

strateginen **TUTKIMUS**



**Yhteensopivat
infrastruktuurit ja
instituutiot resilientille ja
oikeudenmukaiselle
vihreälle sähköistymiselle
(2IMATCH)**

Tilannekuvaraportti 2024



SUOMEN AKATEMIA

1. Tiivistelmä

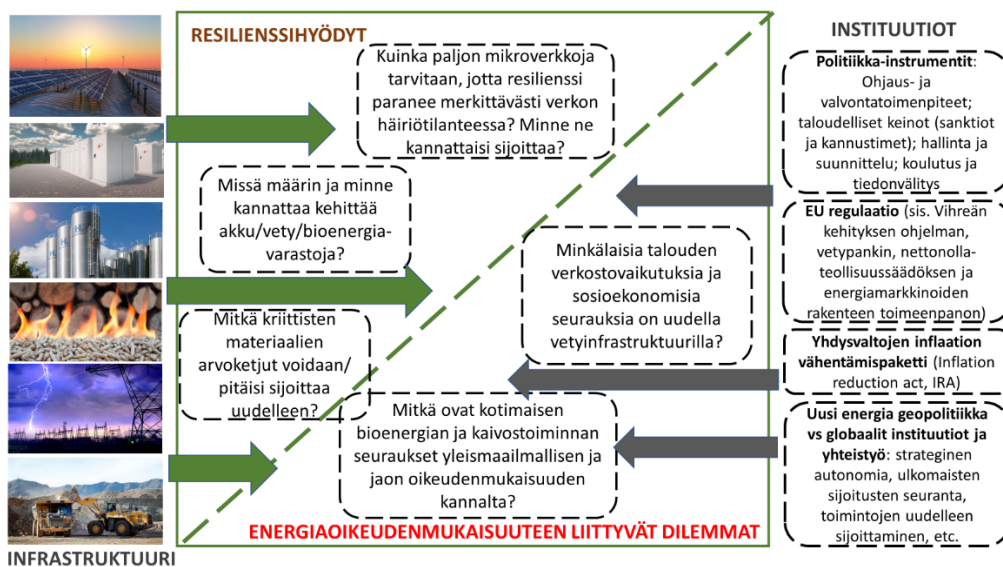
Hankkeen yhteiskunnallinen haaste on resilienssin lisääminen vihreässä ja sähköistyvässä energiajärjestelmässä sekä tämän edellyttämien toimenpiteiden oikeudenmukaisuusseurausten hallinta. Kullakin uudella energiainfrastruktuurin ratkaisulla on omat vahvuutensa resilienssin kohentamisessa. Näiden ratkaisujen osalta 2IMATCH tarkastelee erityisesti vetyä ja vetypolttoaineita, pienydinvoimaloita, akkuvarastoja ja mikroverkkoja sekä uusien ratkaisujen edellyttämiä kriittisiä mineraaleja ja materiaaleja. Ratkaisujen skaala, sijoittelu ja tyyppi ovat avainkysymyksiä niiden yhdistelyn ohella. Lisäksi pohditaan biomassaratkaisujen mahdollista terävöittämistä ja huomioidaan jo olemassaolevat infrastruktuurit. Kunkin ratkaisun kohdalta tarkastellaan kriittisesti sen esiin tuomia energiaoikeudenmukaisuuden kysymyksiä.

Jotta resilentimpi mutta silti oikeudenmukainen energiainfrastruktuuri voidaan luoda nopeutetusti, on instituutioita kehitettävä voimakkaasti. Tämä tarkoittaa infrastruktuurin ja politiikkakeinojen yhteensovittamista. Tätä varten hanke myös tarkastelee, mitä voimme oppia verrokkimaiden ja erilaisten edelläkävijämaiden, kuten Viro, Saksa, Norja, Yhdysvallat, Japani ja Israel, onnistuneista ja epäonnistuneista kokemuksista. Hankkeen asialistalla on myös EU-politiikka ja sääntely sekä kansainvälisen energiageopolitiikan ja -talouden vaikutus suomalaisiin toimijoihin.

2. Yhteiskunnallinen haaste

2.1. Mikä yhteiskunnallinen haaste tutkimuksen lähtökohtana?

Konsortion yhteiskunnallinen haaste on sekä vihreän että resilientin energiajärjestelmän saavuttaminen (ks. kuva 1). Haaste on neliosainen.



Kuva 1. 2IMATCH:in tutkimussuunnitelma (esimerkkejä).

- Siirtymä vihreään sähköistymiseen nojaavaan järjestelmään aiheuttaa jo itsessään uusia haavoittuvuuksia: (i) järjestelmästä itsestään tulee yhä sähköriippuvaisempi, kun kuljetus-, lämmitys- ja teollinen energiakäyttösektori kukin sähköistyvät ja ne kiedotaan toisiinsa yhä tiiviimmin sähkön avulla; (ii) järjestelmä nojaa valtiorajat ylittävään sähkönsiirtoinfrastruktuuriin, koska lisääntyvä sääriippuvainen sähköntuotanto edellyttää tuotannon ja kulutuksen tasaamista laajemmalla pohjoiseurooppalaisella alueella; (iii) sähköistyvä ja kansainvälistyvä järjestelmä muuntuu data- ja IT-riippuvammaksi ja siten haavoittuvammaksi kyberhyökkäyksille; (iv) kansainvälinen kilpailu sähköistyvän energiantuotanto-, energiansiirto- ja kulutusinfrastruktuurin edellyttämien kriittisten mineraalien ja metallien saatavuudesta kiristyy.
- On valittava useista eri infrastruktuuriratkaisuista ja niiden yhdistelmistä. Kullakin ratkaisulla ja niiden yhdistelmällä on erilaiset vaikutukset resilienssin kohentamisen ja muiden yhteiskunnallisten intressien näkökulmasta. Esimerkiksi Suomeen rakennettavan uuden vetyinfrastruktuurin koko, sijoittelu ja tekninen tyyppi vaikuttavat suuresti siihen, missä määrin kokonaisjärjestelmän resilienssiä voidaan kehittää. Sama koskee pienydinvoimaloiden ratkaisuja, mikroverkkojen mahdollisuuksien hyödyntämistä, akkuratkaisujen ja biovoiman kehittämistä sekä mineraalien louhinnan edistämistä kotimaassa ja Pohjoismaissa.
- Resilientimmän infrastruktuurin kehittäminen ja rakentaminen tuottaa energiaoikeudenmukaisuuteen liittyviä dilemmoja ja ristiriitoja. Esimerkiksi infrastruktuurin sijoittelu vaikuttaa lähialueiden teollisen ja kaupallisen toiminnan mahdollisuuksiin. Biomassaa suosivilla ratkaisuilla on resilienssieduista huolimatta ratkaistavanaan laaja-alaisia biomassan käytön ympäristöllisiä, terveydellisiä, yhteiskunnallisia ja tuotekehittelyyn liittyviä kysymyksiä. Sama koskee kaivostoiminnan kehittämistä Suomessa. Myös vetyliiketoimintaan liittyy kytkentöjä hiilisedonnaisiin teollisuudenhaaroihin. Yleisesti ottaen talouden uusjako tuottaa sekä ympäristöllisiä että sosiaalisia kerrannaisvaikutuksia.
- Infrastruktuurit eivät ole irrallisia yhteiskunnallisesta kehityksestä. Erityisesti niiden kiihdytetty kehittäminen vaatii uusia institutionaalisia ja politiikkaratkaisuja sekä innovaatioympäristön kehittämistä samalla kun se herättää hyväksyttävyysskysymyksiä. Keskeinen kokonaishaaste 2IMATCH-konsortiolle onkin uusien infrastruktuurien ja niiden edellyttämien instituutioiden rinnakkainen ja toisiaan tukeva kehittäminen.

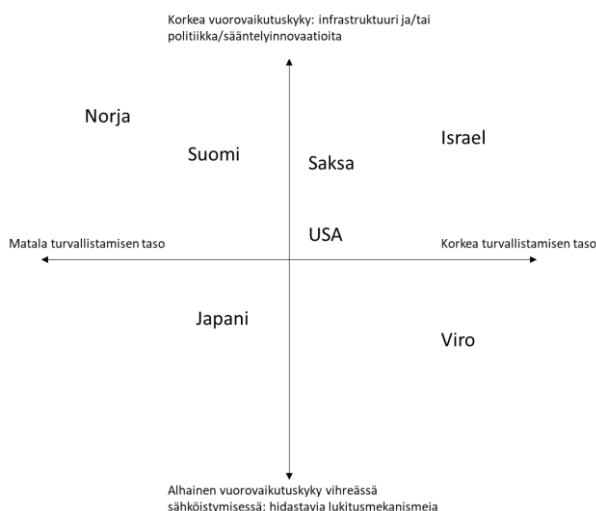
2.2. Mihin STN-ohjelman vaikuttavuustavoitteisiin sen ratkaiseminen vastaa ja miten?

2IMATCH pyrkii vaikuttamaan erityisesti seuraavien ohjelmavoitteiden toteutumiseen:

- *Energiajärjestelmän vaatimat ratkaisut ja niihin pääseminen*
- *Muutokset globaalissa ja eurooppalaisessa toimintaympäristössä:* miten muutokset globaalissa ja eurooppalaisessa toimintaympäristössä haastavat Suomessa tehtäviä energiaratkaisuja ja miten ratkaisuilla voidaan edistää energiaturvallisuutta sekä yhteiskunnan ja talouden muutosjoustavuutta?
- *Vihreän murroksen oikeudenmukaisuutta tukeva politiikka:* miten luodaan kannustimia ja poistetaan esteitä muutosten toteuttamiseksi?

2.3. Miten hankkeessa tehtävä tutkimus pyrkii edistämään haasteen ratkaisemista?

- 2IMATCH kehittää resiliienttien energiainfrastruktuurien taksonomian.
- Ristiinpölytämme energiaoikeuden, policy-tutkimuksen, kansainvälisen politiikan ja turvallisuustutkimuksen perspektiivejä muodostaaksemme tarkemman kuvan valtio- ja yritystoimijoiden toimintaympäristöstä, jota muokkaavat niin EU:n strategisen autonomian tavoitteet kuin Yhdysvaltojen tukijärjestelmät 'puhtaalle energialle' sekä yhä tavallisemmat kotimarkkinoiden suojeluun liittyvät käytännöt eri puolilla maailmaa.
- Integroimme energian kuluttajat ja kulutustavat aiempaa paremmin energiajärjestelmän resilienssiä mallintavaan tutkimukseen mm. tarkastelemalla energiaintensiivisiä teollisuudenaloja (esim. metalli-, polttoaine- ja kemianteollisuus).
- Kehitämme monitieteisen käsitteellisen kehikon resiliienttien käytäntöjen identifioimiseksi ja arvioimiseksi eri sektoreilla sekä niiden soveltamiseksi energiasektoreille.
- Arvioimme resiliентtejä käytäntöjä ja infrastruktuureja verrokkimaissa ja tiivistämme, mitä suomalaiset toimijat voivat oppia niistä (Viro, Saksa, Norja, Japani, USA, Israel; ks. kuva 2) sekä pohdimme oikeudenmukaisuusvaikutuksia.
- Analysoimme, kuinka kunnalliset toimijat sekä pienet ja keskisuuret yritykset voivat sopeutua transitiioon ja menestyä sen luomassa toimintaympäristössä.



Kuva 2. Alustava kriteeristö tapaustutkimuksen valinnoille.

2.4. Mitä konkreettisia yhteiskunnallisia vaikutuksia tavoitellaan?


- Kuntatason päättäjät ja pienyritykset voivat tehdä perustellumpia päätöksiä kustannustehokkaiden, kilpailukykyisten ja resilentimpien energiaratkaisujen kehittämiseksi ja rakentamiseksi.
- Kriittisen energiainfrastruktuurin kehittäjät, innovoijat ja omistajat voivat parantaa käytäntöjään, toimintatapojaan ja tavoitetasoaan resilentimmän portfolion rakentamiseksi sekä avautuvien liiketoimintamahdollisuuksien arvioimiseksi.
- Yhteistyön edellytykset ja tiedonvaihto paranevat energia-, data- ja turvallisuusalan viranomaisten ja kriittisen infrastruktuurin omistajien välillä.
- Kriittisen energiainfrastruktuurin kehittäjät, omistajat ja toimintaa ohjaavat viranomaiset hahmottavat paremmin alaan liittyvät geopoliittiset ja muut turvallisuusriskit.
- Ymmärrys resilienssin tuottamisen vaihtoehtoista, käytännöistä ja kustannuksista sekä seurausvaikutuksista syvenee ja levenee yhteiskunnassa.

3. Tutkimuksen nykytila (state of the art)

Uuden energiainfrastruktuurin resilienssiä käsittelevä tutkimus on luonteeltaan melko teknistä ja keskittyy eniten infran, kuten voimalaitosten ja verkkojen, uudelleenkäynnistämiseen häiriötilanteissa ja häiriöihin sopeutumiseen ('voimalaitostasoa'). Lisäksi on tutkimuksia paikallisyhteisöjen resilienssistä häiriötilanteissa ja katastrofeissa, kun normaalisti käytössä olevat energiaratkaisut eivät ole tilapäisesti saatavilla

(’paikallisyhteisötaso’). Myös erityisesti toimitusketjujen riskienhallintaa on tutkittu yritysten taholla (’riskienhallinnan taso’).

Varsin vähän on tietoa sähköistymisen edellyttämästä poikkihallinnollisuudesta energia-, data- ja turvallisuustoimijoiden välillä (’turvallisuushallinnan taso’) samoin kuin kansainvälisen yhteistyön mahdollisuuksista haavoittuvuuksien hallinnassa (’kahdenvälisen ja monenkeskeisen yhteistyön ja energiadiplomatian taso’) (ks. kuva 3). Hanke edistää tiedon muodostusta erityisesti näillä vähemmän tutkituilla aloilla ja pyrkii samalla muodostamaan kokonaisymmärrystä resilientimmän infrastruktuurin kehittämistä kaikilla tasoilla kokonaistehokkaita ratkaisuja ja käytäntöjä kehittäen.



Turvallisuuskäytännöt resilienssin parantamiseksi ja ylläpitämiseksi	Sidosryhmät	Saatavilla olevat teknologiat ja toimenpiteet
Kahdenvälinen/ monenkeskinen yhteistyö/ minilateralismi Yhteisen infrastruktuurin suunnittelu, datan ja tiedustelutiedon jakaminen (kaapelit, putket, liikennekäytävät, esim. yhteys Barentsin merelle)	<ul style="list-style-type: none"> Valtiot EU NATO 	<ul style="list-style-type: none"> Energia- ja muu diplomatia Tietoon pohjautuva päätöksenteko Uhka-, riski- ja haavoittuvuusanalyysit Tiedustelu, seuranta ja simulointi
Turvallisuuden hallinta Horisontaalinen koordinointi useiden sektorien viranomaisten ja kriittisen infrastruktuurin omistajien välillä	<ul style="list-style-type: none"> Energia-, liikenne-, data-, luonnonvara- ja huoltovarmuusalojen viranomaiset Poliisi, rajavartiolaitos, turvallisuus ja puolustusalojen viranomaiset Kriittisen infrastruktuurin omistajat (julkinen; yksityinen; hybridi) 	<ul style="list-style-type: none"> Suunnittelu ja varautuminen Esineiden internet (IoT); energian internet; automaatio; data-alustat ja ohjelmistot Puolustus- ja turvallisuusteknologiat Ajoneuvokuljetus, biomassapohjaiset ratkaisut Vaihtoehtoiset jakelumudot Hajautettu teollisuus
Yhteisöjen resilienssi Kyky paikallisten uusiutuvien resurssien, varastojen ja jakelukanavien hyödyntämiseen	<ul style="list-style-type: none"> Kunnat Kunnalliset energiayhtiöt Paikalliset yhteisöt ja kotitaloudet 	<ul style="list-style-type: none"> Mikroverkot; polttokennot; monikäyttöiset/ polttoainegeneraattorit ja –moottorit; pienet turbiinit; aurinkovoima; biomassa; pienet ydinvoimalat
Riskinhallinta Sähkö- ja polttoainetyyppien, lähteiden ja jakelukanavien monipuolistaminen; hajautetut varat	<ul style="list-style-type: none"> Kriittisen energiainfrastruktuurin omistajat 	<ul style="list-style-type: none"> Hankintasopimukset ja vakuutukset Maakaapelointi, varastointi, joustava logistiikka Monikäyttöiset/ polttoainegeneraattorit/ moottorit
Tekninen resilienssi Kyky ennustaa ja vaimentaa häiriötilanteita; mukautuminen ja palautuminen	<ul style="list-style-type: none"> Voimalaitokset; energian siirto- ja jakeluinfrastruktuuri 	<ul style="list-style-type: none"> Käyttö-, merkinanto- ja varoitusjärjestelmät; huolto ja palautuminen; varaosat; henkilöstömitoitus

Kuva 3. Saatavilla olevat turvallisuuskäytännöt ja -teknologiat energiainfrastruktuurin resilienssin parantamiseksi ja ylläpitämiseksi.

Uusia energiaratkaisuja käsittelevän tutkimuksen osalta 2IMATCH tarjoaa paitsi vapaasti saatavilla olevaa myös aiempaa tarkempaa tietoa järjestelmän kokonaisuudesta niin Suomen kuin Pohjois-Euroopan tasolla ja näin mahdollistaa uusien investointipäätösten yhteiskunnallisten vaikutusten ja kannattavuuden realistisemmän arvioinnin. Tähän 2IMATCH käyttää teknisesti edistyksellistä lineaarista optimointimallia, jossa VTT on osakehittäjänä. Erityisen tarkkaa tietoa malli tarjoaa järjestelmän osasektoreista. Siihen voidaan myös sovittaa hankkeen muiden työpaketien informoimia parametreja liittyen vaikkapa biomassan saatavuuteen, resilienssiin ja oikeudenmukaisuuteen liittyen.

Suhteessa energiainfrastruktuurin tutkimukseen hanke vastaa aiemmassa tutkimuksessa osoitettuun tarpeeseen tuottaa enemmän politiikkalähtöisiä ja kansainvälistä politiikkaa sekä turvallisuuslääkkeitä ja valottavaa tutkimustietoa. Hankkeen resilienssitaksonomia ja työ resilientimpien käytäntöjen osoittamiseksi eri tasoilla on tässä suhteessa keskeinen kontribuutio.

4. Monitieteinen yhteistyö

2IMATCH-hankkeessa insinööritieteiden ja yhteiskuntatieteiden näkökulmat ohjaavat molemmat toisiaan. Hanke laajentaa resilienssitutkimusta teknisistä ja insinööritieteellisistä näkökohdista kohti tieteidenvälistä turvallisuustutkimusta, joka kattaa riskit ja haavoittuvuudet paikallistasolta aina kansainväliselle tasolle ja kybervaikeuttamiseen.

Useiden eri tieteenalojen risteyksessä sijaitsevasta institutionaalisesta teoriasta hanke omaksuu ajatuksen siitä, kuinka resilienssitavoite on ajankohtaisuudesta huolimatta vain eräs yhteiskunnallinen tavoite, joka ohjaa energiainfrastruktuurin kehittämistä monien muiden ohella (kuten kustannustehokkuus; liikevoittojen, verotulojen ja työpaikkojen tavoittelu; osaamispääoman kasvattaminen vientiä ja kansainvälistä vaikuttamista varten jne.). Hankkeen kehittämästä resilienssitaksonomiasta ja yhteiskunnallisten intressien analyysistä muodostetaan takaisinkytkentä insinööritieteisiin määrittelemällä energiajärjestelmän mallinnuksessa tarvittavia parametreja.

2IMATCH luo siltaa aiemmin erillisinä toimineiden energia-, data- ja turvallisuustoimijoiden välille. Kullakin näistä alueista on Suomessa korkealaatuista osaamista, muttei riittävästi keskinäisiä verkostoja ja innovaatio- tai teollisia yhteenliittymiä.

2IMATCH on erityisen kiinnostunut muiden JUST ENERGY-hankkeiden skenaarioista sekä resilienssiin liittyvistä käsiteanalyysistä, PHOENIX-hankkeen mikroverkkotutkimuksesta ja Suomen energiaintensiivisen teollisuuden, mm. metsätalouden kehitysanalyysistä, sekä JustH2Transit-hankkeen vetyratkaisusta ja biomassanalyysistä.

2IMATCH voi tarjota JUST ENERGY -ohjelman muille hankkeille näkymän myös ns. Mad Max -skenaarioon, jossa monet normaalisti käytössä olevat raaka-aineiden, materiaalien ja laitteiden toimitus- ja huoltoketjut ovat katkenneet kansainvälisten jännitteiden, konfliktien tai sodan oloissa. Hanke on myös erityisen kiinnostunut muiden hankkeiden tuottamasta aurinko- ja tuulivoiman lisäämistä ja sen yhteiskunnallisia vaikutuksia koskevista tuloksista. Hankkeen näkökulmasta myös kaikki oikeudenmukaisuuskysymyksistä suoraan tuotettu tieto on arvokasta, koska hanke itsessään tarkastelee oikeudenmukaisuutta turvallisuusratkaisuiden kehittämisen seurausvaikutuksena. Toisin sanoen resilienssin lisääminen on kauaskantoinen yhteiskunnallinen päätös, joka vaikuttaa muihin resursseihin ja yhteiskunnan sosioekonomiseen järjestykseen sekä osallistumiseen.

5. Vuorovaikutus ja vaikuttavuuden edistäminen

2IMATCH järjestää (i) työpajoja energia-, data- ja turvallisuustoimijoiden yhteensaattamiseksi; (ii) simulaatioita, joissa tarkastellaan esim. eri

toimijoiden valtuuksia uuden energiainfrastruktuurin häiriötilanteissa tai niihin kohdistuvissa hyökkäystilanteissa; (iii) webinaareja ja seminaareja sekä (iv) tuottaa kommentteja, podcasteja ja muita elektronisesti jaettavia sisältöjä ja (v) haastattelee asianosaisia yrityksiä ja viranomaisia Suomessa ja verrokkimaissa.

Yhteisiä sidosryhmiä muiden JUST ENERGY -ohjelman hankkeiden kanssa ovat mm. energia-alan viranomaiset, ministeriöt ja keskeiset yritykset. Turvallisuustoimijoiden verkosto on alue, jolla 2IMATCH voi tuoda muille hankkeille erityistä lisäarvoa.

Kirjallisuusluettelo