

# Miten uusiutuva energia integroidaan energiamarkkinoille

Uusiutuvan energian ajankohtaispäivä

22.1.2019

Maria Kopsakangas-Savolainen

Uusiutuvan energian ajankohtaispäivä/Maria  
Kopsakangas-Savolainen 22.1.2019

- IPCC:n 1,5 asteen raportti osoittaa selvästi, kuinka paljon pienemmäksi ilmastohaitat jäävät, jos lämpötilan nousu pystytään rajoittamaan 1,5 asteeseen
- IPCC:n politiikkasuositus:
  - fossiiliset päästöt mahdollisimman nopeasti alas
  - Hiilinieluja (luonnon nielut ja BeCCS) on kasvatettava merkittävästi, jotta 1,5 astetta ei ylitettäisi tai ylitettäisiin vain lievästi
- Kaikkien maiden tulisi tarkentaa omaa ilmastopolitiikkaansa vastaamaan näitä uusia johtopäätöksiä: käytännössä toimia enemmän ja nopeammin
- Suomi hiilineutraaliksi 2035?
- Energiateollisuus avainasemassa

# Taustaa: Suomen KHK-päästöt



Mt CO<sub>2</sub> -ekv.

	1990	2005	2015	2016	2030	2035	2040
<b>Energiasektori</b>							
1A1 Energiateollisuus	19	22,1	17,8	19,1	6,6	4,3	2,1
1A2 Teollisuus ja rakentaminen (polttoeräiset päästöt)	13,7	11,6	6,9	7,2	4,1	3,59	3,1
1A3 Kotimaan liikenne	12,1	12,9	11,1	12,6	4,4	3,4	2,4
1A4&1A5 Muu poltto yhteensä	8,7	6,9	4,9	5,0	2,4	1,6	0,8
B Polttoaineiden haihtumapäästöt	0,12	0,14	0,15	0,14	0,1	0,1	0
<b>2. Teollisuusprosessit (ilman 2F)</b>	5,4	5,6	4,5	4,7	3,7	3,4	3,1
2F F-kaasut	0	1,1	1,4	1,4	0,5	0,3	0,2
<b>3. Maatalous</b>	7,5	6,5	6,5	6,5	5,4	4,7	4,1
<b>5. Jätteiden käsittely</b>	4,7	2,8	2,1	2	1,2	0,9	0,6
<b>Epäsuorat CO<sub>2</sub>-päästöt</b>	0,17	0,09	0,05	0,05	0	0	0
<b>Yhteensä (ilman LULUCF)</b>	71,3	69,8	55,4	58,8	28,3	22,2	16,4

Lähde: Seppälä, Savolainen, Sironen, Soimakallio, Ollikainen (2018)

# Taustaa: Energiateollisuus

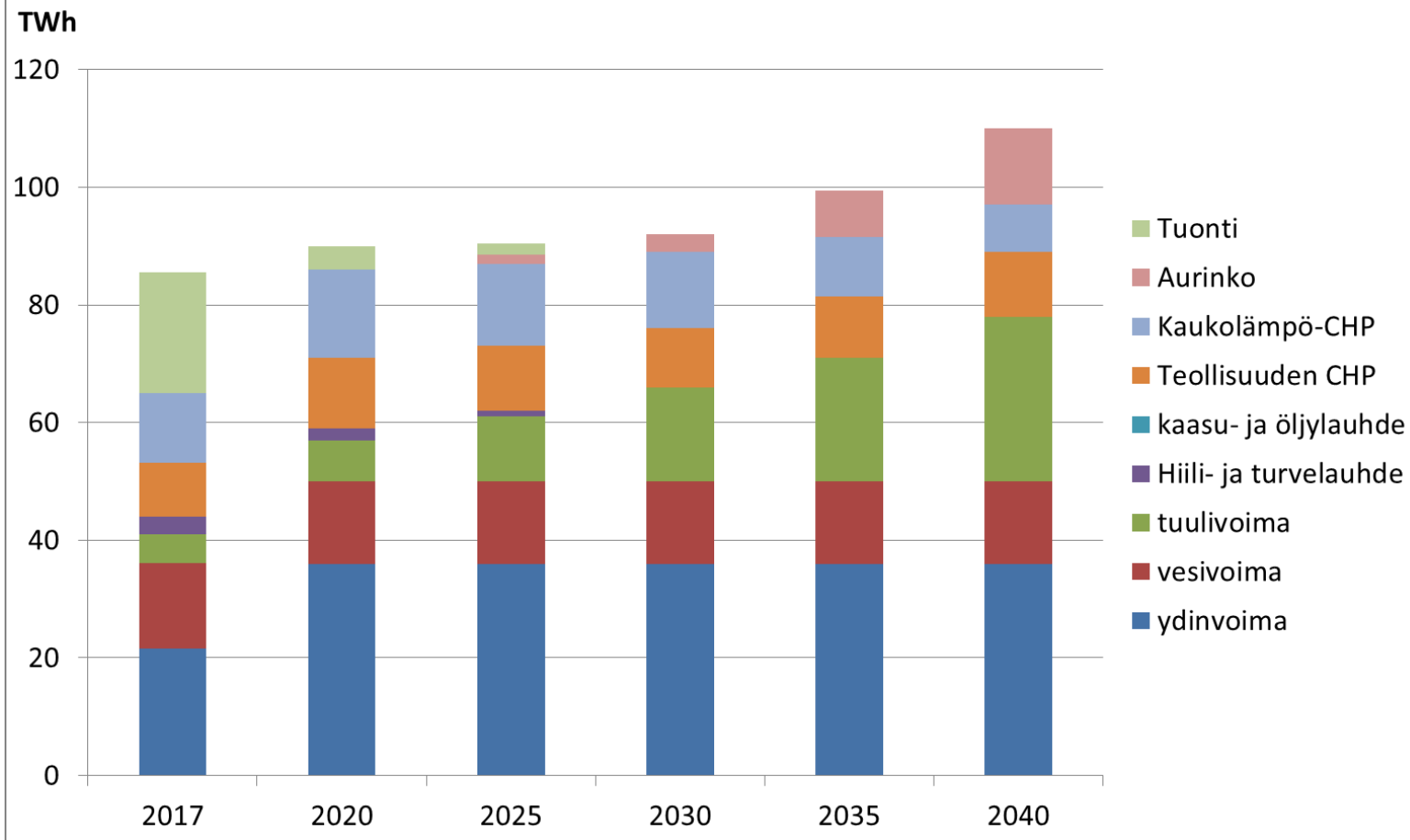


Mt CO2 -ekv.	1990	2005	2015	2016	2030	2035	2040
<b>1A1 Energiateollisuus</b>	<b>19</b>	<b>22,1</b>	<b>17,8</b>	<b>19,1</b>	6,6	4,3	2,1
Julkinen sähkön- ja lämmöntuotanto				17,1	4,8	2,7	0,6
Öljyn jalostus				1,7	1,6	1,5	1,4
Kiinteiden polttoaineiden valmistus ja muu energiategollisuus				0,3	0,2	0,1	0,1

Lähde: Seppälä, Savolainen, Sironen, Soimakallio, Ollikainen (2018)

- **Sähkön- ja lämmöntuotanto**
  - Nykyisten ydinvoimaloiden ja Olkiluoto 3:n oletettu olevan käytössä 2020-2040
  - Tuuli-, aurinko- ja vesivoiman sekä CHP-tuotannon kehitys noudattelee VTT:n Low Carbon Finland (2014) muutosskenaariota nopeutetulla aikataululla (vuoden 2050 tavoitteet saavutetaan jo 2040)
- EU:n päästökaupassa jaettavien oikeuksien määrä vähenee ja hinta kasvaa [Dia 22](#)

# Sähkön hankinnan kehitys



- Kivihiilen ja turpeen käyttö sähkön (ja kaukolämmön) tuotannossa loppuu.
- Tuuli- ja aurinkovoima, lämpöpumput sekä bioenergia lisääntyvät merkittävästi.
- Älykkäät sähkö- ja kaukolämpöverkot sekä lämmön- ja sähkönvarastointi laajasti käytössä.

# Sähköjärjestelmän päästöttömyyden vauhdittaminen



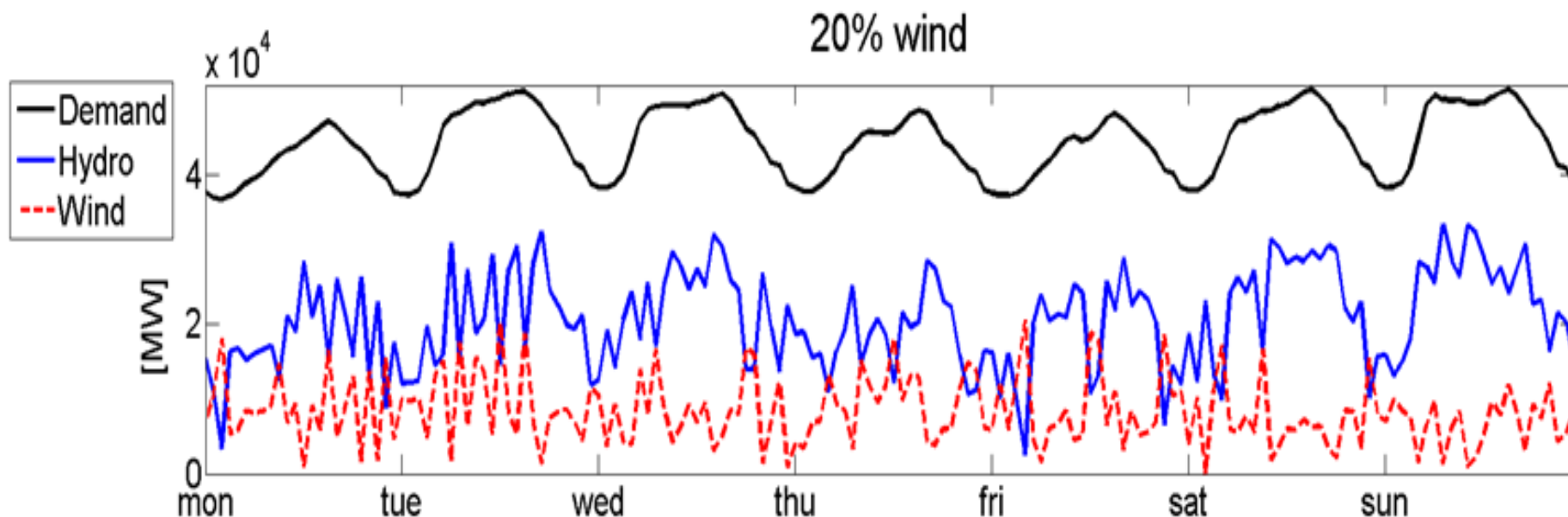
- Joustava tuotanto ja joustava kulutus mahdollistavat vaihtelevan tuotannon nopean lisääntymisen
  - Kuluttajan roolin muuttuminen aktiiviseksi markkinatoimijaksi
  - Nopeasti säädettävän tuotannon merkitys ja arvo lisääntyy
- Sääennusteiden merkitys kasvaa – ennustevirheen pienentäminen
  - energiasääennusteet
- Energiayhteisöt/Virtuaalivoimalaitokset
  - vaihtelevan tuotannon kustannustehokkaan lisäämisen vauhdittajana ja ennustevirheen pienentämisessä
- Älykkäät sähköverkot ja älykäs kotiautomaatiikka
- Varastointiteknologian kehittymisen vauhdittaminen

# Kaksoisjoustava sähköjärjestelmä

- Tuotannon arvo riippuu kolmesta ulottuvuudesta
  - Aika (varastointirajoite)
  - Paikka (siirtorajoite)
  - Säädettävyys (joustorajoite)



Kulutuksen arvo on myös aikasidonnainen



- Kulutuksen joustavuus välttämätön ehto vaihtelevan tuotannon tehokkaassa integroinnissa (mm. älyverkkotyöryhmän raportti)
- Joustavuuden vauhdittaminen
  - Kuluttajien kannustimet liittyen joustavuuteen
  - Automaation kehittyminen ja hyödyntäminen
  - Uudenlaiset palvelut ja energiayhteisöt
- Tarkastellaan joustavuuden vauhdittamista kahden esimerkin kautta
  - Esimerkki 1: Towards Flexible Energy Demand – Preferences for Dynamic Contracts, Services and Emissions Reductions. Ruokamo, E., Kopsakangas-Savolainen, M., Meriläinen, T., Svento, R. SSRN (2018)  
<http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3263517>
  - Esimerkki 2: Virtual Power Plant operation with solar power forecast errors and demand response. Huuki, H., Karhinen, S., Böök, H., Lindfors, A., Kopsakangas-Savolainen, M., Svento R. SSRN (2018)  
<https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3277354>



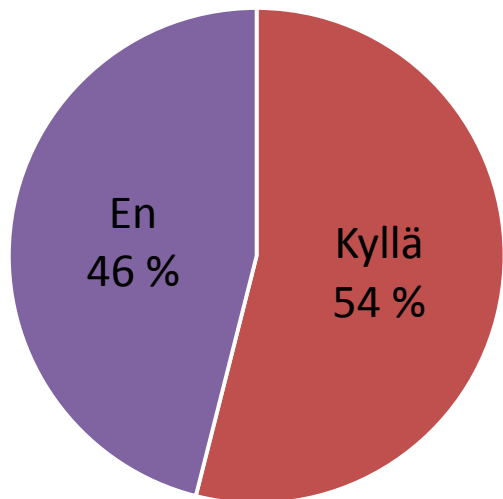
# Esimerkki 1 – Dynaaminen hinnoittelu



- Kolme ehtoa täytyttävä että laajan mittakaavan kysyntäjousto reaaliaikaisen hinnoittelun kautta saadaan toteutumaan (Wolak 2017)
  1. Kuluttajilla täytyy olla teknologia kulutuksen ajalliseen mittaamiseen.
  2. Kuluttajien täytyy saada tietoa kuinka kulutusta tulisi kunakin ajanhetkenä muuttaa.
  3. Kuluttajille täytyy tarjota taloudelliset kannustimet mukauttaa kulutustaan

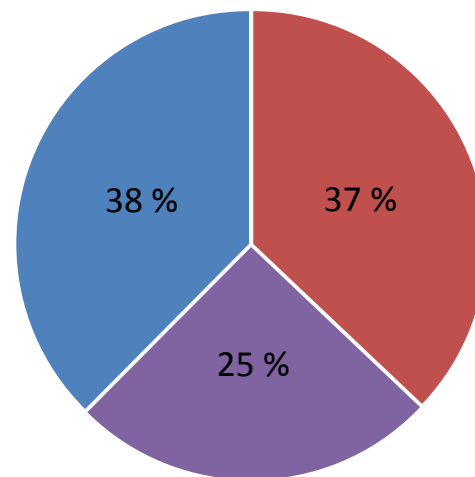
# Esimerkki 1 - Kuluttajien asenteet Etäohjaus

Oletteko valmis hankkimaan sopimuksen, johon sisältyy sähkönkulutuksen etäohjausta (kulutusta siirretään tarvittaessa pois energiankysynnän huipputunneilta)? (N=380)



Jos halukas, niin...

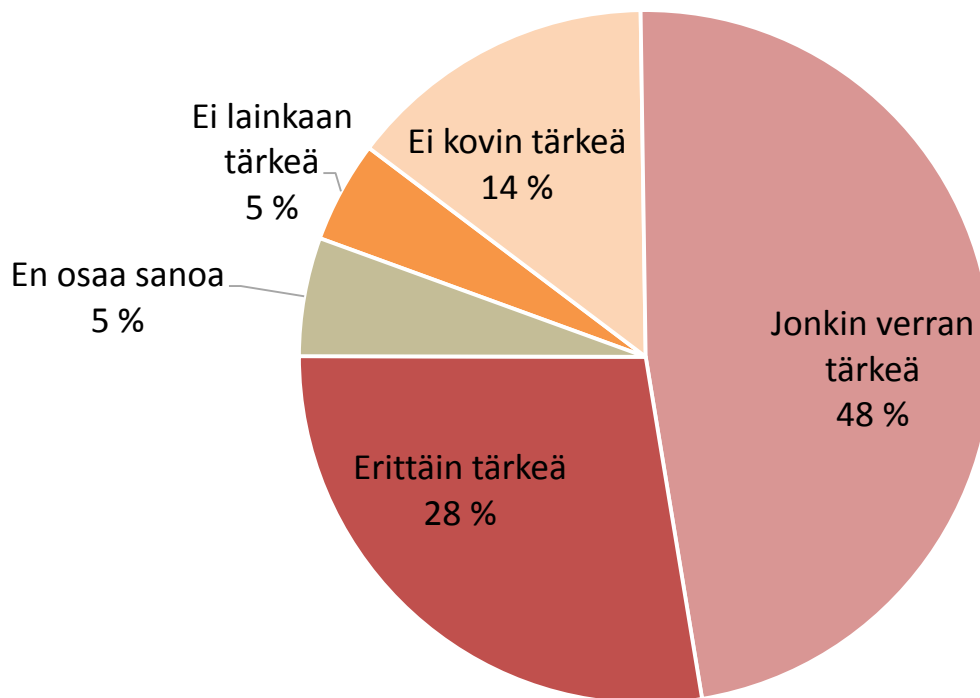
...millaiseen sähkönkulutuksen ohjaukseen olisitte valmis osallistumaan? (N=205)



- Säädellä automaattisesti sopimuksessa sovittuina kellonaikoina.
- Mahdollisesta sähkönkulutuksen siirrosta ilmoitetaan minulle ja voin halutessani kieltäytyä siitä (ilman kieltoa, siirto tapahtuu).
- Mahdollisesta sähkönkulutuksen siirrosta lähetetään minulle pyyntö ja voin suostua siihen halutessani (siirto tapahtuu vain luvalla).

# Esimerkki 1 – Kuluttajien asenteet Päästöt

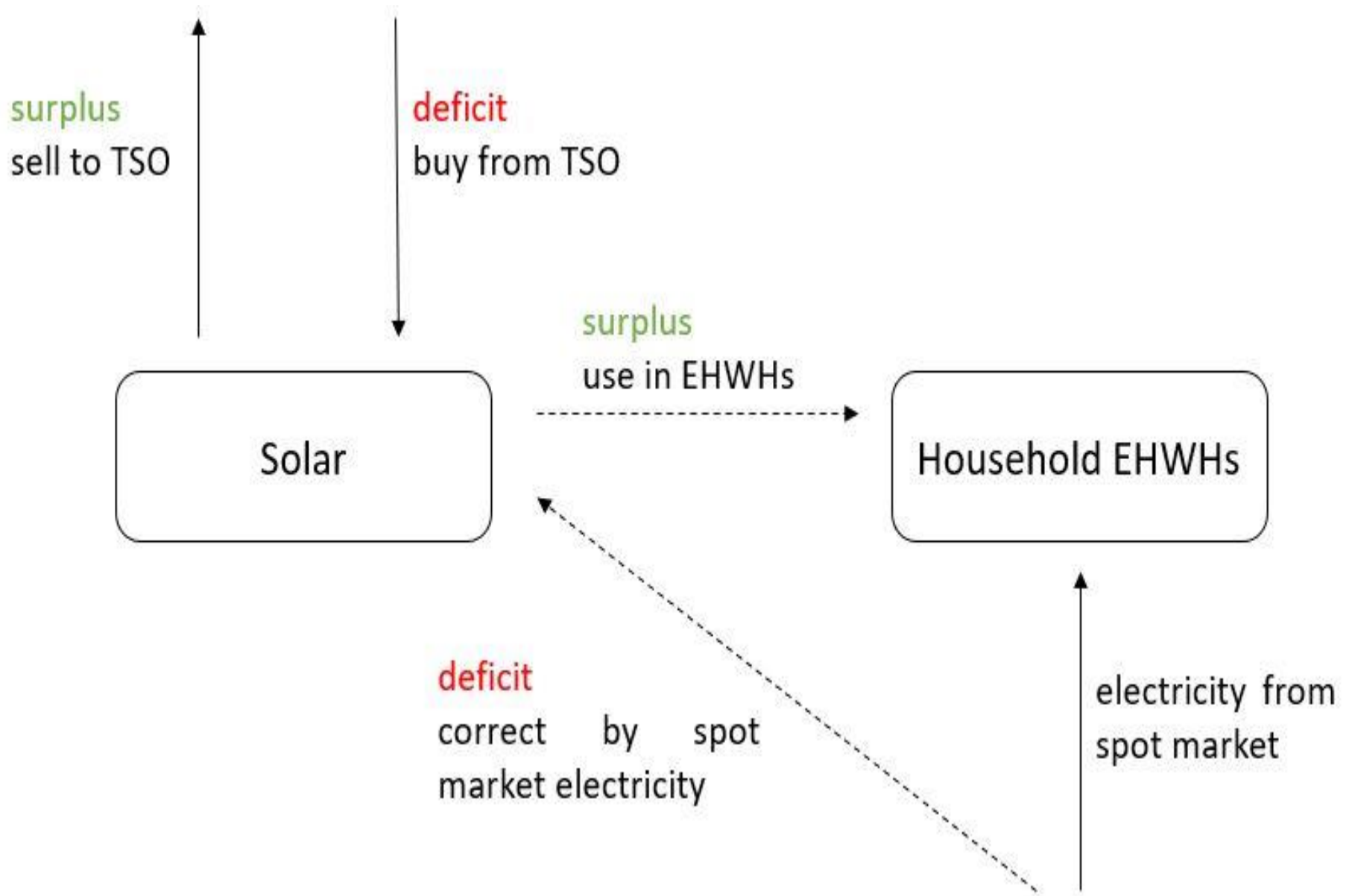
Kuinka tärkeänä pidätte kotitalouksien tarjoaman  
jouston merkitystä energiamarkkinoiden  
hiilidioksidipäästöjen pienentämisessä? (N=380)



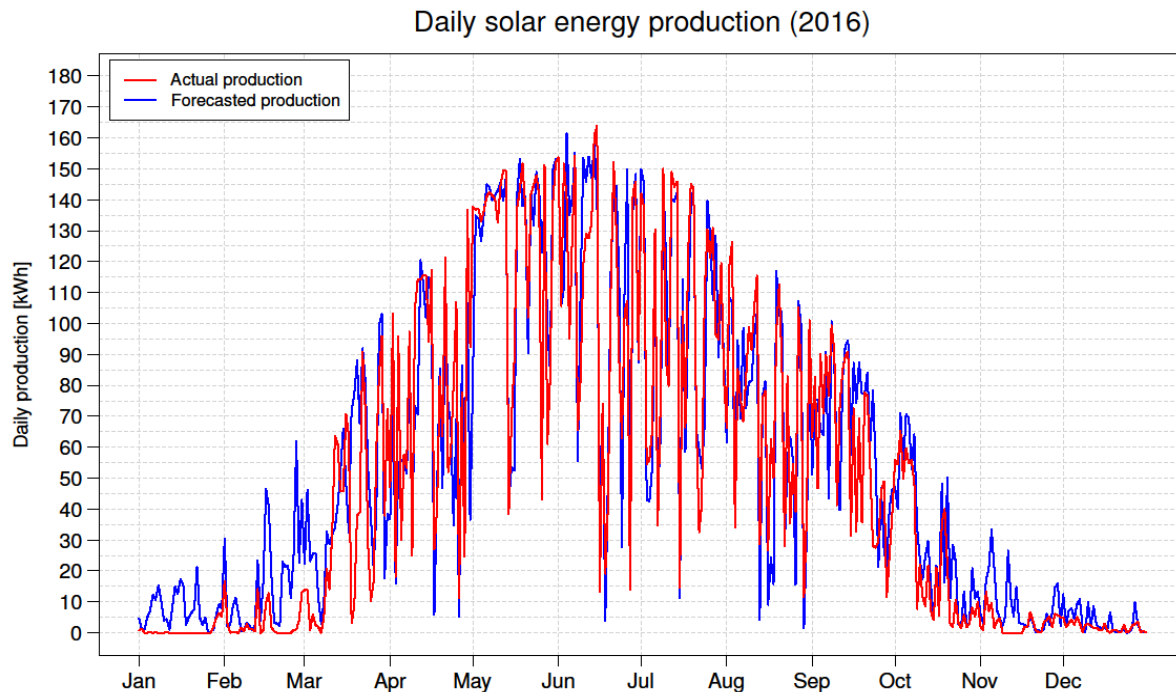
# Esimerkki 2 - Virtuaalivoimalaitos



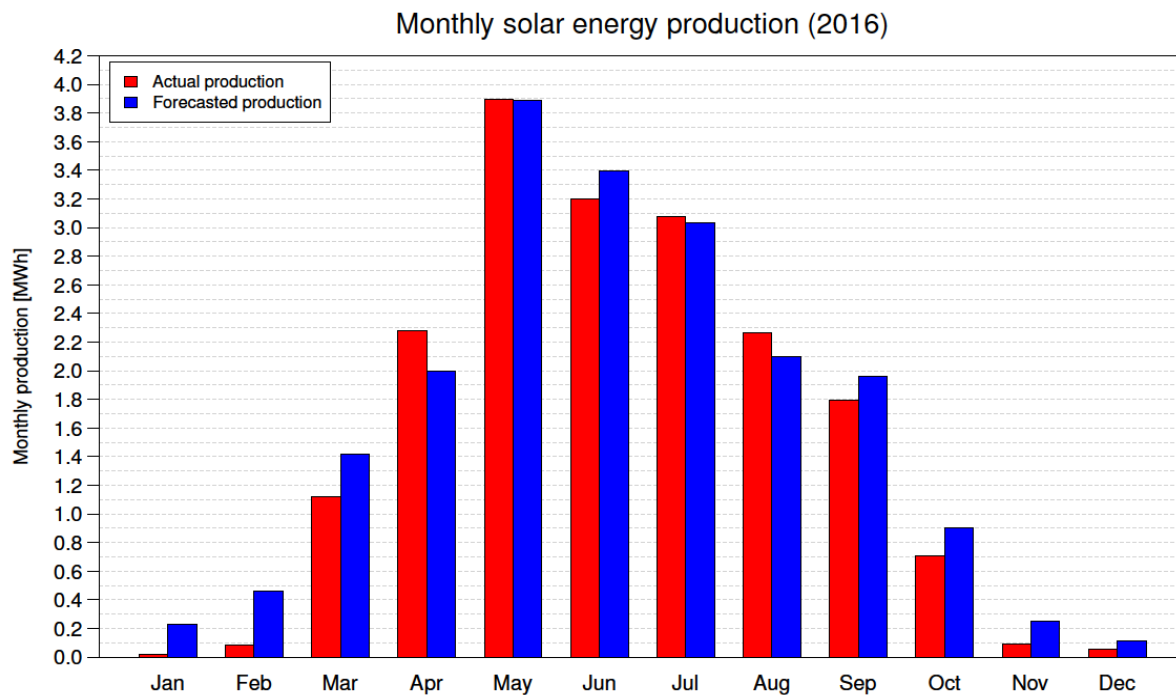
- Tehostavat kulutusjoustopon aktivointia aggregoimalla eri resursseja
- Oletetaan PV-voimalaitos, jonka kapasiteetti 1 MWp
- PV-voimalaitoksen tuotantoennusteet ja toteutunut tuotanto Ilmatieteen laitokselta.
- Kotitalouksien resursseja käytetään tasapainottamaan PV-voimalaitoksen ennustevirheitä
  - Kotitalouden resurssit: kuumavesivaraajat, kotitalouksilla tuntisähkösopimus
  - PV-tehoennusteiden virheet lasketaan tulevan ennusteen ja toteutuneen tuotoksen välisenä erona.
- Optimoidaan yhtäaikaisesti aurinkotuotannon ennustevirheistä aiheutuvaa epätasapainoa ja etäohjattavia kotitalouksien resursseja



PV- tuotanto ja ennuste päivittäin

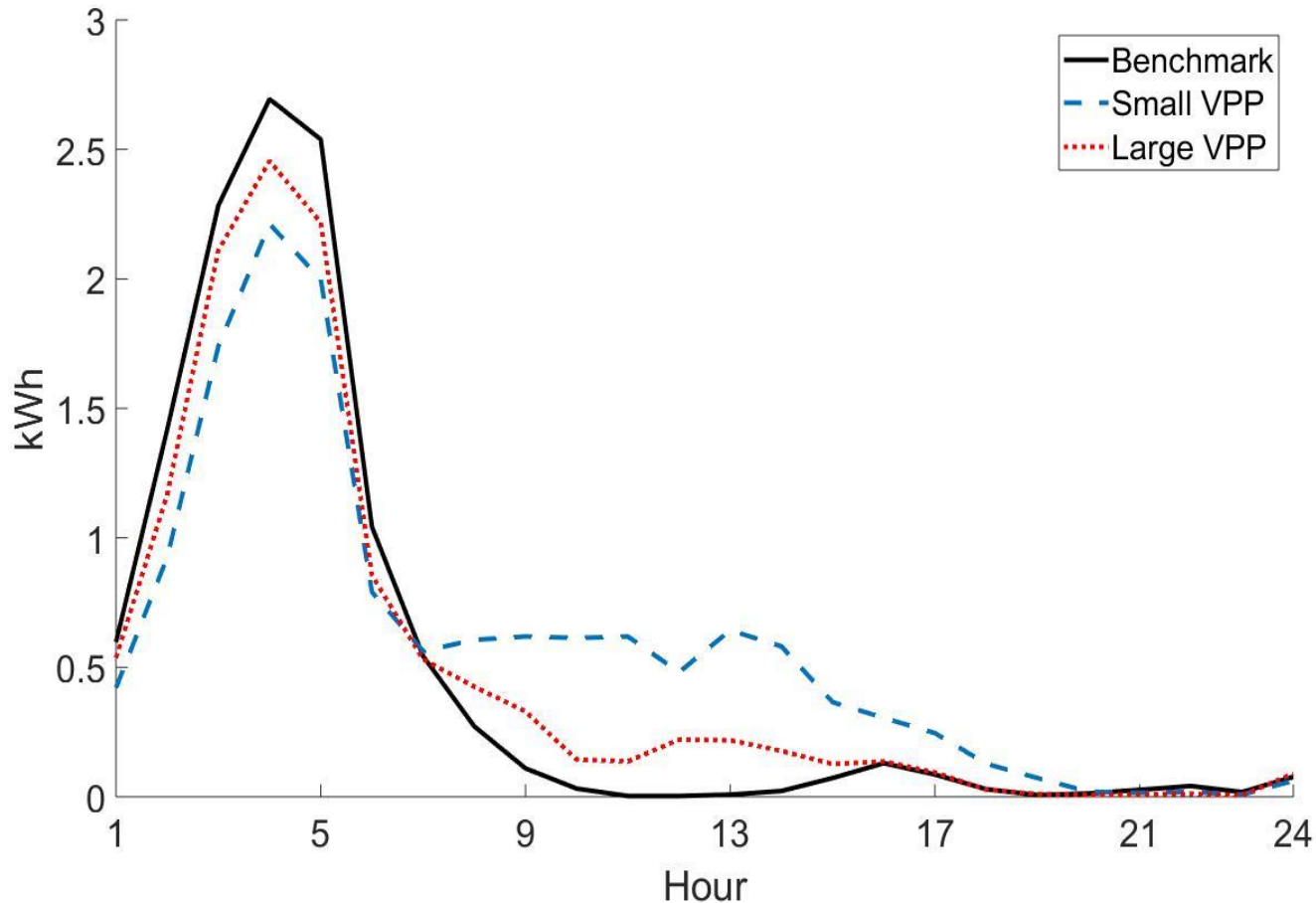


PV-tuotanto ja ennuste kuukausittain



# Esimerkki 2 – Tuloksia

## Lämminvestivaraajan optimointi



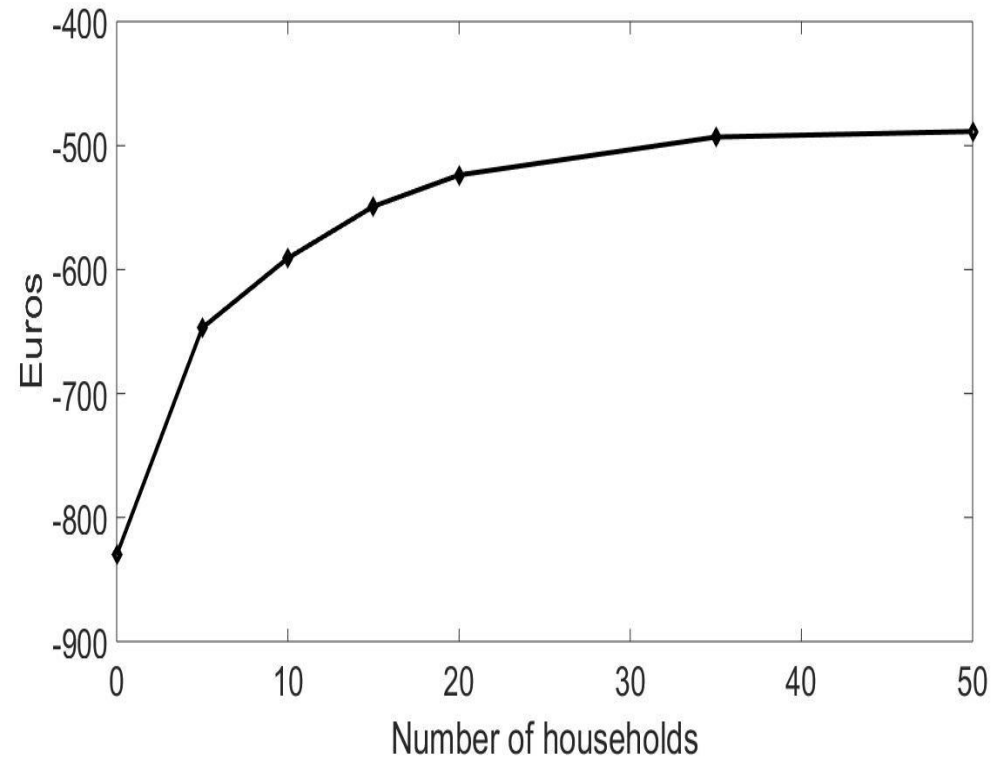
# Esimerkki 2 - Tuloksia

	N = 5	N = 10	N = 15	N = 20	N = 35	N = 50
$\Delta$ electricity cost (€)	145.7	169.1	182.3	182.5	144.8	89.6
$\Delta$ solar power imbalance revenue (€)	183.3	293.5	281.3	306.6	337.2	341.7
Net benefit (€): $\Delta$ revenue – $\Delta$ cost	37.6	70.4	98.9	124.1	192.4	252.0



# Esimerkki 2 - Tuloksia

- Osoitamme, että virtuaalinen voimala voi lisätä arvoa resurssien yhdistelmän optimoinnista
- Kokonaistuotot kasvavat, mutta marginaalitulot pienenevät osallistuvien kotitalouksien määrän kasvaessa.
- Poliittisesta näkökulmasta markkinoiden tehokkuutta voidaan lisätä sallimalla yhdistettyjen resurssien osallistuminen vapaammin markkinoille.



Hiilineutraalisuuden saavuttamisessa sähköjärjestelmän päästöttömyys on välttämätön ehto.

- Sähköjärjestelmän päästöttömyyden saavuttamisessa vaihtelevan uusiutuvan energian integrointi on välttämätön ehto
- Vaihtelevan uusiutuvan energian integroinnissa kuluttajiin liittyvien resurssien ja joustavuuden aktivointi on välttämätön ehto.
- Kuluttajien aktivoinnin näkökulmasta kuluttajien preferenssien ja asenteiden tunnistaminen ja ymmärtäminen on välttämätön ehto
- Kuluttajien resurssien ja aktivoinnin hyödyntämisen näkökulmasta uudenlaiset palvelut ja operaatiot (VPP) on välttämätön ehto

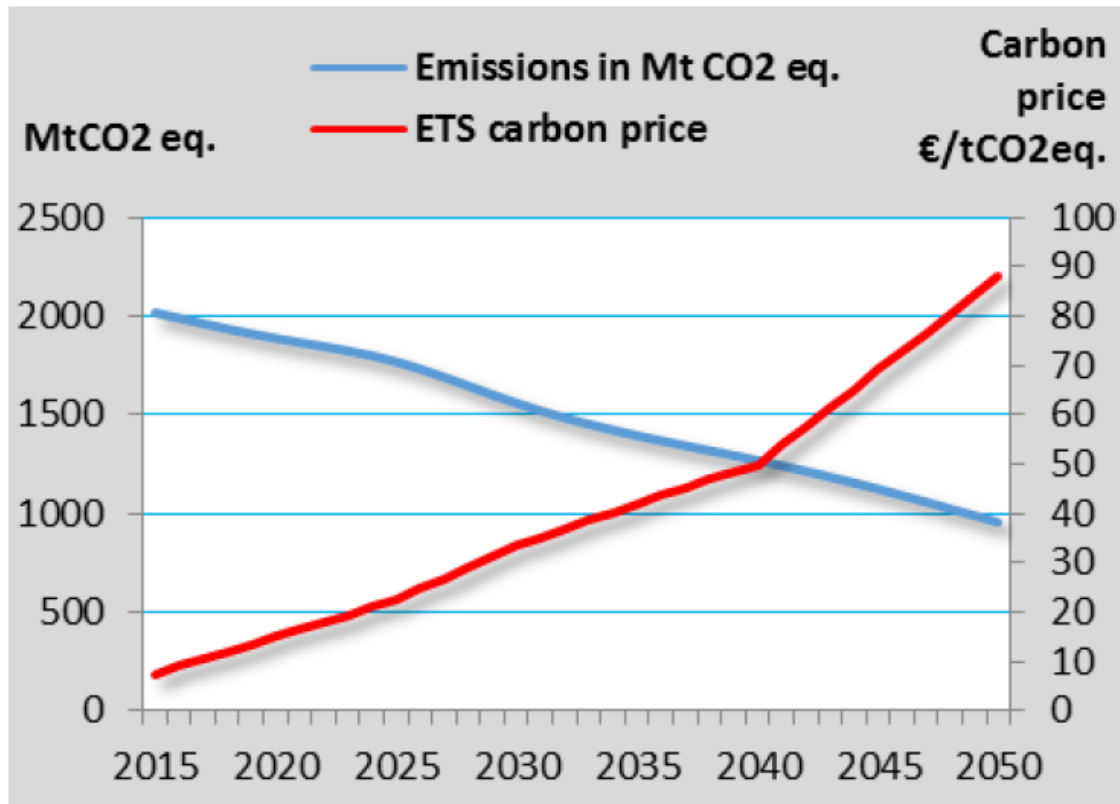
*'All we need to do is make sure we keep  
on talking'*

## Stephen Hawking and Pink Floyd

The Division bell (1994)  
The Endless River (2014)

Uusiutuvan energian ajankohtaispäivä/Maria  
Kopsakangas-Savolainen 22.1.2019

**FIGURE 2: ETS EMISSIONS AND ETS CARBON PRICES**



Lähde: EU Reference Scenario 2016, Energy, transport and GHG emissions Trends to 2050.

[Energiateollisuus](#)