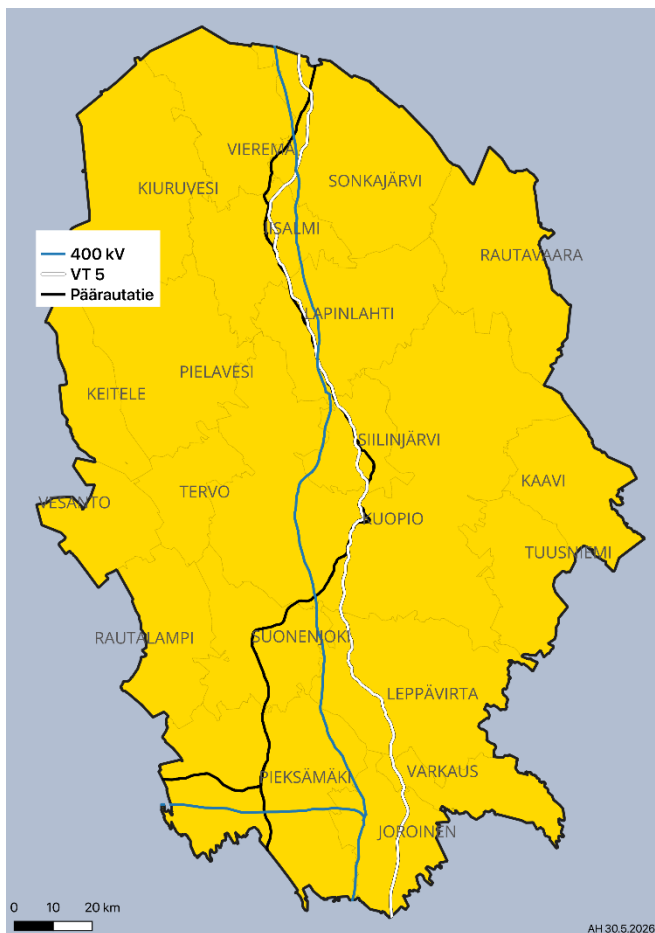




Pohjois-Savon energia
masterplan -hanke
1.5.2024 – 7.6.2026

VEDYNTUOTANNON JATKOSELVITYS

Pohjois-Savon ja Pieksämäen alueille



Euroopan unionin
osarahoittama



Pohjois-Savon liitto

warkaus
Ihän omenainen

NAVITAS
YRITYSPALVELUT
Navitas Kehitys Oy

Sisällys

1 Johdanto.....	4
1.1 Mitä uusiutuva vety on ja miten vetyä tuotetaan.....	4
1.2 Selvityksen tavoite	5
1.3 Tarkastelualue: Pohjois-Savo ja Pieksämäki	5
1.4 Aineistot ja lähteet	6
2 Vedyntuotannon yleinen kehitys ja tekninen perusta.....	7
2.1 Vedyn tuotantotavat ja uusiutuvan vedyn erityispiirteet	7
2.2 Elektrolyysi, elektrolyyseriteknologiat ja keskeiset tekniset ominaisuudet...	8
2.3 Sähkön, veden ja käyttöajan merkitys tuotantokustannuksille	11
2.4 Vedyn varastointi, paineistus, siirto ja turvallisuus	11
2.5 Vedyn jatkojalosteet ja Power-to-X-arvoketjut.....	12
2.6 Hankekehityksen, luvituksen ja rakentamisen päävaiheet.....	13
3 Alueellinen lähtötilanne.....	13
3.1 Vedyntuotannon nykytila Pohjois-Savossa ja Pieksämäellä.....	13
3.2 Uusiutuvan sähkön saatavuus ja tuotantopotentiaalin merkitys.....	14
3.3 Sähköverkko, kantaverkko, liityntäkapasiteetti ja siirtotarpeet.....	15
3.4 Veden saatavuus, vesistövaikutukset ja prosessiveden vaatimukset	19
3.5 Teolliset käyttökohteet, nykyinen kaasujen käyttö ja mahdollinen kysyntä alueella.....	20
3.6 Bio-CO ₂ -lähteet ja vedyn jatkojalostuksen alueelliset edellytykset	20
3.7 Kaukolämpöverkot, hukkalämpö ja sektori-integraatio.....	22
3.8 Alueidenkäyttö, kaavoitus, ympäristö- ja turvallisuusreunaehdot	22
3.9 Keskeiset alueelliset pullonkaulat ja epävarmuudet.....	23
4 Vedyntuotannon potentiaali tarkastelualueella	23
4.1 Tekninen potentiaali: sähkö, vesi, sijainti ja prosessitekniset edellytykset .	23
4.2 Maankäytöllinen ja luvituksellinen potentiaali	23
4.3 Verkkoliittymän ja energiansiirron mahdollistama potentiaali.....	24
4.4 Teollisen kysynnän ja jatkojalostuksen mahdollistama potentiaali	24
4.5 Hukkalämmön ja hapen hyödyntämisen potentiaali.....	25
4.6 Teknistaloudellinen toteutettavuus Pohjois-Savossa ja Pieksämäellä	25
4.7 Toteutettavuuden alueelliset erot Pohjois-Savon ja Pieksämäen välillä	26

4.8 Realistinen potentiaali.....	26
5 Vaikutukset	27
5.1 Vaikutukset alue- ja kuntatalouteen	27
5.2 Työllisyys- ja osaamisvaikutukset	28
5.3 Vaikutukset energiaomavaraisuuteen, huoltovarmuuteen ja kilpailukykyyn	29
5.4 Vaikutukset sähköjärjestelmään, kulutusjoustoon ja sektori-integraatioon	29
5.5 Hukkalämmön, hapen ja muiden sivuvirtojen hyödyntämisvaikutukset	30
5.6 Ympäristö-, vesistö-, turvallisuus- ja hyväksyttävyyssvaikutukset.....	31
5.7 Vaikutukset teolliseen uudistumiseen ja arvoketjujen kehittymiseen	31
6 Riskit ja epävarmuudet.....	32
6.1 Sähkön hinta, saatavuus ja käyttöaika	32
6.2 Sähköverkon ja mahdollisen vetyinfrastruktuurin epävarmuudet.....	32
6.3 Kysyntä-, markkina- ja off-take-riskit.....	32
6.4 Sääntely, RFNBO-vaatimukset ja tukipolitiikan epävarmuudet.....	32
6.5 Teknologia-, investointi- ja kustannusriskit	33
6.6 Ympäristö-, turvallisuus- ja hyväksyttävyyssriskit	33
7 Johtopäätökset.....	33
7.1 Keskeiset havainnot.....	33
7.2 Realistisimmat kehityssuunnat.....	34
7.3 Alueellisesti kriittisimmät edellytykset.....	35
7.4 Keskeiset riskit ja epävarmuudet	36
Lähdeluettelo.....	37

Taulukko 1. Vedyntuotannon keskeiset tekniset käsitteet ja niiden selitykset

Käsite	Selitys	Merkitys tässä selvityksessä
Vety, H₂	Kevyt, hajuton ja helposti syttyvä kaasu.	Energiankantaja, teollisuuden raaka-aine ja PtX-tuotteiden lähtöaine.
Uusiutuva vety	Vety, joka tuotetaan uusiutuvalla sähköllä veden elektrolyysillä.	Selvityksen pääasiallinen tarkastelukohte.
Elektrolyysi	Prosessi, jossa vesi hajotetaan sähköllä vedyksi ja hapeksi.	Keskeinen uusiutuvan vedyn tuotantotapa.
Elektrolyyseri	Laitekokonaisuus, jossa elektrolyysi tapahtuu.	Määrittää laitoksen kustannuksia, joustavuutta ja käyttöprofiilia.
AEL-elektrolyysi	Alkalielektrolyysi; vakiintunut ja laajasti käytetty teknologia.	Soveltuu erityisesti tasaisempaan teolliseen tuotantoon.
PEM-elektrolyysi	Kalvoteknologiaan perustuva elektrolyysi, jolla on hyvä säädettävyys.	Soveltuu vaihtelevan uusiutuvan sähkön yhteyteen.
SOEC-elektrolyysi	Korkean lämpötilan kiinteäoksidi-elektrolyysi.	Kehittyvä teknologia erityisesti lämpöintegroituihin kohteisiin.
AEM-elektrolyysi	Kehittyvä teknologia, joka yhdistää AEL:n ja PEM:n piirteitä.	Seurantateknologia, ei vielä lähivuosien perusratkaisu.
RFNBO	Muuta kuin biologista alkuperää oleva uusiutuva polttoaine.	Määrittää, milloin vety tai jatkojaloste täyttää EU:n uusiutuvuusvaatimukset.
RED III	EU:n uusiutuvan energian direktiivin päivitys.	Ohjaa RFNBO-vedyn ja vedyn jatkojalosteiden teollista käyttöä.
Power-to-X, PtX	Sähkön muuttaminen vedyksi ja edelleen tuotteiksi.	Kuvaa vedyn jatkojalostusta, kuten e-metaania, e-metanolia ja e-polttoaineita.
E-metaani	Vedystä ja CO ₂ :sta valmistettu synteettinen metaani.	Mahdollinen jatkojaloste, jos CO ₂ , sähkö ja markkina kohtaavat.
E-metanoli	Vedystä ja CO ₂ :sta valmistettu synteettinen metanoli.	Mahdollinen kemikaali- ja polttoainetuote CO ₂ -lähteiden lähellä.
E-ammoniakki	Vedystä ja typestä valmistettu uusiutuva ammoniakki.	Relevanssi liittyy erityisesti lannoite-, kemikaali- ja meriliikennesovelluksiin.
Synteettiset polttoaineet	Vedystä ja hiilipohjaisesta syötteestä tuotetut polttoaineet.	Mahdollisia lopputuotteita erityisesti lento- ja meriliikenteeseen.
CCU	Hiilidioksidin talteenotto ja hyötykäyttö. (Carbon Capture and Utilization)	Kytkee CO ₂ -lähteet vedyn jatkojalosteisiin.
CCS	Hiilidioksidin talteenotto ja pysyvä varastointi. (Carbon Capture and Storage)	Vaihtoehtoinen CO ₂ :n käyttötapa, mutta ei tämän selvityksen pääpaino.
Biogeeninen CO₂	Biomassaperäisestä hiilestä syntyvä hiilidioksidi.	Keskeinen raaka-aine hiilipohjaisille PtX-tuotteille.
Fossiilinen CO₂	Fossiilisista polttoaineista tai raaka-aineista syntyvä hiilidioksidi.	Ei rinnastu biogeeniseen CO ₂ :een uusiutuvien jatkojalosteiden näkökulmasta.
PPA-sopimus	Pitkäaikainen sähkönostosopimus.	Keskeinen uusiutuvan sähkön hinnan ja alkuperän varmistamisessa.
Käyttöaika	Aika, jonka laitos toimii nimellisteholla tai sen lähellä.	Vaikuttaa vedyn yksikkökustannukseen ja investoinnin kannattavuuteen.

Sähköliikeyntä	Laitoksen kytkeyntä sähköverkkoon.	Yksi tärkeimmistä vedyntuotannon sijoittumista rajoittavista tekijöistä.
Kantaverkko	Fingridin valtakunnallinen sähkönsiirtoverkko.	Mahdollistaa suurten sähkökuormien liittämisen, jos kapasiteettia on.
Prosessivesi	Elektrolyysissä käytettävä puhdistettu vesi.	Edellyttää raakavettä, vedenkäsittelyä ja lupien tarkastelua.
Hukkalämpö	Prosessissa syntyvä lämpö, jota voidaan hyödyntää tai jäähdyttää.	Voi tukea kaukolämpöä, jos lämpötila, etäisyys ja talous täsmäävät.
Sivutuotehappi	Elektrolyysissä vedyn rinnalla syntyvä happi.	Mahdollinen lisähyöty, jos lähellä on hapen käyttäjiä.
Vedyn varastointi	Vedyn säilyttäminen paineistettuna, nesteytettynä tai johdannaisina.	Tarvitaan tuotannon, kulutuksen ja logistiikan yhteensovittamiseen.
Vedyn paineistus	Vedyn puristaminen kuljetusta, varastointia tai käyttöä varten.	Lisää energiankulutusta ja vaikuttaa laitoksen kokonaiskustannuksiin.
Off-take-sopimus	Sopimus lopputuotteen ostosta.	Keskeinen investoinnin rahoitettavuuden ja markkinariskin kannalta.

1 Johdanto

1.1 Mitä uusiutuva vety on ja miten vetyä tuotetaan

Uusiutuva vety tarkoittaa tässä selvityksessä ensisijaisesti vetyä, joka tuotetaan veden elektrolyysillä uusiutuvalla sähköllä. Elektrolyysissä vesi hajotetaan sähköenergian avulla vedyksi ja hapeksi. Prosessissa syntyy vedyn lisäksi happea ja lämpöä, joiden hyödyntäminen voi parantaa kokonaisuuden energiatehokkuutta, mutta ei yksin ratkaise tuotannon kannattavuutta. EU:n sääntelyssä keskeinen käsite on RFNBO eli muuta kuin biologista alkuperää oleva uusiutuva polttoaine. RED III -direktiivin mukaan teollisuudessa loppukäytettävien RFNBO-polttoaineiden osuuden tulee olla vähintään 42 prosenttia teollisuudessa käytetystä vedystä vuoteen 2030 mennessä ja 60 prosenttia vuoteen 2035 mennessä.

Pohjois-Savon ja Pieksämäen kannalta uusiutuvan vedyn alueellinen merkitys ei perustu pelkästään elektrolyysilaitoksen sijoittamiseen, vaan koko arvoketjuun: uusiutuvan sähkön saatavuuteen, sähköverkon liityntämahdollisuuksiin, veden ja jäähdytyksen järjestämiseen, hiilidioksidin lähteisiin, teolliseen kysyntään, hukkalämmön hyödyntämiseen sekä vedyn tai jatkojalosteiden logistiikkaan. Uusiutuva vety on energiantensiivinen välituote, ei itsenäinen alueellinen kilpailuetu ilman sähköä, käyttökohdetta ja kaupallista sopimusperustaa.

Tarkastelualueelta ei ollut käytettävissä julkisesti varmennettua tietoa toiminnassa olevasta teollisen mittakaavan uusiutuvan vedyn tuotannosta. Tämän vuoksi nykytilan arvio perustuu tunnistettuihin edellytyksiin, ei toteutuneeseen tuotantokapasiteettiin.

1.2 Selvityksen tavoite

Pohjois-Savosta on laadittu LUT-yliopiston alueellinen vetylaakso selvitys, jossa tarkasteltiin uusiutuvan tuuli- ja aurinkovoiman tuotantopotentiaalia, energiainfrastruktuureja, hiilidioksidin pistelähteitä ja teollista rakennetta vedyn ja Power-to-X-talouden kehittymisen näkökulmasta. Pieksämäkeä koskeva alueellinen tieto perustuu erityisesti Etelä-Savon vetylaakso selvityksen Pieksämäkeä käsitteleviin osiin sekä julkisesti saatavilla oleviin Pieksämäen tuulivoimakohdeiden tietoihin.

Selvityksen tarkoituksena on muodostaa päätöksenteon tueksi realistinen kuva siitä, missä määrin Pohjois-Savossa ja Pieksämäellä voidaan edistää uusiutuvan vedyn tuotantoa ja jatkojalostusta. Tarkastelu erottaa teknisen potentiaalin, maankäytöllisen ja luvituksellisen potentiaalin, sähköverkon mahdollistaman potentiaalin, kysyntään perustuvan potentiaalin ja kaupallisesti toteuttamiskelpoisen potentiaalin. Tämä erottelu on välttämätön, koska sähköntuotanto-, CO₂- ja verkkopotentiaali eivät sellaisenaan merkitse investointien toteutumista.

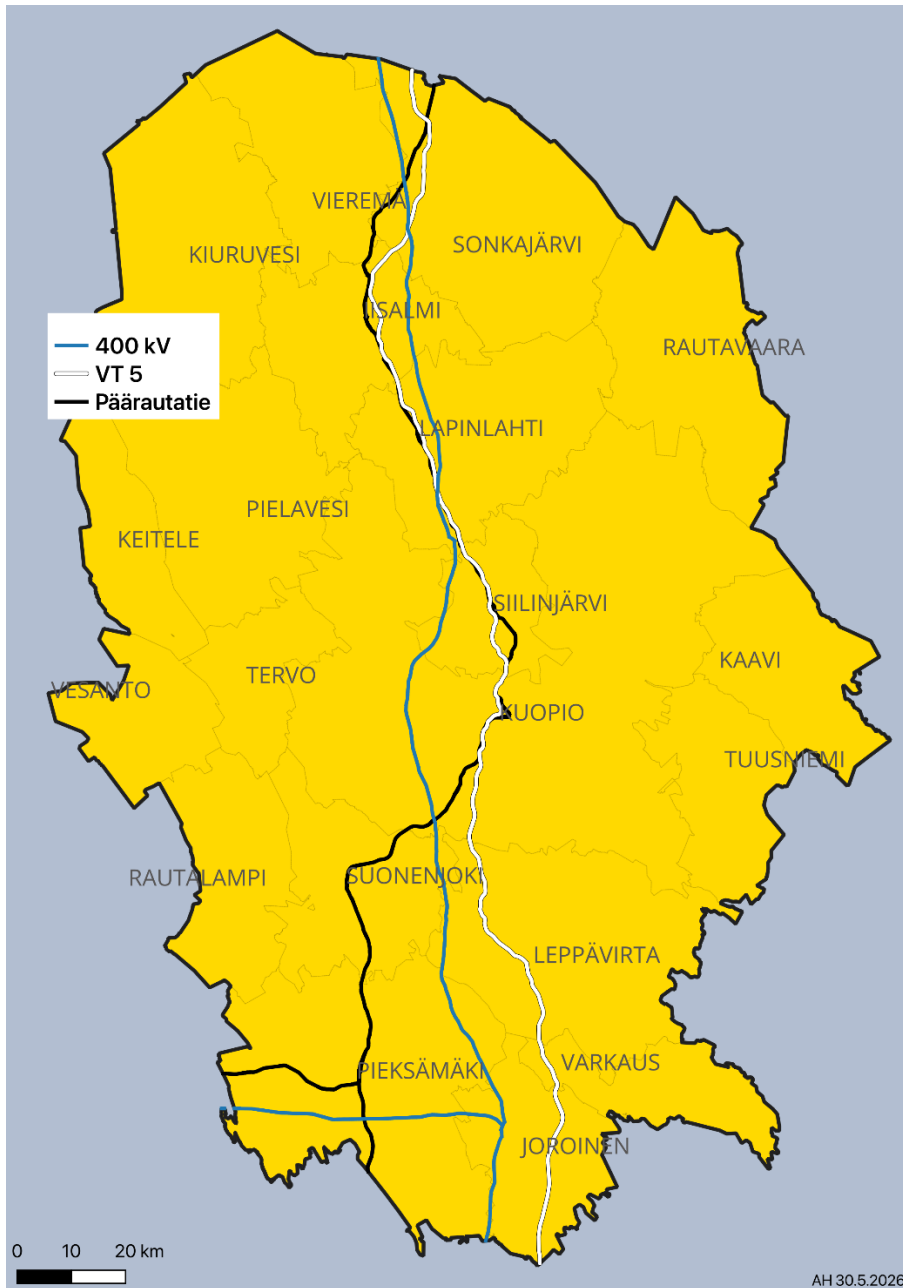
Päätöksentekoa varten tarvitaan kohdekohtaisia tietoja sähköverkon vapaasta liityntäkapasiteetista, teollisten toimijoiden todellisesta vedyn, hapen, hiilidioksidin ja lämmön kysynnästä, vedenoton luvitettavuudesta sekä investointien taloudellisista reunaehdoista.

1.3 Tarkastelualue: Pohjois-Savo ja Pieksämäki

Pohjois-Savon tarkastelussa keskeisiksi vyöhykkeiksi nousevat Iisalmen seutu, Kuopion seutu sekä Varkauden–Leppävirran–Joroisten suunnan eteläinen teollinen ja energiainfrastruktuuriin kytkeytyvä alue. LUT:n Pohjois-Savon selvityksessä tunnistettiin kolme mahdollista vetytalouden keskittymää: Iisalmen ympäristön pohjoinen alue, Kuopion alue sekä Varkauden ympäristön eteläinen alue, johon kytkeytyvät myös Joroisten aurinkovoimasuunnat ja Pieksämäen puolella oleva tuulivoimapotentiaali.

Pieksämäen seudulla on Etelä-Savon vetylaakso selvityksen mukaan merkitystä erityisesti tuulivoiman, sähkö- ja rataverkon solmupisteaseman sekä Varkauden suunnan hiilidioksidilähteiden läheisyyden vuoksi. Selvityksen mukaan Pieksämäen suurimmat hiilidioksidilähteet sijaitsevat pääosin naapurimaakunnan Varkauden alueella.

Tarkastelualue ei muodosta yhtä yhtenäistä vedyntuotantoaluetta. Pohjois-Savossa vahvuudet jakautuvat eri tavalla: pohjoisessa korostuvat uusiutuvan sähkön ja biokaasupohjaisen hiilidioksidin yhdistelmät, Kuopiossa suuret lämpö- ja CO₂-lähteet sekä kaukolämpöverkko ja Alapitkän sähköaseman läheisyys, ja eteläisessä Pohjois-Savossa Varkauden teollinen rakenne, Huutokosken kantaverkkoyhteys ja yhteys Pieksämäen tuulivoimavyöhykkeeseen. Pieksämäen rooli on ensisijaisesti sähköntuotannon, sähkönsiirron, rautatieyhteyksien ja Varkauden teolliseen hiilidioksidipohjaan kytkeytymisen kautta muodostuva. Tarkastelualueen kartta on kuvassa 1.



Kuva 1. Tarkastelualueen kartta. Pohjois-Savo, Pieksämäki, keskeiset kaupungit ja solmut: Iisalmi, Kuopio, Varkaus, Leppävirta, Joroinen ja Pieksämäki sekä valtatie 5:n, rautateiden ja 400 kV kantaverkon pääsuunnat. (Pohjois-Savon energia masterplan -hanke, 2026)

1.4 Aineistot ja lähteet

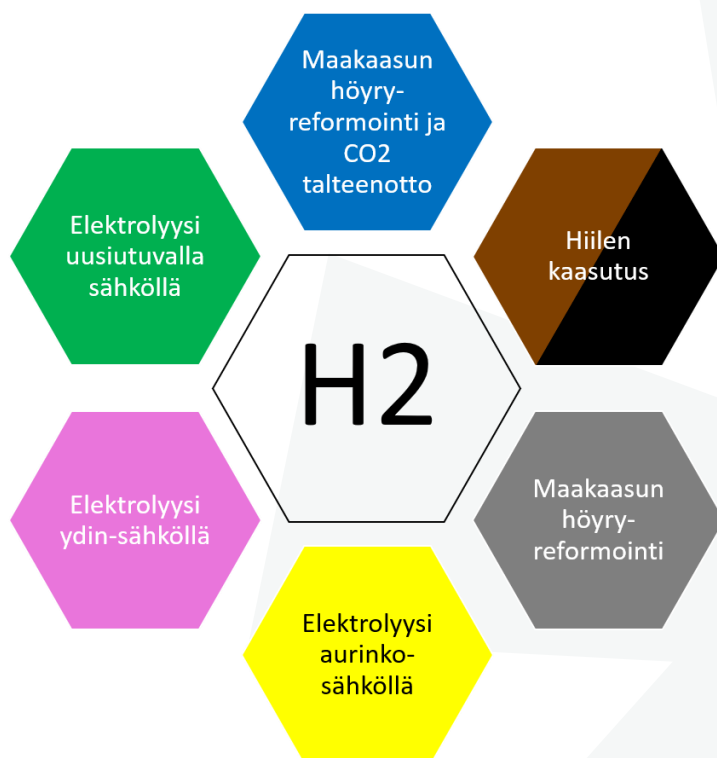
Keskeiset alueelliset lähteet ovat LUT-yliopiston Pohjois-Savon vetylaaksoselvitys, LUT-yliopiston Etelä-Savon vetylaaksoselvityksen Pieksämäkeä koskevat osat, Wega Groupin ja alueellisten toimijoiden vetyselvitysaineisto Pohjois-Savon ja Pieksämäen alueille, Fingridin kantaverkon kehittämistä koskevat julkiset aineistot, Gasgridin kansallista vetyverkkokehitystä koskevat aineistot, ELY-keskuksen uusiutuvan energian menettelykäsikirja, TEM:n RFNBO-selvitys, VTT:n hiilidioksidin talteenoton ja hyötykäytön selvitykset sekä ylijäämälämmön hyödyntämistä koskevat tekniset selvitykset.

Selvityksessä ei ole johdettu uusia kuntakohtaisia kapasiteetti-, investointi- tai tuotantomääräarvioita, ellei lähdeaineistossa ole ollut valmiiksi esitettyjä lukuja. Johtopäätökset on rajattu sen mukaan, onko tieto aluekohtaista, valtakunnallista vai yleistä teknistä taustatietoa. Tarkastelussa ei ollut käytettävissä luottamuksellisia verkkoliityntätietoja, teollisten toimijoiden sopimus- tai off-take-tietoja, tonttikohtaisia kaavatietoja, vedenottoselvityksiä eikä laitostason kannattavuuslaskelmia.

2 Vedyntuotannon yleinen kehitys ja tekninen perusta

2.1 Vedyn tuotantotavat ja uusiutuvan vedyn erityispiirteet

Vetyä voidaan valmistaa usealla tavalla. Nykyisin suuri osa vedystä tuotetaan fossiilisista raaka-aineista, kuten maakaasusta, jolloin syntyy hiilidioksidipäästöjä. Tämän selvityksen kannalta keskeinen tuotantotapa on kuitenkin uusiutuva vety, jota tuotetaan hajottamalla vettä vedyksi ja hapeksi elektrolyysillä. Jotta vety voidaan luokitella uusiutuvaksi, elektrolyysissä käytettävän sähkön on oltava uusiutuvaa ("vihreää") ja tuotannon on täytettävä EU:n uusiutuvan energian sääntelyn vaatimukset. RED III -direktiivissä uusiutuvaa vetyä ja siitä valmistettuja jatkojalosteita käsitellään erillään fossiilisesta ja vähähiilisestä vedystä. Teollisuutta koskevat tavoitteet kohdistuvat siihen, kuinka suuri osa teollisuudessa käytetystä vedystä ja vedyn jatkojalosteista täyttää nämä uusiutuvan polttoaineen vaatimukset. Vedyn värikoodit on esitetty kuvassa 2.



Kuva 2. Eri raaka-aineista valmistettu vety erotellaan värikoodeilla. (Vetyselvitys Pohjois-Savon ja Pieksämäen alueille, 2024)

Alueellinen kysymys ei ole se, voidaanko vetyä teknisesti valmistaa, vaan se, voidaanko uusiutuva sähkö, vedenotto, verkkoliityntä, käyttöaika, kysyntä ja jatkojalostus yhdistää siten, että tuotanto täyttää uusiutuvan vedyn sääntely- ja markkinavaatimukset. Julkisesti varmennettuja tietoja alueen nykyisestä fossiilisen, vähähiilisen tai uusiutuvan vedyn tuotannosta ei ollut käytettävissä. Tämän vuoksi nykyinen tuotantopohja arvioidaan olemattomaksi tai vähintään julkisesti varmentamattomaksi.

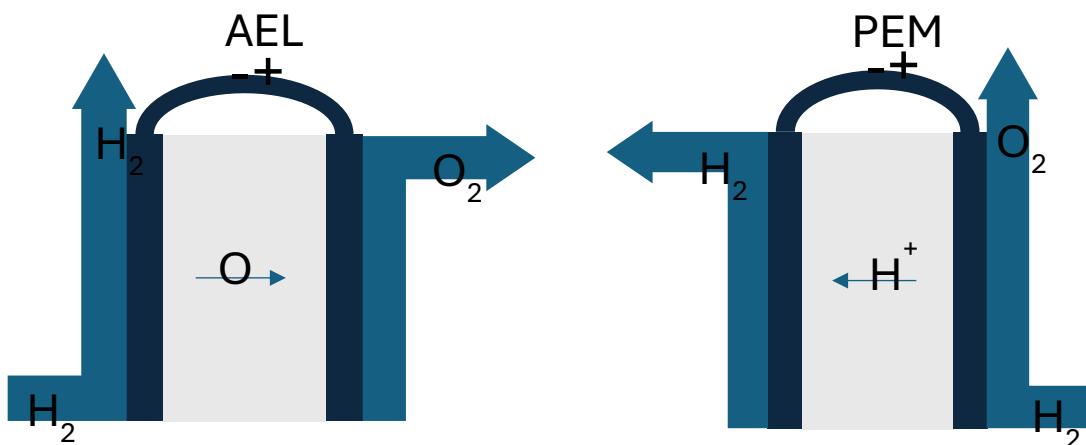
2.2 Elektrolyysi, elektrolyyseriteknologiat ja keskeiset tekniset ominaisuudet

Elektrolyysi tarkoittaa veden hajottamista vedyksi ja hapeksi sähkön avulla.

Elektrolyysilaitteistoon syötetään puhdistettua vettä ja sähköä, ja prosessissa syntyy vedyn lisäksi happea ja lämpöä. Vety voidaan hyödyntää energiankantajana, teollisuuden raaka-aineena tai jatkojalosteiden, kuten e-metaanin, e-metanolin ja synteettisten polttoaineiden, valmistuksessa. Hapen ja lämmön paikallinen hyödyntäminen voi parantaa kokonaisuuden tehokkuutta, mutta se riippuu lähialueen teollisista käyttökohteista ja lämpöverkosta. Elektrolyysin ilmastovaikutus määräytyy ratkaisevasti käytetyn sähkön perusteella: uusiutuvaksi vedyksi tuotanto voidaan katsoa vain, jos sähkö on uusiutuvaa ja tuotanto täyttää EU:n vaatimukset.

Elektrolyysit voidaan jakaa neljään päätyyppiin: alkalielektrolyysiin (AEL), PEM-elektrolyysiin, kiinteäoksidielektrolyysiin (SOEC) ja anioninvaihtokalvoelektrolyysiin (AEM). Teknologiat eroavat toisistaan erityisesti käyttölämpötilan, kalvojen, elektrolyyttien, katalyyttien, säädettävyyden, kustannusten, huoltotarpeiden ja teollisen kypsyyden perusteella. Siksi elektrolyyserityypin valinta vaikuttaa suoraan laitoksen käyttöaikaan, joustavuuteen, investointi- ja ylläpitokustannuksiin sekä sijoittumisedellytyksiin. Elektrolyyseriteknologioita on vertailtu taulukossa 2.

Alkalielektrolyysi (AEL) ja PEM-elektrolyysi ovat tällä hetkellä teollisesti kypsimmät elektrolyyseriteknologiat. Nämä teknologiat on esitetty kuvassa 3. AEL:n vahvuuksia ovat pitkä käyttökokemus, teknologinen kypsyys ja tyypillisesti PEM-teknologiaa alemmat kustannukset. PEM-elektrolyysin vahvuuksia ovat nopea vaste, hyvä säädettävyys ja soveltuvuus vaihtelevaan uusiutuvan sähkön tuotantoon, mutta teknologia on yleensä AEL:ää kalliimpi ja riippuvaisempi kriittisistä jalometalleista. JRC:n vuoden 2025 arvion mukaan AEL ja PEM ovat saavuttaneet merkittävän markkina-aseman ja kaupallisen kypsyyden suurissa sovelluksissa.



Kuva 3. Elektrolyysierissä vetyä tuotetaan pilkkomalla vettä hapeksi ja vedyksi sähkövirran avulla. Elektrolyysieriksen koostuu kahdesta elektrodista, anodista ja katodista, joiden välille kytketään sähkövirta. Sähkövirta hajottaa vesimolekyylin erimerkkisiksi ioneiksi, jotka kulkeutuvat eri elektrodille muodostaen vety- ja happikaasua. (Vetyselvitys Pohjois-Savon ja Pieksämäen alueille, 2024)

Kiinteäoksidielektrolyysi (SOEC) ja anioninvaihtokalvoelektrolyysi (AEM) ovat alemmalla teknologisen valmiuden tasolla kuin AEL ja PEM. SOEC toimii korkeassa lämpötilassa, ja sen etuna on mahdollisuus hyödyntää teollista lämpöä ja saavuttaa korkea hyötysuhde lämpöintegroiduissa kohteissa. AEM pyrkii yhdistämään AEL- ja PEM-teknologioiden vahvuuksia, kuten edullisempia materiaaleja ja hyvää säädettävyyttä. Fraunhoferin aineisto osoittaa, että sekä SOEC:n että AEM:n kehitys etenee kohti teollisia sovelluksia, mutta Pohjois-Savon ja Pieksämäen lähivuosisen investointitarkastelussa niitä on perusteltua käsitellä ensisijaisesti kehittyvinä teknologioina, ei vakiintuneina perusratkaisuin.

Pohjois-Savon ja Pieksämäen alueilla teknologian valinta riippuu ennen kaikkea sähkönhankinnan profiilista ja laitoksen halutusta ajotavasta. Tasaisempaan ajoon, pitkäaikaiseen PPA-sopimukseen ja vahvaan verkkoliityntään perustuvassa tuotannossa alkalielektrolyysi (AEL) voi olla perusteltu. Jos tuotantoa halutaan sovittaa vahvemmin tuuli- ja aurinkovoiman vaihteluun, PEM-teknologian joustavuus voi olla etu. SOEC voi olla kiinnostava erityisesti teollisten lämpövirtojen läheisyydessä, mutta sitä ei ole perusteltua pitää lähivuosisen ensisijaisena ratkaisuna ilman toimijakohtaista teknologista riskinottoa. AEM on vastaavasti seurattava kehittyvä teknologia, jonka soveltuvuutta suuriin investointeihin ei voida pitää vielä vakiintuneena lähtöoletuksena.

Taulukko 2. Elektrolyyseriteknologioiden vertailu vedyntuotannon näkökulmasta

Teknologia	Kypsyys	Soveltuva ajoprofiili	Joustavuus	Investointiluonne	Keskeiset epävarmuudet	Soveltuvuus tarkasteluaueella
Alkalielektrolyysi AEL (Alkaline Electrolysis / Alkaline Electrolyzer)	Vakiintunut ja laajasti tunnettu teknologia.	Tasaisempi tuotanto, korkea käyttöaika.	Rajallisempi kuin PEM, erityisesti nopeassa vaihtelussa.	Tyypillisesti kustannuksiltaan PEM:iä edullisempi.	Vaihtelevan uusiutuvan sähkön yhteensovitus, osakuormakäyttö, järjestelmäintegraatio.	Soveltuu kohteisiin, joissa sähkö hankitaan pitkäaikaisella sopimuksella ja käyttöaika pyritään pitämään korkeana.
PEM-elektrolyysi PEM (Proton Exchange Membrane)	Kaupallistunut ja kehittyvä teknologia.	Vaihteleva sähkönhankinta, tuuli- ja aurinkosähkön seuranta.	Hyvä vaste ja käynnistyvyys.	Korkeampi investointitaso ja materiaali riippuvuuksia.	Kustannuskehitys, komponenttien saatavuus, käyttöikä suurissa laitoksissa.	Soveltuu erityisesti joustoa painottaviin kohteisiin, joissa sähköprofiili vaihtelee.
Kiinteäoksidi-elektrolyysi SOEC (Solid Oxide Electrolysis Cell)	Vähemmän vakiintunut teollisen mittakaavan ratkaisu.	Korkean lämpötilan teollinen integraatio.	Voi olla tehokas sopivassa lämpöintegraatiossa, mutta operatiivinen riskitaso on suurempi.	Teknologiariski ja investointiriski suuremmat.	Kestoikä, skaalautuvuus, teollinen referenssipohja.	Mahdollinen pitkän aikavälin vaihtoehto teollisen lämmön yhteydessä, mutta ei ensisijainen lähivuosien perusratkaisu.
Anioninvaihtokalvoelektrolyysi (AEM)	Kehittyvä teknologia, jonka kaupallinen ja teollisen mittakaavan referenssi pohja on vielä selvästi AEL- ja PEM-teknologioita rajallisempi.	Vaihtelevan uusiutuvan sähköntuotantoon soveltuva ajoprofiili on teknologian keskeinen tavoite, mutta suurten laitosten pitkäaikainen käyttö on vielä osoitettava laajemmin.	Periaatteessa hyvä säädettävyys; tavoitteena yhdistää PEM-teknologian joustavuus ja AEL-teknologian materiaalikustannusasetuja.	Mahdollisuus edullisempiin materiaaleihin kuin PEM-teknologiassa, mutta kustannus- ja käyttöikäedut eivät ole vielä laajasti osoitettuja teollisessa mittakaavassa.	Käyttöikä, kalvojen ja elektrodien kestävyys, skaalautuvuus suuriin laitoksiin, pitkäaikainen käyttövarmuus ja kaupallisten referenssien vähäisyys.	Kiinnostava seurantateknologia Pohjois-Savon ja Pieksämäen pidemmän aikavälin tarkastelun, mutta ei perusteltu lähivuosien ensisijaiseksi oletusratkaisuksi teollisen mittakaavan vedyntuotannossa.

2.3 Sähkön, veden ja käyttöajan merkitys tuotantokustannuksille

E-metanolia koskevassa LUT:n työssä todetaan, että vedyn tuotannon sähköenergiaintensiivisyys on keskeinen e-metanolin kustannuksia ohjaava tekijä. VTT:n CCU-selvityksen (Carbon Capture and Utilization) mukaan uusiutuvan sähköntuotannon investointien toteutuminen edellyttää sopimuksia uusiutuvan sähkön tuottajien ja vihreän vedyn, Power-to-X- tai CCU-tuotannon investoijien välillä. Vedyn sekä suurten biogeenisten CO₂-lähteiden sijainti ei Suomessa aina kohtaa.

Vedyntuotannon kustannus Pohjois-Savossa ja Pieksämäellä määräytyy erityisesti neljän tekijän perusteella: sähkön hinnan ja hankintamallin, elektrolyserin käyttöajan, verkkoliittymän kustannusten sekä veden ja jäähdytyksen järjestämisen perusteella. Tuuli- ja aurinkovoiman täydentävyys parantaa käyttöprofiilia, mutta ei yksin takaa riittävää huipunkäyttöaikaa. Pohjois-Savon tuulivoimatuotanto painottuu syksy- ja talvikaudelle ja aurinkotuotanto kevät- ja kesäkaudelle, mikä tukee hybridimallien tarkastelua.

2.4 Vedyn varastointi, paineistus, siirto ja turvallisuus

Vety on energiankantaja, jonka tilavuuteen suhteutettu energiatiheys on alhainen. Sen varastointi ja siirto edellyttävät paineistusta, nesteytystä tai sitomista jatkojalosteisiin. Gasgridin vetyverkkoa koskevissa julkisissa aineistoissa korostetaan, että vetyputkisto mahdollistaisi suurten energiamäärien siirron, tuotannon ja kulutuksen tasapainottamisen sekä kytkeytymisen Euroopan vetymarkkinoihin. Kansallista vetiverkkokehitystä koskevissa YVA-aineistoissa kuvataan korkeapaineisen, maahan sijoitettavan vetyputken perusratkaisuja, mutta nämä eivät sellaisenaan osoita Pohjois-Savon tai Pieksämäen toteutuvaa putkilinjausta.

ELY-keskuksen menettelykäsikirjan mukaan vedyn siirtoputkiston rakentaminen vaatii Tukesin rakentamisluvan. Lupahakemuksessa on esitettävä muun muassa sijoitus suunnitelma, putkiston ominaisuudet, ympäristövaikutukset, onnettomuusriskit ja räjähdysvaikutukseen liittyvät tiedot.

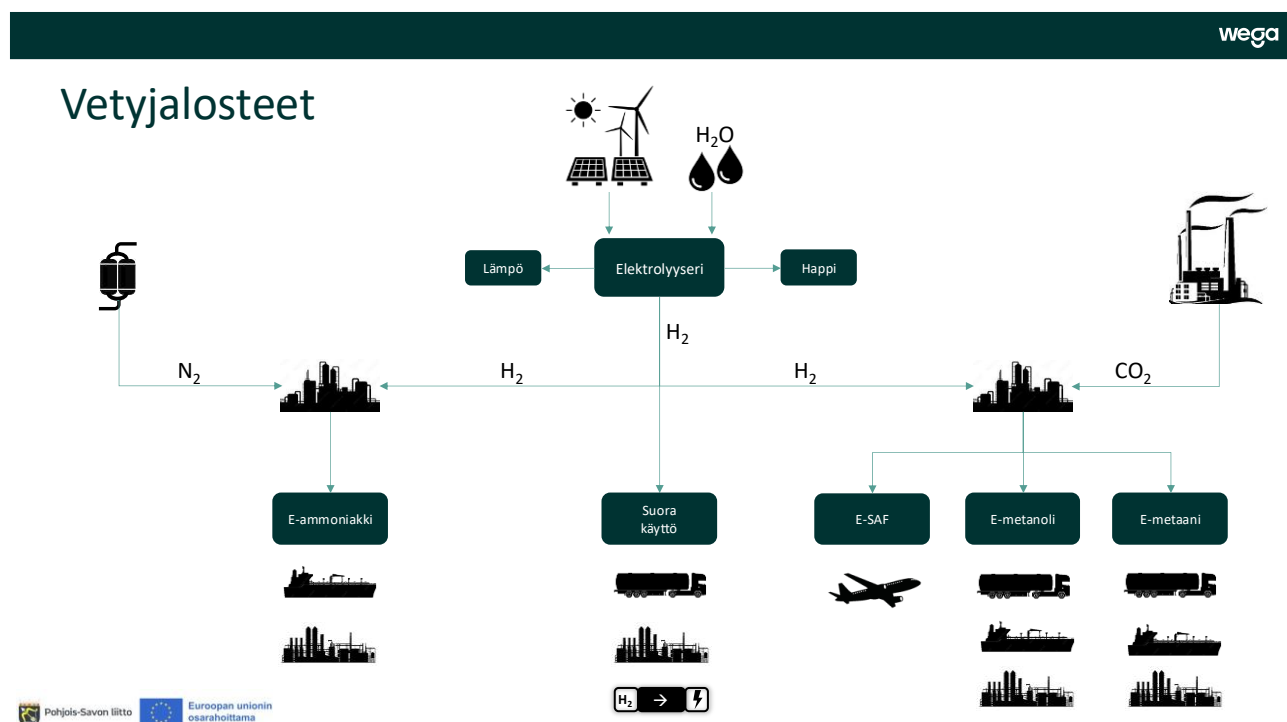
Pohjois-Savossa ja Pieksämäellä vedyn siirtokysymys on ratkaiseva erityisesti silloin, jos tuotanto ja käyttö eivät sijaitse samassa solmussa. Eteläinen Varkaus–Leppävirta–Pieksämäki-vyöhyke voi hyötyä Huutokosken kantaverkon ja rautatieverkon läheisyydestä, mutta vetyputki, paikallinen kaasunsiirto tai vedyn jatkojalostus paikan päällä ovat eri investointipolkuja. Suuret runkoputkiratkaisut edellyttävät riittävää tuotanto- ja kulutusvolyymia, eikä niitä voida perustella pelkän teknisen uusiutuvan sähkön potentiaalin perusteella.

Pohjois-Savon energia masterplan -hankkeen aikana tehtiin hankealueelle vetyselvitys (Vetyselvitys Pohjois-Savon ja Pieksämäen alueille 2024), jossa tarkasteltiin erilaisia hankealueelle mahdollisia vetyputken linjauksia. Tärkeänä kysymyksenä on, onko Pohjois-Savoon ja Pieksämäelle alustavasti kaavailtu vetyputki osa kansallista vetyputkistoa vai vain alueen sisäinen putkisto? Mikäli hankealueelle tulee merkittävää vedyn tuotantoa, käyttöä tai molempia on liittyminen Länsi-Suomessa olevaan vetyputkistoon järkevä vaihtoehto. Tällöin myös putkisto voisi olla kapasiteetiltaan suurempi kuin vain hankealueen sisälle rakennettu oma putkisto. Ajallisesti hankealueen vetyputkisto voisi olla käytössä aikaisintaan vuoden 2035 jälkeen mikäli vetyä tuotettaisiin ja käytettäisiin hankealueella.

Alueella ei ole julkisesti varmennettua toteutuspäätöstä vedyn siirtoputkistosta. Vetyputken kustannus, reitti, kapasiteetti ja aikataulu ovat jatkoselvitettäviä.

2.5 Vedyn jatkojalosteet ja Power-to-X-arvoketjut

Vedystä voidaan hiilidioksidin, typen tai muiden raaka-aineiden kanssa valmistaa jatkojalosteita, kuten e-metaania, e-metanolia, ammoniakkia ja synteettisiä polttoaineita. Vihreän vedyn arvoketju on kerrottu kuvassa 4. Pohjois-Savon suuria CO₂-lähteitä ovat muun muassa Stora Enson Varkauden tehtaat, Mondi Powerflute Kuopiossa, Riikinvoima Leppävirralla ja Kuopion Energia Haapaniemen voimalaitos. Pohjois-Savon ja Pieksämäen vetyselvitysaineiston mukaan alueen suurten bioperäisten CO₂-lähteiden vuoksi e-metaanin ja muiden hiilipohjaisten jatkojalosteiden tarkastelu on alueellisesti relevanttia.



Kuva 4. Vihreän vedyn arvoketju. (Vetyselvitys Pohjois-Savon ja Pieksämäen alueille, 2024)

E-metaanin alueellinen perusta liittyy biokaasuhankkeisiin, bioperäiseen CO₂:een ja mahdollisuuteen käyttää tai kuljettaa metaania nykyistä infrastruktuuria hyödyntäviin markkinoihin. E-metanoli ja synteettiset polttoaineet kytkeytyvät erityisesti Varkauden ja Kuopion CO₂-lähteisiin, mutta vaativat suuria määriä uusiutuvaa sähköä ja vedyn tuotantoa. Ammoniakin edellyttäisi vedyn lisäksi typpilähteen ja vahvan loppukäytön tai vientilogistiikan; tarkastelualueella ammoniakin kysyntä ei ole julkisista lähteistä yhtä selvästi tunnistettavissa kuin CO₂-pohjaisten jatkojalosteiden edellytykset, tosin Yaran Siilinjärven lannoitetehtä on suuri ammoniakin käyttäjä, käyttömääristä ei ole saatavilla varmaa tietoa.

CO₂:n talteenoton kustannukset, puhtausvaatimukset, kausivaihtelu, sopimuksellinen saatavuus ja kuljetusratkaisut on selvitettävä kohdekohtaisesti. E-metanolin, e-metaanin, ammoniakin tai synteettisten polttoaineiden kannattavuutta ei voida päätellä pelkästä CO₂-lähteen olemassaolosta.

2.6 Hankekehityksen, luvituksen ja rakentamisen päävaiheet

Teollisen mittakaavan vedyntuotanto- ja Power-to-X-hankkeet etenevät yleensä vaiheittain: sijainti- ja toteutettavuustarkastelusta konseptisuunnitteluun, teknisten reunaehtojen varmistamiseen, kaavoitus- ja lupamenettelyihin, rahoitus- ja investointipäätökseen sekä rakentamiseen, käyttöönottoon ja kaupalliseen operointiin. Varhaisessa vaiheessa on ratkaistava erityisesti alueen soveltuvuus teolliseen ja kemikaaliturvallisuuden kannalta vaativaan toimintaan, sähköliityntä, raakaveden saatavuus, vedyn varastointi ja siirto sekä hukkalämmön ja muiden sivuvirtojen mahdollinen hyödyntäminen.

Luvituksen tarve määräytyy hankkeen koon, teknologian, lopputuotteiden, kemikaalimäärien, sijainnin ja ympäristövaikutusten perusteella. Vedyntuotanto- tai PtX-laitos voi edellyttää muun muassa YVA-menettelyä, ympäristö- ja vesilupia, Tukesin kemikaaliturvallisuusmenettelyä, painelaitteiden rekisteröintejä, sähkö- tai kaasuverkkoon liittymistä koskevia menettelyjä sekä kunnan käsittelemää rakentamislupaa. Vuoden 2026 viranomaisrakenteessa Lupa- ja valvontavirasto toimii uusiutuvan energian hankkeiden yhteyspisteviranomaisena ja YVA-menettelyissä yhteysviranomaisena. Ympäristöasioiden yhden luukun palvelu kokoaa keskeisiä ympäristömenettelyjä aiempaa koordinoitummin samaan prosessiin.

Kaavoitus ja rakentamislupa säilyvät kunnallisesti keskeisinä. *Vety- ja Power-to-X-hankkeet - kaavoittajan ja hanketoimijan käsikirjan* mukaan vety- ja PtX-laitoksia on kaavoituksessa tarkasteltava teollisuuslaitoksina, joiden aluevaraus, suojaetäisyydet, raakaveden saanti, sähkönsyöttö ja jätevesien käsittely ratkaistaan tapauskohtaisesti. Vuoden 2025 rakentamislain myötä aiemmat rakennuslupa, toimenpidelupa ja toimenpideilmoitus on korvattu rakentamisluvalla. Puhtaan siirtymän sijoittamislupa voi tietyissä tilanteissa tukea teollisen hankkeen alueidenkäyttöllisten edellytysten ratkaisemista, mutta se ei poista hankekohtaista ympäristö-, turvallisuus-, verkko-, vesi- ja hyväksyttävyydestä tarkastelua.

Pohjois-Savon ja Pieksämäen alueilla mahdollisten vedyntuotanto- ja PtX-kohteiden jatkokehitys tulee kytkeä jo alkuvaiheessa sähköverkon liityntäselvityksiin, kaavalliseen soveltuvuuteen, vedenoton ja jäähdytyksen reunaehtoihin, kemikaaliturvallisuuteen, CO₂- ja hukkalämpöintegraatioon sekä paikalliseen hyväksyttävyyteen. Tekninen tuotantopotentiaali ei vielä osoita luvitettavuutta tai investointikelpoisuutta; ne ratkaistaan vasta sijainti-, prosessi- ja viranomaiskohtaisessa tarkastelussa.

3 Alueellinen lähtötilanne

3.1 Vedyntuotannon nykytila Pohjois-Savossa ja Pieksämäellä

Julkisissa alueellisissa selvityksissä Pohjois-Savo ja Pieksämäki näyttäytyvät ennen kaikkea vedyntuotannon mahdollisena kehitysalueena, eivät nykyisenä teollisen mittakaavan uusiutuvan vedyn tuotantoalueena. Navitas Kehityksen mukaan Kuopiossa ja Iisalmessa on varauksia tai suunnitelmia vedyn tuotantolaitoksille, ja Pieksämäellä yksi kohde on alustavassa selvityksessä, mutta sama lähde toteaa yleisemmin, että monet vihreän vedyn investoinnit Suomessa ovat edelleen suunnittelun tai alustavan selvityksen vaiheessa. TEM:n

selvityksen mukaan Suomessa RFNBO-vedyn nykyinen teollinen loppukäyttö on hyvin vähäistä, ja RFNBO-jatkojalosteiden käyttöä ei selvityksen mukaan ollut Suomessa tuolloin.

Julkisesti tunnistettuja hankeaihioita ovat Kuopion Sorsasalons eSAF-laitoshanke ja Iisalmen Soinlahden Flying Forest -hanke. Kuopion Sorsasalossa VolagHy suunnittelee synteettisen uusiutuvan lentopolttoaineen tuotantolaitosta, jossa lentopolttoainetta tuotettaisiin sähkön, veden ja hiilidioksidin avulla. Hanke on julkisten tietojen perusteella YVA-menettelyssä, joten sitä voidaan pitää alueellisesti merkittävänä PtX-jatkojalostuksen hankeaihiona, mutta ei toteutuneena investointina. Iisalmissa Flying Forest on julkistanut Soinlahteen sijoittuvan uusiutuvan lentopolttoaineen hankkeen, joka kytkeytyy erityisesti biomassapohjaiseen raaka-aineeseen ja SAF-tuotannon kehittämiseen. Myöskään tätä hanketta ei tule käsitellä toteutuneena vedyntuotanto- tai PtX-laitoksena, vaan julkisesti tunnistettuna kehityskohteena.

Tarkastelualueen nykytilaa kuvaa paremmin “edellytysten muodostuminen” kuin “tuotannon olemassaolo”. Vedyntuotannon lähtökohtia on, mutta kaupallisesti toteutunut tuotantokanta, off-take-sopimukset ja luvitetut investointipäätökset eivät ole julkisesti vahvistettavissa. Alueen mahdollisista yksityisistä valmisteluista, tonttivarauksista, verkkoliityntävarauksista tai off-take-neuvotteluista ei ollut käytettävissä riittävästi julkista varmennettavaa aineistoa.

3.2 Uusiutuvan sähkön saatavuus ja tuotantopotentiaalin merkitys

Pohjois-Savossa on LUT:n selvityksen mukaan merkittävä tuulivoimapotentiaali, mutta erityisesti itäisen Pohjois-Savon tuulivoimapotentiaalin hyödyntämistä rajoittaa ilmavalvonnan yhteensovittaminen. Aurinkovoimapotentiaalia on muun muassa turvetuotantoalueilla ja käytöstä poistuneilla viljelyalueilla.

Pohjois-Savon aiemmassa tuulivoimapotentiaalitarkastelussa FCG paikansi noin 310 km² potentiaalista tuulivoima-aluetta, ja maakuntakaavatyössä on tunnistettu noin 24 potentiaalista tuulivoima-aluetta, yhteispinta-alaltaan noin 308 km². Pohjois-Savossa on toiminnassa vain yksi tuulipuisto Leppävirralla.

Aurinkovoiman osalta Pohjois-Savon turvetuotantoalueiden asennuspotentiaaliksi on LUT:n aineistossa koottu 4 850 MWp ja arvioiduksi vuosituotannoksi 4 130 GWh vuodessa. Luku kuvaa teknistä ja paikkatietopohjaista potentiaalia, ei toteutuvaa hankekantaa. Pohjois-Savossa on tuotannossa kaksi voimalaa Joroisissa (Joroisten lentokenttä ja Hallanvahti) sekä yksi kenttä rakenteilla Suonenjoella (Isoneva).

Pieksämäellä Niinimäen tuulivoimapuisto on valmistunut ja otettu käyttöön vuonna 2025. Puistossa on 22 voimalaa, ja arvioitu vuosituotanto on yli 400 GWh. Sarvikankaan tuulivoimaosayleiskaava on hyväksytty kaupunginvaltuustossa helmikuussa 2025, mutta päätös ei ollut lähteen mukaan vielä lainvoimainen; kaava mahdollistaisi enintään 32 voimalaa. Korninsuon tuulivoimamenettely Pieksämäellä ei jatku.

Uusiutuvan sähkön saatavuus on alueen keskeinen vahvuus, mutta vain siltä osin kuin tuotanto voidaan tosiasiallisesti rakentaa, liittää verkkoon ja kytkeä vedyntuotannon käyttöprofiiliin. Pieksämäen Niinimäki vahvistaa sitä, että alueella on toteutunutta tuulivoimatuotantoa, mutta yksittäinen tuulipuisto ei vielä muodosta riittävää perustaa laajalle vetyteollisuudelle. Pohjois-Savon aurinko- ja tuulivoimapotentiaali tukee sähkönhankinnan monipuolistamista, mutta tuotannon vaihtelevuus tekee PPA-sopimuksista, markkinaehtoisesta sähkönhankinnasta ja käyttöajan optimoinnista ratkaisevia.

Kaikki tunnistetut tuuli- ja aurinkovoima-alueet eivät ole kaavallisesti, luvituksellisesti, puolustusnäkökulmasta, verkkoteknisesti tai kaupallisesti toteuttamiskelpoisia. Uusiutuvan sähkön tuotantopotentiaalia ei pidä tulkita vedyn tuotantopotentiaaliksi ilman sähkönhankinnan ja käyttöajan mallinnusta.

3.3 Sähköverkko, kantaverkko, liityntäkapasiteetti ja siirtotarpeet

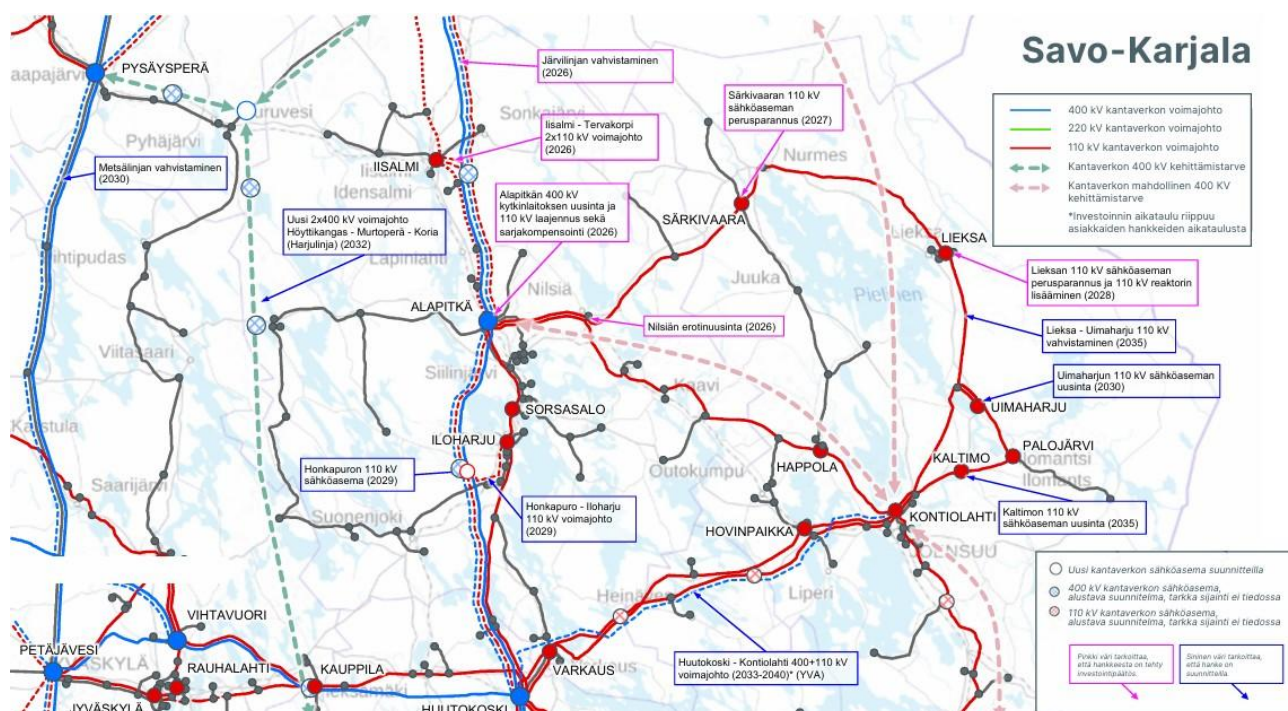
Pohjois-Savon läpi kulkee Järvinlinjana tunnettu 400 kV kantaverkkoyhteys, jonka vahvistaminen on LUT-selvityksen mukaan keskeinen uusiutuvan energian ja energiaintensiivisen teollisuuden mahdollistaja. Järvinlinjan vahvistus käsittää 2×400 kV ja 110 kV yhteyksiä, ja sen on arvioitu valmistuvan vuoden 2026 aikana. Sähkönsiirtoverkon nykytilaa Pohjois-Savon ja Pieksämäen alueella havainnollistaa kuva 5.

LUT-aineistossa vuoden 2024 kantaverkon tuotannon liityntäkapasiteetteja lähialueen 400 kV sähköasemilla olivat muun muassa Huutokoski 500 MW, Alapitkä 500 MW ja Visulahti 250 MW. Vuolijoella ei aineiston mukaan ollut tuolloin vapaata tuotannon liityntäkapasiteettia, mutta suunnitellut verkon vahvistukset voivat muuttaa tilannetta vaihteittain.

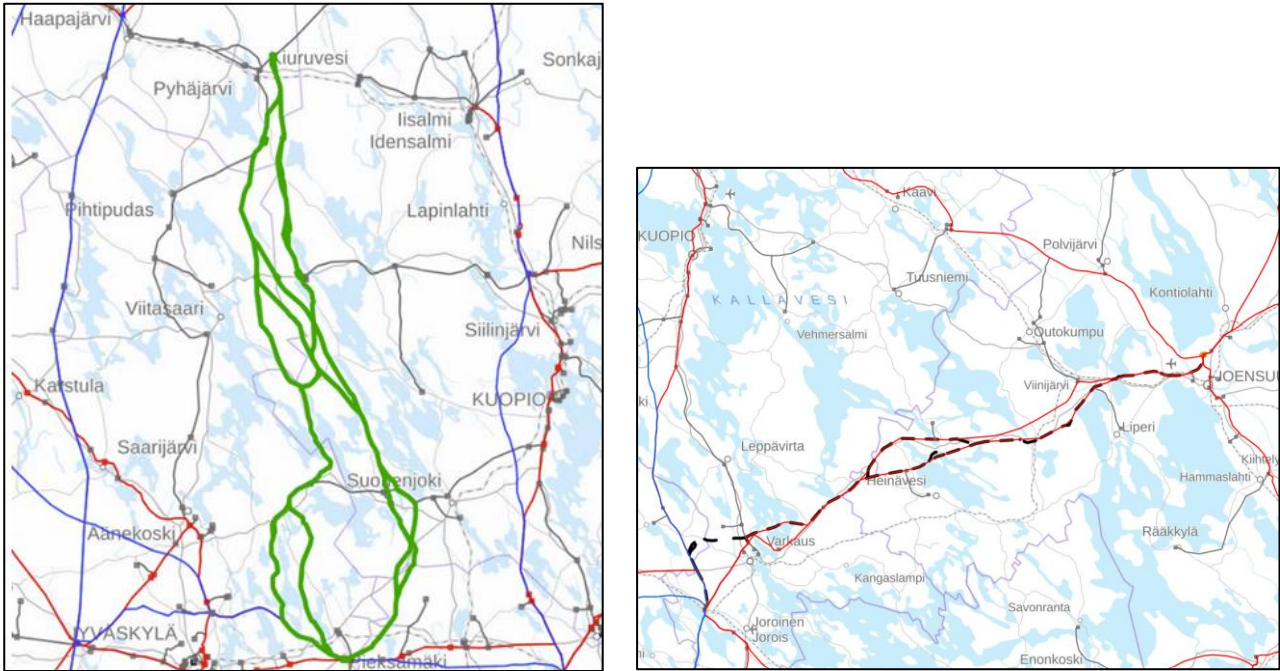


Kuva 5. Sähkönsiirtoverkon nykytila Pohjois-Savon ja Pieksämäen alueella. (Pohjois-Savon energia masterplan 2026)

Harjulinja on Fingridin suunnittelema 2 x 400 + 110 kV voimajohtoyhteys Pyhäjärven Murtooperän ja Kangasniemen Kauppilan välille. Hanke sijoittuu Pohjois-Pohjanmaan, Pohjois-Savon, Keski-Suomen ja Etelä-Savon alueille, ja se on YVA-menettelyssä. Huutokoski-Kontiolahti on Fingridin suunnittelema 400 kV voimajohtoyhteys, jonka tavoitteena on lisätä siirtokapasiteettia Huutokosken ja Kontiolahden välillä, mahdollistaa kulutuksen ja tuotannon lisääminen kantaverkkoon Joensuun alueella sekä parantaa sähköverkon käyttövarmuutta ja jännitteen hallintaa. Harjulinjan reittivaihtoehtoja ja Huutokoski-Kontiolahti-voimajohtohankkeen sijaintia havainnollistaa kuva 7. Hankkeet eivät yksin ratkaise yksittäisten vety- tai Power-to-X-laitosten liityntäedellytyksiä, mutta ne ovat merkityksellisiä alueellisen siirtokyvyn ja tulevien teollisten sähkökuormien näkökulmasta.

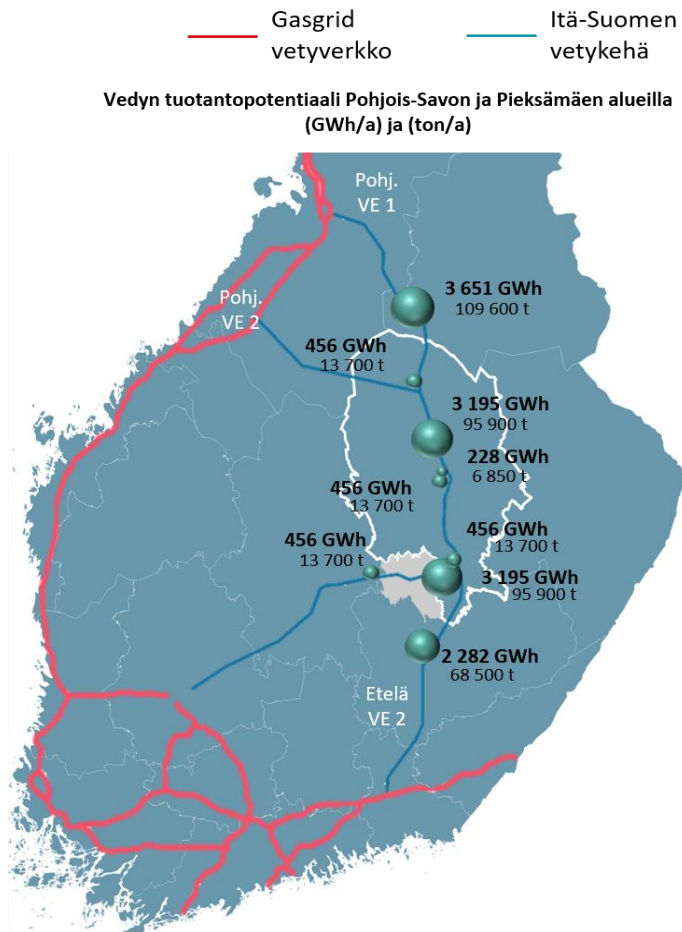


Kuva 6. Savo-Karjalan ja Pieksämäen kannalta keskeiset verkon solmukohtat. (Fingrid Kantaverkon kehittämissuunnitelma 2026 – 2035)



Kuva 7. Harjulinjan reittivaihtoehdot ja Huutokoski–Kontiolahti-voimajohtohankkeen sijainti. (Fingrid, Harjulinja-hanke ja Huutokoski–Kontiolahti-voimajohtohanke)

Mahdollista Itä-Suomen vetykehää on tarkasteltava spekulatiivisena kehityshypoteesina, ei päätettynä tai suunniteltuna putkilinjauksena. Kuva 8 toimii strategisena havainnekuvana siitä, miten mahdollinen vetyreitti voisi suhteutua Gasgridin vetyverkon kehitysnäkymään sekä Pohjois-Savon ja Pieksämäen vedyntuotantopotentiaaleihin. Todellinen reitti ja toteutustapa voivat poiketa merkittävästi kartasta, ja vaihtoehtoiset reitit on arvioitava tapauskohtaisesti suhteessa sähköverkon liityntäkapasiteettiin, uusiutuvan sähkön tuotantoon, vedyn kysyntään, maankäyttöön ja investointien toteutumiseen.



Kuva 8. Hahmotelma Itä-Suomen vetykehän mahdollisesta reitistä suhteessa Gasgridin vetyverkon kehitysnäkymään sekä Pohjois-Savon ja Pieksämäen vedyntuotantopotentiaaleihin. (Vetyselvitys Pohjois-Savon ja Pieksämäen alueille, 2024)

Pohjois-Savossa on useita sähköasemia, joissa on alustavasti tarkasteltuna liityntäkapasiteettia. Potentiaalinen vetyputkireitti voisi seurata pääosin valtatie 5 suuntaa, ja tarkastellun reitin varrella voisi olla noin 10 TWh eli noin 308 000 tonnin vuotuinen vedyn tuotantopotentiaali. Tätä on kuitenkin käsiteltävä reittiin ja oletuksiin perustuvana maksimaalisena teknisenä tarkasteluna, ei toteutuspäätöksenä.

Pohjois-Savon ja Pieksämäen vedyntuotannon toteutettavuus riippuu sähköverkon pullonkauloista vähintään yhtä paljon kuin uusiutuvan sähkön tuotantopotentiaalista. Eteläinen vyöhyke Varkaus–Huutokoski–Pieksämäki on kiinnostava Huutokosken kantaverkkoristeyksen ja Pieksämäen sähkö- ja rataverkon solmuroolin vuoksi. Pohjoinen vyöhyke kytkeytyy Järvilinjan vahvistumiseen, lisälmen suunnan verkon kehitykseen ja Harjulinjan etenemiseen. Kuopiossa suuri sähkönkulutus ja kaukolämpöverkko tukevat sektori-integraatiota, mutta paikallinen uusiutuvan sähkön tuotantopohja ei yksin riitä suurten PtX-laitosten perusteeksi.

Julkiset kapasiteettitiedot eivät korvaa liittymiskohtaista selvitystä. Liityntäkapasiteetti, liittymismaksut, verkon vahvistustarpeet, aikataulut ja liityntäjonot on varmistettava suoraan Fingridiltä ja paikallisilta verkkoyhtiöiltä. Pohjois-Savon ja Pieksämäen vedyntuotannon edellytykset, keskeiset rajoitteet ja päätöksenteossa huomioitavat tekijät on koottu taulukkoon 3.

Taulukko 3. Pohjois-Savon ja Pieksämäen vedyntuotannon edellytykset, rajoitteet ja huomioitavat tekijät.

Alueellinen osa	Lähteisiin perustuva edellytys	Rajoitteet ja epävarmuudet	Päätöksenteossa huomioitava
Iisalmi– Kiuruvesi– Sonkajärvi– Lapinlahti	Biokaasuun, uusiutuvaan sähköön ja Järvinlinjaan ja Harjulinjaan kytkeytyvä pohjoinen vyöhyke.	CO ₂ -määrät, sähkön liityntä, biokaasuhankkeiden toteutuminen ja markkina epävarmoja.	Tarkastettava e-metaania, biogeenistä CO ₂ :ta ja sähköliityntää yhdessä.
Kuopio	Suuret CO ₂ -lähteet, kaukolämpöverkko ja teollinen kulutusympäristö.	Paikallisen uusiutuvan sähkön tuotannon rajallisuus suhteessa mahdolliseen PtX-kysyntään.	Sopii hukkalämpö- ja CO ₂ -integraation tarkasteluun, mutta vaatii sähkönsiirtoratkaisun.
Varkaus– Leppävirta– Joroinen	Varkauden merkittävä biogeeninen CO ₂ -lähde, Riikinnevan/Riikinhoivan alue ja Huutokosken kantaverkkosolmu.	CO ₂ -talteenoton kustannus, sähköliitynnät, hukkalämmön hyödyntäminen ja lopputuotteiden markkina.	Keskeinen jatkojalostuksen ja CO ₂ -pohjaisten PtX-tuotteiden vyöhyke.
Pieksämäki	Toteutunutta tuulivoimaa Niinimäessä, suunniteltuja tuulivoimakohteita, sähkö- ja rataverkon solmupiste.	CO ₂ - ja teollinen kysyntäpohja julkisessa aineistossa rajallinen.	Rooli todennäköisemmin sähkö-, logistiikka- ja Varkauden suunnan arvoketjusolmuna kuin itsenäisenä täyden arvoketjun keskuksena.
Mahdollinen vety- tai metaanisiirto	Vetyselvitysaineistossa on tarkasteltu VT5-suuntaista vetyputkireittiä ja alueellista tuotantopotentiaalia.	Putki-infra edellyttää riittäviä tuotanto- ja kulutusvolyymeja sekä lupia.	Putkipäätöksiä ei tule tehdä ennen kysyntä-, reitti-, turvallisuus- ja kustannus selvityksiä.

3.4 Veden saatavuus, vesistövaikutukset ja prosessiveden vaatimukset

Pohjois-Savon vetylaakso selvityksessä kuvataan, että alueella on runsaasti vesistöjä. Vedyntuotannon tekninen prosessi edellyttää puhdistettua prosessivettä sekä jäähdytysratkaisuja. Vesistöjen käyttö vedenottoon, purkuun tai jäähdytykseen voi edellyttää vesilain mukaisia menettelyjä ja vaikutusarvioita. ELY-keskuksen menettelykäsikirjan mukaan hankkeiden luvantarve määräytyy tapauskohtaisesti, ja esimerkiksi johdon tai putken sijoittaminen vesialueelle voi edellyttää ilmoitusta tai vesilupaa olosuhteista riippuen.

Vesistöjen runsaus ei sellaisenaan tarkoita, että teollisen mittakaavan vedenotto tai jäähdytys olisi luvitettavissa ilman rajoitteita. Vedyntuotannossa on arvioitava raakaveden saatavuus, veden puhdistuksen sivuvirrat, jäähdytysvesien lämpökuorma, purkuvesien

vaikutukset, mahdolliset pohjavesiriskit sekä vesistöjen muu käyttö. Alueelta puuttuvat kootut laitospaikkakohtaiset vesitaseet, raakaveden laatuarviot, vedenoton enimmäismäärät, purkuvesien vaikutusarviot ja jäähdytysratkaisujen vertailut. Näitä tietoja tarvitaan ennen kuin vedyntuotannon vesistövaikutuksia voidaan arvioida määrällisesti.

3.5 Teolliset käyttökohteet, nykyinen kaasujen käyttö ja mahdollinen kysyntä alueella

Pohjois-Savossa on teollista toimintaa erityisesti alueen eteläosissa, ja Varkauden teollisuuskeskittymä nousee LUT:n selvityksessä keskeiseksi CO₂- ja teollisuuspohjaiseksi vyöhykkeeksi. Hapen kulutuksesta Pohjois-Savossa LUT:n aineisto tunnistaa Stora Enson Varkauden tehtaiden hapenkulutukseksi 1 600 tonnia vuodessa ja lääketieteellisen hapen käyttökseen arviolta 272 tonnia vuodessa sekä elintarviketuotannon hapenkäytön arviolta 500 tonnia vuodessa.

Alueella ei ole julkisesti todettua suurta vedyn nykyistä teollista loppukäyttöä. Siksi kysynnän realistinen perusta olisi todennäköisemmin uusissa arvoketjuissa: e-metaanissa, e-metanolissa, synteettisissä polttoaineissa, teollisuuden prosessien sähköistämisessä tai vedyn ulkoisessa toimituksessa. Suora paikallinen vedyn käyttö esimerkiksi energiantuotannossa tai liikenteessä voi toimia täydentävänä kysyntänä, mutta se ei julkisen aineiston perusteella riitä yksin teollisen mittakaavan tuotannon perustaksi.

Teollisten toimijoiden nykyiset kaasumäärät, tulevat vetytarpeet, hapen vastaanottokyky, lämpökysyntä, prosessien muuntovalmius ja sopimusperusteinen kysyntä eivät olleet kattavasti saatavilla.

3.6 Bio-CO₂ -lähteet ja vedyn jatkojalostuksen alueelliset edellytykset

Pohjois-Savon ja Pieksämäen vedyn jatkojalostuksen kannalta keskeisimmät tunnistetut hiilidioksidilähteet ovat Stora Enson Varkauden tehdas, Mondi Powerfluten Kuopion kartonkitehdas, Riikinvoiman Leppävirran ekovoimalaitos, Kuopion Energia Haapaniemen voimalaitos sekä Savon Voiman Pieksämäen voimalaitos. Näistä Varkauden Stora Enso on biogeenisen hiilidioksidin määrän perusteella selvästi suurin tarkastelualueeseen kytkeytyvä yksittäinen bio-CO₂ -lähde.

Uusimmassa käytettävissä olevassa julkisessa biogeenisen CO₂:n alueellisessa tarkastelussa, vuoden 2025 monikaasuverkkoselvityksessä, Varkauden Stora Enson biogeeniseksi CO₂-lähteeksi on esitetty noin 662 kt CO₂/v, Mondi Powerfluten Kuopion kartonkitehtaan noin 163 kt CO₂/v, Riikinvoiman Leppävirran jätevoimalaitoksen noin 57 kt CO₂/v ja Savon Voiman Pieksämäen lämpö-/voimalaitoksen noin 17 kt CO₂/v. Samassa tarkastelussa Varkauden alueella tarkoitetaan Varkautta, Leppävirtaa ja Joroista, mikä on huomioitava tuloksia tulkittaessa.

Kuopion Energia, erityisesti Haapaniemen energiantuotantokeskittymä, on biogeenisen CO₂:n näkökulmasta alueellisesti merkittävä lähde. Vuoden 2025 polttoainejakauman perusteella Kuopion Energian uusiutuvista polttoaineista syntyvä laskennallinen biogeeninen savukaasu-CO₂ on noin 400 kt CO₂/v. Arvio ei ole suoraan talteenottokelpoinen määrä, vaan se kuvaa polttoaineperusteista savukaasu-CO₂:n suuruusluokkaa.

Energiaviraston päästökauppatiedot täydentävät biogeenisen CO₂:n arvioita, mutta ne eivät yksin kuvaa Power-to-X-tuotannon raaka-ainepotentiaalia. Päästökauppaluvut kuvaavat

laitoskohtaisesti todennettuja päästöjä, kun taas biogeenisen CO₂:n luvut kuvaavat jatkojalostuksen kannalta kiinnostavaa vihreän hiilidioksidin virtaa. Tästä syystä taulukossa 4 esitetään erikseen vuoden 2024 todennetut päästökauppapäästöt ja vuoden 2025 monikaasuverkkoselvityksessä esitetyt uusimmat julkiset biogeenisen CO₂:n arviot. Päästökauppadataa käytetään tässä vain lähteiden ajantasaisuuden ja fossiilisen päästökomponentin hahmottamiseen, ei sellaisenaan PtX-raaka-ainepotentiaalin mittarina.

Taulukko 4. Tarkastelualueen keskeiset CO₂-lähteet ja biogeenisen CO₂:n julkiset arviot.

CO ₂ -lähde	Sijainti	Todennettu päästö	Uusin julkinen biogeenisen CO ₂ :n arvio	Tulkinta vedyn jatkojalostuksen kannalta
Stora Enso, Varkauden tehdas	Varkaus	29 989 t CO ₂ /v, 2024, Energiavirasto	662 kt CO₂/v , 2025, Monikaasuverkkoselvitys	Suurin tunnistettu biogeenisen CO ₂ :n lähde. Ensisijainen jatkotarkastelukohde, jos talteenotto, sähkö ja logistiikka toteutuvat.
Mondi Powerflute, Kuopion kartonkitehdas	Kuopio	79 364 t CO ₂ /v, 2024, Energiavirasto	163 kt CO₂/v , 2025, Monikaasuverkkoselvitys	Merkittävä Kuopion teollinen CO ₂ -lähde e-polttoaine- ja teollisuuskonsepteihin.
Riikinvoima, ekovoimalaitos	Leppävirta	63 676 t CO ₂ /v, 2024, Energiavirasto	57 kt CO₂/v , 2025, Monikaasuverkkoselvitys	Täydentävä CO ₂ -lähde Varkaus–Leppävirta-vyöhykkeellä. Edellyttää bio- ja fossiilisuuden todentamista.
Kuopion Energia, Haapaniemen voimalaitos	Kuopio	81 189 t CO ₂ /v, 2025, Kuopion Energian vastuullisuusraportti	n. 400 kt CO₂/v , 2025, laskettu polttoainejakaumasta ja Tilastokeskuksen päästökertoimista	Laskennallinen savukaasu-CO ₂ :n suuruusluokka, ei talteenottokelpoinen määrä. Talteenotto edellyttää erillistä teknis-taloudellista selvitystä.
Savon Voima, Pieksämäen voimalaitos / lämpölaitos	Pieksämäki	14 565 t CO ₂ /v, 2024, Energiavirasto	17 kt CO₂/v , 2025, Monikaasuverkkoselvitys	Pieksämäen oma CO ₂ -pohja on pieni. PtX-rooli painottuu sähköön, logistiikkaan ja Varkauden suunnan CO ₂ -yhteyksiin.

Bio-CO₂-lähteet luovat alueelle teknisen perustan hiilipohjaisille Power-to-X-tuotteille, mutta ne eivät yksin osoita jatkojalostuksen kaupallista toteutettavuutta. Varkauden biogeeninen CO₂ on tarkastelualueen vahvin tunnistettu hiilipohja. Kuopiossa Mondi Powerflute ja Haapaniemen energiantuotanto muodostavat jatkojalostuksen kannalta kiinnostavan, mutta teknisesti ja luvituksellisesti tarkennettavan kokonaisuuden. Riikinvoiman merkitys on täydentävä ja erityisesti Varkaus–Leppävirta-vyöhykkeen teolliseen tarkasteluun liittyvä. Pieksämäen oma CO₂-pohja on julkisten lähteiden perusteella selvästi pienempi kuin Varkauden ja Kuopion pääkohteissa, joten Pieksämäen PtX-rooli kytkeytyy ensisijaisesti sähköön, logistiikkaan ja mahdolliseen yhteyteen Varkauden ja Leppävirran suunnan CO₂-lähteisiin.

Metanolia tuotettaessa hiilidioksidin ja vedyn massasuhde on LUT:n Pohjois-Savon vetylaakso selvityksen mukaan noin 7,28, ja 100 000 hiilidioksiditonnin muuttaminen metanoliksi edellyttäisi noin 733 GWh sähköä vedyn tuotantoon. Tämä tarkoittaa, että jo Varkauden biogeenisen CO₂:n täysimääräinen hyödyntäminen e-metanolin kaltaisessa jatkojalosteessa edellyttäisi useiden terawattituntien mittaluokan uusiutuvan sähkön hankintaa. Siksi CO₂-lähteen koko ei yksin ratkaise jatkojalostuksen toteutettavuutta; ratkaisevia ovat myös sähköverkon kapasiteetti, uusiutuvan sähkön hinta ja saatavuus, elektrolyysin käyttöaika, hiilidioksidin talteenoton kustannus ja puhtaus, tuotteen ostosopimukset sekä logistiikka.

CO₂:n talteenoton tekninen toteutettavuus, hiilidioksidin puhtaus/epäpuhtaudet, talteenoton kustannus, biogeenisen ja fossiilisen osuuden todentaminen, kausivaihtelu, energiantegraatio, kuljetusratkaisu ja sopimuksellinen saatavuus edellyttävät lähdekohtaista selvitystä ennen investointipäätöksiä. Erityisesti energiantuotannon CO₂-lähteissä kausivaihtelu voi olla merkittävämpi haaste kuin metsäteollisuuden ja biokaasutuotannon tasaisemmissa prosessivirroissa.

3.7 Kaukolämpöverkot, hukkalämpö ja sektori-integraatio

Pohjois-Savon 19 kunnasta 13:ssa on kaukolämpöverkko, ja alueen kaukolämmöntuotanto on LUT:n selvityksen mukaan noin 1,8–1,9 TWh vuodessa lämmitystarpeen mukaan. Kuopion kaukolämmöntuotannoksi on esitetty 1 089 GWh, Varkauden 206 GWh, Iisalmen 170 GWh ja Siilinjärven 108 GWh vuonna 2022.

Ylijäämälämpöä koskevan Rambollin oppaan mukaan vety- ja datakeskushankkeiden matalalämpöinen ylijäämälämpö voi soveltua useisiin käyttökohteisiin, mutta kaukolämpöverkkoon syöttäminen voi vaatia lämpöpumppuja ja lisäinvestointeja.

Pohjois-Savossa hukkalämmön hyödyntämismahdollisuudet ovat parhaat siellä, missä elektrolyysilaitos tai PtX-laitos sijoittuu lähelle riittävän suurta ja jatkuvaa lämpökuormaa. Kuopio, Varkaus ja Iisalmi ovat tästä syystä kiinnostavampia kuin hajanaiset, kaukolämpöverkosta kaukana sijaitsevat tuotantopaikat. Pieksämäen osalta kaukolämpöintegraatiota ei voida arvioida yhtä vahvasti, koska käytettävissä ei ollut vastaavaa kaukolämpöverkon ja lämpökuorman aineistoa.

Hukkalämmön hyödyntäminen edellyttää tietoa lämpötilatasosta, lämmön tuotantoprofiilista, etäisyydestä verkkoon, verkon paluu- ja menolämpötiloista, lämpöpumppujen mitoituksesta, sopimusmallista ja investointivastuista. Näitä tietoja ei ollut kattavasti saatavilla.

3.8 Alueidenkäyttö, kaavoitus, ympäristö- ja turvallisuusreunaehdot

Uusiutuvan energian tuotantolaitosten lupamenettelyt ja hallinnolliset menettelyt määräytyvät hankkeen laadun, koon, vaikutusten, sijainnin, alueen ominaisuuksien ja kaavatilanteen perusteella. Vedyntuotantolaitoshankkeissa on huomioitava alueidenkäyttö, ympäristö, turvallisuus, vedyn varastointi ja siirto sekä sähkö- tai kaasuverkkoon liittyminen.

Alueidenkäytöllisesti vedyntuotanto soveltuu parhaiten teollisille tai energiahuollon alueille, joissa sähköliityntä, tie- ja mahdollisesti rautatieyhteydet, lämpökysyntä ja turvaetäisyydet voidaan yhteensovittaa. Uusiutuvan sähkön tuotannon osalta turvetuotantoalueet, käytöstä poistuneet maatalousalueet ja teollisuusalueiden yhteydet ovat kiinnostavia, mutta jokainen

kohde edellyttää maisema-, luonto-, vesistö-, turvallisuus- ja hyväksyttävyydestä tarkastelua. Tonttikohtaiset kaavatiedot, maanomistus, suojaetäisyydet, luontoarvot, pohjavesialueet, muinaisjäännökset, liikennevaikutukset ja pelastusviranomaisien vaatimukset eivät olleet kattavasti saatavilla.

3.9 Keskeiset alueelliset pullonkaulat ja epävarmuudet

Pohjois-Savon selvityksen mukaan uusiutuvan energian tuotantopotentiaali on suuri, mutta nykyinen siirtoverkko ei ole riittävä kaikilla alueilla, mikäli mittavaa tuulivoimapotentiaalia hyödynnetään laaja-alaisesti. VTT:n mukaan vihreän vedyn ja suurten biogeenisten CO₂-lähteiden sijainti ei Suomessa aina kohtaa, jolloin vedyn tai hiilidioksidin kuljetusratkaisut on arvioitava tapauskohtaisesti.

Tarkastelualueen keskeisiä pullonkauloja ovat sähköverkon liityntämahdollisuudet, uusiutuvan sähkön käyttöaika ja hinta, puolustusvoimien ja ilmavalvonnan rajoitteet tuulivoimalle, CO₂:n talteenoton kustannus ja laatu, teollisen vedyn kysynnän puute, hukkalämmön hyödyntämisen sijaintiriippuvuus, vedenoton ja jäähdytyksen luvitettavuus sekä hyväksyttävyys. Pieksämäen erityinen epävarmuus liittyy siihen, että sen vahvuudet ovat sähkössä ja logistiikassa, kun taas suurimmat CO₂-lähteet sijaitsevat pääosin Varkauden suunnalla. Kaupallisesti toteuttamiskelpoista potentiaalia ei voida määrällisesti arvioida ilman toimijakohtaisia investointi-, sähkönhankinta-, liittymä-, off-take- ja lupatietoja.

4 Vedyntuotannon potentiaali tarkastelualueella

4.1 Tekninen potentiaali: sähkö, vesi, sijainti ja prosessitekniset edellytykset

Pohjois-Savossa on tunnistettu merkittäviä uusiutuvan sähkön tuotantoedellytyksiä sekä useita CO₂-lähteitä, jotka mahdollistavat Power-to-X-arvoketjujen tarkastelun. Pieksämäellä on toteutunutta ja suunniteltua tuulivoimaa sekä sähkö- ja rataverkon solmupisterooli.

Tekninen potentiaali on tarkastelualueella todellinen, mutta se on jakautunut. Pohjois-Savossa tekninen potentiaali kytkeytyy etenkin Järvinlinjan, Huutokosken, Alapitkän ja muiden kantaverkkosolmujen ympärille sekä Varkauden ja Kuopion CO₂-lähteisiin. Pieksämäellä tekninen potentiaali perustuu sähkön tuotantoon ja siirtoon sekä mahdollisuuteen kytkeytyä Varkauden suunnan hiilidioksidipohjaan. Tekninen potentiaali ei kuitenkaan vielä sisällä maankäyttö-, lupa-, kustannus-, sopimus- tai markkinaehtoja. Prosessitekkinen toteutettavuus edellyttää laitospaikkakohtaista sähkön, veden, jäähdytyksen, hukkalämmön, turvallisuuden ja logistiikan tarkastelua.

4.2 Maankäytöllinen ja luvituksellinen potentiaali

Pohjois-Savossa on tunnistettu tuulivoima- ja aurinkovoima-alueita, mutta tuulivoiman toteuttamista rajoittavat erityisesti itäisillä alueilla ilmavalvonnan yhteensovittaminen ja

muut maankäyttöreunaehdot. Uusiutuvan energian lupa- ja menettelyohjeistuksen mukaan hankkeen todelliset menettelyvaatimukset ratkaistaan aina tapauskohtaisesti hankkeen laadun, koon, vaikutusten, sijainnin, alueen ominaisuuksien ja kaavatilanteen perusteella.

Maankäytöllisesti lupaavimpia vedyntuotannon sijoittumisalueita ovat teollisuus-, energiahuolto- ja logistiikka-alueet, jotka ovat lähellä kantaverkkoa, vettä, lämpökohdetta ja pääteitä tai rautatieyhteyksiä. Kuopion, Iisalmen ja Varkauden seudut nousevat tästä syystä esiin. Pieksämäellä maankäytöllinen potentiaali voi liittyä sähkö- ja rataverkon solmupisteeseen, mutta laitospaikkojen kaavallinen ja turvallisuustekninen soveltuvuus on varmistettava erikseen.

4.3 Verkkoliittynän ja energiansiirron mahdollistama potentiaali

Pohjois-Savon alueella Järvinlinjan vahvistuminen ja 400 kV verkon kehittäminen muodostavat keskeisen mahdollistajan uusiutuvan sähkön tuotannolle ja energiantensiiviselle kulutukselle. Wega Groupin aineiston mukaan tarkastellulla vetyreittivaihtoehdolla Pohjois-Savossa voisi olla teknistä potentiaalia, mutta pienemmän putkikoon suhteelliset kustannukset ja tuotanto- sekä kulutusvolyymien riittävyys ovat ratkaisevia.

Verkkoliittynä on todennäköisesti ratkaisevin yksittäinen alueellinen pullonkaula. Vedyntuotanto voi tukea sähköjärjestelmää, jos se kykenee joustamaan hinnan ja verkon tilanteen mukaan, mutta se voi myös lisätä siirtotarpeita, jos laitos sijoittuu väärään kohtaan suhteessa tuotantoon ja kulutukseen. Suurten energiamäärien siirto voi pitkällä aikavälillä edellyttää sekä sähköverkon että mahdollisen vety- tai metaaniverkon yhteissuunnittelua.

Liityntäkapasiteetti muuttuu nopeasti, eikä julkisista lähteistä voi varmistaa tietyn tontin tai laitoksen liityntäoikeutta. Jokainen investointi edellyttää erillistä liittymisselvitystä.

4.4 Teollisen kysynnän ja jatkojalostuksen mahdollistama potentiaali

Pohjois-Savon tunnistetut CO₂-lähteet luovat teknisen perustan metaanin, metanolin ja synteettisten polttoaineiden tarkastelulle. VTT mukaan hiilidioksidin hyötykäyttöhankkeiden taloudelliset, ilmasto-, ympäristö- ja työllisyysvaikutukset ovat tapauskohtaisia ja edellyttävät perusteellisia tarkasteluja.

Tarkastelualueen vahvin jatkojalostusperusta on Varkauden ja Kuopion CO₂-lähteissä sekä mahdollisissa biokaasupohjaisissa hiilidioksidivirroissa esimerkiksi Kiuruvedellä. Suora paikallinen vedyn kysyntä on epävarma, joten jatkojalosteet voivat olla vedyn kysynnän muodostumisen kannalta keskeisiä. Pieksämäki voi tukea tätä arvoketjua sähkö- ja logistiikkasolmuna, mutta sen oma jatkojalostuksen raaka-ainepohja on julkisen tiedon perusteella heikompi kuin Varkauden ja Kuopion.

Eteläisellä tarkasteluvyöhykkeellä Joroinen täydentää Varkaus–Leppävirta–Pieksämäki-kokonaisuutta erityisesti uusiutuvan sähkön tuotannon, Huutokosken kantaverkkosolmun ja Varkauden suunnan teollisten virtojen läheisyyden kautta. Joroista ei kuitenkaan ole perusteltua käsitellä itsenäisenä vedyn jatkojalostuksen keskuksena, ellei alueelle tunnisteta erillistä CO₂-lähdetä, teollista vedyn käyttökohdetta, jatkojalostusinvestointia tai sopimuksellisesti varmistettua sähkönhankinta- ja off-take-kokonaisuutta.

Kuopion Sorsasalons eSAF-laitoshanke konkretisoi sitä, että Kuopion CO₂-lähteisiin, sähköön, veteen ja kaukolämpöverkkoon kytkeytyvä PtX-jatkojalostus on alueella jo julkisesti tunnistettu kehityssuunta. Hanke tukee tulkintaa, jonka mukaan Kuopio on erityisen kiinnostava CO₂-pohjaisen jatkojalostuksen ja sektori-integraation sijainti. Hanke ei kuitenkaan yksin osoita kaupallista toteutettavuutta, vaan sen merkitys riippuu luvituksen etenemisestä, investointipäätöksestä, sähkönhankinnasta, CO₂-talteenoton toteutuksesta, lopputuotteen ostosopimuksista ja hukkalämmön hyödyntämisen teknistaloudellisista ehdoista.

Iisalmen Soinlahteen sijoittuva Flying Forest -hanke vahvistaa pohjoisen vyöhykkeen kiinnostavuutta bio- ja SAF-arvoketjujen näkökulmasta. Sen merkitys poikkeaa kuitenkin elektrolyysivetyyn ja CO₂-pohjaisiin e-polttoaineisiin perustuvista PtX-konsepteista, koska julkisessa aineistossa hanke kytkeytyy ensisijaisesti biomassapohjaiseen uusiutuvan lentopolttoaineen tuotantoon. Siksi sitä voidaan käyttää esimerkkinä pohjoisen vyöhykkeen teollisesta uusiutuvien polttoaineiden kehityksestä, mutta ei suorana osoituksena alueen elektrolyysivetyyn perustuvasta e-metanoli- tai eSAF-tuotannosta.

Off-take-sopimuksia, loppuasiakkaita, tuotestandardien täyttymistä, CO₂ talteenottosopimuksia tai lopputuotteiden logistiikkaratkaisuja ei ollut julkisesti vahvistettavissa. Tämän vuoksi teollisen kysynnän ja jatkojalostuksen potentiaalia voidaan tässä vaiheessa arvioida vain alustavasti, ei investointikelpoisena tuotantokokonaisuutena.

4.5 Hukkalämmön ja hapen hyödyntämisen potentiaali

LUT:n tarkastelun mukaan suhteellisen pieni osuus alueellisesta uusiutuvan energian potentiaalista voisi elektrolyysin hukkalämpönä kattaa vuositasolla pienempien kaukolämpöverkkojen lämmöntarpeen, mutta suurimpien verkkojen osalta tarvittava osuus olisi huomattavasti suurempi. Selvitys korostaa, että kaukolämpöjärjestelmää ei käytännössä voida rakentaa pelkästään elektrolyysin hukkalämmön varaan.

Rambollin ylijäämälämpöoppaan mukaan hukkalämmön hyödyntämisen kannattavuus riippuu lämpötilatasosta, jatkuvuudesta, etäisyydestä käyttökohteeseen, investointikustannuksista ja sopimusmalleista. Vedyn tuotannon ylijäämälämpö soveltuu teknisesti useisiin käyttökohteisiin, mutta kaukolämpö ja teolliset prosessit voivat edellyttää lämpötilan korottamista.

Hukkalämpöpotentiaali on alueellisesti kiinnostava etenkin Kuopiossa, Varkaudessa ja Iisalmissa. Pieksämäen osalta potentiaali riippuu kaukolämpöverkon sijainnista, koosta ja lämpötilatasoista, joita ei tässä aineistossa voitu varmistaa. Hapelle voi löytyä paikallisia käyttökohteita, mutta tunnistetut määrät ovat julkisen aineiston perusteella pieniä verrattuna teollisen elektrolyysin mahdollisesti tuottamaan happivirtaan. Hukkalämmön lämpötilaprofiilit, vastaanottavat verkot, investointikustannukset, hapen käyttösopimukset ja tekniset rajapinnat puuttuvat.

4.6 Teknistaloudellinen toteutettavuus Pohjois-Savossa ja Pieksämäellä

Kansainvälisten ja kansallisten selvitysten mukaan vähäpäästöisen vedyn käyttöönottoa hidastavat korkeat kustannukset, epävarma kysyntä, sääntelyn kehittyminen ja infrastruktuurin hitaus. IEA:n Global Hydrogen Review 2025 -raportin mukaan

vähäpäästöisen vedyn käyttöönotto on jäänyt tavoitteista jälkeen muun muassa kustannus- ja kysyntätekijöiden vuoksi. TEM:n selvityksen mukaan teollisuudessa ei nykyisellään ole riittäviä kannusteita fossiilisia tai vähähiilisiä vaihtoehtoja kalliimpien RFNBO-tuotteiden käyttöönotolle.

Teknistaloudellisesti vahvimmat edellytykset ovat kohteissa, joissa samalle sijainnille tai lyhyelle etäisyydelle voidaan yhdistää kohtuuhintainen uusiutuva sähkö, vahva verkkoliittyntä, CO₂-lähde tai teollinen loppukäyttö, hukkalämmön hyödyntäjä ja logistinen yhteys. Tällä perusteella eteläinen Varkaus–Huutokoski–Pieksämäki-vyöhyke ja Kuopion alue ovat jatkotarkastelun kannalta keskeisiä, mutta eri syistä. Varkauden vahvuus on CO₂- ja teollisuuspohja, Pieksämäen sähkö- ja rautatiesolmurooli, Kuopion lämpö- ja CO₂-keskittymä sekä pohjoisen lisälmen seudun yhdistelmä biokaasua, uusiutuvaa sähköä ja Järvinlinjaa.

Ilman sähkön hinnan, käyttöajan, investointikustannusten, rahoituksen, tuotteen myyntihinnan ja off-take-sopimusten tietoja ei voida luotettavasti arvioida kannattavuutta.

4.7 Toteutettavuuden alueelliset erot Pohjois-Savon ja Pieksämäen välillä

Pohjois-Savon selvityksessä tunnistetut keskittymät eroavat toisistaan: pohjoisessa painottuvat biokaasuhankkeet ja uusiutuvan sähkön tuotantomahdollisuudet, Kuopiossa suuret CO₂-pistelähteet ja kaukolämpö, ja etelässä Varkauden CO₂-lähteet, Joroisten aurinkovoima, Pieksämäen tuulivoima sekä Huutokosken kantaverkkosolmu. Pieksämäen seudun vahvuusiksi on Etelä-Savon selvityksessä tunnistettu tuulivoiman lisäys, sähkö- ja rataverkon solmupiste sekä mahdollisuus siirtää tuotantoa länteen, pohjoiseen ja etelään. Pohjois-Savo tarjoaa laajemman teollisen, CO₂- ja kaukolämpöpohjan. Pieksämäki tarjoaa logistisen ja uusiutuvan sähköntuotannon näkökulmasta kiinnostavan täydentävän solmun, mutta sen oma teollinen vedyn kysyntä ja CO₂-pohja ovat julkisen aineiston perusteella rajallisempia. Pieksämäen realistinen rooli voi olla sähköntuotannon, sähköliittyntöjen, logistiikan ja Varkauden suunnan teollisten virtojen yhdistäjä, ei itsenäinen täyden arvoketjun vetykeskittymä ilman uusia teollisia käyttökohteita.

4.8 Realistinen potentiaali

Pohjois-Savossa ja Pieksämäellä on uusiutuvan sähkön, sähköverkon solmujen, CO₂-lähteiden ja lämmönkäyttökohteiden osalta useita vedyntuotantoa tukevia elementtejä. Samalla lähteet osoittavat, että siirtoverkon, kysynnän, hiilidioksidin sijainnin, hukkalämmön ja markkinan yhteensovittaminen on keskeinen epävarmuus.

Tarkastelualueella on teknistä ja alueellista potentiaalia uusiutuvaan vedyntuotantoon ja erityisesti CO₂-pohjaiseen Power-to-X-jatkojalostukseen. Ei voida sanoa, että alueella olisi jo kaupallisesti toteuttamiskelpoinen vetyinvestointikanta tai että tekninen potentiaali muuttuisi lähivuosina toteutuviksi investoinneiksi. Realistisesti lähivuosien eteneminen tarkoittaa kohdekohtaista esisuunnittelua, verkkoliittyntäselvityksiä, PPA- ja off-take-neuvotteluja, CO₂-talteenoton arviointia, vedenotto- ja jäähdytys selvityksiä sekä teollisten sijaintien priorisointia.

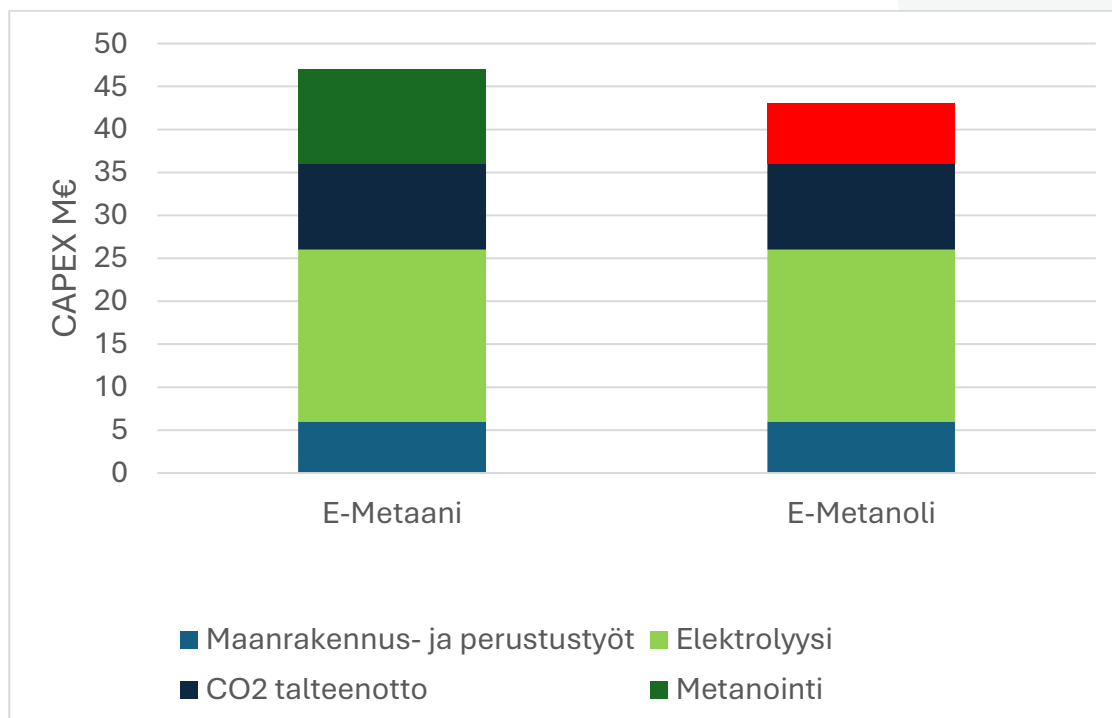
Kaupallisesti toteuttamiskelpoista potentiaalia ei voida määrittää ilman investointikohtaisia tietoja. Tekninen, maankäytöllinen, verkko tekninen, kysyntäperusteinen ja kaupallisesti toteutuva potentiaali on pidettävä erillään päätöksenteossa.

5 Vaikutukset

5.1 Vaikutukset alue- ja kuntatalouteen

Vedyntuotannon ja Power-to-X-jatkojalostuksen alue- ja kuntataloudelliset vaikutukset voivat olla merkittäviä, mutta niitä ei voida arvioida luotettavasti pelkän teknisen tuotantopotentialin perusteella. Vaikutusten suuruus riippuu investoinnin koosta, omistus- ja rahoitusmallista, paikallisesta hankintaosuudesta, henkilöstömäärästä, kiinteistöveropohjasta sekä siitä, jäävätkö suunnittelu-, rakentamis-, kunnossapito- ja palvelutoiminnot Pohjois-Savoon tai Pieksämäelle.

Tesin vuoden 2025 katsauksen mukaan P2X-hankkeissa hankekehitys voi olla noin 2–5 prosenttia kokonaisinvestoinnista, rakennusvaiheen investointikoko voi vaihdella sadoista miljoonista euroista miljardeihin euroihin ja elektrolyysi voi muodostaa yli puolet investoinnista. Navitas/Wega-aineiston 20 MW esimerkkilaitoksessa e-metaanin tai e-metanolin tuotantoon kytketyn vetyjalostuslaitoksen investointikokoluokka on kuvasta 9 luettuna noin 40–50 miljoonaa euroa. Luku antaa suuruusluokan pienemmän teollisen vety- ja jatkojalostuskonseptin arviointiin, mutta sitä ei tule käyttää Pohjois-Savon tai Pieksämäen investointiennusteena ilman kohdekohtaista mitoitusta, sähköliityntää, CO₂-ratkaisua, tonttia, lupia ja sopimusperustaa.



Kuva 9. Kuvaajaan on arvioitu investointikustannuksien jakautumista 20 MW elektrolyysin yhteyteen rakennettavan vetyjalostuslaitoksen osalta. Todelliset investointikustannukset lasketaan tapauskohtaisesti. (Vetyselvitys Pohjois-Savon ja Pieksämäen alueille, 2024)

Kuntatalouden kannalta varmin tulovirta syntyy yleensä kiinteistöverosta, jos laitosalueelle rakennetaan verotettavia rakennuksia tai rakennelmia. Kunnallisveron ja yhteisöveron alueellinen kohdentuminen on epävarmempaa, koska ne riippuvat muun muassa työntekijöiden asuinkunnasta, yhtiön kotipaikasta ja henkilöstön sijoittumisesta.

Alueelle jäävä hyöty on suurin, jos hanke hyödyntää paikallisia tontti-, infra-, rakentamis-, kunnossapito- ja palveluresursseja sekä työllistää alueella asuvia työntekijöitä. Hyöty pienenee, jos avainlaitteet, suunnittelu, rakentaminen ja kunnossapito hankitaan pääosin alueen ulkopuolelta tai hankeyhtiön kotipaikka ja omistus sijaitsevat muualla.

Määrällinen arviointi edellyttää hankekohtaista laskentaa. Vähimmäislähtötietoina tarvitaan investoinnin kokonaisarvo, rakennusten ja rakennelmien arvioitu verotusarvo, tontin omistus- ja vuokramalli, hankeyhtiön kotipaikka, käyttövaiheen henkilöstömäärä, työntekijöiden arvioitu asuinkunta sekä paikallisten hankintojen ja palvelusopimusten osuus.

5.2 Työllisyys- ja osaamisvaikutukset

Vedyntuotanto- ja PtX-hankkeiden työllisyysvaikutukset jakautuvat rakentamisvaiheen määräaikaisiin vaikutuksiin ja käyttövaiheen pysyvämpiin vaikutuksiin. Rakentamisvaiheessa työvoimatarve kohdistuu erityisesti maanrakennukseen, sähkö- ja automaatioasennuksiin, putkistoihin, rakennustekniikkaan, projektinjohtoon, logistiikkaan, turvallisuuteen ja valvontaan. Käyttövaiheessa henkilöstömäärä on yleensä pienempi ja painottuu prosessinohjaukseen, kunnossapitoon, sähköturvallisuuteen, automaatioon, laboratoriovalvontaan, kemikaali- ja painelaiteturvallisuuteen, ympäristöraportointiin sekä toimitusketjun hallintaan.

Navitas/Wega-aineiston mukaan 20 MW vetylaitoksen ja jatkojalostusyksikön rakentaminen voi synnyttää noin 350 henkilötyövuotta suoria ja välillisiä vaikutuksia. Valmistumisen jälkeen suoria ja epäsuoria työpaikkoja arvioidaan syntyvän yhteensä noin 40–50. Luvut kuvaavat esimerkkimittakaavaa, eivät Pohjois-Savon tai Pieksämäen toteutuvaa työllisyysennustetta. Vaikutukset riippuvat laitoksen teknologiasta, hankintamallista, paikallisesta yritysraakenteesta, käyttö- ja kunnossapitomallista sekä työvoiman asuinpaikasta.

Keskeiset osaamisvaikutukset liittyvät laajempaan arvoketjuun: uusiutuvan sähkön tuotantoon, sähköverkon ja liityntöjen suunnitteluun, CO₂-talteenottoon, lämpöintegraatioon, vedenkäsittelyyn, logistiikkaan, turvallisuusosaamiseen sekä mahdollisiin e-metaanin, e-metanolin tai muiden jatkojalosteiden tuotantoprosesseihin. Pohjois-Savon vetylaakso selvityksen mukaan koulutetun työvoiman saatavuus on keskeinen edellytys hankkeiden edistämiseksi, ja alueen teollisilla toimijoilla voi olla mahdollisuuksia kasvattaa vientiliiketoimintaa PtX-teknologiasektorilla.

Työllisyysvaikutuksia ei tule esittää yhtenä kokonaislukuna ilman erittelyä.

Jatkoselvityksessä on erotettava vähintään rakentamisvaiheen henkilötyövuodet, käyttövaiheen suorat työpaikat, välilliset palvelu- ja kunnossapitotyöt, paikallisen työvoiman osuus, alueelle sijoittuvien alihankintojen osuus sekä koulutus- ja rekrytointitarpeet.

5.3 Vaikutukset energiaomavaraisuuteen, huoltovarmuuteen ja kilpailukykyyn

Alueellinen vedyntuotanto voi vahvistaa energiaomavaraisuutta, jos se kytkeytyy uusiutuvan sähkön tuotantoon, joustavaan kulutukseen, teolliseen käyttöön ja toimivaan siirtoinfrastruktuuriin. Gasgridin mukaan vetyverkon kehittäminen voi parantaa energiajärjestelmän joustavuutta, mahdollistaa vedyn siirron ja varastoinnin sekä vahvistaa energiaomavaraisuutta. Pohjois-Savon vetylaakso selvityksessä alueen mahdollisuutta kehittyä energiapositiiviseksi pidetään mahdollisena, mutta se edellyttää yhteistyötä maakuntarajojen yli ja energiansiirtoinfrastruktuurin vahvistamista.

Vedyntuotanto voi lisätä uusiutuvan sähkön paikallista jalostusarvoa, jos vedylle tai sen jatkojalosteille on tunnistettavissa riittävä ja maksukykyinen kysyntä. Huoltovarmuuden näkökulmasta merkitys perustuu energiankantajien ja teollisten raaka-aineketjujen monipuolistamiseen. Vaikutus ei kuitenkaan synny yksittäisestä elektrolyysilaitoksesta, vaan tuotannon, varastoinnin, siirron, loppukäytön ja sopimusrakenteiden yhteensovittamisesta.

Kilpailukyky edellyttää edullista sähköä, riittävää käyttöaikaa, lopputuotteen ostajaa ja kustannustehokasta infrastruktuuria. Samalla vedyntuotanto voi lisätä sähköjärjestelmän kuormitusta, jos tuotantoa ei suunnitella verkon kapasiteetin ja markkinatilanteen mukaan. Energiaomavaraisuuden ja huoltovarmuuden vaikutuksia ei voida vielä laskea tarkasti ilman alueen sähkön tuotantoa, kulutusta, varastointia ja teollista käyttöä koskevaa skenaariolaskentaa.

5.4 Vaikutukset sähköjärjestelmään, kulutusjoustoön ja sektori-integraatioon

Vety- ja PtX-hankkeet ovat sähköintensiivisiä investointeja, joiden toteutus voi vaikuttaa merkittävästi paikalliseen ja alueelliseen sähköjärjestelmään. Uusiutuvan sähköntuotannon vaihtelu lisää tarvetta kulutusjoustoölle, ja sähköjärjestelmä on suunniteltava toimintavarmaksi sekä huippukuormaa että huipputuotantoa varten. Siksi vedyntuotannon sijoittuminen, liittymisteho, käyttöprofiili ja mahdollinen varastointi ovat keskeisiä teknistaloudellisia reunaehtoja.

Elektrolyysi voi toimia joustavana sähkönkulutuksena, jos prosessi, sopimukset ja lopputuotteen toimitusvelvoitteet sallivat ajon optimoinnin sähkön hinnan ja saatavuuden mukaan. Jos laitos tarvitsee tasaista tuotantoa off-take-sopimusten, jatkojalostuksen tai asiakastoimitusten vuoksi, joustomahdollisuus pienenee.

Sektori-integraation suurin alueellinen hyöty saavutetaan, jos elektrolyysi, kaukolämpö, CO₂-talteenotto, mahdollinen jatkojalostus ja teolliset käyttökohteet sijoittuvat lähelle toisiaan. Tällöin sähköä, lämpöä, vetyä, happea, hiilidioksidia ja muita sivuvirtoja voidaan tarkastella yhtenä kokonaisuutena, mikä voi vähentää siirto-, varastointi- ja logistiikkatarpeita.

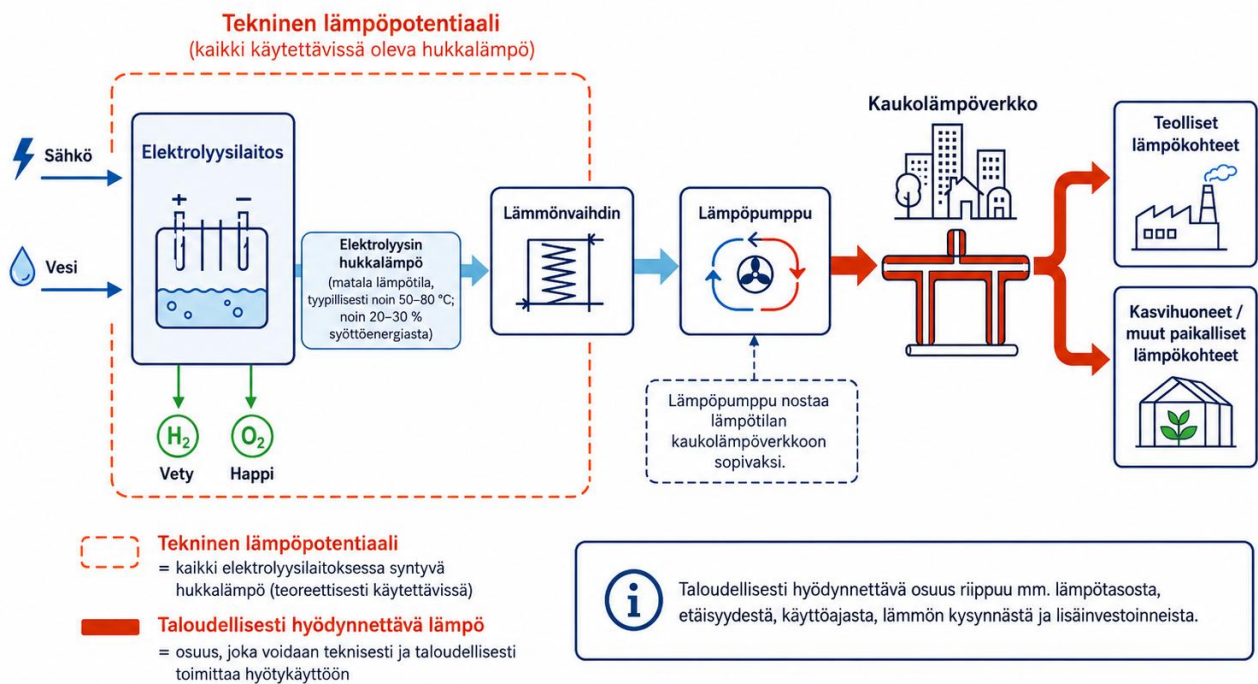
Joustovaikutuksia ei voida arvioida luotettavasti ilman tuntitason mallinnusta. Jatkotarkastelussa tarvitaan vähintään sähkön hintaprofiili, uusiutuvan tuotannon profiili, elektrolyyserin mitoitus, mahdollinen vetyvarasto, lopputuotteen toimitusvelvoitteet, käyttötuntitavoite sekä sähköverkon liityntä- ja siirtorajoitteet.

5.5 Hukkalämmön, hapen ja muiden sivuvirtojen hyödyntämisvaikutukset

Vety- ja jatkojalostuslaitoksista syntyvä ylijäämälämpö voi soveltua kaukolämpöön, rakennusten lämmitykseen, teollisiin prosesseihin, kasvihuoneviljelyyn, sieniviljelyyn ja kalankasvatukseen. Hyödyntämismahdollisuus riippuu kuitenkin lämpötilatasosta, lämpötehosta, tuotannon jatkuvuudesta, etäisyydestä käyttökohteisiin sekä mahdollisesta lämpöpumppauksen tarpeesta. Hukkalämmön hyödyntämisen periaate lämpökohteisiin on esitetty kuvassa 10.

Hukkalämmön hyödyntämisen periaatekaavio

Elektrolyysilaitoksen kytkentä kaukolämpöverkkoon ja muihin lämpökohteisiin



Lähteet:

Ramboll (2025): Opas vihreän siirtymän hankkeiden ylijäämälämmön hyödyntämiseen.
Ramboll (2024): Vety- ja Power-to-X-hankkeet – kaavoittajan ja hanketoimijan käsikirja.

Kuva 10. Periaatekaavio elektrolyysilaitoksen hukkalämmön hyötykäytöstä.

Pohjois-Savossa hukkalämmön hyödyntämisellä voisi olla suurin vaikutus Kuopion ja Varkauden kaltaisissa kaukolämpöverkoissa, joissa lämmöntarve on suuri. Pienemmissä verkoissa yksittäinen elektrolyysilaitos voisi vuositasolla tuottaa suuren osuuden lämmöstä, mutta kausivaihtelu, lämpövarastointi, varateho ja sopimusmallit ratkaisevat käytännön hyödyn.

Hapen paikallinen hyödyntäminen voi parantaa resurssitehokkuutta, jos alueella on teknisesti ja taloudellisesti soveltuvia käyttökohteita. Todennäköinen hapen ylitarjonta suhteessa tunnistettuihin käyttökohteisiin on kuitenkin riski. Sivuvirtojen hyödyntäminen edellyttää vastaanottajien tunnistamista, teknisiä laatumäärittelyjä, sopimuksia sekä investointikustannusten arviointia.

5.6 Ympäristö-, vesistö-, turvallisuus- ja hyväksyttävyyssvaikutukset

Vedyntuotannon ympäristö-, vesistö-, turvallisuus- ja hyväksyttävyyssvaikutukset muodostuvat sekä tuotantolaitoksesta että siihen liittyvästä energiainfrastruktuurista, vedenkäytöstä, logistiikasta ja mahdollisesta jatkojalostuksesta. Vaikutuksia ei siksi tule tarkastella vain elektrolyysilaitoksen rajauksen sisällä.

Vedyntuotanto voi edellyttää YVA-menettelyä, ympäristölupaa, kemikaaliturvallisuuden lupia, vesilupia ja muita menettelyjä hankkeen ominaisuuksien mukaan. Lupatarpeet riippuvat muun muassa laitoksen koosta, sijainnista, käytettävistä kemikaaleista, vedyn varastoinnista, mahdollisesta putkistosta, vedenotosta, purkuvesistä ja jatkojalostusprosesseista.

Ympäristövaikutuksiin kuuluvat sähkön tuotantoalueet, uudet voimajohdot, vedenotto, purkuvedet, kemikaaliturvallisuus, liikenne, maisemavaikutukset, putkilinjaukset, melu ja riskiviestintä. Turvallisuusvaikutukset liittyvät erityisesti vedyn tuotantoon, varastointiin, käsittelyyn ja mahdolliseen siirtoon. Vety on teknisesti hallittavissa oleva teollisuuskaasu, mutta se edellyttää huolellista suunnittelua, painelaiteturvallisuutta, räjähdysuojausta, valvontaa, pelastussuunnittelua ja viranomaisyhteistyötä.

Pohjois-Savon vetylaakso selvityksessä hyväksyttävyyden ja avoimen viestinnän merkitys nostetaan esiin. Hyväksyttävyyttä parantavat paikallisten hyötyjen näkyvä jakautuminen, läpinäkyvä vaikutusarviointi sekä laitosten sijoittaminen teollisiin ympäristöihin tai olemassa olevan energiainfrastruktuurin yhteyteen. Vaikutuksia ei voida arvioida tarkasti ilman tarkkaa sijaintia, mitoitus, prosessikuvausta ja alustavaa lupapolkua.

5.7 Vaikutukset teolliseen uudistumiseen ja arvoketjujen kehittymiseen

Vedyntuotannon ja Power-to-X-jatkojalostuksen merkittävin alueellinen vaikutus voi syntyä teollisen arvonlisän kasvusta, ei pelkästä vedyn tuotannosta. Pohjois-Savossa on LUT selvityksen mukaan teollisia toimijoita, joilla voi olla mahdollisuuksia kasvattaa liiketoimintaa PtX-teknologiasektorilla. Tämä edellyttää hankkeita, joissa paikallinen teollisuus, suunnittelu, kunnossapito, automaatio, prosessiosaaminen ja energiainfrastruktuuri kytkeytyvät toisiinsa.

VTT mukaan hiilidioksidin hyötykäyttö korkean jalostusarvon tuotteissa edellyttää vähäpäästöistä sähköä, vetyä, logistiikkaa, suuria investointeja ja tapauskohtaista vaikutusten arviointia. Alueellinen kilpailukyky ei siten synny vain uusiutuvan sähkön tai vedyn tuotantopotentialista, vaan siitä, pystytäänkö vetyä yhdistämään CO₂-talteenottoon, teollisiin käyttökohteisiin, jatkojalosteisiin ja vientikelpoiseen osaamiseen.

Suurin teollinen uudistusvaikutus syntyy, jos alue ei jää peläksi sähkön tai vedyn tuotantopaikaksi, vaan kehittää jatkojalosteita, teknologiapalveluja, kunnossapitoa, suunnittelua, automaatiota ja teollisia integraatioita. Varkaus–Kuopio-akselilla tähän on muita alueita vahvemmat lähtökohdat, koska alueella on teollisia toimijoita, CO₂-lähteitä, energiainfrastruktuuria ja potentiaalisia jatkojalostuksen kytkentöjä. Pieksämäen teollinen uudistusrooli edellyttäisi uusia käyttö- tai jalostuskohteita sähkö- ja logistiikka-aseman lisäksi.

Kokonaisuutena vety- ja PtX-hankkeiden vaikutuksia tulee arvioida arvoketjuittain. Keskeistä on erottaa toisistaan vedyn tuotanto, vedyn käyttö, jatkojalostus, sivuvirtojen hyödyntäminen, teknologiapalvelut, infrastruktuuri ja alueelle jäävä taloudellinen hyöty.

6 Riskit ja epävarmuudet

6.1 Sähkön hinta, saatavuus ja käyttöaika

Vedyntuotanto ja sähköpolttoaineet ovat erittäin sähköintensiivisiä, ja sähkön kustannus on keskeinen tuotantokustannusten ajuri. Suurin riski on, että sähkön hinta, käyttöaika ja verkkomaksut eivät mahdollista kilpailukykyistä vedyn tuotantokustannusta. Vaihtelevalla uusiutuvalla sähköllä ajettava elektrolyysi voi hyötyä matalan hinnan tunneista, mutta liian matala käyttöaika heikentää investoinnin kannattavuutta. Tasaisempi käyttö vaatii sopimuksia, verkkoa ja mahdollisesti muita sähkönhankintalähteitä.

6.2 Sähköverkon ja mahdollisen vetyinfrastruktuurin epävarmuudet

Pohjois-Savon nykyinen siirtoverkko ei riitä kaikilla alueilla, jos uusiutuvan energian potentiaalia hyödynnetään laajasti. Gasgridin vetyverkkokehitys etenee kansallisena kokonaisuutena, mutta alueelliset reitit ja aikataulut eivät ole automaattisia.

Verkkoriski koskee sekä sähkön tuotantoa että kulutusta. Vetyinvestointi voi viivästyä tai jäädä toteutumatta, jos liityntäkapasiteettia ei ole oikeassa paikassa, verkkovahvistus viivästyy tai kustannukset nousevat. Vetyputken osalta riski on volyymiperusteinen: ilman riittävää tuotantoa ja kysyntää runkoinfra ei ole perusteltu.

6.3 Kysyntä-, markkina- ja off-take-riskit

IEA:n mukaan vähäpäästöisen vedyn käyttöönotto on maailmanlaajuisesti jäljessä tavoitteista muun muassa korkean kustannustason, epävarman kysynnän, sääntelyn ja infrastruktuurin takia. TEM:n selvityksen mukaan teollisuudessa ei nykyisellään ole riittäviä kannusteita RFNBO-tuotteiden käyttöönotolle, jos edullisempia päästövähennyskeinoja on tarjolla.

Pohjois-Savon ja Pieksämäen vetyinvestointien keskeisin kaupallinen riski on ostajan puute. Vetyä ei kannata tuottaa vain tarjontaperusteisesti. Jatkojalosteet voivat laajentaa markkinaa, mutta e-metaanin, e-metanolin, ammoniakkin ja synteettisten polttoaineiden markkinat edellyttävät laadun, sertifiointin, hinnan, logistiikan ja pitkäaikaisen kysynnän varmistamista. Julkisesti varmennettuja off-take-sopimuksia tarkastelualueen vety- tai PtX-tuotteille ei ole käytettävissä.

6.4 Sääntely, RFNBO-vaatimukset ja tukipolitiikan epävarmuudet

RED III:n teollisuuden RFNBO-tavoitteet ovat 42 prosenttia vuoteen 2030 mennessä ja 60 prosenttia vuoteen 2035 mennessä. EU:n uusiutuvan vedyn sääntelyyn kuuluu vaatimuksia sähkön uusiutuvuudesta sekä ajallisesta ja maantieteellisestä yhteydestä, kun vedyn RFNBO-kelpoisuutta osoitetaan.

Sääntely voi luoda kysyntää RFNBO-tuotteille, mutta samalla se voi rajata hyväksyttäviä sähkönhankintamalleja. Tukipolitiikan epävarmuus vaikuttaa erityisesti varhaisiin investointeihin, joiden kustannustaso on vielä korkea. Alueen toimijoille keskeistä on varmistaa jo suunnitteluvaiheessa, täyttääkö sähköntuotanto ja sopimusmalli RFNBO-vaatimukset. Kansallisen toimeenpanon yksityiskohdat, tukitasot ja toimialakohtaiset velvoitteet voivat muuttua. Tämä rajoittaa investointipäätösten ennakoitavuutta.

6.5 Teknologia-, investointi- ja kustannusriskit

Alkalinen ja PEM-elektrolyysi ovat teknisesti kypsyneitä, mutta niiden kustannukset, joustavuus, käyttöikä ja materiaalitarteet eroavat toisistaan. JRC:n mukaan teknologia kehittyy, mutta suuret hankkeet edellyttävät edelleen arvoketjun ja markkinan kypsymistä.

Teknologiariski ei rajoitu elektrolyysiin. Se koskee myös kompressoreita, varastoja, vedenpuhdistusta, sähköliityntää, automaatiota, hukkalämmön talteenottoa, CO₂-talteenottoa ja synteesiprosesseja. Investoinnin kustannusriski korostuu alueilla, joilla uusi verkko, putket, lämpölinjat tai vesijärjestelyt kasvattavat hankkeen ulkopuolisia kustannuksia. Laitetoimittajien tarjoukset, EPC-kustannukset, käyttö- ja kunnossapitokustannukset sekä rahoitusehdot muuttuvat ja ovat hyvin tapauskohtaisia.

6.6 Ympäristö-, turvallisuus- ja hyväksyttävyyseriskit

Vetyputkiston rakentaminen vaatii Tukesin luvan, ja lupahakemuksessa on arvioitava muun muassa ympäristövaikutukset, onnettomuusriskit ja räjähdysvaarat. Hyväksyttävyyseriski voi syntyä, jos paikallinen hyöty koetaan vähäiseksi suhteessa maisema-, verkko-, putki-, liikenne-, vesistö- tai turvallisuusvaikutuksiin. Pohjois-Savossa tuulivoiman ilmalvalvontaan liittyvät rajoitteet ja itäisen Suomen maantieteelliset erityispiirteet lisäävät epävarmuutta. Pieksämäellä tuulivoimakohdeiden eteneminen vaihtelee kohteittain, mikä osoittaa, että maankäyttö- ja hyväksyttävyyseriskit ovat todellisia. Riskitasoa ei voida arvioida ilman sijaintia, mitoitus, varastointimäärää, kuljetusratkaisua ja pelastusviranomaisen sekä Tukesin tarkentavia vaatimuksia.

7 Johtopäätökset

7.1 Keskeiset havainnot

Pohjois-Savossa ja Pieksämäellä on tunnistettu uusiutuvan sähkön, kantaverkon, CO₂-lähteiden, kaukolämpöverkkojen ja teollisen rakenteen muodostamia edellytyksiä vedyntuotannolle ja Power-to-X-jatkojalostukselle. Alueellinen potentiaali ei kuitenkaan muodosta yhtä yhtenäistä vetykeskittymää, vaan rakentuu useista erillisistä solmuista, joiden vahvuudet ja rajoitteet poikkeavat toisistaan.

Raportin perusteella realistisin kehityskuva on usean solmun malli. Siinä pohjoinen vyöhyke kytkeytyy biokaasu-, biojalostus- ja uusiutuvan sähkön mahdollisuuksiin, Kuopio CO₂-lähteisiin, kaukolämpöverkkoon ja sektori-integraatioon, Varkaus teolliseen bio-CO₂-pohjaan ja jatkojalostuksen edellytyksiin sekä Pieksämäki sähkö- ja logistiikkasolmun rooliin ja

Varkauden suunnan arvoketjuihin. Tämä malli vastaa paremmin alueen todellisia lähtökohtia kuin oletus yhdestä suuresta vetykeskittymästä.

Kuopion Sorsasalons eSAF-laitoshanke ja Iisalmen Soinlahden Flying Forest -hanke osoittavat, että alueella on jo julkisesti tunnistettuja uusiutuvien polttoaineiden ja PtX-arvoketjuihin liittyviä hankeaihoita. Niitä ei kuitenkaan tule tulkita toteutuneeksi vetytalouden tuotantokannaksi. Sorsasalons hanke konkretisoi Kuopion roolia CO₂-pohjaisen PtX-jatkojalostuksen ja hukkalämmön hyödyntämisen sijaintina, kun taas Flying Forest vahvistaa Iisalmen suunnan bio- ja SAF-arvoketjun kehitysnäkymää. Molempien vaikutukset riippuvat luvituksesta, investointipäätöksistä, sähkön ja syötteiden saatavuudesta, ostosopimuksista, rahoituksesta ja toteutuvasta teknisestä mitoituksista.

Kaupallinen toteutuminen edellyttää, että sähkö, verkkoliityntä, off-take-sopimukset, bio-CO₂ tai muu hiilipohjainen syöte, lämpökysyntä, logistiikka, kaavoitus ja lupamenettelyt kohtaavat samassa sijaintikokonaisuudessa. Tekninen potentiaali ei yksin tarkoita investointikelpoisuutta. Päätöksenteossa on siksi erotettava toisistaan tekninen tuotantopotentiaali, maankäytöllinen ja luvituksellinen potentiaali, sähköverkon mahdollistama potentiaali, kysyntäperusteinen potentiaali ja kaupallisesti toteuttamiskelpoinen potentiaali.

7.2 Realistisimmat kehityssuunnat

Pohjois-Savon ja Pieksämäen realistisimmat kehityssuunnat:

1. CO₂-pohjaiset PtX-konseptit Kuopion ja Varkauden lähteiden ympärillä.
Kuopion ja Varkauden CO₂-lähteet muodostavat tarkastelualueen vahvimman perustan e-metaanin, e-metanolin, synteettisten polttoaineiden ja muiden hiilipohjaisten PtX-tuotteiden jatkotarkastelulle. Kuopiossa Sorsasalons eSAF-laitoshanke on julkisesti vireillä oleva esimerkki tästä kehityssuunnasta. Varkauden vahvuus perustuu erityisesti merkittävään biogeenisen CO₂ lähteeseen ja teolliseen toimintaympäristöön. Toteutuminen edellyttää CO₂-talteenoton teknistä ja taloudellista toteutettavuutta, kilpailukykyistä sähköä, sähköverkkoliityntää, lopputuotteen markkinaa ja luvituksen etenemistä.
2. Pohjoisen vyöhykkeen bio-, biokaasu- ja SAF-arvoketjut.
Iisalmen, Kiuruveden, Sonkajärven ja Lapinlahden suunnalla kehityspotentiaali liittyy uusiutuvaan sähköön, biokaasuun, biomassapohjaisiin syötteisiin ja mahdollisiin uusiutuvien polttoaineiden arvoketjuihin. Flying Forestin Soinlahden hanke tukee tätä tulkintaa, mutta sitä ei tule käsitellä varmistettuna elektrolyysivetyyn perustuvana e-metanoli- tai eSAF-hankkeena ilman tarkempaa hankeaineistoa. Pohjoisen vyöhykkeen jatkotarkastelussa on erotettava biomassapohjaiset polttoainekonseptit ja elektrolyysivetyyn perustuvat PtX-konseptit toisistaan.
3. Varkaus–Huutokoski–Pieksämäki-vyöhykkeen sähkö-, rautatie- ja CO₂-pohjainen jatkotarkastelu.
Pieksämäen realistisin rooli ei ole julkisen aineiston perusteella itsenäinen täyden arvoketjun vetykeskittymä, vaan sähköntuotannon, sähköliityntöjen, rautatieyhteyksien ja Varkauden suunnan teollisten virtojen yhdistäjä. Rooli vahvistuu, jos Varkauden ja Leppävirran CO₂-lähteet, Pieksämäen uusiutuva sähköntuotanto, Huutokosken kantaverkkosolmu ja rautatiekuljetukset voidaan kytkeä samaan arvoketjuun.

4. Hukkalämpöön ja sektori-integraatioon tukeutuvat elektrolyysi- ja PtX-konseptit. Kuopio, Varkaus ja Iisalmi ovat hukkalämmön hyödyntämisen kannalta kiinnostavimpia sijainteja, koska niissä on suurempia lämpökuormia ja kaukolämpöverkkoja. Hukkalämpö voi parantaa hankkeen kokonaisenergiatehokkuutta ja alueellista hyväksyttävyyttä, mutta se ei yksin ratkaise investoinnin kannattavuutta. Hyödyntäminen edellyttää vastaanottavaa lämpöverkkoa, teknisesti sopivaa lämpötilatasoa, lämpöpumppuratkaisua, sopimusmallia ja investointivastuiden määrittelyä.
5. Teollisen uudistumisen ja paikallisen arvoketjun kehittäminen. Suurin alueellinen hyöty syntyy, jos alue ei jää pelkäksi sähkön tai vedyn tuotantopaikaksi, vaan pystyy kehittämään jatkojalosteita, teknologiapalveluja, kunnossapitoa, suunnittelua, automaatiota, turvallisuusosaamista ja teollisia integraatioita. Ilman paikallista arvoketjua suuri investointi voi tuottaa rajallisen pysyvän työllisyys- ja aluetaloudellisen vaikutuksen.

Kehityssuuntia ei voida asettaa investointijärjestykseen ilman tarkkoja kohdekohtaisia laskelmia. VolagHy ja Flying Forest vahvistavat, että Pohjois-Savossa on tunnistettavia teollisia avauksia, mutta molempien vaikutukset riippuvat investointipäätöksistä, luvituksesta, sähkö- ja syöteratkaisuista, ostosopimuksista sekä hankkeiden toteutuvasta teknisestä mitoituksista.

7.3 Alueellisesti kriittisimmät edellytykset

Vedyntuotannon ja Power-to-X-jatkojalostuksen eteneminen Pohjois-Savossa ja Pieksämäellä edellyttää useiden reunaehtojen samanaikaista täyttymistä. Kriittisimmät edellytykset ovat:

1. riittävä ja kustannuskilpailukykyinen uusiutuva sähkö,
2. varmistettu sähköverkon liityntä ja tarvittavat verkkovahvistukset,
3. pitkäaikainen sähkönhankinta- ja off-take-sopimus,
4. CO₂ tai muun hiilipohjaisen syötteen talteenoton ja saatavuuden varmistaminen,
5. vedenoton, jäähdytyksen ja vesistövaikutusten hyväksyttävyys,
6. hukkalämmön todellinen vastaanottaja ja kannattava investointimalli,
7. kaavallinen ja turvallisuustekninen soveltuvuus,
8. paikallinen hyväksyttävyys ja osaaajapohja,
9. hankkeiden julkisen statuksen, investointipäätösten ja toteutusaikataulujen varmentaminen.

Näistä tiedoista vain osa on todennettavissa nykyisestä julkisesta aineistosta. Siksi jatkotarkastelussa ei tule arvioida pelkästään tuotantomääriä tai teknistä potentiaalia, vaan myös hankkeiden toteutusvalmiutta, sopimusperustaa ja kaupallista rahoitettavuutta.

Alue- ja kuntatalouden näkökulmasta keskeistä on, kuinka suuri osa investoinnin suunnittelusta, rakentamisesta, kunnossapidosta, palveluista ja käyttövaiheen työpaikoista sijoittuu Pohjois-Savoon tai Pieksämäelle. Suuri investointisumma ei automaattisesti tarkoita

suurta pysyvää henkilöstötarvetta tai merkittävää paikallista arvonlisää. Kuntatalouden varmin hyöty syntyy tyypillisesti kiinteistöverosta, mutta kunnallisveron, yhteisöveron ja paikallisten hankintojen vaikutukset edellyttävät hankekohtaista laskentaa.

7.4 Keskeiset riskit ja epävarmuudet

Suurimmat riskit liittyvät sähkön hintaan ja käyttöaikaan, verkkoliityntöjen epävarmuuteen, off-take-kysynnän puutteeseen, RFNBO-säätelyn ja tukipolitiikan muutoksiin, CO₂-talteenoton kustannuksiin, vetyinfrastruktuurin puuttumiseen, vedenotto- ja jäähdytysvaikutuksiin, ympäristö- ja turvallisuusvaikutuksiin sekä paikalliseen hyväksyttävyyteen. Lisäksi riskinä on, että julkisesti tunnistetut hankeaihiot eivät etene investointipäätökseen tai niiden tekninen toteutustapa muuttuu jatkosuunnittelussa. Keskeiset riskit, vaikutukset ja jatkoselvitystarpeet on koottu taulukkoon 5.

Taulukko 5. Keskeiset riskit, vaikutukset ja jatkoselvitystarpeet

Teema	Mahdollinen vaikutus	Keskeinen riski	Jatkoselvitystarve
Uusiutuva sähkö	Mahdollistaa RFNBO-vedyn tuotannon.	Hinta, käyttöaika ja PPA-ehtojen epävarmuus.	Tuntitason sähkönhankinta- ja käyttöprofiilimallinnus.
Sähköverkko	Mahdollistaa tuotannon ja kulutuksen sijoittumisen.	Liityntäkapasiteetti ei ole käytettävissä oikeassa paikassa tai aikataulussa.	Fingridin ja verkkoyhtiöiden kohdekohtaiset liittymisselvitykset.
CO₂-lähteet	Mahdollistavat e-metaanin, e-metanolin ja synteettiset polttoaineet.	Talteenoton kustannus, laatu ja sopimuksellinen saatavuus.	Lähdekohtaiset CO ₂ -talteenotto- ja logistiikkaselvitykset.
Vesi ja jäähdytys	Välttämätön prosessille ja turvalliselle toiminnalle.	Vesistövaikutukset, veden laatu, lämpökuorma ja lupatarve.	Vesitase, jäähdytysvaihtoehdot ja vesilupatarpeen arviointi.
Hukkalämpö	Voi korvata muuta lämmöntuotantoa ja parantaa kokonaishyötyä.	Lämpötila, etäisyys, kausivaihtelu ja investointivastuut.	Kaukolämpö- ja lämpöpumppuinvestointien kohdekohtainen arviointi.
Happi	Voi tuottaa lisäarvoa teollisuudessa tai vesihuollossa.	Paikallinen kysyntä jää pieneksi suhteessa tuotantoon.	Hapen käyttäjäkartoitus ja laatuvaatimukset.
Off-take	Muuttaa teknisen tuotannon kaupalliseksi.	Ostajaa ei ole tai hinta ei kata kustannuksia.	Vedyn ja jatkojalosteiden markkina- ja sopimuskartoitus.
Luvitus ja turvallisuus	Määrittää toteutettavuuden ja hyväksyttävyyden.	YVA-, kemikaali-, vesi- tai kaavaprosessit viivästyvät.	Varhainen viranomaisneuvottelu ja turvallisuuskonseptit.
Aluetalous	Voi lisätä investointeja, osaamista ja veropohjaa.	Hyödyt valuvat alueen ulkopuolelle.	Aluetaloudellinen vaikutusmalli hankekohtaisilla oletuksilla.

Fraunhofer IKTS. thyssenkrupp nucera and Fraunhofer IKTS: Strategic partnership in SOEC technology. Linkki:

https://www.ikts.fraunhofer.de/en/industrial_solutions/strategic_partnership_SOEC_technology.html

Gasgrid Finland. Suomen kansallinen vedynsiirtoverkko. Linkki:

<https://gasgrid.fi/vetykehitys/suomen-kansallinen-vedysiirtoverkko/>

IEA. 2025. Global Hydrogen Review 2025. Executive summary. Linkki:

<https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2025/executive-summary>

Iisalmen kaupunki. Flying Forest julkistaa urauurtavan hankkeen Iisalmissa: Flying Forest Ltd. on varannut alueen Iisalmen Soinlahdesta uusiutuvan lentopolttoaineen hankkeelle.

Linkki: <https://iisalmi.fi/flying-forest-julkistaa-urauurtavan-hankkeen-iisalmissa-flying-forest-ltd-on-varannut-alueen-iisalmen-soinlahdesta-uusiutuvan-lentopolttoaineen-hankkeelle/>

Karjunen, Hannu; Sikiö, Päivi; Lassila, Jukka; Räisänen, Otto; Hyypiä, Jaakko; Salmelin, Markus; Tynjälä, Tero; Kivimaa, Aleks; Silvast, Antti; Kojo, Matti; Inkeri, Eero; Laaksonen, Petteri. 2024. Pohjois-Savon vetylaakso selvitys. LUT Scientific and Expertise Publications, Tutkimusraportit 166. Linkki: <https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/168011/Pohjois-Savon-Vetylaakso selvitys.pdf?sequence=1>

Lappeenrannan kaupunki / Ramboll Finland Oy. 2024. Vety- ja Power-to-X-hankkeet kaavoittajan ja hanketoimijan käsikirja. Linkki:

https://greenreality.loopy.fi/sites/default/files/2024-06/Kaavoittajan_kasikirja.pdf

Lupa- ja valvontavirasto. 2026. Uusiutuvan energian hankkeet. Linkki:

<https://lvv.fi/ymparisto/uusiutuvan-energian-hankkeet>

Lupa- ja valvontavirasto. 2026. Yhden luukun palvelu ympäristöasioissa. Linkki:

<https://lvv.fi/ymparisto/yhden-luukun-palvelu>

Navitas Kehitys. 2025. Pohjois-Savossa ja Pieksämäellä hyvät valmiudet vihreän vedyn tuotantoon ja jatkojalostukseen. Linkki: <https://navitas.fi/ajankohtaista/425>

Navitas Kehitys Oy / Wega Group. 2024. Vetyselitys Pohjois-Savon ja Pieksämäen alueille. Vetyselitykset 1, 2 ja 3. Linkki: <https://navitas.fi/pohjoissavonenergiamaisterplan>

Pieksämäen kaupunki. Niinimäen tuulivoimahanke. Linkki:

<https://www.pieksamaki.fi/tyontekijat-ja-yrietykset/niinimaen-tuulivoimahanke/>

Pieksämäen kaupunki. Sarvikankaan tuulivoimahankkeen osayleiskaava. Linkki:

<https://www.pieksamaki.fi/yleiskaava-sarvikankaan-tuulivoimahankkeen-osayleiskaava/>

Ramboll / Oriveden kaupunki. 2025. Opas vihreän siirtymän hankkeiden ylijäämälämmön hyödyntämiseen. Linkki: https://orivesi.fi/wp-content/uploads/2025/11/Julkinen-Loppuraportti-Vihrean-siirtymän-hankkeiden-ylijaamalampojen-hyodyntamisesta_Oriveden-Kaupunki-2025.pdf

Räisänen, Otto; Karjunen, Hannu; Sikiö, Päivi; Lassila, Jukka; Hyypiä, Jaakko; Salmelin, Markus; Tynjälä, Tero; Kivimaa, Aleks; Silvast, Antti; Kojo, Matti; Inkeri, Eero; Laaksonen, Petteri. 2024. Etelä-Savon vetylaakso selvitys. LUT Scientific and Expertise Publications, Tutkimusraportit 170. Linkki:

https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/168443/Etel%C3%A4-Savon-Vetylaakso selvitys_final.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Tesi. 2025. Teollisen mittakaavan hankkeet Suomessa. Linkki: <https://tesi.fi/wp-content/uploads/2025/10/Teollisen-mittakaavan-hankkeet-2025-final.pdf>

Verohallinto. Näin maapohjan verotusarvo lasketaan. Linkki:

<https://www.vero.fi/henkiloasiakkaat/omaisuus/kiinteistovero/kiinteiston-arvo-ja-kiinteistoveroprosentit/maapohja/>

VTT. 2024. Selvitys hiilidioksidin talteenoton ja hyötykäytön kansallisesta ilmasto- ja talouspotentiaalista. Linkki: https://teknologiateollisuus.fi/wp-content/uploads/2024/09/VTT-projektiraportti_Selvitys-hiilidioksidin-talteenoton-ja-hyotykayton-potentiaalista.pdf

VTT / Bioenergia ry. 2024. Outlook of CO₂ logistics in Finland for CCUS. Public Summary Report. Linkki: [https://www.bioenergia.fi/wp-content/uploads/2024/10/PUBLIC-SUMMARY-REPORT-CO₂-LOGISTICS_Bioenergy-VTT-04-10-2024.pdf](https://www.bioenergia.fi/wp-content/uploads/2024/10/PUBLIC-SUMMARY-REPORT-CO2-LOGISTICS_Bioenergy-VTT-04-10-2024.pdf)

Wega Group / alueelliset toimijat. 2025. Vetyselvytys Pohjois-Savon ja Pieksämäen alueille. Tiivistelmä. Linkki: https://www.pohjois-savo.fi/media/4-maakuntakaavat-ja-liikenne/valmisteilla-olevat-maakuntakaavat/kaavaselvitykset/vetyselvytys-pohjois-savon-ja-pieksamaen-alueille_tiivistelma.pdf

Ympäristöhallinto. 2025. Korninsuon tuulivoimahanke, Pieksämäki. Linkki: <https://www.ymparisto.fi/fi/osallistu-ja-vaikuta/ymparistovaikutusten-arviointi/korninsuon-tuulivoimahanke-pieksamaki>

Ympäristöhallinto. 2025. Korninsuon tuulivoimahanke, Pieksämäki. Linkki:

<https://www.ymparisto.fi/fi/osallistu-ja-vaikuta/ymparistovaikutusten-arviointi/korninsuon-tuulivoimahanke-pieksamaki>

Ympäristöhallinto. Kuopion Sorsasalons eSAF-laitoshanke. Linkki:

<https://www.ymparisto.fi/fi/osallistu-ja-vaikuta/ymparistovaikutusten-arviointi/kuopion-sorsasalons-esaf-laitoshanke>

Ympäristöministeriö. 2024. Puhtaan siirtymän sijoittamislupa vauhdittaa fossiilienergiasta irtautumista. Linkki: <https://ym.fi/-/puhtaan-siirtymän-sijoittamislupa-vauhdittaa-fossiilienergiasta-irtautumista>

<https://ym.fi/-/puhtaan-siirtymän-sijoittamislupa-vauhdittaa-fossiilienergiasta-irtautumista>

Ympäristöministeriö. Rakentamislaki. Linkki: <https://ym.fi/rakentamislaki/>