



Pohjois-Savon energia
masterplan -hanke
1.5.2024 – 7.6.2026

ENERGIAN VARASTOINTI

Pohjois-Savon ja Pieksämäen alueella



Euroopan unionin
osarahoittama



Pohjois-Savon liitto

warkaus
Ihän omenainen

NAVITAS
YRITYSPALVELUT
Navitas Kehitys Oy

Sisällys

1 Johdanto.....	4
1.1 Mitä energian varastointi on ja miksi sitä tarvitaan	4
1.2 Selvityksen tavoite	4
1.3 Tarkastelualue: Pohjois-Savo ja Pieksämäki	5
1.4 Aineistot, lähteet ja menetelmällinen lähestymistapa.....	6
2 Energian varastoinnin yleinen kehitys ja tekninen perusta	6
2.1 Varastointiteknologioiden pääluokat	6
2.3 Lämpövarastot ja hiekka-akut.....	10
2.4 Nesteytetyn ilman energian varastointi (LAES).....	11
2.5 Varastoinnin käyttötarkoitukset sähköjärjestelmässä.....	12
2.6 Varastoinnin käyttötarkoitukset lämpöjärjestelmässä	12
2.7 Hankekehityksen, luvituksen ja rakentamisen päävaiheet	13
3 Alueellinen lähtötilanne.....	13
3.1 Energian varastoinnin nykytila Pohjois-Savossa ja Pieksämäellä.....	13
3.2 Sähköntuotanto, kulutus ja uusiutuvan energian vaihtelu	14
3.3 Sähköverkko, kantaverkko, jakeluverkot ja liityntäkapasiteetti.....	14
3.4 Kaukolämpö, aluelämpö, teollisuuslämpö ja hukkalämpö	17
3.5 Uusiutuvan energian hankkeet ja varastoinnin yhteissijoittaminen	17
3.6 Alueidenkäyttö, kaavoitus, ympäristö- ja turvallisuusreunaehdot	18
3.7 Markkina, tulovirrat ja kysyntä.....	18
3.8 Keskeiset alueelliset pullonkaulat ja epävarmuudet.....	19
4 Energian varastoinnin potentiaali tarkastelualueella.....	20
4.1 Tekninen potentiaali: varastointitarve, teknologia ja sijainti	20
4.2 Akkuvarastojen potentiaali.....	20
4.3 Lämpövarastojen potentiaali	21
4.4 Pitkäkestoisen sähkövarastoinnin potentiaali	21
4.5 Varastoinnin rooli sähkö-, lämpö- ja teollisuusjärjestelmissä.....	22
4.6 Maankäytöllinen, luvituksellinen ja turvallisuuteen perustuva potentiaali..	22
4.7 Teknistaloudellinen toteutettavuus Pohjois-Savossa ja Pieksämäellä	23
4.9 Realistinen potentiaali.....	24

5 Vaikutukset	25
5.1 Vaikutukset alue- ja kuntatalouteen	25
5.2 Työllisyys- ja osaamisvaikutukset	27
5.3 Vaikutukset energiaomavaraisuuteen, huoltovarmuuteen ja kilpailukykyyn	28
5.4 Vaikutukset sähköjärjestelmään ja kulutusjousto	29
5.5 Vaikutukset lämpöjärjestelmään ja hukkalämmön hyödyntämiseen	29
5.6 Ympäristö-, ilmasto-, turvallisuus- ja hyväksyttävyyssvaikutukset	29
5.7 Vaikutukset teolliseen uudistumiseen ja energiajärjestelmän kehittämiseen	30
6 Riskit ja epävarmuudet	30
6.1 Teknologia- ja käyttöikäriski	30
6.2 Investointi-, kustannus- ja kannattavuusriski	31
6.3 Sähköverkon, lämpöinfran ja liityntöjen riski	31
6.4 Markkina-, kysyntä- ja tulovirtojen riski	32
6.5 Turvallisuus-, ympäristö- ja hyväksyttävyyssriski	32
6.6 Sääntely-, lupa- ja standardointiriski	33
6.7 Toimijakentän ja osaamisen riski	33
7 Johtopäätökset	34
7.1 Keskeiset havainnot	34
7.2 Realistisimmat kehityssuunnat	35
7.3 Alueellisesti kriittisimmät edellytykset	36
7.4 Keskeiset riskit ja epävarmuudet	37
Lähdeluettelo	38

Taulukko 1. Energian varastoinnin keskeiset tekniset käsitteet ja niiden selitykset.

Käsite	Selitys	Merkitys Pohjois-Savon ja Pieksämäen tarkastelussa
Teho, MW	Kuvaa, kuinka nopeasti varasto voi ladata tai purkaa energiaa.	Ratkaisee soveltuvuuden reservimarkkinoille, kulutushuippujen hallintaan, sähkökattiloiden käyttöön ja teollisuuden tehopiikkien tasaamiseen.
Energiakapasiteetti, MWh	Kuvaa, kuinka paljon energiaa varastoon voidaan tallettaa.	Ratkaisee, riittääkö varasto minuuteiksi, tunneiksi, päiviksi vai pidempään lämpö- tai sähköjärjestelmän tarpeeseen.
Purkuaika	Energiakapasiteetin ja purkutehon suhde.	Lyhyet purkuajat soveltuvat taajuus- ja tehopalveluihin, pitkät purkuajat uusiutuvan tuotannon ajalliseen siirtoon ja lämpöjärjestelmän joustoon.
Vasteaika	Aika, jossa varasto pystyy reagoimaan ohjaussignaaliin.	Nopea vaste on keskeinen akkuvarastoissa ja reservikäytössä. Lämpövarastoissa vasteaikaa arvioidaan lämmön siirtotehon ja verkon ohjauksen kautta.
Hyötysuhde	Varastosta ulos saatavan energian suhde sisään ladattuun energiaan.	Vaikuttaa kannattavuuteen, mutta ei yksin ratkaise toteutettavuutta; lämpövarasto voi olla perusteltu, jos loppukäyttö on lämpöä.
Kapasiteetin heikkeneminen	Erityisesti akuissa varastointikyvyn aleneminen käyttösykliin, lämpötilan ja ajan seurauksena.	Vaikuttaa akkuvaraston elinkaareen, takuisiin, käyttöstrategiaan ja jäännösarvoon.
Inertia (pyörimisenergia)	Sähköjärjestelmän pyörivien massojen kyky hidastaa äkillisiä taajuusmuutoksia ja tukea verkon vakautta häiriötilanteissa.	Voi vahvistaa sähköverkon vakautta ja parantaa uusiutuvan sähköntuotannon liittämisedellytyksiä alueella.
Sähköverkkoliittyntä	Liittyminen jakelu- tai kantaverkkoon sekä siihen liittyvät tekniset ehdot ja kustannukset.	Keskeinen toteutettavuuden reunaehto etenkin akkuvarastoille, LAES-ratkaisuille, sähkökattiloille ja lämpöpumpuille.
Lämpöliittyntä	Liittyminen kaukolämpö-, aluelämpö- tai teollisuuslämpöjärjestelmään.	Ratkaisee lämpövaraston hyödynnettävyyden; ilman vastaanottavaa lämpökysyntää lämpövarasto ei tuota järjestelmähöyryä.
Tulovirtojen yhdistäminen	Useiden hyötyjen, kuten reservitulon, hintaerojen hyödyntämisen (arbitraasi), tehomaksujen hallinnan ja varavoiman, yhdistäminen samaan varastoon.	Usein välttämätöntä taloudelliselle toteutettavuudelle, mutta vaatii sopimus-, ohjaus- ja markkina-analyysin.
Turvallinen sijoittuminen	Palo-, kemikaali-, sammutusvesi-, pohjavesi-, suojaetäisyys- ja pelastusturvallisuuden yhteensovitus.	Erityisen tärkeää litiumioniakkuvarastoissa ja teollisuusalueiden, sähköasemien ja pohjavesialueiden läheisyydessä.

1 Johdanto

1.1 Mitä energian varastointi on ja miksi sitä tarvitaan

Energian varastointi tarkoittaa energian siirtämistä ajassa. Energia otetaan talteen silloin, kun sitä on saatavilla, kun se on järjestelmän kannalta edullista tai kun tuotanto ylittää hetkellisen tarpeen. Varastoitua energiaa käytetään myöhemmin, kun kulutus, hinta, verkon tila tai toimitusvarmuus sitä edellyttää.

Sähköjärjestelmässä varastointi voi tukea taajuudenhallintaa, sähköverkon käyttövarmuutta, uusiutuvan tuotannon vaihtelun hallintaa, kulutus- ja tuotantohuippujen tasaamista sekä sähkön hinnan vaihteluun perustuvaa optimointia. Euroopan komission mukaan energian varastointi on keskeinen sähköjärjestelmän joustavuuden, luotettavuuden ja vakauden lähde. Fraunhofer IFAMin mukaan varastointijärjestelmät mahdollistavat tuotannon ja kulutuksen osittaisen ajallisen irrottamisen toisistaan, ja niiden käyttökohteita ovat muun muassa lämmönhuolto, paikallinen sähköverkon stabilointi ja elektrolyysereiden käytön optimointi.

Varastointi ei rajoitu sähköön. Lämpöjärjestelmissä varastointi voi tasata kaukolämmön, aluelämmön ja teollisen lämmön tuotantoa ja kulutusta sekä mahdollistaa sähkökattiloiden, lämpöpumppujen ja hukkalämpöjen tehokkaamman käytön. Lämpövarastot voivat tukea myös lämmitys- ja jäähdytyssektorin vähähiilistämistä.

Pohjois-Savon ja Pieksämäen kannalta energian varastointia on arvioitava käyttötarkoituksen perusteella, ei yhden teknologian näkökulmasta. Akkuvarastot soveltuvat erityisesti nopeaan sähkötehon joustoon ja reservimarkkinoille. Lämpövarastot soveltuvat tilanteisiin, joissa varastoitava ja myöhemmin hyödynnettävä energia tarvitaan lämpönä. Pitkäkestoinen sähkövarasto, kuten nestemäisen ilman energiavarasto eli LAES, tulee kyseeseen vasta, jos sähköjärjestelmässä tai teollisessa energiankäytössä on tunnistettu useiden tuntien, vuorokausien tai pidempien jaksojen joustotarve ja riittävä mittakaava. Kemiallista varastointia, kuten vetyä ja synteettisiä polttoaineita, tarkastellaan tässä yhteydessä vain silloin, kun sähköä tai muuta energiaa muunnetaan myöhemmin käytettäväksi energiankantajaksi.

Varastointitarpeen määrä riippuu järjestelmäkohtaisesti tuotantorakenteesta, muista joustolähteistä, kysynnän ajallisesta vaihtelusta ja uusiutuvan tuotannon profiileista. Pohjois-Savossa ja Pieksämäellä tämä tarkoittaa, että varastointia on tarkasteltava rinnakkain sähköverkon, kaukolämpö- ja aluelämpöverkkojen, teollisen energiankäytön, sähkökattiloiden, lämpöpumppujen, hukkalämpöjen ja uusiutuvan tuotannon näkökulmista.

Tarkastelualueelta ei ole käytettävissä kattavaa julkista rekisteriä kaikista toteutuneista, rakenteilla olevista ja suunnitteilla olevista energiavarastoista, niiden tehoista, energiakapasiteeteista, liityntäpisteistä, käyttötarkoituksista ja markkinamalleista. Siksi alueellinen arvio on tältä osin laadullinen.

1.2 Selvityksen tavoite

Energian varastoinnin päätöksenteko edellyttää sähköjärjestelmän, lämpöjärjestelmän, markkinan, turvallisuuden, luvituksen ja maankäytön yhteistarkastelua. Fingridin reservimarkkinoilla varastot voivat osallistua, jos ne täyttävät tekniset ja markkinaehdot, mutta toteutuneet tulot riippuvat tuotekohtaisista hinnoista, käytettävyydestä, aktivoinneista, markkinakilpailusta ja varaston muusta käytöstä.

Tämä teksti voi tukea Pohjois-Savon ja Pieksämäen alueellista päätöksentekoa: missä käyttötarkoituksissa energian varastointi voi olla perusteltua, mitä tietoja tarvitaan ennen investointipäätöksiä, mitkä ratkaisut ovat teknisesti uskottavia ja missä kohdin johtopäätöksiä ei voida tehdä ilman tarkempia lähtötietoja. Arvioinnissa energian varastointia ei käsitellä irrallisena teknologiana vaan osana sähköverkkoa, kaukolämpöä, aluelämpöä, teollista energiankäyttöä, uusiutuvaa tuotantoa, varavoimaa, huoltovarmuutta ja alueellista maankäyttöä.

Käytettävissä ei ole kohdekohtaista investointi-, kannattavuus-, liittymä-, käyttöprofiili- tai turvallisuusaineistoa. Siksi tässä ei esitetä laskennallista arviota varastoinnin kannattavuudesta yksittäisissä kunnissa, teollisuusalueilla tai lämpöverkoissa.

1.3 Tarkastelualue: Pohjois-Savo ja Pieksämäki

Pohjois-Savoa käsitellään maakunnallisena kokonaisuutena. Pohjois-Savon aurinkovoimapotentialin selvityksen mukaan tarkastelu kattaa koko maakunnan 19 kunnan alueen. Selvityksessä on tarkasteltu erityisesti teollisen mittakaavan aurinkovoimalle soveltuvia alueita sekä turvetuotannosta poistuvien alueiden mahdollista uusiokäyttöä aurinkoenergian tuotannossa.

Pieksämäkeä käsitellään erillisenä tarkastelualueen osana. Sähköverkkovastuu jakautuu siten, että Virtasalmen alueella verkkoyhtiö on Suur-Savon Sähkö ja muulla Pieksämäen alueella Savon Voima.

Pohjois-Savosta on saatavilla Pieksämäkeä laajempi julkinen aineistopohja etenkin sähköverkosta, kaukolämmöstä, aurinkoenergiasta, energiyhtiöiden investointisuunnista ja kantaverkon kehityksestä. Pieksämäki on kuitenkin varastoinnin kannalta relevantti tarkastelualueen osa, koska se sijoittuu Savon Voiman verkkoalueelle, Fingridin Järvinlinja-yhteyden vaikutuspiiriin sekä Harjulinjan ja Huutokoski-Kontiolahti-yhteyden suunniteltujen reittien tarkastelualueelle. Lisäksi Pieksämäelle on julkisesti mainittu suunnitteilla oleva akkuvarastokohde.

Tarkastelualueen sähköverkon kehitystä ei tule arvioida vain Järvinlinjan perusteella. Fingridin suunnittelema Harjulinja, eli Pyhäjärven Murtoerän ja Kangasniemen Kaupplan välinen uusi 2 x 400 + 110 kV voimajohtoyhteys, sijoittuu tarkasteltavien reittivaihtoehtojen perusteella myös Pohjois-Savoon ja Pieksämäelle. Lisäksi Fingridin suunnittelema Huutokoski-Kontiolahti 400+110 kV voimajohtoyhteys sijoittuu suunniteltujen reittien perusteella muun muassa Joroisten, Pieksämäen, Varkauden ja Leppävirran alueille sekä edelleen Heinäveden, Liperin, Joensuun ja Kontiolahden suuntaan. Molemmat hankkeet ovat YVA-menettelyvaiheessa, joten niitä ei tule käsitellä toteutuneena verkkokapasiteettina vaan mahdollisina tulevana kantaverkon kehitystekijöinä.

Pieksämäestä ei ole saatavilla yhtä kattavaa julkista tietoa kuin Pohjois-Savosta. Merkittävimmät tietopuutteet koskevat sähköverkon liittymäkapasiteettia, lämpöverkkojen kapasiteetteja ja lämpötilatasoja, lämpöverkkojen vastaanottokykyä, teollisuuden energiankysyntää ja kysyntäprofiileja, varavoimatarpeita, varastointitarpeen tuntiprofiileja sekä suunnitteilla olevien varastointikohteiden toteutusvaihetta.

1.4 Aineistot, lähteet ja menetelmällinen lähestymistapa

Arvio perustuu alueellisiin julkisiin aineistoihin, energiayhtiöiden ja verkkotoimijoiden tietoihin, Fingridin reservi- ja kantaverkkotietoihin, pelastus- ja turvallisuusohjeisiin, tutkimus- ja asiantuntijalähteisiin sekä teknologialähteisiin. Kantaverkon osalta tarkastelussa huomioidaan Järvinlinja, Harjulinja sekä Huutokoski–Kontiolahti 400+110 kV voimajohtohanke. Järvinlinjaa käsitellään alueellista sähköverkon perusrakennetta vahvistavana hankkeena, kun taas Harjulinjaa ja Huutokoski–Kontiolahti-yhteyttä käsitellään suunnittelu- ja YVA-vaiheen hankkeina, joiden mahdollisia vaikutuksia energiavarastojen sijaintiin, liityntäedellytyksiin ja maankäyttöön on arvioitava jatkoselvityksissä erikseen.

Alueellisina lähteinä on käytetty muun muassa Pohjois-Savon aurinkovoimapotentialin selvitystä, Savon Voiman ja Kuopion Energian julkisia tietoja, Pieksämäen kaupungin energia- ja verkkotietoja sekä paikallisia uutislähteitä. Teknologiatulokinnan tukena on käytetty muun muassa JRC:n, IEA Energy Storage TCP:n, LDES Councilin, Fingridin ja yritysten julkisia aineistoja.

Varastointipotentiaalia arvioidaan suhteessa käyttötarkoitukseen, alueelliseen infrastruktuuriin, markkinaehtoihin, maankäyttöön, turvallisuuteen ja toteutettavuuteen. Määrällisiä johtopäätöksiä ei tehdä ilman kohdekohtaisia lähtöarvoja. Yritysten teknologia-aineistoja käytetään teknologioiden kuvaamiseen ja esimerkkietoihin, mutta niihin perustuvia kaupallisia väitteitä ei käsitellä alueellisina toteutettavuustodisteina ilman riippumatonta tai kohdekohtaista varmennusta.

Varastointitarpeen tuntitason mallinnusta, sähköverkon liittymäkohtaisia kapasiteettitietoja, lämpöverkkokohtaisia vastaanottokapasiteetteja, investointikustannuksia, markkinatulovirtojen skenaarioita ja lupaviranomaisten kohdekohtaisia ennakkokantoja ei ole ollut käytettävissä.

2 Energian varastoinnin yleinen kehitys ja tekninen perusta

2.1 Varastointiteknologioiden pääluokat

Energian varastointiteknologiat voidaan jakaa sähkökemiallisiin, lämpöön perustuviin, mekaanisiin ja kemiallisiin varastoihin sekä pitkäkestoisen energian varastoinnin ratkaisuihin. Euroopan komission energian varastointia koskeva suositus korostaa, että varastointi tukee sähköjärjestelmän joustavuutta, luotettavuutta ja vakautta sekä lämmitys- ja jäähdytyssektorin vähähiilistämistä. LDES Council määrittelee pitkäkestoisen energian varastoinnin teknologiaksi, joka varastoi energiaa ja toimittaa sitä myöhemmin sähköä, lämpöä tai jäähdytysenergiaa pidennettyjen jaksojen ajan, tyypillisesti kahdeksasta tunnista päiviin, viikkoihin tai kausitasolle; teknologiat voivat olla kemiallisia, lämpöön perustuvia, mekaanisia tai sähkökemiallisia. JRC:n lämpövarastoselvityksen mukaan lämpövarastot voivat yhdistää lämpöverkkoja laajempaan energiajärjestelmään ja lisätä järjestelmän joustavuutta. Varastointiteknologioiden vertailua on taulukossa 2.

Pohjois-Savon ja Pieksämäen kannalta teknologioiden vertailussa keskeistä ei ole teknologian nimellinen kehittyneisyys vaan se, vastaako se alueelliseen tarpeeseen. Akkuvarasto voi tuottaa nopeaa sähkötehon joustoa, mutta se ei korvaa lämpövarastoa.

silloin, kun loppukäyttö on lämpö. Lämpövarasto voi olla energiakapasiteetin kustannuksen kannalta perusteltu, jos vastaanottava lämpöverkko tai prosessi on olemassa. LAES-tyyppinen pitkäkestoinen sähkövarasto voi olla teknisesti kiinnostava, mutta sen edellyttämä mittakaava, liityntä, markkina ja käyttötunnit ovat vaativampia kuin konktimaaisessa akkuvarastossa.

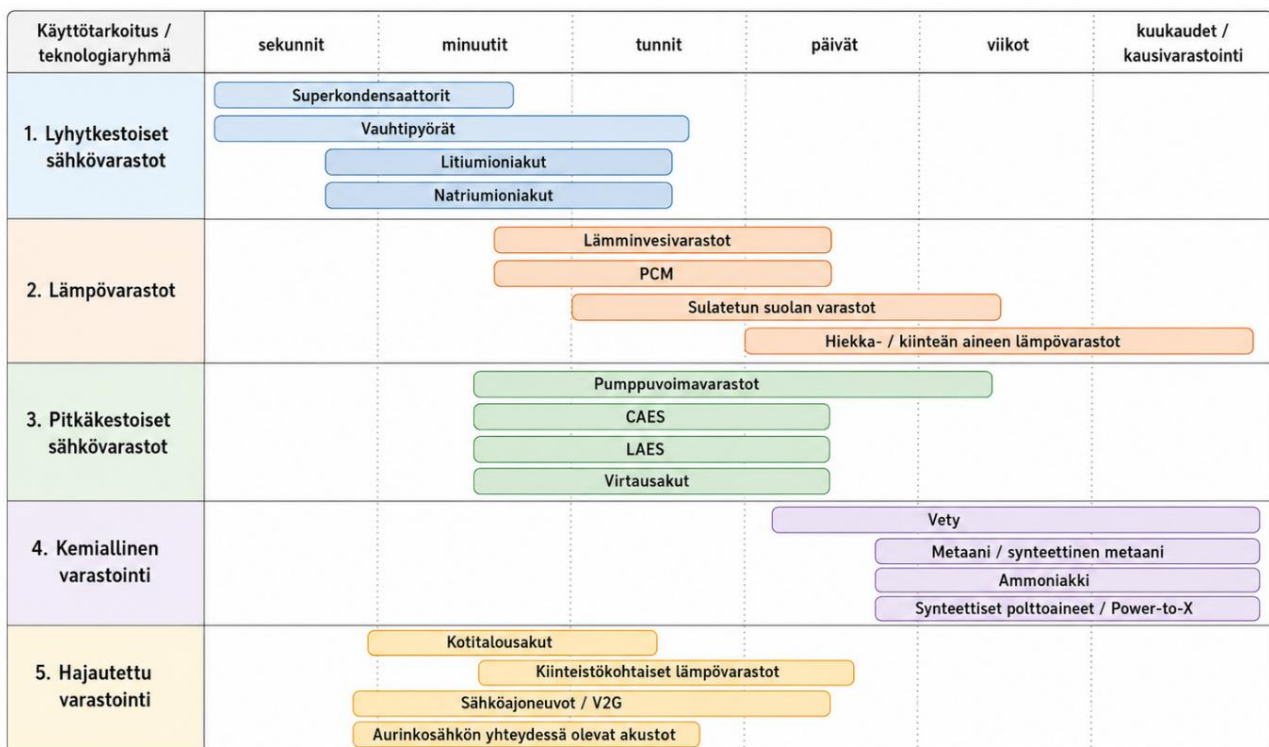
Taulukko 2. Varastointiteknologioiden vertailu käyttötarkoituksen, varastointikeston, kypsyysajan ja keskeisten rajoitteiden mukaan

Teknologia-ryhmä	Tyypillinen käyttötarkoitus	Varastointikesto	Teknologinen kypsyys	Keskeiset rajoitteet Pohjois-Savon ja Pieksämäen näkökulmasta
Litiumioniakkuihin perustuva BESS (Battery Energy Storage System)	Reservit, taajuusohjaus, hintavaihtelun optimointi, paikallinen kulutusjousto, aurinko- ja tuulivoiman yhteissijoittaminen	Sekunneista muutamaan tuntiin, kohteesta riippuen	Kaupallisesti kypsä	Liityntäkapasiteetti, paloturvallisuus, sammutusvesien hallinta, markkinatulovirtojen vaihtelu, kapasiteetin heikkeneminen
Virtausakut ja muut sähkökemialliset varastot	Pidempikestoinen sähkövarastointi ja syklinen käyttö	Useita tunteja	Osin kaupallinen, mutta vähemmän yleistynyt kuin litiumioniakku	Saatavuus, kustannus, referenssit, tilantarve, paikallisen osaamisen ja huollon saatavuus
Natriumioniakut	Mahdollinen vaihtoehto litiumioniakuille tietyissä käyttökohteissa	Tunteja	Kehittyvä kaupallinen teknologia	Rajallinen markkinakokemus ja epävarmat elinkaarikustannukset alueellisissa sovelluksissa
Vesi-, kallio-, hiekka-, kiinteäaine- ja faasimuutoslämpövarastot	Kaukolämpö, aluelämpö, prosessilämpö, hukkalämpö, sähkökattila- ja lämpöpumppuyhdistelmät	Tunteja, päiviä, viikkoja tai kausitasoa ratkaisusta riippuen	Vesivarastot kypsiä; kiinteäaine- ja hiekka-akut kaupallistumassa	Edellyttää lämpökysyntää, sopivaa lämpötilatasoa, lähellä olevaa verkkoa tai prosessia, putkistoja ja sopimusmallia
LAES ja muut pitkäkestoiset sähkövarastot (LAES= Liquid Air Energy Storage)	Useiden tuntien tai pidempien jaksojen sähkövarastointi, verkkopalvelut, uusiutuvan tuotannon ajallinen siirto	Useista tunneista päiviin	Kehittyvä kaupallinen teknologia	Suuri mittakaava, investointiriski, käyttötuntien ja markkinatulovirtojen epävarmuus, sähköverkkoliityntä
Mekaaniset varastot, kuten pumppuvoima, paineilma ja vauhtipyörät	Pumppuvoima ja paineilma pitkäkestoiseen sähkövarastointiin, vauhtipyörät lyhyeen tehojouston tarpeeseen	Sekunneista päiviin teknologiasta riippuen	Pumppuvoima kypsä, mutta sijaintiriippuvainen; vauhtipyörät rajatummassa käyttökohteissa	Pohjois-Savon ja Pieksämäen kohdekohtaisia topografia-, geologia- ja lupaedellytyksiä ei ole arvioitu

Kemiallinen varastointi: vety ja synteettiset polttoaineet	Sähkön muunto varastoitavaksi energiantantajaksi, teollisuus, liikenne, Power-to-X	Päivistä kausitasolle	Kehittyvä, riippuu arvoketjusta	Edellyttää tuotantoa, varastointia, jakelua, turvallisuutta, käyttökohdetta ja off-take-sopimuksia
Sähköajoneuvojen akut ja kaksisuuntainen lataus	Hajautettu jousto, kiinteistöjen energianhallinta, mahdollinen V2G	Minuuteista tunteihin	Teknisesti kehittyvä, liiketoimintamallit vielä rajallisia	Latausinfrastruktuuri, käyttäjäsovitukset, akkutakuu, ohjausjärjestelmät, aggregointi ja verkkopalveluehdot

Pohjois-Savon ja Pieksämäen teknologiapotentiaalia ei voida määrittää kattavasti ilman kohdekohtaisia kuormitus-, tuotanto-, lämpötila-, liityntä- ja lupatietoja.

Kuvassa 1 esitellään, kuinka energian varastointiteknologioita voidaan jäsentää käyttötarkoituksen ja tyypillisen varastointikeston perusteella. Lyhytkestoiset sähkövarastot soveltuvat nopeaan tehontasapainoon, kun taas lämpö- kemialliset ja pitkäkestoiset sähkövarastot palvelevat pidempää energian siirtoa ja kausivaihtelun hallintaa. Hajautettu varastointi sijoittuu lähelle loppukäyttöä kiinteistöissä, ajoneuvoissa ja paikallisissa energiajärjestelmissä.



Kuva 1. Energian varastointitekniikoiden luokittelu käyttötarkoituksen ja varastointikeston mukaan.

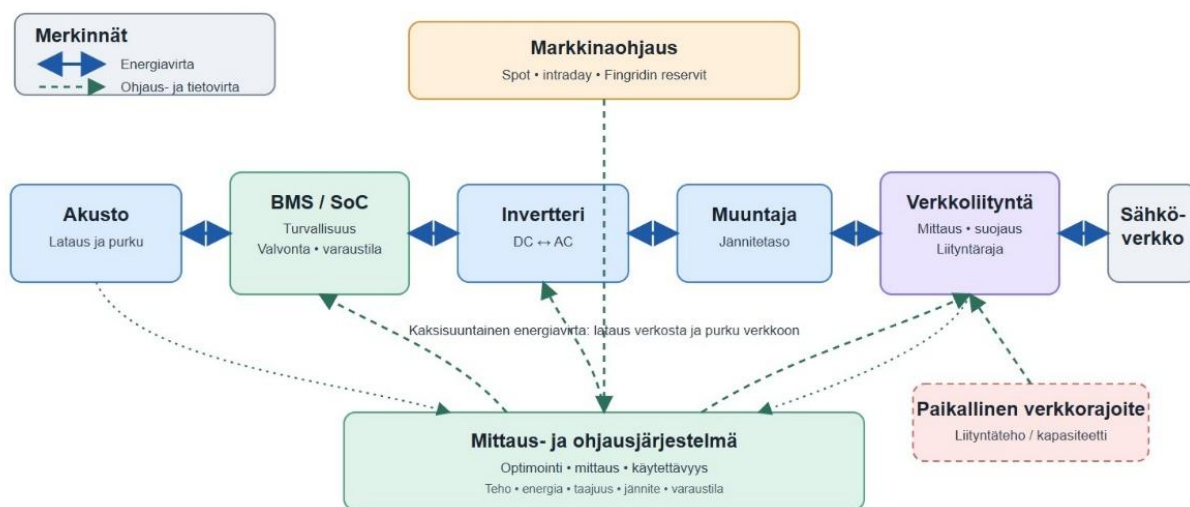
2.2 Akkuvarastot (BESS)

Akkuenergiavarastojärjestelmän (Battery Energy Storage System, BESS) keskeisiä teknisiä muuttujia ovat teho, energiakapasiteetti, purkuaika, vasteaika, käyttösyklit, hyötysuhde, käyttöikä, kapasiteetin heikkeneminen, akunhallintajärjestelmä (BMS), invertterit ja sähköverkkoliityntä. Akkuvaraston toteutettavuus ei perustu pelkkään akustoon, vaan koko järjestelmän suunnitteluun, simulointiin, optimointiin, testaukseen ja operointiin.

Akkuvaraston keskeiset komponentit sekä energian- ja tiedonsiirto on esitetty kuvassa 2. Fraunhofer ISE:n mukaan akkuvarasto voidaan toteuttaa paikallisena tai hajautettuna ratkaisuna, ja käyttökohteet voivat ulottua suurista kantaverkkoon liitetyistä akkuvarastoista kaupallisiin, teollisiin ja alueellisiin varastointijärjestelmiin. Käyttöikään vaikuttavat sekä syklinen että kalenteri-ikäntyminen, minkä vuoksi käyttöstrategia, lämpötilanhallinta, varaustilan hallinta sekä takuu- ja huoltosopimukset ovat investointiarvion kannalta keskeisiä.

Akkuvarastot voivat osallistua Fingridin reservimarkkinoille, jos ne täyttävät tekniset vaatimukset. Rajallinen energiakapasiteetti edellyttää kuitenkin varaustilan hallintaa. Fingridin helmikuun 2025 tilannekuvan mukaan varastojen osuus on kasvanut erityisesti automaattisissa reserveissa, mutta yksittäinen reservimarkkina on kooltaan rajallinen. Siksi varaston tulisi usein kytetä osallistumaan useisiin reservituotteisiin.

Akkuvaraston toimintaperiaate ja liityntä sähköverkkoon



Kuva 2. Akkuvaraston (Battery Energy Storage System, BESS) periaatteellinen rakenne ja ohjaus. Ohjausjärjestelmä sovittaa yhteen akun varaustilan, tekniset käyttörajat, markkinasignaalit ja sähköverkon rajoitteet.

Pohjois-Savossa ja Pieksämäellä akkuvarastojen realistisimmat käyttötarkoitukset liittyvät lyhytaikaiseen sähköjärjestelmän joustoon, reservimarkkinoihin, aurinko- ja tuulivoiman yhteissijoittamiseen, sähköasemien läheisyyteen, teollisten kiinteistöjen tehopiikkien hallintaan ja varavoiman täydentämiseen. Tekninen kyky osallistua markkinoille ei kuitenkaan osoita kannattavuutta. Akkuvaraston kannattavuus edellyttää erillistä laskentaa. Siinä on arvioitava investointi- ja käyttökustannukset, akuston kapasiteetin heikkeneminen,

verkkoliittymän ja verkkopalvelujen kustannukset, mahdolliset reservi- ja markkinatulot sekä se, kuka varaston omistaa, käyttää ja ostaa sen tuottamat palvelut.

Erillisen akkuvaraston sähköverkkovaikutus voi olla kaksisuuntainen. Oikein sijoitettuna ja ohjattuna se voi tukea järjestelmää, mutta väärin sijoitettuna se voi lisätä verkon kuormitusta ja varata kapasiteettia muulta sähköistymiseltä. Fingridin julkisessa tilannekuvassa on korostettu, että tuotannosta erilliset akkuvarastot voivat tarvita verkkokapasiteettia sekä lataus- että purkusuunnassa ja siten kasvattaa verkon kuormitusta.

Fraunhofer ISE:n suurakkujen verkkosopivuutta koskeva lähestymistapa vahvistaa, ettei akkuvaraston verkkovaikutusta voi arvioida pelkän tehon ja energiakapasiteetin perusteella. Arviointi edellyttää vähintään liittyvän sähköaseman kulutus- ja tuotantoaikasarjoja, tehonvirtausmallinnusta, verkkoa tukevien käyttöstrategioiden simulointia sekä tietoa mahdollisista aiemmista sähköverkon kuormitus- ja ruuhkatilanteista. Tämä on suoraan relevanttia Pohjois-Savossa ja Pieksämäellä, koska kantaverkon vahvistuminen tai jakeluverkon vapaa kapasiteetti ei yksin osoita, että yksittäinen akkuvarasto olisi verkon kannalta hyödyllisesti sijoitettu tai kaupallisesti toteuttamiskelpoinen.

Pohjois-Savon ja Pieksämäen alueilta ei ole saatavilla julkista kohdekohtaista tietoa siitä, mitkä akkuvarastot on mitoitettu ensisijaisesti reservikäyttöön, hintavaihtelun optimointiin, paikalliseen kulutusjouktoon tai uusiutuvan tuotannon yhteyteen. Ilman tätä tietoa akkuvarastojen todellista alueellista hyötyä ei voida arvioida luotettavasti.

2.3 Lämpövarastot ja hiekka-akut

Lämpövarastot varastoivat energiaa lämpönä veteen, kalliin, hiekkaan, murskeeseen, muuhun kiinteään materiaaliin tai faasimuutosmateriaaliin. JRC:n mukaan ne voivat sovittaa yhteen lämmön ja kylmän tuotantoa ja kulutusta sekä tukea lämpöverkkojen joustavuutta. Fraunhofer IFAMin mukaan lämpövarastot voivat kattaa sekä lyhyen aikavälin, kuten vuorokausitason, että pitkän aikavälin, kuten kausitason, varastointitarpeita. Teollisessa ympäristössä keskeinen käyttökohde on hukkalämmön talteenotto ja myöhempi hyödyntäminen.

Hiekka-akut ja muut kiinteään materiaaliin perustuvat lämpövarastot ovat yksi lämpövarastoinnin teknologiapolku. Polar Night Energyn aineistossa tällainen lämpövarasto kytketään sähköverkkoon tai paikalliseen tuotantoon ja integroidaan asiakkaan energiasjärjestelmään. Mahdollisina ulostuloina esitetään kuuma vesi, prosessihöyry, kuuma ilma ja tietyin ehdoin sähkö. Yrityksen mukaan teknologian kehityspolkuun kuuluvat Hiedanrannan pilotti vuonna 2019, Kankaanpään ensimmäinen hiekka-akku vuonna 2022 ja Pornaisten teollisen mittaluokan ratkaisu vuonna 2024. Polar Night Energyn vuoden 2025 julkisen tiedon mukaan Pornaisten lämpövarasto on 1 MW lämpötehoisen ja 100 MWh energiakapasiteetin ratkaisu, jossa energia varastoidaan kiinteään materiaaliin ja hyödynnetään kaukolämmössä.

Pohjois-Savon ja Pieksämäen kannalta lämpövarastojen arviointi on perusteltua, koska alueella on kaukolämpö- ja aluelämpöverkkoja, lämpölaitoksia, sähkökattiloiden käyttöönottoa ja teollisia lämpötarpeita. Lämpövarasto voi olla sähkövarastoa tarkoituksenmukaisempi silloin, kun tavoitteena on korvata polttoainepohjaista lämpöä, hyödyntää hukkalämpöä, varastoida sähkökattilalla tai lämpöpumpulla tuotettua lämpöä tai tasata kaukolämmön huippukuormia.

Lämpövaraston potentiaalia ei pidä arvioida vain varaston koon perusteella. Ratkaisun hyödyntämiskelpoisuus riippuu lämpötilatasosta, hukkalämmön jatkuvuudesta, lataus- ja

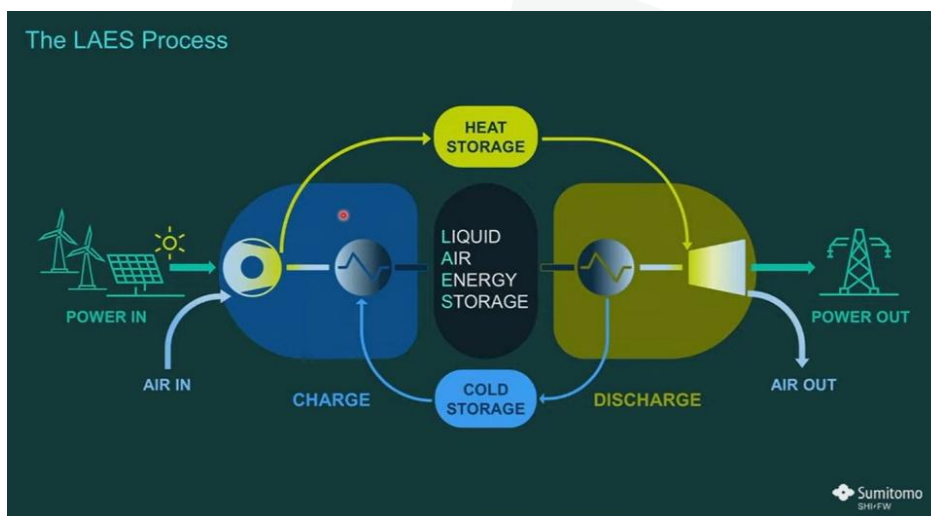
purkutehosta, varastointiajasta, lämpöhäviöistä, putkietäisyydestä, maanrakennuksesta, sähköliittynästä, kaukolämpö- tai aluelämpöverkon vastaanottokyvystä, vastaanottavan lämpökysynnän profiilista, maksukykyisestä käyttäjästä ja sopimusmallista.

Pohjois-Savon ja Pieksämäen lämpöverkoista ei ole saatavilla kattavasti julkisia tietoja verkkojen lämpötilatasoista, vapaasta vastaanottokapasiteetista, tuotantolaitosten ajoprofiileista, huippulämpökattiloiden käytöstä, hukkalämpölähteistä eikä lämpövarastojen toteutuskustannuksista.

2.4 Nesteytetyn ilman energian varastointi (LAES)

Pitkäkestoista sähköenergian varastointia tarvitaan tilanteissa, joissa lyhytaikainen akkuvarastointi ei riitä tasaamaan sähkön tuotannon ja kulutuksen ajallista vaihtelua. Nesteytetyn ilman energian varastointi (Liquid Air Energy Storage, LAES) on pitkäkestoisen energian varastoinnin teknologia, jossa sähköä käytetään ilman jäähdyttämiseen ja nesteyttämiseen. Nestemäinen ilma varastoidaan eristettyihin säiliöihin, ja purkuvaiheessa se pumpataan, höyrystetään, lämmitetään ja laajennetaan turbiinin tai muun tehontuottolaitteen läpi takaisin sähköksi. LAES-järjestelmän toimintaperiaate on esitetty kuvassa 3.

IEA Energy Storage TCP:n teknisen kuvauksen mukaan LAES ei edellytä pumppuvoimalaitosten kaltaisia topografisia olosuhteita ja soveltuu erityisesti suuriin, useiden tuntien tai pidempien jaksojen energian varastointitarpeisiin. Sumitomo SHI FW:n aineiston mukaan LAES-järjestelmissä teho- ja energiakapasiteetti voidaan mitoittaa toisistaan riippumatta, varastointiaika on tyypillisesti 8–24 tuntia tai pidempi, ja järjestelmä voi tarjota sähköverkolle erilaisia tukipalveluja. Tahtikoneeseen perustuvana ratkaisuna LAES voi tukea sähköverkon vakautta ja vahvuutta tuottamalla inertiaa ja loistehoa, tukemalla jännitettä ja taajuutta sekä kasvattamalla oikosulkutehoa. Tämä voi parantaa uusiutuvan sähköntuotannon liittämisedellytyksiä ja sähköverkon kapasiteetin hyödyntämistä. Ominaisuudet voivat myös parantaa LAES-hankkeen liiketoimintaedellytyksiä, mutta eivät poista tarvetta riittävälle uusiutuvalle sähköntuotannolle. Vuoden 2023 aineiston mukaan itsenäisen LAES-järjestelmän hyötysuhde on noin 50–56 prosenttia, ja järjestelmän suorituskykyä voidaan parantaa hyödyntämällä ulkoisia lämpö- ja kylmävirtoja.



Kuva 3. Nesteytetyn ilman energian varastoinnin (LAES) toimintaperiaate: sähkö varastoidaan nesteytettynä ilmaa ja muunnetaan takaisin sähköksi. (Sumitomo SHI FW)

Pohjois-Savon ja Pieksämäen näkökulmasta LAES on kiinnostava vaihtoehto vain, jos alueella on riittävä sähköverkkoliityntä, teollinen tai sähköjärjestelmätason varastointitarve, merkittävä uusiutuvan sähköntuotannon ajallinen siirtotarve, useita tulovirtoja sekä mahdollisuus hyödyntää hukkalämpöä tai kylmävirtoja. Teknologian sijaintiriippumattomuus vähentää topografisia rajoitteita, mutta ei poista sähköverkkoliitynnän, investointikustannusten, markkinatulojen, käyttöasteen eikä luvituksen asettamia reunaehdoja.

Tämänhetkinen alueellinen aineisto ei osoita LAES-ratkaisun kaupallista toteutettavuutta Pohjois-Savossa tai Pieksämäellä. Alueelta ei ole saatavilla kohdekohtaisia käyttöprofileja, sähköverkkoliityntätietoja, investointiarvioita, hukkalämpö- tai kylmävirta-aineistoa eikä liiketoimintamallia tai off-take-sopimuksiin liittyviä tietoja. Näiden tietojen puuttuessa LAES voidaan tässä selvityksessä tunnistaa teknologiseksi mahdollisuudeksi, mutta ei investointivalmiiksi alueelliseksi ratkaisuksi.

2.5 Varastoinnin käyttötarkoitukset sähköjärjestelmässä

Fingrid hankkii reservejä markkinaehtoisesti kulutuksen ja tuotannon tasapainottamiseen, ja puhdas siirtymä kasvattaa reservien hankintamääriä. Reserveihin voivat osallistua tuotanto, kulutus, varastot ja aggregoidut kohteet, jos tekniset vaatimukset, tiedonsiirto, kaupankäynti ja käytettävyysehdot täyttyvät. Fingridin reservituotteita ovat muun muassa nopea taajuusreservi, taajuusohjattu häiriöreservi, taajuusohjattu käyttöreservi, automaattinen taajuuden palautusreservi ja manuaalinen taajuuden palautusreservi. Aktivointinopeudet vaihtelevat noin sekunnista varttituntitasolle.

Sähköjärjestelmässä varastointia voidaan käyttää vähintään kahdeksaan tarkoitukseen: taajuuden vakautukseen ja reservimarkkinoihin, kulutus- ja tuotantopiikkien tasaukseen, uusiutuvan sähkön ajalliseen siirtoon, paikalliseen verkon kuormituksen hallintaan, varavoimaan ja käyttövarmuuteen, sähkön hinnan vaihteluun perustuvaan optimointiin, verkkoinvestointien täydentämiseen tai ajoittain lykkäämiseen sekä teollisuus- ja kiinteistökohteiden kulutusjousto. Pohjois-Savossa ja Pieksämäellä näiden arvo riippuu siitä, sijaitseeko varasto sähköverkon kannalta oikeassa kohdassa, onko sillä riittävä liityntä, pystyykö se osallistumaan useisiin markkinoihin ja onko paikallisella kuormalla tai tuotannolla tarvetta varaston palveluille.

Tekninen kyky osallistua reservimarkkinoille ei ole sama asia kuin tulonmuodostus. Alueellisista akkuvarastoista ei ole julkisesti saatavilla kattavaa tietoa reservikelpoisuudesta, markkinatuotoista, käyttöstrategiasta tai siitä, kuinka paljon kapasiteettia on sidottu muihin käyttötarkoituksiin.

2.6 Varastoinnin käyttötarkoitukset lämpöjärjestelmässä

Kaukolämmön ja aluelämmön sähköistyminen lisää lämpövarastoinnin merkitystä. Energiategiellisuuden mukaan Suomessa sähkökattiloiden tuotanto kasvoi vuonna 2024 noin 1,5 TWh:n tasolle ja oli noin 4 prosenttia kaukolämmön tuotannosta; sähköön, hukkalämpöihin, lämpöpumppuihin ja uusiutuviin perustuvat ratkaisut kasvattavat kaukolämmön joustotarpeita. Sähkökattilat voivat tuottaa lämpöä silloin, kun sähkö on edullista, ja olla pois käytöstä korkean sähkön hinnan aikana, mikä korostaa lämpövarastojen roolia lämmön tuotannon optimoinnissa.

Pohjois-Savossa ja Pieksämäellä lämpövarastoinnin käyttökohteita ovat kaukolämmön tuotannon taseaus, aluelämpöverkkojen jousto, sähkökattiloiden ja lämpöpumppujen yhteiskäyttö, teollisuuden prosessilämpö, huippu- ja varalämmöntuotannon käytön vähentäminen sekä hukkalämmön hyödyntäminen. Päivätason varastointi voi tasata vuorokausivaihtelua ja sähkön hintapiikkejä. Viikkotason varastointi voi tukea pidempiä sää- ja hintajaksoja. Kausitason varastointi vaatii merkittävästi suuremman varastotilavuuden ja kohdekohtaisen teknistaloudellisen tarkastelun.

Lämpövarastoa ei voida pitää toteuttamiskelpoisena vain sen perusteella, että alueella on lämpöverkko. Tarvitaan tieto verkon lämpötilatasosta, virtaamista, kulutusprofiilista, tuotantorakenteesta, putkietäisyyksistä, pumppauskustannuksista, lämpöhäviöistä ja kaupallisesta vastuusta.

2.7 Hankekehityksen, luvituksen ja rakentamisen päävaiheet

Akkuvarastojen turvallisuusohjeistus korostaa varaston sijoittumista, palo-osastointia, ilmanvaihtoa, savunpoistoa, sammutusvesien hallintaa, pohjavesiriskien ehkäisyä, merkintöjä, irtikytkentäohjeita, huoltosuunnitelmaa ja pelastustoimen toimintamahdollisuuksia. Pohjois-Pohjanmaan pelastuslaitoksen ohjeen mukaan litiumioniakkuihin liittyviä vaaroja ovat tulipalovaara, kemialliset vaarat, räjähdykset ja sähköiskuvaarat, ja sammutusvesien pääsy maaperään, rakenteisiin tai pohjaveteen on estettävä. Tukes korostaa lisäksi litiumioniakkupalojen myrkyllisiä savukaasuja, runsaan veden käyttöä ensisijaisena sammutustapana sekä uudelleensyöttymisen mahdollisuutta.

Toteutus etenee tyypillisesti seuraavien vaiheiden kautta: käyttötarpeen määrittely, teknologian valinta, sijaintipaikan arviointi, sähkö- tai lämpöliitynnän selvitys, markkina- ja tulovirta-analyysi, turvallisuus- ja riskinarviointi, maankäytön ja kaavoituksen tarkastelu, rakennus-, ympäristö- ja kemikaaliturvallisuuden lupatarpeiden arviointi, pelastusviranomaisen ennakkokeskustelu, rahoitus, hankinta, rakentaminen, käyttöönotto, operointi, kunnossapito ja käytöstä poisto. Pohjois-Savossa ja Pieksämäellä varhaisin kriittinen vaihe on käyttötarkoituksen todentaminen: rakennetaanko varasto sähkömarkkinoille, lämpöjärjestelmälle, teollisuuden tarpeeseen, varavoiaksi vai näiden yhdistelmäksi.

Kohdekohtaiset lupatarpeet voivat poiketa toisistaan huomattavasti. Erityisesti akkuvarastojen, sähkökattiloiden, lämpövarastojen ja LAES-ratkaisujen lupa- ja turvallisuuspolut on arvioitava erikseen sijainnin, teknologian, kemikaalien, palokuorman, sähköturvallisuuden, pohjavesialueiden ja pelastustoimen saavutettavuuden perusteella.

3 Alueellinen lähtötilanne

3.1 Energian varastoinnin nykytila Pohjois-Savossa ja Pieksämäellä

Savon Voiman julkisen tiedon mukaan sen verkkoyhtiön alueelle oli vuonna 2024 suunnitteilla kymmeniä sähkövarastoja eri puolille Pohjois-Savoa, ja teholuokat vaihtelivat noin 1 MW:n kohteista enintään noin 30 MW:n kohteisiin. Samassa yhteydessä mainittiin Biosolar Oy:n suunnittelemat 9,9 MW:n ja 12 MWh:n akkuvarastot Siilinjärvelle ja

Pieksämäelle. Ylen vuoden 2025 uutisen mukaan Savon Voima suunnittelee ensimmäistä omaa sähkövarastoaan Juankosken vesivoimalaitoksen yhteyteen, ja Savon Voima Verkon alueella oli yhdistetty verkkoon noin 30 kolmansien osapuolten sähkövarastoa, yhteisteholtaan noin 50 MW. Kuopion Energialla on kaukolämpöakku, joka parantaa yhtiön mukaan käyttövarmuutta verkostovauriutilanteissa ja lämmöntuotannon kannattavuutta.

Pohjois-Savossa energian varastoinnin nykytila on siirtymässä yksittäisistä ratkaisuista laajempaan sähkö- ja lämpöjärjestelmän joustoon. Julkisten tietojen perusteella akkuvarastojen määrä kasvaa jakeluverkon alueella, mutta tiedot painottuvat suunniteltuihin ja yhtiöiden julkisesti ilmoittamiin kohteisiin. Lämpövarastoinnista on alueella käytännön esimerkki Kuopiossa. Pieksämäen osalta julkisesti varmennettava tieto rajoittuu pääosin suunnitteilla mainittuun akkuvarastoon, lämpölaitos- ja verkkovastuutietoihin sekä kantaverkon Järvilinja-yhteyteen.

Julkisista lähteistä ei ole voitu varmistaa kattavaa kohdeluetteloa, jossa olisi eritelty jokaisen energiavaraston toteutusvaihe, valmistumisajankohta, kapasiteetti, omistaja, käyttötarkoitus, markkinaosallistuminen, turvallisuusratkaisut ja sähkö- tai lämpöliityntä.

3.2 Sähköntuotanto, kulutus ja uusiutuvan energian vaihtelu

Pohjois-Savon aurinkovoimapotentiaalin selvitys tunnistaa teollisen mittakaavan aurinkovoimalle soveltuvia alueita ja korostaa erityisesti turvetuotannosta poistuvien alueiden mahdollisuutta uusiokäyttöön aurinkoenergian tuotantoalueina. Selvityksen mukaan maakuntakaavoissa turvetuotantoon soveltuvia alueita on noin 14 000 hehtaaria ja varsinaisia turvetuotantoalueita noin 5 400 hehtaaria. Tuulivoiman osalta Pohjois-Savossa on julkisten tietojen mukaan ollut useita lupa- ja investointivaiheessa olevia kohteita, mutta rakentamisen etenemiseen ovat vaikuttaneet muun muassa sähkön hintanäkymät, laitevalmistajien toimituskyky ja valitukset. Savon Voiman vuoden 2025 julkisen arvion mukaan sen energiaverkkojen vaikutuspiirissä on tunnistettu muun muassa noin 450 MW uutta tuuli- ja aurinkotuotantoa, noin 120 MW sähkövarastojen liityntätehoa, noin 80 MW datakeskuksia, noin 240 MW vetyyn liittyviä kohteita ja noin 60 MW sähkökattiloita kaukolämpöön ja teolliseen energiaan. Nämä ovat julkisia yhtiöarvioita sijoittuvista mahdollisuuksista, eivät toteutuneita kapasiteetteja.

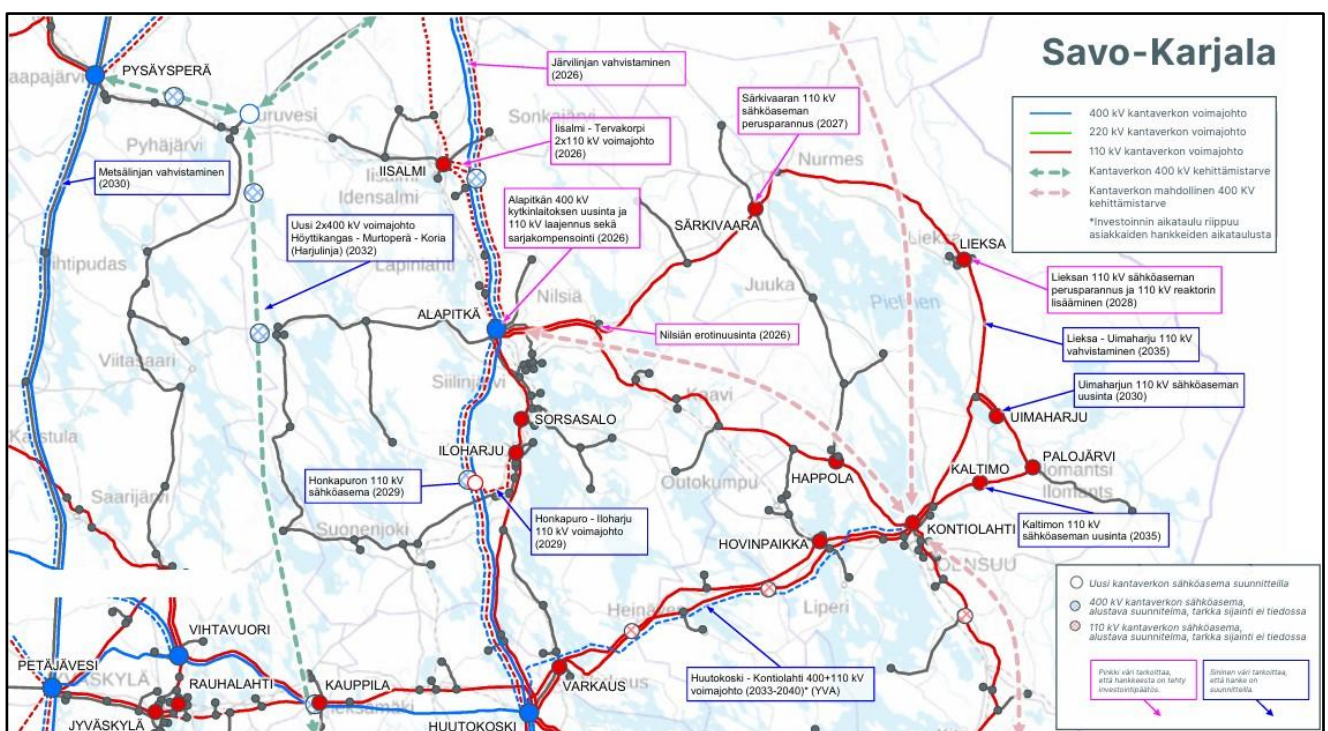
Pohjois-Savossa varastointitarvetta voi syntyä erityisesti aurinkovoiman tuotantoprofiilin, tuulivoiman mahdollisen kasvun, sähköistyvän lämmöntuotannon, teollisuuden sähköistymisen, datakeskusten, liikenteen sähköistymisen ja mahdollisten vety- tai Power-to-X-ratkaisujen kautta. Pieksämäellä vastaavia ilmiöitä voidaan tarkastella vain rajatusti, koska paikalliset tuntiprofiilit ja uudet suurkulutuskohteet eivät ole julkisesti kattavasti saatavilla.

Uusiutuvan tuotannon alueellisia tuntiprofiileja, liityntäkohtaisia tuotantoennusteita, teollisuuden sähköistymisen aikatauluja, sähkökattiloiden todellisia käyttöprofiileja, liikenteen latauskuormia ja mahdollisten suurkulutuskohteiden toteutumista ei ole voitu varmistaa.

3.3 Sähköverkko, kantaverkko, jakeluverkot ja liityntäkapasiteetti

Sähköverkko on energiavarastojen, sähkökattiloiden, lämpöpumppujen ja muiden sähköä käyttävien tai sähköjärjestelmää tukevien ratkaisujen keskeinen toteutettavuustekijä.

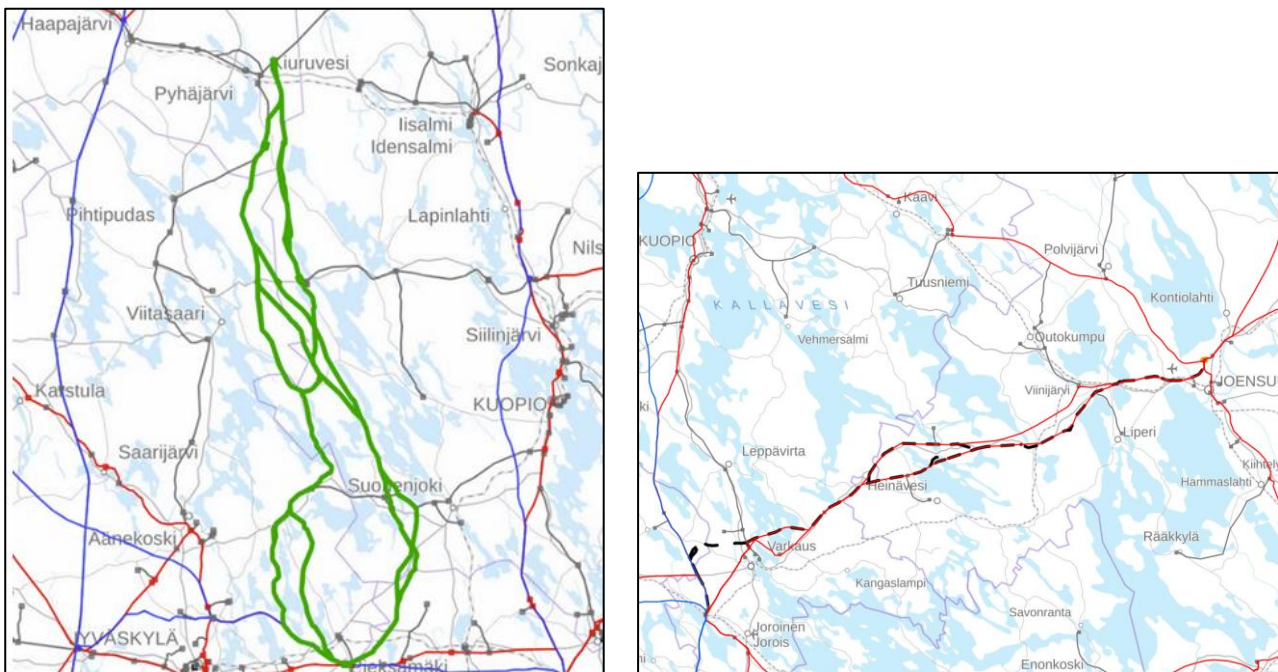
Fingridin Järvilinja on 400 kV:n ja 110 kV:n voimajohtokokonaisuus, joka kulkee Vaalasta Joroisiin. Sen reitillä sijaitsevat muun muassa Sonkajärvi, Vieremä, Iisalmi, Lapinlahti, Siilinjärvi, Kuopio, Suonenjoki, Leppävirta, Pieksämäki ja Joroinen. Kokonaisuuden tavoitteena on lisätä pohjois-eteläsuuntaista siirtokapasiteettia ja parantaa käyttövarmuutta. Rakentamisaikataulu ulottuu vuosille 2023–2026. Fingridin vuoden 2025 tiedon mukaan Järvilinja parantaa uusien investointien liitettävyyttä kantaverkkoon, mahdollistaa uutta tuulivoimaa ja sähköintensiivisiä kohteita sekä sisältää uuden sähköaseman Lapinlahden Alapitkälle ja useiden sähköasemien laajennuksia.



Kuva 4. Savo-Karjalan ja Pieksämäen kannalta keskeiset verkon solmukohdat. Kuvassa esitetään tarkastelualueen kannalta olennaisia kantaverkon yhteyksiä ja sähköasemia. (Fingrid, Kantaverkon kehittämissuunnitelma 2026–2035.)

Järvilinjan lisäksi tarkastelualueeseen vaikuttaa Fingridin suunnittelema Harjulinja. Harjulinja on Pyhäjärven Murtoperän ja Kangasniemen Kauppilan välille suunniteltu uusi 2 x 400 kV:n ja 110 kV:n voimajohtoyhteys. Sen reittivaihtoehdot sijoittuvat neljään maakuntaan ja useisiin tarkastelualueen kannalta olennaisiin kuntiin, kuten Kiuruvedelle, Pielavedelle, Keiteleelle, Vesannolle, Rautalammille, Suonenjoelle ja Pieksämäelle. Harjulinja on YVA-menettelyvaiheessa, joten sen vaikutusta liityntäkapasiteettiin, energiavarastojen sijoittumiseen tai uusiin sähköintensiivisiin investointeihin ei voida vielä käsitellä toteutuneena kapasiteettina. Hanke on kuitenkin syytä ottaa huomioon jatkoselvityksissä, koska se voi pitkällä aikavälillä vaikuttaa kantaverkon alueelliseen rakenteeseen, mahdollisiin liittymispisteisiin ja maankäytön reunaehtoihin.

Tarkastelualueeseen vaikuttaa myös Fingridin suunnittelema Huutokoski–Kontiolahti 400 kV:n ja 110 kV:n voimajohtoyhteys. Suunniteltujen reittien perusteella hanke sijoittuu Pohjois-Savon, Etelä-Savon ja Pohjois-Karjalan maakuntiin sekä muun muassa Joroisten, Pieksämäen, Varkauden ja Leppävirran alueille. YVA-menettelyssä tarkasteltavat reitit ovat yhteensä noin 170 kilometriä, ja toteutuessaan reitin kokonaispituus olisi noin 140 kilometriä. Fingridin mukaan uusi johto rakennettaisiin lähtökohtaisesti nykyisen 110 kV:n Varkaus–Kontiolahti-voimajohdon paikalle. Hanke mahdollistaisi kulutuksen ja tuotannon lisäämisen kantaverkkoon erityisesti Joensuun alueella ja parantaisi alueen jännitestabiiliutta eli verkon kykyä pitää jännitetaso vakaana erilaisissa käyttötilanteissa. Harjulinjan reittivaihtoehdot ja Huutokoski–Kontiolahti-yhteyden sijoittuminen on esitetty kuvassa 5.



Kuva 5. Harjulinjan reittivaihtoehdot ja Huutokoski–Kontiolahti-voimajohtohanke. Kuva havainnollistaa suunnitteilla olevien kantaverkkohankkeiden sijoittumista suhteessa Pohjois-Savoon, Pieksämäkeen ja lähialueisiin. (Fingrid Oyj, Harjulinja, Murtoperä–Kauppila; Fingrid Oyj, Huutokoski–Kontiolahti)

Huutokoski–Kontiolahti-yhteyden merkitys Pohjois-Savon ja Pieksämäen energiavarastojen kannalta liittyy ennen kaikkea pitkän aikavälin kantaverkkokehitykseen. Hanke voi vaikuttaa Varkauden, Leppävirran ja Pieksämäen suunnan liityntäpisteiden, maankäytön ja sähköintensiivisten investointien tarkasteluun. Sitä ei kuitenkaan tule tulkita vapaaksi liityntäkapasiteetiksi, koska hanke on YVA-vaiheessa ja varsinainen toteutuspäätös sekä liittymämahdollisuudet tarkentuvat myöhemmin.

Järvilinja parantaa alueellista sähköverkon perusrakennetta, mutta se ei tarkoita, että jokaisessa kunnassa tai kaikilla sähköasemilla olisi vapaata liityntäkapasiteettia. Energiavaraston verkkovaikutus riippuu sijainnista, mitoituksista, käytettävästä ja ohjauksesta. Akkuvarasto voi olla verkon kannalta hyödyllinen, jos se sijoittuu kuormituksen, tuotannon ja verkon pullonkaulojen kannalta tarkoituksenmukaisesti ja sen ohjaus tukee

verkon käyttöä. Vastaavasti suuri liityntä voi varata kapasiteettia muilta sähköistyville investoinneilta, jos varaston alueellinen järjestelmähyöty jää vähäiseksi.

Julkisista lähteistä ei ole saatavilla riittävän tarkkoja tietoja sähköverkon liittymäkohtaisista vapaista kapasiteeteista, liittymiskustannuksista, vahvistustarpeista, verkkopalvelumaksuista, suojausvaatimuksista tai liittymisaikatauluista. Tämän vuoksi energiavarastojen toteutettavuutta ei voida arvioida luotettavasti pelkän kantaverkkohankkeen tai karttatason sijainnin perusteella. Pieksämäellä tarkastelua täsmentää lisäksi se, että sähköverkkovastuu jakautuu Savon Voiman ja Suur-Savon Sähkön välillä. Siksi mahdolliset energiavarastokohteet edellyttävät erillistä liittymäaluekohtaista tarkastelua.

3.4 Kaukolämpö, aluelämpö, teollisuuslämpö ja hukkalämpö

Kuopion Energian kaukolämpöverkko on yli 500 kilometriä pitkä ja kattaa Kuopion keskeisiä alueita Hiltulanlahdesta Sorsasaloon. Yhtiön tuotantorakenteeseen kuuluvat Haapaniemen ja Pitkälähdän voimalaitokset, erilliset lämpökeskukset sekä kaukolämpöakku. Yhtiön mukaan kaukolämpöverkko voi jakaa lämpöä tuotantomenetelmästä riippumatta.

Savon Voima on ottanut Keiteleellä käyttöön 2 MW sähkökattilan kaukolämpöverkkoon. Yhtiö liittyy ratkaisun tavoitteeseen vähentää polttamista ja lisätä sähköistyvää lämmöntuotantoa. Varkaudessa Varkauden Aluelämpö on edennyt 10 MW sähkökattilahankkeessa toteutusvaiheeseen. Sähkökattila on tarkoitettu vara- ja huipputuotantoon, kaukolämmön toimitusvarmuuden vahvistamiseen sekä öljyn käytön vähentämiseen poikkeustilanteissa. Yhtiön mukaan sähkökattila liitetään Savon Voiman sähköverkkoon, mikä voi avata mahdollisuuksia myös reservimarkkinoille. Tämä ei kuitenkaan yksin osoita hankkeen varastointipotentiaalia, vaan lämpövaraston tarve on arvioitava erikseen kaukolämpöjärjestelmän käyttöprofiilin, sähkön hinnan, huippulämpötarpeen ja mahdollisen lämpövaraston mitoituksen perusteella.

Pieksämäellä lämpövastuut jakautuvat alueittain Savon Voima Lämmön ja kaupungin vastuulle. Pieksämäen lämpövarastojen mahdollisuuksia ei voida arvioida luotettavasti ilman verkko- ja laitostason tietoja.

Pohjois-Savossa lämpövarastoinnin mahdollisuudet ovat todennäköisesti konkreettisimpia siellä, missä on valmiiksi kaukolämpöverkko, sähkökattila, lämpöpumppu, teollinen lämpökohde, huippulämpökuormaa tai hukkalämmön lähde. Kuopio on aineiston perusteella alueen selvin lämpöjärjestelmän varastointiesimerkki, koska siellä on laaja kaukolämpöverkko ja kaukolämpöakku. Savon Voiman sähkökattilaesimerkit osoittavat, että lämpöjärjestelmän sähköistyminen on alueella jo käynnissä.

Teollisuuden hukkalämpöjen sijainti, lämpötilataso, määrä, jatkuvuus, sopimuksellinen saatavuus ja liitettävyyys lämpöverkkoihin puuttuvat julkisesta aineistosta. Myös aluelämpöverkkojen tekniset tiedot ovat puutteellisia.

3.5 Uusiutuvan energian hankkeet ja varastoinnin yhteissijoittaminen

Pohjois-Savon aurinkovoimapotentialin selvitys tukee arviointia siitä, että uusiutuvan sähköntuotannon sijoittumista voidaan tarkastella suhteessa esimerkiksi entisiin turvetuotantoalueisiin, maankäyttöön ja sähköverkkoon. Savon Voiman mukaan suuremmat,

yli 5 MW:n akkuvarastot sijoittuvat usein sähköasemien läheisyyteen, kun taas pienempiä varastoja voidaan liittää laajemmin keskijänniteverkkoon, jos liityntäedellytykset täyttyvät.

Varastojen yhteissijoittaminen voi olla perusteltua tuuli- ja aurinkovoimakohteiden, sähköasemien, lämpölaitosten, kaukolämpöverkkojen, teollisuusalueiden ja energiakeskusten yhteydessä. Hyötyjä voivat olla yhteinen liityntä, pienemmät siirtohäviöt, parempi tuotannon ja kulutuksen yhteensovitus, markkinatulovirtojen yhdistäminen ja mahdollisesti pienempi maankäytön hajautuminen. Rajoitteita ovat liityntäkapasiteetti, suojaetäisyydet, pelastustoimen saavutettavuus, paloturvallisuus, ohjausjärjestelmien yhteensopivuus, omistajuus, tulovirtojen jakautuminen ja se, ettei uusiutuvan tuotannon yhteyteen sijoitettu varasto automaattisesti vähennä verkon kuormitusta kaikissa tilanteissa.

Yhteissijoittamisen toteutettavuus edellyttää kohdekohtaista tietoa tuotantoprofiilista, liittymäehdoista, maankäytöstä, turvaetäisyyksistä, omistusmallista ja siitä, saako varasto käyttää samaa liityntää vai tarvitaanko erillinen liitymä.

3.6 Alueidenkäyttö, kaavoitus, ympäristö- ja turvallisuusreunaehdot

Pelastusviranomaisen ohjeessa erillinen akkuvarasto suositellaan sijoitettavaksi vähintään 15 metrin etäisyydelle muista rakennuksista, ellei riittävä palotekninen turvallisuus toteudu rakenteellisilla ratkaisuilla. Ohjeessa suositellaan välttämään akkuvarastojen sijoittamista pohjavesialueille, ja jos sijoittuminen tapahtuu pohjavesialueelle, sammutusjätevesien talteenotto ja maaperän suojaus on suunniteltava siten, ettei pohjavedelle aiheudu vaaraa. Suurempiin varastoihin suositellaan muun muassa paloilmaisuutta, mahdollisuuksien mukaan automaattista sammutuslaitteistoa, savunpoistoa, ulkopuolista vedensyöttöä ja raskaan pelastuskaluston ajoyhteyttä.

Pohjois-Savossa ja Pieksämäellä energiavarastojen sijoittumista on tarkasteltava suhteessa asutukseen, sähköasemiin, teollisuusalueisiin, lämpöverkkoihin, pohjavesialueisiin, liikenneväyliin, pelastustoimen saavutettavuuteen ja ympäristöherkkiin alueisiin. Akkuvarastojen osalta palo- ja kemikaaliturvallisuus on kriittisempi sijoittumiskriteeri kuin monissa muissa energiainfraratkaisuissa. Lämpövarastojen turvallisuuskysymykset painottuvat korkeisiin lämpötiloihin, paineisiin, kuumiin pintoihin, putkistoihin, rakenteisiin ja mahdollisiin rakennusteknisiin riskeihin. LAES-ratkaisuissa huomio kohdistuu muun muassa kryogeenisiin lämpötiloihin, paineisiin, säiliöihin, sähköliityntään ja prosessiturvallisuuteen.

Tarkastelualueen potentiaalisia sijoitusalueita ei voida nimetä turvallisesti sopiviksi ilman kohdekohtaista maaperä-, pohjavesi-, kaava-, etäisyys-, pelastusreitti-, sammutusvesi- ja ympäristöriskiaineistoa.

3.7 Markkina, tulovirrat ja kysyntä

Fingridin mukaan reservimarkkinoilla maksetaan toteutuneista kaupoista, jos kapasiteetti on pidetty käytettävissä ja aktivoitu vaatimusten mukaisesti, ja varastot voivat osallistua markkinoille muiden resurssien tavoin vaatimusten täytyessä. Fingridin sähkövarastojen tilannekuva korostaa kuitenkin, että reservimarkkinoiden hinnat määräytyvät kysynnän ja tarjonnan mukaan, tulevat hinnat voivat muuttua ja yksittäinen reservimarkkina on kooltaan rajallinen.

Energiavarastojen mahdollisia tulovirtoja ja hyötyjä Pohjois-Savossa ja Pieksämäellä ovat reservimarkkinat, sähkön hintavaihteluun perustuva optimointi, tehomaksujen hallinta, paikallinen verkon kuormituksen hallinta, lämmön tuotantokustannusten optimointi, varavoima, käyttövarmuus, teollisuuden energiapalvelut ja päästövähennykset. Näistä vain osa muodostaa suoraa rahavirtaa. Esimerkiksi huoltovarmuus ja käyttövarmuus voivat olla asiakkaalle arvokkaita, mutta niiden muuttaminen maksukykyiseksi palveluksi vaatii sopimuksen. Lämpövarasto voi tuottaa arvoa erityisesti silloin, kun se vähentää kalliin huippulämmön, varalämmön tai polttoainepohjaisen tuotannon käyttöä.

Julkisista lähteistä ei ole saatavilla riittäviä tietoja alueellisesta kysynnästä, pitkäaikaisista ostosopimuksista, sähkön siirron tehomaksuista, lämmöntuotannon kustannuksista, reservimarkkinoiden hyödyntämismahdollisuuksista eikä sähkön hintavaihtelun hyödyntämisestä saatavista tuloista. Tämän vuoksi teknologioiden kannattavuudesta ei voida tehdä luotettavia johtopäätöksiä.

3.8 Keskeiset alueelliset pullonkaulat ja epävarmuudet

Fingridin mukaan suurten sähkövarastojen sijoittumisella on merkittävä vaikutus sähköjärjestelmään, ja väärin sijoitettu varasto voi lisätä verkon kuormitusta tai sitoa kapasiteettia muilta investoinneilta. Energiaviraston mukaan jakeluverkonhaltijoiden markkinaehtoisten joustopalvelujen hankintaan liittyvät ehdot ja menetelmät on vahvistettava, mikä osoittaa, että verkkoperusteisten joustojen hyödyntäminen edellyttää sääntelyn ja verkkoyhtiöiden toimintamallien yhteensovittamista.

Keskeiset pullonkaulat ovat aluekohtaisen varastointitarpeen mittaustiedon puute, sähköverkon liityntäkapasiteetin epävarmuus, kaukolämpö- ja aluelämpöverkkojen vastaanottokyvyn puutteellinen julkinen tieto, investointikustannukset, markkinatulovirtojen vaihtelu, turvallisuusvaatimukset, luvitus, maankäyttö, paikallinen hyväksyttävyyys, osaamisen saatavuus, toimijoiden investointihalukkuus ja teknologioiden kaupallinen kypsyy. Näistä osa voidaan ratkaista selvityksillä ja osa riippuu markkinasta, sääntelystä ja toimijoiden päätöksistä.

Harjulinja lisää sähköverkon pitkän aikavälin kehitykseen uuden epävarmuustekijän. Koska hanke on YVA-menettelyvaiheessa ja reittivaihtoehdot ovat vielä tarkastelussa, sen vaikutuksia energiavarastojen sijaintipotentiaaliin, maankäyttöön, sähköasemien kehitykseen ja liityntäkapasiteettiin ei voida arvioida määrällisesti. Harjulinja voi kuitenkin vaikuttaa erityisesti niiden alueiden jatkotarkasteluun, joilla voimajohtoreittivaihtoehdot sijoittuvat lähelle uusiutuvan tuotannon, sähköasemien, teollisuuden tai mahdollisten energiavarastojen sijoittumisalueita.

Huutokoski–Kontiolahti-yhteys lisää sähköverkon pitkän aikavälin kehitykseen uuden arvioitavan muuttujan. Koska hanke on YVA-menettelyvaiheessa ja sen tavoitteellinen valmistuminen ajoittuu pitkälle tulevaisuuteen, sen vaikutuksia energiavarastojen sijaintipotentiaaliin, sähköasemien kehitykseen, liityntäkapasiteettiin ja maankäyttöön ei voida arvioida määrällisesti. Hanke on kuitenkin huomioitava erityisesti Varkauden, Leppävirran ja Pieksämäen suunnan jatkoselvityksissä.

Ei ole olemassa yhtä julkista aineistoa, joka yhdistäisi Pohjois-Savon ja Pieksämäen sähköverkon, lämpöverkon, teollisen kysynnän, uusiutuvan tuotannon, varastointikohteet ja maankäytön samaan varastointipotentiaalin arviointiin.

4 Energian varastoinnin potentiaali tarkastelualueella

4.1 Tekninen potentiaali: varastointitarve, teknologia ja sijainti

Pohjois-Savon sähkö- ja lämpöjärjestelmissä on tunnistettavissa varastointia synnyttäviä kehityssuuntia: aurinkovoimapotentiaalia, Järvilinjan vahvistamaa kantaverkkorakennetta, Harjulinjan ja Huutokoski-Kontiolahti-yhteyden mahdollisesti pitkällä aikavälillä muuttamaa kantaverkon alueellista rakennetta, jakeluverkkoon liittyviä akkuvarastoja, sähköistyvää lämmöntuotantoa sekä kaukolämpöverkkoja.

Tekninen varastointipotentiaali on Pohjois-Savossa selvästi laajempi kuin aineistolla todennettava investointipotentiaali. Teknisesti varastoja voidaan sijoittaa sähköasemien, uusiutuvan tuotannon, lämpölaitosten, teollisuuden ja kiinteistöjen yhteyteen. Toteutuminen riippuu kuitenkin siitä, onko varastolle määritetty maksukykyinen käyttö: reservit, hintavaihtelu, verkkohyöty, lämpötuotannon optimointi, prosessilämpö, varavoima tai useiden näiden yhdistelmä. Pieksämäessä tekninen potentiaali on olemassa, mutta julkinen aineisto ei riitä arvioimaan sen laajuutta.

Teknistä potentiaalia ei voida muuntaa investointipotentiaaliksi ilman sähköverkon ja lämpöverkon liittymätietoja, kuormitusprofiileja, alueellisia tuotantoprofiileja, maankäytön reunaehdoja ja kohdekohtaisia kustannuksia.

4.2 Akkuvarastojen potentiaali

Savon Voiman verkkoalueella on julkisten tietojen mukaan jo yhdistetty verkkoon useita kolmansien osapuolten sähkövarastoja, ja uusia kohteita on ollut suunnitteilla eri puolille aluetta. Fingridin mukaan sähkövarastojen osallistuminen automaattisiin reserveihin on kasvanut. Varastojen kannattaa kuitenkin usein kyetä osallistumaan useisiin reservituotteisiin, koska reservimarkkinoiden tulot ovat markkinaperusteisia.

Tarkastelualueella akkuvarastojen potentiaali on konkreettisinta lyhytaikaisessa sähkötehon joustossa. Pohjois-Savossa potentiaalia tukevat Savon Voiman verkkoalueella näkyvä akkuvarastojen liityntäkehitys, uusiutuvan tuotannon suunnittelu, sähköasemien ympäristöt sekä teollisuus- ja kiinteistökohteiden mahdolliset tehopiikit. Pieksämäellä potentiaalia voidaan pitää alustavasti tunnistettuna, koska alueelle on julkisesti mainittu suunnitteilla oleva akkuvarasto. Toteutettavuutta ei kuitenkaan voida arvioida ilman liittymä-, lupa-, turvallisuus- ja markkinatietoja.

Akkuvarastojen keskeiset rajoitteet ovat liityntäkapasiteetti, paloturvallisuus, sammutusvesien hallinta, pohjavesiriskit, maankäyttö, investointikustannukset, markkinatulovirtojen vaihtelu ja akuston kapasiteetin heikkeneminen. Lisäksi suurten akkuvarastojen verkkosopivuus on arvioitava sijaintikohtaisesti. Fraunhofer ISE:n mukaan arvioinnissa tarkastellaan liittyvän sähköaseman tuotanto- ja kulutusaikasarjoja, mallinnetaan tehonvirtoja ja simuloidaan käyttöstrategioita, joilla varasto voi vähentää verkon kuormitushuippuja.

Pohjois-Savossa sähköasemien läheisyys on siten vasta alustava sijoittumisperuste. Toteutuskelpoisuus edellyttää verkkoyhtiön liittymäselvitystä ja käyttöstrategiaa, joka osoittaa, milloin varasto latautuu, milloin se purkautuu ja tukeeko se paikallista verkkoa vai

lisääkö se verkon kuormitusta. Pieksämäellä sama arvio on tehtävä erikseen Savon Voiman ja Suur-Savon Sähkön verkkoalueiden mukaan.

Ei ole varmistettavissa, kuinka moni suunnitelluista akkuvarastoista toteutuu, mikä niiden lopullinen teho ja energiakapasiteetti on, mille markkinoille ne osallistuvat ja millaiset turvallisuusratkaisut niissä toteutetaan.

4.3 Lämpövarastojen potentiaali

Kuopiossa on laaja kaukolämpöverkko ja käytössä kaukolämpöakku. Savon Voiman Keiteleen sähkökattila ja Varkauden Aluelämmön suunnittelema sähkökattila osoittavat, että sähkön ja lämmön kytkentä on alueella käytännön kehityssuunta. JRC:n mukaan lämpövarastot voivat lisätä lämpöverkkojen joustavuutta ja tukea uusiutuvan energian integrointia.

Lämpövarastojen potentiaali on Pohjois-Savossa erityisen perusteltu kaukolämmön, aluelämmön, sähkökattiloiden, lämpöpumppujen, teollisuuden prosessilämmön ja hukkalämpöjen yhteydessä. Lyhytaikainen lämpövarastointi voi pienentää huippu- ja varalämmön tarvetta, tasata sähkökattiloiden käyttöä ja hyödyntää sähkön hintavaihtelua. Pidempikestoisen lämpövarastointi voi olla perusteltu, jos lämpökysyntä on riittävän suuri ja tasainen tai jos hukkalämpöä on saatavilla jaksoittain. Lämpövarasto voi olla sähkövarastoa perustellumpi ratkaisu silloin, kun loppukäyttö on lämpöä eikä sähköä, koska sähköksi takaisin muuntamista ei tarvita.

Pieksämäen lämpövarastopotentiaalia ei voida arvioida määrällisesti, koska lämpöverkkojen lämpötilatasot, kapasiteetit, kuormitusprofiilit, huippulämmön tuotantorakenne ja mahdolliset hukkalämpölähteet eivät ole julkisesti kattavasti saatavilla.

4.4 Pitkäkestoisen sähkövarastoinnin potentiaali

LAES-ratkaisut on teknisissä lähteissä esitetty suurten, useiden tuntien tai pidempien jaksojen sähkövarastointiin soveltuviksi ratkaisuksi, joissa varastointia ei ole sidottu pumppuvoiman kaltaisiin topografisiin olosuhteisiin. Sumitomo SHI FW:n aineistossa LAES-ratkaisun kapasiteettialueeksi esitetään 25–100 MWe ja varastointiajaksi 8–24 tuntia tai pidempi, mutta kyse on teknologiatoimittajan aineistosta eikä Pohjois-Savoon tai Pieksämäkeen kohdistuvasta toteutusnäytöstä.

Pitkäkestoisen sähkövarastoinnin potentiaali tarkastelualueella on tässä vaiheessa ehdollinen. Se voi tulla relevantiksi, jos uusiutuvan tuotannon määrä kasvaa, sähköintensiivinen teollisuus tai datakeskukset lisäävät kuormaa, sähkön hinnan vaihtelu ja reservitarpeet luovat riittävän tulopohjan ja sähköverkon liityntä voidaan ratkaista ilman haitallisia pullonkauloja. LAES voi hyötyä hukkalämmön tai kylmävirtojen integraatiosta, mutta tarkastelualueelta ei ole varmistettu sellaista kohdetta, jossa nämä edellytykset täyttyisivät.

Pitkäkestoista sähkövarastointia ei voida esittää lähivuosien toteutuspolkuna ilman käyttötarpeen, mittakaavan, liittynnän, kustannusten, tulovirtojen ja sijoituspaikan tapauskohtaista näyttöä.

4.5 Varastoinnin rooli sähkö-, lämpö- ja teollisuusjärjestelmissä

Energian varastointi voi tukea sähköjärjestelmän joustavuutta, kulutushuippujen hallintaa ja eri sektoreiden sähköistymistä. Euroopan komissio korostaa tätä sähköjärjestelmän näkökulmasta. LDES Councilin mukaan pitkäkestoinen energian varastointi voi puolestaan toimittaa energiaa sähkönä, lämpönä tai jäähdytyksenä, ja teknologiat voivat olla kemiallisia, lämpöön perustuvia, mekaanisia tai sähkökemiallisia.

Sumitomo SHI FW vuoden 2023 aineiston LDES Council -osiossa korostetaan, että lämpöenergian varastointi voi tuottaa lämpöjoustoja ja palvella useita käyttötarkoituksia lämmön, vedyn ja sähkön rajapinnassa. Tätä ei tule tulkita alueelliseksi toteutettavuusnäytöksi, mutta se tukee sektorikytkennän käsitteellistä tarkastelua Pohjois-Savossa ja Pieksämäellä.

Pohjois-Savossa sektori-integraatio voi käytännössä tarkoittaa uusiutuvan sähkön, sähkökattiloiden, lämpöpumppujen, lämpövarastojen, hukkalämmön, biokaasun, mahdollisen vedyn, Power-to-X-ratkaisujen, datakeskusten ja teollisen prosessilämmön yhdistämistä. Tällöin varasto ei ole erillinen laite vaan osa energiakeskittymää. Pieksämäellä vastaavaa mahdollisuutta voidaan tarkastella vain yksittäisten lämpö- ja sähköverkon liityntäedellytysten sekä mahdollisten suurkanaluitajien kautta.

Sektori-integraation potentiaali ei ole sama kuin yksittäisen investoinnin kannattavuus. Toteutus edellyttää sopimuksia lämmön tai sähkön ostosta, selkeitä operointivastuita, ohjausmalleja, omistusjärjestelyjä ja yhteistä kannattavuuslaskentaa.

4.6 Maankäytöllinen, luvituksellinen ja turvallisuuteen perustuva potentiaali

Akkuvarastoille turvallinen sijoittuminen edellyttää suojaetäisyyksien, palo-osastoinnin, savunpoiston, sammutusvesien hallinnan, pohjavesiriskien ja pelastustoimen saavutettavuuden huomioimista. EU:n akkuasetuksen tavoitteena on vähentää akkujen ympäristövaikutuksia koko elinkaaren aikana, mukaan lukien hankinta, käyttö, keräys, kierrätys ja uudelleenkäyttö.

Energiavarastoille voivat soveltua alueet, joilla sähkö- tai lämpöliityntä on lähellä, pelastustoimen saavutettavuus on hyvä, pohjavesi- ja ympäristöriskit ovat hallittavissa, maankäyttö ei ole ristiriidassa asutuksen tai herkän ympäristön kanssa ja turvaetäisyydet voidaan toteuttaa. Teollisuusalueet, energiantuotannon alueet, sähköasemien läheisyys ja lämpölaitosten tontit voivat olla luontevia tarkastelukohteita, mutta yhtäkään sijaintia ei voi nimetä sopivaksi ilman kohdekohtaista arviointia.

Tonttien omistus, kaavamerkinnot, rakennusoikeus, maaperä, pohjavesiolosuhteet, ympäristölupatarpeet, pelastusreitit ja naapuruusvaikutukset eivät ole käytettävissä kattavasti.

4.7 Teknistaloudellinen toteutettavuus Pohjois-Savossa ja Pieksämäellä

Fingridin mukaan sähkövarastojen reservitulot ovat markkinaperusteisia ja riippuvat tulevasta tarjonnasta, kysynnästä sekä markkinahinnoista. Fingridin sähkövarastoja koskevan aineiston perusteella sähkövarastojen kilpailukyky on nykytilanteessa vahvimmissaan lyhytkestoisissa käyttökohteissa, kun taas pitkäkestoisten sähkövarastojen laajempi käyttöönotto riippuu markkinoiden ja sähköjärjestelmän kehityksestä.

Pohjois-Savossa teknistaloudellinen toteutettavuus on parhaimmillaan silloin, kun energiavarasto palvelee useita käyttötarkoituksia samanaikaisesti. Esimerkiksi akkuvarasto voi yhdistää reservimarkkinoille osallistumisen, sähkön hinnanvaihtelun hyödyntämisen, kiinteistöjen tai teollisuuden tehopiikkien hallinnan sekä varavoiman. Lämpövarasto voi puolestaan olla perusteltu ratkaisu, jos se vähentää kalliin huipputuotannon tarvetta, parantaa sähkökattilan tai lämpöpumpun käyttöä, hyödyntää hukkalämpöä tai lisää lämmöntuotannon toimitusvarmuutta. Pieksämäellä vastaavat mahdollisuudet on arvioitava paikallisen sähkö- ja lämpöverkon ominaisuuksien perusteella.

Eri varastointitekniologioiden soveltuvuus Pohjois-Savossa ja Pieksämäellä on koottu taulukkoon 3. Tarkastelu perustuu tässä selvityksessä käytettyyn julkiseen aineistoon, eikä sitä tule tulkita kohdekohtaiseksi investointi- tai kannattavuusarvioksi.

Kannattavuudesta ei voida tehdä luotettavia johtopäätöksiä ilman kohdekohtaisia laskelmia. Julkisista lähteistä ei ole saatavilla riittäviä tietoja investointi-, käyttö-, liityntä-, huolto-, vakuutus-, turvallisuus-, purku- ja kierrätyskustannuksista eikä eri tulovirtojen toteutumisesta. Tämän vuoksi arvio on laadullinen ja soveltuu teknistaloudellisen toteutettavuuden alustavaan arviointiin, mutta ei korvaa kohdekohtaista kannattavuuslaskelmaa.

Taulukko 3. Akkuvarastojen, lämpövarastojen ja pitkäkestoisten sähkövarastojen soveltuvuus Pohjois-Savon ja Pieksämäen näkökulmasta

Varastotyyppi	Soveltuvuus Pohjois-Savossa ja Pieksämäellä	Keskeinen peruste	Keskeinen rajoite
Akkuvarastot	Hyvä soveltuvuus lyhytaikaiseen sähköjärjestelmän joustoon; alueella on tunnistettu liityntämahdollisuuksia ja suunnitteilla olevia kohteita.	Reservimarkkinat, sähköasemien läheisyys, uusiutuvan tuotannon ja kulutusjoustopuutteen tarpeet.	Liityntäkapasiteetti, turvallisuus, markkinatulot ja toteutusvaiheen epävarmuus.
Lämpövarastot	Hyvä soveltuvuus erityisesti kaukolämpöverkkoihin ja teollisiin lämpökohteisiin, mutta kohdekohtainen toteutettavuus edellyttää lisäselvityksiä.	Kaukolämpöverkot, sähkökattilat, lämpöpumput ja hukkalämmön hyödyntäminen.	Lämpötilatasot, vastaanottokyky, putkietäisyydet ja lämpökysyntäprofiilit.
LAES ja muut pitkäkestoiset sähkövarastot	Tekninen mahdollisuus, mutta alueella ei ole vielä näyttöä kaupallisesta toteutettavuudesta.	Kantaverkon vahvistuminen ja mahdollisuus suuriin sähköjärjestelmätason varastoihin.	Suuri investointikoko, markkinariski, puuttuva käyttötarve ja kohdekohtaiset tiedot.
Hajautettu varastointi ja kaksisuuntainen lataus	Täydentävä ratkaisu kiinteistöissä, yrityksissä ja liikenteessä teknologian yleistyessä.	Kiinteistökohtainen kulutusjousto, varavoima ja sähköajoneuvojen hyödyntäminen.	Aggregointi, sopimusmallit, akkutakuut ja markkinoille pääsy.

Kemiallinen varastointi, vety ja synteettiset polttoaineet	Mahdollinen pitkällä aikavälillä osana laajempia teollisia energiaketjuja.	Energian pitkäaikainen varastointi ja teollinen käyttö.	Tuotanto, varastointi, turvallisuus, jakelu ja ostosopimukset.
---	--	---	--

4.9 Realistinen potentiaali

Tarkastelualueella on tunnistettavissa energian varastoinnin kehitystä erityisesti akkuvarastojen, kaukolämpöön liittyvien lämpövarastojen, sähkökattiloiden sekä sähköverkon vahvistumisen osalta. Järvinja vahvistaa kantaverkon rakennetta, ja lisäksi Harjulinja sekä Huutokoski–Kontiolahti-yhteys voivat pitkällä aikavälillä parantaa kantaverkon kehittämismahdollisuuksia. Suunnitteilla olevia kantaverkkohankkeita ei kuitenkaan voida tulkita toteutuneeksi liityntäkapasiteetiksi tai yksittäisten energiavarastohankkeiden toteutettavuuden osoitukseksi.

Tämän selvityksen perusteella lähivuosien realistisin kehityssuunta liittyy akkuvarastoihin, lämpövarastoihin sekä sähköistyvän lämmöntuotannon joustoratkaisuihin. Sen sijaan pitkäkestoiset sähkövarastot, kuten LAES, sekä kemialliset varastointiratkaisut ovat vielä teknisiä mahdollisuuksia, joiden kaupallinen toteutuminen edellyttää huomattavasti nykyistä tarkempia kohdekohtaisia selvityksiä.

Energiavarastojen toteutettavuutta ja siihen vaikuttavia keskeisiä tekijöitä on koottu taulukkoon 4. Taulukko osoittaa, että tekninen potentiaali, sähkö- ja lämpöverkkojen mahdollistama potentiaali, maankäytölliset ja turvallisuuteen liittyvät edellytykset, markkina- ja kysyntäperusteinen potentiaali sekä kaupallisesti toteuttamiskelpoinen investointipotentiaali ovat eri asioita, eikä niitä voida arvioida pelkästään teknisten lähtötietojen perusteella.

Julkisen aineiston perusteella ei voida arvioida, kuinka suuri osa teknisestä potentiaalista muuttuu toteutuviksi investoinneiksi. Vastaavasti ei voida todeta, että jokin yksittäinen varastointiteknologia olisi koko tarkastelualueelle yleisesti soveltuva ratkaisu. Toteutettavuus riippuu aina kohteen teknisistä, taloudellisista ja markkinaan liittyvistä lähtökohdista.

Taulukko 4. Pohjois-Savon ja Pieksämäen energian varastoinnin edellytykset, rajoitteet ja huomioitavat tekijät

Tarkastelutekijä	Havainto Pohjois-Savossa ja Pieksämäellä	Johtopäätös
Sähköverkon kehitys	Järvinja vahvistaa kantaverkon rakennetta. Harjulinja ja Huutokoski–Kontiolahti ovat suunnittelu- ja YVA-vaiheen kantaverkkohankkeita, jotka voivat pitkällä aikavälillä vaikuttaa alueen liityntämahdollisuuksiin. Paikallinen liityntäkapasiteetti on selvítettävä tapauskohtaisesti.	Kantaverkon kehitys parantaa edellytyksiä, mutta ei osoita vapaata liityntäkapasiteettia eikä yksittäisen energiavaraston toteutettavuutta.
Akkuvarastot	Julkisesti on tunnistettu useita toteutuneita tai suunnitteilla olevia hankkeita erityisesti Pohjois-Savossa sekä alustavia suunnitelmia Pieksämäellä.	Akkuvarastot ovat lähivuosien realistisin sähkövarastoratkaisu.

Lämpövarastot	Kaukolämpöverkot, sähkökattilat ja hukkalämmön hyödyntäminen tarjoavat mahdollisuuksia, mutta toteutettavuus on arvioitava verkko- ja tuotantolaitoskohtaisesti.	Potentiaali on hyvä erityisesti kaukolämpöjärjestelmissä, mutta edellyttää kohdekohtaisia selvityksiä.
Uusiutuva sähkö	Aurinko- ja tuulivoiman lisääntyminen kasvattaa jousto- ja varastointitarvetta, mutta tuotannon ja kulutuksen yhteensovittaminen on arvioitava tuntitason tuotanto- ja kulutusprofiileilla.	Varastointitarvetta ei voida arvioida yleisillä oletuksilla.
Teollinen kysyntä	Alueella on teollisuutta ja mahdollisia energiakeskittymiä, mutta julkiset tiedot energiavarastopalvelujen kysynnästä ovat rajallisia.	Toteutettavuus edellyttää kohdekohtaisia asiakas- ja kysyntätietoja.
Turvallinen sijoittuminen	Sähköasemien, lämpölaitosten ja teollisuusalueiden läheisyys voi tarjota soveltuvia sijoituspaikkoja, jos turvallisuus- ja ympäristövaatimukset täyttyvät.	Palo-, pelastus-, sammutusvesi- ja pohjavesivaikutukset on arvioitava ennen sijoituspäätöksiä.
Markkina ja tulovirrat	Reservimarkkinat ja sähkömarkkinat voivat tuottaa tuloja, mutta niiden taso riippuu markkinatilanteesta, käyttöstrategiasta ja sopimusjärjestelyistä.	Kannattavuus voidaan osoittaa vain kohdekohtaisilla laskelmilla ja skenaariotarkasteluilla.

5 Vaikutukset

5.1 Vaikutukset alue- ja kuntatalouteen

Energiavarastot voivat vaikuttaa alue- ja kuntatalouteen investointien, suunnittelu- ja asiantuntijapalvelujen, maanrakennuksen, sähkö- ja automaatioasennusten, kunnossapidon, paikallisten yrityspalvelujen, kiinteistöverotulojen sekä energiainfrastruktuurin kehittymisen kautta. Taloudelliset vaikutukset painottuvat yleensä rakentamis- ja asennusvaiheeseen, kun taas pitkäaikaiset vaikutukset syntyvät operoinnista, kunnossapidosta, energiapalveluista, kiinteistöveroista ja mahdollisista jatkoinvestoinneista.

Suomalaiset esimerkkihankkeet osoittavat, että erityisesti teollisen mittakaavan akkuvarastot ovat merkittäviä investointeja. Taulukkoon 5 on koottu esimerkkejä energiavarastojen ja sähkökattiloiden investointien suuruusluokista sekä niiden alue- ja kuntataloudellisten vaikutusten arvioinnin kannalta keskeisistä havainnoista. Esimerkkien perusteella akkuvarastojen investointi- tai toimitusarvot ovat olleet noin 11–17 miljoonaa euroa, kun taas pienemmän, 2 MW:n sähkökattilan kokonaiskustannus on ollut noin miljoona euroa.

Esimerkkihankkeiden kustannuksia ei kuitenkaan voida siirtää sellaisenaan Pohjois-Savon tai Pieksämäen kohteisiin. Kokonaiskustannuksiin vaikuttavat muun muassa energiakapasiteetti, verkkoliityntä, toimituslaajuus, rakennustyöt, turvallisuusratkaisut, tontti, operointimalli sekä mahdolliset sähkö- ja lämpöjärjestelmän muutostyöt.

Kuntatalouden näkökulmasta kiinteistövero voi muodostua merkittäväksi pysyväksi vaikutukseksi. Kiinteistövero ei kuitenkaan määräydy koko investointisumman perusteella, vaan verotettavan rakennus- tai rakennelma-arvon mukaan. Verohallinnon mukaan vuonna 2026 rakennusten yleinen kiinteistöveroprosentti on 0,93–2,00 prosenttia.

Voimalaitosveroprosentti voi olla enintään 3,10 prosenttia, mutta sen soveltuminen akkuvarastoihin tai muihin energiavarastoihin ratkaistaan tapauskohtaisesti. Esimerkiksi viiden miljoonan euron verotettava arvo tuottaisi rakennusten yleisellä kiinteistöveroprosentilla noin 46 500–100 000 euroa vuodessa ja voimalaitosveroprosentin enimmäistasolla enintään noin 155 000 euroa vuodessa.

Savon Voima Verkon alueelle Rautavaaralle rakennettava 30 MW:n ja 60 MWh:n sähkövarasto osoittaa, että energiavarastoilla voi olla myös alueellista kuntataloudellista merkitystä. Julkisten tietojen mukaan hankkeen odotetaan tuovan työtä, toimeentuloa ja kiinteistöverotuloja, mutta investoinnin arvoa tai euromääräisiä vaikutuksia ei ole julkaistu. Tämän vuoksi vaikutuksia ei voida määrällisesti yleistää muihin Pohjois-Savon tai Pieksämäen kohteisiin.

Energiavarastot voivat lisäksi parantaa teollisuusalueiden kilpailukykyä, jos ne alentavat energiakustannusten riskiä, lisäävät käyttövarmuutta tai mahdollistavat uusiutuvan energian tehokkaamman hyödyntämisen. Näiden vaikutusten suuruus riippuu kuitenkin asiakkaiden kulutusprofiileista, sähkön hinnanvaihtelusta, reservimarkkinatuloista, korvattavan lämmöntuotannon määrästä, sopimusmalleista sekä siitä, kuinka suuri osa rakentamisen ja kunnossapidon hankinnoista kohdistuu alueen yrityksille.

Taulukko 5. Suomalaisia esimerkkilukuja energiavarastojen ja sähkökattiloiden alue- ja kuntatalousvaikutusten arvioinnin tueksi.

Esimerkki	Kokoluokka	Julkinen investointi- tai toimitusarvo	Mitä luku kertoo	Rajaus raportissa
Oulun Energian Toppilan akkuvarasto	20 MW / 40 MWh	noin 11 M€	Teollisen mittakaavan akkuvaraston investointiluokka.	Ei suoraan sovellettavissa Pohjois-Savon tai Pieksämäen kohteisiin.
Neven sähkövarasto, Rovaniemi	30 MW / 80 MWh	noin 13 M€	Investointikustannus riippuu myös toimituslaajuudesta, ei pelkästään energiakapasiteetista.	Käytetään vain suuruusluokan vertailuun.
Exilionin sähkövarasto, Mäntyharju	30 MW / 66 MWh	noin 17 M€	Itä-Suomeen sijoittuva vertailukelpoinen akkuvarastoesimerkki.	Ei osoita Pohjois-Savon tai Pieksämäen kustannustasoa.
Lappeenrannan sähkövarasto	noin 38 MW / 43 MWh	15 M€ (toimitusarvo)	Toimitusarvo voi poiketa kokonaisinvestoinnista.	Soveltuu investointiluokan havainnollistamiseen.
Savon Voiman sähkökattila, Keitele	2 MW	noin 1 M€	Pienen sähkökattilan kustannusluokka.	Ei voida skaalata suoraan suurempiin kohteisiin.
Rautavaaran sähkövarasto (Savon Voima Verkon alue)	30 MW / 60 MWh	Ei ilmoitettu	Alueellinen esimerkki työ-, yritys- ja kiinteistöveroaiheiksi.	Euromääräisiä vaikutuksia ei voida arvioida julkisten tietojen perusteella.

Havainnollistava kiinteistöverolaskelma	5 M€ verotettava arvo	noin 46 500–100 000 €/v (yleinen kiinteistöveroprosentti); enintään noin 155 000 €/v (voimalaitosveroprosentti)	Havainnollistaa mahdollisen kiinteistöveron suuruusluokkaa.	Ei ole arvio yksittäisestä hankkeesta; verotettava arvo ja veroluokittelu ratkaistaan kohdekohtaisesti.
--	--------------------------	---	---	---

5.2 Työllisyys- ja osaamisvaikutukset

Energiavarastot edellyttävät monialaista osaamista koko niiden elinkaaren ajan. Akku- ja lämpövarastojen suunnittelu, rakentaminen ja käyttö vaativat sähkö-, automaatio-, rakennus-, paloturvallisuus-, valvonta- ja kunnossapito-osaamista. Lisäksi tarvitaan osaamista energiamarkkinoista, tietojärjestelmistä ja käyttöstrategioista. Pelastusviranomaisen ohje korostaa erityisesti akunhallintajärjestelmän (BMS), huoltosuunnitelmien, järjestelmämerkintöjen, irtikytkentäohjeiden, paloilmalaisen, sammutusratkaisujen sekä pelastustoimen toimintamahdollisuuksien huomioon ottamista.

Työllisyysvaikutukset jakautuvat rakentamisvaiheen tilapäisiin sekä käyttö- ja ylläpitovaiheen pysyvämpiin vaikutuksiin. Rakentamisvaiheessa korostuvat maanrakennus, sähkö- ja automaatioasennukset, rakennustekniikka, palotekniset ratkaisut, laiteasennukset ja käyttöönottotestaukset. Käyttövaiheessa painottuvat järjestelmien valvonta, kunnossapito, energiamarkkinoiden optimointi, tiedonhallinta, lämpöjärjestelmien käyttö, turvallisuustarkastukset ja sopimushallinta.

Energiavarastojen työllisyys- ja osaamisvaikutusten arviointiin soveltuvia esimerkkilukuja on koottu taulukkoon 6. Julkisista lähteistä on saatavilla tietoja investointien kokoluokista ja hankkeiden toteutusvastuista, mutta hankekohtaisia henkilötyövuosiarvioita julkaistaan harvoin.

Rakentamisen yleistä työllistävyyttä voidaan käyttää vain suuntaa antavana vertailukohtana. VTT:n Rakennusteollisuudelle laatiman selvityksen mukaan rakentamiseen sijoitettu miljoona euroa työllistää keskimäärin noin 11–14 henkilöä vuodeksi. Kerrointa ei kuitenkaan voida soveltaa sellaisenaan energiavarastoinvestointeihin, sillä merkittävä osa investoinnista kohdistuu akustoihin, tehoelektroniikkaan, ohjelmistoihin, automaatioon ja muihin komponentteihin, jotka voidaan hankkia Suomen ulkopuolelta.

Suuntaa antavasti voidaan arvioida, että jos energiavarastohankkeen kotimainen rakennus-, maanrakennus-, sähköasennus- ja käyttöönotto-osuus olisi 1–5 miljoonaa euroa, rakentamisvaiheen tilapäinen työllisyysvaikutus olisi noin 11–70 henkilötyövuotta. Arvio ei sisällä käyttö-, kunnossapito-, valvonta- eikä markkinaooperointiin liittyviä työtehtäviä.

Pohjois-Savossa osaamis pohja voi vahvistua erityisesti silloin, kun energiavarastot kytkeytyvät sähköistyvään lämmöntuotantoon, teollisuuteen, sähköverkkoon ja energiayhtiöiden palveluihin. Savon Voima Verkon alueelle Rautavaaralle rakennettavasta 30 MW:n ja 60 MWh:n sähkövarastosta on julkisesti todettu, että hankkeen odotetaan tuovan työtä, toimeentuloa ja kiinteistöverotuloja. Julkisia tietoja työllisyysvaikutusten suuruudesta ei kuitenkaan ole julkaistu.

Pohjois-Savon ja Pieksämäen työllisyysvaikutuksia, paikallisten hankintojen osuutta tai koulutustarpeita ei voida arvioida luotettavasti ilman kohdekohtaisia investointitietoja,

toimitusrajauksia, urakkarakennetta, paikallisen työn osuutta sekä käyttö-, huolto- ja operointimalleja.

Taulukko 6. Esimerkkilukuja energiavarastojen työllisyys- ja osaamisvaikutusten suuruusluokan arviointiin.

Arvioitava asia	Esimerkkiluku tai havainto	Mitä luku kertoo	Rajaus
Rakentamisen yleinen työllistävyys	1 M€ rakentamiseen sijoitettuna työllistää noin 11–14 henkilöä vuodeksi	Antaa yleisen rakentamisvaiheen henkilötyövuosikertoimen.	Ei sovellu sellaisenaan koko energiavarastoinvestointiin.
10 M€ rakentamishanke	noin 110–140 henkilötyövuotta	Havainnollistaa rakentamisen kokonaistyöllisyyttä.	Ei kuvaa akustojen, tehoelektroniikan tai ohjelmistojen koko arvoketjua.
Kotimainen rakennus- ja asennusosuus 1 M€	noin 11–14 henkilötyövuotta	Havainnollistaa paikallisen urakkaosuuden työllisyysvaikutusta.	Edellyttää tietoa kotimaisen työn osuudesta.
Kotimainen rakennus- ja asennusosuus 3 M€	noin 33–42 henkilötyövuotta	Kuvaa keskisuuren rakennus- ja asennusurakan työllisyysvaikutusta.	Ei sisällä käyttö- eikä markkinaoperointia.
Kotimainen rakennus- ja asennusosuus 5 M€	noin 55–70 henkilötyövuotta	Antaa karkean suuruusluokan suuremmalle urakkaosuudelle.	Ei ole arvio yksittäisestä hankkeesta.
Suomalaiset akkuvarastohankkeet	11–17 M€ investointiluokka	Osoittavat teollisen mittakaavan akkuvarastojen investointikokoluokan sekä sähkö-, automaatio-, ohjelmisto-, käyttöönotto- ja kunnossapito-osaamisen tarpeen.	Julkisia henkilötyövuosiarvioita ei ole saatavilla.

5.3 Vaikutukset energiaomavaraisuuteen, huoltovarmuuteen ja kilpailukykyyn

Kuopion Energian mukaan kaukolämpöakku parantaa käyttövarmuutta verkostovaurioiden aikana ja tuotannon kannattavuutta. Savon Voiman mukaan Juankoskelle suunniteltu akkuvarasto liittyy sähkön hinnanvaihtelun hyödyntämiseen ja uusiutuvan tuotannon vaihtelun tasaamiseen.

Energiavarastot voivat tukea alueellista energiaomavaraisuutta ja huoltovarmuutta, jos ne lisäävät paikallisen uusiutuvan energian käyttöä, vähentävät huippu- ja varalämmön polttoainepohjaista tarvetta, parantavat lämmön toimitusvarmuutta, tukevat kriittisten kiinteistöjen varavoimaa tai vähentävät teollisuuden altistumista hintapiikeille. Vaikutus on kuitenkin sidottu varaston kokoon, purku-aikaan, ohjauslogiikkaan, liityntään ja siihen, mihin käyttöön varasto tosiasiaassa on varattu. Lyhytkestoinen akkuvarasto ei yksin ratkaise

pidemmän häiriötilanteen huoltovarmuutta, eikä lämpövarasto tue sähköjärjestelmän varavoimaa, ellei sitä ole yhdistetty tarkoituksenmukaiseen energiaketjuun.

Varastojen huoltovarmuusvaikutuksia ei voida arvioida ilman kriittisten kuormien, varavoimatarpeiden, purkuaikeiden, polttoainekorvausten ja operointioikeuksien tietoja.

5.4 Vaikutukset sähköjärjestelmään ja kulutusjousto

Fingridin mukaan varastot voivat osallistua useisiin reserveihin, mutta varaston lataaminen näkyy sähköjärjestelmässä kulutuksena ja purkaminen tuotantona. Sähkövarastojen nopea yleistyminen voi Fingridin julkisen näkemyksen mukaan myös kuormittaa verkkoa, jos ne sijoittuvat erillisinä kohteina verkon kannalta epäedullisesti.

Akkuvarastot voivat parantaa sähköjärjestelmän joustavuutta tarjoamalla taajuudenhallintaa, kulutusjoustoja, huippukuorman leikkausta ja uusiutuvan tuotannon ajallista siirtoa. Pohjois-Savossa vaikutus voi olla myönteinen erityisesti, jos varasto sijaitsee tuotannon tai kuorman lähellä ja ohjausmalli tukee verkon paikallista tilaa. Varasto voi kuitenkin lisätä verkon huipputilanteita, jos se latautuu tai purkautuu markkinasignaalin mukaan ilman paikallista verkkorajoitetta.

Paikallisen verkon kuormituksen helpottumista ei voida olettaa ilman verkon tilatietoja, kuormitusprofilleja, varaston ohjaussäätöjä ja liittymäsopimuksen ehtoja.

5.5 Vaikutukset lämpöjärjestelmään ja hukkalämmön hyödyntämiseen

Kuopion Energian kaukolämpöverkko on laaja ja tuotantorakenteeseen sisältyy kaukolämpöakku. Savon Voiman Keiteleen sähkökattila ja Varkauden suunniteltu sähkökattila osoittavat, että alueella kehitetään sähkön ja lämmön kytkentää.

Lämpövarastot voivat muuttaa lämpöjärjestelmän käyttöä siten, että sähkökattiloita ja lämpöpumppuja käytetään edullisen sähkön aikana, hukkalämpöä voidaan ottaa vastaan silloin kun sitä syntyy ja huippulämmön käyttö vähenee. Teollisuuden hukkalämmön hyödyntäminen voi parantaa energiatehokkuutta, jos lämpötilataso ja etäisyys lämpöverkkoon ovat sopivia. Ilmastohyöty syntyy vain, jos varasto vähentää fossiilista tai muuta päästöintensiivistä tuotantoa tai mahdollistaa päästöttömän lämmön käytön ilman, että järjestelmän kokonaispäästöt kasvavat.

Hukkalämmön määrä, lämpötilataso, jatkuvuus, liityntäetäisyys ja korvattava lämmöntuotanto eivät ole julkisesti riittävästi tiedossa.

5.6 Ympäristö-, ilmasto-, turvallisuus- ja hyväksyttävyyssvaikutukset

Litiumioniakkuihin liittyviä riskejä ovat palovaara, kemialliset vaarat, räjähdykset, sähköiskuvaara, myrkylliset savukaasut ja sammutusvesien ympäristöriskit. EU:n akkuasetus pyrkii vahvistamaan akkujen kestävyttä koko elinkaaren aikana muun muassa hankinnan, käytön, keräyksen, kierrätyksen ja uudelleenkäytön näkökulmasta.

Energiavarastojen ympäristö- ja ilmastovaikutukset poikkeavat teknologioittain. Akkuvarasto voi lisätä uusiutuvan sähkön käyttöä ja tukea sähköjärjestelmän joustoja, mutta sen

materiaalit, paloturvallisuus, sammutusvedet, kierrätys ja käytöstäpoisto on hallittava. Lämpövarasto voi vähentää polttoaineiden käyttöä, jos se korvaa huippu- tai varalämpöä tai mahdollistaa hukkalämmön käytön. LAES ei käytä akkumateriaaleja samassa tavalla kuin litiumioniakku, mutta siihen liittyy prosessiturvallisuutta, kryogeenisiä lämpötiloja ja suuria laitosrakenteita. Paikallinen hyväksyttävyyys riippuu melusta, liikenteestä, maisemasta, maankäytöstä, turvallisuudesta ja siitä, koetaanko ratkaisu alueellisesti hyödylliseksi.

Kohdekohtaisia ympäristö- ja turvallisuusvaikutuksia ei voida arvioida ilman sijaintia, teknologiaa, kokoa, turvallisuusratkaisuja, maaperä- ja pohjavesitietoja, liikennejärjestelyjä ja käytöstäpoistosuunnitelmaa.

5.7 Vaikutukset teolliseen uudistumiseen ja energiajärjestelmän kehittämiseen

Julkisissa alueellisissa tiedoissa on viitteitä sähköintensiivisten kohteiden, sähkökattiloiden, uusiutuvan tuotannon ja energiavarastojen samanaikaisesta kehittämisestä.

Energian varastointi voi tukea teollista uudistumista, jos se kytkeytyy energiakeskittymiin, teollisiin symbiooseihin, datakeskuksiin, hukkalämmön hyödyntämiseen, kaukolämmön sähköistymiseen, vety- ja Power-to-X-arvoketjuihin tai pk-yrityksille soveltuviin energiapalveluihin. Pohjois-Savossa tämä mahdollisuus on uskottavin siellä, missä samaan kokonaisuuteen voidaan yhdistää sähköliityntä, lämpökysyntä, teollinen asiakas, ohjattava kuorma ja varastointiratkaisu. Pieksämäessä vastaavat mahdollisuudet edellyttävät erillistä toimija- ja kysyntäkartoitusta.

Teollisen uudistumisen vaikutuksia ei voida esittää toteutuvina ilman tunnistettuja toimijoita, investointipäätöksiä, sopimuksia, liityntäkapasiteettia ja markkinamallia.

6 Riskit ja epävarmuudet

6.1 Teknologia- ja käyttöikäriski

Akkuvarastojen teknologia- ja käyttöikäriski liittyy erityisesti kapasiteetin heikkenemiseen, käyttösykleihin, varaustilan hallintaan, lämpötilanhallintaan, BMS-järjestelmään, inverttereihin, varaosien saatavuuteen ja siihen, että käyttötarkoitus voi muuttua markkinoiden mukana. Fraunhofer ISE akkujärjestelmien tutkimus- ja testausympäristöissä tarkastellaan muun muassa akkujen tehokkuutta, ikääntymistä, turvallisuutta ja luotettavuutta sekä syklisen ja kalenteri-ikäntymisen vaikutuksia. Fraunhofer IFAMin mukaan sähkökemiallisten varastojen keskeisiä vaatimuksia ovat kustannukset, energia- ja tehotehous, käyttöikä, laaja lämpötila-alue ja käyttöturvallisuus.

Pohjois-Savon ja Pieksämäen akkuvarastohankkeissa teknologia- ja käyttöikäriskiä ei voida arvioida vain nimelliskapasiteetin perusteella. Arviointi edellyttää käyttöskenaariota, syklimääräarviota, lämpötilanhallinnan ratkaisua, huoltosopimusta, takuita, kapasiteetin heikkenemämallia ja käytöstäpoiston kustannusta.

Lämpövarastoissa keskeisiä teknologiariskejä ovat lämpöhäviöt, materiaalien kestävyys, putkisto- ja lämmönsiirtoratkaisut sekä lämpötilatason sopivuus. LAES-teknologiassa

energiakapasiteetin heikkenemistä ei esitetä samalla tavalla kuin akuissa, mutta hyötysuhde, prosessitekniinen integraatio, kaupallinen kypsyys, kaupalliset referenssit, mittakaava ja prosessiturvallisuus ovat keskeisiä riskitekijöitä. Sama koskee laajemmin muita pitkäkestoisia sähkövarastoja siltä osin kuin niiden teknologia, käyttötarkoitus ja mittakaava poikkeavat tavanomaisista akkuvarastoista.

Kohdekohtaiset takuut, kapasiteetin heikkenemämallit, käyttöikäoletukset, huoltosopimukset ja käytöstäpoistosuunnitelmat eivät ole saatavilla.

6.2 Investointi-, kustannus- ja kannattavuusriski

Energiavarastojen keskeinen taloudellinen riski liittyy siihen, että investointi tehdään ennen kuin tulevat tulot, käyttöaste ja kustannukset ovat varmoja. Fingridin mukaan reservimarkkinoiden hinnat määräytyvät tarjonnan ja kysynnän perusteella, joten tulevia reservituloja ei voida pitää varmoina. Tämä koskee erityisesti akkuvarastoja, joiden kannattavuus perustuu usein useiden tulovirtojen yhdistämiseen.

Investointiriski muodostuu useista tekijöistä. Keskeisiä epävarmuuksia ovat investointikustannus, rahoituskustannukset, korkotaso, käyttö- ja kunnossapitokulut, verkkoliittymän kustannukset, maankäyttö, turvallisuusratkaisut, vakuutukset, markkinatulot ja toteutuvat käyttötunnit. Mitä suurempi investointi ja mitä epävarmemmat tulovirrat ovat, sitä suurempi on kannattavuusriski.

Akkuvarastoissa kannattavuus voi heikentyä, jos reservimarkkinoille tulee paljon uutta kapasiteettia ja hintataso laskee. Riskiä lisäävät myös sähkön hintavaihtelun hyödyntämisestä saatavien tulojen pieneneminen, akuston kapasiteetin odotettua nopeampi heikkeneminen, verkkoliittymäkustannusten kasvu sekä käyttöstrategian epäonnistuminen.

Lämpövarastoissa riski liittyy ennen kaikkea korvattavan lämmöntuotannon kustannuksiin ja lämpökysynnän ajoittumiseen. Varasto ei ole taloudellisesti perusteltu, jos se korvaa jo valmiiksi edullista lämmöntuotantoa tai jos lämpökysyntä ei vastaa varaston mitoitusta. Kannattavuus edellyttää, että varasto tuottaa todellista hyötyä esimerkiksi huippulämmön vähentämisessä, sähkökattilan tai lämpöpumpun käytön optimoinnissa, hukkalämmön hyödyntämisessä tai toimitusvarmuuden parantamisessa.

LAES-ratkaisuissa ja muissa pitkäkestoisissa sähkövarastoissa suurimmat riskit liittyvät investoinnin kokoon, käyttöasteeseen ja markkinamalliin. Teknologia voi olla teknisesti kiinnostava, mutta kaupallinen toteutettavuus edellyttää riittäviä käyttötunteja, selkeää tulovirtaa, soveltuvaa sähköverkkoliittymää ja mahdollisesti ulkoisten lämpö- tai kylmävirtojen hyödyntämistä.

Ilman kohdekohtaisia investointi-, kustannus- ja tulovirtalaskelmia yhdestäkään teknologiasta ei voida tehdä luotettavaa kannattavuusjohtopäätöstä. Arvioinnissa on siksi erotettava tekninen toteutettavuus, markkinapotentiaali ja kaupallinen kannattavuus toisistaan.

6.3 Sähköverkon, lämpöinfran ja liityntöjen riski

Järvilinja vahvistaa kantaverkkoa, mutta sähköverkon paikalliset liittymäedellytykset ovat erillinen kysymys. Harjulinja ja Huutokoski-Kontiolahti ovat suunnittelu- ja YVA-vaiheen kantaverkkohankkeita, joiden mahdollisia vaikutuksia liityntäkapasiteettiin, sähköasemien

kehitykseen, maankäyttöön ja energiavarastojen sijoittumiseen ei voida vielä varmistaa. Savon Voima on julkaissut kapasiteettikarttaa ja liittymäneuvontaa koskevaa tietoa, mutta yksittäinen liittymä edellyttää tapauskohtaista selvitystä.

Sähköverkon riski liittyy kapasiteettiin, liittymäsopimuksiin, sähköasemien sijaintiin, suojausvaatimuksiin, verkkopalvelumaksuihin, lataus- ja purkutehon samanaikaiseen vaikutukseen sekä mahdollisiin verkkovahvistuksiin. Lämpöinfran riski liittyy kaukolämpö- ja aluelämpöverkkojen vastaanottokykyyn, putkistotarpeisiin, lämpöhäviöihin, lämpöpumppujen ja sähkökattiloiden sähkönkäyttöön sekä asiakkaiden kulutusprofiileihin. Pieksämäessä riski korostuu, koska sähkö- ja lämpövastuut jakautuvat alueittain ja julkinen tekninen tieto on rajallista.

Liittymäkohtaiset kapasiteetit, vahvistuskustannukset, lämpöputkistojen reitit, verkon hydrauliset rajoitteet ja liityntäaikataulut puuttuvat.

6.4 Markkina-, kysyntä- ja tulovirtojen riski

Fingrid korostaa, että varastojen osallistuminen reserveihin on teknisesti mahdollista, mutta riippuu vaatimusten täyttämisestä ja markkinahinnoista.

Markkinariski liittyy reservimarkkinoiden kehitykseen, sähkön hinnanvaihteluun, kilpailun kasvuun, teollisuuden energiapalvelujen kysyntään, lämpömarkkinoiden sopimuksiin, off-take-sopimusten keston ja useiden tulovirtojen yhteensovittamiseen. Jos varasto perustuu vain yhteen tulovirtaan, se on alttiimpi markkinamuutoksille. Monituloisuus voi parantaa toteutettavuutta, mutta lisää operoinnin, sopimusten ja ohjauksen monimutkaisuutta.

Tarkastelualueelta ei ole saatavilla julkisia off-take-sopimuksia, tehomaksurakenteita, lämpöpalvelusopimuksia tai akkuvarastojen markkinastrategioita.

6.5 Turvallisuus-, ympäristö- ja hyväksyttävyyseriskit

Pelastusviranomaisen ohje korostaa akkupaloihin liittyviä savukaasuja, sammutusvesiä, raskasmalleja, pohjavesiriskejä, palo-osastointia, suojaetäisyyksiä ja pelastustoimen toimintamahdollisuuksia. Tukesin mukaan litiumioniakkupalon savukaasut ovat myrkyllisiä ja akku voi syttyä uudelleen.

Turvallisuusriski on akkuvarastoissa yksi keskeisimmistä toteutettavuuden ehdoista. Lämpökarkaaminen, savukaasut, sammutusvedet, pohjavesialueet, palo-osastointi, suojaetäisyydet, pelastusreittien mitoitus ja paikallinen hyväksyttävyys on ratkaistava ennen sijoittumista. Lämpövarastoissa riskit ovat erilaisia: korkeat lämpötilat, rakenteellinen turvallisuus, putkistot, paineet ja huoltoturvallisuus. LAES-ratkaisuissa korostuvat kryogeeniset olosuhteet, paineistetut järjestelmät, teollinen prosessiturvallisuus ja sähköliityntä.

Kohdekohtaisia sammutusvesien hallintasuunnitelmia, pelastussuunnitelmia, ympäristöriskikartoituksia ja paikallisen hyväksyttävyyden arvioita ei ole saatavilla.

6.6 Sääntely-, lupa- ja standardointiriski

Pelastusviranomaisen ohjeen mukaan akkuvaraston rakentamiseen liittyvä lupatarve tulee selvittää kohdekunnan rakennusvalvonnasta. EU:n akkuasetuksen tavoitteet kohdistuvat akkujen elinkaaren kestävyys-, keräykseen ja kierrätykseen. Energiaviraston mukaan verkkoyhtiöiden joustopalvelujen hankinnan ehtoja koskee vahvistusmenettely, mikä osoittaa joustomarkkinoiden sääntelykehityksen merkityksen.

Sääntelyriski liittyy rakennuslupiin, ympäristölupiin, kemikaaliturvallisuuteen, pelastusviranomaisen vaatimuksiin, sähkömarkkinasääntelyyn, verkkopalveluehtoihin, akkujen kierrätysvaatimuksiin, EU-sääntelyyn ja mahdollisiin tukiin. Akkuvarastojen tekninen yleistymisen on nopeaa, mutta lupa- ja turvallisuuskäytännöt ovat edelleen osin tapauskohtaisia. Tämä lisää suunnittelun, aikataulun ja kustannusten epävarmuutta.

Paikallisten rakennusvalvontojen, pelastusviranomaisten ja ympäristöviranomaisten kohdekohtaisia ennakkokantoja ei ole käytettävissä.

6.7 Toimijakentän ja osaamisen riski

Energiavarastojen toteuttaminen edellyttää useiden toimijoiden yhteistyötä koko hankkeen elinkaaren ajan. Keskeisiä toimijoita ovat energiayhtiöt, verkkoyhtiöt, kunnat, maanomistajat, teollisuusyritykset, teknologian toimittajat, rahoittajat, rakennusvalvonta ja pelastusviranomaiset. Lisäksi Fingridin reservimarkkinoille osallistuminen edellyttää teknisten vaatimusten täyttämistä, tiedonsiirtoa, kaupankäyntiä, laskutusta ja järjestelmien operointia.

Toimijariski syntyy erityisesti silloin, kun hankkeen käyttötarkoitus, omistusmalli, vastuunjako, tulovirrat tai operointimalli jäävät epäselviksi. Tällöin teknisesti toimivakin ratkaisu voi osoittautua kaupallisesti tai toiminnallisesti epäonnistuneeksi.

Akkuvarastoissa riski liittyy erityisesti markkinaosallistumiseen ja operointiin. Järjestelmä voi toimia teknisesti suunnitellulla tavalla, mutta kannattavuus voi jäädä saavuttamatta, jos reservimarkkinoille osallistuminen, kaupankäynti tai käyttöstrategia eivät ole ammattimaisesti hoidettuja.

Lämpövarastoissa onnistuminen edellyttää, että lämpöverkko, tuotantolaitos ja loppukäyttäjät muodostavat toimivan teknisen ja sopimuksellisen kokonaisuuden. Jos osapuolten vastuut tai käyttötarpeet eivät ole yhteensopivia, varaston käyttöaste voi jäädä alhaiseksi ja investoinnin kannattavuus heikentyä.

LAES-ratkaisut ja muut pitkäkestoiset energiavarastot edellyttävät laajaa yhteistyötä sekä merkittävää investointi- ja riskinkantokykyä. Tällaisissa hankkeissa teknologian lisäksi ratkaisevia ovat riittävä käyttötarve, pitkäjänteinen rahoitus sekä useiden toimijoiden sitoutuminen yhteiseen liiketoimintamalliin.

Energiavarastojen keskeiset riskit, niiden mahdolliset vaikutukset ja jatkoselvitystarpeet on koottu taulukkoon 7. Taulukko osoittaa, että teknisten kysymysten lisäksi energiavarastojen toteutettavuus riippuu sähköverkosta, markkinoista, turvallisuudesta sekä eri toimijoiden yhteistyöstä.

Julkisen aineiston perusteella ei voida arvioida alueellisten toimijoiden investointihalukkuutta, omistussmalleja, operointikyvykkyyttä eikä palvelusopimuksia. Näiden

tekijöiden arviointi edellyttää kohdekohtaisia selvityksiä ja yhteistyötä hankkeisiin osallistuvien toimijoiden kanssa.

Taulukko 7. Keskeiset riskit, vaikutukset ja jatkoselvitystarpeet

Teema	Mahdollinen vaikutus	Keskeinen riski	Jatkoselvitystarve
Akkuvarastot	Nopea sähköjousto, reservipalvelut ja kulutuspiikkien tasaaminen	Liityntäkapasiteetti, paloturvallisuus ja markkinatulosten vaihtelu	Liityntäselvitys, turvallisuusarviointi ja markkinatulomallin laatiminen
Lämpövarastot	Huippulämmön vähentäminen, hukkalämmön hyödyntäminen ja sähkökattiloiden jousto	Lämpökysynnän tai lämpötilatason riittämättömyys	Lämpöverkon kapasiteetti-, lämpötila- ja kuormitusanalyysi
LAES ja pitkäkestoiset sähkövarastot	Useiden tuntien tai pidempikestoinen sähköjärjestelmän jousto	Suuri investointikoko, epävarma käyttötarve ja markkinariski	Mittakaava-, käyttöprofiili-, liityntä- ja tulovirtaselvitys
Sähköverkko	Uusiutuvan tuotannon ja kulutuksen liittäminen sähköjärjestelmään	Verkon pullonkaulat, liittymiskustannukset ja kapasiteetin riittävyys	Sähköasemakohtainen kapasiteetti- ja verkkovahvistustarkastelu
Turvallisuus	Turvallinen käyttö ja hankkeiden hyväksyttävyys	Akkupalot, myrkylliset savukaasut, sammutusvedet ja pohjavesivaikutukset	Palo-, pelastus-, pohjavesi- ja sammutusvesiselvitykset
Markkina	Investointien kannattavuus ja rahoitettavuus	Reservimarkkinoiden hintojen vaihtelu ja sähkön hintavaihtelun pieneneminen	Reservi-, sähkön hintavaihtelu- ja sopimusskenaarioiden tarkastelu

7 Johtopäätökset

7.1 Keskeiset havainnot

Pohjois-Savossa energian varastoinnin realistisimmat lähivuosien kehityssuunnat liittyvät akkuvarastoihin, lämpövarastoihin ja sähköistyvän lämmöntuotannon joustoihin. Tätä tukevat alueella jo tunnistetut akkuvarasto-, kaukolämpöakku- ja sähkökattilahankkeet. Varastointi ei kuitenkaan ole yksi yhtenäinen ratkaisu, vaan teknologian soveltuvuus riippuu aina käyttötarkoituksesta: tarvitaanko nopeaa sähkötehon joustoa, lämpöjärjestelmän tasausta, uusiutuvan tuotannon ajallista siirtoa, varavoimaa vai teollisuuden energiakustannusten hallintaa.

Pieksämäki on varastoinnin kannalta relevantti tarkastelualue, mutta sen arviointia rajoittaa julkisen tiedon puute. Alueen verkkorakenteesta ja suunnitteilla olevista hankkeista on joitakin tietoja, mutta liittymäkapasiteeteista, lämpöverkkojen teknisistä ominaisuuksista ja energiankäytön ajallisista profileista ei ole riittävästi julkista aineistoa. Siksi Pieksämäen osalta johtopäätökset on pidettävä varovaisina ja toteutettavuus on arvioitava erillisellä kohdekohtaisella selvityksellä.

Kantaverkon kehitys parantaa alueellisia tarkasteluedellytyksiä, mutta ei yksin osoita energiavarastojen toteutettavuutta. Järvinlinja, Harjulinja ja Huutokoski–Kontiolahti-yhteys voivat vaikuttaa pitkän aikavälin sähköverkkorakenteeseen, mutta ne eivät takaa vapaata liittymäkapasiteettia yksittäiselle energiavarastolle. Toteutus edellyttää aina sähköasema- ja jakeluverkkokohtaista selvitystä sekä hankekohtaista kannattavuustarkastelua.

Akkuvarastojen merkittävin potentiaali liittyy sähköverkon joustoihin, reservimarkkinoihin, uusiutuvan tuotannon yhteyteen sijoittuviin ratkaisuihin sekä tehohuippujen hallintaan. Niiden kannattavuus ei kuitenkaan seuraa pelkästä teknisestä toteutusmahdollisuudesta. Akkuvaraston taloudellinen perusta riippuu investointikustannuksista, käyttökustannuksista, verkkoliittymästä, verkkopalvelumaksuista, markkinatuloista, käyttöstrategiasta ja akuston kapasiteetin heikkenemisestä.

Lämpövarastot ovat usein tarkoituksenmukaisimpia silloin, kun energian loppukäyttö on lämpöä. Tällaisia käyttökohteita ovat erityisesti kaukolämpö, aluelämpö, sähkökattilat, lämpöpumput, hukkalämmöt ja teollisuuden prosessit. Lämpövaraston hyöty syntyy vain, jos sille on vastaanottava lämpöverkko tai lämpöä käyttävä prosessi, riittävä lämpökysyntä ja toimiva sopimusmalli.

Energiavarastoilla voi olla myönteisiä alue- ja kuntataloudellisia vaikutuksia, mutta vaikutusten suuruus riippuu kohteesta. Rakentaminen voi tuoda alueelle maanrakennus-, sähköasennus-, automaatio- ja käyttöönotto-työtä. Käyttövaiheessa vaikutukset liittyvät erityisesti kunnossapitoon, valvontaan ja energiamarkkinaosaamiseen. Vaikutuksia ei kuitenkaan voida määrällistää luotettavasti ilman tietoa investoinnin koosta, paikallisen työn osuudesta, hankintamallista ja operoinnista.

Turvallisuus on kaikissa varastointiratkaisuissa keskeinen toteutusedellytys. Akkuvarastoissa korostuvat palo- ja pelastusturvallisuus, savukaasut, sammutusvesien hallinta ja pohjavesiriskit. Lämpövarastoissa painottuvat lämpötekniset ja rakenteelliset ratkaisut. LAES-järjestelmissä keskeisiä ovat prosessiturvallisuus, paineistetut järjestelmät ja kryogeeniset lämpötilat.

Pitkäkestoiset sähkövarastot ja LAES-ratkaisut ovat tarkastelualueella vielä ehdollisia mahdollisuuksia. Niitä ei voida pitää lähivuosien todennettuna investointipotentiaalina ilman näyttöä riittävästä käyttötarpeesta, mittakaavasta, sähköliittymästä, tulovirroista ja kohdekohtaisesta teknisestä soveltuvuudesta.

7.2 Realistisimmat kehityssuunnat

Tarkastelualueen konkreettisin sähkövarastoinnin kehityssuunta on akkuvarastojen hyödyntäminen sähköverkon jousto- ja reservikäytössä. Tämä perustuu siihen, että alueella on jo tunnistettu akkuvarastojen liityntäkehitystä ja varastot voivat teknisesti osallistua reservimarkkinoille, jos ne täyttävät vaatimukset. Toteutus edellyttää kuitenkin liittymäselvitystä, markkinatulolaskentaa, käyttöstrategiaa ja turvallisuustarkastelua.

Toinen realistinen kehityssuunta on varastojen sijoittaminen aurinko- ja tuulivoiman yhteyteen. Tämä voi tukea uusiutuvan tuotannon hyödyntämistä ja parantaa liittymän käyttöä, jos varaston ohjaus sovitetaan paikallisen sähköverkon tilanteeseen. Yhteissijoittamista ei kuitenkaan tule pitää automaattisesti verkkoa hyödyttävänä ratkaisuna, vaan vaikutus riippuu tuotantoprofiilista, lataus- ja purkuajankohdista sekä liittymäehdoista.

Teollisuus- ja kiinteistökohteiden kulutusjousto ja varavoima muodostavat täydentävän kehityspolun. Varasto voi olla perusteltu, jos kohteessa on selvä tehopiikki, kriittinen

kuorma, korkea sähkökatkon kustannus tai tarve hallita sähkön hinnanvaihtelua. Tällaiset ratkaisut edellyttävät asiakkaan kulutusdataa ja selkeää sopimusmallia.

Lämpövarastot ovat erityisen realistisia kaukolämmön, hukkalämmön ja sähkökattiloiden yhteydessä. Niiden potentiaali on suurin siellä, missä lämpöverkko, lämpöä tuottava tai käyttävä kohde ja sähköistyvä lämmöntuotanto ovat jo olemassa. Lämpövarasto voi parantaa sähkökattiloiden ja lämpöpumppujen käyttöä, tasata huippukulutusta ja lisätä hukkalämmön hyödyntämistä.

Teollisuuden prosessilämpöön liittyvät lämpövarastot voivat olla perusteltuja kohteissa, joissa lämpöä syntyy tai tarvitaan säännöllisesti ja lämpötilataso soveltuu varastointiin. Toteutettavuus riippuu kuitenkin yrityskohtaisista prosesseista, hukkalämmön jatkuvuudesta, lämpötilasta ja etäisyydestä käyttökohteeseen.

Pitkäkestoisen sähkövarastoinnin pilotit voivat olla mahdollisia rajatuissa kohteissa, mutta niitä ei tule nähdä vielä laajamittaisena kehityspolkena. LAES- ja muut pitkäkestoiset sähkövarastot vaativat suuren mittakaavan, riittävän sähköliittymän, selkeän käyttötarpeen ja useita tulovirtoja.

Suurimmat järjestelmähyödyt voivat syntyä sähkön, lämmön ja teollisen kysynnän yhteisratkaisuksista. Tällöin varasto ei ole erillinen laite, vaan osa laajempaa energiakokonaisuutta, jossa sähköverkko, lämpöverkko, teollinen käyttäjä ja energiayhtiön operointi kytkeytyvät yhteen.

7.3 Alueellisesti kriittisimmät edellytykset

Energiavarastojen toteutettavuus riippuu ennen kaikkea siitä, mihin tarpeeseen varasto rakennetaan. Teknologia voidaan valita vasta, kun käyttötarkoitus, liityntä, markkina, turvallisuus ja sopimusmalli ovat riittävän selviä.

Keskeisin edellytys on varastointitarpeen todentaminen. Ilman tuotanto-, kulutus- ja lämpöprofiileja ei voida arvioida, tarvitaanko varastoa minuuteiksi, tunneiksi, vuorokausiksi vai pidemmäksi ajaksi. Samalla on selvitettävä sähköverkon liittymäkapasiteetti, lämpöverkkojen tekniset edellytykset, turvallinen sijoittuminen ja mahdolliset tulovirrat.

Hankkeen edistämisessä on ratkaistava myös omistus- ja operointimalli. On määritettävä, kuka investoi, kuka käyttää varastoa, kuka saa hyödyt ja kuka kantaa riskit. Ilman selkeää vastuunjakoa varasto voi jäädä teknisesti mahdolliseksi mutta kaupallisesti epäselväksi.

Rahoitus, luvitus ja paikallinen hyväksyttävyyys ovat toteutuksen kannalta välttämättömiä edellytyksiä. Erityisesti akkuvarastoissa turvallisuuteen liittyvät kysymykset on ratkaistava varhaisessa vaiheessa, jotta sijoittuminen ei aiheuta myöhemmin merkittäviä lupa-, ympäristö- tai hyväksyttävyyseriskejä.

Suunnitteilla olevien kantaverkkohankkeiden vaikutuksia voidaan arvioida tarkemmin vasta, kun niiden toteutus, reitit, sähköasemaratkaisut ja liittymämahdollisuudet täsmentyvät. Ennen sitä ne on käsiteltävä mahdollisina pitkän aikavälin kehitystekijöinä, ei toteutuneena kapasiteettina.

7.4 Keskeiset riskit ja epävarmuudet

Keskeiset epävarmuudet liittyvät varastointitarpeen todentamiseen, sähkö- ja lämpöliityntöihin, sijoituspaikkojen soveltuvuuteen, markkinatuloihin, investointi- ja rahoituskustannuksiin sekä verkkokapasiteetin saatavuuteen. Lisäksi tukien, sääntelyn ja toimijoiden investointipäätösten kehitys vaikuttaa siihen, kuinka moni teknisesti mahdollinen hanke voi toteutua.

Akkuvarastoissa riskit liittyvät erityisesti kapasiteetin heikkenemiseen, käyttöstrategiaan, paloturvallisuuteen, sammutusvesien hallintaan ja markkinatulojen vaihteluun. Lämpövarastoissa epävarmuudet koskevat lämpöhäviöitä, teknistä toteutusta, lämpötilatasoa ja sitä, vastaako varaston mitoitus todellista lämpökysyntää. LAES-ratkaisuissa keskeisiä riskejä ovat suuri investointikoko, käyttötuntien epävarmuus, prosessitekkinen integraatio ja kaupallisen toteutuksen kypsyys.

Suurin taloudellinen riski on, että tekninen potentiaali tulkitaan liian varhain investointipotentiaaliksi. Energiavarasto voi olla teknisesti mahdollinen, mutta se ei ole kannattava ilman riittäviä tulovirtoja, toimivaa liityntää, selkeää käyttömallia ja hyväksyttävää riskitasoa.

Sisältöä on tuotettu AI-avusteisesti.

Lähdeluettelo

Energiateollisuus. 2025. Kaukolämpötilastot: Päästöt laskivat 19 %, kaukolämpö säilyttänyt asemansa suosituimpana lämmitysmuotona. Linkki:

<https://energia.fi/tiedotteet/kaukolampotilastot-paastot-laskivat-19-kaukolampo-sailyttanyt-asemansa-suosituimpana-lammitysmuotona/>

Energiateollisuus. 2026. Kaukolämpötilasto 2024. Linkki: https://energia.fi/wp-content/uploads/2026/01/Kaukolampotilasto_2024.pdf

Energiavirasto. 2023. Jousto- ja lisäpalveluiden ohje sähköverkonhaltijoille. Linkki: <https://energiavirasto.fi/documents/11120570/199918075/Energiaviraston%2Bjousto-%2Bja%2Blis%C3%A4palveluiden%2Bohje%2Bs%C3%A4hk%C3%B6verkonhaltijoille.pdf/9951c219-e73f-bc88-4123-7dd95cc3220d?t=1706270944720>

Energiavirasto. 2024. Energiavirasto on vahvistanut ensimmäiset verkonhaltijoiden joustopalveluiden hankintaehdot. Linkki: <https://energiavirasto.fi/-/energiavirasto-on-vahvistanut-ensimmaiset-verkonhaltijoiden-joustopalveluiden-hankintaehdot>

Energiavirasto. Verkonhaltijat kartalla. Linkki: <https://energiavirasto.fi/verkonhaltijat-kartalla>

Euroopan komissio. 2023. Commission Recommendation of 14 March 2023 on Energy Storage – Underpinning a decarbonised and secure EU energy system. Linkki: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=OJ%3AJOC_2023_103_R_0001

Euroopan komissio. 2023. Commission recommendations on how to exploit the potential of energy storage. Linkki: https://energy.ec.europa.eu/news/commission-recommendations-how-exploit-potential-energy-storage-2023-03-14_en

Euroopan parlamentti ja Euroopan unionin neuvosto. 2023. Asetus (EU) 2023/1542 akuista ja paristoista ja jäteakuista ja -paristoista. Linkki: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2023/1542/oj/fin>

European Commission Joint Research Centre. 2023. Clean Energy Technology Observatory: Novel Thermal Energy Storage in the European Union. Linkki: <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC135002>

European Commission Joint Research Centre. 2023. Novel Thermal Energy Storage in the European Union. PDF. Linkki: https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC135002/JRC135002_01.pdf

European Commission Joint Research Centre. 2025. Overview of Energy Storage Deployment in Europe: An analysis of current status and policy framework on energy storage. Linkki: <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC141463>

Exilion. 2025. Exilion tilaa Merus Powerilta sähkövaraston. Linkki: <https://exilion.fi/exilion-tilaa-merus-powerilta-sahkovaraston/>

Fingrid. Reservit. Linkki: <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/reservit/>

Fingrid. 2021. Järvilinjan vahvistaminen Vaalasta Joroisille: 400+110 kilovoltin voimajohtohanke, ympäristövaikutusten arviointiselostus. Linkki: <https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/kantaverkko/maankaytto-ja-ymparisto/jarvilinjan-yva-selostus-www-versio.pdf>

Fingrid. Järvilinjan vahvistaminen. Linkki:

<https://www.fingrid.fi/kantaverkko/rakentaminen/hankkeet/jarvilinjan-vahvistaminen/>

Fingrid. Harjulinja, Murtoperä–Kauppila. Linkki:

<https://www.fingrid.fi/kantaverkko/rakentaminen/hankkeet/harjulinja/>

Fingrid. Huutokoski–Kontiolahti. Linkki:

<https://www.fingrid.fi/kantaverkko/rakentaminen/hankkeet/huutokoski-kontiolahti/>

Fingrid. 2025. Energiavarastot reservimarkkinoilla. Linkki:

https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/yhtio/toimikunnat/markkinatoimikunta/smtk125_smtk-2025-1-energiavarastot-reservimarkkinoilla.pdf

Fingrid. 2025. Sähkövarastojen kehitysnäkymät. Linkki:

https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/yhtio/toimikunnat/markkinatoimikunta/smtk125_sahkovarastojen-kehitysnakymat---onni-harma.pdf

Fingrid. 2025. Järvilinjan vahvistaminen etenee – voimajohtoyhteys Kajaanista Lapinlahdelle valmistui. Linkki:

<https://www.fingrid.fi/ajankohtaista/tiedotteet/2025/jarvilinjan-vahvistaminen-etenee--voimajohtoyhteys-kajaanista-lapinlahdelle-valmistui/>

Fingrid / STT Info. 2026. Kantaverkon vahvistaminen Itä-Suomessa etenee – Joroisten ja Kontiolahden välille suunniteltu voimajohto YVA-vaiheessa. Linkki:

<https://www.sttinfo.fi/tiedote/72010156/kantaverkon-vahvistaminen-ita-suomessa-etenee-joroisten-ja-kontiolahden-valille-suunniteltu-voimajohto-yva-vaiheessa?lang=fi>

Fraunhofer IFAM. Electrical and thermal energy storage for the energy and heat transition and the mobility of tomorrow. Linkki:

https://www.ifam.fraunhofer.de/en/industries/Energy_Technologies/electrical-and-thermal-energy-storage-for-the-energy-and-heat-transition.html

Fraunhofer ISE. Battery Integration and Operational Management. Linkki:

<https://www.ise.fraunhofer.de/en/business-areas/electrical-energy-storage/battery-integration-and-operational-management.html>

Fraunhofer ISE. Grid Compatibility of Large-Scale Battery Storage Systems. Linkki:

<https://www.ise.fraunhofer.de/en/business-areas/power-electronics-and-grids/grid-planning-and-operation/grid-compatibility-of-large-scale-battery-storage-systems.html>

Fraunhofer ISE. Center for Electrical Energy Storage. Linkki:

<https://www.ise.fraunhofer.de/en/rd-infrastructure/center/center-for-electrical-energy-storage.html>

IEA Energy Storage TCP. Technology: Liquid Air Energy Storage. Linkki: https://www.iea-es.org/wp-content/uploads/public/FactSheet_mechanical_LAES.pdf

Kuopion Energia. Kaukolämpöverkosto. Linkki:

<https://www.kuopionenergia.fi/yritys/tuotanto-ja-jakelu/kaukolampoverkosto/>

Kuopion Energia. Voimalaitokset ja lämpökeskukset. Linkki:

<https://www.kuopionenergia.fi/yritys/tuotanto-ja-jakelu/voimalaitokset-ja-lampokeskukset/>

LDIES Council. Long Duration Energy Storage Council. Linkki: <https://ldescouncil.com/>

Merus Power Oyj / STT Info. 2025. Yksi Suomen suurimmista sähkövarastoista otettiin käyttöön Lappeenrannassa – Merus Powerin 15 miljoonan euron toimitus valmistui. Linkki:

<https://www.sttinfo.fi/tiedote/71171076/yksi-suomen-suurimmista-sahkovarastoista-otettiin-kayttoon-lappeenrannassa-merus-powerin-15-miljoonan-euron-toimitus-valmistui?lang=fi>

Neve. 2025. Neve investoi toimintavarmuuteen sähkövarastolla – ratkaisun toimittaa kotimainen Merus Power. Linkki: <https://neve.fi/ajankohtaista/neve-investoi-toimintavarmuuteen-sahkovarastolla-ratkaisun-toimittaa-kotimainen-merus-power/>

Oulun Energia. 2025. Oulun Energia panostaa sähköjärjestelmän joustokykyyn ja rakentaa Toppilaan suuren sähkön akkuvaraston. Linkki: <https://www.oulunenergia.fi/uutiset/03--2025/oulun-energia-panostaa-sahkojarjestelman-joustokykyyn-ja-rakentaa-toppilaan-suuren-sahkon-akkuvaraston/>

Pieksämäen kaupunki. Energiahuolto. Linkki: <https://www.pieksamaki.fi/asukkaat-ja-ymparisto/asuminen/energiahuolto/>

Pohjois-Pohjanmaan pelastuslaitos. 2023. Ohje energiavarastojen suunnitteluun, versio 1.0, 3.11.2023. Linkki: <https://pelastustoimi.fi/documents/25266713/144482759/PPpela%20ohje%20energiavarastojen%20suunnitteluun%20v1.0%203.11.2023.pdf/1ba15f66-27bb-f161-bfc2-085376a2ab70/PPpela%20ohje%20energiavarastojen%20suunnitteluun%20v1.0%203.11.2023.pdf?t=1698995017005>

Pohjois-Savon liitto / FCG. 2023. Pohjois-Savon aurinkovoimapotentialin selvitys. Linkki: <https://www.pohjois-savo.fi/media/4-maakuntakaavat-ja-liikenne/valmisteilla-olevat-maakuntakaavat/kaavaselvitykset/psmk2040-aurinkovoima.pdf>

Polar Night Energy. 2025. World's Largest Sand Battery Now in Operation. Linkki: <https://polarnightenergy.com/news/worlds-largest-sand-battery-now-in-operation/>

Savon Voima. 2024. Sähkövarastoja nousee nyt Savon Voima Verkon alueelle vauhdilla. Linkki: <https://savonvoima.fi/sahkovarastoja-nousee-nyt-savon-voima-verkon-alueelle-vauhdilla/>

Savon Voima. 2024. Savon Voima investoi sähköiseen lämmöntuotantoon Keiteleelle. Linkki: <https://savonvoima.fi/savon-voima-investoi-sahkoiseen-lammontuotantoon-keiteleelle/>

Savon Voima. 2025. Keiteleellä käyttöön otettu sähkökattila tuo joustoa sekä kustannustehokkuutta lämmöntuotantoon. Linkki: <https://savonvoima.fi/keiteleella-kayttoonotettu-sahkokattila-tuo-joustoa-seka-kustannustehokkuutta-lammontuotantoon/>

Savon Voima. 2026. Savon Voima investoi ensimmäiseen omaan sähkövarastoon Juankoskella vahvistaakseen energiajärjestelmän joustavuutta. Linkki: <https://savonvoima.fi/savon-voima-investoi-ensimmaiseen-omaan-sahkovarastoon-juankoskella-vahvistaakseen-energiajarjestelman-joustavuutta/>

Savon Voima. 2026. Savon Voima Verkon suurin sähkövarasto rakentuu Rautavaaralle. Linkki: <https://savonvoima.fi/savon-voima-verkon-suurin-sahkovarasto-rakentuu-rautavaaralle/>

Savon Voima. Suuryrityksille ja hankekehittäjille. Linkki: <https://savonvoima.fi/yrityksille-ja-yhteisöille/sahkoverkko/suuryrityksille-ja-hankekehittajille/>

Savon Voima. Kapasiteettikartta. Linkki: <https://experience.arcgis.com/experience/faa1920d810a4adf8e702087a2817a7e/page/KAPASITEETTIKARTTA>

Sumitomo Heavy Industries. Liquid Air Energy Storage (LAES). Linkki: <https://www.shi.co.jp/english/products/energy/cryobattery/index.html>

Sumitomo SHI FW. 2023. Energy Storage Technologies. Linkki: <https://lampokierto.fi/wp-content/uploads/sites/20/2023/05/10-Temonen-Lari-FINHCIP-May-2023-SHI-FW.pdf>

Sumitomo SHI FW. Liquid Air Energy Storage. Linkki: <https://www.shi-fw.com/our-solutions/energy-storage/liquid-air-energy-storage/>

Tukes. 2018. Litiumioniakkujen paloturvallisuus. Linkki: <https://tukes.fi/documents/5470659/10576880/Niemi%2BMeurman%2BLitiumioniakkujen%2Bpaloturvallisuus/cce05acc-6b48-e69e-70b6-14c27781b93e/Niemi%2BMeurman%2BLitiumioniakkujen%2Bpaloturvallisuus.pdf?t=1540276053000>

Varkauden Aluelämpö. 2026. Varkauden Aluelämpö valitsi sähkökattilahankkeen toimittajat – projekti etenee toteutusvaiheeseen. Linkki: <https://varkaudenaluelampo.fi/>

Verohallinto. 2025. Ennakkotietoa kiinteistöverotuksesta 2026. Linkki: <https://www.vero.fi/tietoa-verohallinnosta/tilastot/kiinteistoverotilastoj/ennakkotietoa-kiinteistoverotuksesta-2026/>

Verohallinto. 2025. Voimalaitokset kiinteistöverotuksessa. Linkki: <https://www.vero.fi/syventavat-vero-ohjeet/ohje-hakusivu/361273/voimalaitokset-kiinteistoverotuksessa2/>

VTT / Rakennusteollisuus RT. 2021. Rakentamisen yhteiskunnalliset vaikutukset. Linkki: <https://rt.fi/wp-content/uploads/2023/12/vtt-rakentamisen-yhteiskunnalliset-vaikutukset-2021-selvitys.pdf>

Yle. 2023. Pohjois-Savon liitto selvittää aurinkovoimatuotannon mahdollisuuksia. Linkki: <https://yle.fi/a/74-20011317>

Yle. 2025. Savon Voima alkaa varastoida sähköä – ensimmäiset akut tulevat Juankoskelle. Linkki: <https://yle.fi/a/74-20167383>

Ympäristöhallinto. Harjulinja 2 x 400+110 kilovoltin voimajohtohanke, ympäristövaikutusten arviointi. Linkki: <https://www.ymparisto.fi/fi/osallistu-ja-vaikuta/ymparistovaikutusten-arviointi/harjulinja-2-x-400110-kilovoltin-voimajohtohanke>