

Riskianalyysi: Varautuminen energiakriisiin Suomessa

Työryhmä:

Matti Liski, taloustieteen professori

Iivo Vehviläinen, tutkija

Ilkka Keppo, professori

Peter Lund, teknillisen fysiikan professori,

Oskari Nokso-Koivisto, projektipäällikkö

Sanna Syri, energiatekniikan ja -talouden professori

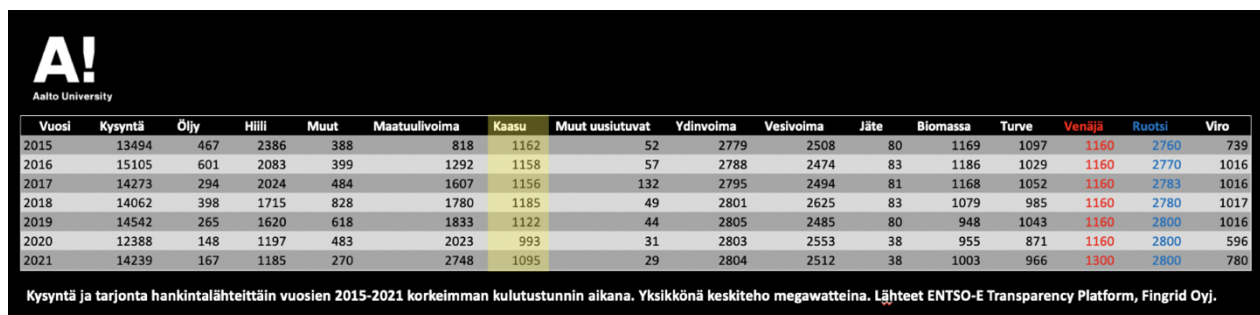
TAUSTA

Venäjän sotilaallinen hyökkäys Ukrainaan on lopullisesti paljastanut Euroopan strategisesti vaarallisen riippuvuuden venäläisestä energiasta. Ukrainan sodan seurauksena markkinavakautta heiluttelevat valtioiden ja yksityisten yritysten nopea irtaantuminen venäläisestä tuontienergiasta sekä lännen asettamat mahdolliset pakotteet venäläisen energian tuonnille, mutta varinaisen kriisin laukaisisivat Venäjän mahdollisesti asettamat vastapakotteet. Energian tuonnin nopea leikkaantuminen aiheuttaisi markkinoille systeemitason shokin, jolla voi olla arvaamattomia vaikutuksia.

Aalto-yliopiston energiamarkkinoiden ja -järjestelmien professorit ja tutkijat ovat tällä viikolla luoneet päättäjien käyttöön riskiskenaarioita liittyen energiakriisin akuuttiin vaiheeseen huomioiden erityisesti Suomen olosuhteet. Esittelemme riskianalyysin keskeiset havainnot sekä tuoreiden mallinnusten tulokset. Osa mallinnusten löydöksistä on huolestuttavia ja ne olisi syytä nostaa esiin lyhyen aikavälin huoltovarmuusstrategioita päivitettäessä. Esitämme myös tapoja, joilla riskiä voidaan hallita lyhyellä aikavälillä. Valmistelemme myös riskianalyysiä ja suosituksia energiasektorille vihreän siirtymän hallitun vauhdittamisen osalta, mutta palaamme sen suosituksiin myöhemmin.

TILANNEKUVA: VÄLITÖN HUOLTOVARMUUS

Venäjän kaasun ja sähkön tuonnin merkitys sähköjärjestelmällemme näkyy kuvassa 1, jossa esitetään huippukysynnän tunteja vuosilta 2015-2021. Suurin tuntikohtainen kysyntä oli 7.1.2016 klo 17-18, jolloin kaasulla tuotettu sähkö sekä Venäjän tuonti kattoivat kysynnästä 15 prosenttia. Venäjän osuus tarjonnasta vaihtelee tässä suurusluokassa myös muissa huippukulutustilanteissa. Kaasua käytetään lähinnä lämmön ja sähkön yhteistuotannossa.



Vuosi	Kysyntä	Öljy	Hilli	Muut	Maatuliivoima	Kaasu	Muut uusiutuvat	Ydinvoima	Vesivoima	Jäte	Biomassa	Turve	Venäjä	Ruotsi	Viro
2015	13494	467	2386	388	818	1162	52	2779	2508	80	1169	1097	1160	2760	739
2016	15105	601	2083	399	1292	1158	57	2788	2474	83	1186	1029	1160	2770	1016
2017	14273	294	2024	484	1607	1156	132	2795	2494	81	1168	1052	1160	2783	1016
2018	14062	398	1715	828	1780	1185	49	2801	2625	83	1079	985	1160	2780	1017
2019	14542	265	1620	618	1833	1122	44	2805	2485	80	948	1043	1160	2800	1016
2020	12388	148	1197	483	2023	993	31	2803	2553	38	955	871	1160	2800	596
2021	14239	167	1185	270	2748	1095	29	2804	2512	38	1003	966	1300	2800	780

Kysyntä ja tarjonta hankintalähteittäin vuosien 2015-2021 korkeimman kulutustunnin aikana. Yksikkönä keskiteho megawatteina. Lähteet: ENTSO-E Transparency Platform, Fingrid Oyj.

Kuva 1. Kysyntä ja tarjonta hankintalähteittäin vuosien 2015–2021 korkeimman kulutustunnin aikana. Yksikkönä tunnin keskiteho megawatteina.

Aiheuttaako noin 15 prosentin osuuden putoaminen tarjonnasta järjestelmätason riskin? Luku saattaa tuntua pieneltä, mutta Venäjän energiatuonti leikkautuu mahdollisesti samanaikaisesti koko EU-alueella, jolloin sähkömarkkinaan kohdistuu systeemitason shokki. Silloin tilanne voi poiketa normaalista siten, että myöskaan naapurimaistamme ei tuontia olisi saatavilla korvaamaan Venäjän puuttuvaa tuontia. Tilanne voi jopa muodostua sellaiseksi, jossa lähinaapurimme ovat pakotettuja käyttämään itse tuottamansa sähkön.

Suomen välitön sähköön liittyvä huoltovarmuusriski syntyy juuri edellä kuvatussa skenaariossa. Tarkka kuva huoltovarmuusongelmasta edellyttää laskelmaa siitä, kuinka monta tuntia vuodessa kansallisessa järjestelmässä syntyy tilanne, jossa tuotanto ei riitä kattamaan tarjontaa. Esimerkiksi yhden tunnin tehovaje tarkoittaa, että sähkön tarjonta ei odotusarvoisesti riitä kattamaan kysyntää yhden tunnin aikana.¹

Kuvassa 2 on laskelma tehovajeesta kahdessa eri skenaariossa.² Normaalitilanteessa tehovajeen odotusarvo on alle tunti vuodessa eli on hyvin epätodennäköistä, että sähköstä tulisi pulaa.

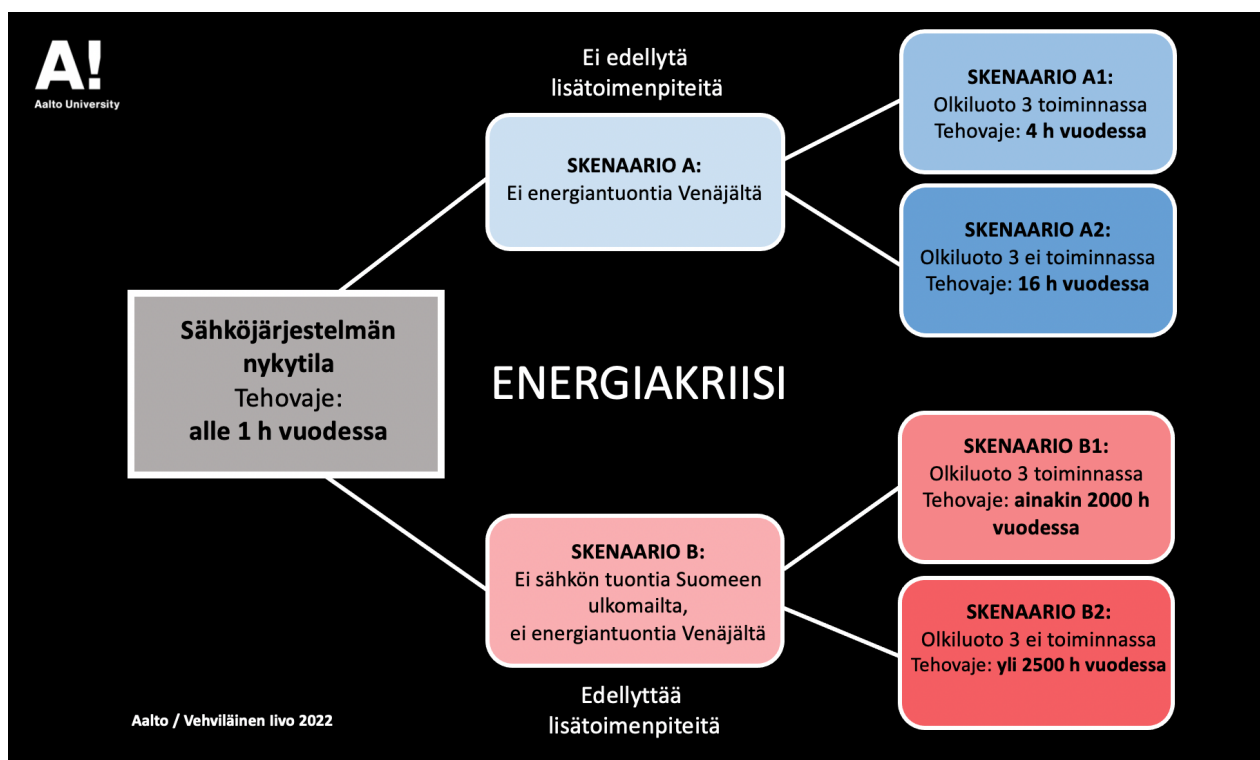
¹ Tehovajeen odotusarvo eli *Loss of Load Expectation, LOLE* on vakiintunut tapa mitata sähköjärjestelmän toimitusvarmuutta.

² Käytetyn laskelmamenetelmän yksityiskohtainen kuvaus ja oletukset on esitetty julkaisussa Vehviläinen, I., 2021. Joint assessment of generation adequacy with intermittent renewables and hydro storage: A case study in Finland. *Electric Power Systems Research*, 199 (saatavilla <https://doi.org/10.1016/j.epr.2021.107385>). Sähköjärjestelmän nykytilana on käytetty Energiaviraston Voimalaitosrekisterin 12.1.2022

Skenaariossa A sekä sähkön että kaasun tuonti Venäjältä katkaistaan, mutta tuontiyhteydet Ruotsista ja Virosta toimivat normaalisti. Tämä aiheuttaa korkeintaan 16 tunnin tehovajeen tilanteessa, jossa Olkiluoto 3 ei vielä olisi toiminnassa.

Skenaariossa B Venäjän sähkön ja kaasun tuonti on katkennut ja samanaikaisesti katkeavat tuontiyhteydet Ruotsista ja Baltiasta. Tässä skenaariossa järjestelmä ajautuu pysyvään häiriötilaan, jossa jopa neljäsosalla tunneista voi olla tehovajetta, erityisesti talviaikaan.

Todennäköisimmin tuonti kattaisi aina jonkin osan puuttuvasta tuotannosta, mutta laskelma kuitenkin osoittaa merkittävän riippuvuuden markkinoiden tarjoamasta joustosta. Tähän tärkeään joustoon kohdistuu perusteltu riski, koska Venäjän tuonnin katkeaminen vaikuttaa samanaikaisesti kesken Euroopan sähköjärjestelmiin, mitkä ovat riippuvaisia Venäjältä tuodusta kaasusta.



Kuva 2: Suomen sähköjärjestelmän tehovaje normaalitilassa, sekä energiakriisin kaksi mahdollista seurausta tehovajeen kehitykselle (vuotuisen talvisesongin kulutushuipun aikana).

TOIMENPITEET: VÄLITÖN HUOLTOVARMUUS

Tehovaje voi tarkoittaa sähkön loppumista ja säännöstelyä. Säännöstelyllä varmistetaan, että järjestelmän häiriötila aiheuttaa mahdollisimman pienen haitan yhteiskunnalle. Yllä kuvatussa laskelmasta selviää, että ensimmäinen toimenpide nyt vallitsevassa tilanteessa on **säännöstely-protokollaan valmistautuminen**. Protokollasta vastaa järjestelmästä vastaava eli Fingrid. Tehovajeen pysyvyys tarkoittaa, että sähkön tukkumarkkinahinnat voivat nousta tuhansiin euroihin jopa viikoiksi. Tämänkaltaisen tilanne halvaannuttaisi yhteiskunnan eikä sen varalle voi täysin varautua kiinteähintaisilla sähkösopimuksilla, koska markkinamekanismin romahtaminen aiheuttaa kiinteähintaisia sopimuksia tarjoaville sähkönmyyjille toiminnan vaarantavia kuluja.

Lyhyellä ja keskipitkällä aikavälillä tarjolla on useampia mahdollisia toimintamekanismeja:

- **Markkinamallin kehittäminen.** Kriisiajan markkinamallin käyttöönotto on akuutissa tilanteessa hyvin nopea keino estää kuluttajahintojen karkaaminen. Markkinamallin muuttaminen voi olla alla esitettyjen toimenpiteiden osittainen vaihtoehto. Katso lisää liite 1.
- **Kuluttajahinnan kompensointi.** Valtio kompensoi kuluttajille korkeat energian hintapiikit ja järjestää riittävän energian **yritystuen kilpailukyvyn varmistamiseksi**.
- **Tuottojen verottaminen.** Sähköyhtiöiden windfall-voittojen verottaminen ja palauttaminen kuluttajille ja yrityksille tukien muodossa.
- **Väliaikainen kaulushinta hiilidioksidin päästöoikeuksille.** Esimerkiksi 40–50€/t. Ei poistaisi ongelmaa, mutta lieventäisi shokkia.
- **Kysyntään vaikuttaminen:** Ohjeistetaan kuluttajia tehokkaista tavoista säästää sähköä.
- **Nopeasti käyttöön otettava energian säästö ja tuotantoratkaisut:** Maalämpö tai lämpöpumput, tuulivoiman tuotanto ja verkon pullonkaulojen poistaminen.

LOPUKSI

Sähkömarkkinoiden Euroopan laajuinen shokki voi aiheuttaa markkinan väliaikaisen pirstoutumisen valtiollisiin markkinoihin. Tämä voi tapahtua, jos maat yrittävät suojata omaa markkinaansa nopeasti nousevilta sähkön hinnoilta ja tehovajeelta. Suomen sähkösaannin huoltovarmuuden kannalta olisi tärkeää suojautua tältä riskiltä yhteispohjoisella sopimuksella, tai Suomen ja Ruotsin välisellä sopimuksella.

Osa sähkömarkkinashokin vaikutuksesta tehovajeeseen voi korvautua hetkellisesti lisääntyneen kivihiiilen käytön sivutuotteena tulevan sähköntuotannon seurauksen, sekä pidemmällä aikavälillä nopeasti kasvavan tuulivoiman tuotannon avulla, mutta riskiä akuutin kriisin mahdollisuuteen nämä eivät kuitenkaan poista. Myös säännöstelyyn, kriisiajan markkinamallin kehittämiseen, sekä muihin tarvittaviin kuluttajien energiahintojen hallinnan ratkaisuihin tulisi varautua. Energian hintojen äkillisellä nousulla on dramaattisia, nopeasti ketjuuntuvia vaikutuksia talouteen, ihmisten toimeentuloon, turvallisuudentunteeseen ja yhteiskunnalliseen vakauteen.

Akuuttien riskien tunnistamisen ja minimoimisen lisäksi on syytä perehtyä myös energiakriisin hiukan pidemmän aikavälin haasteisiin ja ratkaisumalleihin. Esimerkiksi liikennepolttoaineiden kallistuminen tulee aiheuttamaan liiketoimintoihin ja kansalaisiin kohdistuvaa räsitusta, sillä korvaavia energialähteitä ei ole nopeasti saatavilla. Myös kaukolämmön polttoaineiden hinnat nousevat ja saatavuudessa saattaa ilmetä vaikeuksia. Tämä voi ohjata esimerkiksi kivihiiilen käytön ja turvetuotannon kasvattamiseen seuraavan sukupolven päästöttömien energiantuotantotapojen sijaan. Puhtaiden energiantuotantomuotojen nopeaa käyttöönottoa voivat hidastaa myös Venäjä-pakotteista johtuvat raaka-aineiden saatavuuden ongelmat, sekä raaka-aineiden hintojen raju kohoaminen. Esimerkiksi teräksentuotannossa ja akkujen valmistuksessa tarvittavan nikkelin hinta on kohonnut hetkellisesti yli 80.000 €/t. Kysynnän kasvaessa kaikkialla myös tuotantolaitosten pullonkaulat, koko tuotantoketjujen mitalla, saattavat merkittävästi hidastaa esimerkiksi tuulivoimaloiden valmistumista.

Olisi tärkeää pyrkiä vastaamaan välittömiin markkinoiden häiriöihin tavoilla, jotka eivät luo uusia, keskipitkän aikavälin ilmastotavoitteiden kanssa ristiriidassa olevia, hiili-intensiivisen tuotannon infrastruktuureja. Tällöin päästöjenvähennyspolulta saatettaisiin poiketa hetkellisesti, akuuttiin energiapulaan ja korkeisiin hintoihin vastatessa, mutta varsinaiset investoinnit kohdennettaisiin edelleen, ja nopeutetusti, hiilineutraaleihin ratkaisuihin, eikä esim. vaihtoehtoihin fossiilisten polttoaineiden tuontiratkaisuihin.

Aalto-yliopisto haluaa olla tukemassa monipuolisen, puolueettoman ja ajantasaisen tiedon nopeaa saantia päätöksenteossa, myös kriisiaikana. Asiantuntemuksemme on päättäjien käytettävissä esimerkiksi skenaariotyössä, riskiarvioinneissa, mallinnusten ja laskelmien tarkistuksessa ja rinnakkaisten vertailutulosten tuottamisessa.

Liite 1.

Sähkömarkkinamallin muutos poikkeustilannetta varten
Iivo Vehviläinen ja Matti Liski

Mallin muutos tulisi valmistella heti ja sen käyttöönotto tulisi olla kitkatonta poikkeustilanteessa. Markkinamallin sopeuttaminen on suoraviivaisempi ja tehokkaampi välitön toimenpide kuin EU:n komission esiin nostamat muut keinot talouden suojelemiseksi käsillä olevassa kriisissä. Muut keinot ovat kuluttajien suora hintasääntely ja tuottajien verottaminen ylisuurien voittojen siirtämiseksi kuluttajille. Toimenpide tulee voida valmistella ja tarvittaessa ottaa käyttöön nopeasti, mikä ei helposti onnistu muilla keinoilla. Vuoden 2021 Teksasin sähkömarkkinakriisissä nykyisen kaltainen markkinamalli johti tuhansien dollareiden hintatasoihin useiden päivien ajaksi.³ Tämä tulisi välttää Euroopassa.

Markkinamalli on hallinnollisesti luotu, joten se voidaan myös hallinnollisesti muuttaa. Nykyisessä mallissa hinta määräytyy viimeisen tuottavan laitoksen kustannuksen mukaan. Uudessa mallissa sähköstä maksettaisiin tuotantokustannuksen mukaan suurimmalle osasta tuottajia, jolloin häiriötilanteen äärimmäinen hinta olisi vain osa sähkön käyttäjien lopullista laskua. Häiriötilanne ei vaikuta esimerkiksi ydinvoiman kustannuksiin, mikä tarkoittaa, että ydinvoimaa voidaan valjastaa suojaamaan kuluttajan ja koko talouden kohtaamaan kustannusta. Mallissa kuluttaja siis maksaa ydinvoimalle vain kulut kattavan hinnan. Häiriötilanteessa tarvittavat äärimmäisen kalliit tuotantovaihtoehdot saisivat myös äärimmäisen korkean hinnan korvauksena, mutta ne kattavat vain pienen osuuden kulu-
tuksesta, joten vaikutus loppulaskuunkin olisi pieni.

Mallin muutosta varten tulisi nopeasti tuottaa yksityiskohtainen ehdotus, jotta vaikutus EU-tason toimenpiteisiin olisi mahdollisimman suuri. Muutoksesta seuraisi taloudellisia tappioita intresseille, jotka hyötyvät korkeista hinnoista. Tästä kumpuava lobbaus ei saisi hämärtää sitä, että nykyinen malli on hallinnollinen luomus, joten se on myös hallinnollisesti muutettavissa. Pohjoismaiset järjestelmäoperaattorit voivat poliittisessa ohjauksessa toteuttaa halutun mallin.

Pohjoismaisella yhteistyöllä (ml. Baltia) on pitkät perinteet. Strategiset yhteenliittymät sähkön huoltovarmuuden saavuttamiseksi voisivat perustua tarkasteluihin, joissa osoitetaan yhteistyön edut kaikille osapuolille.

³ Esimerkiksi New York Times, His Lights Stayed on During Texas' Storm. Now He Owes \$16,752. 1.3.2021. (<https://www.nytimes.com/2021/02/20/us/texas-storm-electric-bills.html>).