COMBI

COMPREHENSIVE DEVELOPMENT OF
NEARLY ZERO-ENERGY
MUNICIPAL SERVICE BUILDINGS

TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Aalto-yliopisto

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

BUSINESS FINLAND

Euroopan unioni

Vipuvoimaa EU:lta 2014–2020

KUSTANNUSOPTIMAALISET LÄMMITYS- JA JÄÄHDYTYSRATKAISUT PALVELURAKENNUKSISSA

Laatijat: Jonathan Nyman, Aalto-yliopisto
Juha Jokisalo, Aalto-yliopisto

Sisällys

Kustannusoptimaaliset lämmitys- ja jäähdytysratkaisut palvelurakennuksissa

- **Tavoite**
- **Tutkimusmenetelmät**
- **Lämmitys- ja jäähdytysratkaisujen kustannusoptimaalisuus esimerkkikohteissa**
  - Luhtaan päiväkoti
  - Vehmaisten koulu ja päiväkoti
  - Koukkuniemen vanhainkodin Jukola-talo
- **Lämpöpumppujen optimaalinen tehomitoitus**
- **Yhteenveto**

Tavoite

Tämän tutkimusosion tavoitteena oli selvittää mitkä lämmitys- ja jäähdytysratkaisut ovat kustannusoptimaalisia kiinteistön omistajan näkökulmasta kolmessa Tampereen kaupungin palvelurakennuksessa

Kaksi esimerkkikohdetta edustivat uudisrakennuksia:

- Luhtaan päiväkoti
- Vehmaisten koulu ja päiväkoti

Yksi esimerkkikohde edusti saneerauskohdetta:

- Koukkuniemen vanhainkodin Jukola-talo

Tutkimusmenetelmät

Tutkimus toteutettiin dynaamista energiasimulointia sekä optimointia hyödyntäen käyttäen mahdollisimman todenmukaisia laskennan lähtötietoja

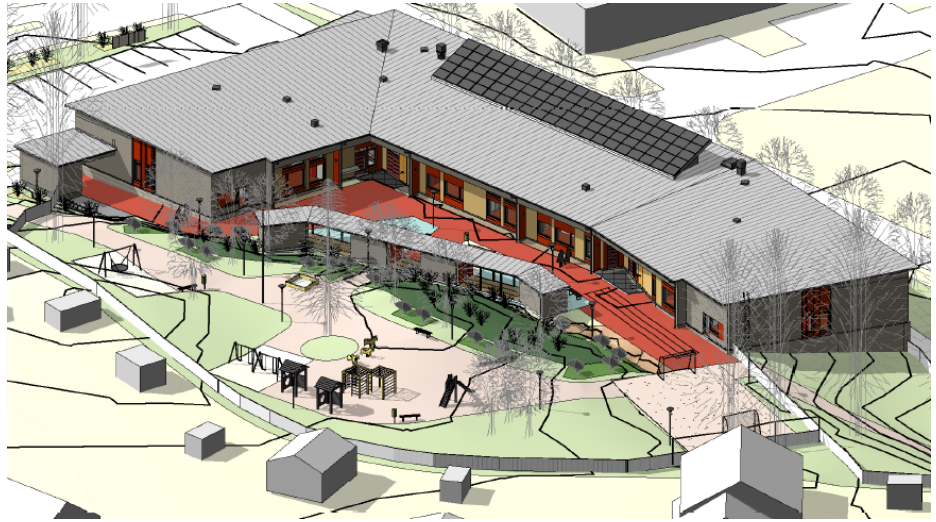
- Rakennusten energiasimulointi toteutettiin IDA-ICE simulointityökalulla
- Lämpöpumppujen tehomitoituksen optimointi toteutettiin IDA-ICE + MOBO (Multi Objective Building Optimization) ohjelmilla
- Maalämpökaivojen mitoitus toteutettiin EED 3.21 (Earth Energy Designer) ohjelmalla

Tutkittavien ratkaisujen elinkaarikustannusten (LCC) nykyarvo laskettiin COMBI-hankkeessa valittujen laskentaperiaatteiden mukaisesti:

- Laskenta reaaliarvoilla (inflaatio ei mukana)
- Tarkastelujakso 20v. (rakennusten käyttöikä 40v.)
- Kustannukset ilman ALV:ia
- Yleiskulut mukana kustannuksissa
- Reaalinen laskentakorko r:
  - Perustapauksissa: 3%
  - Herkkyystarkasteluissa: 1 ja 5%
- Energian ja siirron reaalinen hintakehitys e:
  - Perustapauksissa 2%/vuosi kaikilla energiamuodoilla
  - Herkkyystarkasteluissa 0% (kaikki), 4%(KL, sähkön siirto)

Kohteen esittely: Luhtaan päiväkoti

- Valmistunut 2012
- Käyttäjien (lasten) lukumäärä noin 140
- Lämmitetty nettoala 1438m²
- U-arvot, W/m²K
  - Ulkoseinät: 0.09
  - Yläpohja: 0.06
  - Alapohja: 0.07
  - Ikkunat: 0.66
- Nykyinen lämmitystapa: kaukolämpö
- Lämmönjako: vesikiertoinen lattialämmitys / ilmalämmitys / vesiradiaattorit
- Ilmanvaihto: Kon. tulo- ja poisto (LTO LT-hyötysuhde 60-80%)
- Mitattu ilmavuotoluku n_{50} = 0.34 1/h

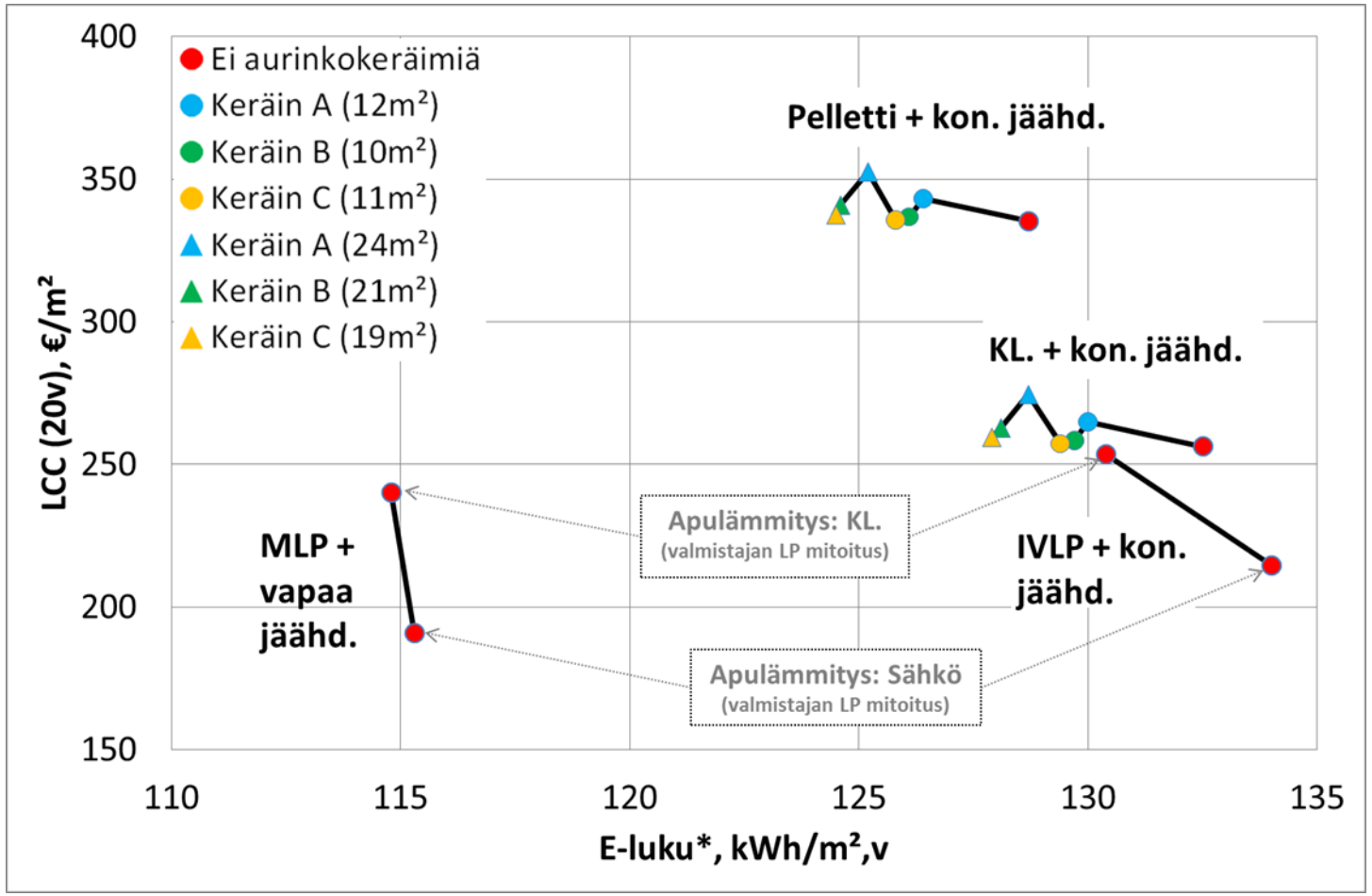


Luhtaan päiväkoti (Kuva: BST-Arkkitehdit Oy)

Luhtaan päiväkodin tutkitut järjestelmävaihtoehdot

	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-vesilämpöpumppu + 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
Apulämmitys	-	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 (kun 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)
Kylmävesivaraaja	140L	140L	140L	140L
Aurinkokeräintyyppi ja pinta-ala (Int: integroitu rakenteisiin, Eril: erillisasennetut keräimet)	Tasokeräimet A: Int. (12/24m²) B: Eril. (10/21m²) C: Eril.(11/19 m²)	-	-	Tasokeräimet A: Int. (12/24m²) B: Eril. (10/21m²) C: Eril.(11/19 m²)

Luhtaa: Järjestelmävaihtoehtojen kustannusoptimaalisuus



→ Tutkituista ratkaisuista elinkaarikustannuksiltaan edullisin vaihtoehto on:

- Sähköisellä apulämmityksellä varustettu maalämpöpumppu ja MLP:n porakaivoja hyödyntävä vapaajäähdytys

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

Kohteen esittely: Vehmaisten koulu ja päiväkoti

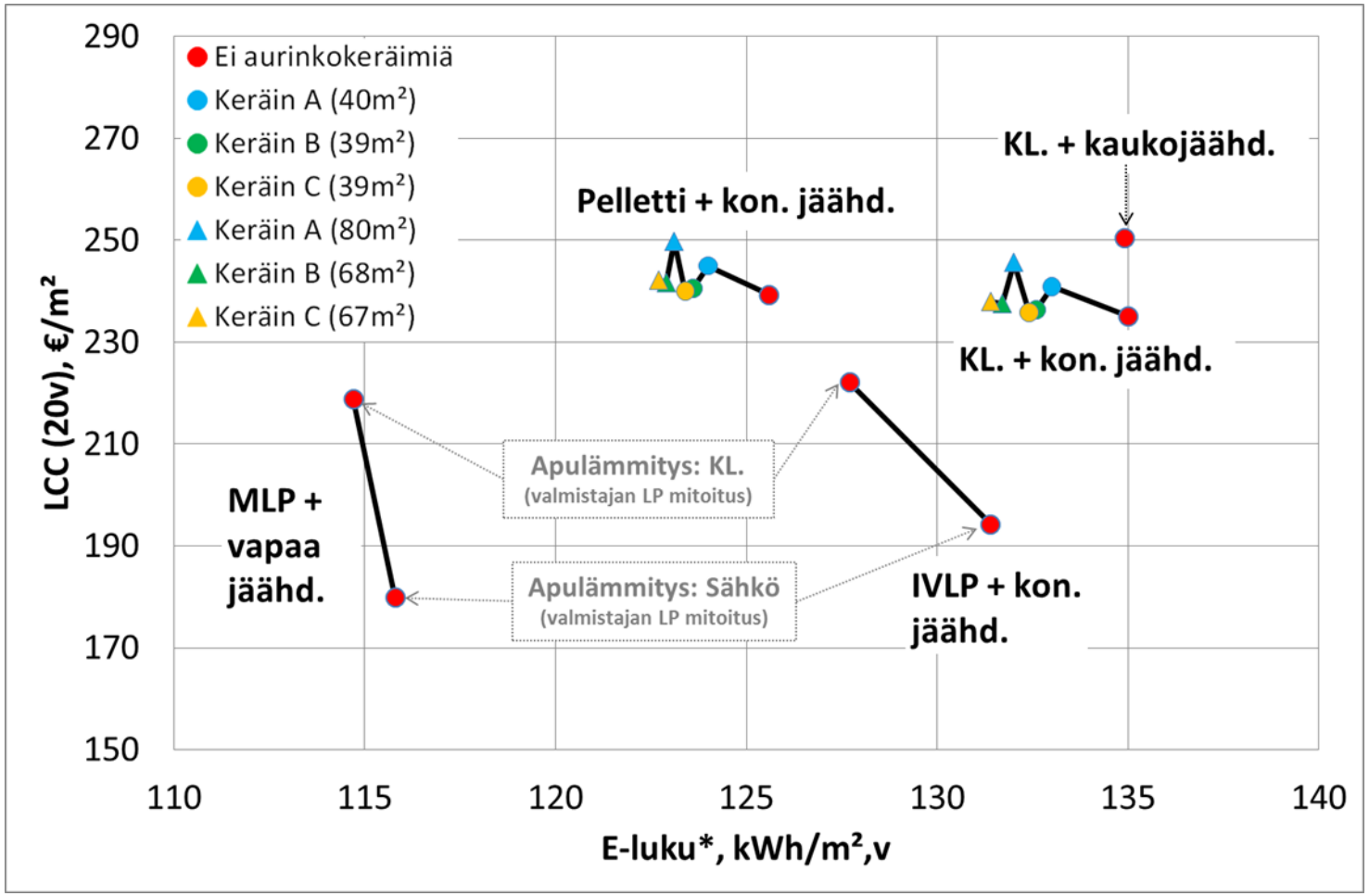
- Otettu käyttöön elokuussa 2016
- Mitoitettu 300 oppilaalle (1-6.luokat) ja 160 päiväkotilapselle
- Huoneistoala: 4843m^2 (koulu), 1730m^2 (päiväkoti), 6573m^2 (yht.)
- Nykyinen lämmitystapa: kaukolämpö
- Lämmönjako: vesiradiaattorit / vesikiertoinen lattialämmitys / ilmalämmitys
- Ilmanvaihto: Kon. tulo- ja poisto (LTO LT-hyötysuhde 50-75%)

Vehmaisten koulu ja päiväkoti (Kuva: Arkkitehtitoimisto Perko Oy)

Vehmaisten koulun ja pk:n tutkitut järjestelmävaihtoehdot

	1: KL	2: MLP	3: IVLP	4: Pellettikattila	5: KL&KJ
Päälämmitys- ja jäähdytys-järjestelmä	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
Apulämmitys	-	Sähkö	Sähkö	-	-
Lämmönjako-järjestelmä	Rad.-,lattialämmitys (45/35°C) ja IV-lämmitys	Rad.-,lattialämmitys (45/35°C) ja IV-lämmitys	Rad.-,lattialämmitys (45/35°C) ja IV-lämmitys	Rad.-,lattialämmitys (45/35°C) ja IV-lämmitys	Rad.-,lattialämmitys (45/35°C) ja IV-lämmitys
LV-varaaja	1300L (kun 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) Jäähd.palkit (15/18.5°C)	IV-jääh. (7/12°C) Jäähd.palkit (15/18.5°C)	IV-jääh. (7/12°C) Jäähd.palkit (15/18.5°C)	IV-jääh. (7/12°C) Jäähd.palkit (15/18.5°C)	IV-jääh. (7/12°C) Jäähd.palkit (15/18.5°C)
Kylmävesivaraaja	450L	450L	450L	450L	-
Aurinkokeräintyyppi ja pinta-ala (Int: integroitu rakenteisiin, Eril: erillisasennetut keräimet)	Tasokeräimet A: Int. (40/80m²) B: Eril. (39/68m²) C: Eril.(39/67m²)	-	-	Tasokeräimet A: Int. (40/80m²) B: Eril. (39/68m²) C: Eril.(39/67m²)	-

Vehmainen: Järjestelmävaihtoehtojen kustannusoptimaalisuus



→ Tutkituista ratkaisuista elinkaarikustannuksiltaan edullisin vaihtoehto on:

- Sähköisellä apulämmityksellä varustettu maalämpöpumppu ja MLP:n maapiirin avulla toteutettu vapaajäähdytys

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

Kohteen esittely: Koukkuniemen vanhainkodin Jukola-talo

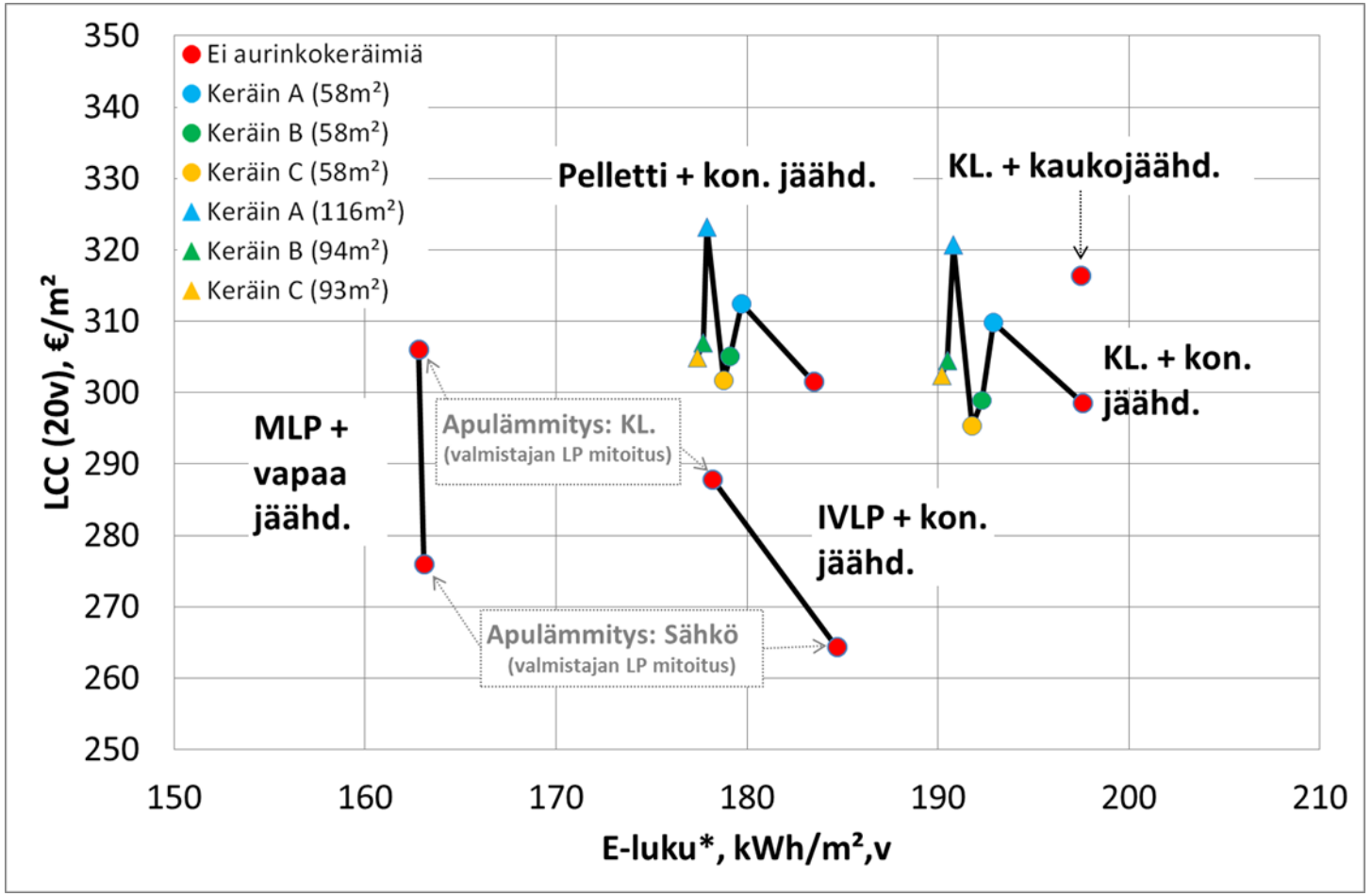
- Valmistunut 1955, peruskorjattu 2011 - 2013
- Kohteessa vanhusten tuettua palveluasumista
- Asukkaita 71
- Huoneistoala: 4709m²
- U-arvot, W/m²K
  - Ulkoseinät: 0.7
  - Yläpohja: 0.09
  - Alapohja: 0.36
  - Ikkunat: 0.9
- Nykyinen lämmitystapa: kaukolämpö
- Lämmönjako: vesirad.
- Ilmanvaihto: Kon. tulo- ja poisto (LTO LT-hyötysuhde 60%)
- Arvioitu ilmavuotoluku n_{50} ~ 6.0 1/h

Jukola-talo (Kuva: Paula Sankelo)

Jukola-talon tutkitut järjestelmävaihtoehdot

	1: KL	2: MLP	3: IVLP	4: Pellettikattila	5: KL&KJ
Päälämmitys- ja jäähdytys-järjestelmä	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
Apulämmitys	-	Sähkö	Sähkö	-	-
Lämmönjako-järjestelmä	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 (kun 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-jäähd. (7/12°C) Jäähd.palkit (15/18.5°C)	IV-jäähd. (7/12°C) Jäähd.palkit (15/18.5°C)	IV-jäähd. (7/12°C) Jäähd.palkit (15/18.5°C)	IV-jäähd. (7/12°C) Jäähd.palkit (15/18.5°C)	IV-jäähd. (7/12°C) Jäähd.palkit (15/18.5°C)
Kylmävesivaraaja	450L	450L	450L	450L	-
Aurinkokeräin ja pinta-ala (Int: integroitu rakenteisiin, Eril: erillisasennetut keräimet)	Tasokeräimet A: Int. (58/116m²) B: Eril. (58/94m²) C: Eril.(58/93m²)	-	-	Tasokeräimet A: Int. (58/116m²) B: Eril. (58/94m²) C: Eril.(58/93m²)	-

Jukola: Järjestelmävaihtoehtojen kustannusoptimaalisuus



→ Tutkituista ratkaisuista elinkaarikustannuksiltaan edullisin vaihtoehto on:

- Sähköisellä apulämmityksellä varustettu ilma-vesilämpöpumppu ja koneellinen jäähdytys vesilauhdutteisella kompressorikylmälaitteella

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

Lämpöpumppujen optimaalinen tehomitoitus

- **Optimointitarkastelun perusteella:**
  - Luhtaan päiväkodin kustannusoptimaalinen sähköisellä apulämmityksellä varustetun maalämpöpumpun tehomitoitus oli noin 30 % vuotuisesta maksimi lämmitystehontarpeesta
  - Jatkuvasti käytössä olevan vanhainkodin Jukola-talon sähköisellä apulämmityksellä varustetun ilma-vesilämpöpumpun kustannusoptimaalinen tehomitoitus oli noin 50 %

- **Lämpöpumppuja myyvän yrityksen suosittelema tehomitoitus:**
  - Luhtaan päiväkotiin maalämpöpumpulle oli 75 %
  - Jukola-taloon ilma-vesilämpöpumpulle oli 60 %

Yhteenveto

- Tutkituissa uudiskohteissa kustannustehokkain lämmitys- ja jäähdytysratkaisu oli sähköisellä apulämmityksellä varustettu maalämpöpumppu ja maalämpöpumpun porakaivoja hyödyntävä vapaajäähdytys
- Saneerauskohdetta edustavan vanhainkodin kustannustehokkain ratkaisu oli sähköisellä apulämmityksellä varustettu ilma-vesilämpöpumppu ja vesilauhdutteisella kompressorikylmälaitteella toteutettu jäähdytys
- Ilma-vesilämpöpumppu oli kustannustehokkaampi lämmitysratkaisu vanhainkodissa kuin maalämpöpumppu selvästi pienemmän investointikustannuksen vuoksi
- Kun kustannus- ja energiatehokkuutta tarkastellaan kiinteistön omistajan näkökulmasta, kannattaisi lämpöpumppu mitoittaa tutkitun päiväkodin kaltaisessa rakennuksessa, jonka käyttö on varsin jaksottaista ajoittuen vain arkipäiviin, huomattavastikin pienemmäksi kuin nykyisin suositellaan
- Suomen energiajärjestelmän näkökulmasta tämä saattaa kuitenkin olla pulmallista, koska alimitoitetut lämpöpumput voivat lisätä talviaikaan tehonkulutuksen piikkejä, mikäli lämpöpumppua ei ole varustettu älykkäällä kysyntäjousto-ohjauksella ja riittävän suureksi mitoitetulla varaajalla

Lähteet

Nyman, J., 2016. **Cost Optimal Heating and Cooling Systems in Nearly Zero Energy Service Buildings**. Diplomityö, Aalto-yliopisto, Espoo. https://aaltodoc.aalto.fi/handle/123456789/20195

Sankelo, P., Jokisalo, J., Nyman, J., Vinha, J. & Sirén, K., 2018. **Cost-optimal energy performance measures in a new daycare building in cold climate**. International Journal of Sustainable Energy. https://doi.org/10.1080/14786451.2018.1448398

Kiitos!

Lisätietoja esityksen sisällöstä

Juha Jokisalo Aalto-yliopisto juha.jokisalo@aalto.fi

COMBI-tuloskortti: Kustannusoptimaaliset lämmitys- ja jäähdytysratkaisut palvelurakennuksissa

Lisätietoja COMBI-hankkeesta

Juha Vinha Tampereen yliopisto juha.vinha@tuni.fi 040 849 0296

https://research.tuni.fi/rakennusfysiikka/tutkimusprojektit/combi

Tämän teoksen suhteen noudatetaan lisenssiä Creative Commons Nimeä-JaaSamoin 4.0 Kansainvälinen.
Lisenssiin voit tutustua osoitteessa https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.fi