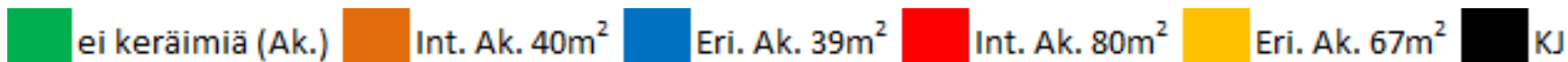
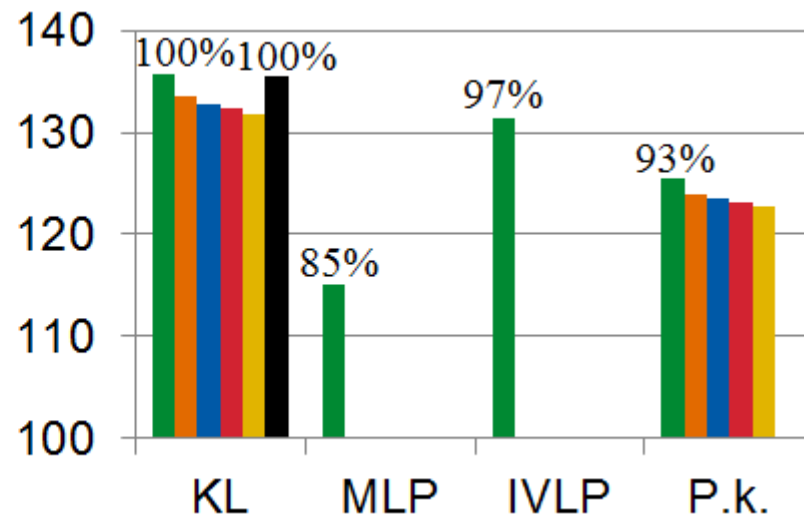
Kokonaisostoenergia

(kWh/m²,a)



E-luku*

(kWh/m²,a)

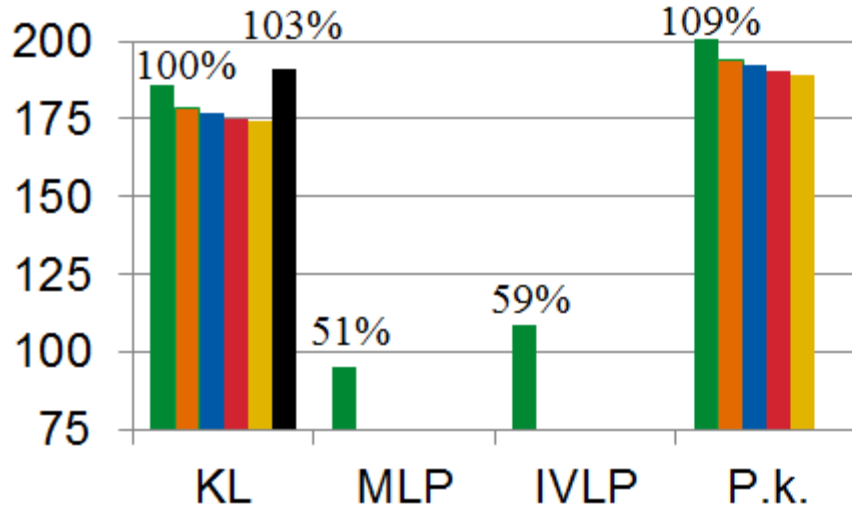


*E-luku ei ole D3 (2012) mukainen, koska kohteen energiankulutus perustuu mitattuun / arvioituun käyttöön

Jukola: Energiatulokset

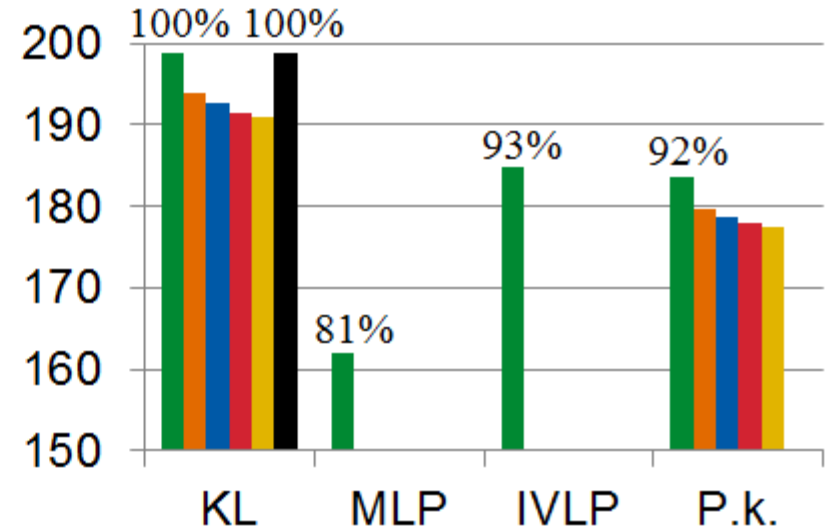
Kokonaisostoenergia

(kWh/m²,a)



E-luku*

(kWh/m²,a)



ei keräimiä (Ak.) Int. Ak. 58m² Eri. Ak. 58m² Int. Ak. 116m² Eri. Ak. 93m² KJ

*E-luku ei ole D3 (2012) mukainen, koska kohteen energiankulutus perustuu mitattuun / arvioituun käyttöön

Yhteenveto

- Maalämpöpumppuun perustuvalla ratkaisulla saadaan vähennettyä ostoenergiankulutusta 44-49% ja E-lukua 14-19% kohteesta riippuen verrattuna kaukolämpöratkaisuun.
- Ilma-vesilämpöpumppuun perustuvalla ratkaisulla saadaan vähennettyä ostoenergiankulutusta 36-41% ja E-lukua 2-7% kohteesta riippuen verrattuna kaukolämpöratkaisuun.
- Pellettikattilaan perustuvalla ratkaisulla ostoenergiankulutus nousee 9-16% ja E-luku laskee 3-8% kohteesta riippuen verrattuna kaukolämpöratkaisuun.
- Tutkituissa tapauksissa integroiduilla aurinkokeräimillä saadaan vähennettyä ostoenergiankulutusta 2-6% ja E-lukua 1-4% kohteesta riippuen.
- Tutkituissa tapauksissa katolle asennetuilla erillisillä aurinkokeräimillä saadaan vähennettyä ostoenergiankulutusta 3-6% ja E-lukua 2-4% kohteesta riippuen.