Aalto University
School of Engineering

Aurinkosähköä vauvasta vaariin

Paula Sankelo
Aalto-yliopisto
Konetekniikan laitos
26.1.2017

Vipuvoimaa EU:lta 2014–2020

Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

Tutkimuksen tausta ja tavoite

- Tutkimuskohteina kolme palvelurakennusta Tampereella:

  Luhtaan päiväkoti
  Vehmaisten koulu + päiväkoti
  Koukkuniemen vanhainkodin Jukola-siipi

Tutkimuksen tausta ja tavoite

- COMBI-työpaketissa 4.2 tarkasteltiin aurinkosähkön omatuotannon taloudellista kannattavuutta valituissa tutkimuskohteissa

- Tarkastelu suoritettiin sekä lämpöpumppu- että kaukolämpöratkaisuille:

  Optimaalinen vs. tosiasiallinen lämmitysratkaisu

Tutkimuksen tausta ja tavoite

- Kahden tavoitteen optimointiongelma:

  Minimoitu PV-järjestelmän elinkaarikustannusta ja kohderakennusten primäärienergian kulutusta

- Primäärienergian kertoimina käytetty asetusluonnoksessa ehdotettuja uusia kertoimia

- Tavoitteena löytää lupaavimmat asennuskohteet PV:lle sekä optimaaliset asennusalat

Menetelmät ja data

- **Rakennussimulaatiot**: IDA-ICE
  - Rakennusten energiankäyttö ja PV:n tuotanto
- **Optimointi**: MOBO
  - Geneettinen algoritmi NSGA-II
- **Kustannustiedot**: yritykset, alan raportit
- **Sähkönkulutus**: FINVAC-profiileihin perustuvat arviot, mitattu sähkönkulutus (vain Luhtaan pk)

Menetelmät: Elinkaarikustannusten laskenta (LCC)

$$LCC = \sum I_{0,tot} + \sum M_{tot} + \sum R_{tot} - \sum Res_{tot} - \sum E_{sold,tot} - \sum E_{used,tot}$$

$\sum I_{0,tot}$	Investointikustannukset
$\sum M_{tot}$	Ylläpitokustannukset
$\sum R_{tot}$	Komponenttien uusimisen kustannukset
$\sum Res_{tot}$	Aurinkopaneelien jäännösarvo
$\sum E_{sold,tot}$	Aurinkosähkön myyntitulot
$\sum E_{used,tot}$	Itse käytetyn aurinkosähkön arvo

Menetelmät: Laskentaparametrit

	Perustapaus	Herkkyystarkastelu
Reaalinen laskentakorko r[1]	3%	1%...3%...5%
Energian hintakehitys[1]	2%	0%...2%...4%
Energian hintakehityksen huomioiva laskentakorko	1%	
Tarkastelujakso[1]	20 vuotta	
Invertterin vaihdon ajankohta[2]	15. vuosi	
ALV	0%	

[1] COMBI-projektille sovitut laskentaparametrit

[2] Finsolar-hanke, alan raportit (esim. Fraunhofer-instituutti, IEA)

Menetelmät: Laskentaparametrit

	Perustapaus	Herkkyystarkastelu
Aurinkopaneelien investointikustannus[1]	1,11-1,75 €/W_p (pääasiassa 1,20 €/W_p)	-10%, -20%
Ylläpitokustannukset[2]	0	
Invertterin vaihto[2]	8% alkuinvestoinnista	
Jäännösarvo[2]	6,6% alkuinvestoinnista	
Sähkön ostohinta (sähköenergia + siirto)[3]	Luhtaa: 92,2 €/MWh Vehmainen & Jukola: 81,2 €/MWh	Luhtaa: 92,2 €/MWh ± 10% Vehmainen & Jukola: 92,2 €/MWh (+14%)
Sähkön myyntihinta[3]	0,024 €/kWh	-10%

[1] Suomalaiset paneelien toimittajat, alan raportit (FinSolar, IEA)

[2] Alan raportit (FinSolar, Fraunhofer-instituutti, IEA)

[3] Tampeeren sähkölaitoksen hintataso (sama kuin COMBI-työpaketissa 4.1)

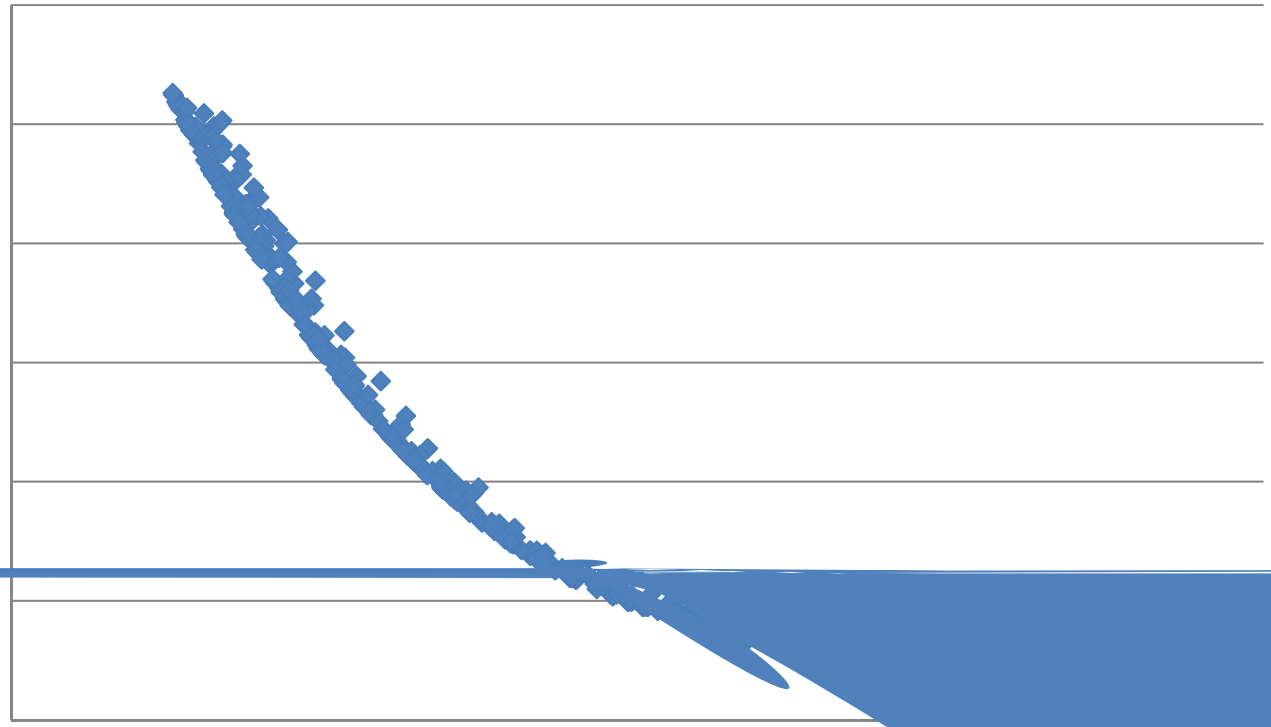
Menetelmät: Optimointitapaukset

- **Perustapaukset (6 kpl):**
  3 rakennusta, 2 lämmitysratkaisua,
  sähkönkulutus arvioitu (FINVAC-profiilit pohjana)

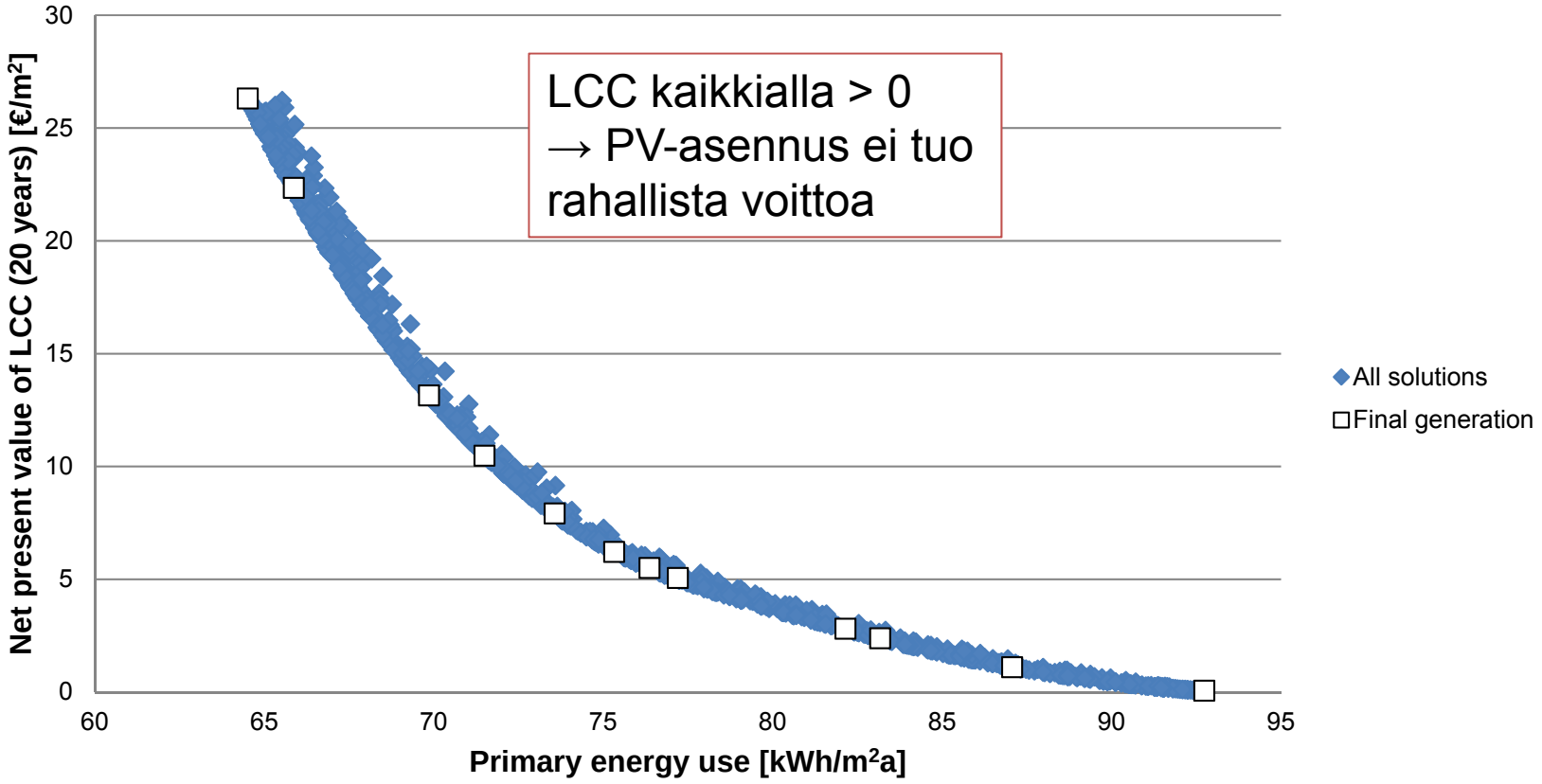
- **Erillistarkastelut (2 kpl):**
  Luhtaan pk, 2 lämmitysratkaisua,
  sähkönkulutus mitattu (koko tontin alueelta)

- **Herkkyystarkastelut (14 kpl)**:
  Varioitu esim. sähkön hintaa, paneelien kustannusta…

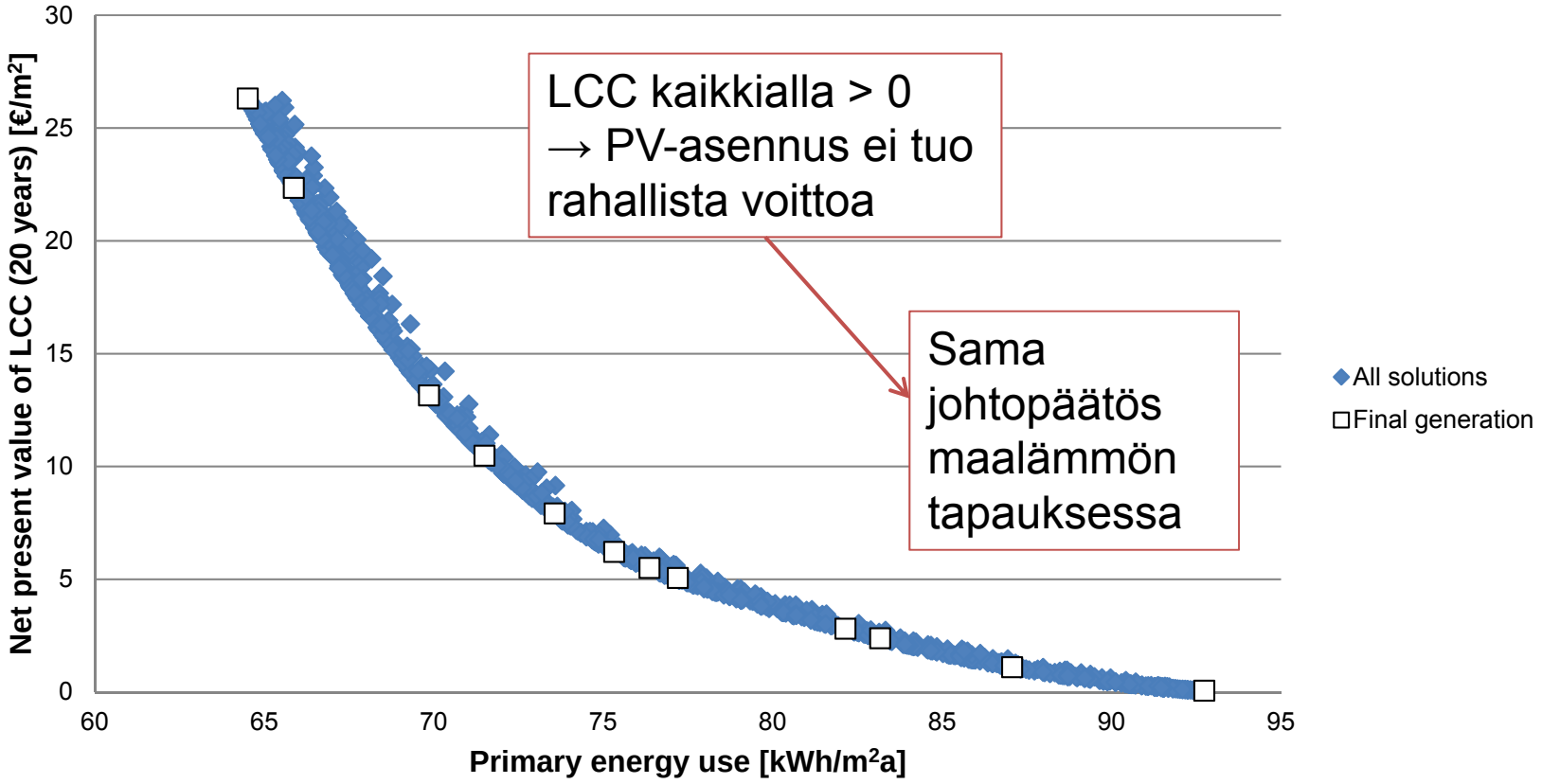
Luhtaa, kaukolämpö, perustapaus (r=3%, e=2%)
sähkönkulutus: arvioitu, sähkön hinta: 92,2 €/MWh



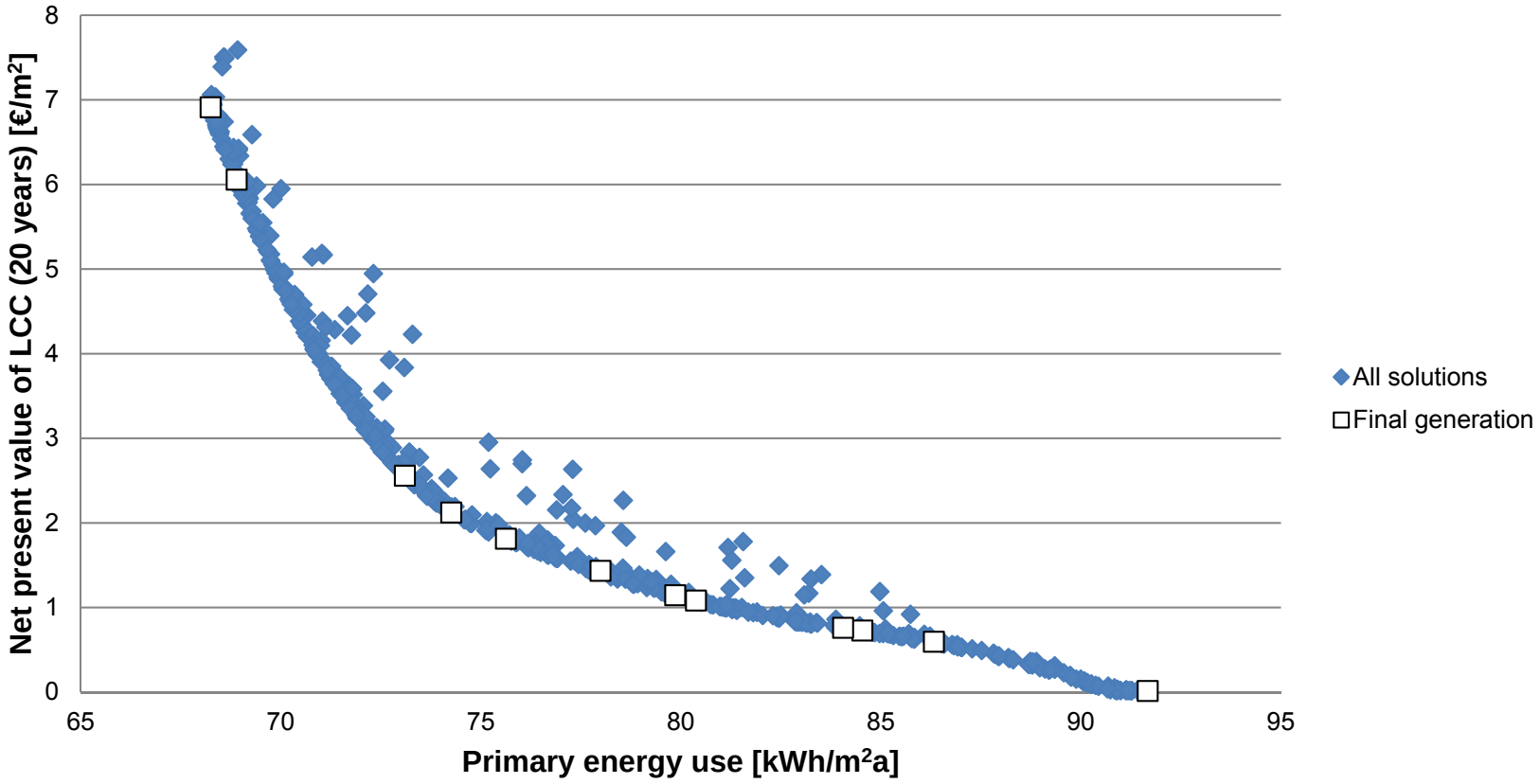
Luhtaa, kaukolämpö, perustapaus (r=3%, e=2%) sähkönkulutus: arvioitu, sähkön hinta: 92,2 €/MWh



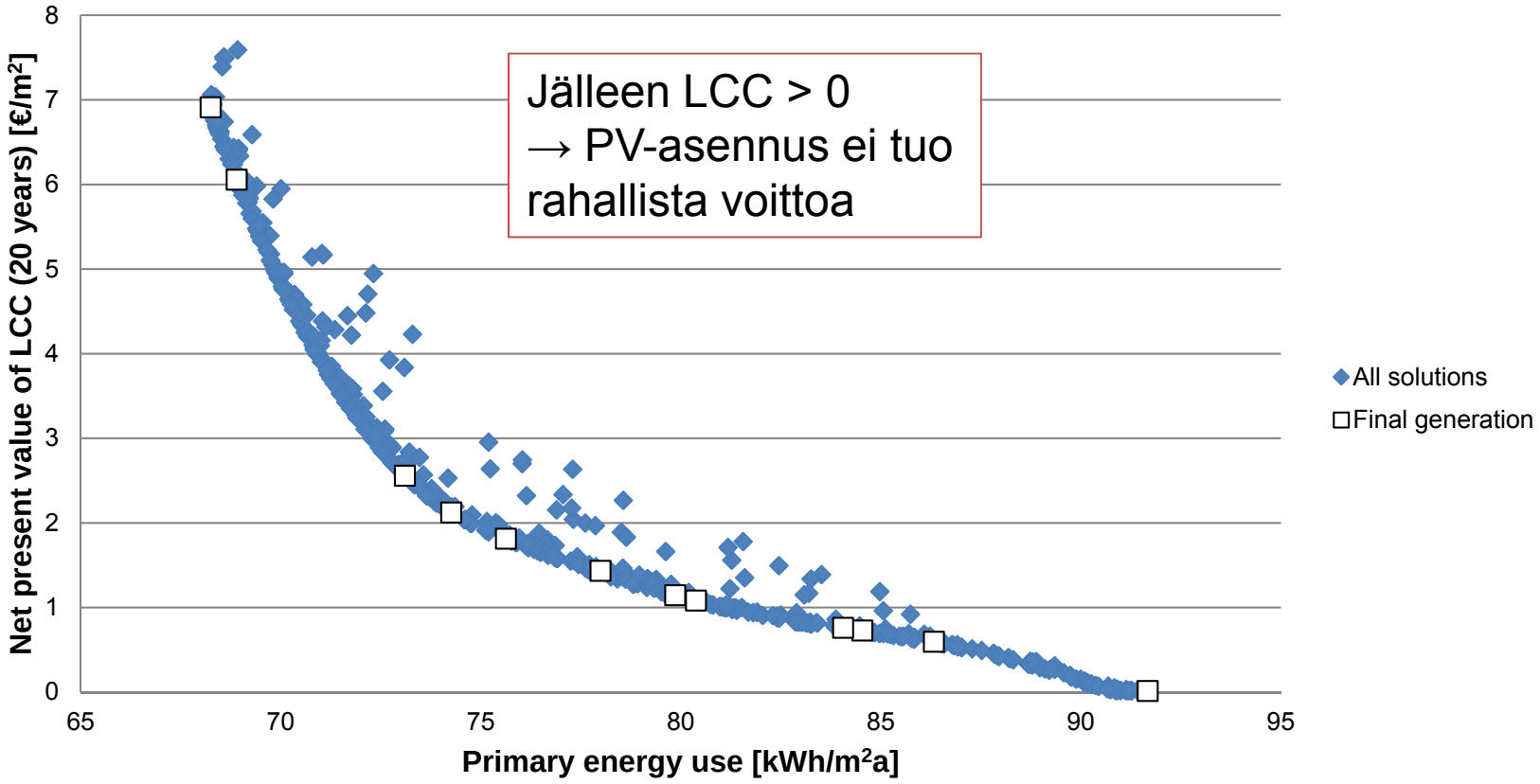
Luhtaa, kaukolämpö, perustapaus (r=3%, e=2%) sähkönkulutus: arvioitu, sähkön hinta: 92,2 €/MWh

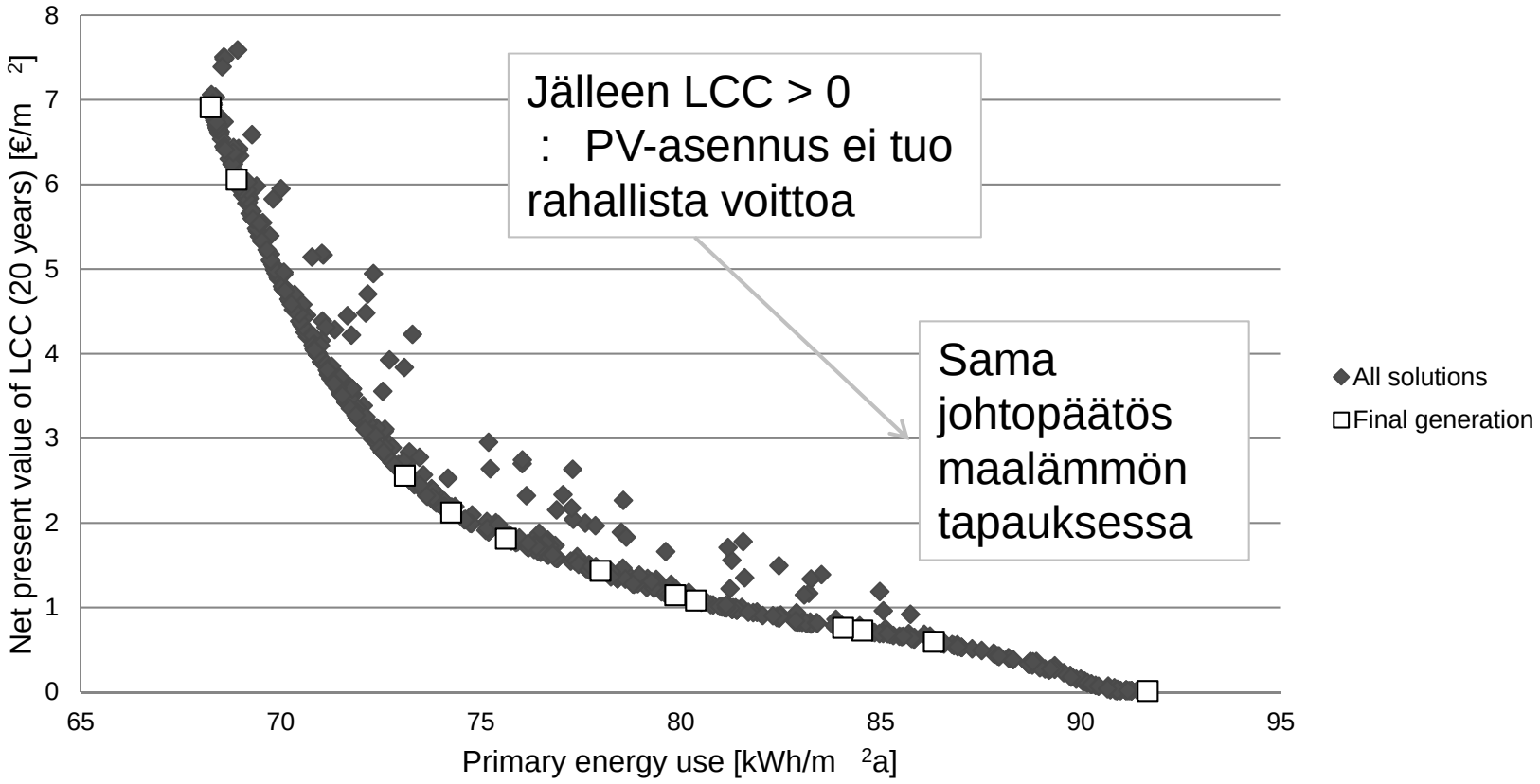


Vehmainen, kaukolämpö, perustapaus (r=3%, e=2%) sähkönkulutus: arvioitu, sähkön hinta: 81,2 €/MWh

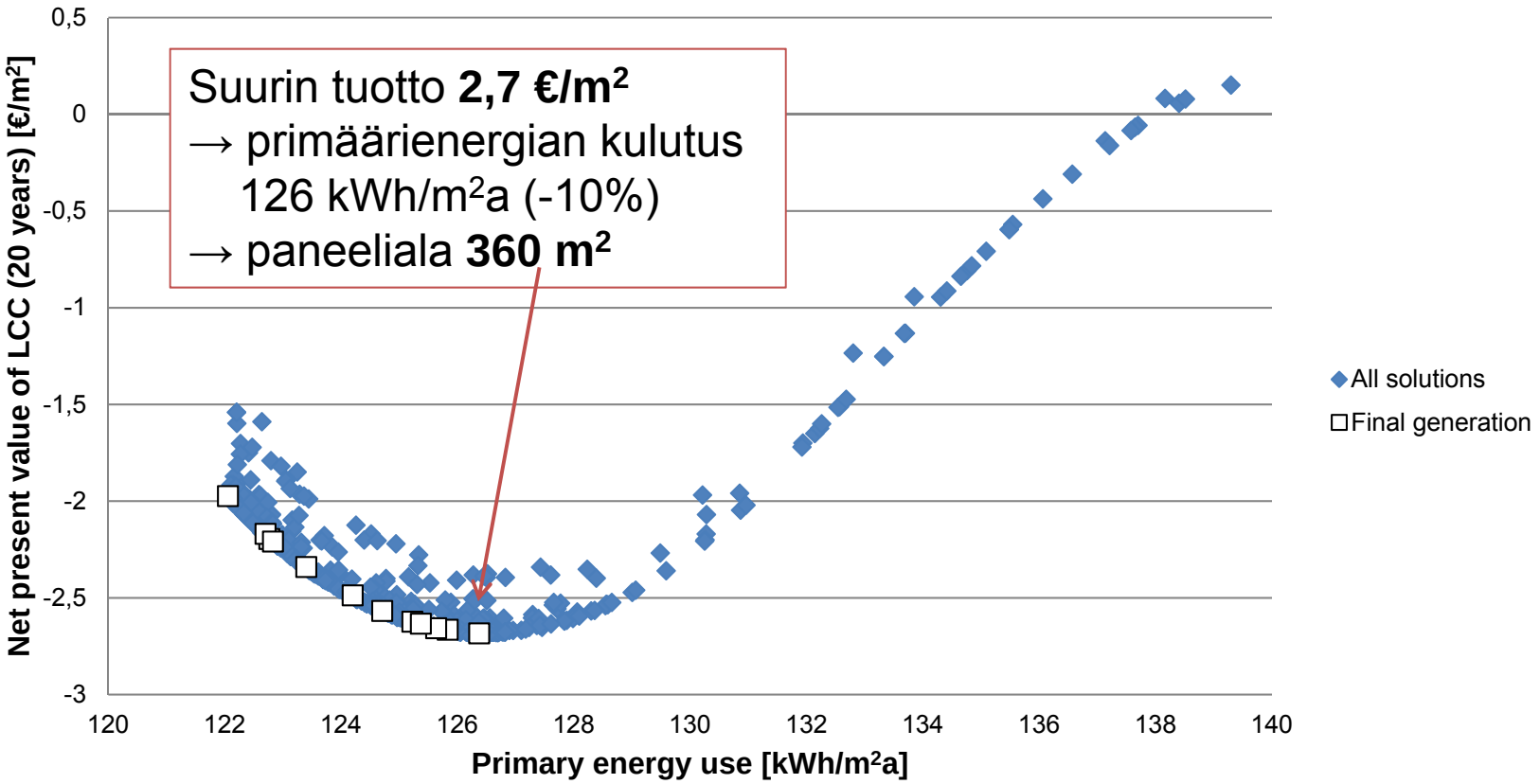


Vehmainen, kaukolämpö, perustapaus (r=3%, e=2%) sähkönkulutus: arvioitu, sähkön hinta: 81,2 €/MWh

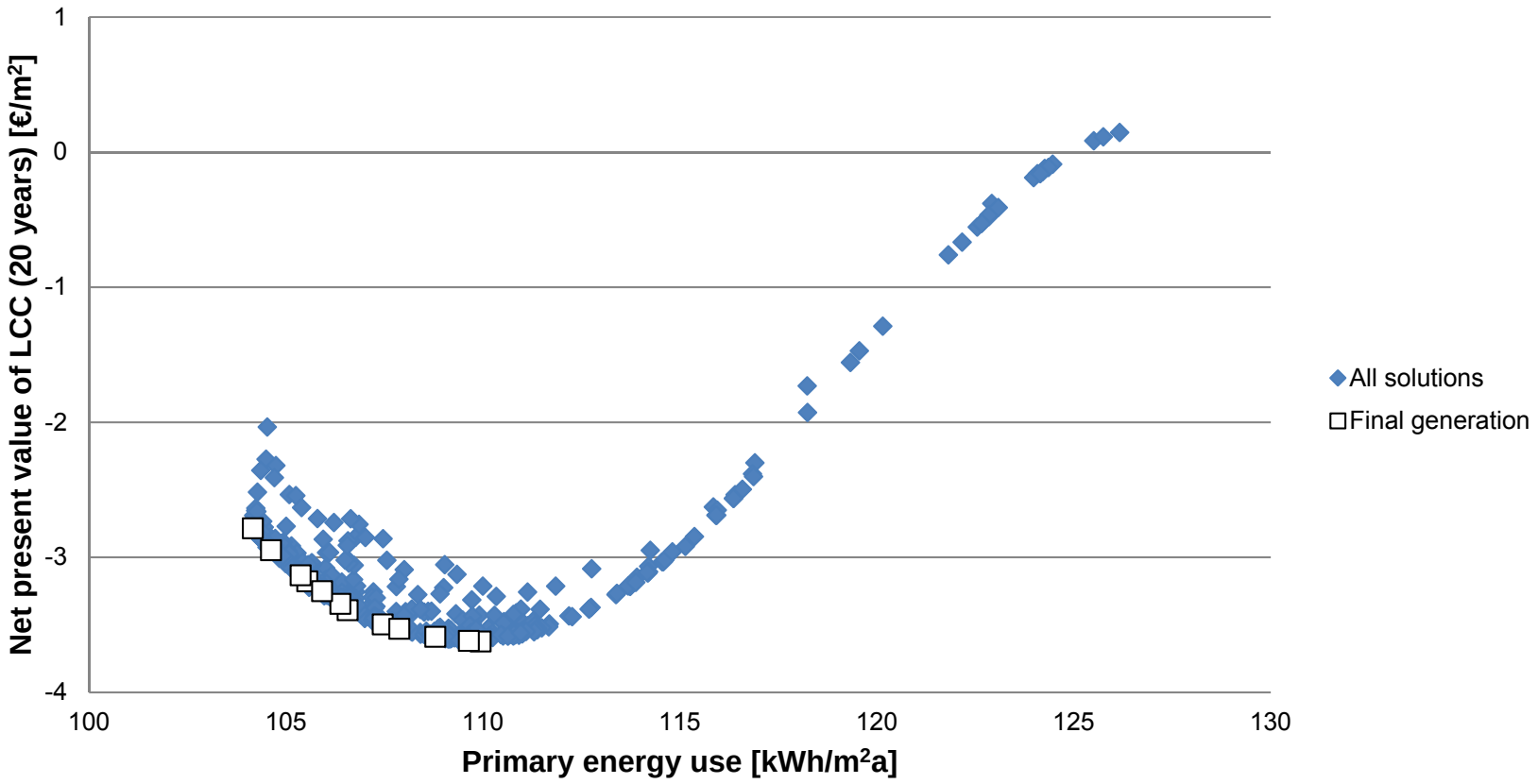



Jälleen LCC > 0
: PV-asennus ei tuo rahallista voittoa
Sama johtopäätös maalämmön tapauksessa
Net present value of LCC (20 years) [€/m 2]
Primary energy use [kWh/m 2a]
0
1
2
3
4
5
6
7
8
65
70
75
80
85
90
95
All solutions
Final generation

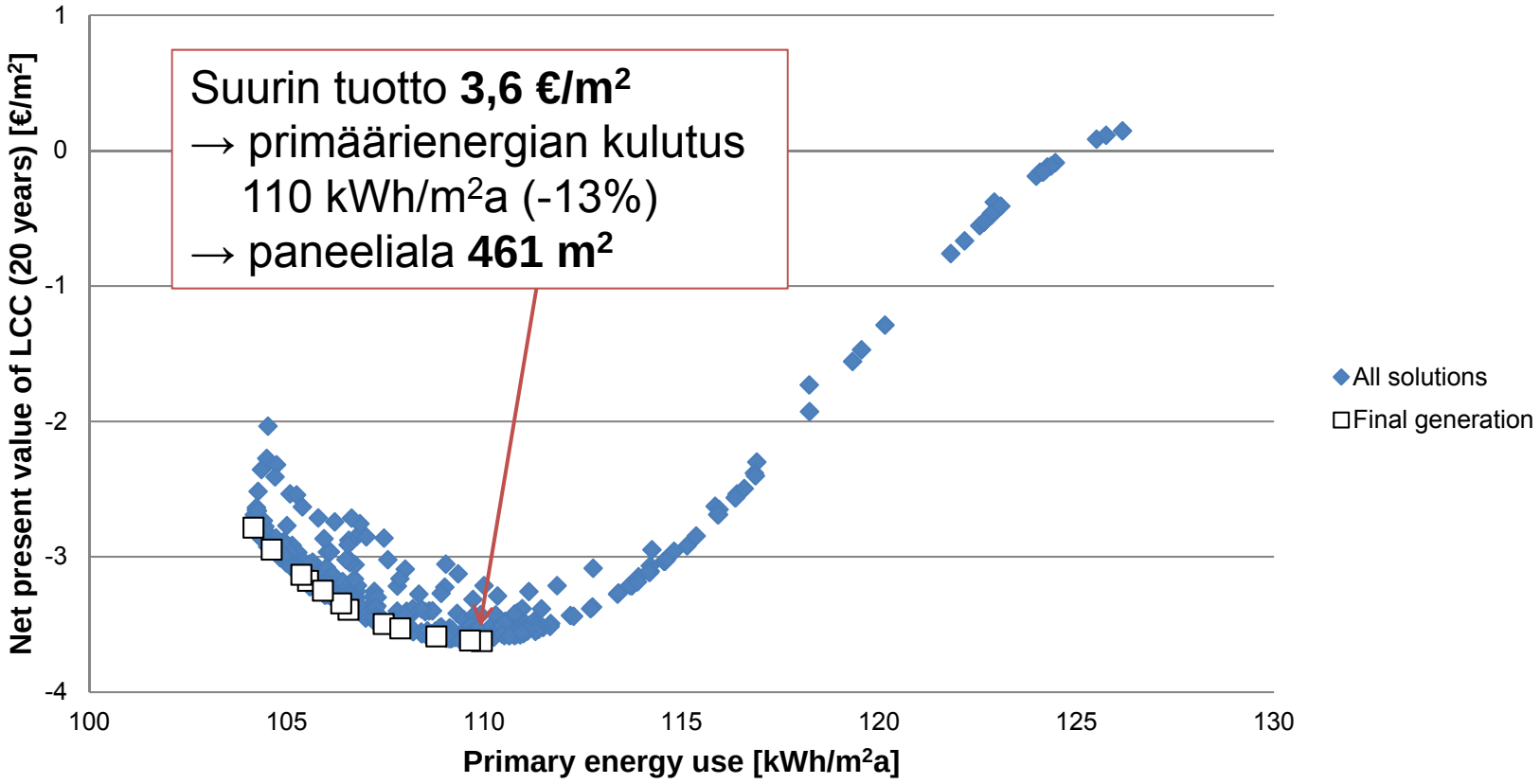
Jukola, kaukolämpö, perustapaus (r=3%, e=2%) sähkönkulutus: arvioitu, sähkön hinta: 81,2 €/MWh



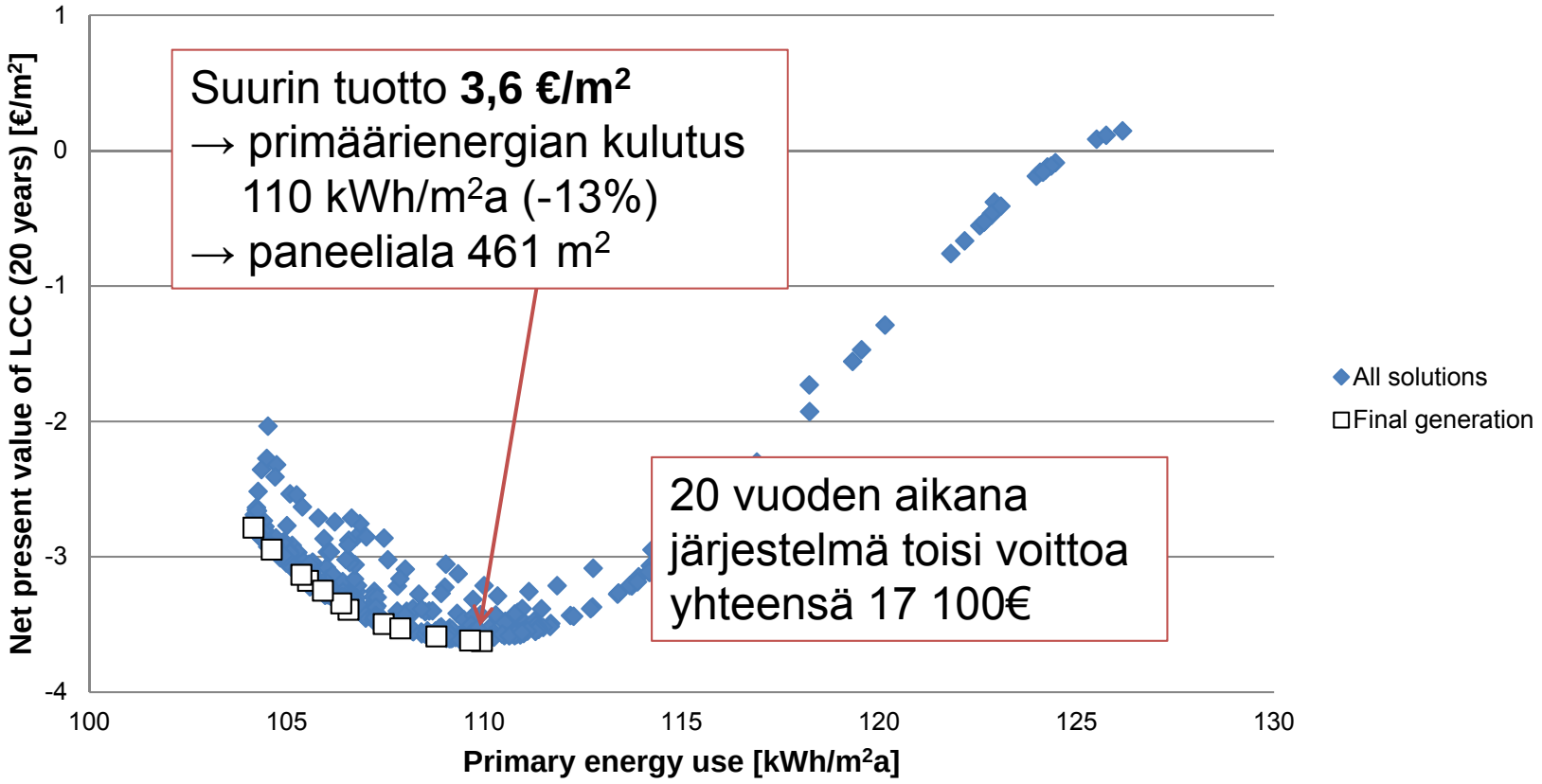
Jukola, IVLP, perustapaus (r=3%, e=2%) sähkönkulutus: arvioitu, sähkön hinta: 81,2 €/MWh



Jukola, IVLP, perustapaus (r=3%, e=2%)
sähkönkulutus: arvioitu, sähkön hinta: 81,2 €/MWh



Jukola, IVLP, perustapaus (r=3%, e=2%) sähkönkulutus: arvioitu, sähkön hinta: 81,2 €/MWh



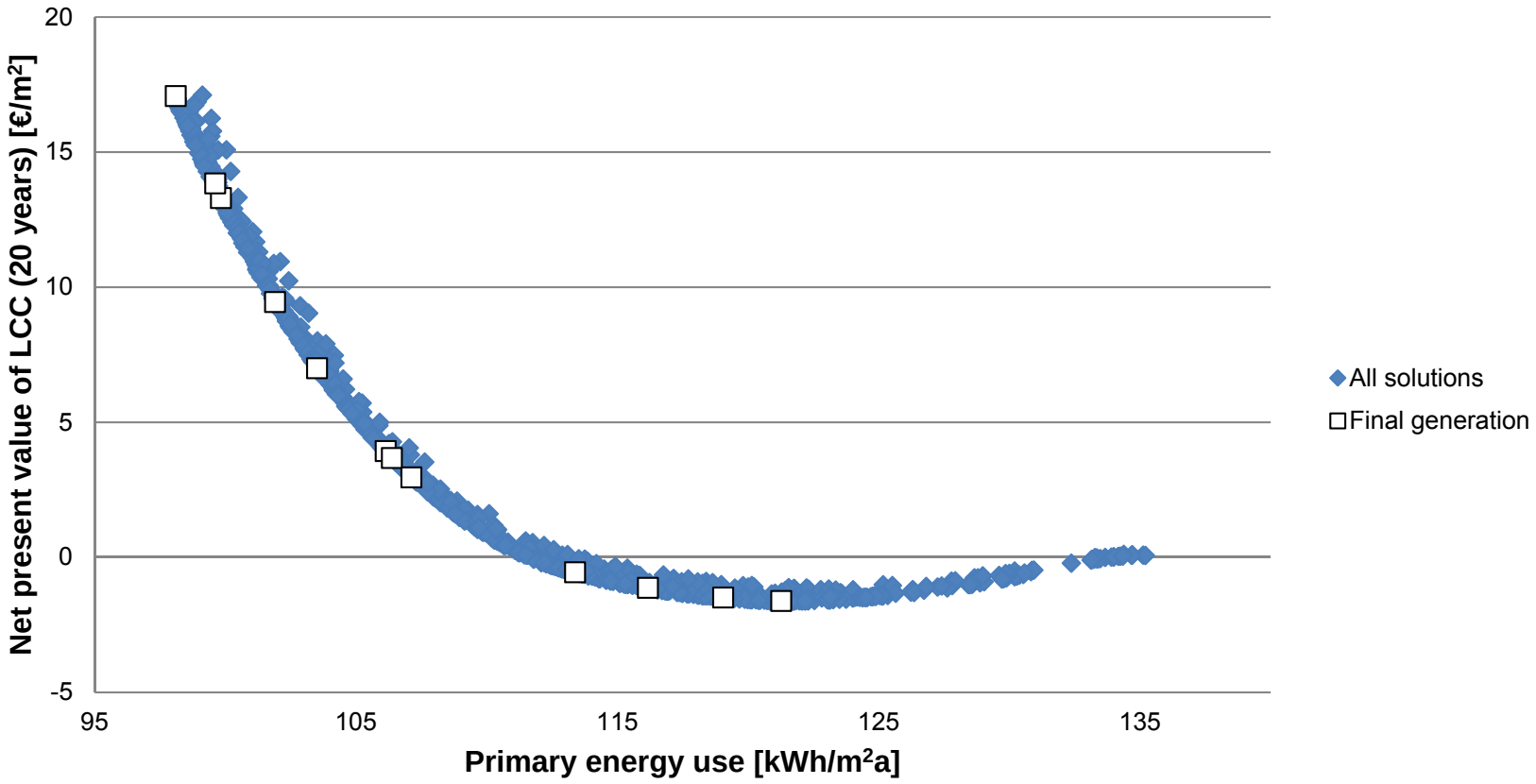
Tulokset: Välikatsaus

- Käytetyillä laskentaoletuksilla PV-tuotanto (rahallisesti) kannattavaa vain Jukolan vanhainkodissa
- Suurempi kannattavuus Jukolassa perustuu ympärivuotiseen käyttöön
- PV:n kannattavuus parempi lämpöpumppuratkaisuun yhdistettynä kuin kaukolämpötapauksissa
- Laskee primäärienergian kulutusta kaikissa kohteissa

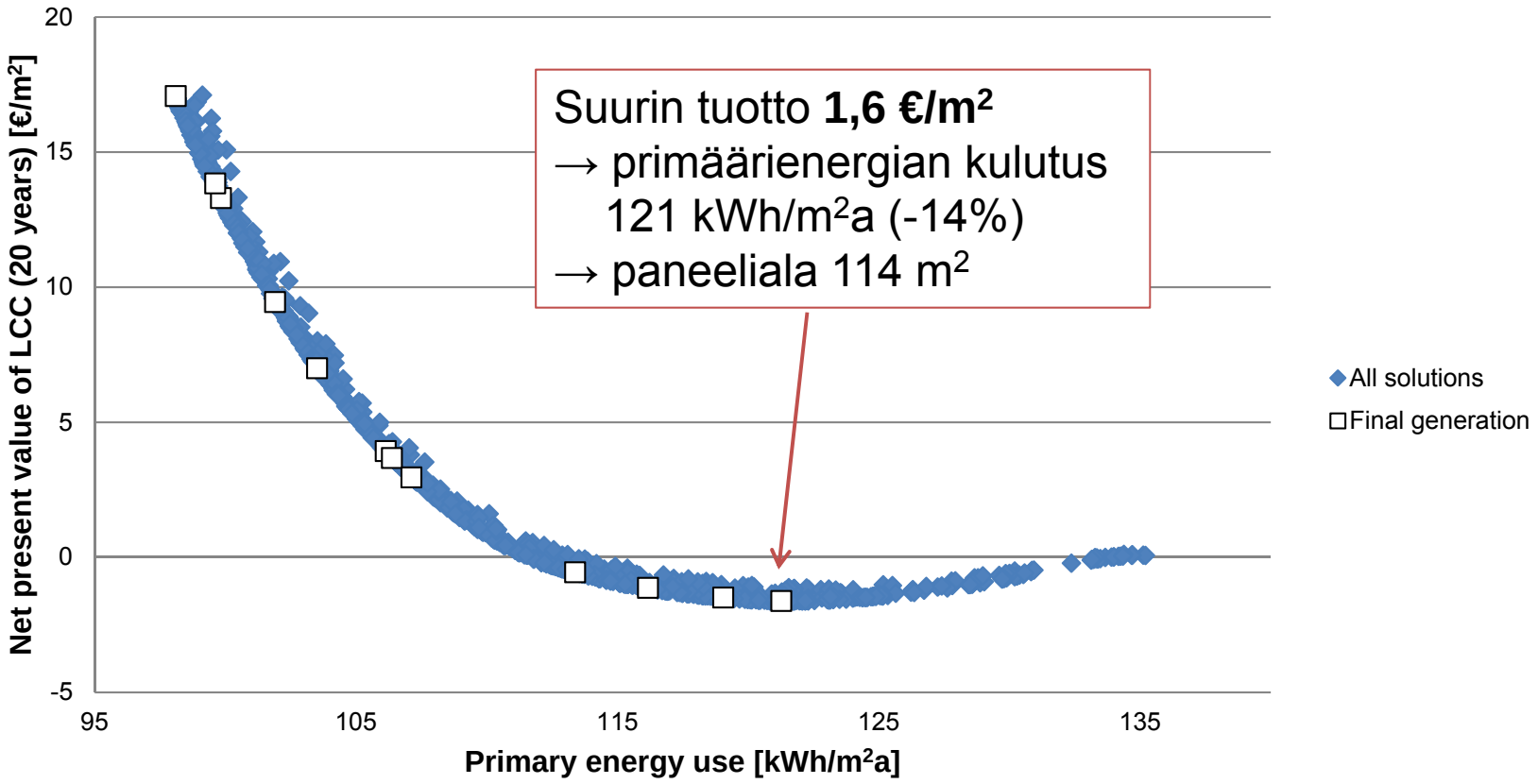
Luhtaan päiväkoti mitatulla sähkönkulutuksella

- Luhtaan päiväkodista on saatavilla myös mitattua sähkönkulutusdataa
- Sähkömittarin lukemissa mukana sähkönkulutus koko tontilla (ulkovalaistus, rännien sulanapito ym.)
- Olisiko PV:n kannattavuus Luhtaalla parempaa, jos huomioitaisiin todellinen sähkönkulutus koko tontilla?

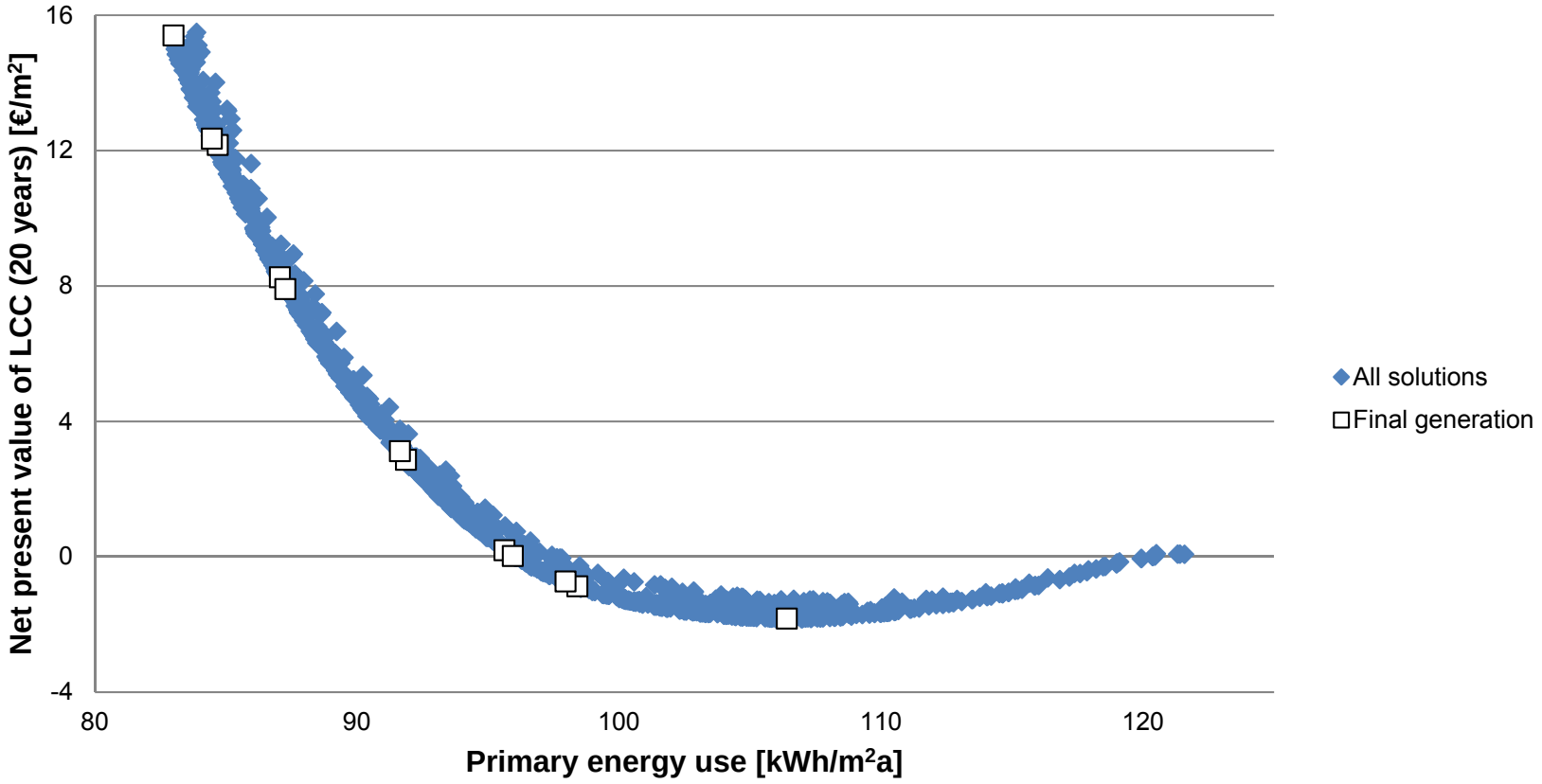
Luhtaa, kaukolämpö, erillistarkastelu (r=3%, e=2%) sähkönkulutus: mitattu, sähkön hinta: 92,2 €/MWh



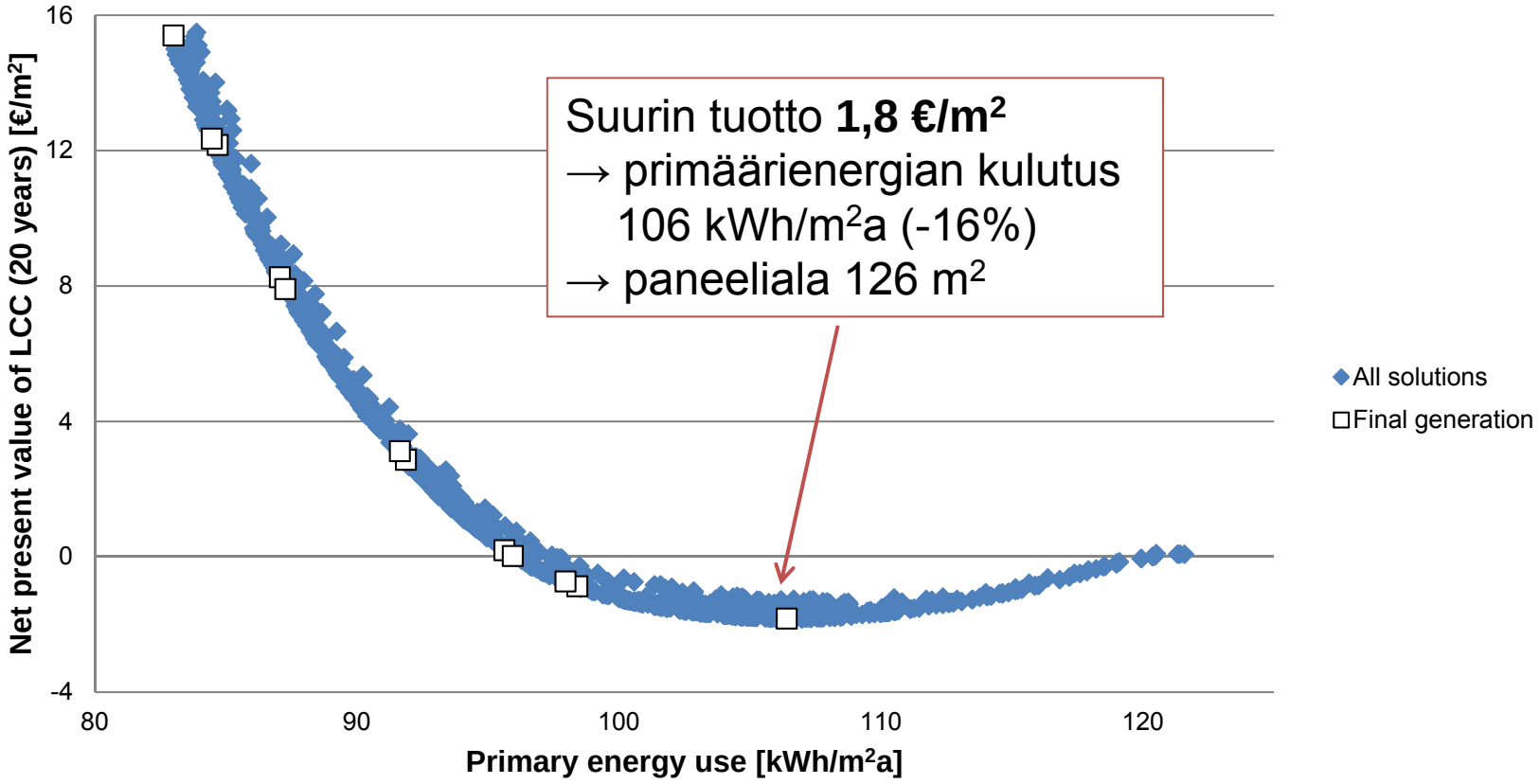
Luhtaa, kaukolämpö, erillistarkastelu (r=3%, e=2%) sähkönkulutus: mitattu, sähkön hinta: 92,2 €/MWh



Luhtaa, MLP, erillistarkastelu (r=3%, e=2%) sähkönkulutus: mitattu, sähkön hinta: 92,2 €/MWh



Luhtaa, MLP, erillistarkastelu (r=3%, e=2%) sähkönkulutus: mitattu, sähkön hinta: 92,2 €/MWh



Tulokset: Välikatsaus

- Kun Luhtaan päiväkodin koko tontin mitattu sähkönkulutus huomioidaan, aurinkosähkö muuttuu Luhtaallakin rahallisesti kannattavaksi

- Luhtaan pk:ssa tosiasiassa onkin aurinkosähköä jo nyt, jopa suunnilleen optimikokoinen järjestelmä (n. 20 kW_p)

- Todellinen kulutus koko tontilla kannattaa huomioida, kun harkitaan PV-asennuksia palvelurakennuksiin

Herkkyystarkastelut

- Systemaattisia herkkyystarkasteluja tehtiin etenkin Luhtaan pk:lle (lämmitysratkaisuna kaukolämpö)
- Herkkyystarkastelut osoittavat, että Luhtaalla aurinkosähkön kannattavuus ei ole kaukana myöskään arvioidulla kulutuksella
- Tarkemmat tulokset: DI-työ julkaistu osoitteessa *http://urn.fi/URN:NBN:fi:aalto-201612085855*

Johtopäätökset ja suositukset

- Aurinkosähköä vauvasta vaariin?
  Aurinkosähkön kannattavuus ilmeisintä *vanhainkodissa*, jossa asutaan ja toimitaan ympäri vuoden

- Optimaaliset paneelialat suuria, useita satoja m^2
  → tulisi ehdottomasti ottaa huomioon jo uusien palvelurakennusten suunnitteluvaiheessa

- Myös päiväkodissa PV:n omatuotanto näyttäytyy kannattavana, kun tarkastellaan kulutusta koko tontilla

Johtopäätökset ja suositukset

- PV-tuotannon kannattavuus herkkä parametrien lähtöarvoille, esim. sähkön ostohinnalle

- Toisaalta itse paneelien hinnat ovat edelleen laskussa → parantanee kannattavuutta tulevaisuudessa

- Rahallinen hyöty ei ole ainoa mittari: Rakennuskannan päästöjen laskeminen on tärkeä tavoite!

Aalto University
School of Engineering

Kiitos!

Kysymyksiä?

Vipuvoimaa EU:lta 2014–2020

Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

Tiivistelmä / loppukevennys

- Otsikkoluonnoksia:

  Aurinkosähköä vauvasta vaariin
  Päivänsäde ja palvelurakennus
  Aurinko, aurinko lettuja paistaa…

- Ihme ja kumma:

  “Auringossa aina / varjo seuraa kulkijaa...”

Tiivistelmä / loppukevennys

Auringossa aina
varjo seuraa kulkijaa.
Kun päivä painuu pilveen
niin varjo katoaa.

Maailmassa monta
on ihmeellistä asiaa.
Se hämmästyttää,
kummastuttaa
pientä kulkijaa.

(Pirkko Koskimies &
Marjatta Pokela)

Auringossa aina
varjo seuraa kulkijaa
ja paneelista edullista
sähkövirtaa saa.

Vaan tyhjillään on monta
vanhainkodin kattoa.
Se hämmästyttää,
kummastuttaa
pientä tutkijaa.

(Väännös: Paula Sankelo)