



UUSIUTUVAT ENERGIAMUODOT JA NIIDEN VAIKUTUS SÄHKÖVERKKOON

TIIVISTELMÄ

Tässä tutkielmassa käsitellään uusiutuvien energiatuotantomuotojen nykytilaa, riittävyyttä ja niiden vaikutusta sähköverkkoon Suomessa. Erityisesti pureudutaan vielä uusiutuvan energian tehon vaihteluihin.

Lankinen Aleks, Lehtola Justus, Leiniö Juho,
Morén Nestori

Johdatus sähköenergiajärjestelmiin
(ELEC-A8001)

Sisälllys

1. Johdanto	2
2. Lyhyt yleinen katsaus uusiutuviin energiamuotoihin	2
2.1 Vesivoima	2
2.2 Tuulivoima	2
2.3 Aurinkovoima	2
3. Uusiutuvien energiamuotojen riittävyys nykyiselle kysynnälle	3
3.1 Nykyinen kulutus	3
3.2 Uusiutuvien energiamuotojen suhteellinen osuus	3
3.2 Johtopäätös	4
4. Uusiutuvien energianlähteiden tuottaman tehon vaihtelu	5
4.1 Sekuntitason vaihtelu	5
4.2 Tuntitason vaihtelu	6
4.3 Päivätason vaihtelu	6
4.4 Vuositason vaihtelu	7
5. Luonto ja ympäristö	7
5.1 Vesivoima	7
5.2 Tuulivoima	8
5.3 Aurinkovoima	9
6. Uusiutuvat energiamuodot tulevaisuudessa ja niiden muutokset	9
7. Lähteet	10

1. Johdanto

Tässä tutkielmassa käsitellään uusiutuvien energiatuotantomuotojen nykytilaa, riittävyyttä ja niiden vaikutusta sähköverkkoon Suomessa, tuuli-, vesi- sekä aurinkovoiman osalta. Vaikutuksista keskitytään erityisesti uusiutuvan energian tehon vaihteluihin. Uusiutuvat energianmuodot ovat haastavia Suomen sähköverkolle. Varsinkin aurinko- ja tuulivoiman tuottama teho on käytettävä heti, sillä niiden tuotantopotentiaalia ei voida varastoida. Säättövoiman rakentaminen pyrkii vastaamaan sähköntuotannon ja kulutuksen vaihteluihin, mikä täydentää aurinko- ja tuulivoiman tuotannon vaihtelua. Inertia on tärkeä käsite tämän tutkielman osalta, sillä juuri muutos inertiasa vaikuttaa sähköverkon vakauteen.

2. Lyhyt yleinen katsaus uusiutuviin energiamuotoihin

2.1 Vesivoima

Vesivoima perustuu veden potentiaalienergiaan eli padotun vesimassan korkeuseroihin. Perinteisessä vesivoimalassa vettä päästetään valumaan padon läpi voimalan yläaltaasta alaltaaseen, jolloin veden potentiaalienergia muuttuu liike-energiaksi. Tämä virtaava vesi ohjataan valumaan voimalan turbiinin läpi, joka on kiinni generaattorissa tuottaen sähköä.

Suomen kotimaisesta sähköntuotosta vesivoimalla tuotetaan 15 % - 25 % kaikesta sähköstä. Vuonna 2020 sähköä tuotettiin vesivoimalla 15 600GWh, joka oli 24 % kotimaisesta sähköntuotannosta. Tämä 15 600GWh tuotettiin noin 250 Suomessa sijaitsevassa vesivoimalaitoksella. Vesivoima on halpa ja lähes päästötön energian tuotantomuoto. Tuotannon kasvattamisen mahdollisuudet ovat kuitenkin suhteellisen pienet, sillä maantieteelliset korkeuserot ovat Suomessa suhteellisen pieniä sekä nykyiset voimalat sijaitsevat jo energiantuotannon kannalta tehokkaimmilla alueilla.[1][21]

2.2 Tuulivoima

Tuulivoima perustuu ilman liike-energiaan. Auringon lämpösäteet aiheuttavat ilmavirtoja, jotka osuessaan tuulivoimalan lapaan saavat voimalan roottorin pyörimään. Roottori on kiinni generaattorissa, joka muokkaa tuulesta roottoriin siirtyvän liike-energian sähköksi.

Vuonna 2021 tuulivoimalla tuotettiin 12 % Suomen kotimaisesta sähköntuotannosta eli 8 200 GWh. Vuonna 2017 tuulivoimalla tuotettiin vain 4 800GWh, joten tuulivoima on ollut Suomessa viime vuosina suuressa nousussa. Tuulivoimaa on rakennettu paljon rannikkoalueille, mutta potentiaalia kasvulle on vielä valtavasti, sillä voimaloita ei ole vielä sijoitettu merelle käytännössä ollenkaan.[2][3]

2.3 Aurinkovoima

Aurinkovoima perustuu Auringon säteilyenergian muuttamiseen sähköksi. Aurinko säteilee energiaa kuljettavia fotoneja, jotka virittävät elektroneja osuessaan aurinkopaneelin kennoihin. Elektronit tuottavat virtaa kennon virtajohtimiin.

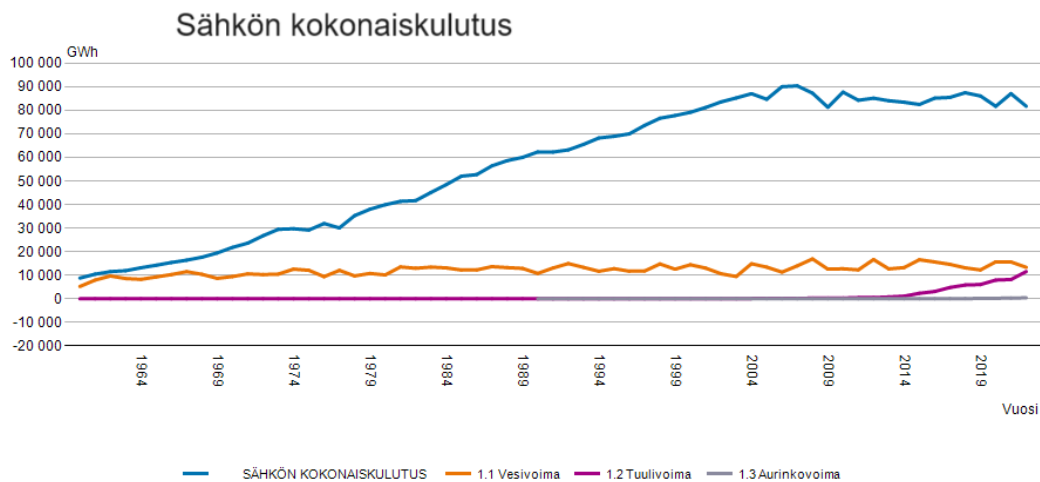
Aurinkovoimalla tuotettiin Suomessa vuonna 2021 298GWh, joka on kokonaistuotannosta vain 0,4 %. Tämä on kuitenkin suuri nousu vuodesta 2017, jolloin aurinkovoimalla tuotettiin sähköä 49GWh, joka oli 0,075 % kyseisen vuoden kokonaistuotannosta. Aurinkovoimalla on kuitenkin valtava kasvupotentiaali. Tavalliset kotitaloudet voivat suhteellisen pienellä investoinnilla saada aurinkopaneeleja ja niiden asentaminen on melko vaivatonta. Lisäksi suuremmille aurinkovoimaloille on Suomessa hyvin tilaa esimerkiksi pelloilla ja niiden

rakentaminen on nopeaa. Aurinkovoima tulee olemaan yksi jälkikäyttömuotovaihtoehto EPV Bioturpeen entisillä turvetuotantoalueilla.[3][4][22]

3. Uusiutuvien energiamuotojen riittävyys nykyiselle kysynnälle

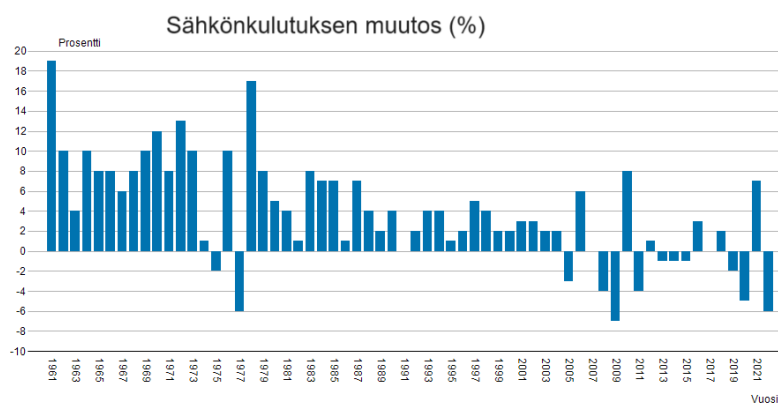
3.1 Nykyinen kulutus

Suomen nykyinen sähkönkulutus on noin 85 terawattituntia. Tästä noin 16TWh tulee vesivoimasta ja 13TWh tuulivoimasta. Aurinkovoiman osuus suomen sähköntuotannosta on vain muutamia prosentteja. Kuvassa 1 esitetään uusiutuvien energiamuotojen osuus sähkönkulutuksen kehityksessä 1960–2022 [3].



Kuva 1. Sähkön kokonaiskulutus Suomessa vuosina 1960–2022.

Sähkönkulutus on poikennut 2000-luvulla trendistä, jonka mukaan sähkönkulutus nousi tasaisesti. Muutos vuosina 1960–2022 on esitetty Kuvassa 2. Energiat ehokkaammat laitteet ovat kuitenkin laskeneet energiankulutusta 2000-luvulla. Sähkönkulutus kasvoi 1997–2007 noin 2,7 %, kun taas 2010–2020 kulutus on ollut keskimäärin sama, eikä kasvua ole juuri ollut.[3]

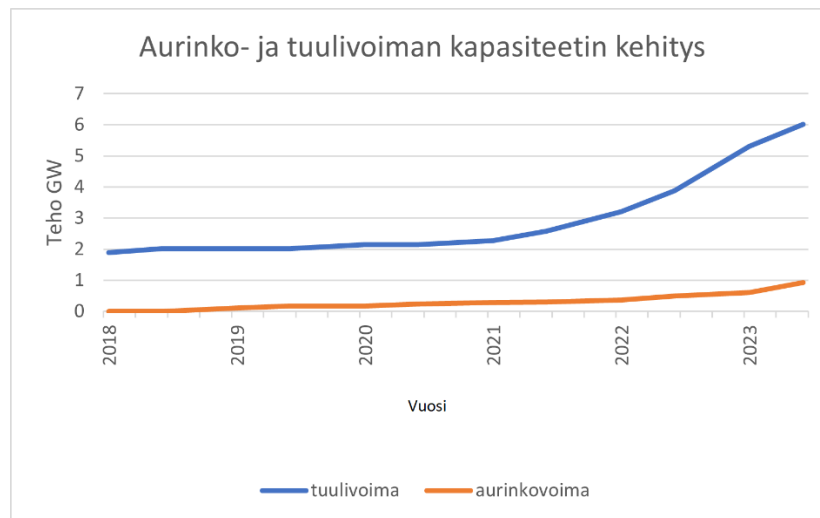


Kuva 2. Sähkönkulutuksen muutos Suomessa 1960–2022.

3.2 Uusiutuvien energiamuotojen suhteellinen osuus

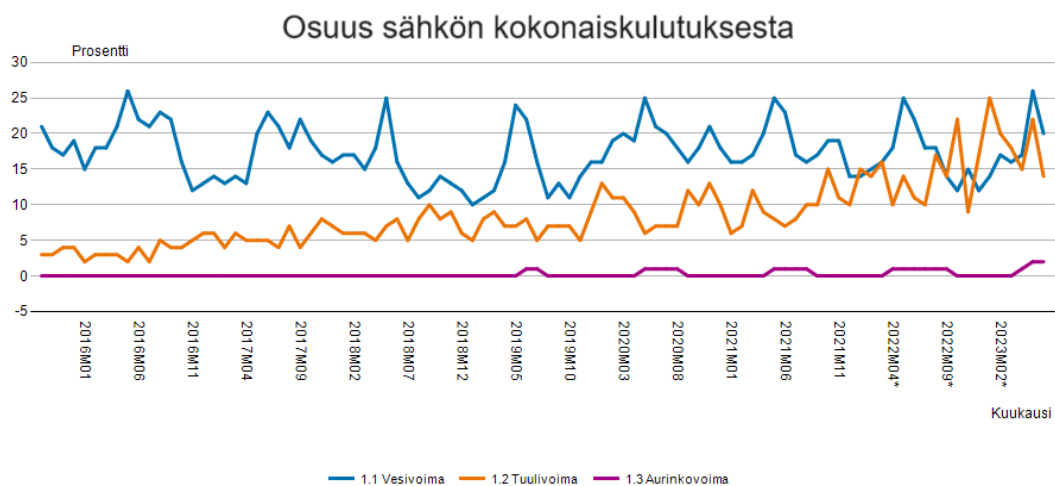
Tuulivoiman osuus on kasvanut merkittävästi, kun sen kapasiteetti on yli kolminkertaistunut viidessä vuodessa. Aurinkovoiman määrä Suomessa on varsin pieni huolimatta siitä, että sen

kapasiteetti on lähivuosina lähes kymmenkertaistunut. Tuuli- ja aurinkovoiman kehitys on esitetty Kuvassa 3.



Kuva 3. Aurinko- ja tuulivoiman kapasiteetin kehitys 2018–2023.

Vesivoiman osuus Suomen sähköntuotannosta on pysynyt suhteellisen tasaisena koko 2000-luvun ajan, noin 15–25 %:ssa. Vesi-, tuuli ja aurinkovoiman kokonaisosuus sähkönkulutuksesta on noin 35 %, joka on esitetty Kuvassa 4. Uusiutuviin energianmuotoihin lukeutuu myös biomassa, geoterminen energia, vuorovesi- ja aaltoenergia sekä kaatopaikoilla ja jätevedenpuhdistamoissa syntyvä kaasu. Tosin näiden osuus sähkönkulutuksesta on varsin pieni. Motiva arvioi, että 2019 uusiutuvien energianmuotojen osuus Suomessa oli 37 %.[5]



Kuva 4. Vesi-, tuuli- ja aurinkovoiman osuudet sähkön kokonaiskulutuksesta.

3.2 Johtopäätös

Yksinään uusiutuvat energianmuodot eivät ole riittäviä ylläpitämään nykyistä sähkönkulutusta Suomessa. Suomen sähkönkulutus kasvaa 40 % talvikuukausina (joulu-, tammi-, helmikuu) verrattuna kesäkuukausiin (kesä-, heinä-, elokuu). Tuulivoimaa saadaan keskimäärin eniten juuri talvikuukausina, mutta aurinkovoimaa ei juuri lainkaan. Koska vesivoimalaitoksissa pystytään varastoimaan vettä vesialtaisiin, sen käyttöä säästetään juuri talvikuukausien varalle, jotta suurimman kysynnän aikaan voidaan varmistaa sähkönsaatuus. Vesivoima on Suomen

tärkein säätöenergian lähde. Tässä lienee suurin ongelma uusiutuviissa energianmuodoissa. Koska tuuli- ja aurinkovoima ovat riippuvaisia sen hetkisestä säästä, eikä niitä pystytä varastoimaan, täytyy rakentaa säätövoimaa, joka kykenee reagoimaan tuotannon ja kulutuksen välisiin vaihteluihin.

4. Uusiutuvien energianlähteiden tuottaman tehon vaihtelu

Uusiutuvien energianlähteiden tuottama teho vaihtelee niissä hyödynnettyjen luonnonilmiöiden muuttuessa. Tämä vaikuttaa sähköverkkojen vakauteen yhä suurenevilla määrillä uusiutuvien energiamuotojen yleistyessä. Tehon vaihtelun vaikutukset riippuvat niiden kestosta ja sähköverkon energianlähteiden tyypeistä.

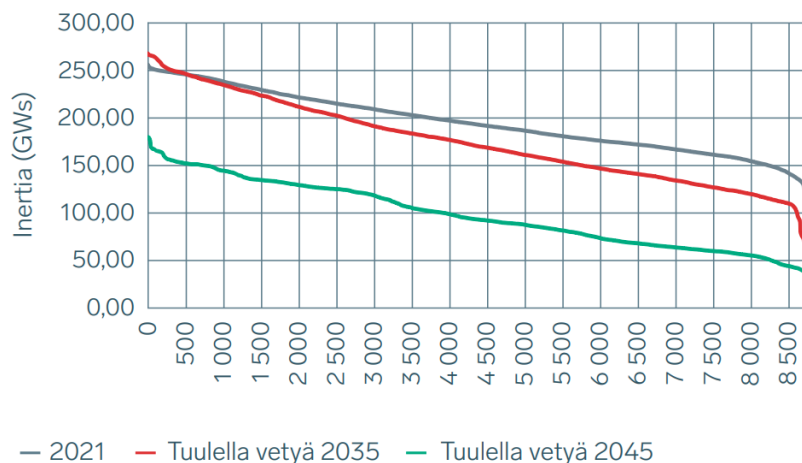
4.1 Sekuntitason vaihtelu

Sekuntitasolla uusiutuvien energianlähteiden tehon tuottaminen ei normaalitilanteissa muutu merkittävästi. Heilahduksia tehossa saattaa tulla tuulivoimassa tuulenpuuskista ja aurinkovoimassa ylilentävän esineen varjosta.

Sähköverkot sietävät äkillisiä ja lyhytaikaisia häiriöitä verkkoon sidotulla inertialla. Perinteisten sähkötuotantolaitosten generaattorien raskaat roottorit vastustavat pyörimistaajuuden muutoksia hitausmomentilla eli inertiamomentilla. Muutoksia taajuuteen voi aiheutua esimerkiksi suurten sähköverkon kuormien ja energianlähteiden käynnistyessä tai sammussa.

Suomessa yleistyvässä tuulivoimassa ei aurinkovoiman tapaan ole sähköverkon inertiaa lisääviä osia. Fingridin esittämässä pienimmän inertian skenaariossa tuulivoimalla voidaan tulevaisuudessa tuottaa vihreätä vetyä. Tällöin, inertia vähenee pohjoismaisessa sähköverkossa seuraavana kahtenakymmenenä vuotena Kuvan 5 ennusteen mukaan. Tulevaisuudessa uusiutuvien energianlähteiden hallitsemassa sähköverkossa ei ole paljon perinteisiä inertia sisältäviä generaattoreita, joten sähköverkon nopeisiin häiriöihin täytyy reagoida tietokonepohjaisella ohjauksella.[1]

Datakeskuksien keskeytymättömien virransyötön järjestelmissä (Uninterruptible Power Supply, UPS) käytetään suuria määriä akkuja varavirtalähteenä. Tällaisia energiavarastoja voidaan hyödyntää äkillisissä sähköverkon energiantarpeissa, kunnes sähköverkon varavoimalähteet aktivoituvat.[8]

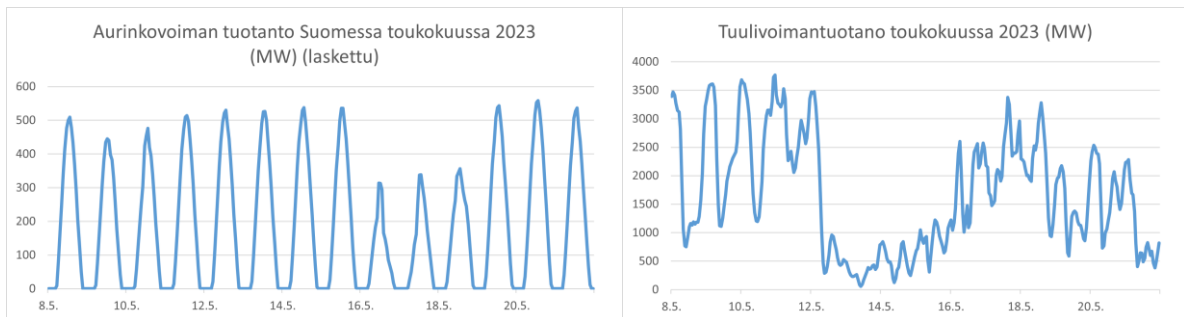


Kuva 5. Pohjoismaisen sähköverkon inertia Fingridin esittämässä skenaariossa: Tuulella vetyä. Vaaka-akselilla on vuoden tunnit.[1]

4.2 Tuntitason vaihtelu

Tuntitasolla vallitseva sää voi muuttua merkittävästi vaikuttaen uusiutuvien energianlähteiden tehokkuuteen. Tällöin kokonaisen tuotantolaitoksen tehontuotto voi pysähtyä tai käynnistyä nopeasti. Sääilmiöt vaikuttavat hajautettuun tuotantoon porrastetusti, kun esimerkiksi saderintama liikkuu maan ylitse. Kuvassa 6 näkyy aurinko- ja tuulivoiman vaihtelu toukokuussa vuonna 2023. Aurinkovoima on ollut vakaata ja seurannut vuorokausirytmiiä, mutta tuulivoiman tuotanto on vaihdellut merkittävästi kuukauden aikana.

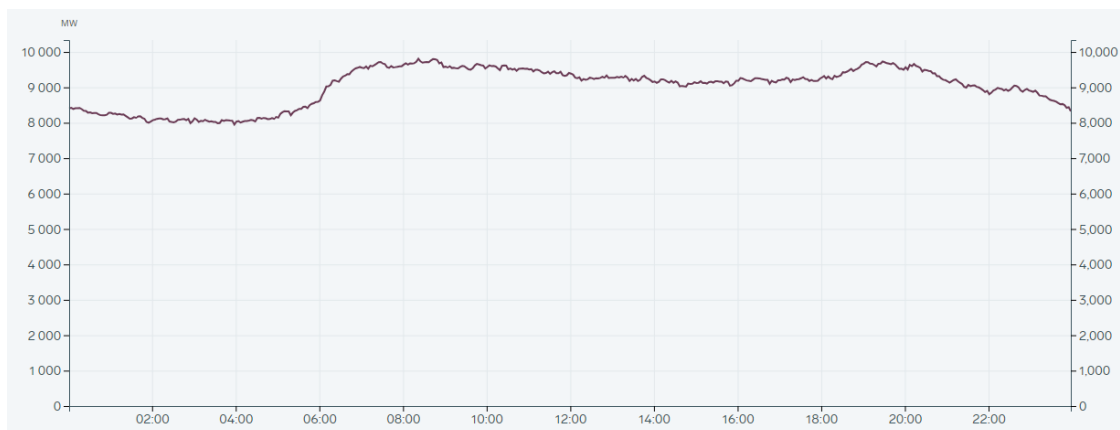
Sähkön kysyntä voi myös vaihdella tuntitasolla, johon uusiutuvien energianlähteiden on vaikea reagoida. Vesivoiman yhteydessä usein varastoidaan vettä padolla, jolla voidaan säädellä tuotetun energian määrää.



Kuva 6. Auriko- (vasen) ja tuulivoiman (oikea) vaihtelu toukokuussa 2023. [19][20]

4.3 Päivätason vaihtelu

Uusiutuvien energianlähteiden tuottamaan tehoon vaikuttaa keskeisesti Aurinko ja vuorokaudenajat. Lisäksi kuluttajat käyttävät sähköä eri tarkoituksiin päivän aikana. Kuvassa 7 esitetään Suomen sähkönkulutus perjantai 6.10.2023 aikana. Yöaikaan tavalliset sähkönkuluttajat ovat nukkumassa ja tarve sähkölaitteille on pienempi.



Kuva 7. Sähkönkulutus Suomessa perjantaina 6.10.2023.[9]

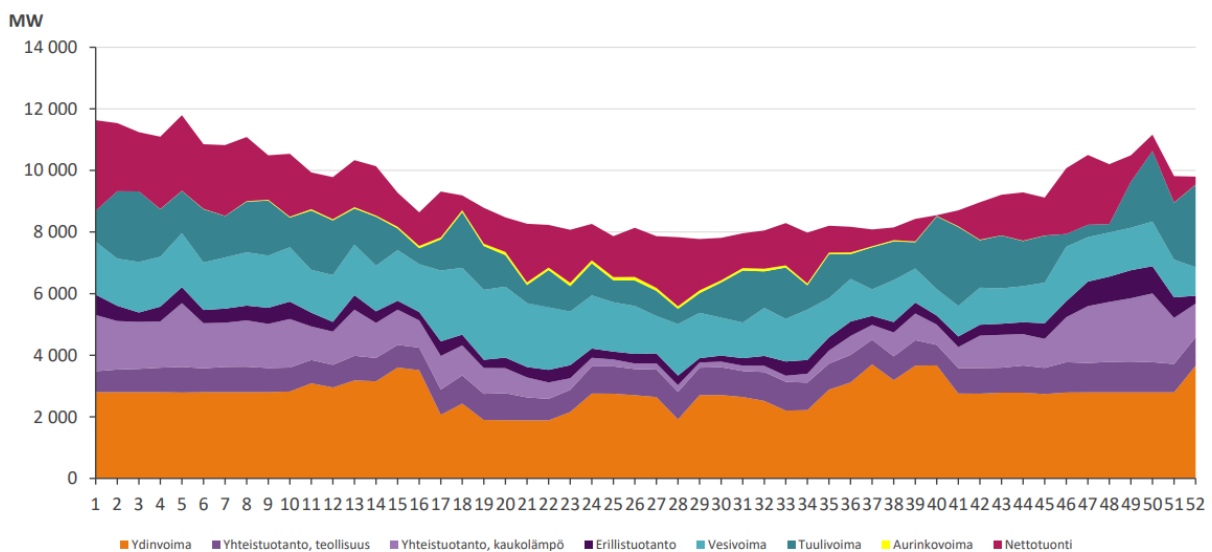
Sähkönkuluttajien tottumuksia voidaan seurata ja sähkön tarvetta ennustaa. Samoin säää voidaan seurata ja ennustaa. Ongelmana on sähkön kysynnän ja tarjonnan yhteensovittaminen,

kun molemmat saattavat kehittyä riippumatta toisistaan. Polttoaineella toimivien skaalattavien tuotantolaitosten vähentyessä energiaa täytyy varastoida ja purkaa sähkömarkkinoiden eläessä.

4.4 Vuositason vaihtelu

Varsinkin kauempana päiväntasaajasta, vuodenaajat muuttavat alueella vallitsevia luonnonilmiöitä merkittävästi. Esimerkiksi talvisin aurinkovoima tuottaa vähemmän tehoa Suomessa. Samalla lämmityksen ja valaisun tarve kasvaa. Vuoden 2022 sähkötuotannon ja -tuonnin aikavaihtelu esitetään Kuvassa 8.

Ihmisten aiheuttamat päästöt ja ilmaston muuttuminen vaikuttavat myös uusiutuvien energianlähteiden toimintaan. Päästösumisessa kaupungissa aurinkovoima saattaa alkaa toimimaan paremmin päästöjen vähentyessä tai epätavallisen rajut tuulet saavat tuulivoimat kaatumaan.[10]



Kuva 8. Sähkötuotannon ja -tuonnin viikkokeskitehon aikavaihtelu vuonna 2022.[11]

5. Luonto ja ympäristö

Uusiutuvat energianlähteet tuottavat paljon vähemmän päästöjä kuin fossiiliset polttoaineet, mutta ei uusiutuva energiakaan luonnon ja ympäristön kannalta täysin ongelmaton ole. Itse energiantuotanto on usein lähestulkoon päästötöntä ja suurimmat ympäristövaikutukset liittyvätkin yleensä voimaloiden rakentamiseen. Voimalaprojektit ovat usein valtavia ja minkä tahansa muun ison rakennusprojektin tavoin ne vaativat yleensä merkittävää ympäristön muokkaamista. Myös rakentaminen myös tuottaa jonkin verran hiilidioksidipäästöjä suoraan ja välillisesti. Näiden lisäksi raaka-aineiden louhinta vääjäämättä tuhoaa luontoa, tosin tuhon määrä riippuu käytetyistä louhintamenetelmistä ja toiminnan yleisestä vastuullisuudesta.

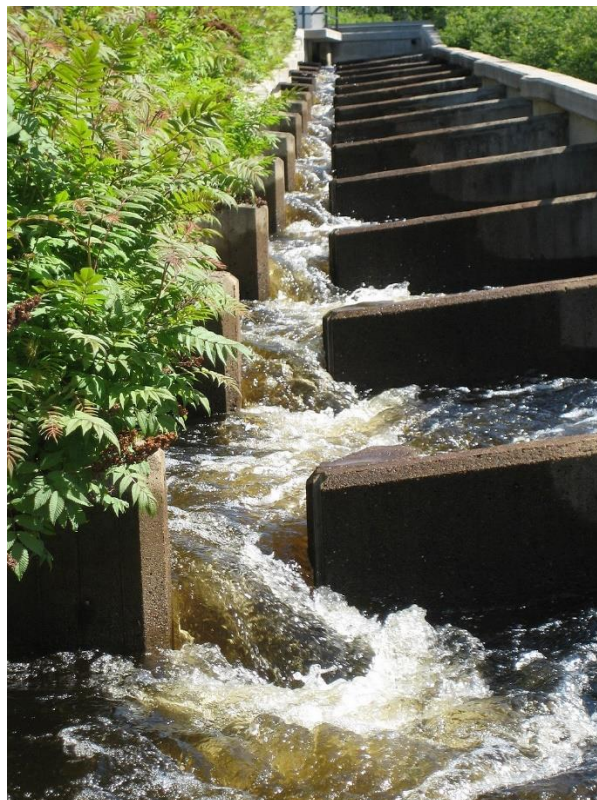
5.1 Vesivoima

Vesivoima on energiantuotannon kannalta yksi parhaista uusiutuvista energiamuodoista. Toisaalta se on ympäristön ja luonnon kannalta myös yksi haitallisimmista. Suurimmat ympäristöhaitat liittyvät padon yläjuoksulle muodostettavaan tekoaltaaseen. Vesistön rantaviiva voi siirtyä huomattavasti sisämaahan, mikä pakottaa alueella olevan eliöstön joko väistymään tieltä, sopeutumaan uuteen tilanteeseen tai tuhoutumaan. Vaikutus alueen ekologiseen tasapainoon on merkittävä, mutta toisaalta lyhytaikainen, sillä luonto sopeutuu

nopeasti uuteen tilanteeseen. Sen sijaan esimerkiksi maaperässä olevat haitalliset aineet voivat veden alle jäädessään pilata vesistön pitkiksikin ajoiksi.[1]

Tekoaltaan suuruus ja altaan korkeuden sallittu vaihteluväli ovat suoraan verrannollisia varastoitavan energian määrään: Mitä suurempi allas ja mitä tyhjemmäksi se saadaan tyhjentää, sitä enemmän energiaa voidaan varastoida. Energiavarastolla voidaan tasata vaihtelevaa kulutusta ja muiden uusiutuvien energiamuotojen vaihtelevaa tuotantoa, mutta nämä hyödyt on punnittava tarkasti ympäristövaikutuksia vastaan voimalaa suunniteltaessa ja käytettäessä.

Luonnontilaisten jokien patoaminen vaikuttaa myös muun muassa vaelluskaloihin, jotka hakeutuvat jokien yläjuoksuille kutemaan. Tätä ongelmaa voidaan lievittää niin kutsutuilla kalateilla (Kuva 9), jotka ovat varsinaisen padon viereen rakennettuja rakennelmia, joiden läpi ohjataan osa vesistön virtaamasta. Kalateiden tarkoitus on päästää kalat kulkemaan molempiin suuntiin purkamatta patoa kokonaan. Hyvin toteutettuina kalatiet vähentävät vaelluskaloihin kohdistuvaa haittaa merkittävästi, mutta etenkin Suomessa niiden toimivuus on yleisesti ollut heikkoa huonon suunnittelun vuoksi. Ongelmiin ollaan kuitenkin heräämässä myös Suomessa.[13]



Kuva 9. Kalaportaati Oulujoen Merikoskessa.[14]

5.2 Tuulivoima

Vesivoimaan verrattuna tuulivoiman ympäristövaikutukset ovat hyvin erilaisia. Uutta tuulivoimaa rakennettaessa harvoin rakennetaan vain yhtä voimalaa, vaan usein rakennetaan kokonainen puisto. Tämän takia tuulivoimaprojektien ympäristövaikutukset ovat usein laajoja.

Linnuille tuulivoima on erityisen haitallista, sillä korkeisiin voimaloihin nopeasti pyörivine lapoineen on helppo törmätä. Voimaloiden rakentamisen yhteydessä voidaan myös joutua tuhoamaan esimerkiksi eläimille tarkeitä pesintä- tai ruokailualueita. Haittoja voidaan vähentää

hyvällä suunnittelulla, esimerkiksi välttämällä tuulivoimaloiden rakentamista lintujen muuttoreiteille ja niiden solmukohtiin. Linnut törmäävät helposti myös ilmajohtoihin, joten maalla sijaitsevilla tuulivoimapuistoissa voimalat yhdistävä sähköverkko kannattaa toteuttaa maakaapelointina. [12]

Yksi tuulivoiman erikoispiirteistä on voimalan purkamisesta aiheutuva ympäristöhaitta. Vaikka suurin osa purettavan tuulivoimalan komponenteista saadaan joko otettua uusiokäyttöön tai kierrätettyä melko tehokkaasti, valtaville erilaisista muovikomposiiteista valmistetuille lavoille ei vielä ole olemassa laajaa kierrätysprosessia. Lapojen uusiokäyttöä kuitenkin tutkitaan ja pienimuotoisia pilottihankkeita on jo toteutettu. Esimerkiksi vuonna 2022 Porissa puretuista tuulivoimaloista kuusi lapa saatiin murskattua ja murska käytettyä sementtiprosessin raaka-aineena.[15]

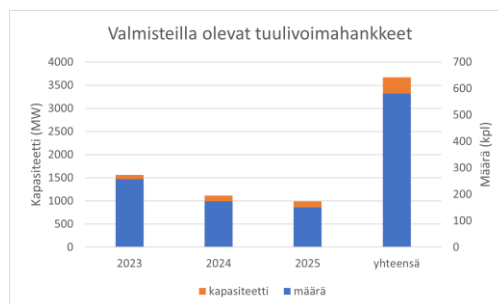
5.3 Aurinkovoima

Aurinkovoiman ympäristövaikutukset liittyvät lähinnä aurinkopaneelissa käytettyjen raaka-aineiden louhintaan ja paneelien tarvitsemaan tilaan. Raaka-aineiden louhinta on usein hyvin haitallista ympäristölle ja aurinkopaneelien kysynnän voimakas kasvu voimistaa ongelmaa entisestään.

Aurinkopaneelien energiatiheys on melko huono etenkin pohjoisilla leveysasteilla, kuten Suomessa, joten niitä tarvitaan paljon tuottamaan merkittävästi sähköä. Koska isot yksittäiset aurinkovoimalat ovat ympäristön kannalta haitallisia, aurinkopaneelien on paras asentaa esimerkiksi rakennusten katoille tai muille vajaakäytöllä oleville alueille ja pinnoille. Tässä auttaa aurinkovoimaloiden hyvä skaalautuvuus asennuskustannuksia lukuun ottamatta. Aurinkopaneelien yksinkertainen rakenne ja toimintaperiaate tarkoittavat, että toisin kuin perinteisillä voimalaitoksilla, aurinkovoimalan koolla ei käytännössä ole alarajaa.

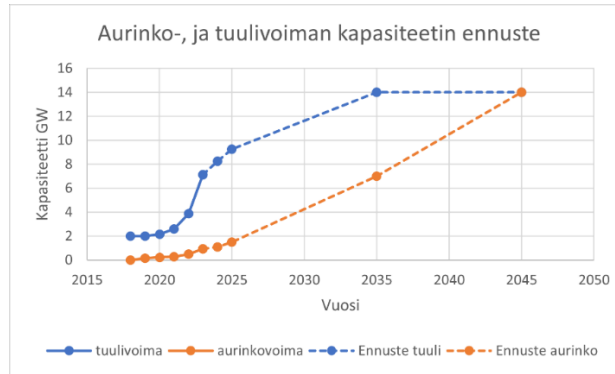
6. Uusiutuvat energiamuodot tulevaisuudessa ja niiden muutokset

Suomeen on suunnitteilla asennettavaksi noin 550 uutta tuulivoimalaa vuoteen 2025 mennessä, joiden kapasiteetti olisi noin 3600MW (Kuva 10). Tämä tarkoittaisi sitä, että Suomen tuulivoimakapasiteetti kasvaa lähivuosina yli 60 %.



Kuva 10. Valmisteilla olevat tuulivoimahankkeet vuosina 2023–2025.[16]

Fingrid arvioi skenaariossaan ”Voimaa Läheltä”, että aurinkovoiman kapasiteetti olisi Suomessa 7GW vuonna 2035 ja 14GW vuonna 2045. Nykyinen kapasiteetti on vajaa 1000MW. Fingridin mukaan meri-, ja maatuulivoimaloiden kapasiteetti olisi samassa skenaariossa yhteensä noin 14GW vuoteen 2035 mennessä, minkä jälkeen tuulivoiman kapasiteetti ei enää kasvaisi. Kehitys on esitetty Kuvassa 11.[17][18]



Kuva 11. Aurinko- ja tuulivoiman kapasiteetin ennuste.

Vesivoimaloiden määrä on pysynyt Suomessa samana jo pitkän aikaa. Lähtökohtaisesti kaikki vesivoimaan soveltuvat vesistöt ja kanavat on jo otettu käyttöön, joten vesivoiman määrä ei tule enää merkittävästi nousemaan Suomessa, vaikkakin nykyisiä voimalaitoksia pyritään tehostamaan.

7. Lähteet

[1] Motiva (2021) Vesivoima. Saatavilla:

https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/vesivoima (Viitattu: 10.10.2023)

[2] Motiva (2021) Tuulivoima. Saatavilla:

https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/tuulivoima (Viitattu: 10.10.2023)

[3] Tilastokeskus (2023) 12sv -- Sähkön hankinta ja kokonaiskulutus, 1960-2022. Saatavilla:

https://pxdata.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin__ehk/statfin_ehk_pxt_12sv.px/chart/chartViewLine/ (Viitattu: 10.10.2023)

[4] Motiva (2022) Auringosta sähköä. Saatavilla:

https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon_perusteet/auringosta_sahkoa (Viitattu: 10.10.2023)

[5] Motiva (2023) Uusiutuva energia. Saatavilla:

https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia (Viitattu: 10.10.2023)

[6] Tilastokeskus (2022) Sähkön hankinta energialähteittäin. Saatavilla:

https://pxdata.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin__ehk/statfin_ehk_pxt_12vp.px/ (Viitattu: 10.10.2023)

[7] Fingrid (2022) Fingridin sähköjärjestelmävisio 2022 – tulevaisuuden järjestelmän skenaarioluonnokset. Saatavilla:

https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/tiedotteet/ajankohtaista/fingrid_sahkojarjestelmavisio_2022_skenaarioluonnokset-final-korjattu-29.8.pdf

[8] J. Paananen (2023) Grid-Interactive Data Centers Enabling Energy Transition. DOI:

10.1109/MELE.2023.3291195

[9] Fingrid (2023) Sähköjärjestelmän tila. Saatavilla:

<https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/sahkojarjestelman-tila/> (Viitattu: 9.10.2023)

- [10] NDR (2023) Bereits defektes Windrad bei Gnoien durch Sturmböe zerstört. Saatavilla: <https://www.ndr.de/nachrichten/mecklenburg-vorpommern/Sturm-Zacharias-ueber-MV-Viele-Ostseefahren-bleiben-im-Hafen,windradbruch102.html> (Viitattu: 10.10.2023)
- [11] Energiategollisuus (2023) Energiavuosi 2022 Sähkö. Saatavilla: https://energia.fi/files/4428/Sahkovuosi_2022.pdf
- [12] Motiva (2021) Tuulivoiman ympäristö- ja muut vaikutukset. Saatavilla: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/tuulivoima/tuulivoiman_ymparisto-ja_muut_vaikutukset (Viitattu: 10.10.2023)
- [13] J.Hintsala. 2016. Kalateiden toimivuudessa on hurjia eroja – Suomi on peränpitäjä. Yle. Saatavissa: <https://web.archive.org/web/20230528062421/https://yle.fi/a/3-9145223> (Viitattu: 10.10.2023)
- [14] Pöllö (2008) Fish ladders in Oulu Finland (in Finnish kalaportaati). Wikimedia commons Saatavilla: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fish_ladders_in_Oulu_Finland_\(in_Finnish_kalaportaati\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fish_ladders_in_Oulu_Finland_(in_Finnish_kalaportaati).jpg) (Viitattu: 10.10.2023)
- [15] Suomen Tuulivoimayhdistys (2022) Ensimmäiset tuulivoimaloiden lavat kierrätetty onnistuneesti Suomessa – uusi kotimainen ratkaisu syntyi usean toimijan yhteisprojektissa. Saatavissa: <https://web.archive.org/web/20230609090409/https://tuulivoimayhdistys.fi/ajankohtaista/tiedotteet/ensimmaiset-tuulivoimaloiden-lavat-kierratetty-onnistuneesti-suomessa-uusi-kotimainen-ratkaisu-syntyi-usean-toimijan-yhteisprojektissa> (Viitattu: 10.10.2023)
- [16] Suomen tuulivoimayhdistys (2023) Rakenteilla olevat hankkeet. Saatavilla: <https://tuulivoimayhdistys.fi/tuulivoima-suomessa/rakenteilla-olevat-hankkeet> (Viitattu: 10.10.2023)
- [17] Fingrid (2019) Aurinkovoimaennusteessa käytetty kokonaiskapasiteetti. Saatavilla: <https://data.fingrid.fi/dataset/total-solar-production-capacity> (Viitattu: 10.10.2023)
- [18] Fingrid (2019) Tuulivoimaennusteessa käytetty kokonaiskapasiteetti. Saatavilla: <https://data.fingrid.fi/dataset/total-wind-production-capacity> (Viitattu: 10.10.2023)
- [19] Fingrid. Tuulivoimatuotanto – reaaliaikatieto. 2023. Haettu 26.5.2023. Saatavissa: <https://data.fingrid.fi/fi/dataset/wind-power-production-real-time-data>.
- [20] Fingrid. Aurinkovoiman tuotantoennuste - päivitys tunneittain. 2023. Haettu 26.5.2023. Saatavissa: <https://data.fingrid.fi/dataset/solar-power-generation-forecast-updated-every-hour>.
- [21] Motiva (2022) Vesivoimateknologia. Saatavilla: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/vesivoima/vesivoimateknologia
- [22] Seinäjoen Ammattikorkeakoulu, 2021, Turvetuotantoalueiden jälkikäyttö peltoviljelyssä. Saatavilla: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/499804/Luhtala_Menna.pdf?sequence=2&isAllowed=y.