



Aalto University
School of Engineering

COMBI

Uusiutuvan energian etätuotannon vaikutukset optimaalisiin laiteratkaisuihin

Jukka Paatero
Aalto-yliopisto
Konetekniikan laitos
23.1.2019

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

Sisältö

- Tavoite
- Tutkimusmenetelmät ja taustatekijät
 - Tutkimuksen reunaehdot ja taustatekijät
 - Energiantuotannon ja elinkaarikustannusten laskenta
 - Näkökulma: vaihtelevan tuotannon erityishaasteet
- Analyysin keskeiset tulokset
 - Paikallinen aurinkosähkötuotanto
 - Keskitetty uusiutuva energiantuotanto
 - Energiajärjestelmän näkökulma
- Havaintoja ja yhteenveto

Tavoite

- Paikallisten sähköntuotantokäytäntöjen ja siihen liittyvien säädösten kriittinen tarkastelu
- Paikallisen tuotannon ja etäämpänä keskitetysti tuotetun oman tuotannon vertailu ja mielekkyys loppukäyttäjän sekä energiajärjestelmän näkökulmasta
- Pääpaino on teknistaloudellisissa kysymyksissä
 - Kohdealueina Tampere sekä Helsinki
- Lisäksi on pyritty tunnistamaan paikallistuotannon säädöksiin liittyviä mahdollisia kehitystarpeita

Tutkimusmenetelmät ja taustatekijät

Omaan tuotantoon keskeisesti vaikuttavat taustatekijät

- Sähkön siirto ja sähkövero
 - Siirtomaksu, vero, ja huotovarmuusmaksu
 - Maksuton siirtäminen omien kiinteistöjen välillä vain omaa kiinteistöverkkoa pitkin
 - Ylijäämäisen tuotannon hyvityksestä vaihtelevia käytäntöjä eri sähköyhtiöiden alueella
- Teknologiakohtaiset tukimuodot
 - Esim. Huomattavalle (yli 10k€) aurinkosähköinvestoinnille mahdollista hakea 25% investointitukea

Muita huomioitavia tekijöitä

- Tuotantojärjestelmien yksilöllisyys rajoittavat toteutetun analyysin yksityiskohtaisuutta
 - Pyritty yleisesti päteviin huomioihin
- Laitosten rakentamiseen liittyvien säädösten mahdolliset kustannusvaikutukset
 - Ympäristövaikutusten arviointiprosessit (tuulivoima)
 - Valitusten aiheuttamien viiveiden kustannusvaikutukset
- Säädösten osalta analyysissä on käytetty vuoden 2018 alun tilannetta

Tutkimusmenetelmät

- Paikallisen tuotannon simulointi avoimia aineistoja hyödyntäen
 - Aurinkosähkön tuotanto: EU / PVGIS aineistot
 - Tuulisähkön tuotanto: Suomen tuuliatlas
- Elinkaarilaskenta toteutettiin COMBI-hankkeen yleisiä laskentaperiaatteita hyödyntäen
 - Laskenta reaaliarvoilla, tarkastelujakso 20v.
 - Kustannukset ilman ALV:ia
 - Reaalinen laskentakorko, tapaukset $r = 3\%$ ja $r = 5\%$
 - Energian ja siirron reaalin hintakehitys $2\%/$ vuosi

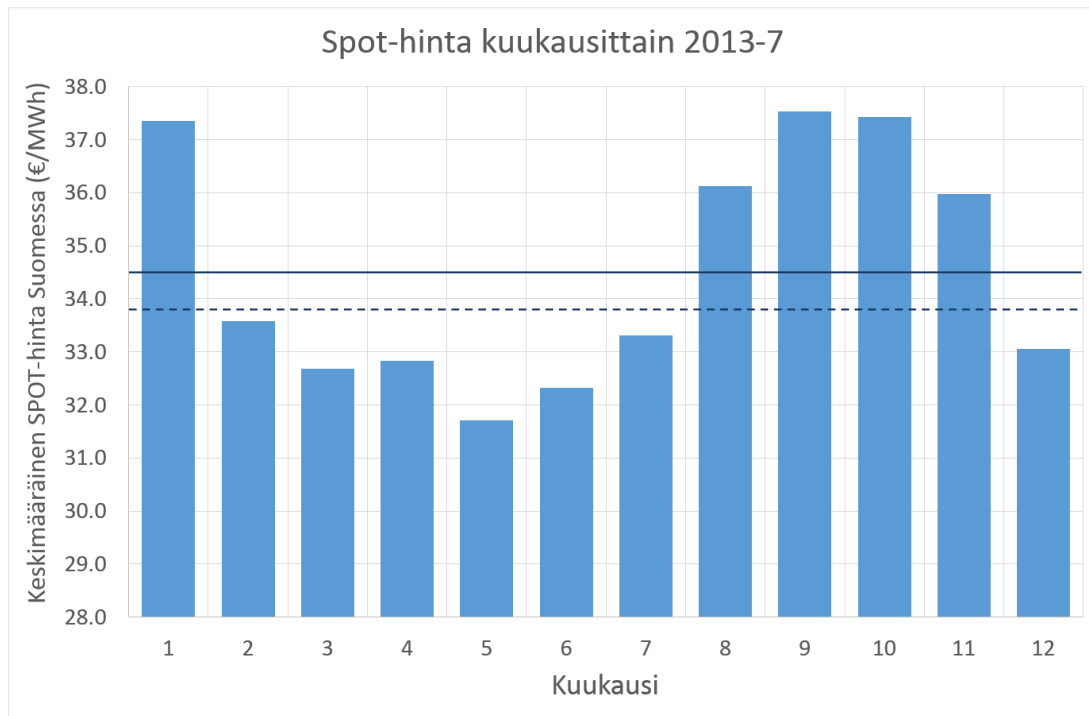
Elinkaarikustannusten laskenta (LCC)

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

Missä

$\sum I_{0,tot}$	Investointikustannukset
$\sum M_{tot}$	Ylläpitokustannukset
$\sum R_{tot}$	Komponenttien uusimisen kustannukset
$\sum Res_{tot}$	Paikallisen tuotantolaitteen jäännösarvo
$\sum E_{sold,tot}$	Paikallisen sähköntuotannon myyntitulot
$\sum E_{used,tot}$	Kiinteistössä käytetyn paikallisen sähköntuotannon arvo

Näkökulma: Sähkön hinta Suomessa



- Sähkön SPOT-hinnan vuosivaihtelu kytkeytyy vahvasti vesivoimaloiden bisneslogiikkaan
- Keskihinta on 34,5 €/MWh
- **Huom!** Aurinkoenergian korvaaman energian keskihinta (HKI) on 33,8 €/MWh

Näkökulma: aurinko- ja tuulisähkö sekä sähkömarkkinan hinnanmuodostus

- Tuotannon samanaikaisuus vs. markkinat
 - Sähkömarkkinoilla rajallinen kapasiteetti vastaanottaa ”ilmaiseksi” tuotettavaa tuuli- tai aurinkosähköä
- Pohjoismaiden suuri vesivoimakapasiteetti lieventää vaikutusta
- Markkinoiden integroitua Keski-Eurooppaan vesivoiman puskurointikyky heikkenee

Aurinko- ja tuulisähkön markkina-hintaa pudottava vaikutus

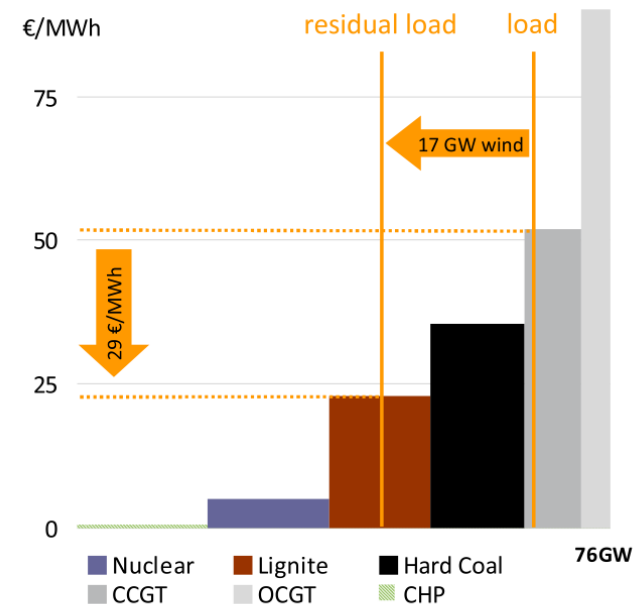


Fig. 2. Merit-order effect during a windy hour: VRE in-feed reduces the equilibrium price. Numbers are illustrative.

Lähde: Hirth (2013), <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2013.02.004>

Näkökulma: lisääntyvän PV-tuotannon vaikutukset

- Kokonaiskysynnän vähentyminen kesällä
- Mahdollisia sähkön hintakuoppia kesäaikaan
- Kasvava paine yksityiskohtaisemmalle hinnoittelulle
- Muodostaa riskitekijän, jota voidaan huomioida esim. laskelmissa käytettyä korkokantaa nostamalla

Aurinko- ja tuulisähkön arvon lasku Saksan markkinoilla

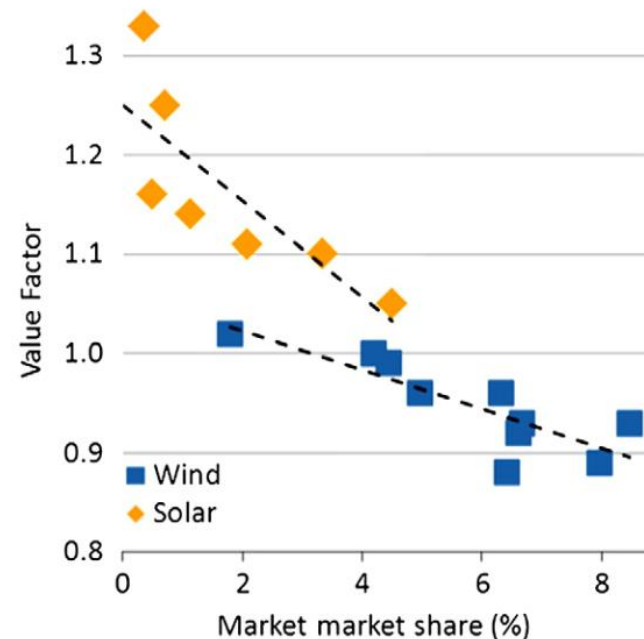


Fig. 6. Historical wind and solar value factors in Germany (as reported numerically in Table 3).

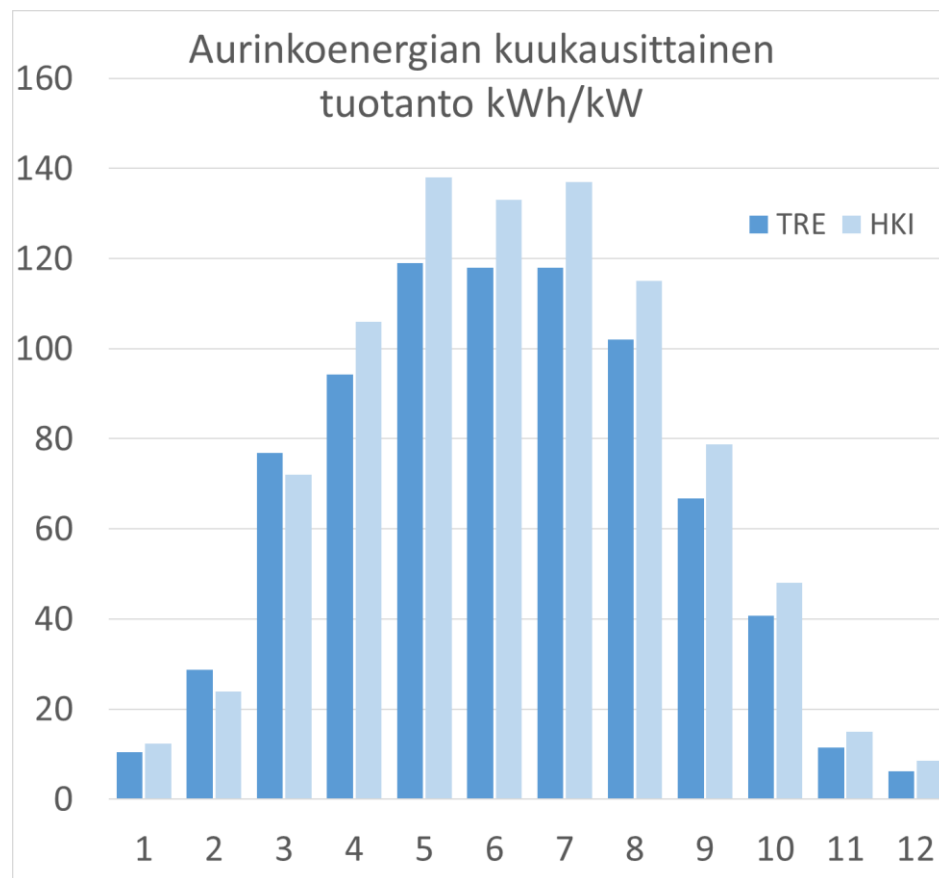
Lähde: Hirth (2013), <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2013.02.004>

Analyyysin keskeiset tulokset

PV-tuotanto Tampereella ja Helsingissä

Kuukausituotanto kWh/kW

kk	TRE	HKI
1	10.4	12.3
2	28.7	23.9
3	76.9	72
4	94.2	106
5	119	138
6	118	133
7	118	137
8	102	115
9	66.8	78.7
10	40.7	48
11	11.4	15
12	6.13	8.48
Total	792	887



Perustuu PVGIS aineistoon <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis.html>

Keskitetty tuulivoimatuotanto Suomessa

- Tuotanto-odotuksissa suurta vaihtelua voimalan koon ja sijainnin mukaan
- Odotettavissa oleva uuden tuotannon hinta 30-50 €/MWh
 - Laskennassa käytetty arvoa 41,4€/MWh
- Kokemuksia yhteisomistuksesta: tapaus Lumituuli Oy
 - Ensimmäinen kuluttajien omistama tuulisähköyhtiö (est. 1998)
 - Yli 1200 osakasta, jotka käyttävät yhtiön tuottamaa sähköä
 - Nyt 3 voimalaa, yhteensä 3.8MW, aluksi yksi 0.66MW voimala
 - Laajentumisessa tullut myös takaiskuja (YVA-asiat)

Huomioitavaa uusiutuvan tuotannon laskennasta

- Investointi-intensiivisen sähköntuotannon hinta ja kannattavuus ovat erittäin herkkiä laskennassa käytettävälle korkokannalle ja laitoksen odotettavalle eliniälle
- Tuotanto tapahtuu tulevien vuosikymmenen aikana, jolloin sen laskennallinen arvostus on täysin riippuvainen käytetystä korkokannasta.
- Toisaalta todelliseen arvostukseen vaikuttaa mm. se, miten paljon samankaltaista tuotantoa markkinalle myöhemmin lisää

Paikallisen aurinkosähkön tuotantokustanus

- Rakennukseen integroitu paikallinen PV-tuotanto, tuotannon tasoitettu hinta (€/MWh)
 - Loppukäyttäjän näkökulmasta
 - Mukana korkokannan, sijainnin, ja oman käytön vaikutus

	TRE 100%	TRE 80%	HKI 100%	HKI 80%
PV 5%	80,7	93,2	72,1	81,6
PV 3%	65,3	73,9	58,3	64,3
Ostohinta SPOT	83,0	83,0	86,1	86,1
Ostohinta PV	82,3	82,3	85,5	85,5

Keskitetyn tuotannon mahdollisuudet

- Loppukäyttäjän näkökulma keskitettyyn tuotantoon (€/MWh)
- Käyttöiän vaikutus oman aurinkosähkön hintaan (3%)

PV 10MW, 5%	63,7
Tuulivoima 5%	41,4
Siirtomaksu ym.	48,4-51,5
Tavoitehinta	82-86
SPOT	34,5
SPOT _{PV}	33,8-9

käyttöikä	TRE 100%	HKI 100%
30v	65,3	58,3
20v	84,0	75,0

→ Tavoitehinta on keskimääräinen SPOT-hinta + siirtohintaa

Keskitetyn tuotannon mahdollisuudet

- Tuotannon hinta ilman tukia

Hinta ilman tukia	
PV-100kW	106,0
PV-10MW	83,7
Tuuli 10MW	41,4
Siirtomaksu	29,1

- Korkokanta 5%, Helsingin säteilyteho, aurinkosähkön käyttöikä 30v, konservatiivinen tuulivoimalaskenta

- Tuet luovat systeemin näkökulmasta tehottomuutta
- Suora kustannus CO₂-päästöille systeemin näkökannalta tehokkain “tukimuoto”
- Siirtomaksu voidaan hyvittää paikalliselle tuotannolle
 - Paikallisen siirron häviöt vähäisiä

Havaintoja ja johtopäätöksiä

Systemin näkökulma poikkeaa merkittävästi kuluttajan näkökulmasta

- Tarvetta lainsäädännön muutokseen sellaiseen suuntaan, että systeemin etu toteutuu paremmin?
- Etelä-Suomessa paikallinen PV ilman siirtokuluja jopa taloudellisempaa kuin keskitetty
- Tehokkaan uusiutuvan tuotannon toteutumiseksi paikallisuuteen liittyviä rajoitteita olisi hyvä keventää
 - Esim. sähköveron ja/tai siirtomaksujen keventäminen ja nettomittaroinnin mahdollistaminen useamman kohteen välillä

Huomioita ja tutkimustarpeita

- Paikallisen tuotannon sosiaalisen ja kasvatuksellisen dimension analyysi tarpeen
 - Millaisia muita kuin suoria taloudellisia arvostuksia paikalliseen tuotantoon Suomessa liittyy?
- Yksittäisten tuotantolaitosten persoonallisuus tekee laajasti hyödynnettävästä analyysistä välttämättä karkean
 - Yksittäinen tuotantolaitos arvioitava aina erikseen!
- Tulevaisuuden tuomia mahdollisia teknologiaspesifisiä markkinahinnan muutoksia ei arvoitu!

Yhteenveto

- Paikallinen sähkön tuotanto kiinteistökohtaisilla aurinkopaneeleilla voidaan saada kannattavaksi
- Aurinkosähkön siirtämistä eri käyttökohteiden / kiinteistöjen välillä ei saada kannattavaksi
- Korvamerkitty keskitetty tuulituotanto tarjoaisi kiinnostavan vaihtoehdon paikalliselle PV-tuotannolle
- Paikallisuuteen liittyvät uusiutuvan tuotannon säädöspohjaiset rajoitteet ovat energiajärjestelmätason tehokkuuden vastaisia