



LAND OF THE CURIOUS



Webinaari: Energiamurroksen ajankohtaiset – Vetytutkimus & Datakeskukset, 6.10.2026

Datakeskukset ja sähköenergia

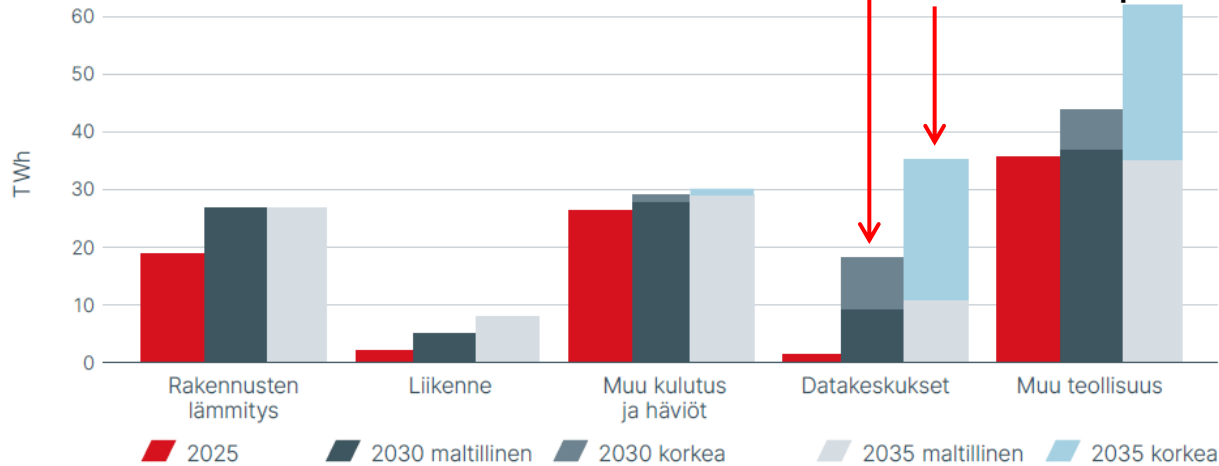
Antti Kosonen
Professori @ LUT-yliopisto
email: antti.kosonen@lut.fi
tel: +358 45 676 9878



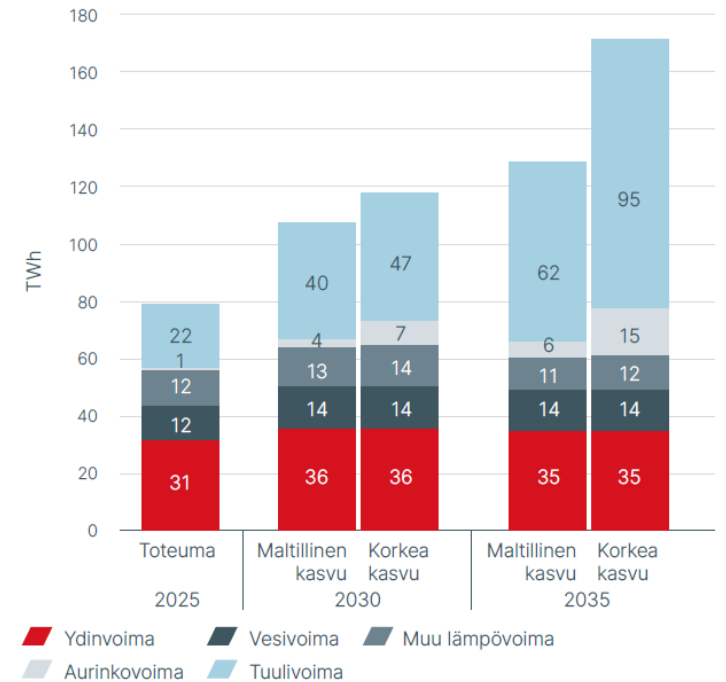
Kulutuksen ja tuotannon kasvu Suomessa

Kulutus

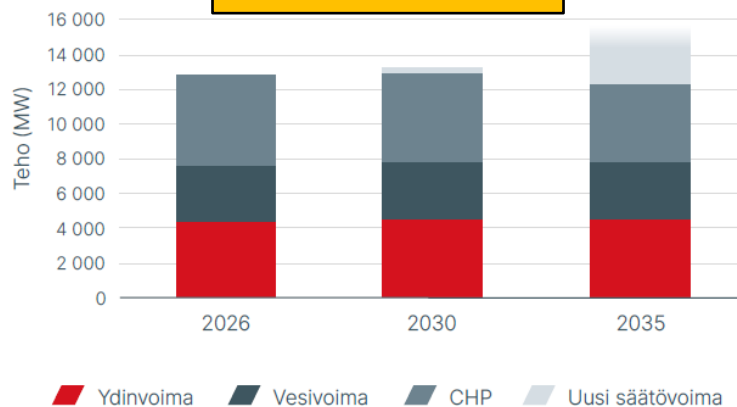
n. 2 GW palkkisähköä
n. 4 GW palkkisähköä



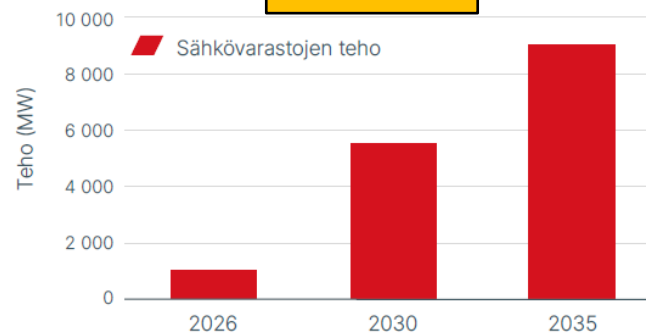
Tuotanto



Perusvoima + säätövoima



Sähkövarastot



Lähde: Sähkön tuotannon ja kulutuksen kehitysnäkymät, Fingrid, Q3/2026.

Kustannusrakenne, 100 MW:n datakeskus

Datakeskuksen kokonaisteho 100 MW

» Investointikustannukset (CAPEX)

- Noin 2000 M€ (AI-datakeskukset n. 5000 M€)
 - Kiinteistö ja infra: 1000 M€ (AI-datakeskukset n. 1500 M€^{*})
 - IT-laitteisto: 1000 M€ (AI-datakeskukset n. 3500 M€)

» Käyttökustannukset (OPEX)

- Noin 140 M€/a
 - Sähköenergia: max. 87,6 M€/a (max. 876 GWh/a, á 100 €/MWh)
 - Kunnossapito, huolto ja vesi: 35 M€/a
 - Henkilöstö: 15 M€/a

*** Laitteiden elinkaari 3–5 vuotta!**
Kustannukset: 200–330 M€/a
(AI n. 700–1200 M€/a)

Tutkimuksen tausta

- Sähköistyvä yhteiskunta tarvitsee uutta sähköntuotantoa nopeasti ja kustannustehokkaasti
- Datakeskushankkeet ja niiden sähköntarve on ollut isossa roolissa julkisessa keskustelussa
- Ydinvoima nähdään usein ainoana vaihtoehtona tuottaa vähäpäästöistä perusvoimaa
 - Kallista ja pitkä rakennusaika
- Tutkimuksen tavoitteena oli analysoida:
 - Mikä on aurinko- ja tuulisähkön sekä akkuenergiavarastoon pohjautuvan perusvoimatuotannon teknistaloudellinen toteutettavuus?
 - Mikä on moottorivoimalan rooli järjestelmän tukena?
 - Mikä on toimitetun perusvoiman tuotantokustannus?

J. Salmi, M. Salmelin, A. Meriläinen, L. Gardemeister, A. Kosonen, S. Honkapuro, J. Lassila, J. Ahola, A.V. Lindfors, Techno-economic feasibility of a renewable baseload power supply for data centers, Energy 356 (2026). <https://doi.org/10.1016/j.energy.2026.141024>.

Energy 356 (2026) 141024



Contents lists available at ScienceDirect

Energy

journal homepage: www.elsevier.com/locate/energy



Techno-economic feasibility of a renewable baseload power supply for data centers

Jasmin Salmi^{a,*}, Markus Salmelin^a, Altti Meriläinen^a, Leo Gardemeister^a, Antti Kosonen^a, Samuli Honkapuro^a, Jukka Lassila^a, Jero Ahola^a, Anders V. Lindfors^b

^a Lappeenranta-Lauti University of Technology LUT, P.O. Box 20, FI-53851, Lappeenranta, Finland
^b Finnish Meteorological Institute, Meteorological Research, P.O. Box 503, FI-00101, Helsinki, Finland

ARTICLE INFO

Keywords:
 Baseload
 Battery energy storage system (BESS)
 Dispatchable power plant
 Renewable electricity
 Solar photovoltaics (PV)
 Wind power

ABSTRACT

This study examines the techno-economic feasibility of a renewable-based baseload power system designed to continuously supply 1 GW_e of renewable electricity to data centers in the Nordic environment. This off-grid system relies specifically on wind and solar power, but also a battery energy storage system and a backup power plant are used to meet the constant energy demand. The system configuration is optimized by minimizing the LCOE through a particle swarm optimization method. The study evaluates two distinct operational scenarios: a full baseload power supply (8760 h/a) and a scenario with full-load hours of at least 8000 h/a, mirroring the operational characteristics of nuclear power plants. The results indicate that the most cost-effective approach necessitates considerable overdimensioning of renewable generation assets, further demanding substantial energy curtailment. The dependence on backup generation and, by implication, the emerging costs, can be remarkably reduced in the 8000 h/a scenario (15%–24% lower costs). The location of the variable renewable generation assets has a significant impact on the cost of supplied electricity, because the LCOE at the most favorable location can be even 24% lower than at the least favorable location. The LCOE for the continuous full-load operation results approximately in 100 €/MWh, and decreases below 80 €/MWh, in the 8000 h/a scenario in the most favorable location. Especially compared with new nuclear power plants under construction, these results highlight that the renewable baseload system remains cost-competitive, even under less-than-optimal conditions, strengthening the case for renewable baseload solutions also in the Nordic countries.

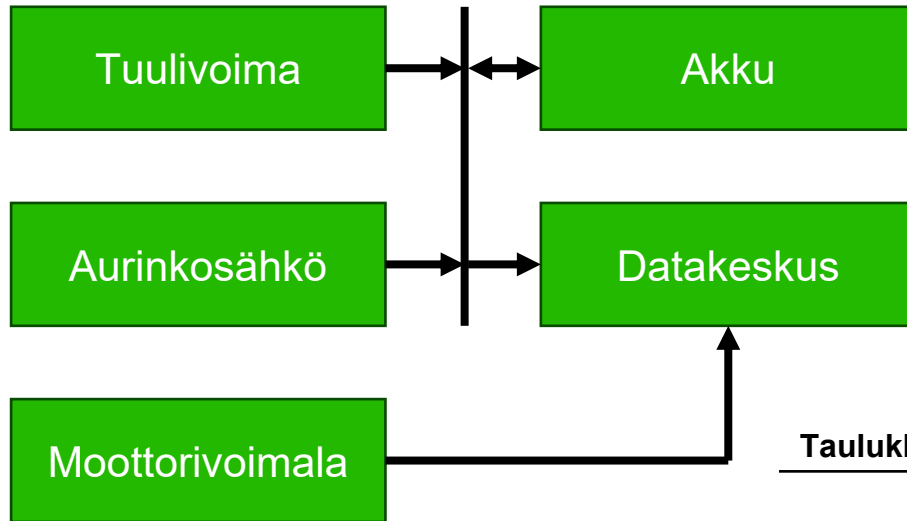
1. Introduction

Data centers play an increasingly important role in an information-centric society. The expansion of data centers is accelerating due to the substantial computational requirements of artificial intelligence (AI) applications. Data centers generate a massive amount of heat while operating, thus increasing the need for cooling [1,2]. The current global electricity demand of data centers is estimated to be 55 GW_e, with AI accounting for 14% of this demand [3]. The power demand is projected to reach 84 GW_e by 2027, with AI anticipated to contribute 27% to this increase. The electricity consumption of data centers amounts to around 536 TWh_e worldwide, representing about 2% of total electricity consumption. As the proportion of power-intensive AI applications increases, global electricity consumption could nearly double by 2030 [4]. Estimates obtained from different sources regarding current data center power and energy requirements are not entirely straightforward, as comparisons can yield full-load hours exceeding

the total number of hours in a year. Nevertheless, estimates indicate that data center electricity usage remains largely stable throughout the year on an hourly basis. Data center emissions are mainly caused by electricity consumption, as part of the energy consumed still comes from fossil fuel-based energy sources [5].

Emissions from the information and communication technology (ICT) sector have historically increased at a faster rate than global emissions. Without significant efforts to mitigate these emissions, the trend is unlikely to reverse [6]. This presents a significant challenge for society and the electricity infrastructure: how to generate the substantial amount of electricity required by data centers? The Nordic countries are attractive for data center operations due to their low-cost renewable electricity and cold climate [7,8]. The large amount of waste heat generated by data centers can be used, for example, for district heating (DH) purposes. The Nordic countries already have a high per-capita electricity consumption, and the growing power demand from data

Mallinnus ja optimointi (1/2)



Tavoite: minimoi LCOE =
$$\frac{\text{CAPEX} + \sum_{i=1}^n \frac{\text{OPEX}_i}{(1+r)^i}}{\sum_{i=1}^n \frac{E_{\text{supplied},e,i}}{(1+r)^i}}$$

Taulukko. Teknis-taloudelliset oletukset. Järjestelmän elinkaarena 30 vuotta ja laskentakorkona 6%.

	Wind	Solar PV	BESS, pack	BESS, interface	Motor power plant (biogas)
CAPEX	1060 €/kW _e	466 €/kW _e	100 €/kWh _e	91 €/kW _e	1000 €/kW _e
OPEX_{fix}	21 €/kW _e /a	11.8 €/kW _e /a	5 €/kWh _e /a	-	10 €/kW _e /a
OPEX_{var}	-	-	-	-	120 €/MWh _h
Efficiency	-	-	92%	-	40%
Lifetime	30 a	30 a	20 a	20 a	30 a

Mallinnus ja optimointi (2/2)

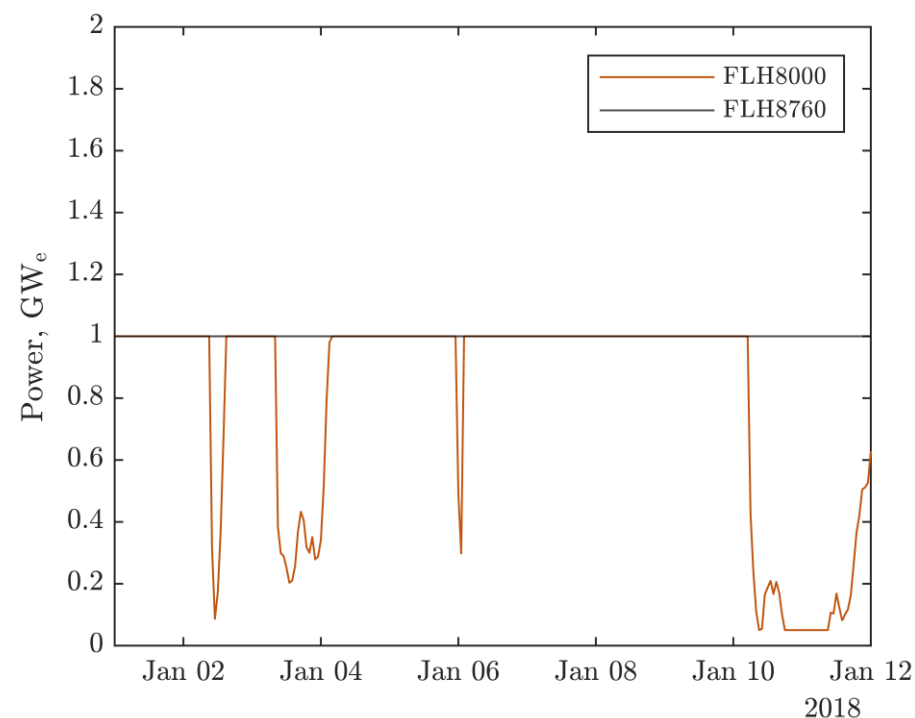
Optimointiskenaariot (1 GW_e perusvoima):

1. Perusvoiman tuotanto: huipunkäyttöaika (FLH) 8760 h

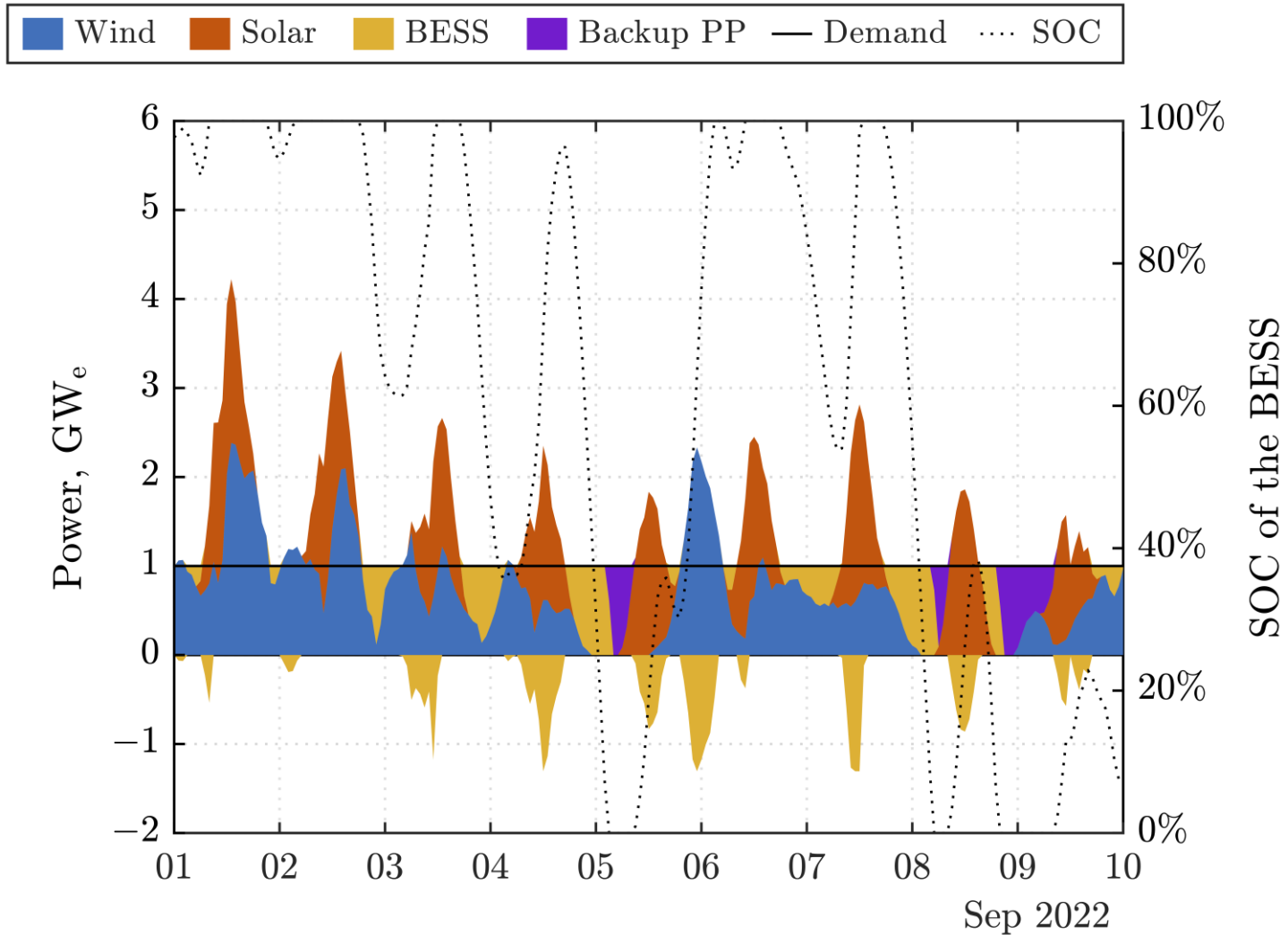
- 1 GW sähkön toimitus tulee toteutua vuoden jokaisena tuntina

2. Joustava perusvoiman tuotanto: FLH ≥ 8000 h

- Tyypillinen huipunkäyttöaika ydinvoimalalle Suomessa (~1kk huoltoseisokki)



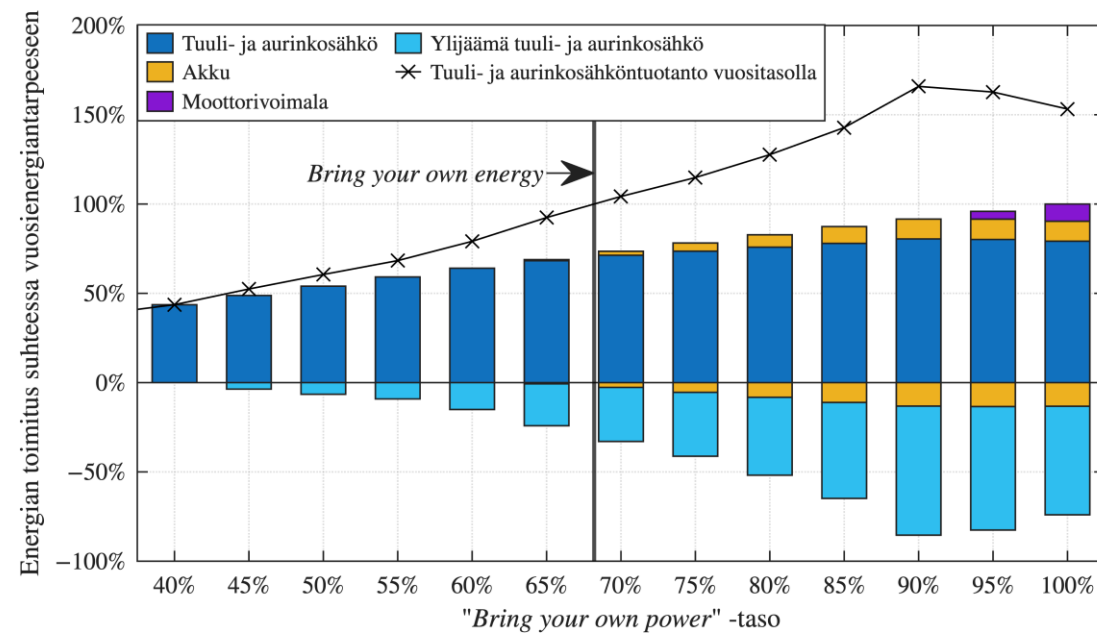
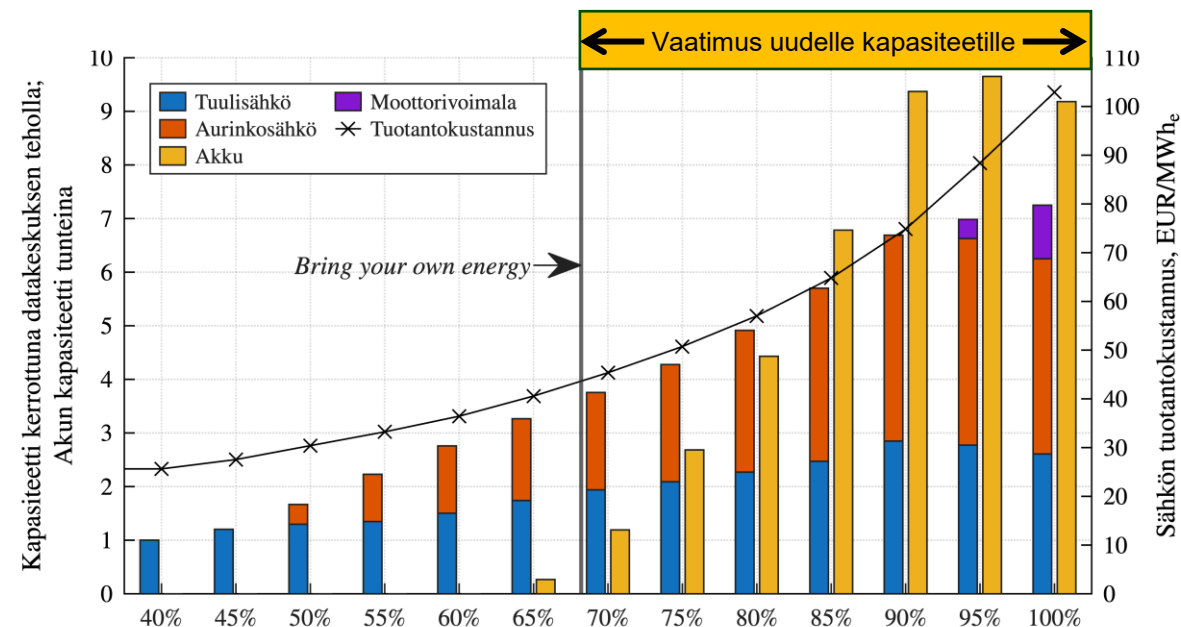
Esimerkki toiminnasta



Energiaa vai tehoa?

Mitä datakeskuksilta pitäisi edellyttää?

- Joustoa tai joustavaa tuotantoa moottorivoimalaitoksella
 - 100% datakeskuksen tehosta
 - Moottorivoima mahdollistaa jouston jäykälle kulutukselle
- *Bring your own energy*
 - Tuotanto kattaa kulutuksen vuositason
 - Tuulivoima 2× ja aurinkosähkö 2× datakeskuksen teho, akku 1 h
- *Bring your own power*
 - Tuotanto kattaa kulutuksen joka hetki
 - Tuulivoima 2,5×, aurinkosähkö 3,5× datakeskuksen teho, akku 9 h



Energiaa vai tehoa?

Bring your own *ENERGY*

Uusi tuuli- ja aurinkosähkö tuottaa vuodessa yhtä paljon sähköä kuin datakeskus kuluttaa.

Uudella tuotannolla katettu kulutus

n. 70 %

Joustotarve

Datakeskus kuormittaa nykyistä sähköjärjestelmää, kun sähkön hankinta ei kata kulutusta.

Kustannustehokkain ratkaisu

100 MW datakeskus: tuulivoimaa 200 MW, aurinkosähköä 200 MW, akku 100 MWh

≈ 45 €/MWh

sähkön tuotantokustannus

Bring your own *POWER*

Uusi tuuli- ja aurinkosähkö, akut sekä kulutusjousto ja/tai moottorivoima kattavat datakeskuksen kulutuksen joka hetki.

Uudella tuotannolla katettu kulutus

100 %

Datakeskuksen yhteydessä rakennettu jousto tukee sähköjärjestelmää.

Kustannustehokkain ratkaisu

100 MW datakeskus: tuulivoimaa 250 MW, aurinkosähköä 350 MW, jousto tai moottorivoima 100 MW, akku 900 MWh

≈ 100–110 €/MWh

sähkön tuotantokustannus

Mitä lainsäädännössä pitäisi huomioida?

1 Edellytä uutta sähköntuotantoa

Tarvitaan merkittävästi uutta tuuli- ja aurinkosähkökapasiteettia, joka rakennetaan samanaikaisesti uuden kulutuksen kanssa.

2 Edellytä joustoa

Kulutusjoustolla tai moottorivoimalla datakeskuksen pitää tukea sähköjärjestelmää. Verkkoyhtiö huomioi tämän liittymäehdoissa.

3 Sijoitus lähelle sähköntuotantoa

Datakeskukset tulee sijoittaa lähelle uutta sähköntuotantoa, jolla minimoidaan uuden sähköverkon rakentaminen. Verkkoyhtiö huomioi tämän liittymäehdoissa.

Maankäyttö ja aurinkosähkö, 100 MW:n datakeskus

➤➤ Rakennus: 5–9 ha

- Itä-, etelä- ja länsiseinät sekä kattopinta-ala aurinkosähkölle (6 ha rakennus)
 - Katto n. 7,2–12 MWp, seinät n. 1,5 MWp, yhteensä 8,7–13,5 MWp → n. 7,7–12,2 GWh/a

➤➤ Tontti: 30–50 ha

- Varavoimageneraattorit ja polttoainevarastot
- Aurinkosähkölle potentiaalista pinta-alaa voisi olla noin 12 ha / 40 ha
 - Maa-asenteinen voimala n. 10 MWp → 9,5 GWh/a

➤➤ Alueelle integroitava aurinkosähkö n. 20 MWp → 19 GWh/a

- Vähentää uuden maan tarvetta aurinkosähkölle ja sähkönsiirrolle

➤➤ 100 MW:n datakeskukselle tarvittava aurinkosähkö kokonaisuudessaan on noin 200–350 MWp (edellä ollut julkaisu)

➤➤ **Kaikkiin rakennuksiin integroitavien aurinkosähkövoimaloiden asennusta pitäisi vauhdittaa, jotta tehostetaan maankäyttöä!**

