



Aalto University
School of Engineering

COMBI

Millä palvelurakennukset kannattaa lämmittää?

Juha Jokisalo
Aalto-yliopisto
Konetekniikan laitos
26.1.2017

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



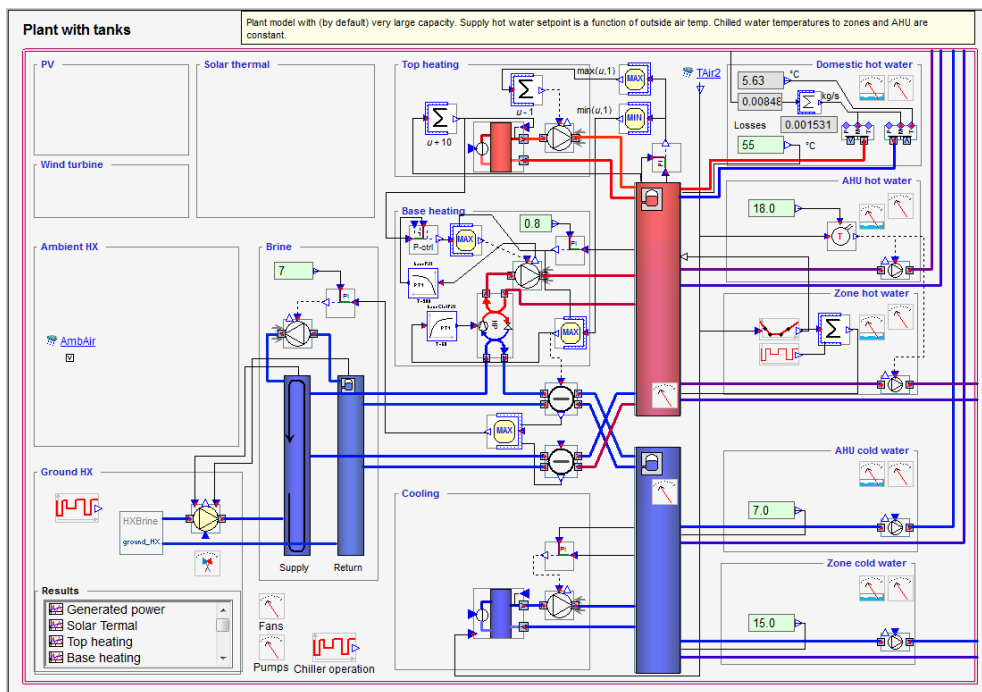
Tausta ja tavoite

- Simulointitutkimuksessa kolme Tampereen kaupungin palvelurakennusta
- Kohteet mallinnettiin ja simuloitiin erilaisilla järjestelmävaihtoehdoilla käyttäen mahdollisimman todenmukaisia lähtötietoja.

→ Mitkä lämmitys- ja jäähdytysratkaisut ovat kustannusoptimaalisia?

Menetelmät – energialaskenta ja optimointi

- Rakennusten simulointi: IDA-ICE



- Lämpöpumppujen tehomitoituksen optimointi IDA-ICE + MOBO (**M**ulti **O**bjective **B**uilding **O**ptimization) työkalulla.
- Maalämpökaivojen mitoitus: EED 3.21 (**E**arth **E**nergy **D**esigner)

Menetelmät - elinkaarikustannukset

- Tutkittavien järjestelmien elinkaarikustannusten (LCC) nykyarvo
- COMBI-hankkeessa sovitut laskentaperiaatteet (Heljo 2016*):
 - Laskenta reaaliarvoilla (inflaatio ei mukana)
 - Tarkastelujakso 20v. (rakennusten käyttöikä 40v.)
 - Kustannukset ilman ALV:ia
 - Yleiskulut mukana kustannuksissa
 - Laskentakorko r (reaalinen)
 - Perustapauksissa: 3%
 - Herkkyystarkasteluissa: 1 ja 5%
 - Energian ja siirron reaalin hintakehitys e :
 - Perustapauksissa 2%/vuosi kaikilla energiamuodoilla
 - Herkkyystarkasteluissa 0% (kaikki), 4%(KL, sähkön siirto)

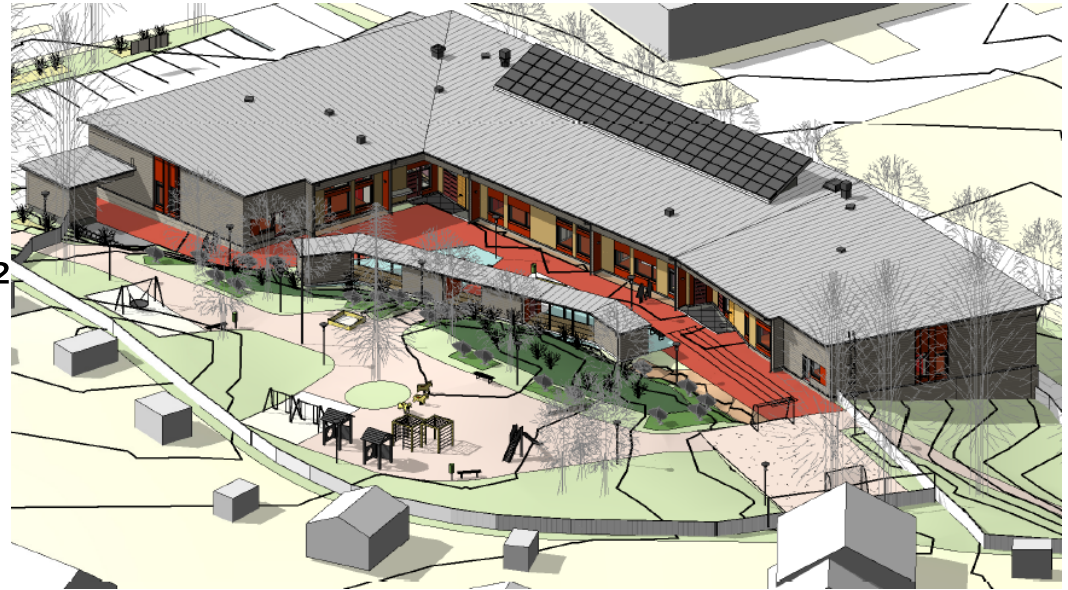
* *Heljo Juhani, Taloudellisuustarkastelujen toteuttamisperiaatteet, COMBI-tulosseminaari 28.1.2016*

Energian hinnat ja tehomaksut

- Sähkö:
 - Energia ja siirtohinta Tampereen Sähkölaitoksen hinnoilla :
 - Luhtaa: 92.2 €/MWh
 - Vehmainen & Jukola: 81.2 €/MWh
- Kaukolämpö:
 - Energian hinta kuukausittain (44.7 - 61.5 €/MWh) ja vuosimaksu Tampereen Sähkölaitoksen hinnoilla.
- Kaukojäähdytys:
 - Energian hinta vuositasolla (27 €/MWh) ja vuosimaksu Tampereen Sähkölaitoksen hinnoilla.
- Pelletit:
 - Hinta kuukausittain (46.1 – 47.1 €/MWh) Tilastokeskuksen Suomen keskim. puupellettien hintatilaston mukaan.

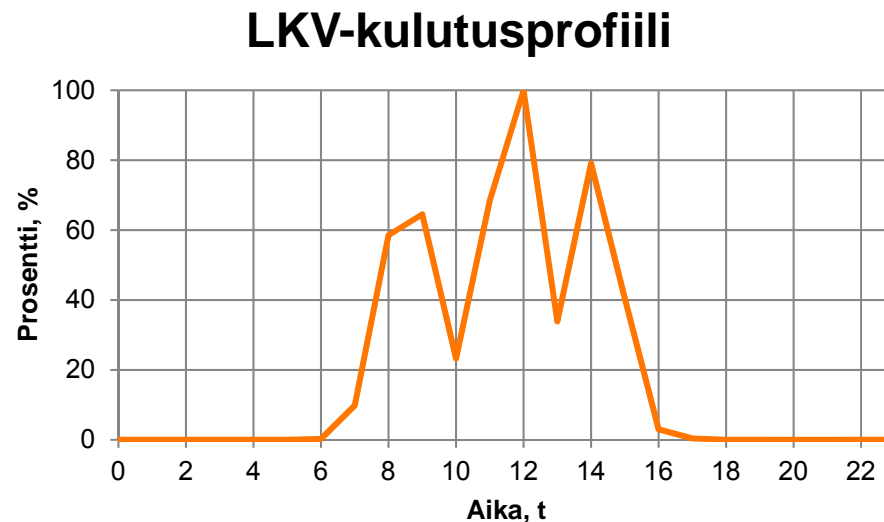
Luhtaan päiväkoti

- Suomen 1. passiivitason päiväkoti
- Valmistunut 2012
- Noin 140 lasta
- Lämmitetty nettoala 1438m²
- U-arvot, W/m²K
 - US: 0.09
 - YP: 0.06
 - AP: 0.07
 - Ikkunat: 0.66
- Nykyinen lämmitystapa: kaukolämpö
- Lämmönjako: vesik. lattialämmitys / IV-lämmitys / vesirad.
- IV: Kon. tulo- ja poisto (LTO LT-hyötysuhde 60-80%)
- Mitattu ilmavuotoluku $n_{50} = 0.34$ 1/h



Rakennuksen käyttö

- Henkilömäärä ja läsnäoloprofiili perustuvat **kyselytutkimukseen**
- Huonelaite- ja valaistusprofiilit ovat **arvioituja** ja 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 tutkitut tapaukset

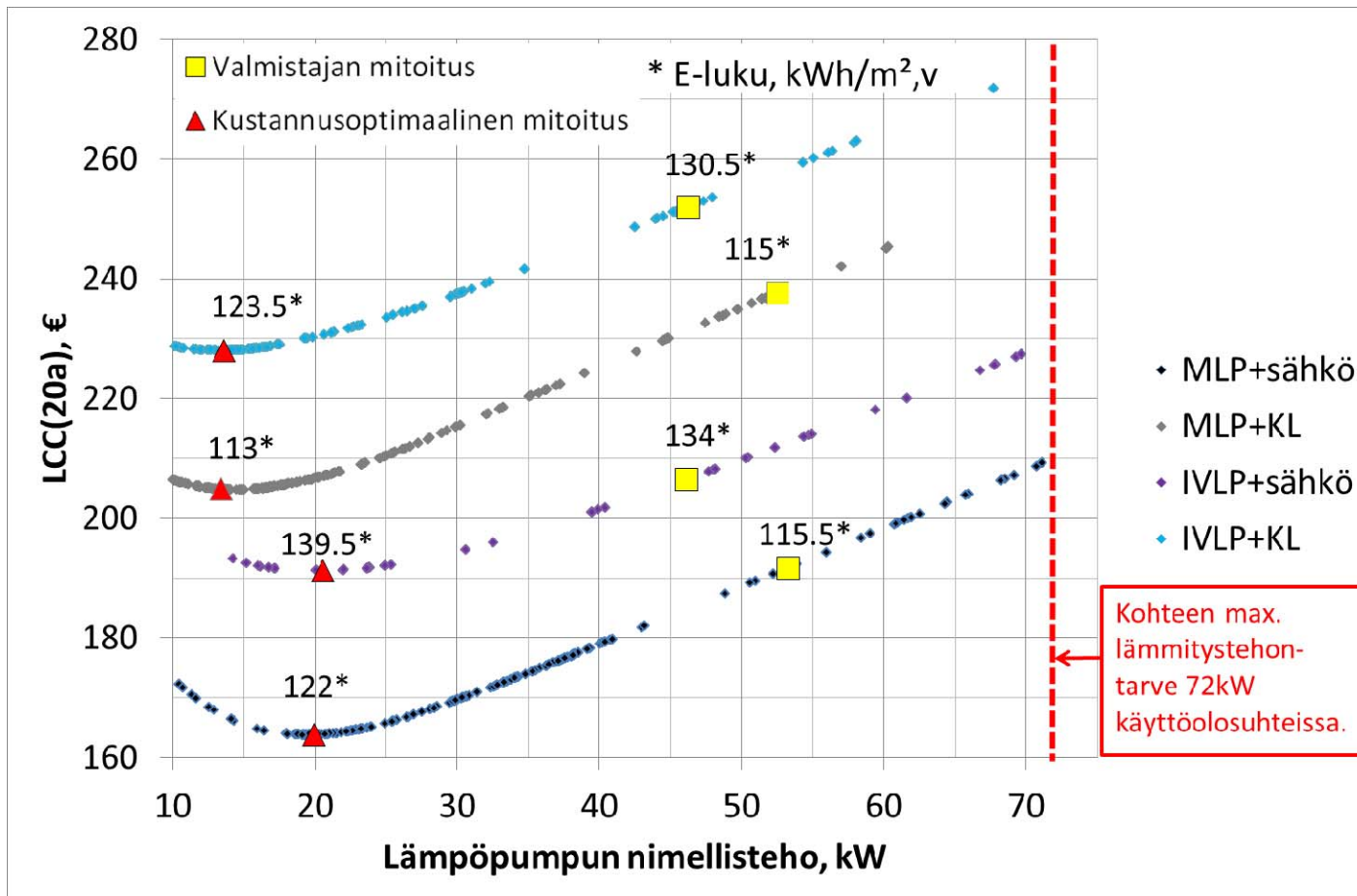
	1: KL + Kon. jäähdytys	2: MLP + vapaajäähdytys	3: IVLP + kon. jäähdytys	4: Pellettikattila + kon. jäähdytys
Päälämmitys- ja jäähdytys-järjestelmä	Kaukolämpö + ilmalauhdutteinen kompr. kylmälaite	Maalämpöpumppu + vapaajäähdytys maaperällä	Ilma-vesi-lämpöpumppu + ilmalauhdutteinen kompr. kylmälaite	Pellettikattila + 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 tai kaukolämpö	Sähkö tai kaukolämpö	-
Lämmönjako-järjestelmä	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 A: Int. (12/24m ²) B: Eril. (10/21m ²) C: Eril.(11/19 m ²)	-	-	Tasokeräimet A: Int. (12/24m ²) B: Eril. (10/21m ²) C: Eril.(11/19 m ²)

Luhtaan järjestelmien investointikustannukset*

	1: KL + Kon. jäähdytys	2: MLP + vapaajäähdytys	3: IVLP + kon. jäähdytys	4: Pellettikattila + kon. jäähdytys
Päälämmitysjärjestelmä, €	16 300	65 300	32 300	132 800
Apulämmitysjärjestelmä, €	-	Sähkö: 9 600 KL: 16 300	Sähkö: 9 600 KL: 16 300	-
KL. Liittymismaksu, €	13 500	13 500	13 500	-
KL. Perusmaksu, €/v	2 700	2 700 (KL-apulämmitys)	2 700 (KL-apulämmitys)	-
Suuremman sähköliittymän lisäkustannus, €	-	4 200	4 200	-
Jäähdytysjärjestelmä, €	10 300	-	10 300	10 300
Aurinkolämpöjärjestelmä	Tasokeräimet A: (13 800 / 26 400 €) B: (7 500 / 15 100 €) C: (7 400 / 12 800 €)			Tasokeräimet A: (13 800 / 26 400 €) B: (7 500 / 15 100 €) C: (7 400 / 12 800 €)

* Taulukon hinnat sisältävät asennuksen, mutta ei ALV:ia eikä yleiskustannuksia

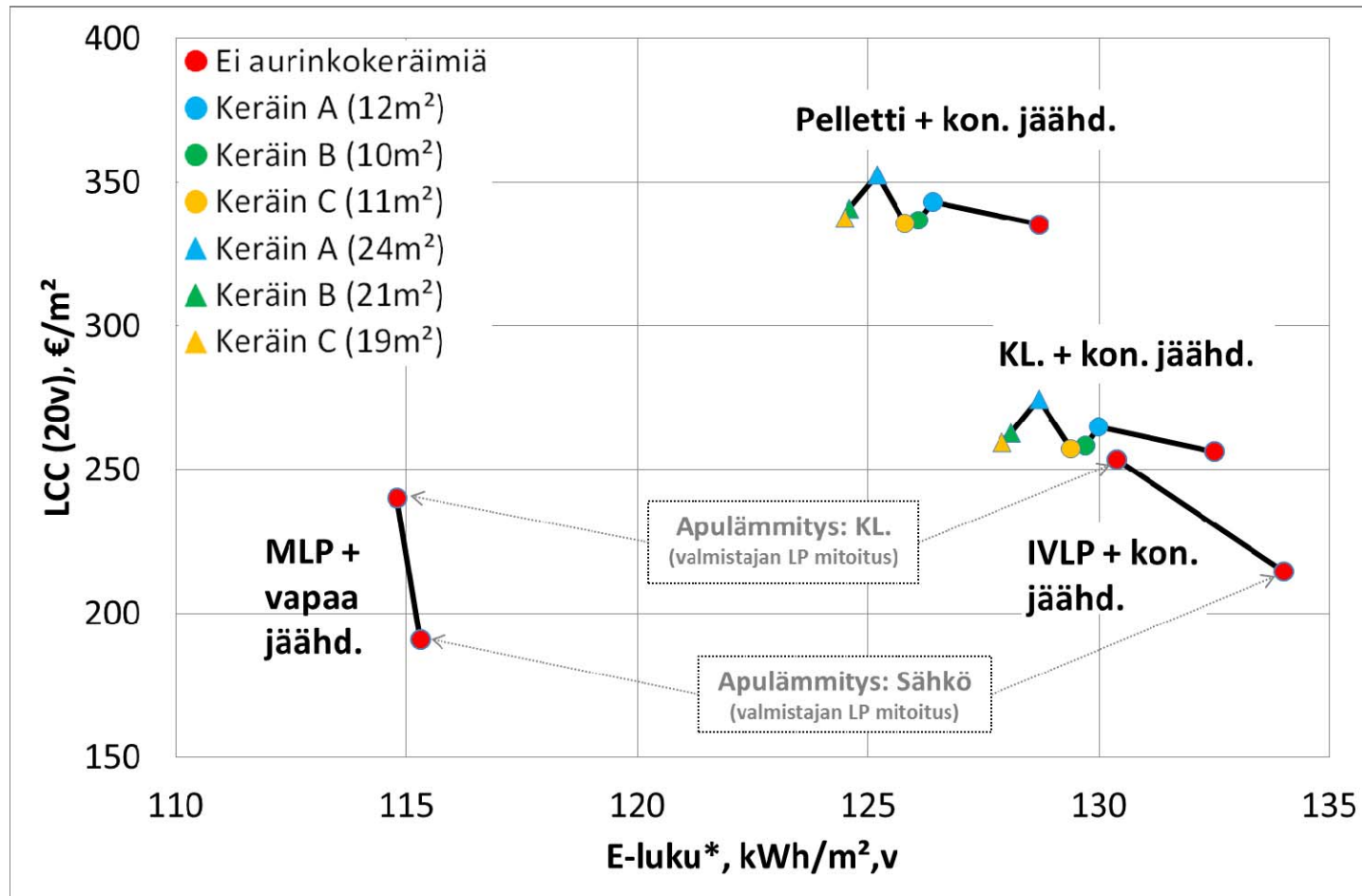
Luhtaa: Lämpöpumppujen optimaalinen tehomitoitus



→ Valmistajan mitoittama MLP 72% ja IVLP 64% kohteen max. tehontarpeesta.

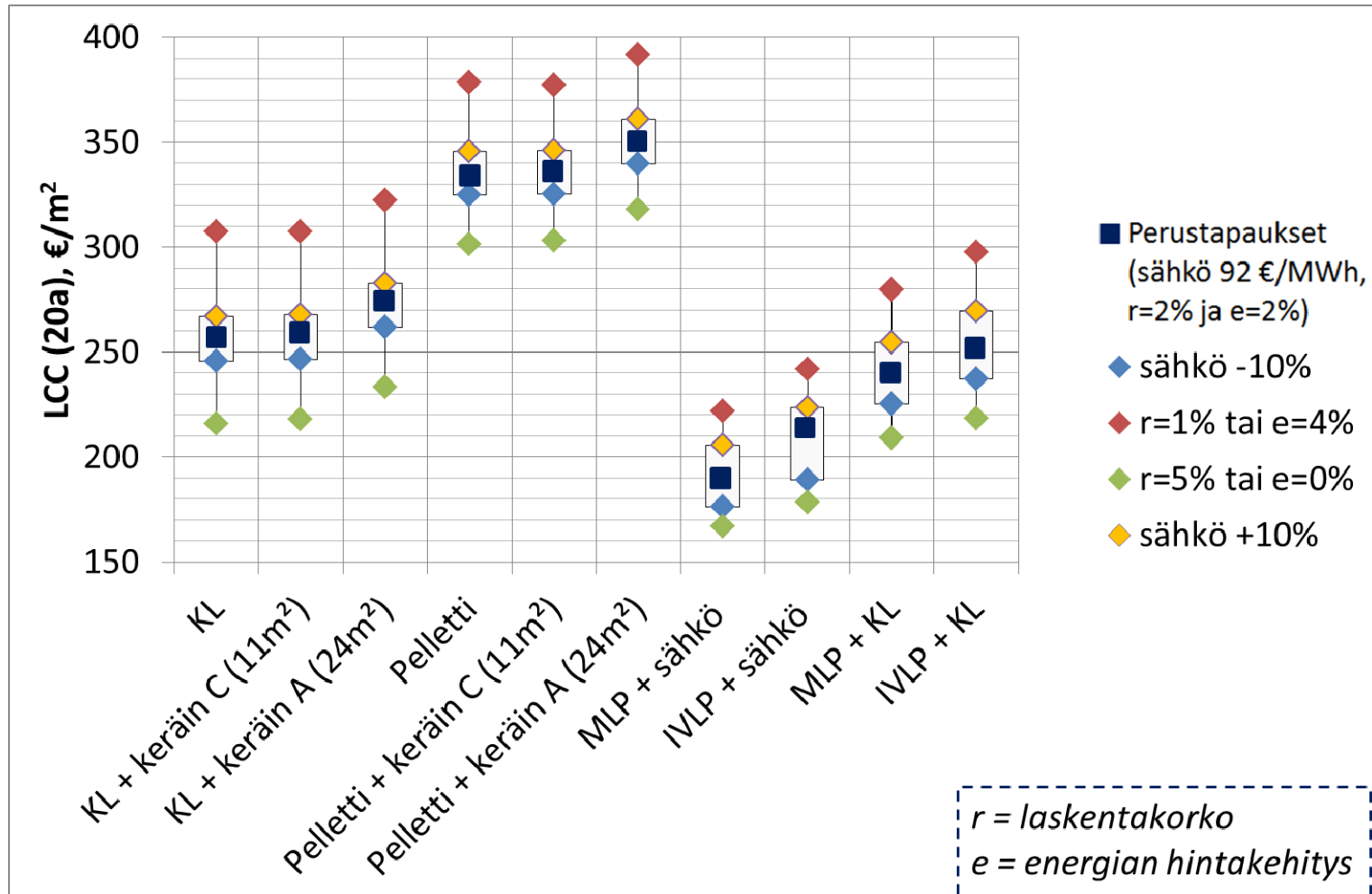
→ Kustannusoptimaalinen mitoitus olisi 28%, kun apulämmitys sähköllä ja 19%, jos apulämmitys kaukolämmöllä.

Luhtaa: järjestelmien LCC vs. energiatehokkuus



*E-luku on laskettu D3 (2012) mukaisilla energiamuotojen kertoimilla, mutta kohteen energiankulutus perustuu mitattuun ja arvioituun käyttöön, joten E-luku ei ole Rak. määräysten mukainen.

Luhtaa: Herkkyystarkastelu



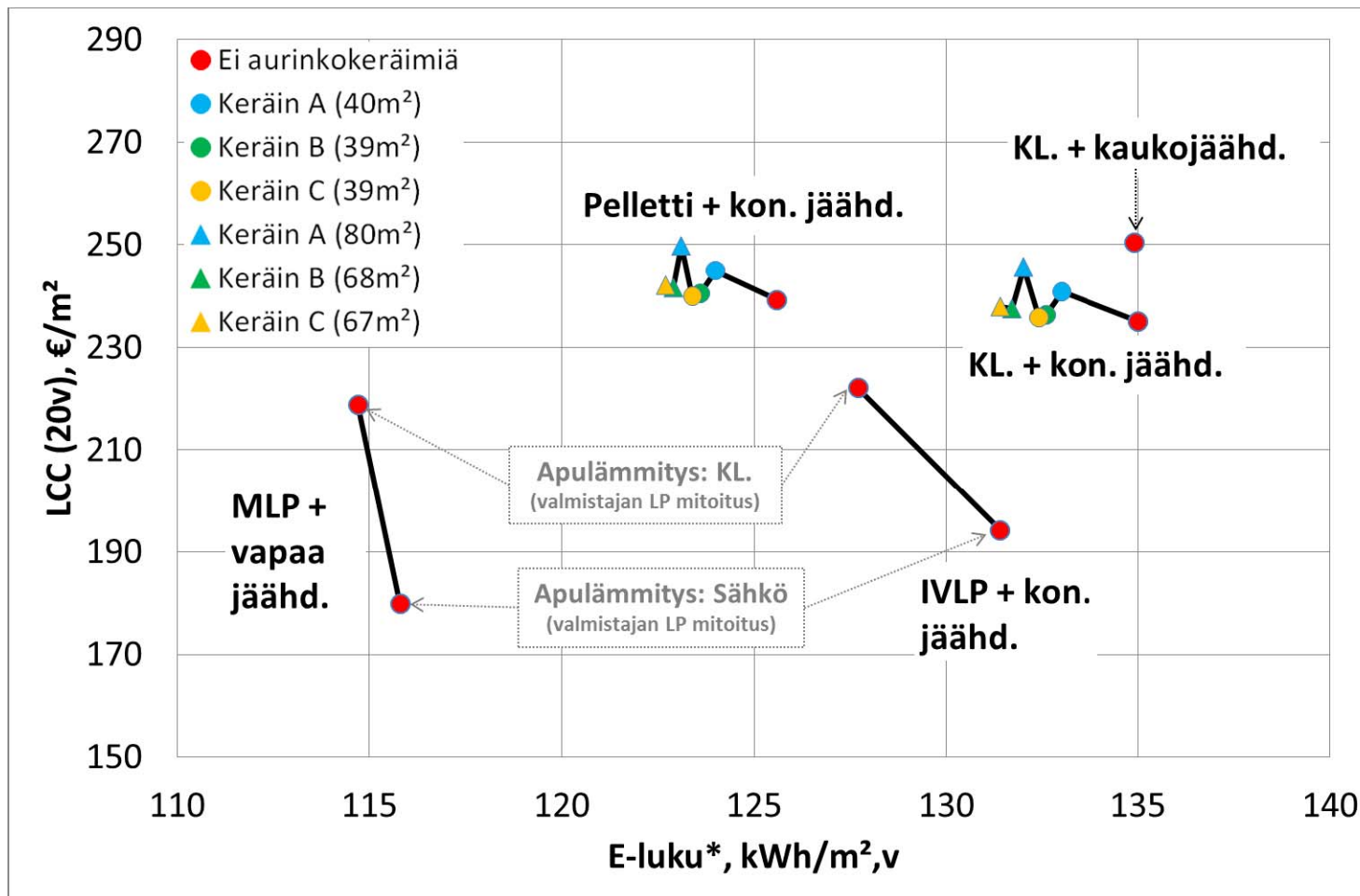
Vehmaisten koulu ja päiväkoti

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



- Nykyinen lämmitystapa: kaukolämpö
- Lämmönjako: vesirad. / vesik. lattialämmitys / IV-lämmitys
- IV: Kon. tulo- ja poisto (LTO LT-hyötysuhde 50-75%)

Vehmainen: järjestelmien LCC vs. energiatehokkuus



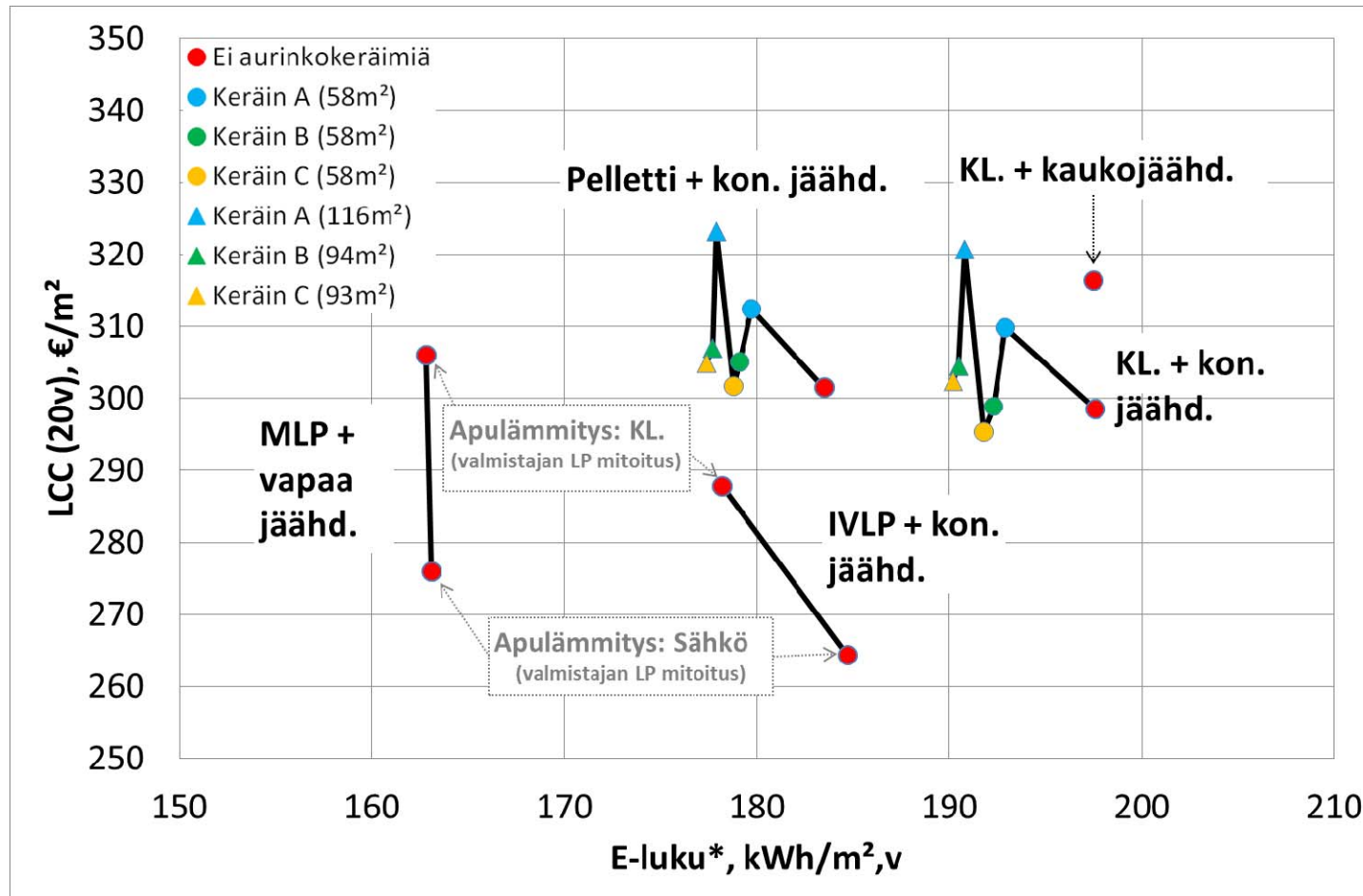
*E-luku on laskettu D3 (2012) mukaisilla energiamuotojen kertoimilla, mutta kohteen energiankulutus perustuu mitattuun ja arvioituun käyttöön, joten E-luku ei ole Rak. määräysten mukainen.

Koukkuniemen vanhainkoti, Jukola-talo

- Valmistunut 1955, peruskorjaus valmistunut 2013
- Huoneistoala: 4709m²
- U-arvot, W/m²K
 - US: 0.7
 - YP: 0.09
 - AP: 0.36
 - Ikkunat: 0.9
- Nykyinen lämmitystapa: kaukolämpö
- Lämmönjako: vesirad.
- IV: Kon. tulo- ja poisto (LTO LT-hyötysuhde 60%)
- Arvioitu ilmavuotoluku $n_{50} \sim 6.0$ 1/h



Jukola: järjestelmien LCC vs. energiatehokkuus



*E-luku on laskettu D3 (2012) mukaisilla energiamuotojen kertoimilla, mutta kohteen energiankulutus perustuu mitattuun ja arvioituun käyttöön, joten E-luku ei ole Rak. määräysten mukainen.

Täyttäisivätkö uudiskohteet ehdotetut nZEB-määräykset?

Kohde	Lämmitys- ja jäähdytysratkaisu (kustannusoptimaalinen)	Rakennuksen käyttö	E-luku, kWh/m ² ,v	
			D3 (2012)	Asetusluonnos (7.10.2016)
			(sähkön kerroin: 1.7)	(sähkön kerroin: 1.2)
Luhtaa	MLP + vapaajäähdytys	Todenmukainen käyttö	115	81
		Määräysten standardikäyttö	95	67
Vehmainen	MLP + vapaajäähdytys	Todenmukainen käyttö	116	82
		Määräysten standardikäyttö	100	71
		Määräysten vaatimukset	≤170	≤100

→ Todenmukainen käyttö kasvattaa E-lukua kohteesta riippuen määräysten standardikäyttöön verrattuna noin 15 -20%

→ Ehdotetut nZEB määräykset täyttyvät reippaasti näillä ja kaikilla muillakin tutkituilla järjestelmävaihtoehdoilla

Yhteenveto

- Tutkituista ratkaisuista kustannusoptimaalisia järjestelmävaihtoehtoja ovat:
 - MLP sähköisellä apulämmityksellä + vapaajäähdytys (Luhtaa ja Vehmainen)
 - IVLP sähköisellä apulämmityksellä + kon. jäähdytys (Jukola)
- Herkkyystarkasteluissa korkotason, sähkön hinnan ja energian hintakehityksen vaihtoehdot eivät muuta kustannusoptimaalisia järjestelmävaihtoehtoja tutkituissa kohteissa.
- Kustannusoptimaalinen lämpöpumppujen tehomitoitus olisi Luhtaan päiväkodissa selvästi pienempi kuin valmistajan mitoitus.
- Aurinkokeräimillä saadaan parannettua kohteiden energiatehokkuutta ja oikein mitoitettuna niillä saadaan myös hieman vähennettyä elinkaarikustannuksia, mikäli kohteessa on kesällä riittävästi LKV kulutusta.
- Tutkitut uudiskohteet täyttävät kaikilla tutkituilla järjestelmävaihtoehdoilla asetusluonnoksen (7.10.2016) E-lukurajat

Lisätietoja

- Jonathan Nymanin diplomityö:
”Cost Optimal Heating and Cooling Systems in Nearly Zero Energy Service Buildings”
- Saatavilla Aalto-yliopiston kirjastossa osoitteessa:
<http://urn.fi/URN:NBN:fi:aalto-201604201855>