

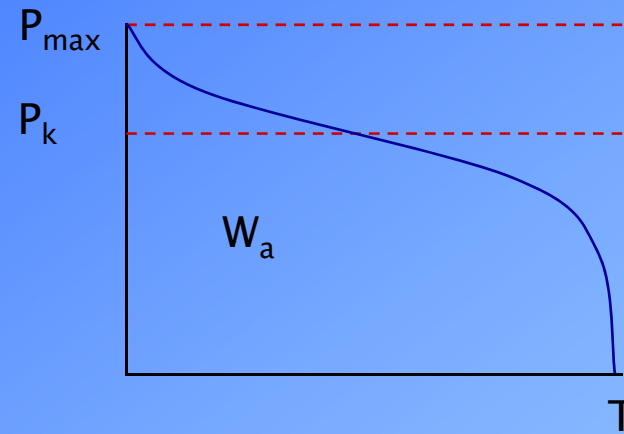
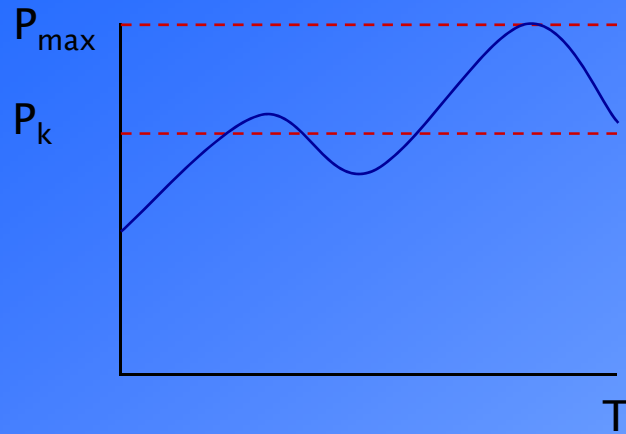
Johdatus sähköenergiajärjestelmiin

Luento 2

Sähkömarkkinat & sähkön käyttö

Matti Lehtonen

Kuorman vaihtelu ja pysyvyyskäyrä



käyttökerroin $\varepsilon = \frac{P_k}{P_{\max}}$

käyttöaika $t_k = \frac{W_a}{P_{\max}} = \frac{P_k T}{P_{\max}}$
 $= \varepsilon T$

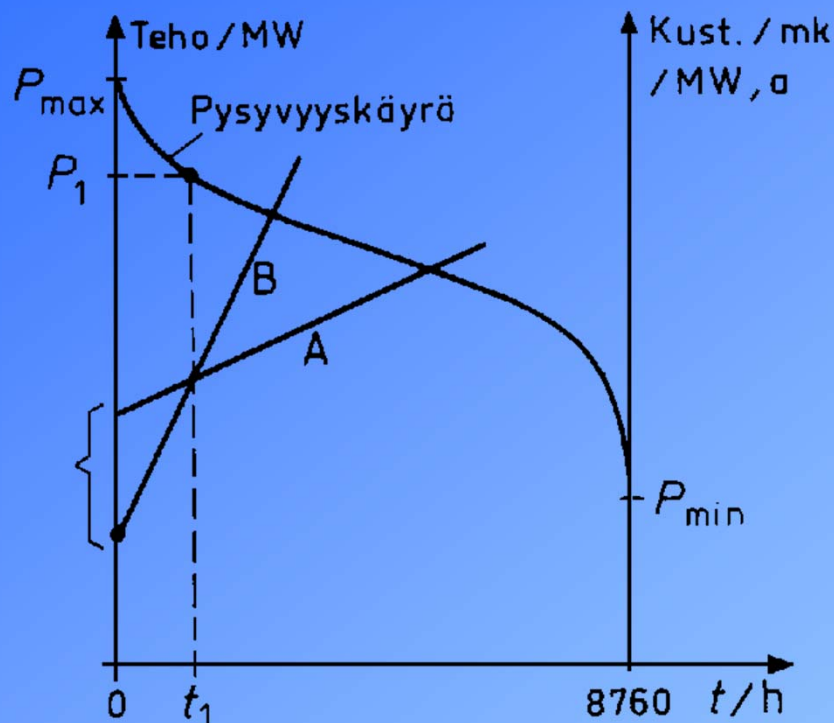
$\left\{ \begin{array}{l} W_a = \text{vuosienergia} \\ P_k = \text{keskiteho} \\ P_{\max} = \text{maksimiteho} \end{array} \right.$

Voimalaitosten ominaisuudet ja tuotantokustannukset

Sähkön tuotannossa tarvittavan voimalaitoskapasiteetin rakenne ja eri voimantuotantomuotojen osuus määräytyy pääosin seuraavista tekijöistä:

- kulutuksen aikavaihtelu
- käytettävissä olevat energiavarat (vesi, polttoaineet)
 - käytettävissä olevat isot lämpökuormat
- voimalaitosten kulutusrakenne

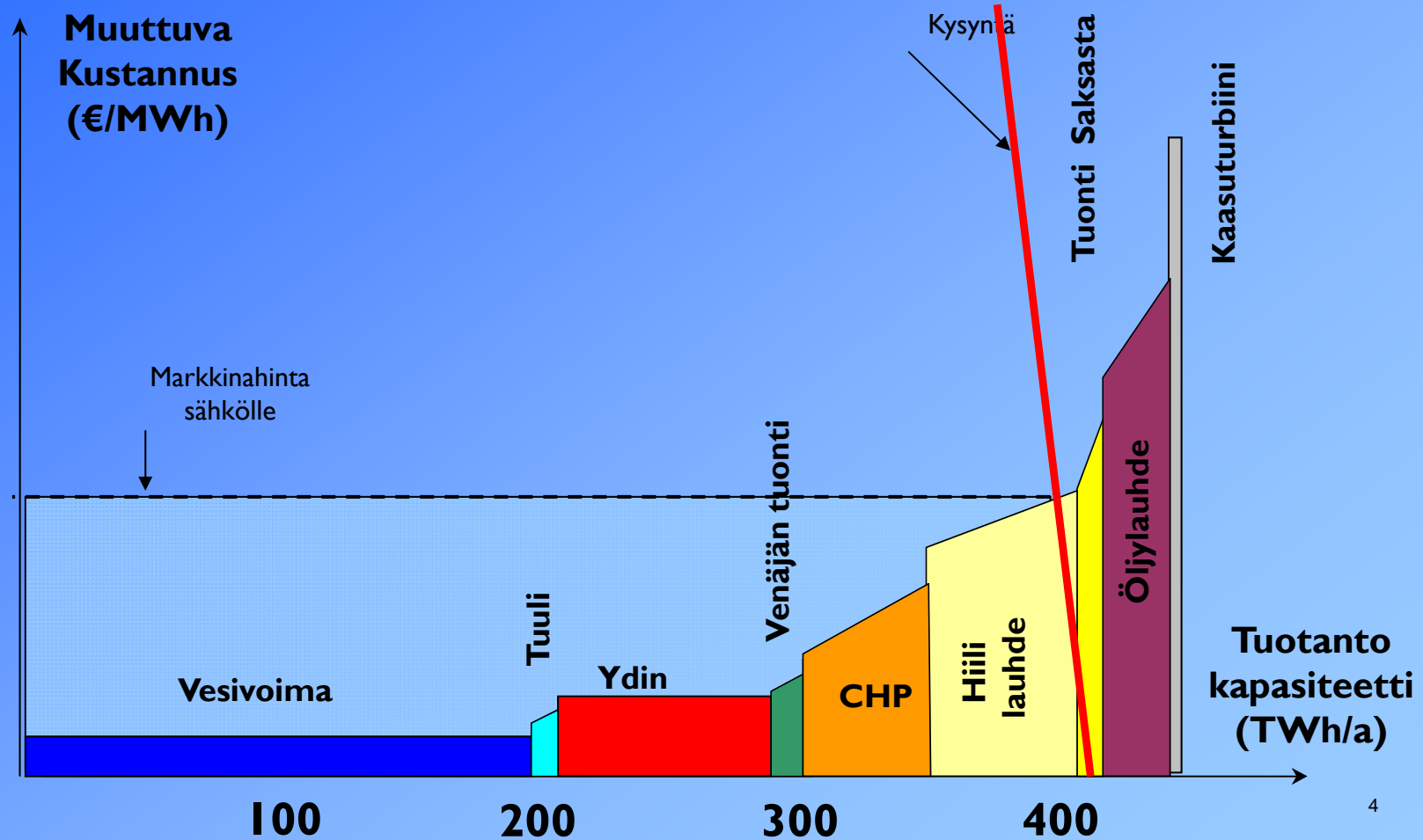
Kun sähkön kulutuksen tunneittaiset tehot pannaan suuruusjärjestykseen, saadaan kulutuksen pysyvyyskäyrä



Eri voimalaitoksilla on erilainen tuotantokustannusrakenne kiinteiden ja muuttuvien kustannusten kesken. Kuvaan on piirretty kaksi esimerkkiä. Peruskuormaa ajamaan tarkoitetulla laitoksella (kustannussuora A) on tyypillistä suuret investoinnit ja pieni polttoaineen hinta. Huippukuormalaitoksella (kustannussuora B) puolestaan investointi on pieni ja polttoainekustannus suuri. Jos tarvittava voimantuotantokapasiteetti koottaisiin näistä kahdesta voimalaitostyyppistä, on helppo nähdä kuvan perusteella, että mahdollisimman pieniin tuotantokustannuksiin päästään, jos tarvittava teho (P_{\max}) jaetaan kahteen osaan kustannussuorien leikkauspistettä vastaavan aikamäärän kohdalta. Peruskuormatehoa on tällöin P_1 ja huippukuormatehoa $P_{\max} - P_1$. Pysyvyyskäyrän rajaamat vastaavat pinta-alat ilmoittaisivat vastaavat ko. koneistolla tuotettavat vuotuiset energiamäärät.

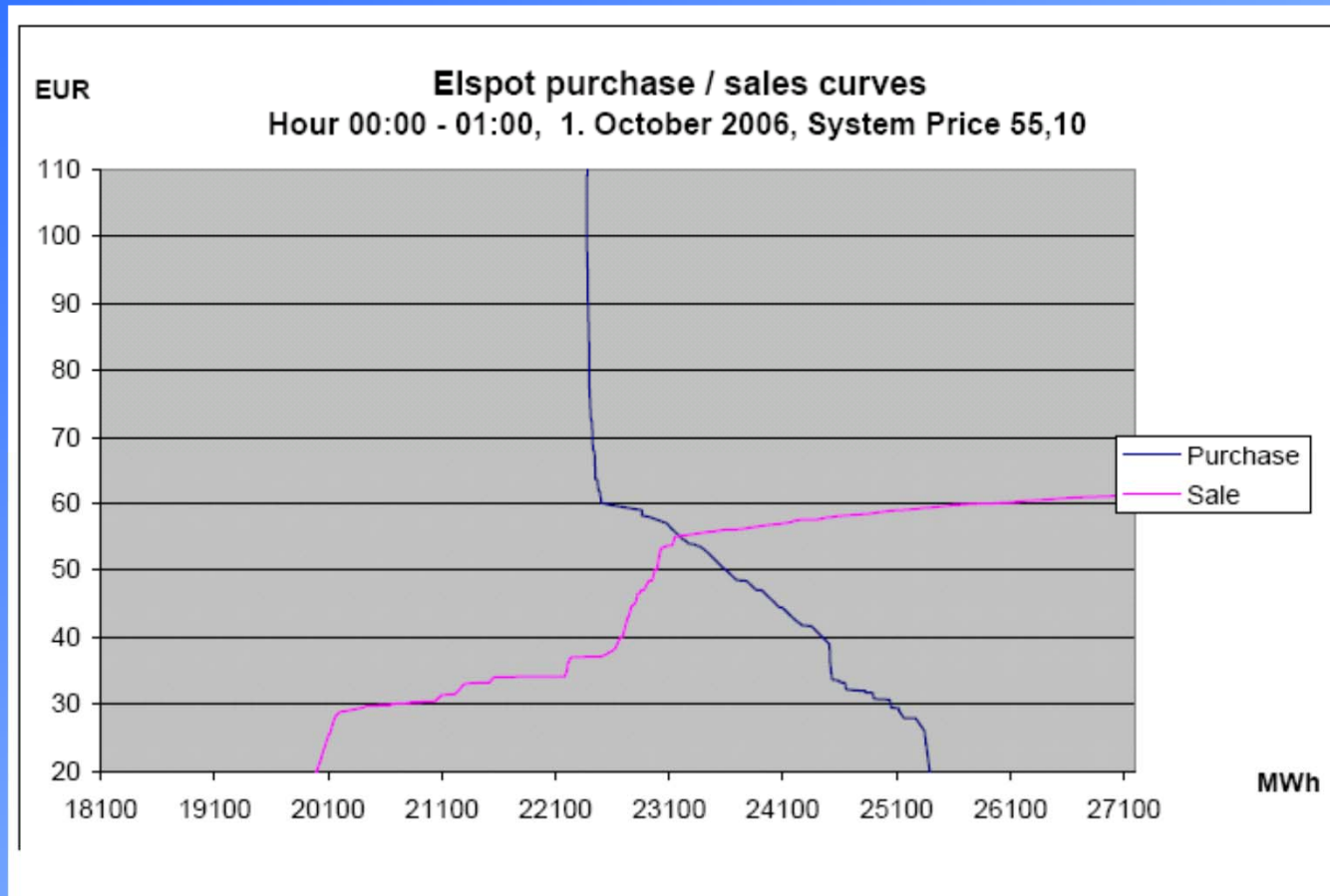
Voimalaitoskapasiteetin suunnittelussa on käytettävissä useita vaihtoehtoisia voimalaitostyyppisiä, joilla on erilaiset kustannusrakenteet. Kunkin teho-osuus määrätään edellä esitetyn periaatteen mukaan niin, että kokonaiskustannus tulee mahdollisimman pieneksi.

Hinnanmuodostus Pohjoismaiden markkinoilla

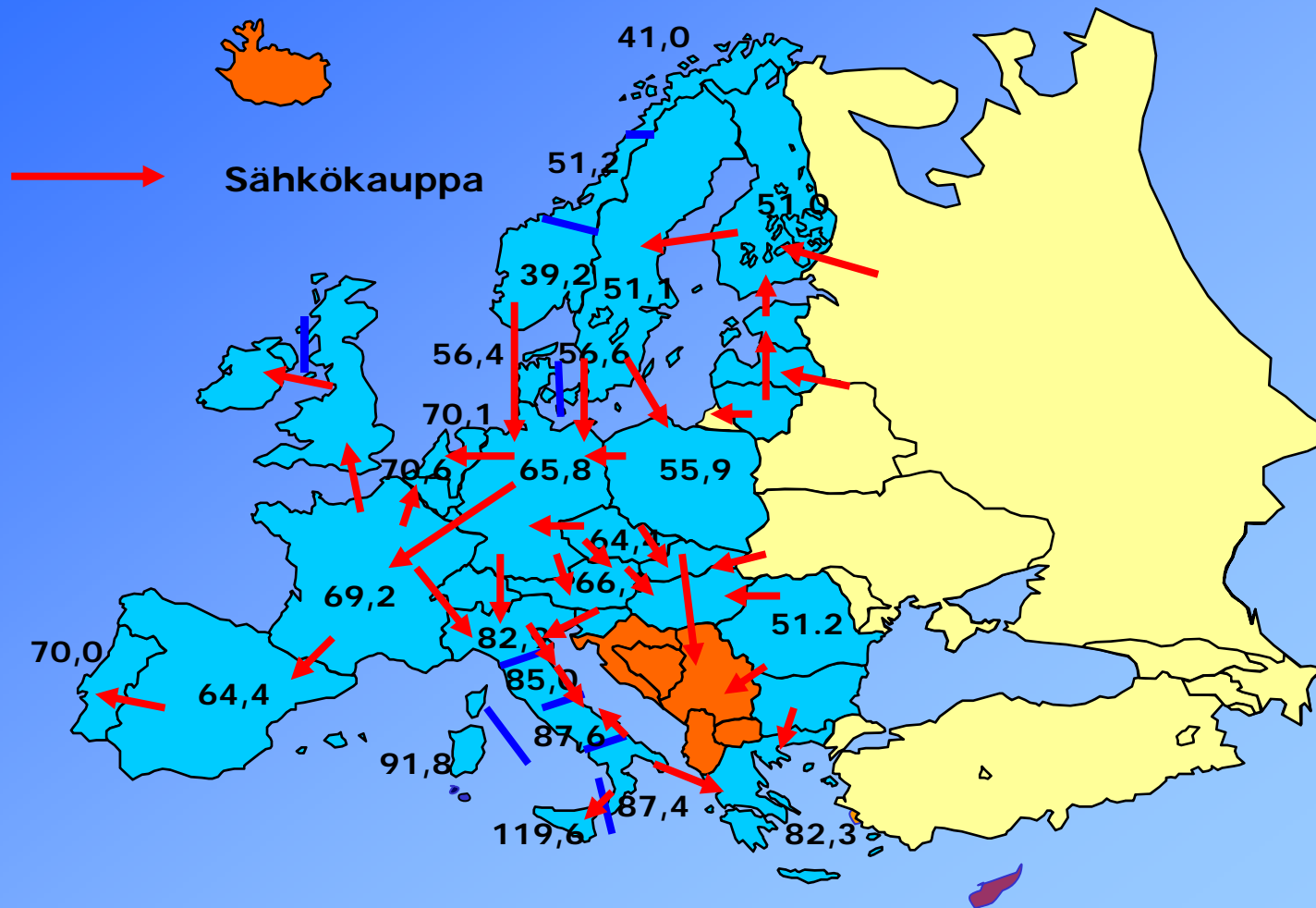


SOURCE: Federation of Finnish Technology industries

Hinnanmuodostus: Nord pool spot

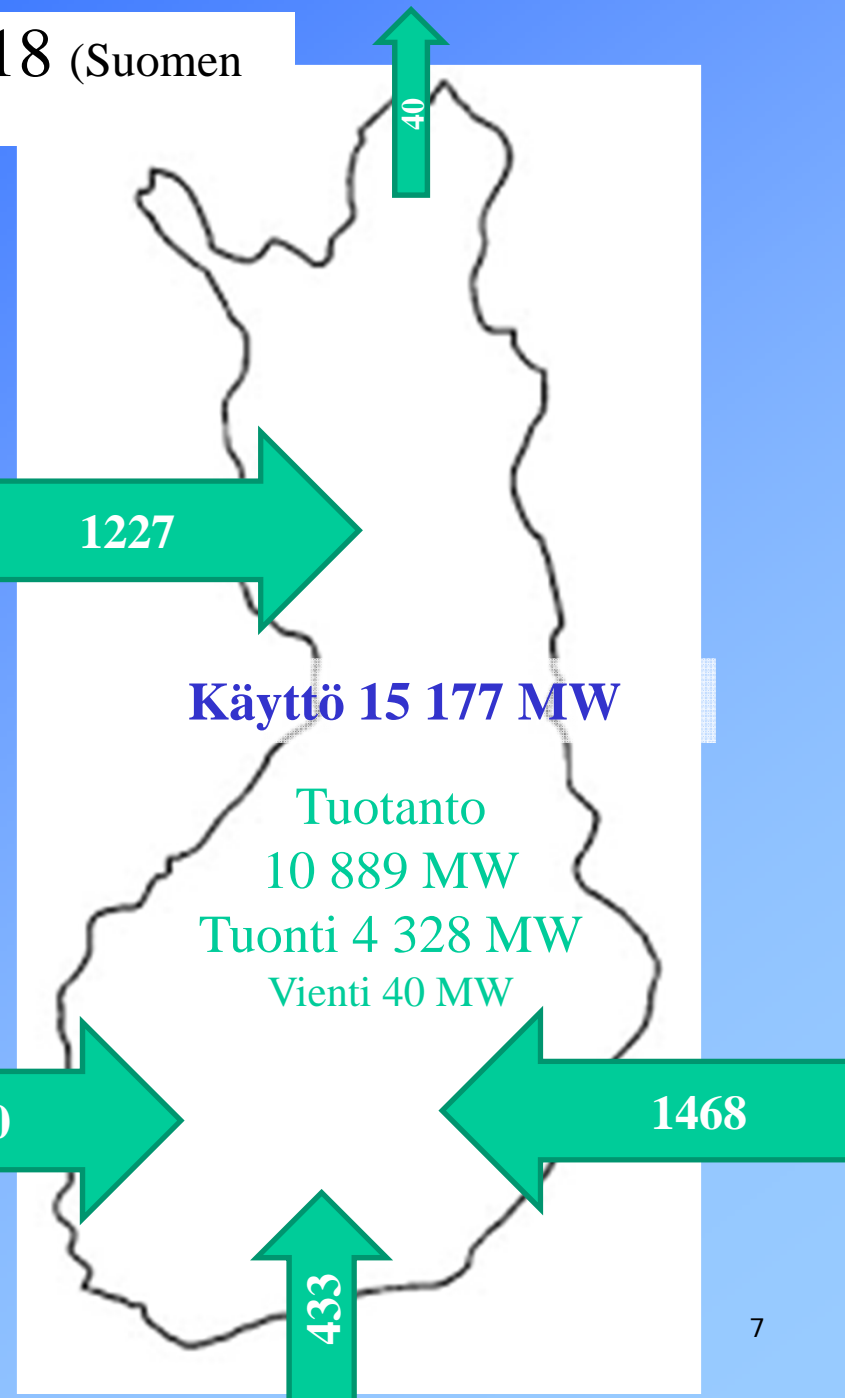
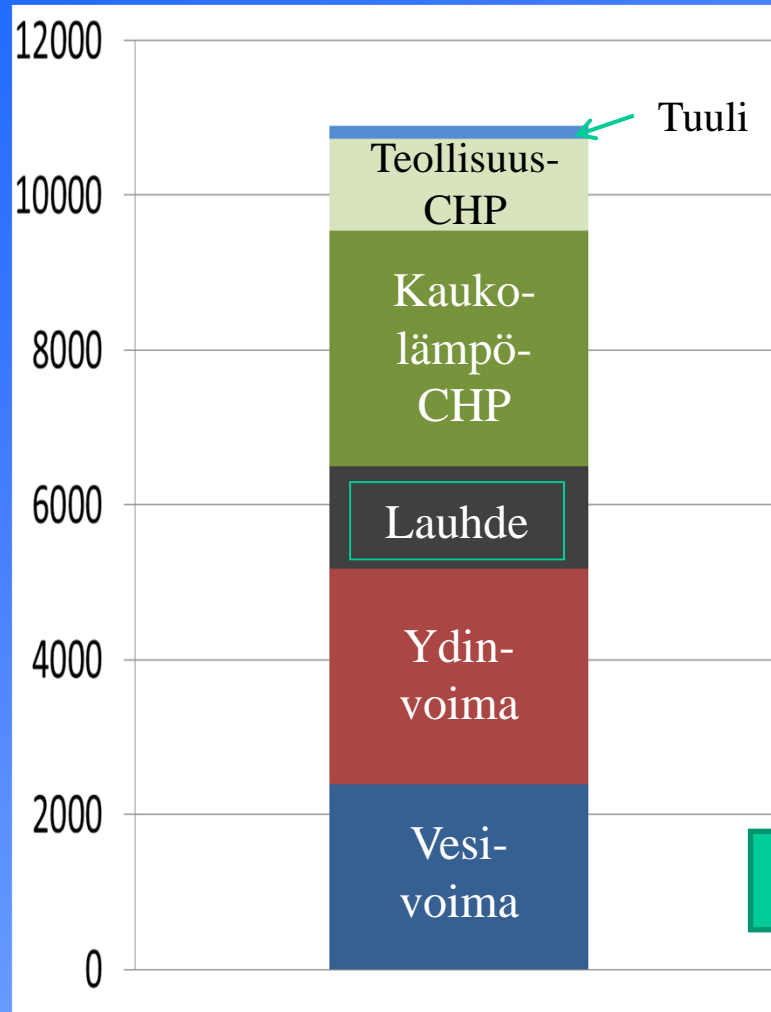


Keskimääräinen spot-hinta (€) Euroopassa (2008)



Sähkön käyttö 7.1.2016 klo 17-18 (Suomen ennätyksellinen huippukäyttö)

Tuotanto 10 889 MW



23.1.2017

Toimivat sähkömarkkinat

= markkinasäännöt + riittävä siirtokapasiteetti

Käyttöjärjestelmä: markkinasäännöt

- Eurooppalainen markkinamalli: "näkymätön käsi"
- Siirtokapasiteetin tehokas käyttö

Tarvitaan yhteis-
eurooppalaiset
pelisäännöt

Hardware: siirtokapasiteetti

- Pullonkaulojen vähentäminen
- Hintakonvergenssi

Suunniteltava
riittävä siirto-
kapasiteetti
tulevaisuuden
tarpeisiin

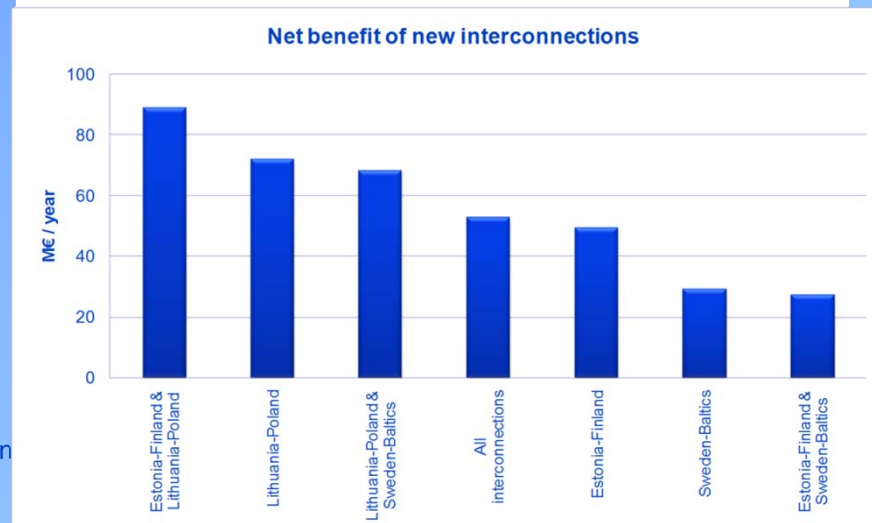
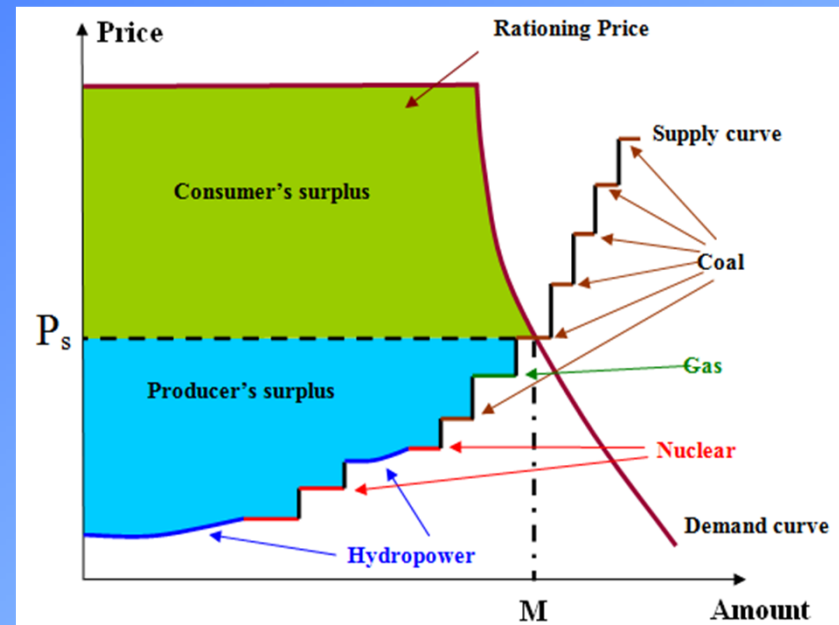
ENTSO-E Ten Year Network Development Plan
2012: 100 miljardia euroa

Sähkötörkkinat ja sähkön siirto



Siirtoverkkoinvestointien kansantaloudellisten hyötyjen arviointi

- Suunnittelualueen markkinahyödyt analysoidaan ilman investointia ja sen kanssa:
 - tuottajahyöty
 - kuluttajahyöty
 - pullonkaulatulot
 - verkkohäviöt.
- Jotkut muutoksista negatiivisia, jotkut positiivisia.
- Hyötyjen laskemiseksi tarvittavat siirtojen pysyvyydet ja pullonkaulatunnit saadaan selville markkinasimuloinnein.



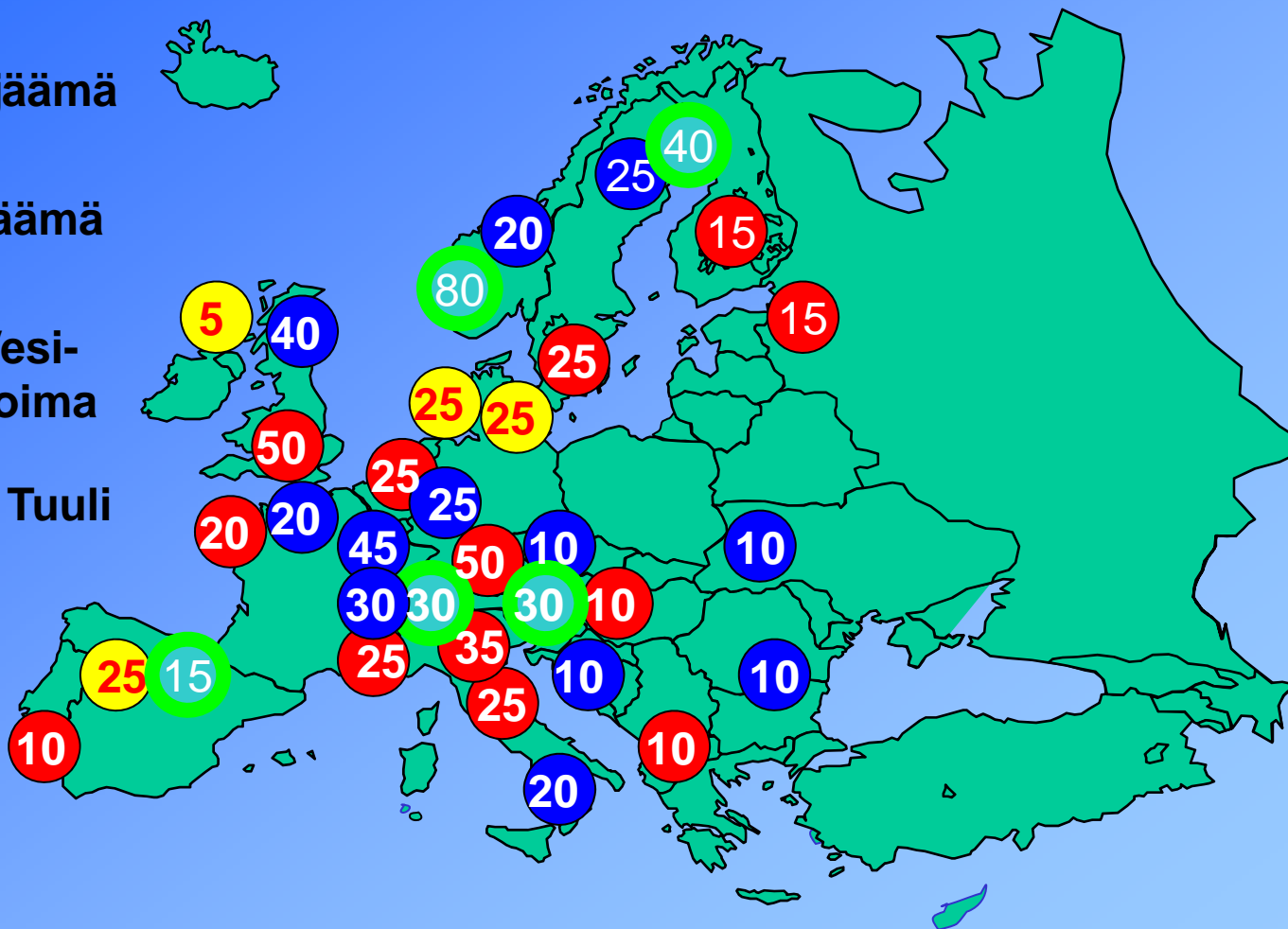
Tuotanto alueittain Euroopassa (2008)

TWh Ylijäämä

TWh Alijäämä

TWh Vesi-voima

TWh Tuuli



Tehotasapaino käyttötunnilla ylläpidetään reservein ja säätösähkömarkkinoiden avulla



Uusiutuva energia Euroopan Unionissa 2013

Tuulivoima

Saksa	34 000 MW
Espanja	22 800 MW
Italia	8 100 MW
Ranska	8 100 MW
Iso-Britannia	6 500 MW
Tanska	4 800 MW
Suomi	400 MW

Osuus

- Euroopan tuotantokapasiteetista 10%
- Euroopassa tuotetusta sähköstä 6%

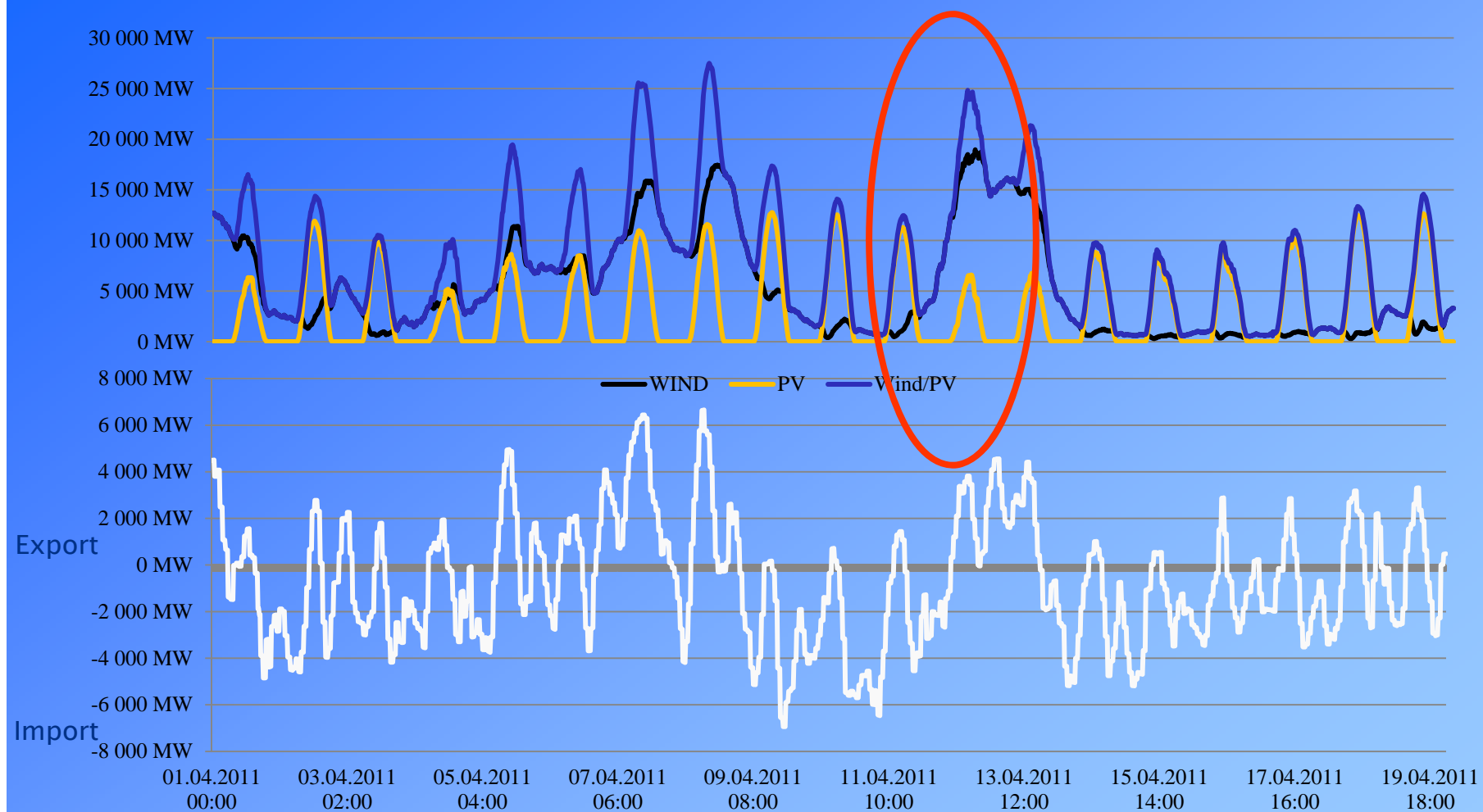
Aurinkovoima (PV)

Saksa	36 900 MW
Italia	16 400 MW
Espanja	6 900 MW
Suomi	0 MW

Osuus

- Euroopan tuotantokapasiteetista 7 %
- Euroopassa tuotetusta sähköstä 2 %

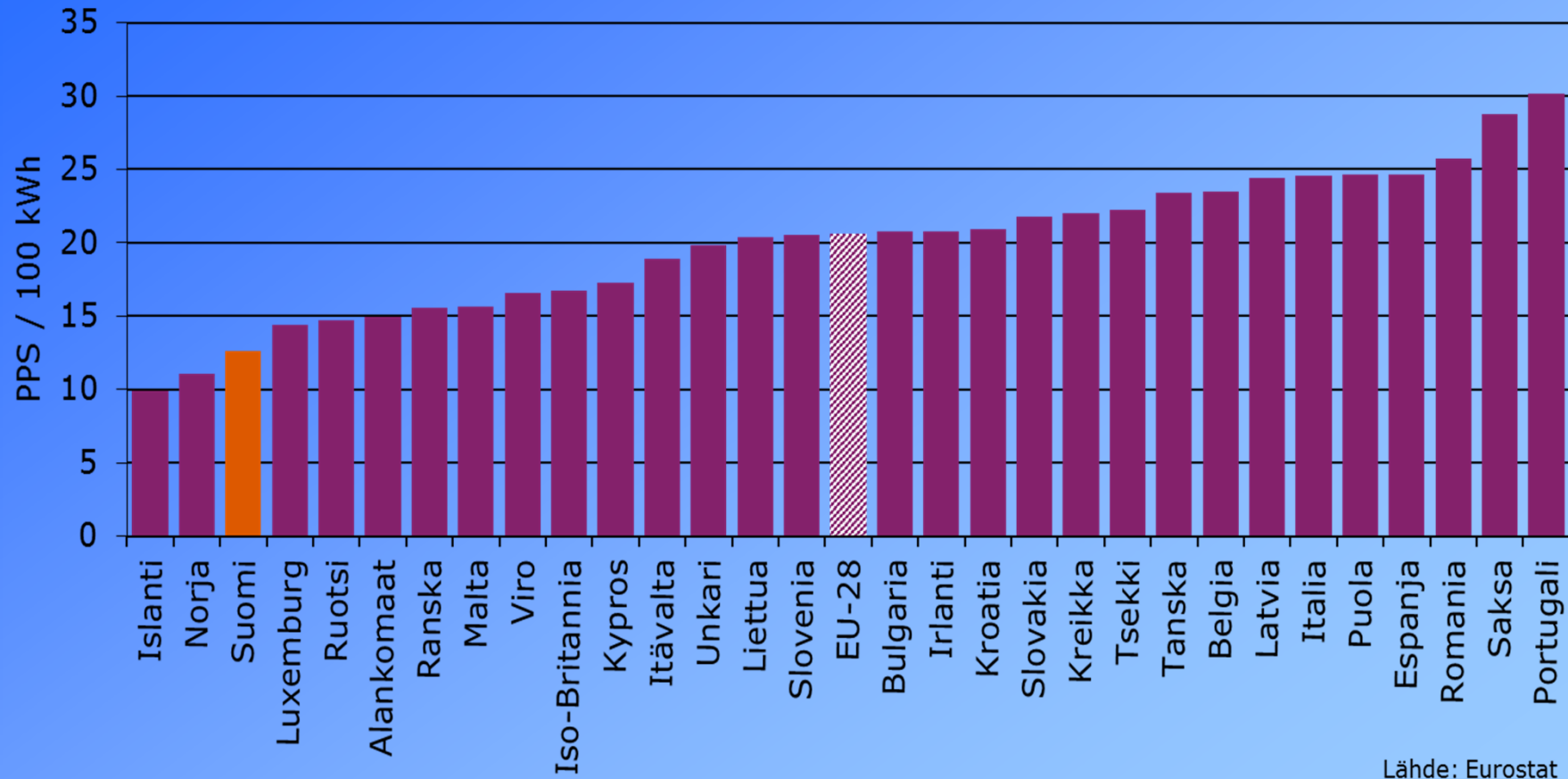
Haasteena tuuli- ja aurinkosähkön nopeat muutokset



Ostovoimaan suhteutettuna sähkö on Suomessa EU:n halvinta kotitalouksille

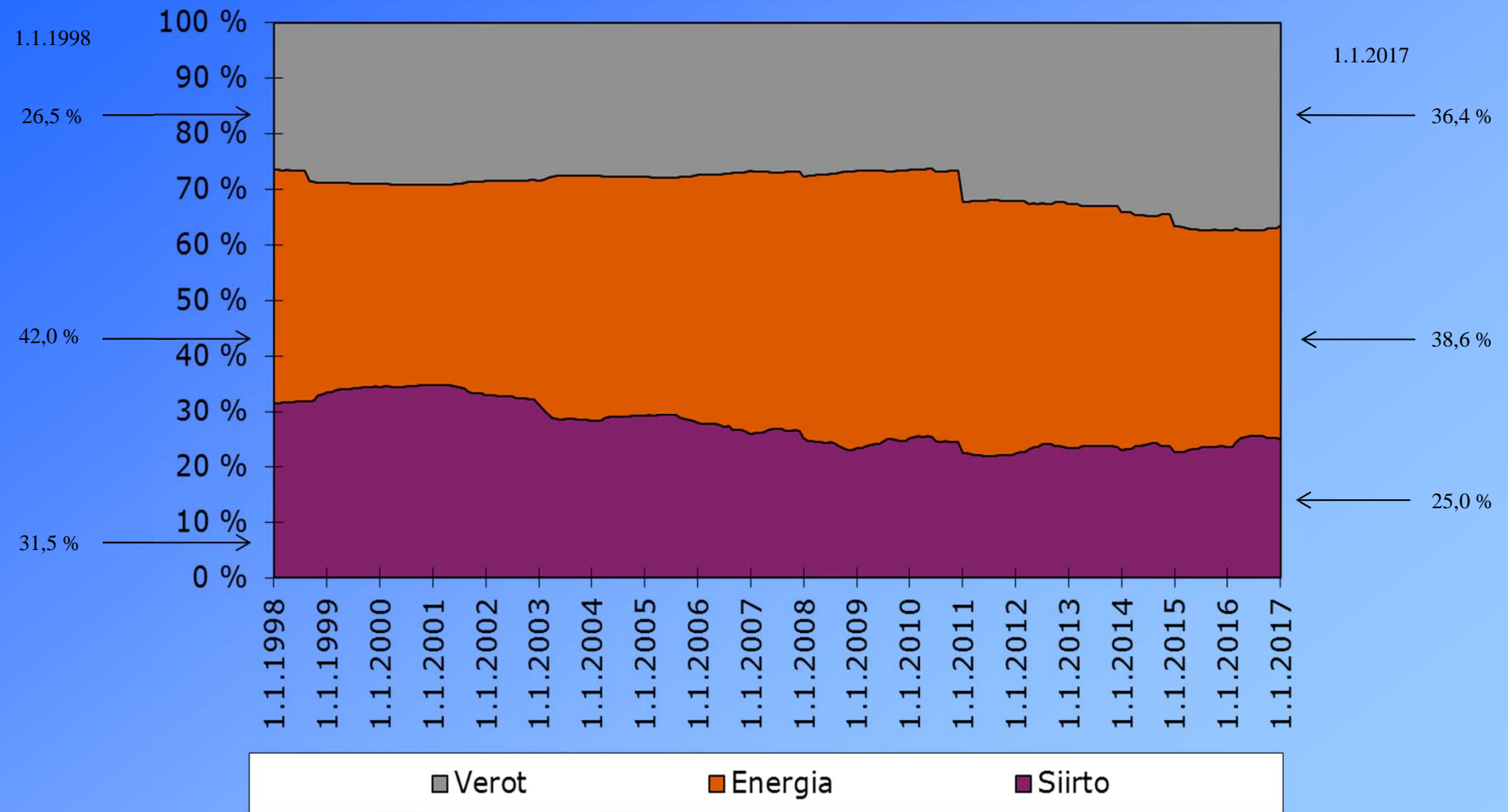
Kotitaloussähkön verollinen kokonaishinta (kulutus 2500-5000 kWh vuodessa)

1. puolivuotiskausi 2016, EU-maat + Islanti ja Norja



Lähde: Eurostat

Lämmitysasiakkaan sähkön hintaosuuksien kehitys (kulutus 18 000 kWh/vuosi)



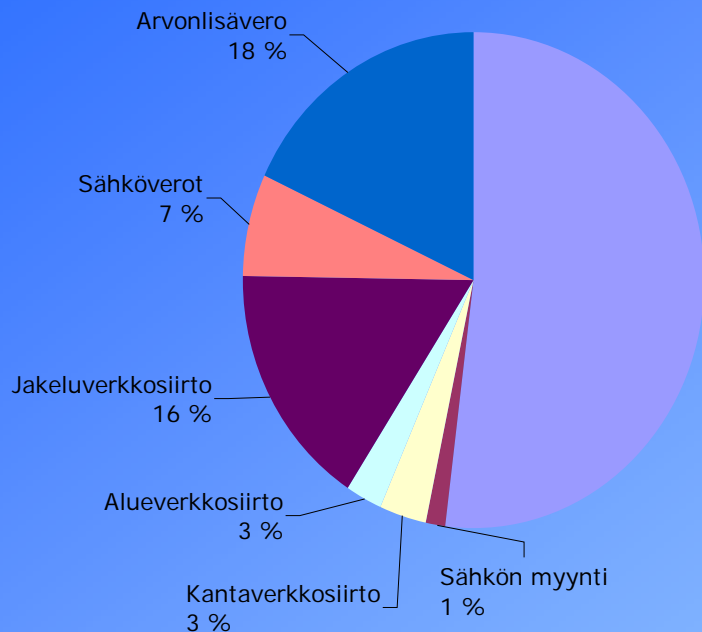
23.1.2017

Lähde: Energiavirasto

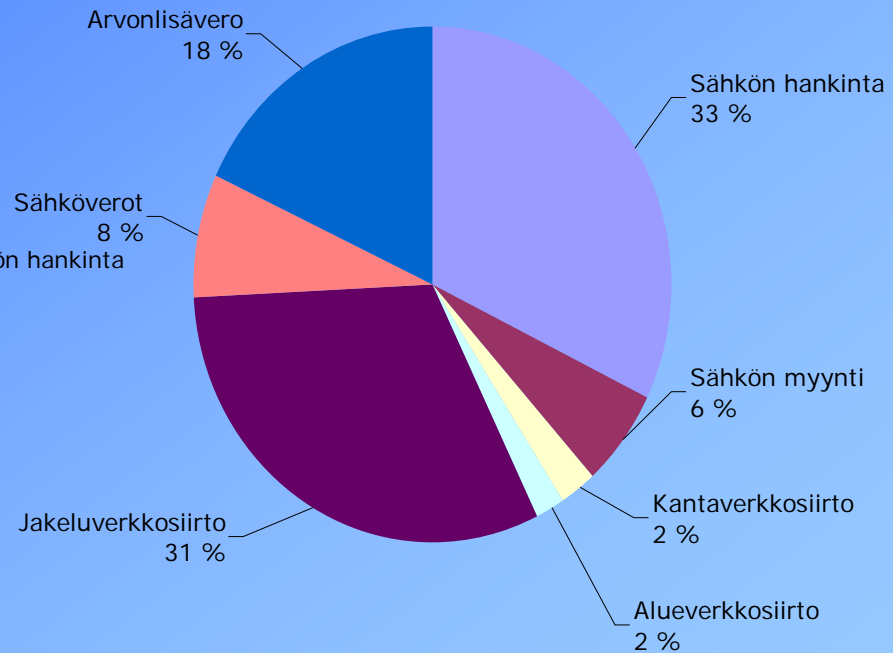
17

Hintakehitys

Keskisuuren teollisuusasiakkaan sähkön hinnan muodostuminen 1.6.2006 (7,19 snt/kWh)

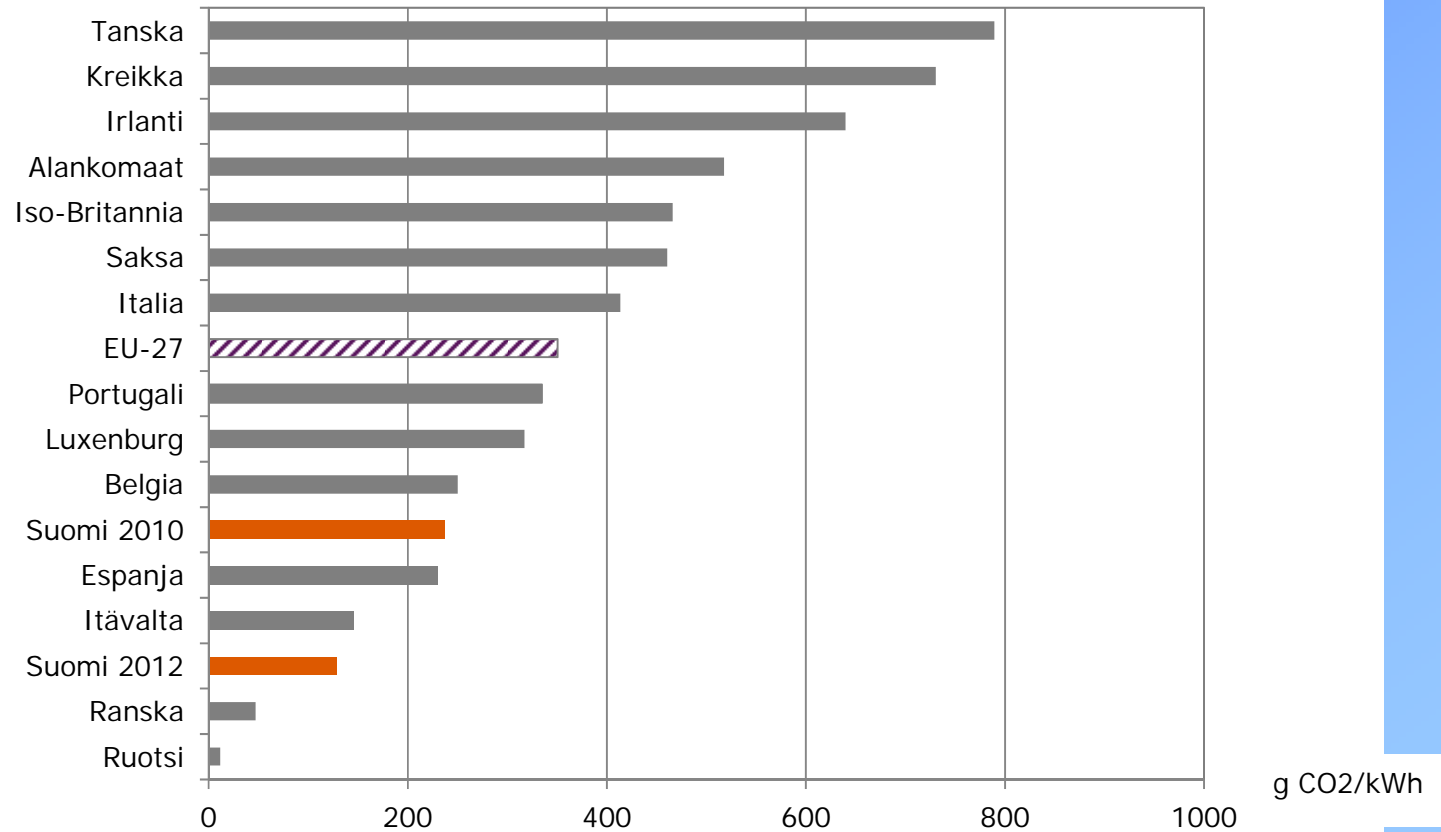


Kotitalousasiakkaan sähkön hinnan muodostuminen 1.6.2006 (10,06 snt/kWh)



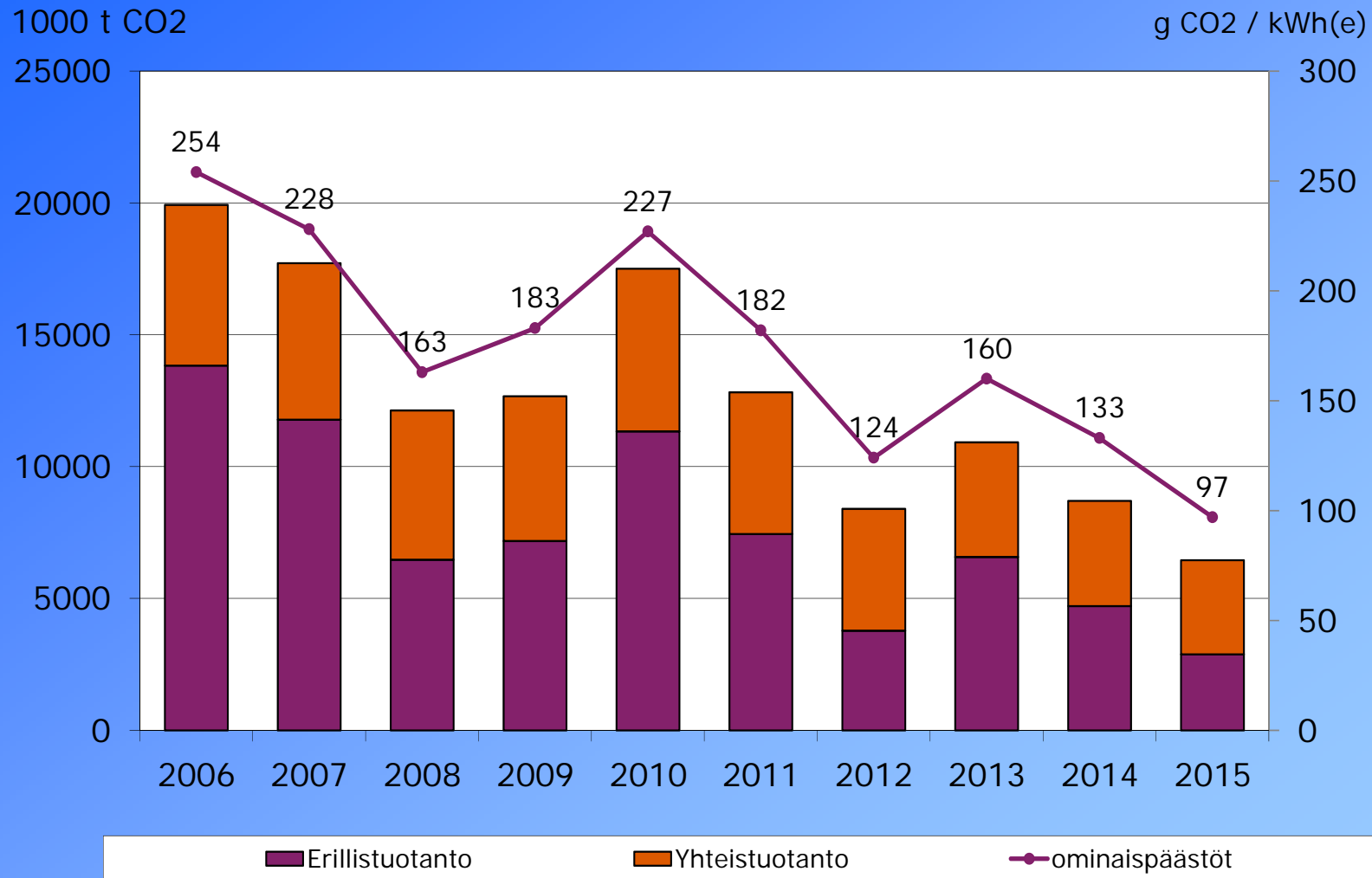
(Lähde: www.energiamarkkinavirasto.fi)

Sähkön tuotannon ominais CO₂-päästöt eräissä EU-maissa v. 2010

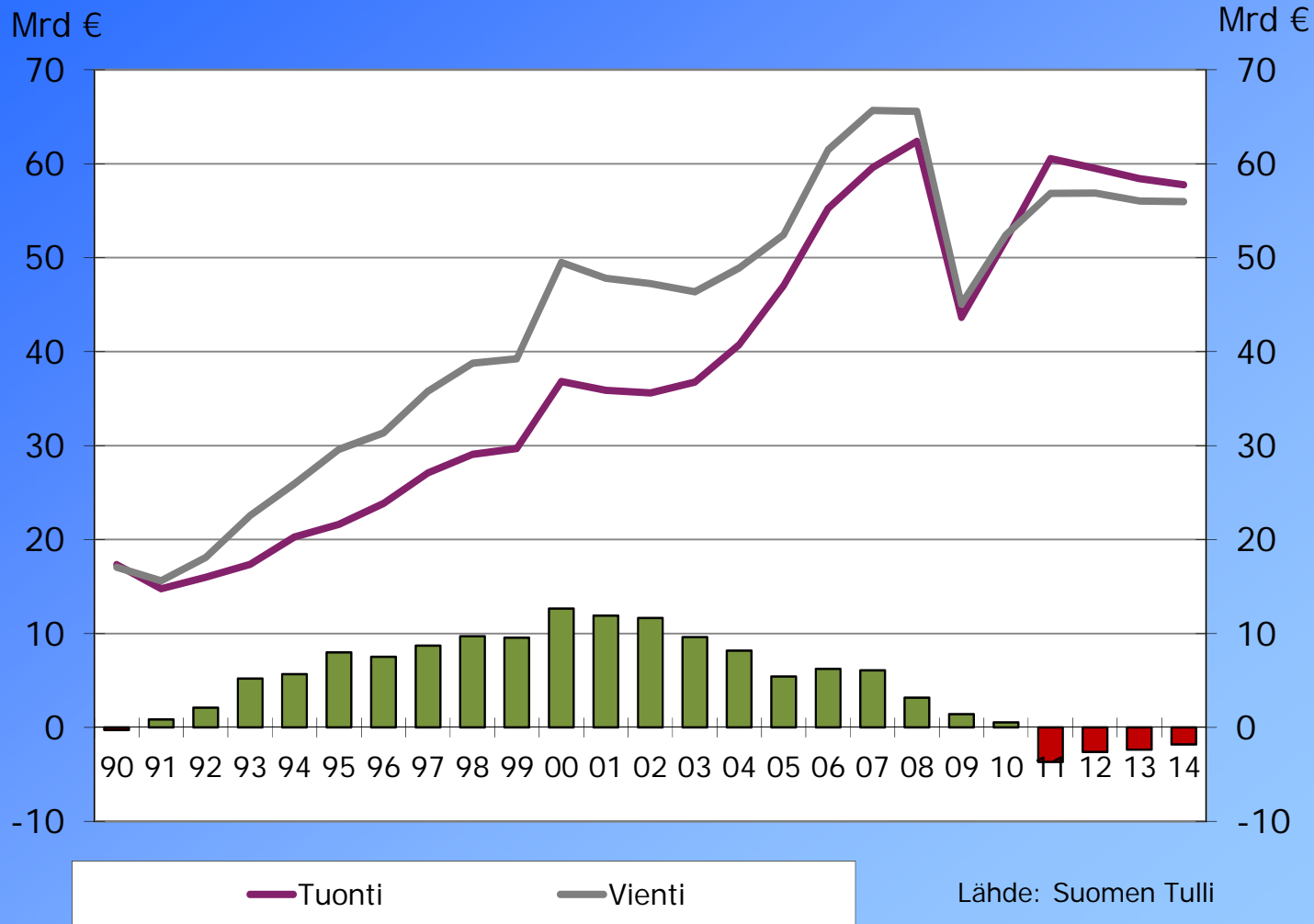


Lähde: Eurelectric, Power Statistics 2010, tiedot arvioita

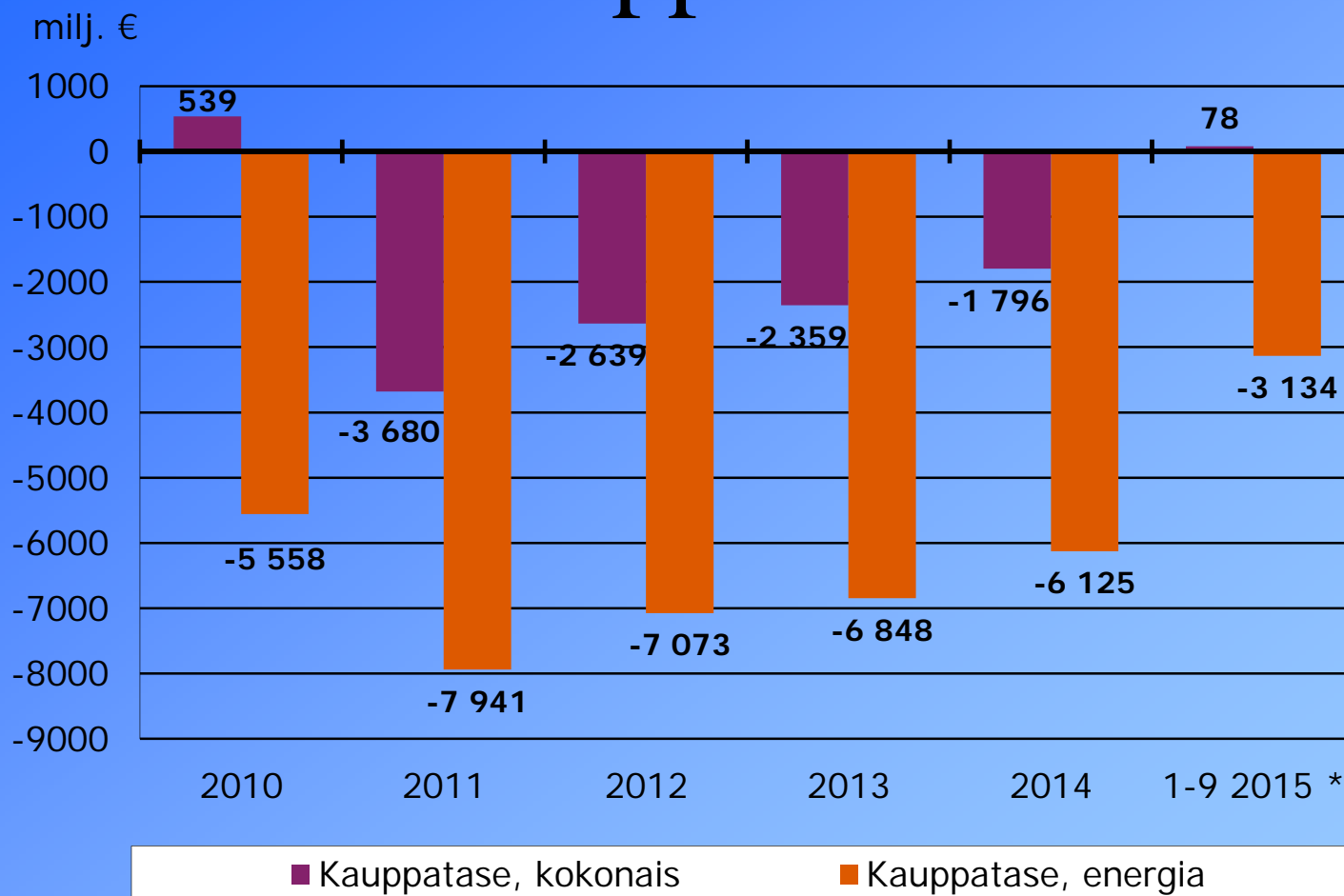
Sähköntuotannon CO₂-päästöt vuosittain



Tuonti, vienti ja kauppataase



Suomen kauppataase ja energian kauppataase



- Energian tuonnin arvo n. 18 % kokonaistuonnin arvosta
 - Energian viennin arvo n. 9 % kokonaisviennin arvosta

Lähde: Tulli, Ulkomaankauppatilasto
 *ennakkotieto

Sähkömarkkinat, toiminnot

Sähkön siirto

- keskittynyt yhteen kantaverkkoyhtiöön
- sähkömarkkinoiden takaaja, markkinapaikka, ei asiakaskohtaista kustannusvastaavuutta
- liiketoiminta-alueena marginaalinen alue, < 0,5 snt/kWh

Sähkön jakelu

- monopoliasema korostuu, säädetty monopoli
 - muuttunut todelliseksi liiketoiminnaksi
 - kohtuullisen tuoton periaate
- liiketoiminta-alueena erittäin merkittävä, 2-4 snt/kWh
- säilynee vahvasti hajautettuna liiketoiminta-alueena, vaikka onkin suuren mielenkiinnon kohteena
 - liiketoimintojen segmentointi

Sähkön tuotanto

- kysyntä vakaata
- kilpailu kiristynyt, pohjoismaiset ja eurooppalaiset markkinat
 - sopimukset lyhentyneet
 - riskit kasvavat
- ympäristötekijät arvaamattomat, ympäristöverot, päästöraajat
- liiketoimintojen segmentointi

Sähkökauppa

- kilpailtu liiketoiminta-alue
- hinnan ja markkinoinnin rooli korostuu
 - pieni kate, merkittävät riskit, riskien hallinta
- edelleen Suomessa paljon toimijoita, keskittyminen kuitenkin jatkuvaa

Toiminnot

Sähkön siirto ja jakelu



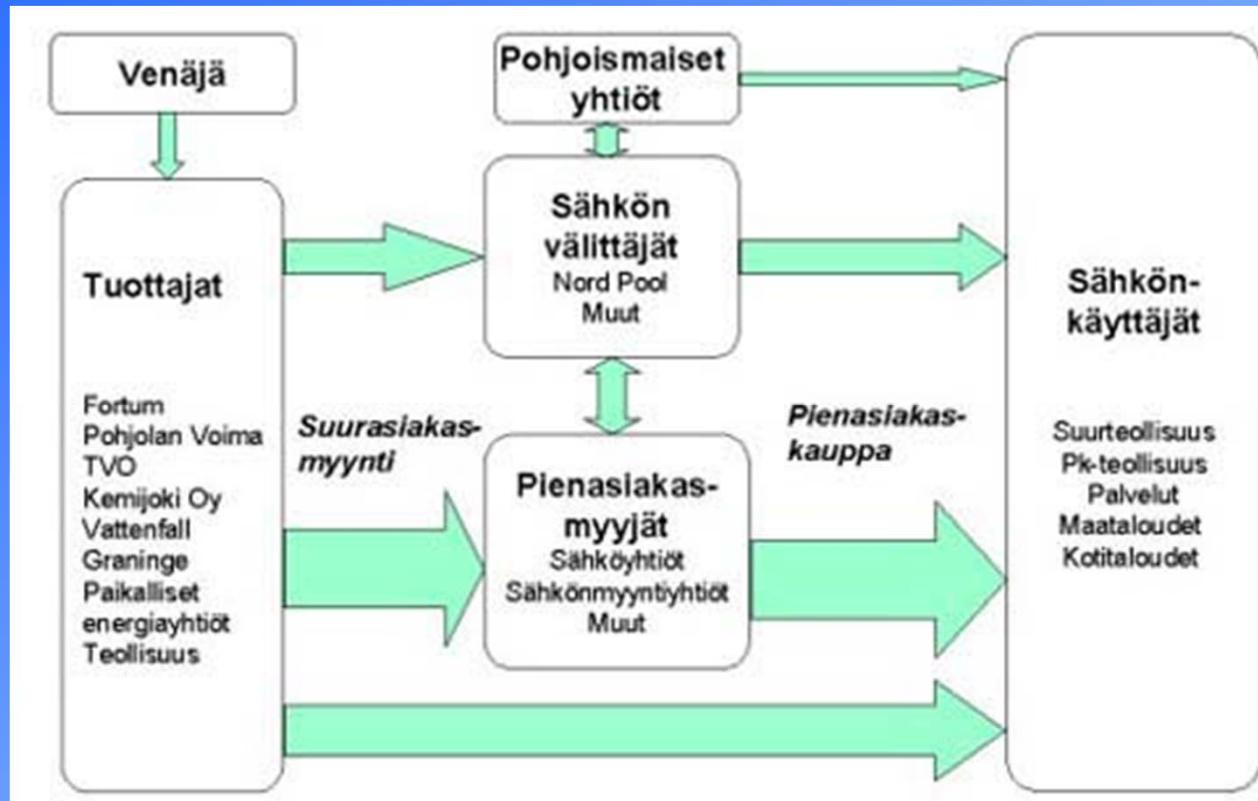
Sähköverkoille, jotka ovat luonteeltaan **monopoleja**, on asetettu selkeät pelisäännöt: verkonhaltijoiden on avattava verkkonsa kaikkien halukkaiden käyttöön asianmukaista korvausta vastaan. Näin sähköverkoista on muodostunut markkinapaikka, joka palvelee tasapuolisesti sähkökaupan osapuolia.

Koko maan kattavan **kantaverkkoyhtiö** Fingrid Oyj omistaa myös maan rahojen yli menevät johdot. Alue- ja jakeluverkkotoiminnasta vastaavat puolestaan runsas sata sähköyhtiötä, joilla on viranomaisten myöntämä verkkolupa.

Sähkön siirron ns. **pistehinnoittelun** mukaisesti käyttäjä voi hankkia tarvitsemansa sähkön vapaasti mistä tahansa Suomen alueelta. Käyttäjä maksaa sähkön hinnan ohella liittymispisteessään maksun, joka kattaa koko siirtoketjun ilman muita siirtomaksuja. Tuottaja voi syöttää sähköä verkkoon samoin periaattein. Verkon ylläpito, käyttö ja kehittäminen ovat verkonhaltijan tehtäviä.

Toiminnot

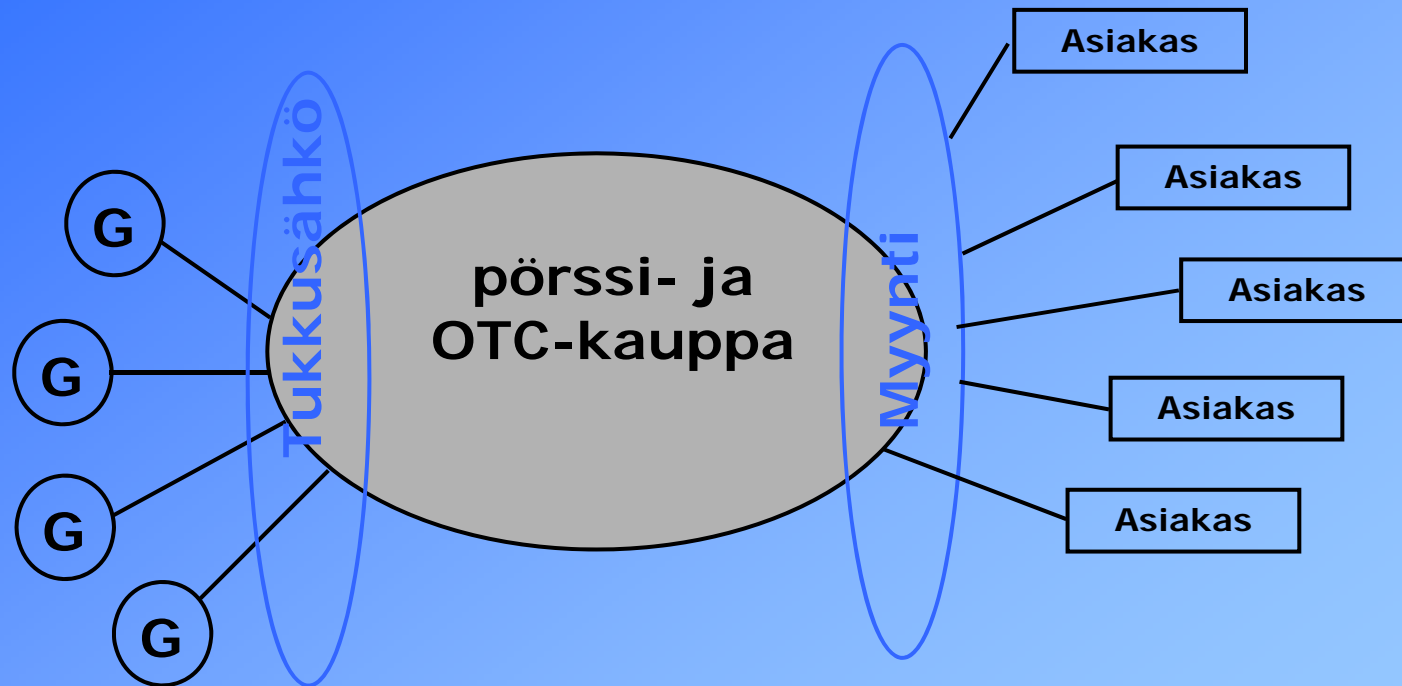
Sähkön myynti



Sähkön suurimmat tukkumyyjät ovat Fortum ja Vattenfall.
Ne myyvät sähköä suurasiaakkaille ja sähkön vähittäismyyjille.
(Tuottajien nimiluettelo hiukan vanhentunut)

Toiminnot

Tukkusähkö- ja vähittäismyyntimarkkinat



Sähkön hintataso määräytyy pääosin tukkusähkömarkkinoilla

G = sähkön tuottaja

Asiakas = sähkön käyttäjä

Sähkömarkkinat

- Sähkömarkkinoiden valvonta

Energiamarkkinavirasto

(entinen Sähkömarkkinakeskus)

- perustettu huhtikuussa 1995
- kauppaja- ja teollisuusministeriön hallinnonalalla
- itsenäinen asiantuntijavirasto, valitustie korkein hallinto-oikeus
- rahoitus lupa- ja budjettimaksuilla

Muita viranomaisia

- TEM Energiaosasto
- Kilpailuvirasto ja markkinaoikeus
 - TUKES
 - Kuluttajaviranomaiset
 - Rahoitustarkastus ja VM

Energiamarkkinaviraston tehtävät

- Valvoo sähkömarkkinalain noudattamista
 - Edistää sähkömarkkinoiden toimintaa
 - Myöntää toimiluvat verkkotoimintaan ja rakentamisluvat 110 kV johdoille
 - Valvoo lupaehtojen noudattamista
 - Valvoo sähköverkkotoimintaa ja verkkopalvelumaksujen kohtuullisuutta
- Valvoo sähkön myyntiä ns. toimitusvelvollisille
- Kerää ja julkaisee valvontaan liittyviä tietoja



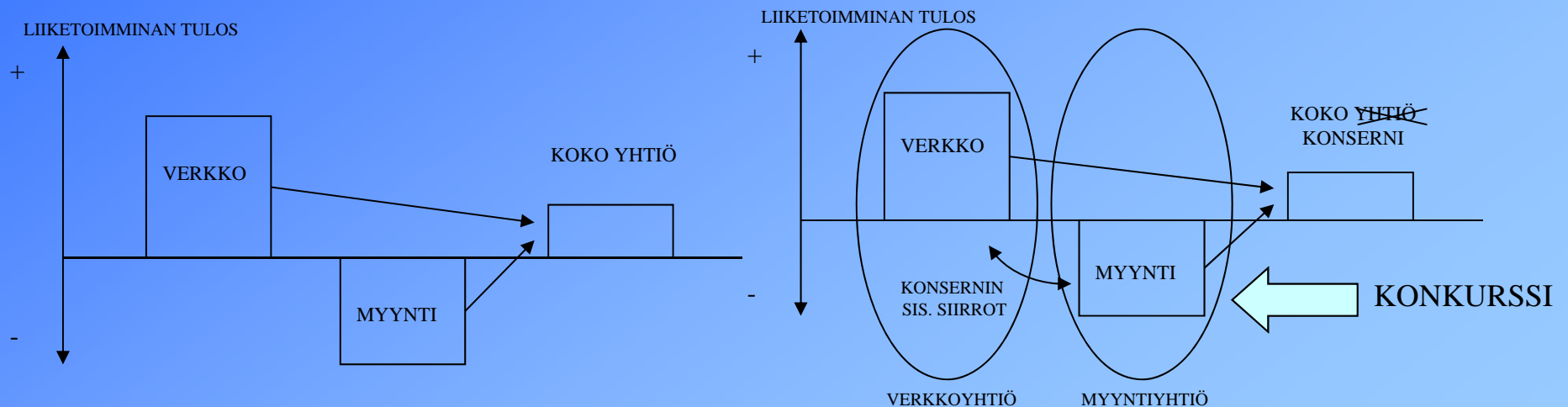
Sähkömarkkinat

- Mahdollisia kilpailun esteitä

Verkkopalvelujen hinnoittelu ja hintojen väärinkäyttö

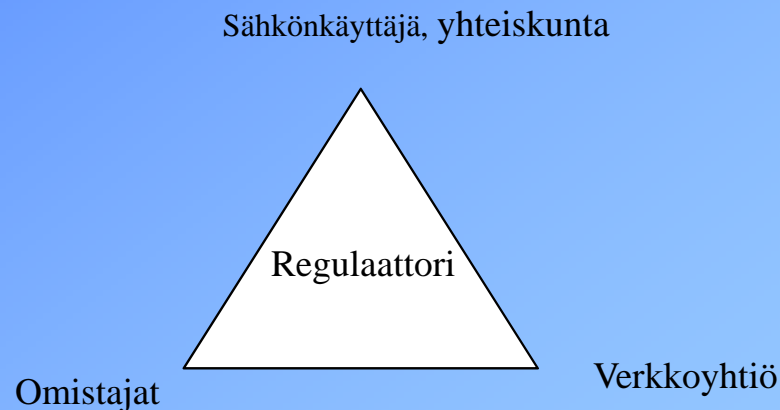
- tasapuolisuus ja syrjimättömyys
- kohtuullisuus
- pistehinnoittelu

Verkkopalvelujen hintojen väärinkäyttö Väärinkäytön estäminen yhtiöittämällä



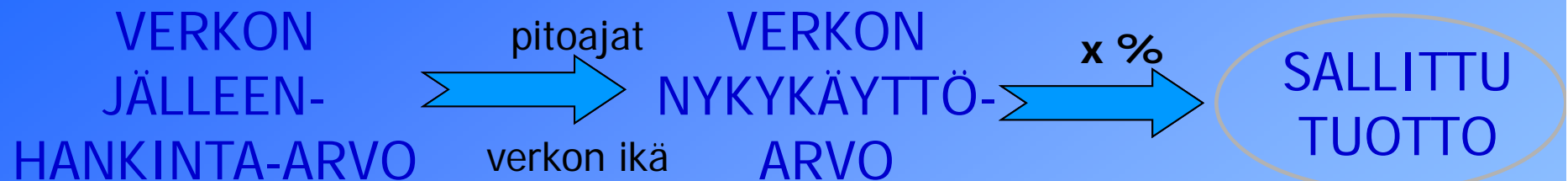
Sähköverkkoliiketoiminnan sääntely

- Sähköverkkoliiketoiminta on monopolitoimintaa, jossa omistajilla on voitto-odotuksia. Sähkönkäyttäjillä eli asiakkaila on toive hyvälaatuisesta kohtuullisen hintaisesta sähköstä. Monopolimarkkinoilla ei ole markkinoiden tuomaa painetta toiminnan tehokkuuteen ja hyvän laatuun. Sähkömarkkinaviranomaisilla tehtävänä on toimia yhteiskunnan eli asiakkaiden äänenä verkkoyhtiöiden ja niiden omistajien suuntaan. Viranomaisen pyrkii toiminnallaan luomaan toimintaympäristön, jossa osa verkkoyhtiön toiminnoista toteutetaan avoimilla markkinoilla ja jossa määräyksin ja ohjein kannustetaan yhtiöitä tehokkaaseen toimintaan.



Verkkoliiketoiminnan sääntely

Sallitun tuoton vertaaminen laskennalliseen



Verkkoliiketoiminnan
tuoton laskenta:

Tulot

- **operatiiviset kulut** (yleinen tehostamisvelvoite)
- **investoinnit** (tasapoistot)

Tuotto

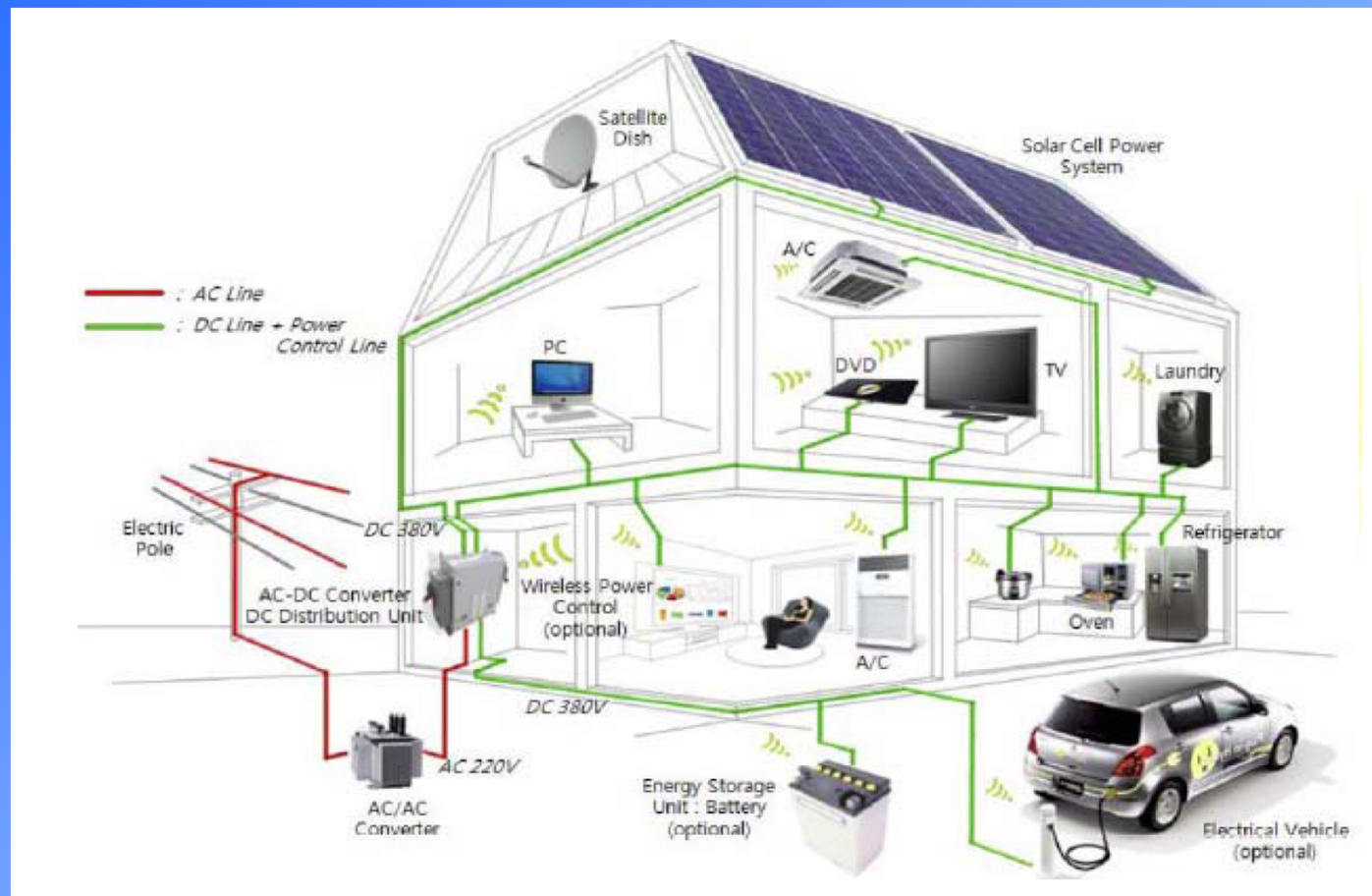
Verkkoliiketoiminnan sääntely

- Sallittu tuotto määritetään pääpiirteittäin seuraavasti:
 1. Lasketaan verkon jälleenhankinta-arvo = yksikkömäärät*yksikköhinnat
(EMV määrittelee yksikköhinnat)
 2. Määritetään verkon nykykäyttöarvo = $(1 - \text{ikä} / \text{pitoaika}) * \text{jälleenhankinta-arvo} - \text{liittymismaksut}$.
 3. Nykykäyttöarvoa käytetään pääomana, jolle lasketaan sallittu tuotto; tuotto prosentit määritetään erikseen omalle ja vieraalle pääomalle, 1. jaksolla oman/vieraan suhde on 70/30

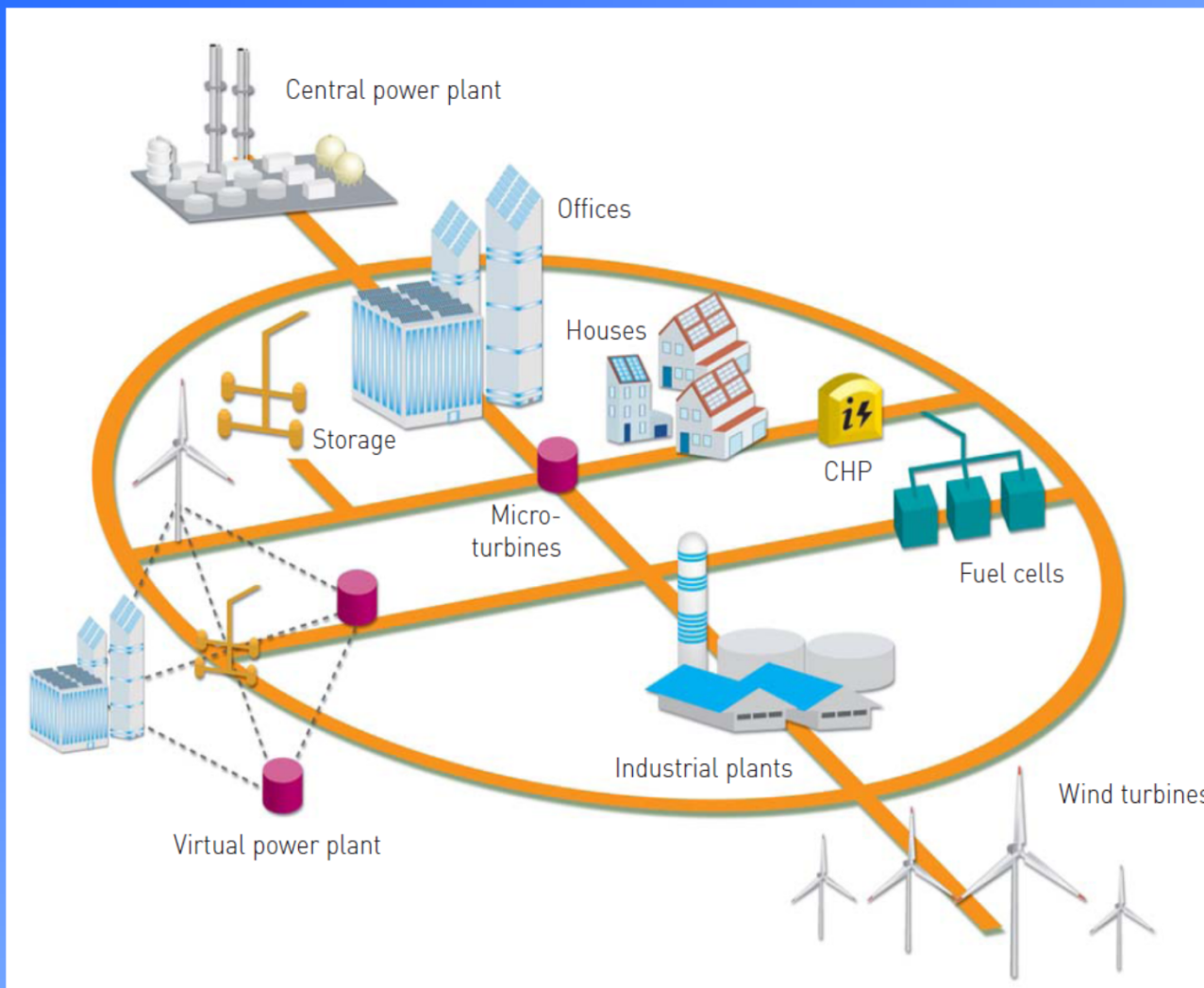
Verkkoliiketoiminnan sääntely



Tulevaisuuden talon DC verkot



Alykäs sähköverkko (Smart Grid) integroi energialähteet Ja ohjattavat kuormat sekä energiavarastot



Source: European technology platform (ETP)

Smart Grid tehon tasapainottamisessa ja energian tehokkaassa käytössä

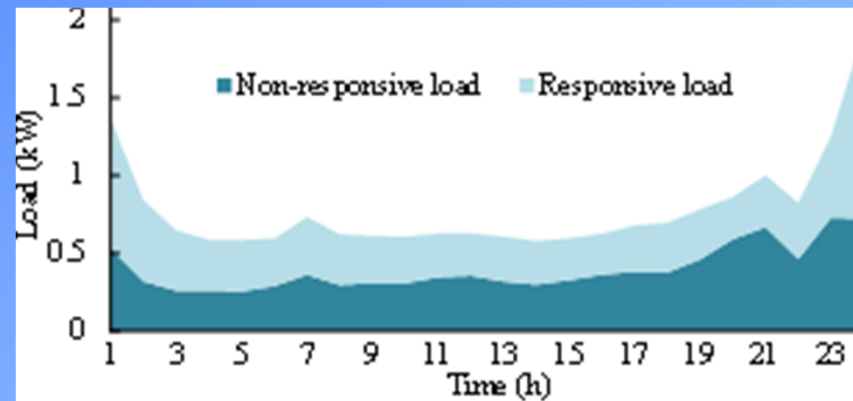
- Paikallinen tuotanto
 - Paikallinen tuuli ja aurinkovoima huonoa säädön kannalta
 - Paikallinen yhdistetty sähkön ja lämmön tuotanto joka perustuu biopolttoaineisiin (kaasuun ?) – hyvä säätöpotentiaali
- Energiavarastot
 - Lämpövarastot
 - Akut ja sähköautot
- Kysynnän jousto (DR)
 - Merkittävä osa kuormasta voi osallistua
 - Kuorman tasapainottaminen & häiriöreservi
- Energian käytön seuranta ja ohjaus
 - Energian käytön reaaliaikainen mittaus
 - Energiatehokkuutta palvelevat ohjaukset

Kysynnän jousto (DR, Demand Response)

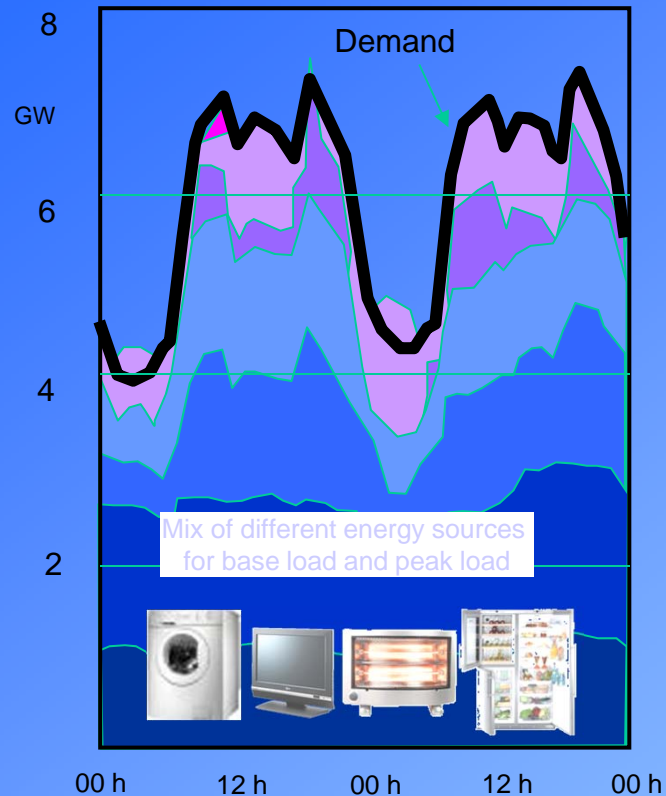
Kotitalouden kuormista noin 50 % on joustavia ajan suhteen

- Tämä vastaa 10–20% muutosta huipputehoissa
- Kysynnän jousto tasapainottaa uusiutuvan tuotannon vaihtelua

Sähköautojen lataamisesta
Odotetaan myös 10-20 %
Kysyntäjouston potentiaalia



Tasapainon hallinta ja hajautetut resurssit



- Sähköntarve vaihtelee vuorokaudenajan viikonpäivän ja vuodenajan mukaan
- Samoin vaihtelee uusiutuva tuotanto
- Tehon riittävyyden varmistamiseksi tarvitaan reservejä sekä tuotanti että kulutuspäässä
- Kysynnän jousto tuskin riittää kattamaan kaikkea tasapainotustarvetta ↔ energian varastointi tulee tärkeämmäksi
- Monilla kulutuskojeilla voi olla kyky lyhytaikaiseen tasapainon säätöön (15 min) ilman että niin toiminnallisuus heikkenee
- Tuntitason joustoa esimerkiksi lämmitys- ja jäähdytyskuormilla

Tulevaisuuden energiajärjestelmä on sekoitus monia erilaisia resursseja ja ohjattavia kuormia sekä varastoja

Sähköauton lataaminen

Publicerad 2009-05-05 13:30  Skriv ut  Skicka



De första 100 stolparna i Stockholm ska börja ställas ut i Ropsten och Bromma.

SÄHKÖAUTOT



Toyota Prius PHEV



Volt GM/Chevrolet



Tesla Roadster



Think City



ReCharge Volvo



iMiev Mitsubishi

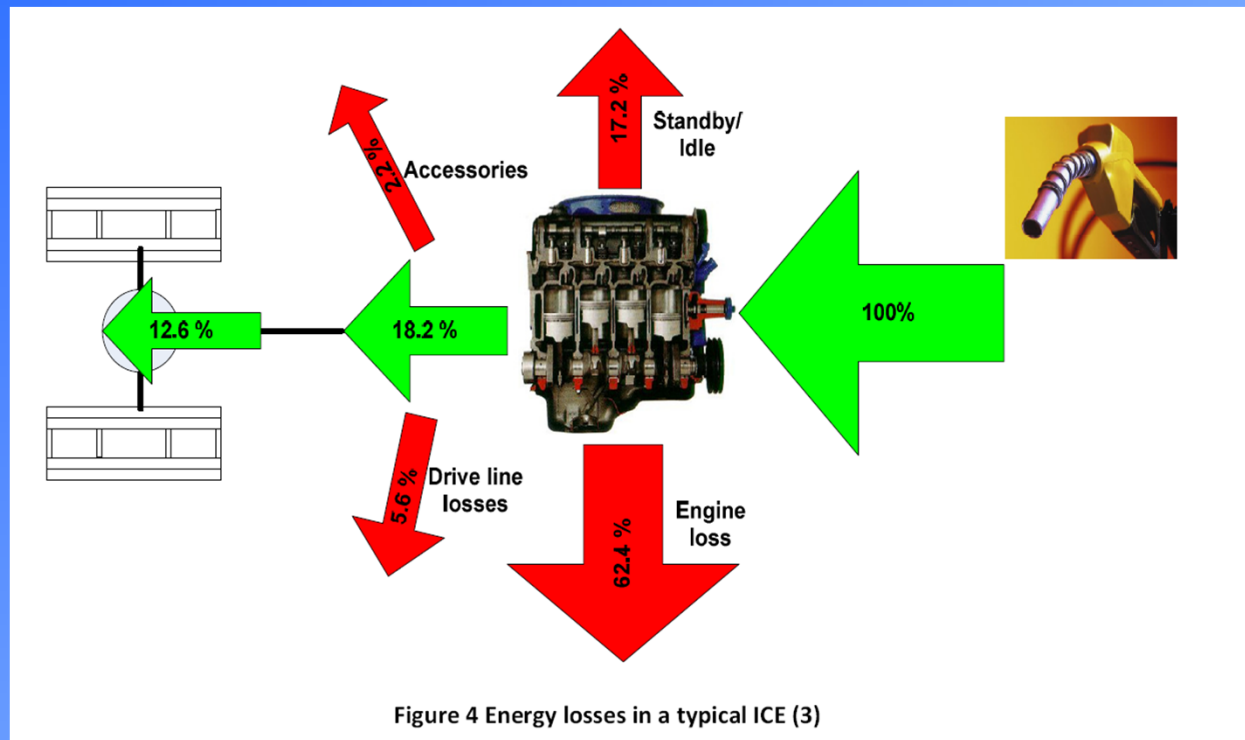


BYD F3DM

Figure 10 PHEV and EV pictures

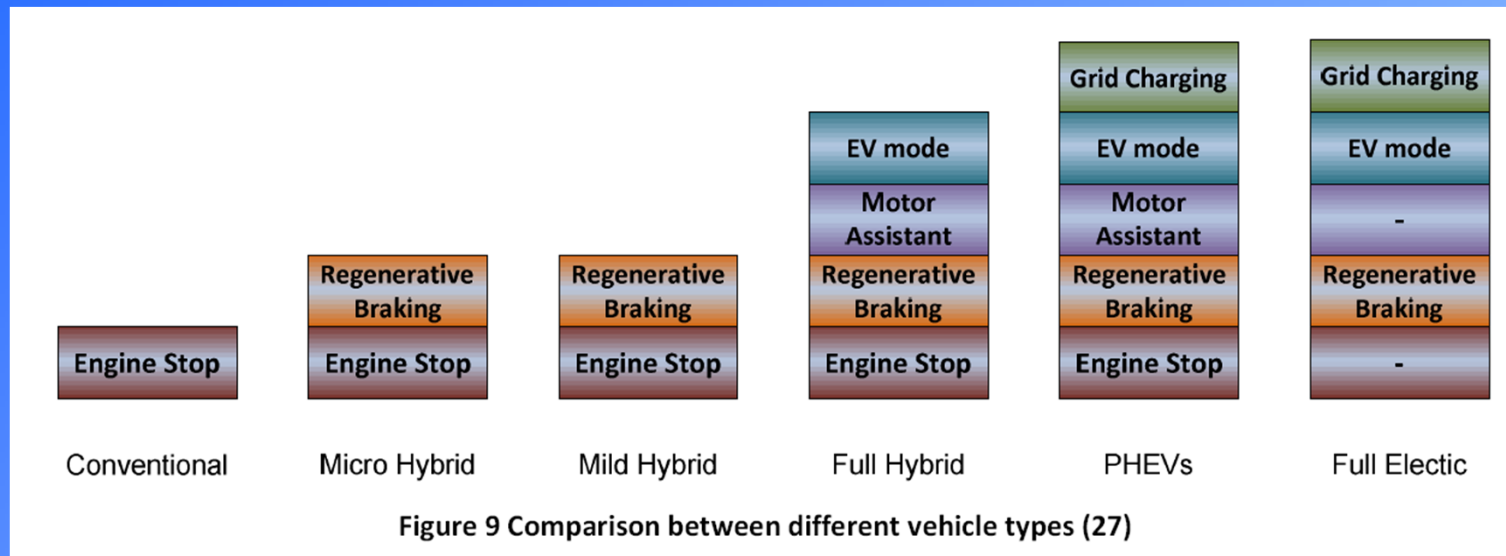
Lähde: Ahmad Karnama, Analysis of Integration of Plug-in Hybrid Electric Vehicles in the Distribution Grid, Master Thesis, KTH, Stockholm, 2009

Polttomoottorin hyötysuhde



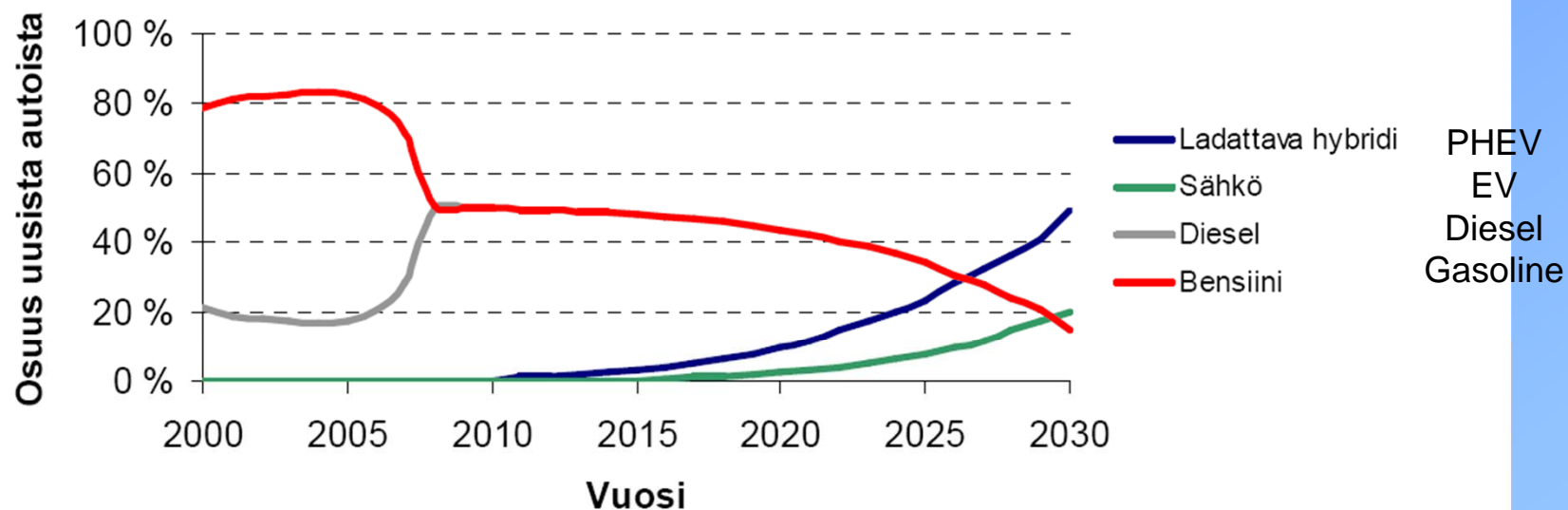
Lähde: Ahmad Karnama, Analysis of Integration of Plug-in Hybrid Electric Vehicles in the Distribution Grid, Master Thesis, KTH, Stockholm, 2009

Sähköautojen kehitys



Lähde: Ahmad Karnama, Analysis of Integration of Plug-in Hybrid Electric Vehicles in the Distribution Grid, Master Thesis, KTH, Stockholm, 2009

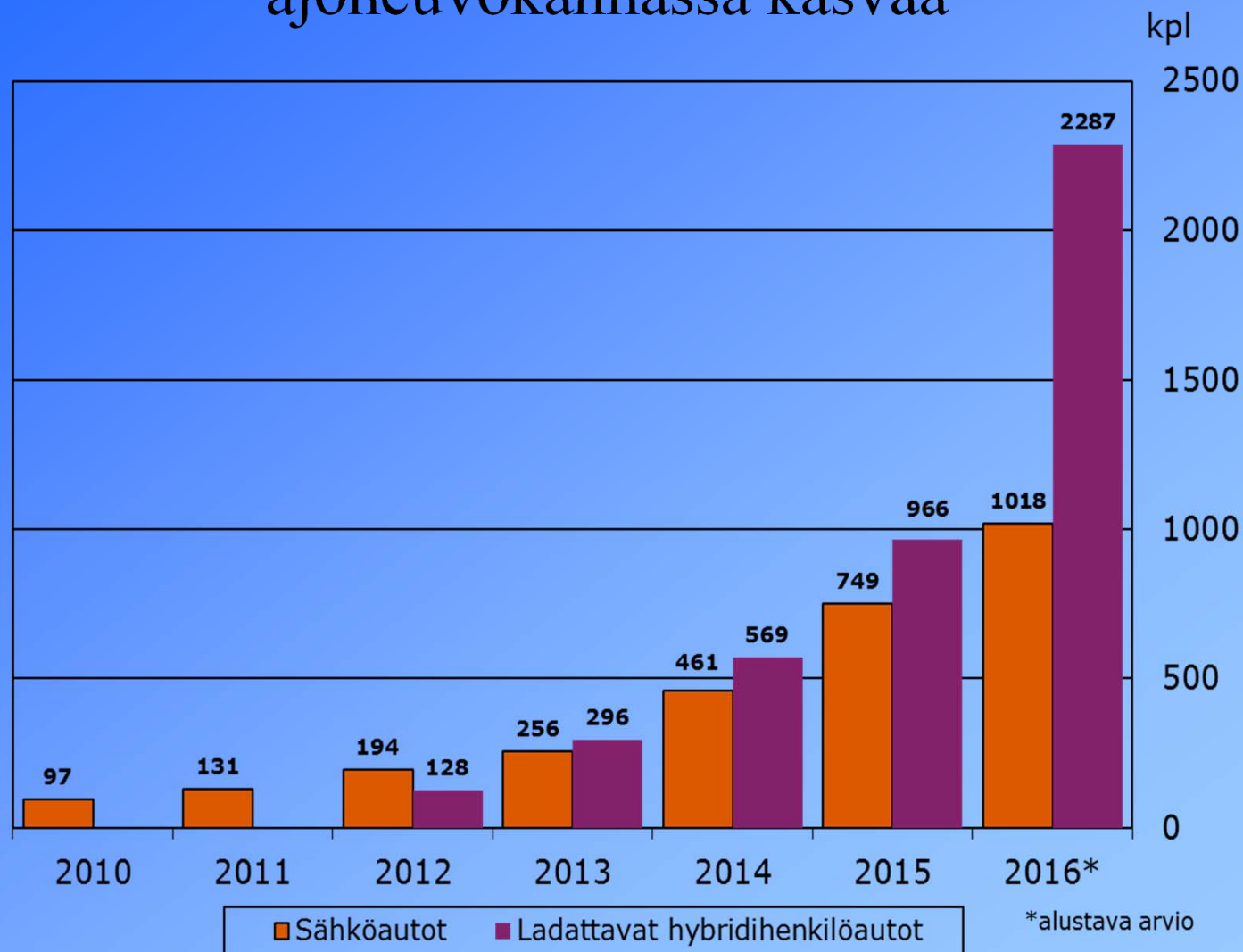
Sähköautojen osuus uusista autoista tulevaisuudessa - ennuste



Kuva 6.2 Erityyppisen autojen (benssiini, diesel, ladattava hybridi, akkusähköautot) osuudet uusista autoista vuosina 2000...2030 perusskenaariossa.

http://www.tem.fi/files/24099/Sahkoajoneuvot_Suomessa-selvitys.pdf

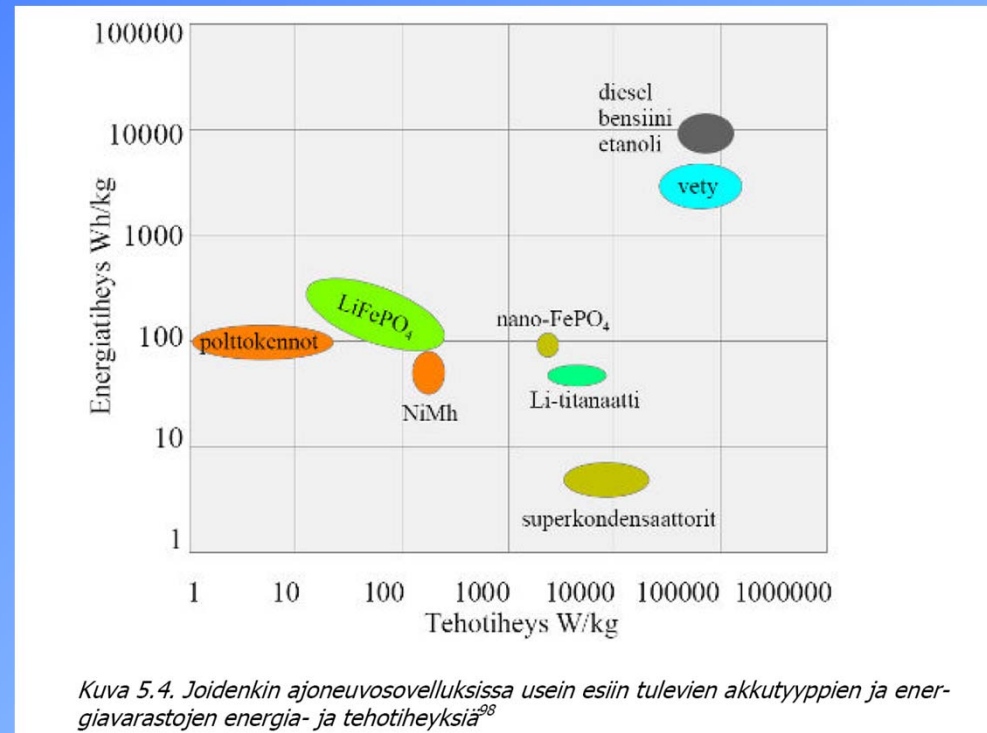
Sähköautojen ja ladattavien hybridien määrä ajoneuvokannassa kasvaa



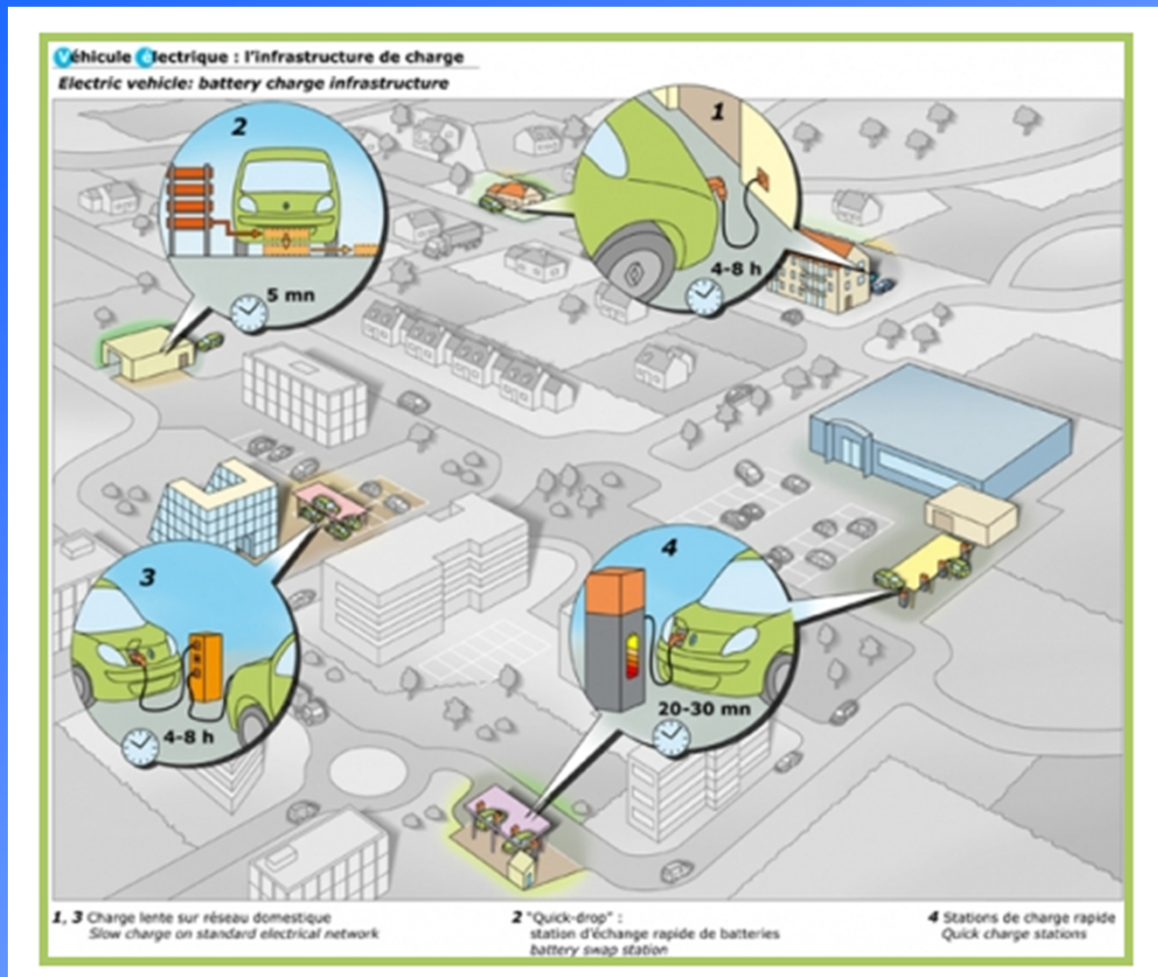
Akut

teho ja energia / kg

- Energia per kg määrittää kantaman km
- Teho per kg määrittää suorituskyvyn
- Lakun elinikä latausjaksoina ?
- Akun hinta ?



http://www.tem.fi/files/24099/Sahkoajoneuvot_Suomessa-selvitys.pdf



1. 4-8 h kotona
2. akunvaihtoasema 5 min
3. 4-8 h työpaikalla
4. pikalatausasema 20-30 min

<http://earth2tech.com/2009/06/22/renault-edf-to-use-power-lines-for-electric-car-charging-data/>

Sähkökuorman mallintaminen ja ennustaminen

SLY – tyyppiset indeksisarjamallit

$$P_{ri} = \frac{E_r}{8736} \frac{Q_{ri}}{100} \frac{q_{ri}}{100}$$

P_{ri} kuluttajaryhmän r hetken i keskiteho

E_r vuosienergia

Q_{ri} ulkoinen indeksi
(vuodenaikavaihtelu 26 kpl 2 vko-jaksoa)

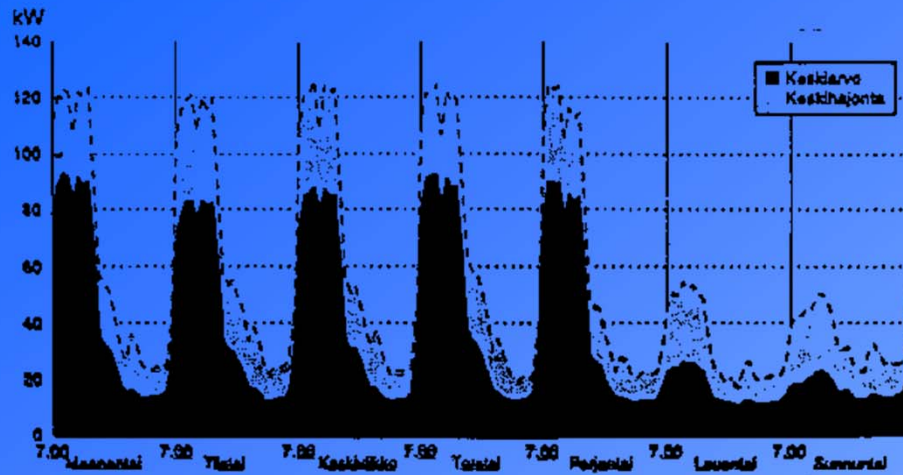
q_{ri} sisäinen indeksi
(24 tuntikeskitehoa, arki, aatto, pyhä)
– erikoispäivät

Lisäksi keskihajonnat samassa muodossa

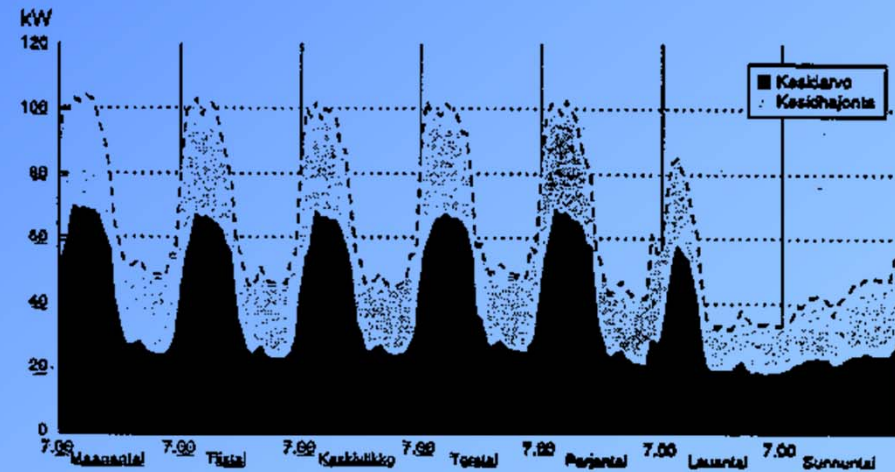
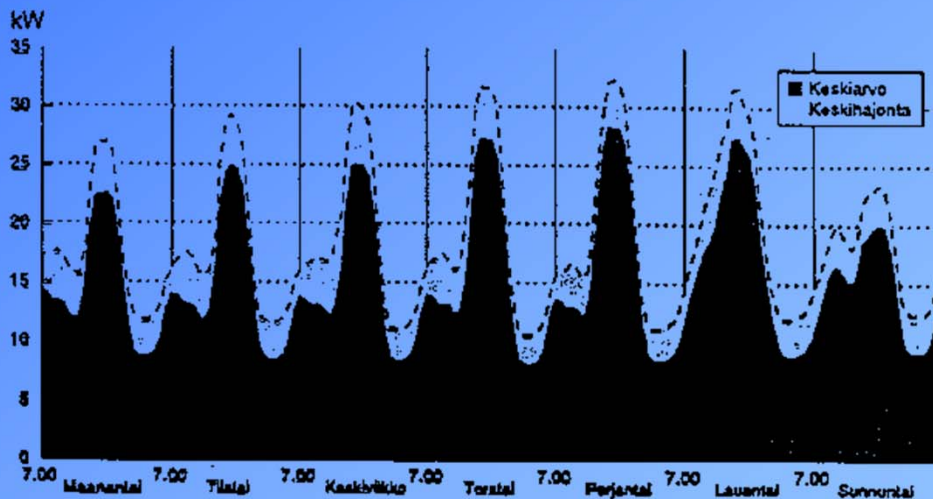
Sähkökuorman mallintaminen ja ennustaminen

Esimerkkejä huippukulutusviikon tuntitehojen vaihteluista erityyppisillä sähkökäyttäjillä

1- vuoro metalli- ja konepajatuotteiden valmistus



vähittäiskauppa

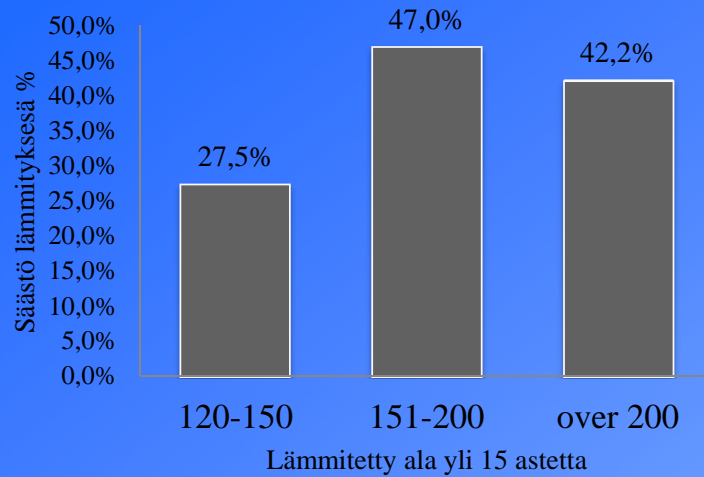


kerrostaloasuminen

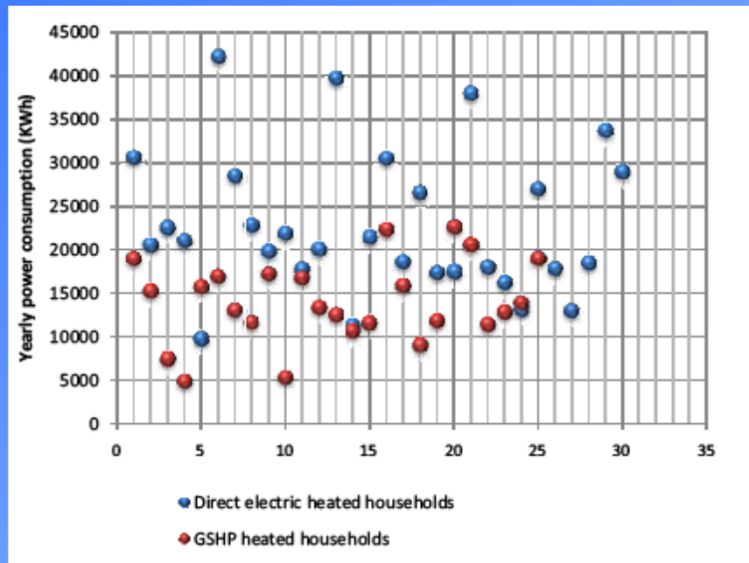
Energiatehokkuusvaatimukset

- EU:n energiapaketti 1/2007:
 - Kasvihuonepäästöjä vähennettävä,
 - uusiutuvan energian käyttöä lisättävä, ja
 - energiantuotantoa ja käyttöä tehostettava,
 - kaikkia näitä 20% vuoteen 2020 mennessä
- EU:n energiapalveludirektiivin asettamat velvoitteet
- Energiayhtiöt ja palveluntuottajat avainasemassa yhdyskuntien energiankäytön tehostamisessa, koska:
 - ne hallitsevat koko energiaketjua primäärienergiasta asiakasrajapintaan saakka
 - ne investoivat energiamittausten kaukoluentaan sekä niihin liittyviin tietojärjestelmiin

Maalämpöpumpuilla GSHP saavutettava energiansäästö



Maalämpöpumpun tehokkuutta verrattiin suoraan sähkölämpöön jakamalla kuormat vertailuryhmiin.

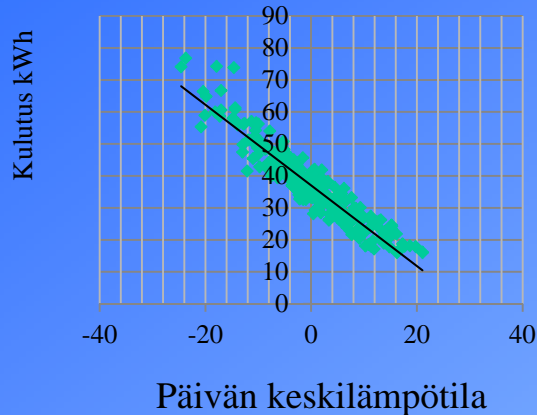


GSHP säästi keskimäärin **27.45%** ... **47.0%** lämmitysenergiasta.

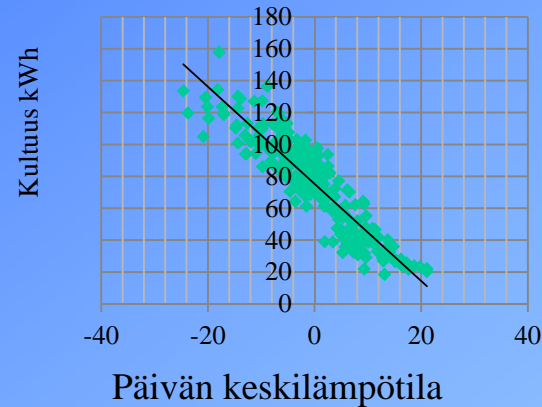
Pinta-ala(sqm)	Minimisäästö (90%)	Maximisäästö (90%)
121-150	13.43%	49.00%
151-200	38.97%	70.10%

Energiantarve ja lämpötilariippuvuus - lämpöpumput

$$y = -1.260x + 37.02$$
$$R^2 = 0.882$$



$$y = -3.044x + 75.32$$
$$R^2 = 0.835$$

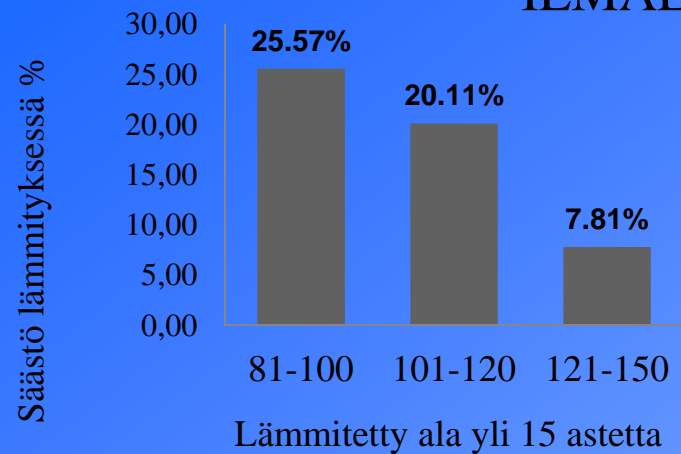


Sekä lämpöpumpun että suoran sähkölämmityksen lämpötilariippuvuus analysoitiin ja tästä laskettiin lämpöpumpun lämpökerroin toiminta-alueellaan:

$$\text{Marginaalinen säästö\%} = (3.044 - 1.260) * 100 / 3.04 = 58.6\%$$

$$\text{COP} = 2.42. \text{ (toiminta-alueella)}$$

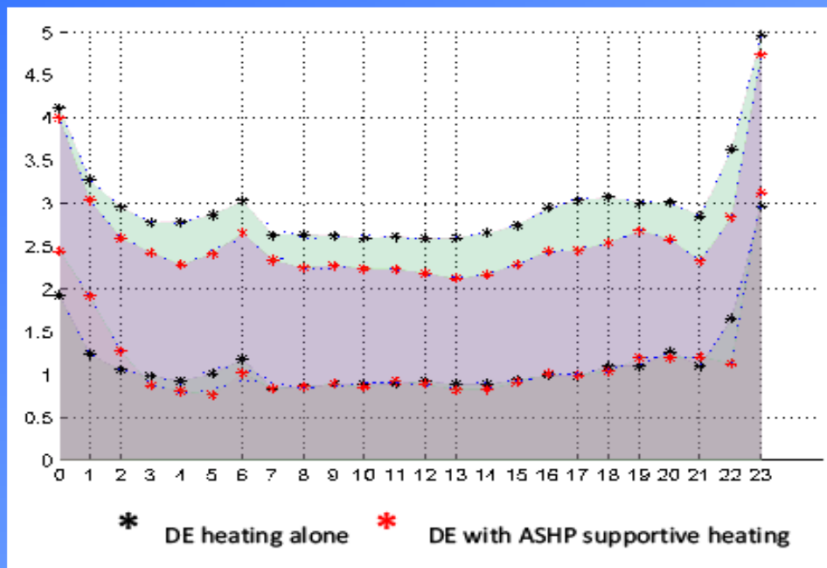
ILMALÄMPÖPUMPUT ASHP



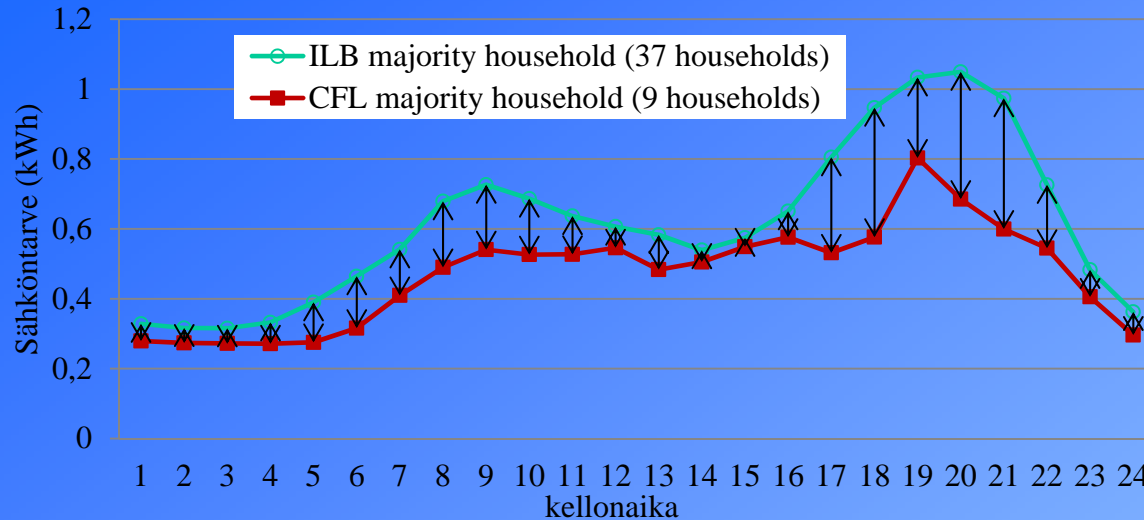
➤ Ilmalämpöpumpuista **80%** on suoran sähkölämmityksen yhteydessä

➤ Säästö lämmitysenergiassa vaihteli välillä **7.8%-25.6%**.

➤ Ilmalämpöpumppu sopii paremmin pienempiin taloihin



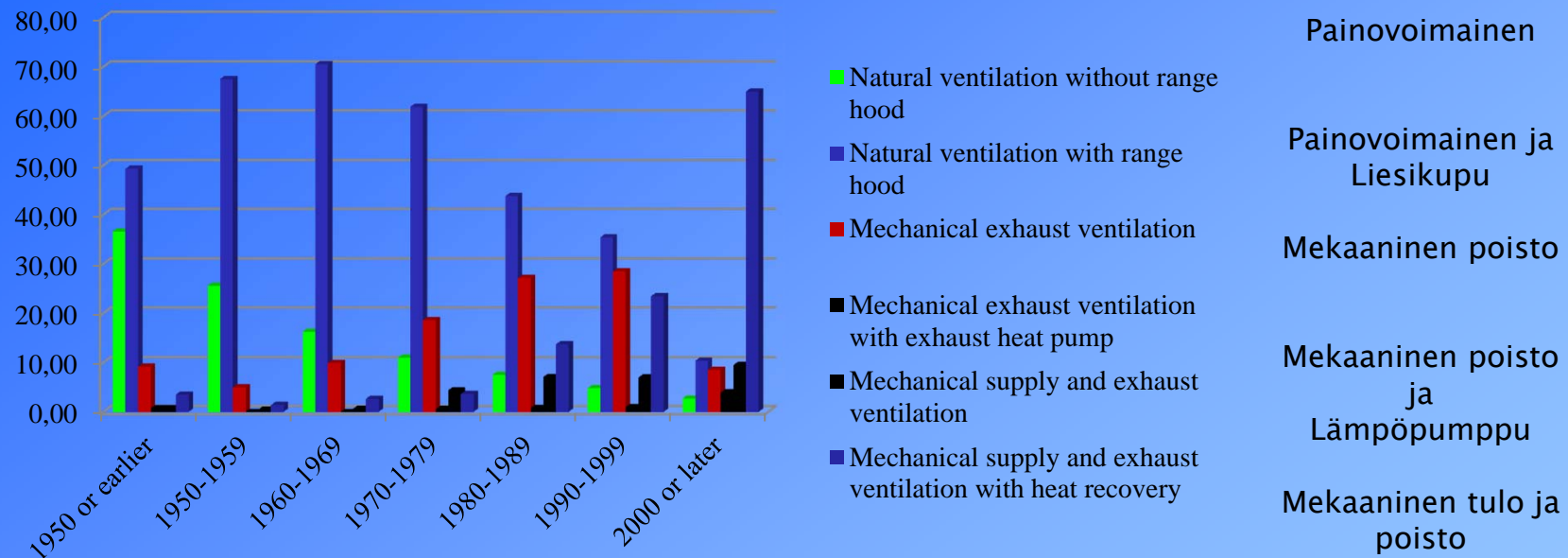
Energiansäästölamput



Havainto#1: kauko- ja öljylämpöaloissa kaikkien hehkulamppujen korvaaminen energiansäästölampuilla vähentää kotitaloussähkön tarvetta **13.62% ... 17.06%**

Havainto#2: sähkölämmitetyissä taloissa lamppujen vaihtamisen hyöty jäi marginaaliseksi. Tämä johtuu hehkulampan hukkalämmöstä, josta valtaosa palautuu huonelämmityksen tueksi. Hukkalämmön vaikutus on otettava huomioon arvioitaessa säästötoimenpiteiden kokonaisvaikutusta !

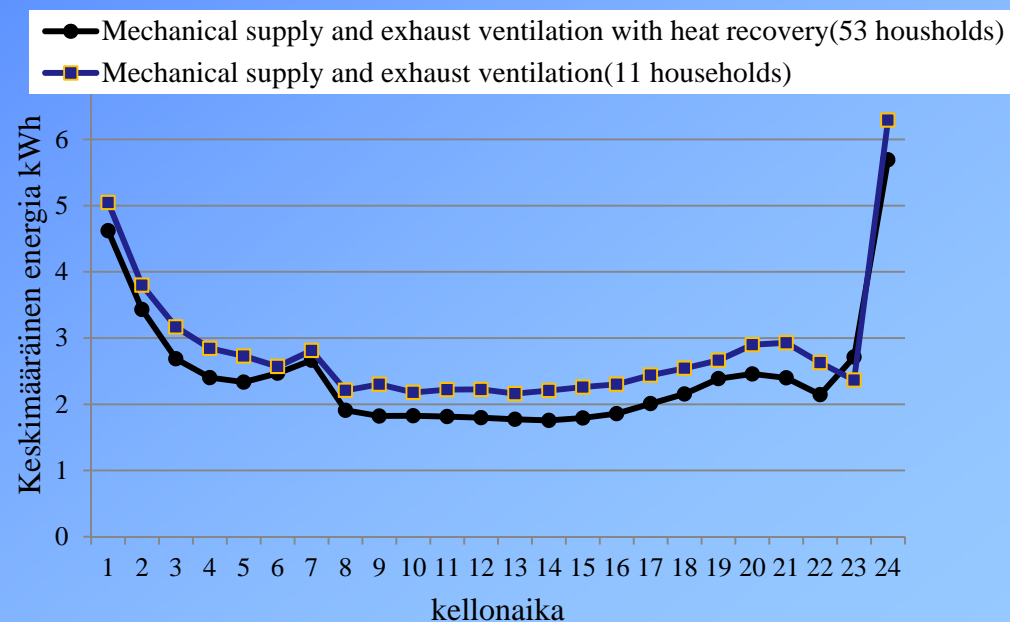
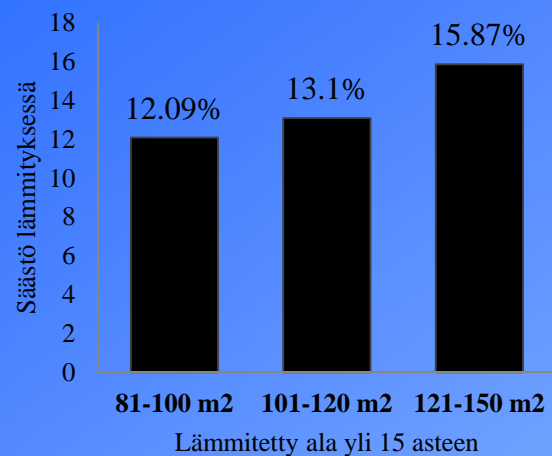
Ilmanvaihtoratkaisut



- Tietokanta-aineistossa vuoden 2000 jälkeen rakennetuissa taloissa yli 65% käyttää mekaanista ilman poistoa lämmön talteenotolla.
- Rakennusmääräykset (D2 2003) vaativat vähintään 30% lämmön talteenottoa uusissa taloissa.

Poistoilman lämmön talteenotto ja säästöpotentiaali

Keskimäärin **13.6%** säästö talon kokonaissähkönkulutuksessa saavutettavissa lisäämällä poistoilman lämmön talteenotto nykyisiin rakennuksiin.



Yhteenveto mahdollisista säästökohteista

Käyttökohde	Toimenpide	Sähkön säästö arvio
Maalämpöpumppu	Vaihdetaan sähkölämmitys maalämpöön	Säästö lämmityskulutuksessa on 27,45 – 47 % verrattuna suoraan sähkölämmitykseen
Ilmalämpöpumppu	Käytetään ilmalämpöpumppua tukemaan sähkölämmitystä	Säästää 7,8 – 25,6 % lämmityskulutuksessa
Ilmanvaihto	Hyödynnetään lämmöntalteenottoa koneellisessa ilmanvaihdossa	Keskimäärin 13,6 % säästö sähkön kokonaiskulutuksessa
Termostaattityyppi	Asennetaan ohjelmoitavat termostaatit	Keskimääräinen säästö 14,7 % lämmitysenergiassa (teorettinen arvio)
Termostaatin asetus	Lasketaan sisälämpötilaa asteella lämmityskaudella	Keskimääräinen säästö 3,43 % kokonaissähkön kulutuksessa
Stand-by kulutus	NA	Keskimäärin 46,2 W säästää taloutta kohti
Energiansäästölamppu	Vaihdetaan hehkulamput energiansäästölamppuihin	Sähkön säästö oli 13,62 – 17,06 % sähkön kokonaiskulutuksesta muussa kuin sähkölämmitystaloudessa
Tukilämmitysmuoto	Käytetään puuta tukilämmitysmuotona	Sähköä säästyi 2,32 kWh talvipäivän aikana, jokaista vuoden aikana poltettua kuutiometriä kohden