

Sähkötehon riittävyys Suomessa

**SEE – Nuorten tutkijoiden seminaari
9.10.2017**

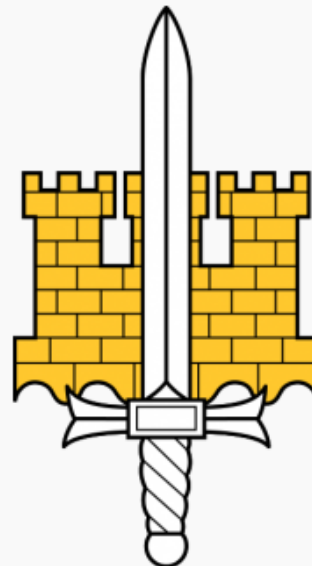
Jaakko Jääskeläinen, Aalto-yliopisto



Aalto University
School of Engineering



From Failand to Winland



Sisältö

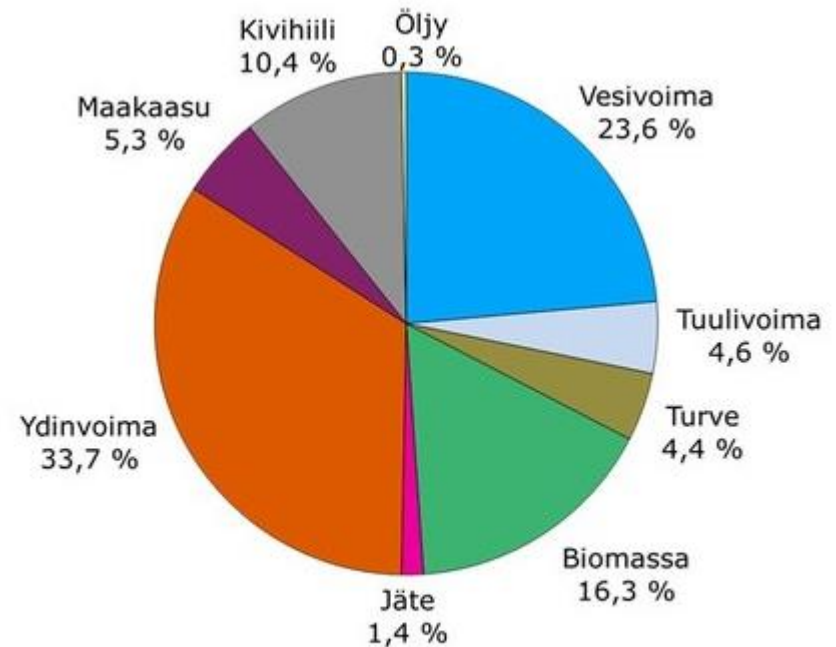
- Tausta
- Suomen sähköjärjestelmä ja tammikuu 2016
- Sähkötehon riittävyyden nykytila
- Tulevaisuuden näkymät: Energia- ja ilmastostrategia
- Vesivoiman saatavuus vakavan kuivuuden aikana
- Ilmastonmuutoksen vaikutukset Suomen energiajärjestelmään
- Pohdintaa ja johtopäätöksiä

Tausta

- Sään mukaan vaihtelevan tuotannon osuus kasvaa
- Alhainen talouskasvu ja lämpimät talvet → alhainen kysyntä
- Lauhdekapasiteetti poistuu markkinoilta kannattamattomana
- Vuotuiset sähkön kysyntäpiikit jatkavat kasvuaan
- Riittääkö sähköteho tulevaisuudessa talvisin?!

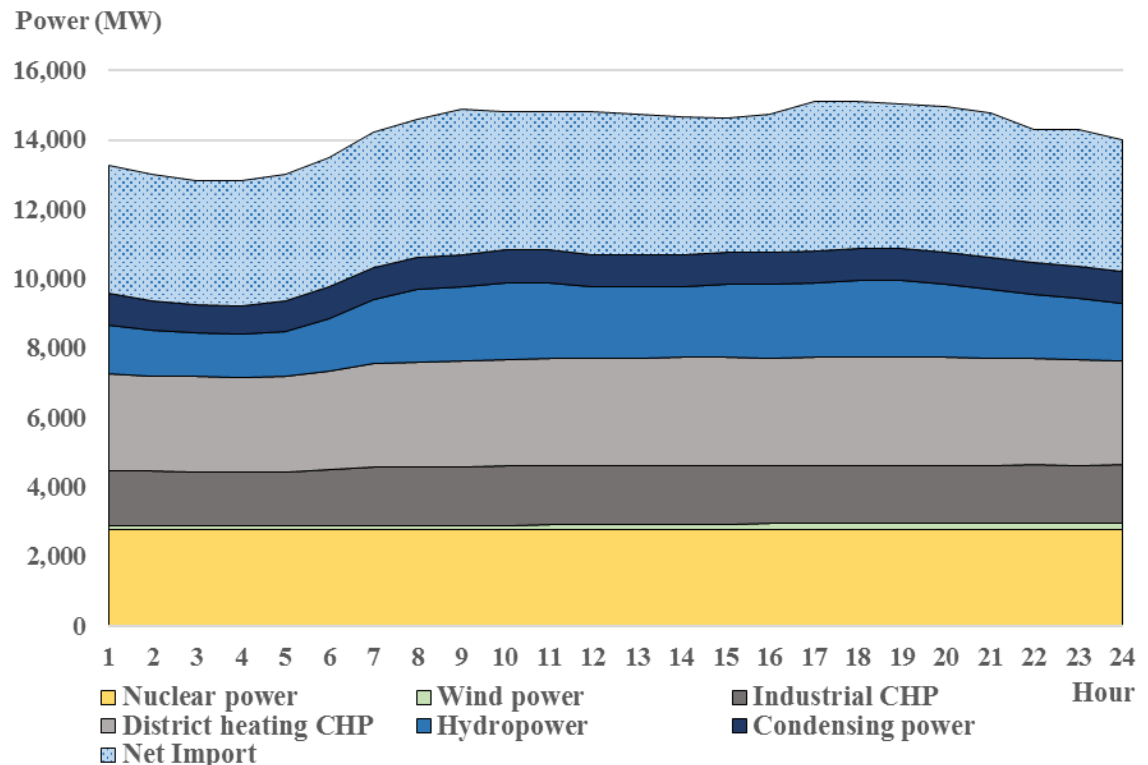
Suomen sähköjärjestelmä

- Osa pohjoismaista sähköpörssiä, Nord Poolia
- Kylmä ilmasto ja energiaintensiivinen teollisuus → korkea kulutus per capita
- Kasvava tuontisähkön osuus kulutuksesta: 22.3% vuonna 2016
- Tuotanto energialähteittäin:
(2016, 66.1 TWh)



Kysyntäpiikki tammikuussa 2016

- 15,105 MWh/h, 6. tammikuuta, kello 17-18
- Spot-hinta 99.94 EUR/MWh, 4,230 MWh/h tuontia
- Kysynnän mukaan painotettu keskilämpötila: -25°C
- Ei ongelmia siirrossa eikä tuotannossa (lomapäivä Venäjällä)
- Korkeapaine
(tuulivoimaa ~160 MW)

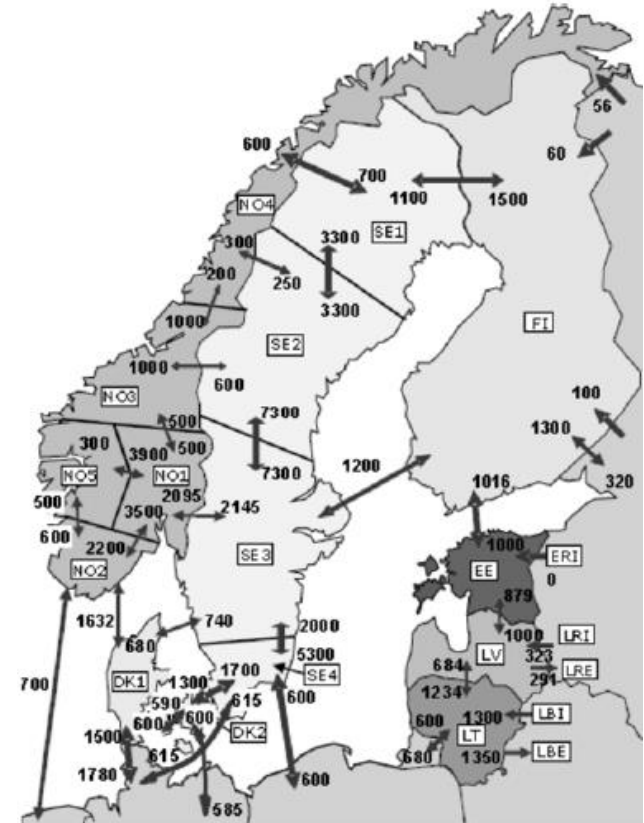


Suomen sähköjärjestelmä

Production type	Installed capacity (MWe)	Estimated available capacity during the peak (MWe)	Production during the peak (MWe)
Hydropower	3,180	2,550	2,235
Nuclear power	2,780	2,780	2,776
Condensing power plants	2,160	960	638
Combined heat and power, total	6,985	5,250	4,790
<i>CHP district heating</i>	4,170	3,250	3,134
<i>CHP industry</i>	2,815	2,000	1,656
Wind power	1,005	60	161
Other	-	-	274
Total	16,110	11,600	10,874

Lähteet: Fingrid ja Tilastokeskus

http://pxhopea2.stat.fi/sahkoiset_julkaisut/energia2016/html/suom0000.htm



Sähkötehon riittävyyden nykytila

- Millaisia shokkeja sähköjärjestelmä olisi kestänyt tammikuussa 2016?
- EnergyPLAN: deterministinen tuntitason simulointiohjelma
- Vikaantumisia voimalaitoksissa ja siirtolinjoissa mallinnettiin tammikuuta 2016 vastaavassa markkinatilanteessa

Stress factors [Fn]	Effect on Power Availability (MWe)	Probability of forced outage
F ₁ . SE1-FI Transmission line forced outage	1,100	2 %
F ₂ . Olkiluoto 1 forced outage	880	2.1 %
F ₃ . Olkiluoto 2 forced outage	880	2.1 %
F ₄ . Fennoskan 2 forced outage	800	6 %

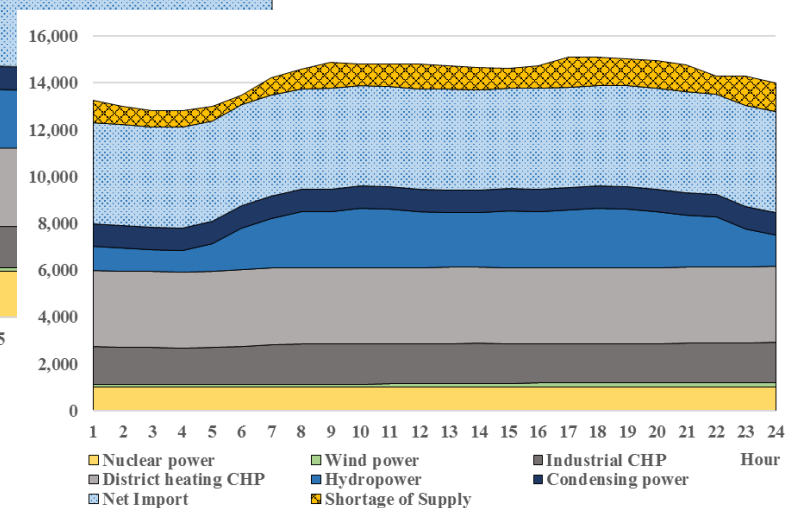
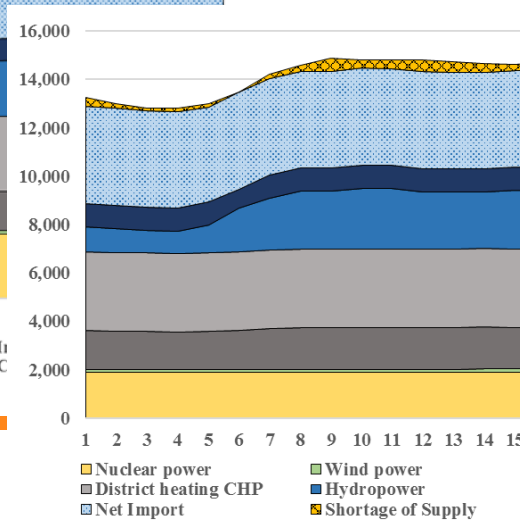
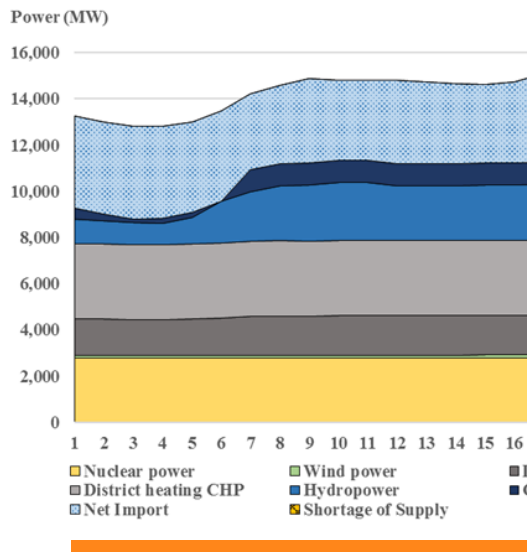


Saatavilla <http://www.energyplan.eu/>

Todennäköisyydet perustuvat Pöyryn ja VTT:n raportteihin:
https://www.energiavirasto.fi/documents/10191/0/EV_Tehoreservin+m%C3%A4%C3%A4r%C3%A4%202017-2022_Loppuraportti.pdf/8eca5950-0b8f-429e-a27e-23f77cae5da4
<http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2014/VTT-R-06032-14.pdf>

Sähkötötehon riittävyuden nykytila

- Skenaario 1: Isoin yksittäinen sähkön lähde vikaantunut, SE1-FI-siirtolinja (1,100 W) → tehoa olisi riittänyt
- Skenaario 2: SE1-FI ja Olkiluoto 1 (880 MW) vikaantuneet → pahimmillaan 700 MW tehovajetta. Fingridin arvio kysyntäjousta spot-markkinoilla on 400 MW ja tehoreservi oli tuolloin 300 MW → No problem!
- Skenaario 3: OL1, OL2 ja Fennoskan 2 vikaantumiset (880 + 880 + 800) → pahimmillaan 1,280 MW tehovajetta.



Jääskeläinen J., Zakeri B., Syri S., Adequacy of Power Capacity during Winter Peaks in Finland, 14th International Conference on the European Energy Market – EEM 2017

Varautuminen tehovajeeseen

- Jos kysyntä ja tarjonta eivät kohtaakaan markkinaehtoisesti:
 - Nord Pool aktivoi tehoreservit
 - Nord Pool katkoo kysyntäkäyrää pro rata –menetelmällä
 - Fingrid ohjaa kiertäviä sähkökatkoja
- Fingridillä on erilaisia reservejä, mutta niiden päätarkoitus on reagoida lyhyen aikavälin ongelmiin (N-1-periaate)
- Miten taajuudensäätöreservejä käytettäisiin, jos sähkötehosta tulisi OIKEASTI pula?

Reservi	Velvoite
Taajuusohjattu käyttöreservi	noin 140 MW
Taajuusohjattu häiriöreservi	220-265 MW
Automaattinen taajuudenhallintareservi (aFRR)	70 MW
Nopea häiriöreservi	880-1100 MW

Tulevaisuuden näkymät: Energia- ja ilmastostrategia

- Uusi energia- ja ilmastostrategia marraskuussa 2016
- Suunnitelma kansallisten tavoitteiden saavuttamiseksi (2030):
 - Lisää **uusiutuvia**: > 50% loppukulutuksesta
 - Parempi **omavaraisuus**: > 55% loppukulutuksesta
 - **Öljyn tuonti puoleen** verrattuna 2005 tasoon
 - **Hiilestä luopuminen** energiakäytössä
 - 40% uusiutuvia liikenteessä: 250,000 sähkö- ja 50,000 kaasuautoa
- Strategiassa on kaksi pääskenaariota:
 - **Perusskenaario**: ei uusia poliittisia toimenpiteitä 2016 jälkeen
 - **Politiikkaskenaario**: tarvittavat poliittiset toimenpiteet ylläolevien tavoitteiden saavuttamiseen



Kolmas mahdollinen skenaario

- Energia- ja ilmastostrategiassa skenaarioiden lisäksi luotiin kolmas skenaario (Alternative)
- Skenaariossa oletetaan, että
 - Fennovoimaan ei investoida
 - Kolmas siirtolinjainvestointi Pohjois-Suomen ja Ruotsin välille ei realisoidu
 - Poistuvaa CHP-kapasiteettia korvataan vähemmän
 - Sähköautot yleistyvät nopeammin (500,000 autoa 2030 mennessä)

Vesivoiman saatavuus vakavan kuivuusjakson aikana

- Ennätyskova kuivuus Suomessa vuosina 1939-1942
- Mitkä olisivat vastaavan kuivuuden vaikutukset nykyisellä vesivoimakapasiteetilla?
- Virtaama nykyisillä vesivoimalaitoksilla määriteltiin perustuen mitattuun lämpötilaan, sateeseen, tuulennopeuteen ja suhteelliseen ilmankosteuteen vuosilta 1938-1942
- Simulaatiot tehtiin SYKE:n Finnish Watershed Simulation and Forecasting System (WSFS) -mallilla
- Keskimääräiset päivittäiset virtaamat laskettiin perustuen 57 suurimman vesivoimalaitoksen virtaamiin (kaikki yli 10 MW laitokset)

Vesivoiman saatavuus vakavan kuivuusjakson aikana

- Päiväkeskiarvojen lisäksi arvioitiin sähkötehon saatavuutta talven kysyntäpiikin aikaan
- Suuri osa vesivoimasta on joko säädettävää tai sijaitsee säädettävien laitosten alajuoksussa
- Kuivuuden vaikutus vesivoiman saatavuuteen Suomessa:
 - 790 MW (27%) vähemmän kapasiteettia talven kysyntäpiikin aikana (1,760 MW vs. 2,550 MW vuonna 2016)
 - 5.5 TWh (43%) pitkän aikavälin keskimääräisessä vuosituotannossa (7.5 TWh vs. 13 TWh)

Sähkötehon riittävyys eri tulevaisuuden skenaarioissa

Scenario	Available capacity during the winter peak in 2020 (MW)	Available capacity during the winter peak in 2030 (MW)
Basic	2,790	3,730
Basic, Extreme drought	2,000	2,940
Policy	2,790	2,830
Policy, Extreme drought	2,000	2,040
Alternative	2,225	300
Alternative, Extreme drought	1,435	-490

Ilmastonmuutoksen vaikutukset Suomen energiajärjestelmään

- Ilmastoskenaariot arvioivat **1-3 °C kasvua** keskilämpötilassa ja **2-11 % kasvua sadannassa** 2030 mennessä Suomessa
- Virtaamien kausivaihtelu muuttuu hieman: talven virtaamat kasvavat ja kevättulvien aikainen virtaama vähenee
 - Vähemmän ohjuoksutusta ja enemmän vesivoimaa saatavilla talvipakkasilla!
- Pitkät pakkasjaksot pitäisivät olla harvinaisempia, mutta ilmastonmuutoksella on ollut taipumus kasvattaa ääri-ilmiöitä
- Ilmastonmuutoksen pitäisi siis parantaa sähkötehon saatavuutta kysyntäpiikkien aikaan Suomessa!

Pohdintaa ja johtopäätöksiä

- Nykytrendeistä huolimatta sähkötehoa on vielä riittänyt Suomessa; järjestelmä olisi kestänyt tammikuussa 2016 vielä vakaviakin vikaantumisia
- 2000-luvulla sähkötehon riittävyys on kuitenkin huonontunut merkittävästi; vuosituhannen alussa Suomella oli enemmän saatavilla olevaa kapasiteettia talvipakkasilla kuin mitä kysyntäpiikit olivat
- Kasvava tuontiriippuvuus selittyy pitkälti taloudellisilla syillä: tuotannon lyhyen aikavälin marginaalikustannukset ovat alhaisemmat Ruotsissa kuin Suomessa
- (Ruotsin tuulivoimatuotanto vs. Suomen lauhdekapasiteetin alasajo)

Pohdintaa ja johtopäätöksiä

- Kyse on siis pitkälti politiikasta: Kuinka suurena uhkana tuontiriippuvuus nähdään ja kuinka paljon Suomi olisi valmis maksamaan omavaraisuudesta?
- Nykyinen hintataso tai futuurihinnat eivät kannusta investointeihin vielä pitkään aikaan
- Tällä hetkellä investoidaan lähinnä tuuli- ja ydinvoimaan, jotka nykyisellä markkinamekanismilla tulevat laskemaan keskihintaa entisestään
- Kasvavan hintavolatiliteetin tulisi validoida huippuvoimalaitosten taloudellinen olemassaolo, mutta toistaiseksi näin ei ole tapahtunut ja monet maat ovat ottaneet kapasiteettimekanismeja käyttöön (missing money problem)

Power plant	LCOE (EUR/MWh)
Wind power	65.30
Solar power	120.80
Nuclear power	96.90
Bio-CHP (incremental)	61.00

Pohdintaa ja johtopäätöksiä

- Sähkötehon riittävyyden pitäisi kuitenkin parantua energia- ja ilmastostrategian skenaarioissa
- Pääsyyinä tähän on uudet ydinvoimalaitokset ja siirtolinjat Suomen ja Ruotsin välillä, jotka kattavat arvioidun kysynnän kasvun ja lämpövoimakapasiteetin aleneman
- Tuotantokapasiteetin kannalta pessimistisemmässä Alternative-skenaariossa tuotantokapasiteetin riittävyys talvipakkasilla on merkittävästi huolestuttavampi
- Tehoreservejä kasvatettiin kesällä 2017 yli 700 MW:iin ja kysyntäjousto todennäköisesti kehittyy 2030 mennessä, joten todennäköisesti Alternative-skenaariokin olisi selvinnyt kuivuuden aiheuttamasta stressitestistä

Pohdintaa ja johtopäätöksiä

- Kuivuuden vaikutus sähkötehon saatavuuteen talvipakkasilla Suomessa olisi hoidettavissa; kuivuudesta huolimatta vesivoimaa voitaisiin varastoida parinkin viikon kysyntäpiikin ajaksi talvella
- Todennäköisesti sama kuivuus laskisi Ruotsin ja Norjan tuotantomääriä merkittävästi enemmän, joten välilliset vaikutukset alentuneen sähköntuonnin kautta olisivat merkittävästi suuremmat!
 - Jatkotutkimuskohde; vrt. 2006 ja 2010 kuivuudet
- CHP:n tulevaisuus Suomen energiajärjestelmässä?

Kiitos!

Kysymyksiä?