



Pienvesivoima ja sen säädettävyys Suomessa

Paikallisvoima ry

LOPPURAPORTTI 25.11.2024 | AFRY MANAGEMENT CONSULTING OY

Suomessa on noin 150 pienvesivoimalaitosta, joiden yhteenlaskettu teho on noin 300 MW – pienetkin laitokset tukevat sähköjärjestelmää

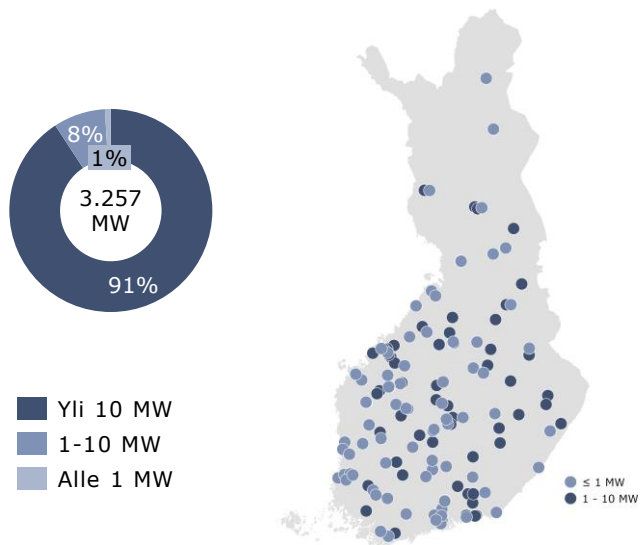
Työn tausta ja tavoitteet

Tämän työn tavoitteena on luoda yleiskuva pienten vesivoimalaitosten määrästä ja sijainnista Suomessa, ja selvittää niiden keskeisiä hyödyntämismahdollisuuksia. Työn keskiössä ovat alle 10 MW laitokset.

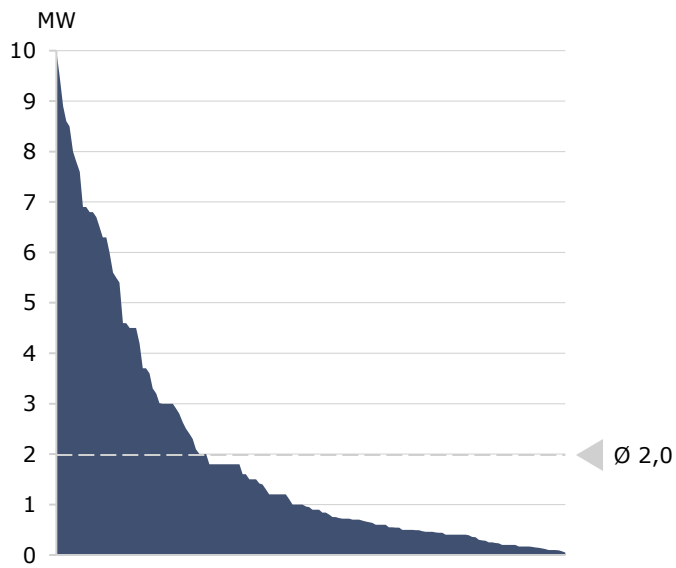
Selvitys toteutettiin Paikallisvoima ry:n toimeksiannosta julkisiin lähteisiin ja AFRYn asiantuntemukseen perustuen.

Keskeiset tulokset

Pienvesivoimalaitosten (alle 10 MW) määrä ja sijainti Suomessa



Suomen pienvesivoimalaitokset kokojärjestyksessä



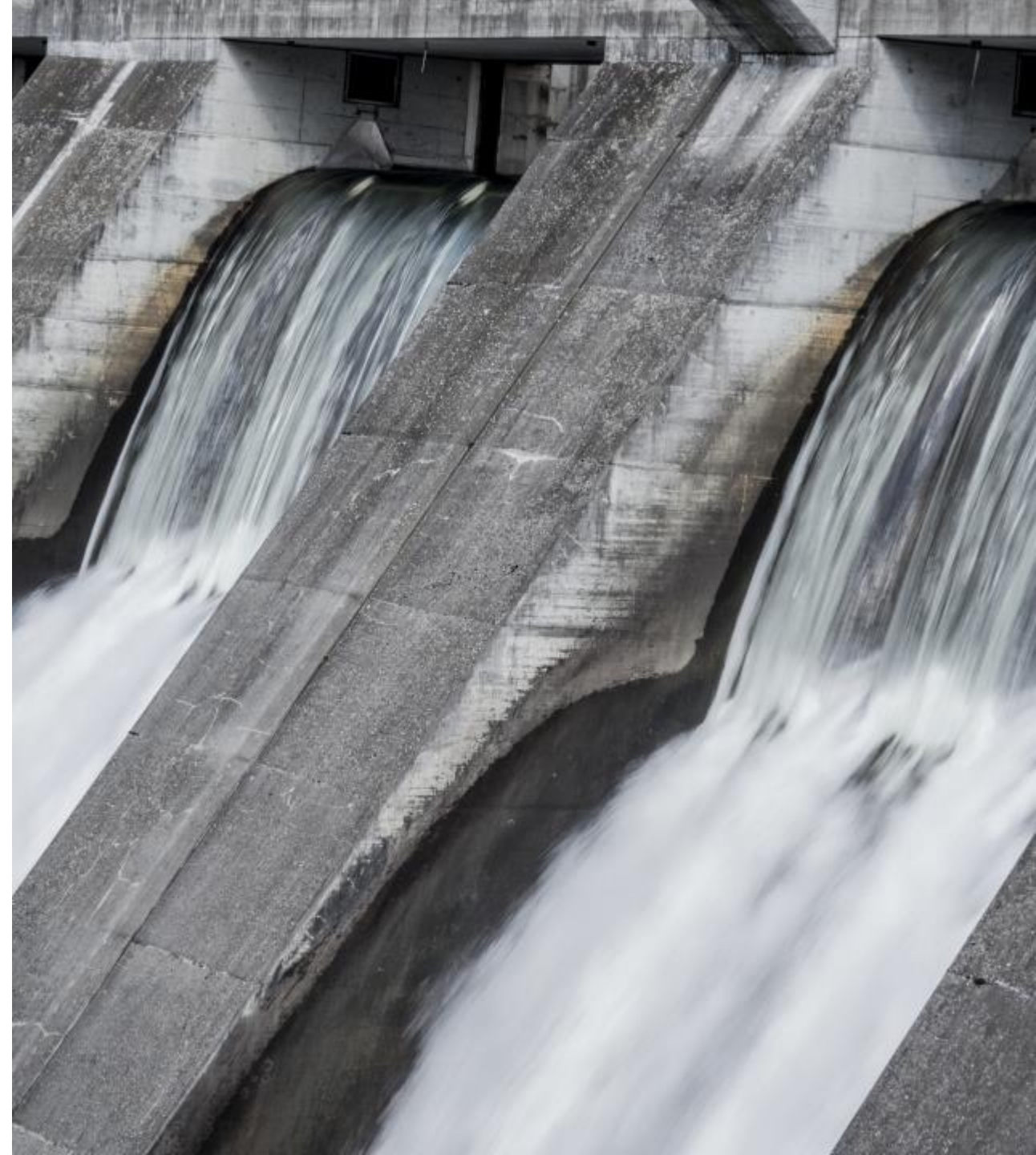
Suomessa on yhteensä noin 150 sähköverkkoon liitettyä pienvesivoimalaitosta. Laitosten yhteenlaskettu teho on noin 300 MW ja keskikoko noin 2 MW. Laitoksia sijaitsee ympäri Suomen, pääsääntöisesti joissa ja koskissa.¹

Pienvesivoimalaitosten kyky sähköjärjestelmää tukevaan säätöön on tapauskohtaista. Reservimarkkinoiden tekniset vaatimukset (ml. minimitarjouskoot ja aktivoinnin kesto) voivat rajoittaa kaikkein pienimpien laitosten itsenäistä osallistumista markkinalle. Pienilläkin laitoksilla voi silti olla merkitystä alueellisesti, ja ne voivat tukea sähköjärjestelmää yhdessä muiden joustavien resurssien kanssa.

1) Lisäksi Suomessa on lukuisia pieniä vesivoimakohteita, jotka eivät ole kytkettyjä sähköverkkoon (ml. oman käytön kohteet ja käytöstä poistetut laitokset sekä käyttämättömät padot ja myllyt). Tässä työssä ei tarkasteltu muita, kuin sähköverkkoon kytkettyjä kohteita.

Sisällysluettelo

1	TIIVISTELMÄ	3
2	Työn tausta ja tavoitteet	5
3	Pienvesivoima Suomessa	11
4	Pienvesivoiman säädettävyys ja hyödyntäminen	13



TYÖN TAUSTA JA TAVOITTEET

Selvitys kuvaa pienvesivoiman määrää ja hyödyntämistä Suomessa

- Tämän työn tavoitteena on luoda yleiskuva pienten vesivoimalaitosten määrästä ja sijainnista Suomessa, ja selvittää niiden keskeisiä hyödyntämismahdollisuuksia
 - Työn keskiössä on alle 10 MW pienvesivoimalaitokset, sisältäen myös alle 1 MW minivesivoimalaitokset
 - Pienvesivoiman hyödyntämistä tarkastellaan erityisesti sen säädettävyyden näkökulmasta
- AFRY Management Consulting Oy ('AFRY') toteutti selvityksen Paikallisvoima ry:n toimeksiannosta julkisiin lähteisiin perustuen



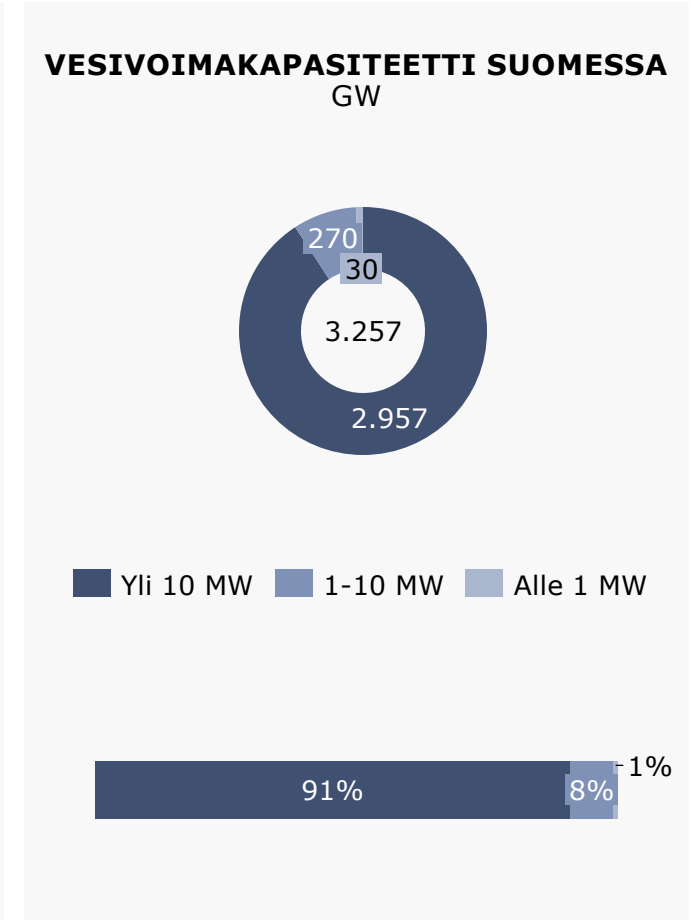
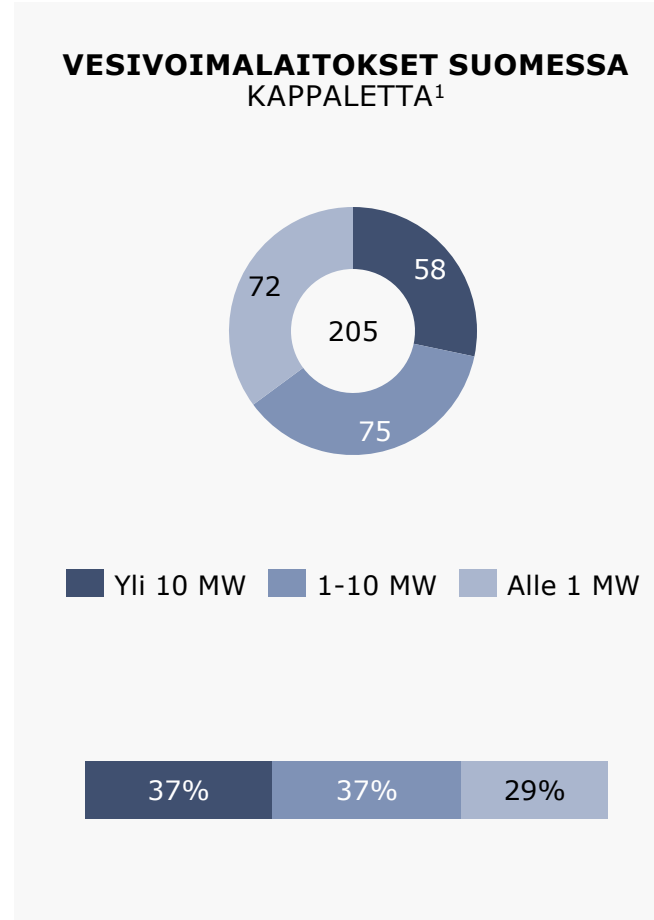
Sisällysluettelo

1	TIIVISTELMÄ	3
2	Työn tausta ja tavoitteet	5
3	Pienvesivoima Suomessa	11
4	Pienvesivoiman säädettävyys ja hyödyntäminen	13



Suomessa on yhteensä noin 200 sähköverkkoon kytkettyä vesivoimalaitosta, joista valtaosa on alle 10 MW:n pienvesivoimaloita

- Suomessa on yhteensä noin 200 sähköverkkoon kytkettyä vesivoimalaitosta, joiden yhteenlaskettu teho on noin 3260 MW
- Pienet, alle 10 MW:n vesivoimalaitokset kattavat noin kaksi kolmasosaa Suomen koko vesivoimalaitoskannasta. Kaikkein pienimpiä alle 1 MW:n minivesivoimalaitoksia on noin 30 prosenttia
- Alle 10 MW:n verkkoon kytkettyjen vesivoimalaitosten yhteenlaskettu teho on noin 300 MW. Tästä noin kymmenesosa on minivesivoimaa
- Pienet vesivoimalaitokset kattavat noin 10 % Suomen vesivoimatehosta. Minivesivoimalaitoksia on noin prosentti Suomen vesivoimatehosta

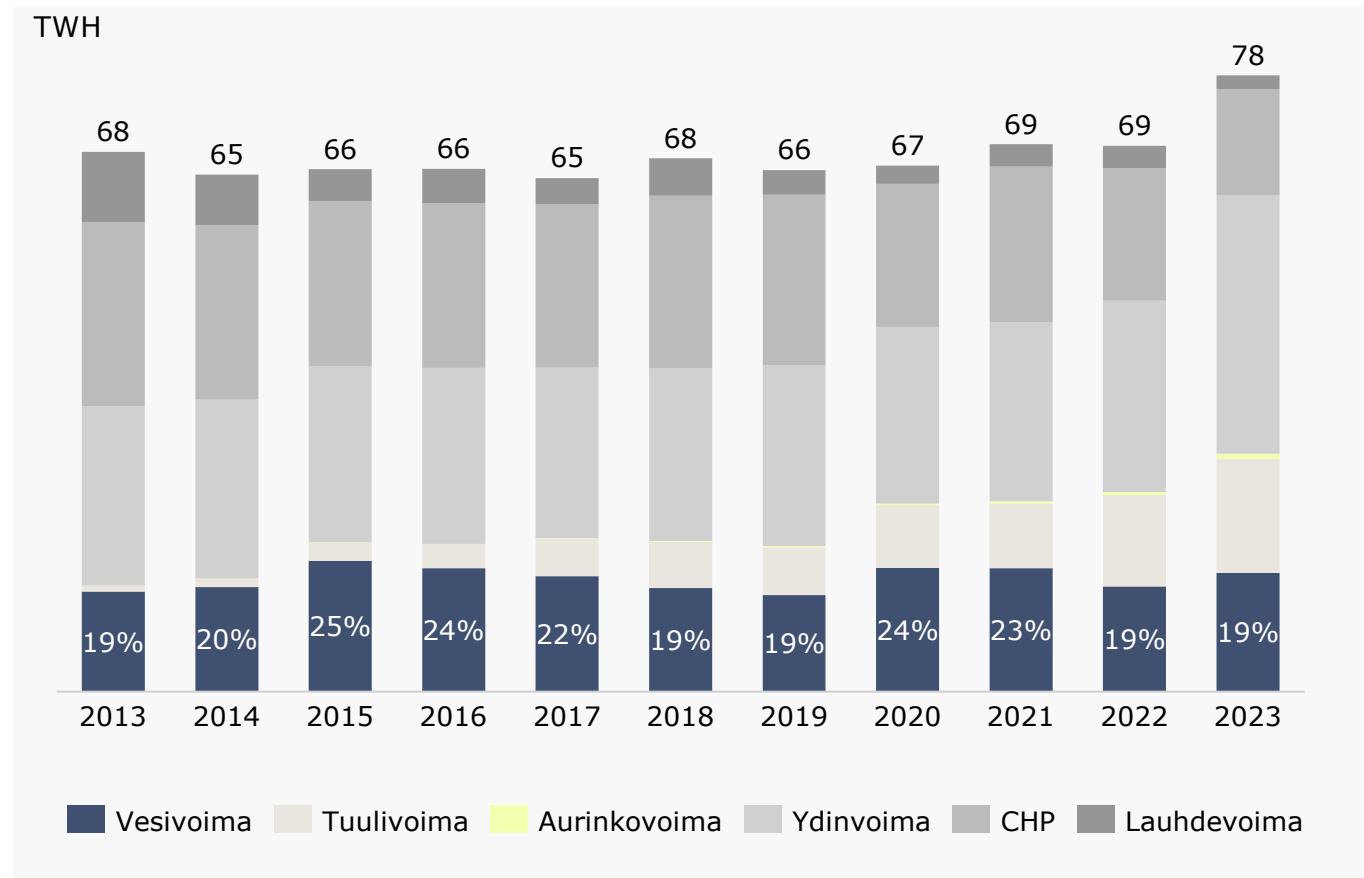


Lähteet: Energiavirasto, AFRY | 1) Vain sähköverkkoon liitetyt voimalaitokset. | Alle 1 MW voimalaitosten lukumäärä perustuu AFRYn tietokantaan laitoista, jossa voi olla vähäisiä putteita.

Vesivoimalla tuotetaan noin viidennes Suomen sähköntuotannosta vuosittain – pienvesivoiman osuus on tästä noin 10%

- Suomessa tuotettiin vuonna 2023 noin 78 TWh sähköä. Vesivoiman osuus vuosituotannosta oli noin viidennes
 - Vesivoiman osuus vuosittaisesta sähköntuotannosta vaihtelee vuosittain vesitilanteen mukaan
 - Olkiluoto 3 -laitoksen käynnistys näkyy vuonna 2023 ydinvoiman osuuden lisääntymisenä
- Pienvesivoimalla tuotetaan vuosittain noin 1000–1100 GWh sähköä, mikä vastaa hieman alle kymmentä prosenttia Suomen vesivoimatuotannosta ja noin prosenttia Suomen kaikesta sähköntuotannosta

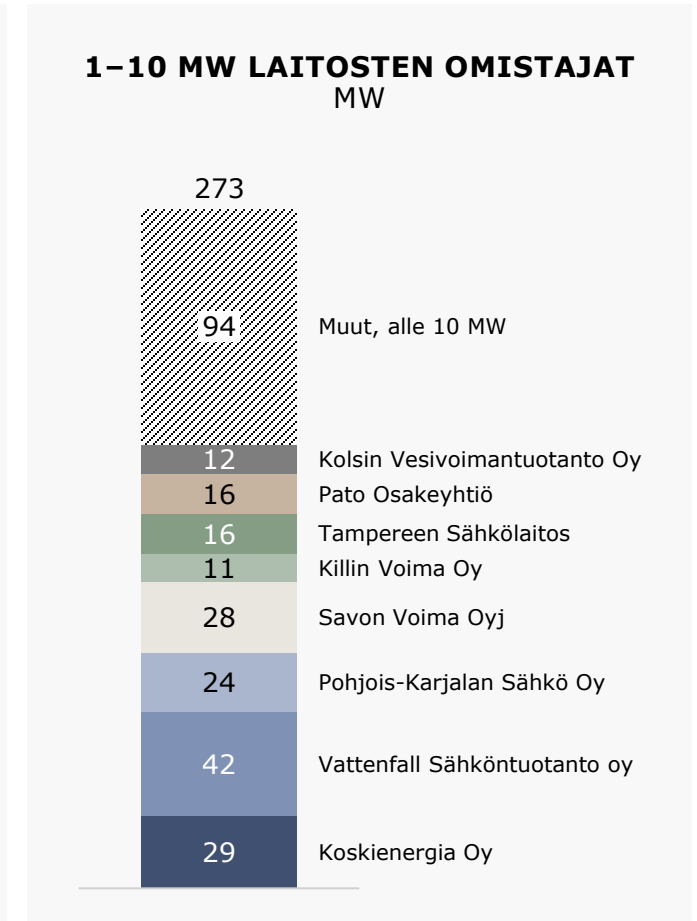
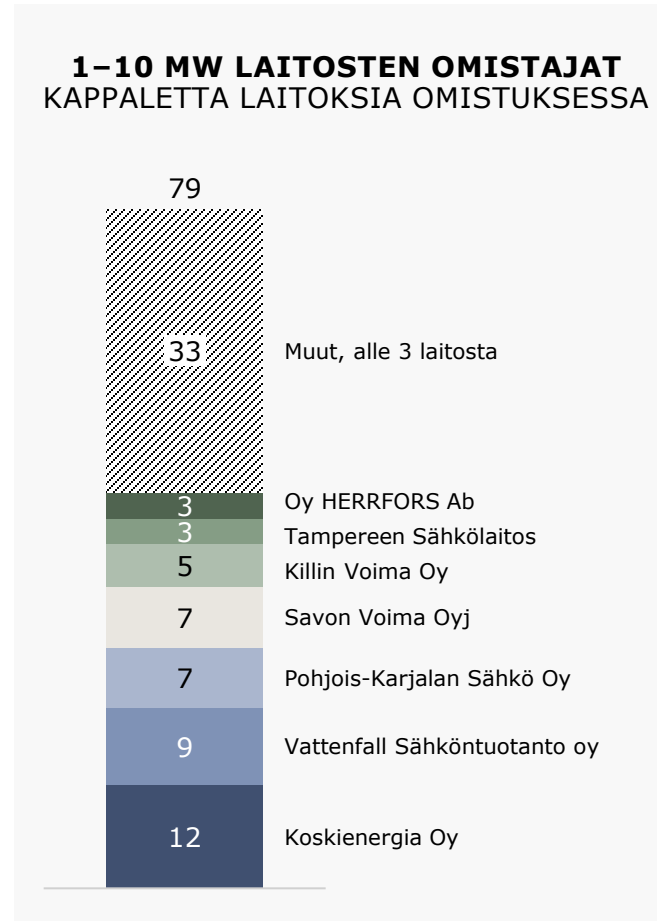
SUOMEN VUOSITTAINEN SÄHKÖNTUOTANTO



Lähteet: Tilastokeskus, Pienvesivoimayhdistys & AFRY | Kuvaaja sisältää kaiken vesivoimatuotannon Suomessa, siis myös yli 10 MW laitokset.

Yli 1 MW:n pienvesivoimalaitokset ovat tyypillisesti energiayhtiöiden omistuksessa – minivesivoimalaitosten omistajina on myös yksityisiä tahoja

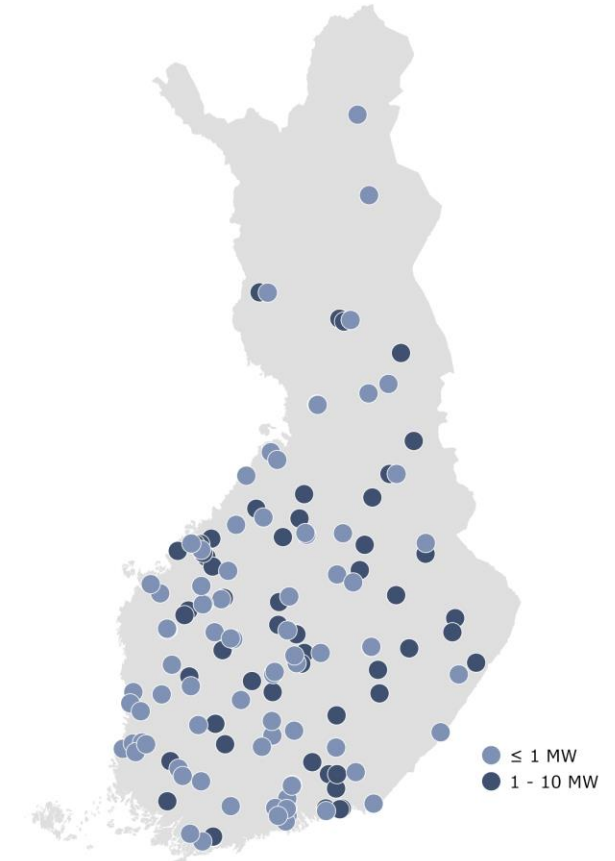
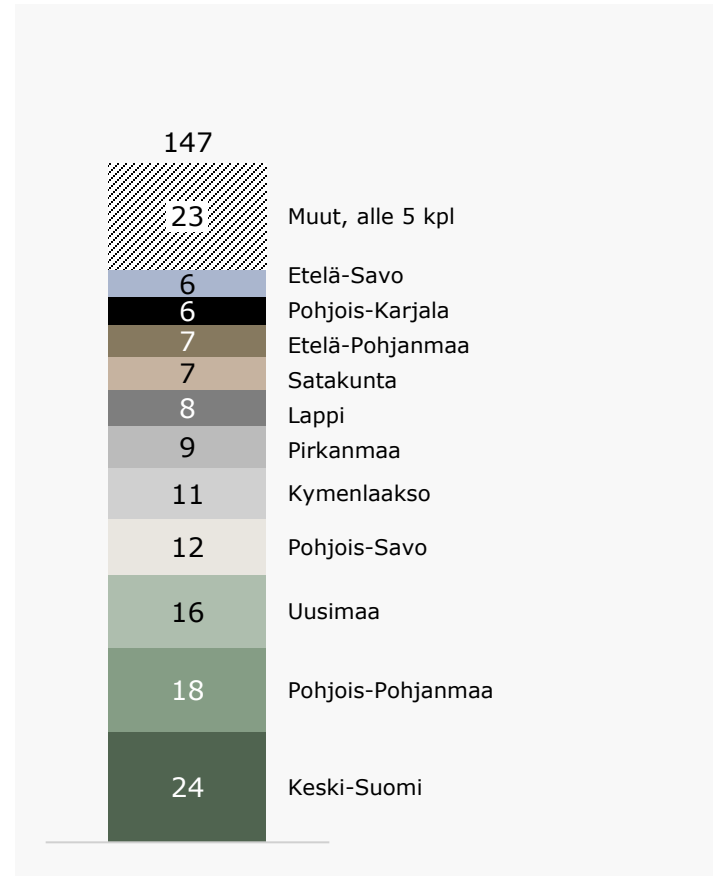
- 1–10 MW:n pienvesivoimalaitokset ovat tyypillisesti paikallisten energiayhtiöiden omistuksessa
 - Yhdellä yhtiöllä on tyypillisesti omistuksissaan vain muutamia laitoksia. Lähes puolella omistajista on vain yksi tai kaksi laitosta
- Noin kolmanneksella pienvesivoimalaitosten omistajista on hallussaan yhteensä alle 10 MW pienvesivoimaa. Vattenfall, Savon Voima ja Koskienergia ovat tuotantotehon näkökulmasta suurimpia 1–10 MW:n pienvesivoiman omistajia
- Minivesivoimaa on sekä energiayhtiöiden, että yksityisten tahojen omistuksessa (esim. kiinteistöyhtiöt)
 - Minivesivoimalaitosten omistajista on saatavilla vähemmän tietoa, kuin yli 1 MW laitoksista. Siksi niitä ei ole tuotu oikealla oleviin kuvaajiin



Sähköä tuottavia pienvesivoimalaitoksia sijaitsee ympäri Suomen – suurin osa on rakennettu jokien ja koskien varsille

- Suomen pienvesivoimalaitokset sijaitsevat maantieteellisesti hajautetulla alueella, tyypillisesti jokien ja koskien varsilla
 - Laitokset jakautuvat melko tasaisesti maakunnittain. Eniten laitoksia on Keski-Suomessa, Pohjois-Pohjanmaalla ja Uudellamaalla
- Monet pienimmistä laitoksista ovat alkujaan syntyneet myllyn, tehtaan tai sahan yhteyteen. Suuremmat laitokset alkoivat yleistyä Suomen sähköistyessä
 - Nykyään käytössä olevat pienvesivoimalaitokset ovat pääsääntöisesti rakennettu 50–100 vuotta sitten
- Suurimpia (yli 10 MW) laitoksia on tyypillisesti rakennettu suuriin jokivesistöihin, kuten Kemijokeen, Oulunjokeen ja Kymijokeen¹

ALLE 10 MW PIENVESIVOIMALAITOSTEN SIJAINTI (ALLE 10 MW)



Lähteet: Energiavirasto, AFRY | 1) Yli 10 MW laitoksia ei ole sisällytetty tämän sivun kuvaajiin.

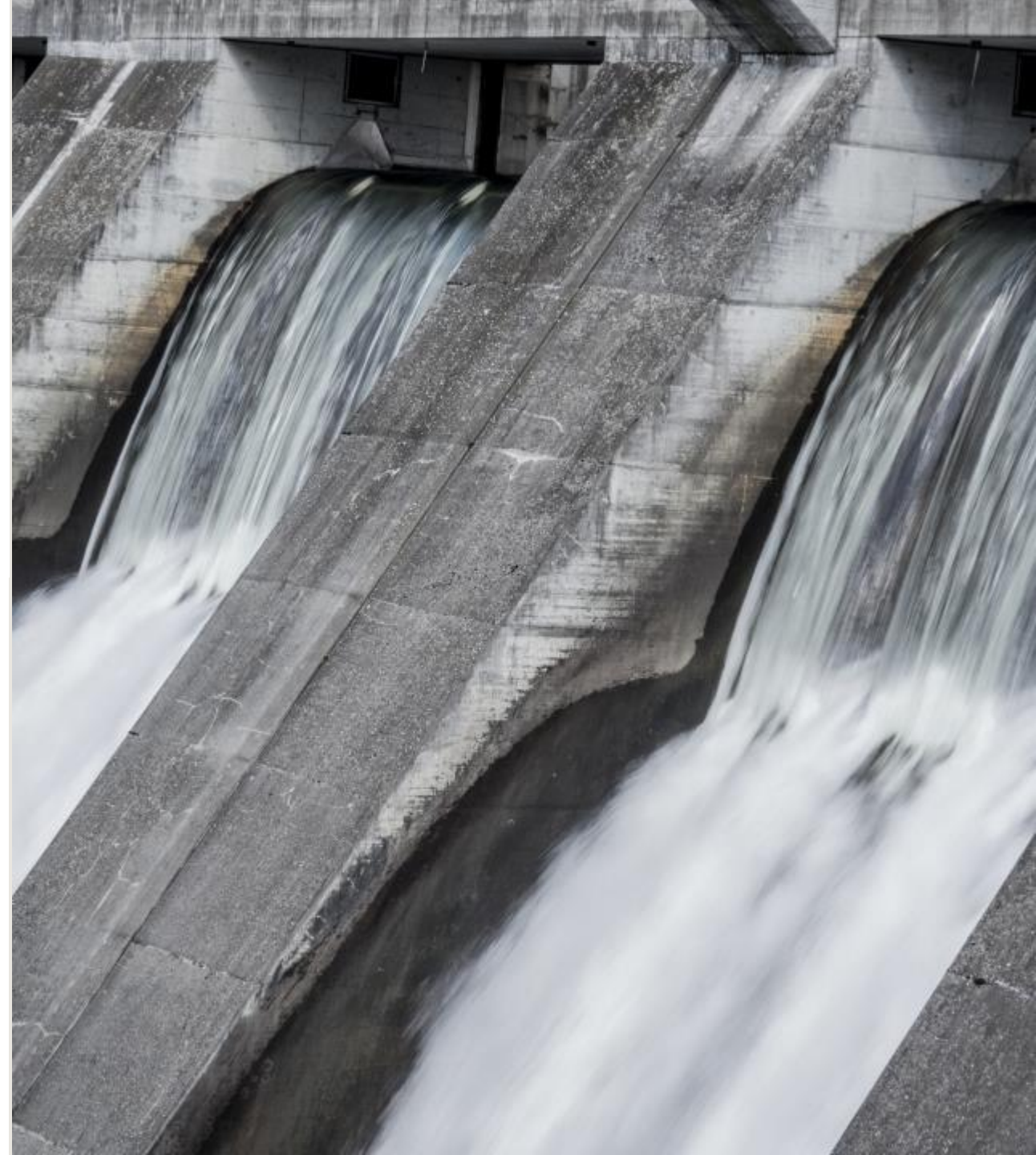
Suomessa on lukuisia pieniä käyttämättömiä vesivoimakohhteita

- Suomessa on sähköverkkoon liitettyjen pienvesivoimalaitosten lisäksi joitakin kymmeniä sähköä omaan käyttöön tuottavia pienvesivoimaloita, ja lukuisia käytöstä poistettuja vesivoimakohhteita, jotka eivät tuota sähköä
 - EU:n Restor Hydro hankkeessa arvioitiin käytöstä poistettujen vesivoimakohhteiden lukumääräksi jopa yli 1800 kappaletta¹. Arvioon sisältyy varsinaisten pienvesivoimaloiden lisäksi myllyjä ja patoja, jotka sijaitsevat esimerkiksi maatalojen yhteydessä. Näissä kohteissa ei välttämättä ole tuotettu sähköä, vaan vesivoimaa on käytetty mekaanisen energian tuottamiseen
 - Monet käytöstä poistetuista vesivoimakohhteista ovat huonossa kunnossa, ja niiden omistajista tai luvista on vain vähän tietoa saatavilla. Käytöstä poistetut pienkohteet, joita ei ole valjastettu sähkön tuotantoon, voivat muokata tai muodostaa esteitä veden luonnonmukaiselle virtaamalle vesistöissä
 - Käytöstä poistettuja pienkohteita on Restor Hydro – hankkeen määräarvioon peilaten merkittävästi enemmän, kuin sähköä tuottavia pienvesivoimakohhteita



Sisällysluettelo

1	TIIVISTELMÄ	3
2	Työn tausta ja tavoitteet	5
3	Pienvesivoima Suomessa	11
4	Pienvesivoiman säädettävyys ja hyödyntäminen	13



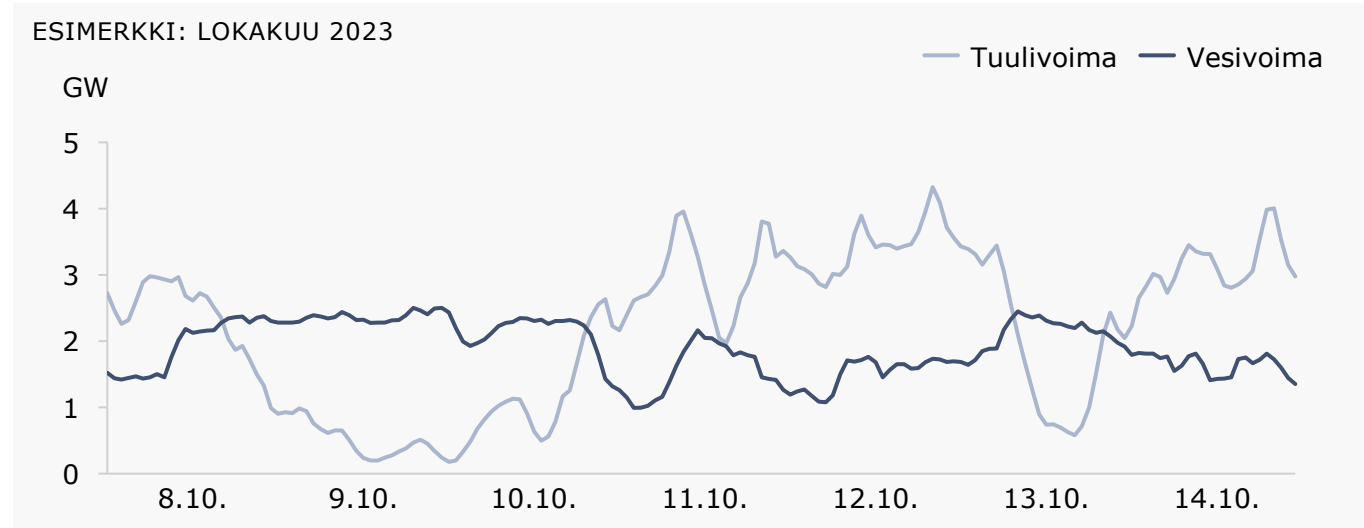
Joustava vesivoima tukee Suomen sähköjärjestelmää

- Sähköjärjestelmämme tarvitsee joustoa sen tehotasapainon ylläpitämiseen
- Vesivoima on monipuolinen sähköntuotantomuoto, joka kykenee joustoon sekä lyhytaikaisten kulutuksen ja tuotannon piikkien aikana että pitkäkestoisemmin esimerkiksi sääriippuvaisen sähköntuotannon (tuuli- ja aurinkovoima) vaihteluiden tasaamiseksi
- Vesivoiman lisäksi joustoon kykenevät esimerkiksi akut, CHP-laitokset, lauhdevoimalaitokset sekä kaasuturbiinit ja -moottorit. Teknologioiden kyky joustoon vaihtelee ajallisesti (esim. akut kykenevät nopeaan mutta lyhytkestoiseen joustoon, kun taas lämpövoima toimii pidemmällä aikajänteellä). Vesivoima kykenee joustoon kaikilla aikajänteillä
- Säättövoiman tarpeen odotetaan lisääntyvän tulevaisuudessa muun muassa sääriippuvaisen sähköntuotannon lisääntymisen, sähköistyvän kulutuksen ja vanhojen säädettävien voimalaitosten poistumisen vuoksi

VESIVOIMA KYKENEÉ JOUSTOON KAIKILLA AIKAJÄNTEILLÄ

	Sekunti	Minuutti	Tunti	Päivä	Kuukausi	Vuosi
Kysyntäjousto	✓	✓	✓			
Akut	✓	✓	✓			
Kaasuturbiinit ja -moottorit		✓	✓	✓		
Lämpövoima			✓	✓	✓	✓
Vesivoima	✓	✓	✓	✓	✓	✓

VESIVOIMATUOTANTO TASAA TUULIVOIMAN VAIHTELUITA



Vesivoimalaitosten säädettävyys riippuu muun muassa laitoksen rakenteesta, luvista ja sijainnista

- Vesivoiman säädettävyys on laitoskohtaista ja se riippuu muun muassa voimalaitoksen luvista, rakenteesta ja sijainnista
 - Vesivoimalaitosten voimalaitosluvassa määritellään, millä tavalla laitoksen tuotantotehoa voidaan säätää. Luvassa voidaan asettaa esimerkiksi enimmäismäärä säädön vuoksi sallitulle joen virtaaman muutokselle tai voimalaitoksen läheisten vesistöjen vedenpinnan korkeuden muutokselle
 - Voimalaitoksen tekninen säätökyvykyys muun muassa turbiinista ja siitä, onko laitoksen yhteydessä veden varastoinnin sallivia patoja tai säännöstelyaltaita. Joki- ja virtaamaperusteisten voimalaitosten säätökyky on tyypillisesti pienempää, kuin patoaltaiden yhteydessä olevien laitosten, koska virtaaman pitkäaikainen hallinta vaatisi suuria varastoaltaita
- Lisäksi säädön mahdollisuuteen ja määrään vaikuttavat esimerkiksi vesitilanne, muiden läheisten laitosten säätökyvykyys (ml. laitosten väliset varastoaltat) ja omistajien halukkuus säätöön ja sähkömarkkinoille osallistumiseen

VESIVOIMAN SÄÄDÖN EDELLYTYKSIÄ

RAKENNE JA SIJAINTI



Vesivoimalaitoksen tulee mahdollistaa säätö teknisesti (mm. turbiini, veden ohjuksuttaminen ja veden ohjaaminen luukkujen avulla). Säädettävyys paranee, jos laitoksen yhteydessä on säännöstelyallas.

LUVITUS



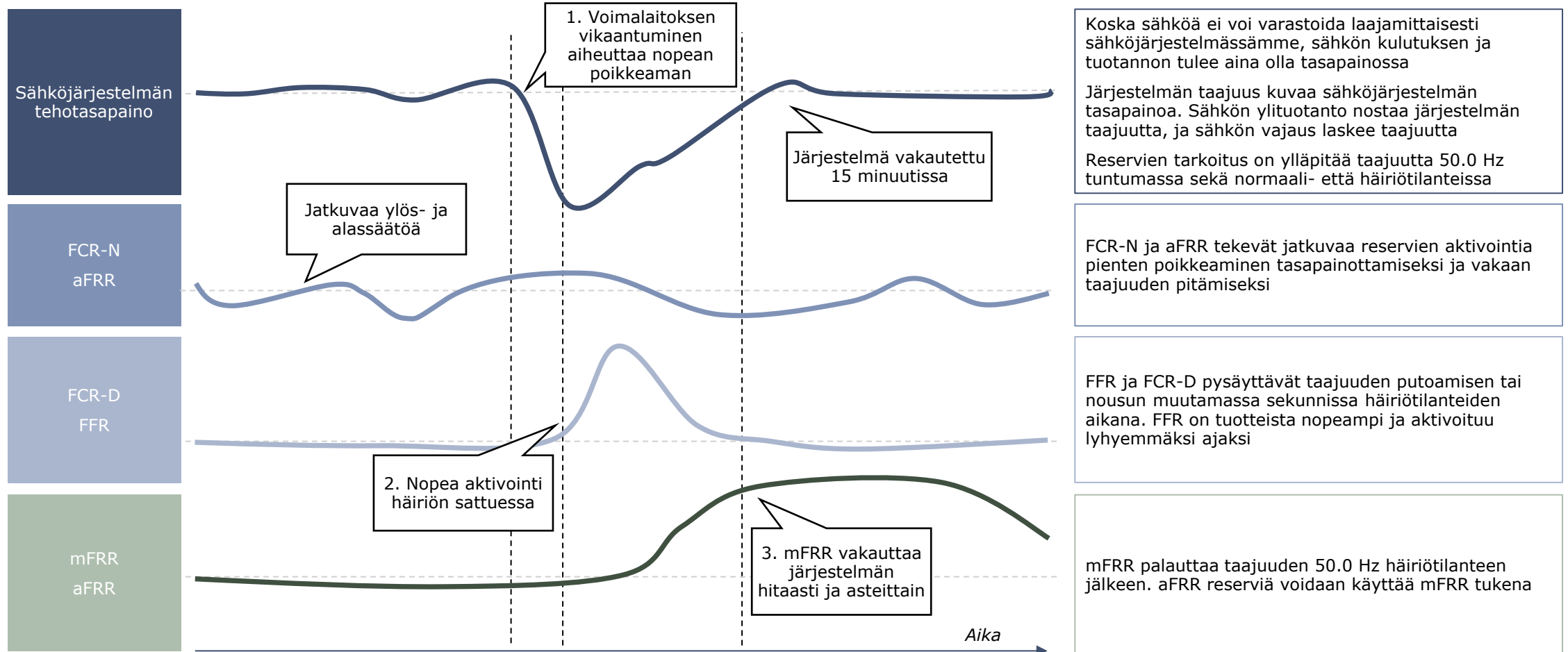
Voimalaitoksen luvan tulee mahdollistaa vedenpinnan korkeuden (esim. varastoaltaassa tai järvessä) tai joen virtaaman säätely säädön ympäristövaikutukset huomioiden.

SÄÄTILA



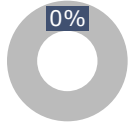
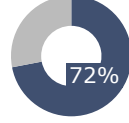

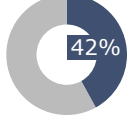
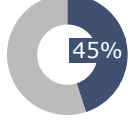

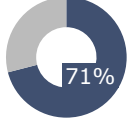
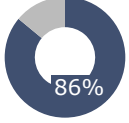
Vesivoimalaitoksen säädettävyys riippuu käytössä olevasta vesimäärästä. Esimerkiksi jokivoimalaitoksessa ei voida tehdä joen virtaamaa suurempaa ylössäätöä ilman varastoaltaita tai ohjausjärjestelmiä.

Sähköjärjestelmän tehotasapainoa ylläpidetään erilaisten reservituotteiden avulla



Lähde: AFRY

Vesivoimalla on keskeinen rooli useimmilla reservimarkkinoilla

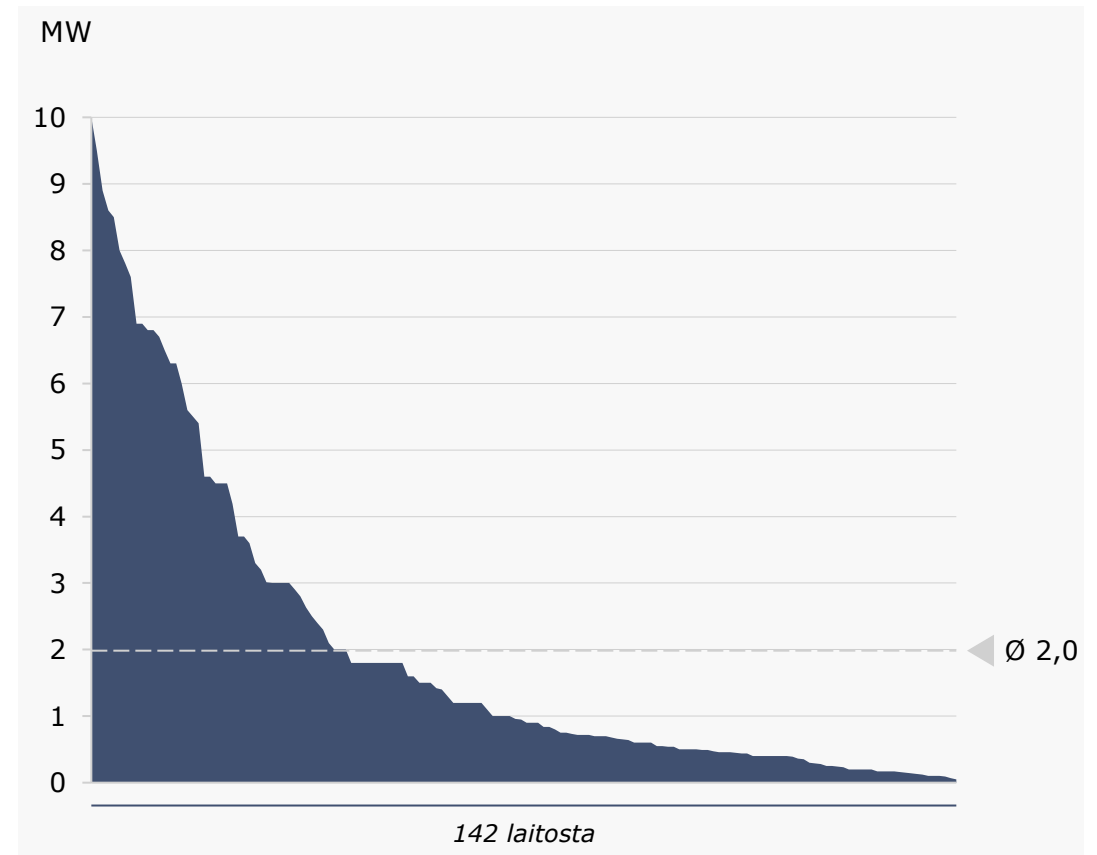
	Nopea taajuusreservi (FFR)	Taajuusohjattu häiriöreservi (FCR-D)	Taajuusohjattu käyttöreservi (FCR-N)	Automaattinen taajuuden palautusreservi (aFRR)	Säätösähkö- ja säätökapasiteetti-markkinat (mFRR)
Markkinan tarkoitus	Erittäin nopea taajuuden säätö pienen inertian tilanteita varten	Nopea taajuuden säätö häiriötilanteissa	Jatkuvaa taajuuden säätöä normaalikäytön aikana	Taajuuden palauttaminen poikkeamien jälkeen	Taajuuden palauttaminen poikkeamien jälkeen
Vesivoiman osuus ¹		 VUOSI  TUNTI	 VUOSI  TUNTI		 YLÖS  ALAS
Vaatimukset osallistujalle	Kyvykkyys automaattiseen aktivointiin sekunnissa	Säädön vähimmäiskoko on 1 MW ja aktivointiaika joitakin sekunteja	Säädön vähimmäiskoko on 0,1 MW ja aktivoitumisaika joitakin minutteja	Säädön vähimmäiskoko on 1 MW ja aktivointisaika enintään viisi minuuttia. Pitkät ja stabiilit aktivointiajat	Minimitarjouskoko on 5 MW ja aktivoitumisaika enintään 15 minuuttia. Pienempi tarjouskoko mahdollinen elektronisella aktivoinnilla ²
Arvio pienvesivoiman osallistumismahdollisuuksista	Vesivoima ei tyypillisesti osallistu markkinalle sen erittäin nopean vasteaika vaatimuksen vuoksi	Tapauskohtainen mahdollisuus riippuen laitoksen reservimarkkinoille allokoitusta tuotanto-osuudesta	Pienvesivoiman on mahdollista osallistua, jos markkinapaikan muut tekniset vaatimukset täyttyvät	Tapauskohtainen mahdollisuus riippuen laitoksen kapasiteetista ja kyvykkyudesta pidempikestoiseen säätöön	Tapauskohtainen mahdollisuus laitospaikasta ja elektronisen aktivoinnin mahdollisuudesta riippuen

Lähteet: Fingrid, AFRY | 1) Kaupat 2021, ilmoitettu erikseen vuosimarkkina- ja tuntimarkkina-kaupoille (FCR) sekä ylös- ja alassäädölle (mFRR). 2) Jos säätötarjous voidaan aktivoida elektronisesti, reservitoimittaja voi jättää viisi alle 5 MW:n tarjousta kutakin käyttötuntia kohden.

Pienvesivoimalaitosten säädettävyys on tapauskohtaista ja niiden mahdollisuutta osallistua reservimarkkinalle olisi arvioitava laitoskohtaisesti

- Pienten vesivoimalaitosten mahdollisuus osallistua sähkömarkkinaa tukevaan säätöön reservimarkkinoilla on tapauskohtaista. Laitoksen on oltava teknisesti ja lupamielessä säädettävissä, mutta lisäksi on voitava tarjota riittävän suuri osuus laitoksen tuotannosta reservimarkkinalle
- Suomen pienvesivoimalaitosten keskikoko on noin 2 MW
 - Monilla reservimarkkinapaikoilla minimisäätö on 1 MW, jolloin pienimmät vesivoimalaitokset eivät voi yksinään osallistua markkinalle, vaikka ne olisivat säätökykyisiä
 - Noin puolet Suomen pienvesivoimalaitoksista on yli 1 MW kokoisia
- Teknisesti säätökykyinen laitos vaatii lisäksi reservimarkkinoille osallistumisen mahdollistavat sopimukset ja, markkinapaikasta riippuen, säädön aktivoinnin mahdollistavaa automaatiota
 - Automaatiouudistus on mahdollista toteuttaa esimerkiksi laitoksen modernisoinnin yhteydessä, ja sopimus tehdään yhteistyössä kantaverkonhaltijan kanssa

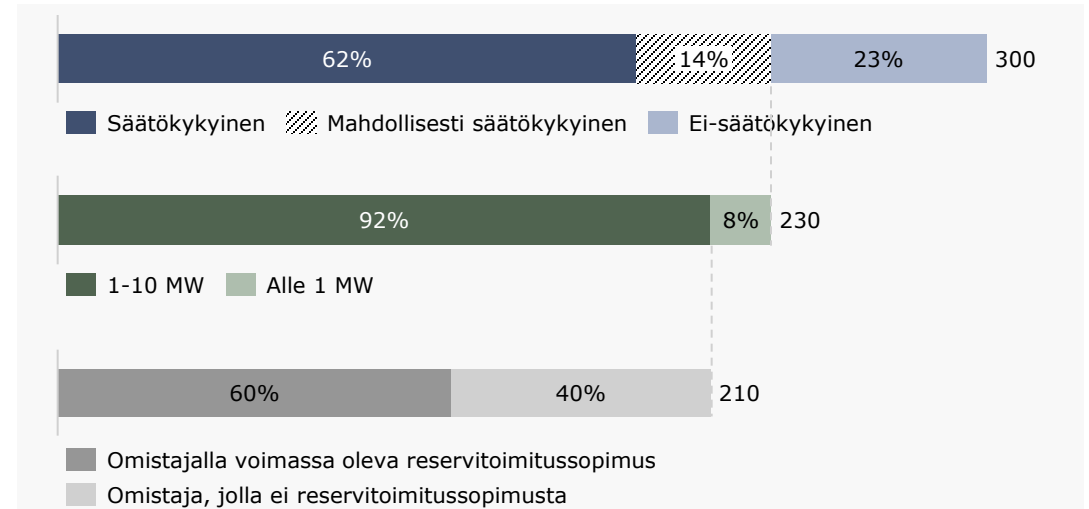
PIENVESIVOIMALAITOKSET KOKOJÄRJESTYKSESSÄ



Suomessa arvioidaan olevan jopa 230 MW säätökykyistä pienvesivoimaa – omistajista yli puolella on jo voimassa oleva reservitoimitussopimus

- Suomessa arvioidaan olevan noin 190–230 MW pienvesivoimaa, jolla voisi olla mahdollisuus osallistua sähkömarkkinaa tukevaan säätöön
 - Arvio on suuntaa antava, ja perustuu AFRYn näkemukseen teknisesti säätökykyisistä laitoksista¹
 - Arvio olettaa säätökykyisen laitoksen voivan tarjota säätöä koko kapasiteetillaan. Tosiasiassa säädön suuruus riippuu muun muassa säädön suunnasta² ja vesimääristä
- Valtaosa säätökykyisistä laitoksista on 1–10 MW vesivoimaa. Myös minivesivoimalaitokset voivat olla teknisesti säädettävissä, mutta niiden potentiaali reservimarkkinalla lienee yli 1 MW laitoksiin nähden vähäinen, koska vesivoimalle soveltuvien markkinoiden minimitarjouskoko on pääsääntöisesti yli 1 MW
- Noin kahdella kolmasosalla 1–10 MW vesivoimalaitosten omistajista on jo voimassa oleva reservimarkkinasopimus
 - Sopimus ei vielä todenna markkinalle osallistumista, koska julkisessa sopimusrekisterissä ei eritellä, millä laitoksilla kukin toimija osallistuu. Sopimuksen voimassaolo kuitenkin indikoi kiinnostusta osallistua säätöön
 - Myös niillä toimijoilla, joilla ei vielä ole sopimusta, on mahdollisuus osallistua markkinalle. Reservisopimus tehdään yhteistyössä kantaverkonhaltijan kanssa

OHJEELLINEN LASKELMA PIENVESIVOIMAN SÄÄTÖPOTENTIAALISTA JA KUSTANNUSVAIKUTUKSISTA



Säätökykyistä pienvesivoimaa arvioidaan olevan noin 190–230 MW (ks. ylin kuvaaja, säätökykyinen ja mahdollisesti säätökykyinen).

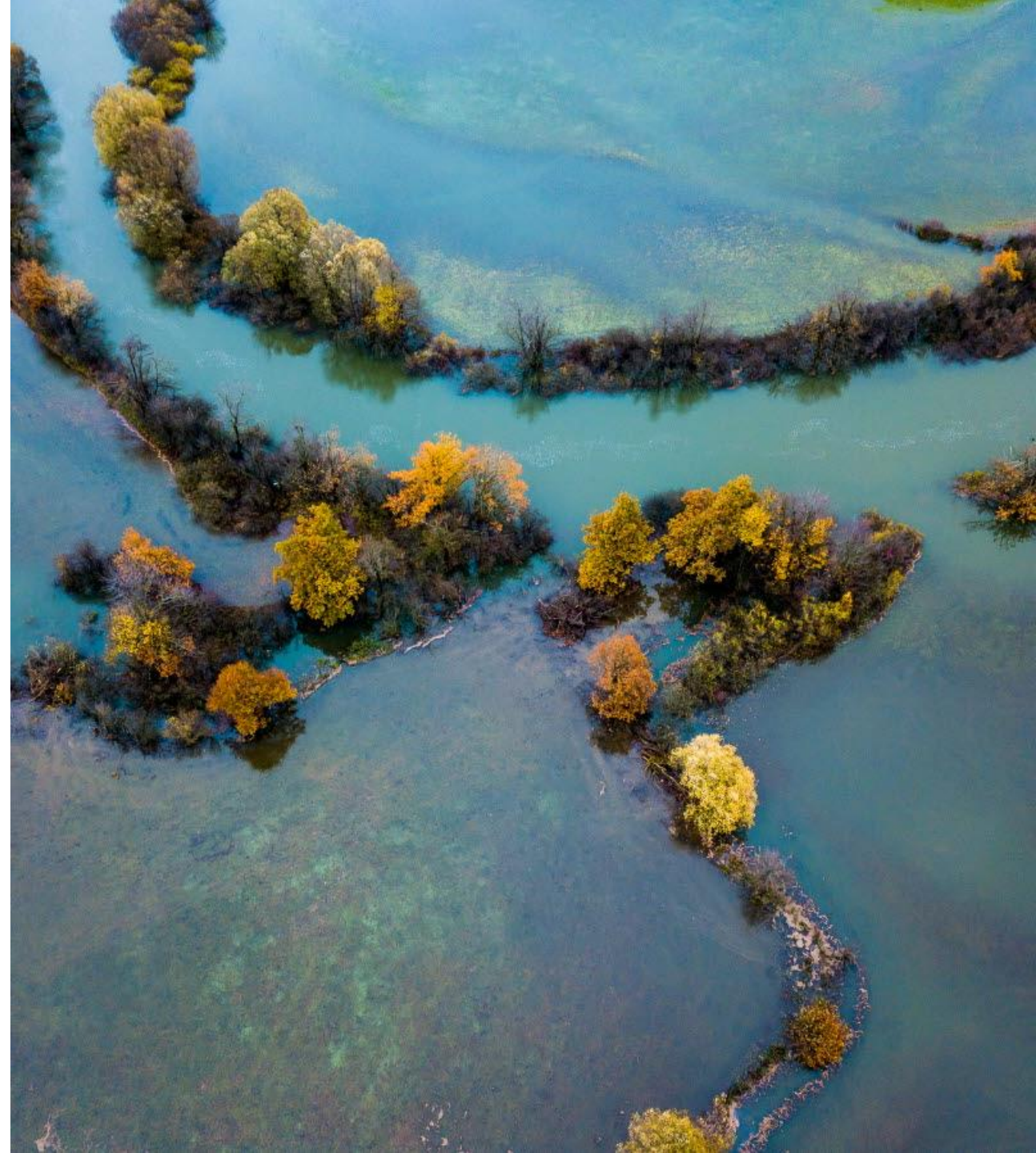
Vastaava uusi säätöpotentiaali voitaisiin saavuttaa esimerkiksi pumppuvoimaa rakentamalla. Suomeen tällä hetkellä suunnitteilla olevien pumppuvoimahankkeiden julkiset kustannusarviot vaihtelevat: Ailangantunturin hankkeen alustava kustannusarvio on noin 600–800 MEUR (550 MW) ja Pyhäsalmen hankkeen noin 250 MEUR (75 MW). Hankkeiden yksikkökustannukset ovat näillä arvioilla välillä 1,1–3,3 MEUR/MW.

Lähteet: AFRY, Fingrid, YLE | 1) Työssä ei ole selvitetty jokaisen laitoksen säädettävyyden edellytyksiä erikseen. Sen sijaan laitoksen on arvioitu olevan säädettävissä, jos siihen sisältyy säännöstelyallas tai muu tiedossa oleva mahdollisuus säätöön. Epävarmat laitokset on niputettu mahdollisesti säätökykyisten alle. 2) Ylösäättö vaatii laitoksen ajamista sen maksimiteho pienemmällä teholla, jotta korotus on (virtaaman salliessa) mahdollinen.

Pienetkin laitokset tukevat sähköjärjestelmää

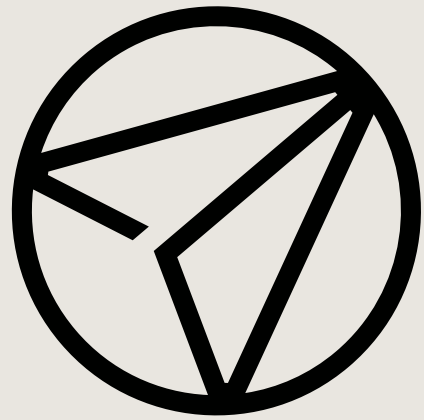
- Kaikesta Suomen vesivoimasta säätöön kykenee noin kaksi kolmasosaa (2100 MW). Suurin osa säätötehosta lienee suurissa vesivoimalaitoksissa, mutta myös pienemmät laitokset tukevat sähköjärjestelmää
 - Pienet laitokset mahdollistavat pääsääntöisesti ainakin tuotantotehon alassäädön, ja myös ylössäätö voi olla mahdollista
 - Pienten (joki)voimalaitosten säätöä rajoittavana tekijänä on tyypillisesti niiden varastoaltainen pieni kapasiteetti. Pientenkin laitosten pitempiaikainen säätö voi olla mahdollista, jos samalla jokiosuudella on peräkkäisiä voimalaitoksia, joilla on varastoaltaita, ja joita voidaan säätää yhtäaikaaisesti
 - Pieniä laitoksia voidaan hyödyntää sähköjärjestelmän tukena aggregoituna ja yhdessä muiden joustavien resurssien kanssa
- Pienillä laitoksilla voi olla myös paikallista merkitystä, vaikka niiden säädettävyys olisi sähköjärjestelmän näkökulmasta vähäistä (esim. tulvavesien hallinta tai paikallinen sähköntuotanto)
- Tuotannon säätö ja osallistuminen reservimarkkinalle vaatii laitoksen omistajalta aktiivisuutta, säädön mahdollistavaa automatiikkaa ja markkinapaikan sopimusten ja yhteydenpitokanavien hallintaa

Lähde: AFRY | 1) Markkinapaikan vaatimusten täytyessä



A photograph of water cascading over a concrete dam. The water is in motion, creating a series of white, frothy waves as it falls. The concrete structure of the dam is visible on the left side, with its surface reflecting the water. The overall scene is bright and clear, suggesting a sunny day.

Making Future



AFRY