SWECO
Transforming society together

Hiilidioksidin siirron esiselvitys

1.5.2025

DIGIPOLIS

Agenda

1	Johdanto	3
2	Siirtomahdollisuudet; putkisto-, maantie-, ja junakuljetus	5
3	Hiilidioksidin nesteytys ja välivarastointi	10
4	SWOT-analyysi ja CO2 putkisto-, maantie- ja rautatiekuljetukselle	13
5	Kuljetustapojen tarkastelu	21
6	Katsaus luvitukseen ja alustava riskiarvio	31
7	Alustava suuruusluokka-arvio	35
8	Yhteenveto ja ehdotukset seuraavista toimenpiteistä	40
9	Lähteet ja liitteet	44

1 Johdanto

Johdanto

Tämä raportti on laadittu Kemin Digipolis Oy:lle. Raportissa arvioidaan alustavasti mahdollisuuksia hiilidioksidin (CO_2) kuljettamiseen Metsä Groupin Kemin biotuotetehtaalta Ajokseen, Veitsiluotoon, Kemi East-alueelle sekä Karsikkoon. Selvityksessä hyödynnetään asiakkaalta saatuja lähtötietoja, kirjallisuutta sekä Sweco Finland Oy:n omaa sisäistä tietoa ja kokemusta aiheeseen liittyen.

Aluksi selvityksessä tarkastellaan kolmea CO_2:lle sopivaa kuljetusmenetelmää: rautatie- ja maantiekuljetusta sekä putkisiirtoa. Rautatie-, ja maantiekuljetuksessa CO_2 on nestemäisessä muodossa, putkisiirrossa se kuljetetaan paineistettuna kaasuna. Näille kuljetusmuodoille suoritetaan vertaileva SWOT-analyysi.

Selvityksen seuraavassa vaiheessa tarkastellaan alustavaa putkiston sijoittumista ja mitoitusta biotuotetehtaalta Ajokseen, Veitsiluotoon, Kemi East-alueelle ja Karsikkoon, sekä maantie- ja junakuljetuksen vaikutusta muuhun liikenteeseen CO_2:n kuljetusmäärien osalta. Kuljetusmäärien vertailu tehdään kolmelle siirtokapasiteetille. Lisäksi arvioidaan kahdelle putkistoreitin konseptille kustannuksen suuruusluokka-arvio, kun siirtokapasiteetti on 500 000 tCO_2/a, sekä konseptien alustavat tilantarvearviot CO_2:n välivarastoinnille ja nesteytykselle.

Selvityksen kolmannessa vaiheessa tutkitaan tarvittavia lupa-asioita, lupamenettelyjä, turvallisuutta ja riskiarviointia eri kuljetusmuodoille alustavalla tasolla. Viimeisessä osiossa käsitellään selvityksen tärkeimmät tulokset sekä esitetään ehdotuksia seuraavista jatkotoimenpiteistä.

© 2024, Kemin kaupungin kuvapankki

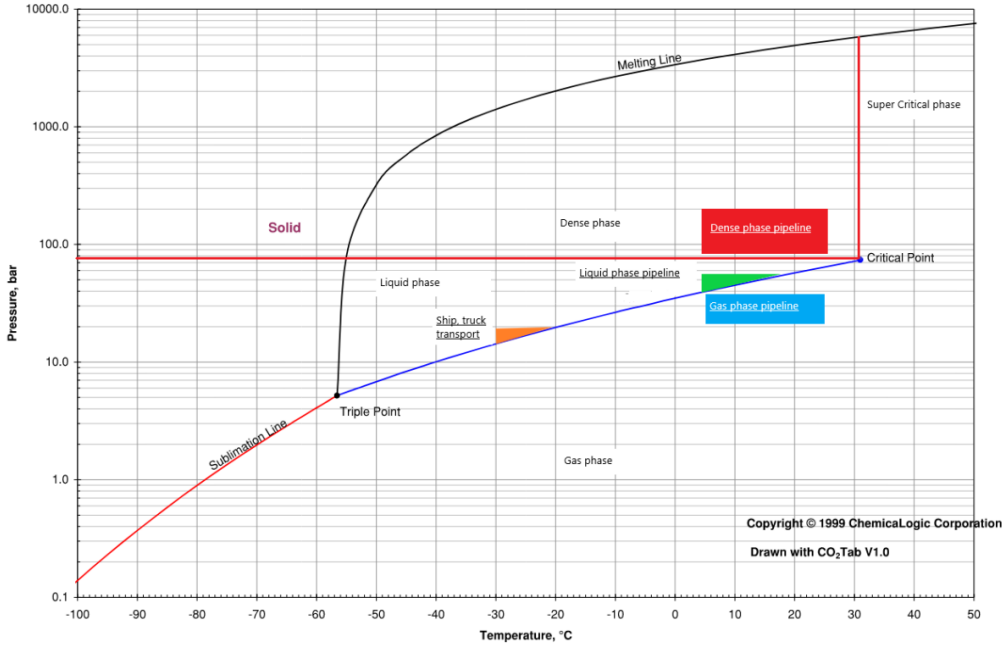
2 Siirtomahdollisuudet; putkisto-, maantie-, ja junakuljetus

Katsaus kuljetusmenetelmistä - Putkistokuljetus

CO_2:n kuljettaminen putkistoa pitkin paineistettuna kaasuna on vakiintunut menetelmä erityisesti suurissa teollisuuslaitoksissa, joilta CO_2:a on siirrettävä suuria määriä paikasta toiseen. Kaasun enimmäispaine on noin 40 bar lämpötilan ollessa n. 20 °C, ja se on yleensä paineistettuna putkistossa tapahtuvan tehokkaan virtauksen aikaansaamiseksi. Sen lisäksi CO_2:a voidaan kuljettaa nestemäisessä, tai ”dense phase”- muodossa.

Dense phase –muodossa ollessaan CO_2 on paineessa joka on korkeampi kuin sen kriittinen paine (n. 70 bara), mutta lämpötilaltaan alhaisempi kuin sen kriittinen lämpötila, (31 °C). Tällöin sen tiheys on myös korkeampi, kuin paineistetulla kaasulla. Tämä on etu esimerkiksi pitkäaikaisen varastoinnin kannalta.

Korkean painetason vuoksi se soveltuu paremmin käytettäväksi kuitenkin harvaan asutuilla alueilla, sekä tuhansien kilometrien pitkillä kuljetusmatkoilla, kun CO_2 on tarkoitus varastoida pitkäaikaisesti joko maaperään tyhjentyneisiin öljy- ja kaasukenttiin tai merenpohjan kerrostumiin (Wang, H. et al, 2019, s. 2. ZEP, 2023 s. 19-21). CO_2:a kuljetettaessa korostuu prosessiolosuhteiden hallinta olomuodon vaihtelun, sekä turhan putken rakenteiden rasittamisen välttämiseksi. Hiilidioksidin faasidiagrammi on esitetty kuvassa 1.



Kuva 1. Hiilidioksidin faasidiagrammi (Danish Energy Agency, 2024. s. 97)

Katsaus kuljetusmenetelmistä - Putkistokuljetus

CO_2-siirtoputken asennus maakaivantoon on esitetty kuvassa 2. Tyypillisesti putki asennetaan vähintään yhden metrin peitesyvyyteen. Vesistöön asennettaessa vesistön syvyys vaikuttaa putken peitesyvyyden valintaan.

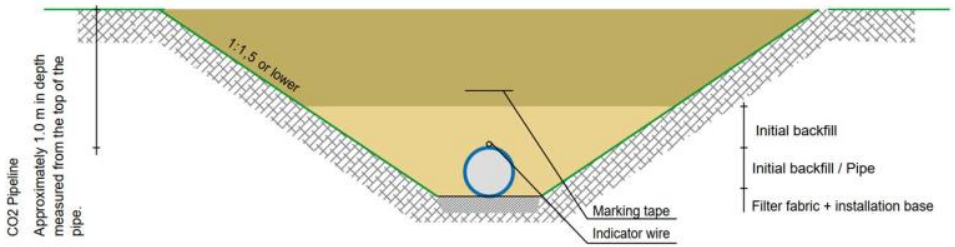
Kaivannon syvyys voi vaihdella kohteesta riippuen noin 1,5-2 metrin välillä. Kaivantoon tehdään tarvittavat pohjatyöt, ja putki hitsataan yhtenäiseksi ennen asennusta. Kaivanto täytetään ensin alkutäyttökerroksella ja sen jälkeen lopputäytöllä. Täytössä käytetään hiekkaa, soraa tai hienorakeista mursketta.

Hiilidioksidin tai vedyn siirtoputkistojen osalta ei ole toistaiseksi vielä omaa erityislainsäädäntöä, jossa otettaisiin kantaa siirtoputkistojen välisiin keskinäisiin etäisyyksiin samassa kaivannossa.

Maakaasun siirtoputkistojen osalta maakaasuasetuksessa (VNa 551/2009 liite I, kohta 3.3.3) on seuraava määräys, jota voisi alustavassa suunnittelussa soveltaa kaivantojen suunnitteluun:

”Rinnakkaisten siirtoputkilinjojen välinen vapaaetäisyys tulee olla vähintään 7 metriä.”

Tukes luvittaa vaarallisten kemikaalien siirtoputkistot, kuten esimerkiksi vedyn siirtoputkistot. Hiilidioksidi ei sen sijaan ole kemikaaliturvallisuuslainsäädännössä vaarallinen kemikaali, joten Tukes ei luvita hiilidioksidin siirtoputkistoja.



Kuva 2. Tyyppikuva CO_2-putkilinjan maakaivannosta

Katsaus kuljetusmenetelmistä - maantiekuljetus

CO_2:a kuljetetaan tyypillisesti maanteitse nestemäisessä muodossa säiliöautoissa. Kuljetusmuoto sopii erityisesti pienemmille kapasiteeteille sekä laivakuljetusten avustamisessa, kun ne toimittavat CO_2:a satamien ja teollisuuslaitosten välillä.

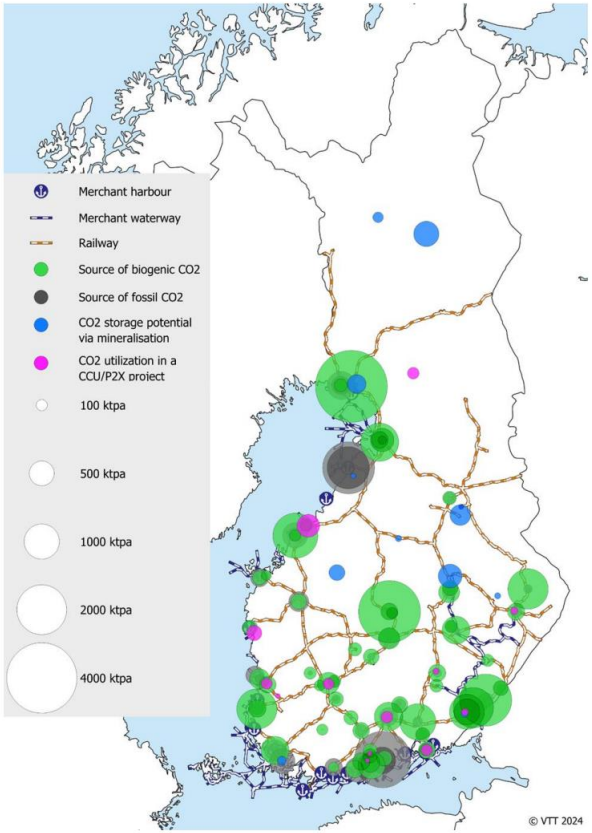
Nestemäistä CO_2:a kuljetetaan paineessa 15-18 bara, ja lämpötilassa - 25 - -30 °C (kuva 1). Säiliöt ovat myös eristettyjä, jotta kuljetuksen aikana voidaan ylläpitää alhaisia lämpötiloja. Nesteytysyksikön lisäksi nestemäisen CO_2:n kuljettaminen vaatii kuorma-autoille lastaus- ja purkupaikat CO_2:n vastaanottoa varten. Kuljetuskapasiteetista riippuen voidaan tarvita lisäksi välivarastointimahdollisuus, jolla pystytään varmistamaan CO_2:n tarjonnan ja teollisuuslaitosten kysynnän kohtaaminen. Samoin hiilidioksidin puskurointikapasiteettia saatetaan tarvita, kun siirrytään kuljetustavasta toiseen esimerkiksi satamissa.

Nestemäisessä muodossa kuljetettaessa CO_2:n laatuvaatimukset määräytyvät sovelluksen erityistarpeiden mukaan. Laatuvaatimuksiin vaikuttavat puhtausaste, epäpuhtauksien määrä, sekä CO_2:n olomuoto, ja ne voivatkin vaihdella merkittävästi CO_2:n käyttötarkoituksesta riippuen. Teolliseen käyttöön tarkoitetun CO_2:n kuljettamisessa on tärkeää hallita erityisesti veden (H_2O) ja rikkivedyn (H_2S) pitoisuutta, jolla vältetään kosteuden, kuivajään ja korroosion muodostuminen kuljetussäiliössä.

Katsaus kuljetusmenetelmistä - junakuljetus

CO_2:n kuljettaminen junalla tapahtuu hyvin samankaltaisin menetelmin, mitä maantiekuljetuksessa. Junakuljetus sopii myös pienemmille kapasiteeteille, sekä laivakuljetusten avustamisessa, kun ne toimittavat CO_2:a satamien ja teollisuuslaitosten välillä. Suomessa junakuljetus voi osoittautua hyödylliseksi menetelmäksi kuljettaa CO_2:a, sillä Suomen CO_2:n pistepäästölähteet, kuten erilaiset teollisuuslaitokset, sekä junareitit sijaitsevat lähellä toisiaan, kuten kuvasta 3 on nähtävissä.

Myös junakuljetuksessa CO_2 kuljetetaan eristetyissä säiliöissä, tyypillisesti 15-18 barin paineessa sekä -25 - -30 °C lämpötilassa (kuva 1). Kuten säiliöautoilla kuljetettaessa, myös junakuljetusta varten CO_2 tulee nesteyttää. Lisäksi junasäiliöt vaativat CO_2:n lastaus- ja purkupaikat. Myös tässäkin tapauksessa välivarastointi voi olla kapasiteetin suuruudesta riippuen tarpeen, jotta CO_2:n tarjonnan, ja teollisuuslaitosten tai satamien kysyntä on mahdollista tasapainottaa keskenään. Lisäksi myös junalla kuljetettavan CO_2:n tulee ottaa huomioon CO_2:n puhtausvaatimukset erityisesti H_2O:n pitoisuuden osalta, jolla vältetään kosteuden, kuivajään ja korroosion muodostuminen kuljetussäiliöissä.



Kuva 3. Teollisuuden CO_2-päästöpistelähteet, CO_2:n kysyntä käyttöhankkeissa, mineralisaation varastointimahdollisuudet ja olemassa oleva infrastruktuuri CO_2:n kuljetukselle (VTT, 2024. s. 4).

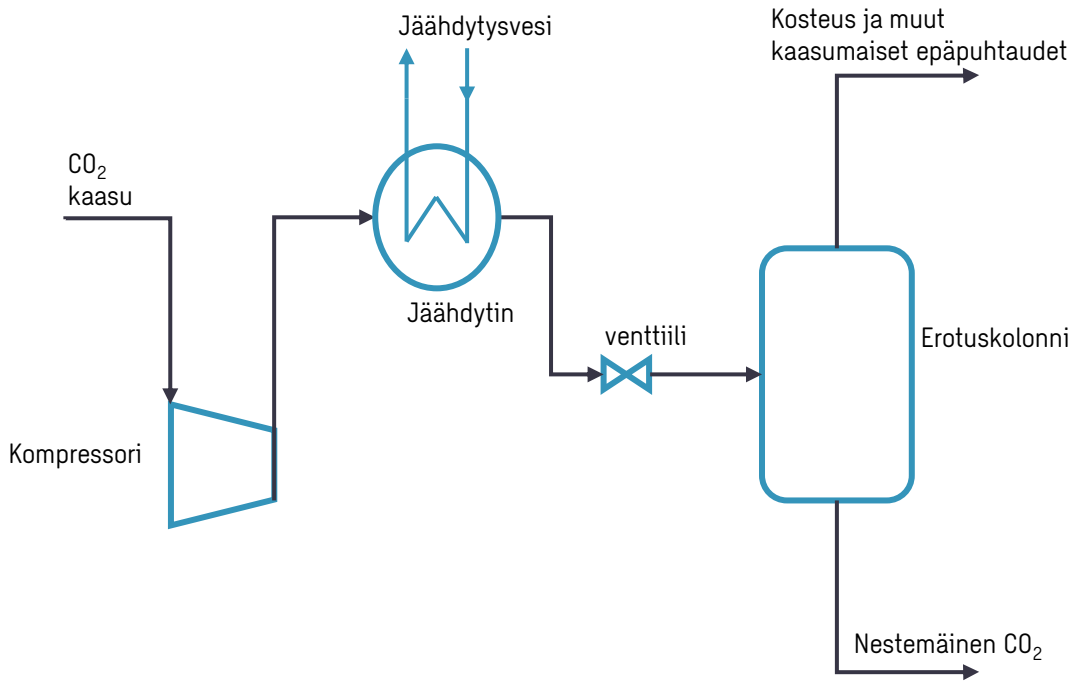
3 Hiilidioksidin nesteytys ja välivarastointi

Hiilidioksidin nesteytys

CO_2:n nesteytysprosessi koostuu useista puristus- ja jäähdytysvaiheista, joiden avulla CO_2-virta nesteytetään välivarastointia tai kuljetusta varten vaadittaviin olosuhteisiin.

Yksinkertaistettu CO_2-nesteytysprosessi on esitetty kuvassa 4. Aluksi CO_2-virta puristetaan ensin haluttuun nesteytyspaineeseen (15-20 bara) ja sen jälkeen nesteytetään jäähdyttämällä lämpötilaan -25 °C - -30 °C. Ennen jäähdytystä CO_2 kuivataan, koska alhaisemmissa lämpötiloissa riski kuivajään muodostumiselle kasvaa.

Vesi ja muut epäpuhtaudet poistetaan tiivistysvaiheessa, jotta epätoivottujen yhdisteiden muodostuminen voidaan estää. Lopputuotteen puhtausvaatimuksista riippuen saattaa olla tarpeen käyttää useita puristus- ja jäähdytysyksiköitä. Nesteytysprosessi kuluttaa pääasiassa sähköä, ja lisäksi tarvitaan jäähdytysveden käyttöä.



Kuva 4. CO_2:n nesteytyksen yksinkertaistettu prosessikaavio

Hiilidioksidin välivarastointi

Välivarastoja käytetään talteen otettujen hiilidioksidipäästöjen varastoimiseen rajoitetuksi ajaksi ennen niiden pysyvää varastointia, siirtoa tai jatkohyödyntämistä. Varastointiaika on tyypillisesti lyhytaikainen, yleensä päivistä viikkoihin. Välivarastot tarjoavat joustavuutta hiilidioksidin hyödyntämisen tai pysyvän varastoinnin siirron aikataulutuksessa, mikä mahdollistaa hiilidioksidin käytön optimoinnin. Tyypillisesti välivarastot ovat pallomaisia, vaakasuoria tai pystysuoria varastoja.

Pallomaiset painevarastot soveltuvat hyvin nestemäisen hiilidioksidin varastoimiseen. Varastointipaine ei yleensä ole kovin korkea, mikä mahdollistaa ohuempien seinien käytön ja tekee niistä taloudellisen vaihtoehdon. Ne ovat yleensä vähemmän kustannustehokkaita kuin sylinterityyppiset varastot johtuen niiden monimutkaisemmasta valmistus- ja rakennusprosessista sekä suuremmasta painosta. Useimmat pallovarastot rakennetaan yleensä paikan päällä, koska ne ovat liian suuria valmistettaviksi ja kuljetettaviksi toimittajalta.

Vaakasuorat ja pystysuorat varastot ovat suhteellisen yksinkertaisia toiminnaltaan ja ne valmistetaan tyypillisesti toimittajalla ja ovat yleensä kohtuuhintaisia. Monet teollisuuden valmistajat tarjoavat myös standardikokoisia välivarastoja.

Huomioitavaa kuitenkin on, että vaakasuunnassa asetetut sylinterityyppiset varastot vaativat enemmän tilaa verrattuna pystysuunnassa asetettuihin tai pallomaisiin varastoihin, mikä voi tehdä suunnittelusta ja asennuksesta haastavaa.

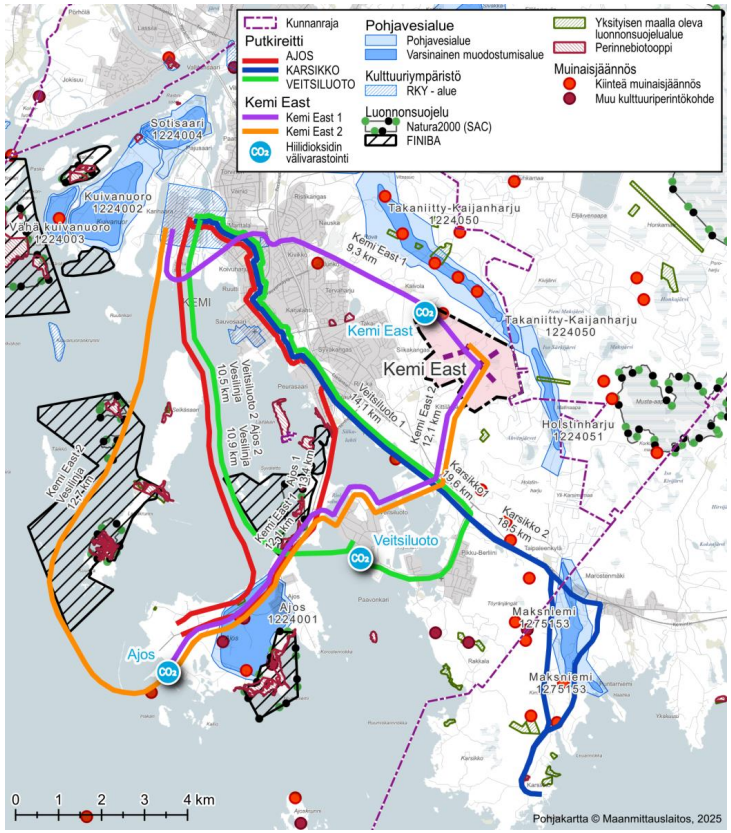
Paineen hallitsemiseksi tietty määrä hiilidioksidia sallitaan haihtua säiliöstä ilmakehään, jota kutsutaan ”Boil-offiksi". Haihtumisnopeus riippuu ulkoisista lämpötiloista. Haihtunut kaasu voidaan palauttaa nesteytykseen paikan päällä jäähdytyslaitteiden avulla, tai se voidaan myös ohjata takaisin laitoksen päänesteytysjärjestelmään, jossa se alun perin nesteytettiin. Aluksella syntynyt CO_2-haihtuminen voidaan myös ohjata takaisin nesteytyslaitteeseen uudelleen nesteyttämistä varten.

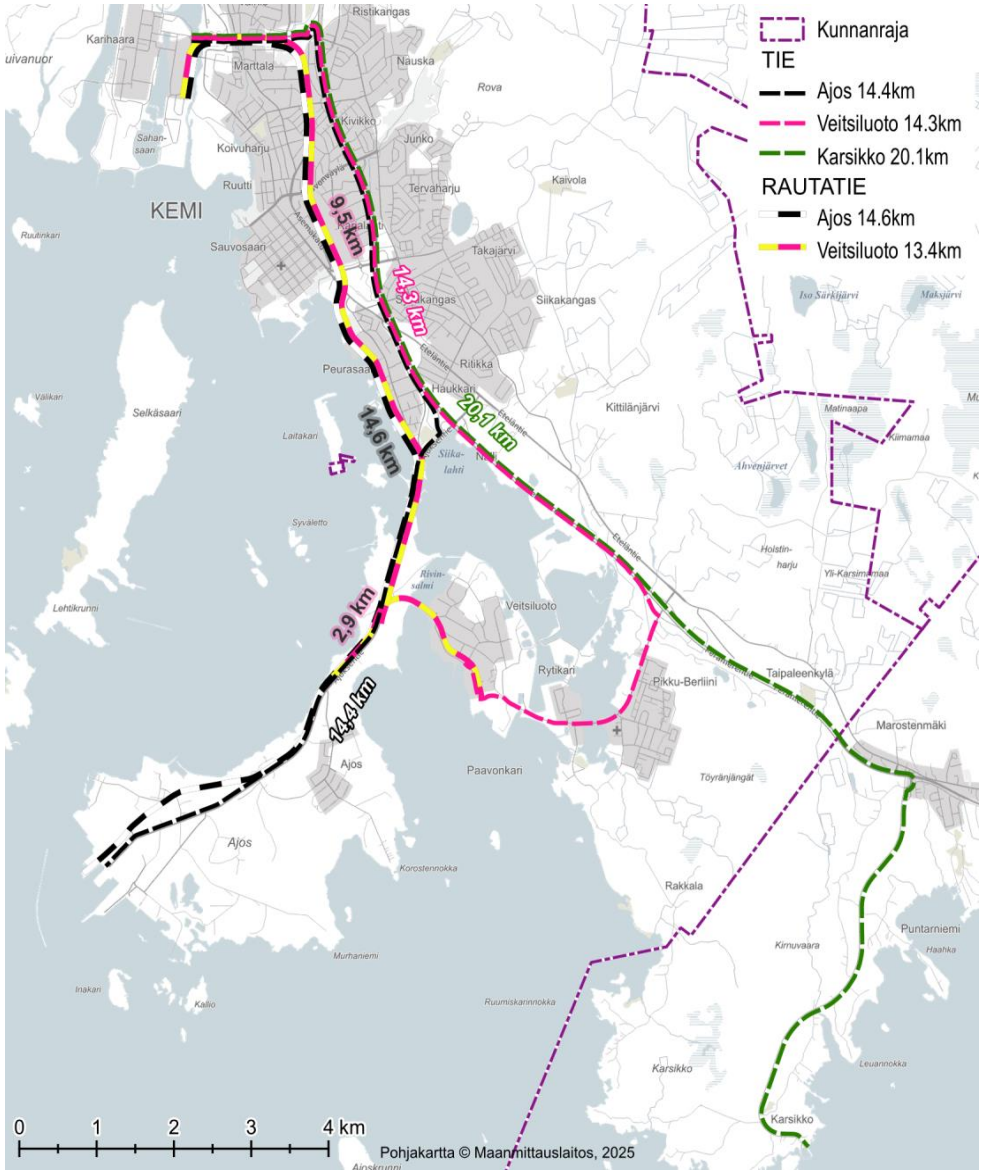
4 SWOT-analyysi ja CO2 putkisto-, maantie- ja rautatiekuljetukselle

Johdanto

Tässä luvussa esitellään aluksi kuljetusmuotojen rajaukset eri kuljetusmenetelmille sekä reiteille. Putkistolla kuljetettaessa CO_2 on tässä selvityksessä oletettu olevan paineistettuna kaasuna, sillä se on vakiintunut kuljetusmuoto. Maantie- ja junakuljetuksessa CO_2 on nesteytetyssä muodossa kuljettamisen kapasiteetin kasvattamiseksi, ja toisaalta välivarastointia varten tarvittavan tilan minimoimiseksi.

Putki-, tie- ja rautatiekuljetusten reittivaihtoehdot (kuvat ovat tämän raportin liitteinä 1 ja 2).





Kuljetusmenetelmien rajaus

- **Putkisto:**
  - Metsä Fibre – Ajos **(2 eri reittiä huom.)**:
    - Tarkastellaan CO_2:n kuljetusta putkistossa **kaasuna,** sillä se on jo vakiintunut kuljetusmenetelmä.
    - Tällöin kuljetettaessa CO_2 vaatii **paineistuksen sekä kuivauksen** haluttuun kuljetuspaineeseen. Kun CO_2 saapuu Ajokseen, se siirretään **paineistettuna kaasuna** suoraan jatkojalostukseen, tai **nesteytetään** ja **siirretään välivarastoon** saatavuuden varmistamiseksi paikan päällä, mahdollisesti myös **terminaali** laivakuljetusta varten.
  - Metsä Fibre – Veitsiluoto **(2 eri reittiä huom.)**:
    - Tarkastellaan CO_2:n kuljetusta putkistossa **kaasuna,** sillä se on jo vakiintunut kuljetusmenetelmä.
    - Kaasuna kuljetettaessa CO_2 vaatii **paineistuksen sekä kuivauksen** haluttuun kuljetuspaineeseen. Kun CO_2 saapuu Veitsiluotoon, se siirretään **paineistettuna kaasuna suoraan** jatkojalostukseen, tai **nesteytetään** ja siirretään **välivarastoon** saatavuuden varmistamiseksi paikan päällä.
  - Metsä Fibre – Karsikko **(2 eri reittiä huom.)**:
    - Tarkastellaan CO_2:n kuljetusta putkistossa **kaasuna,** sillä se on jo vakiintunut kuljetusmenetelmä.
    - Kaasuna kuljetettaessa CO_2 vaatii **paineistuksen sekä kuivauksen** haluttuun kuljetuspaineeseen. Kun CO_2 saapuu Karsikkoon, se siirretään **paineistettuna kaasuna suoraan** jatkojalostukseen, tai **nesteytetään** ja siirretään **välivarastoon** saatavuuden varmistamiseksi paikan päällä.
  - Metsä Fibre – Kemi East **(2 eri reittiä huom.):**
    - Tarkastellaan CO_2:n kuljetusta putkistossa **kaasuna,** sillä se on jo vakiintunut kuljetusmenetelmä.
    - Kaasuna kuljetettaessa CO_2 vaatii **paineistuksen sekä kuivauksen** haluttuun kuljetuspaineeseen. Kun CO_2 saapuu Veitsiluotoon, se siirretään **paineistettuna kaasuna suoraan** jatkojalostukseen, tai **nesteytetään** ja siirretään **välivarastoon** saatavuuden varmistamiseksi paikan päällä.

- **Juna:**
  - Metsä Fibre – Ajos:
    - CO_2 **nesteytetään** Metsä Fibrellä ja lastataan säiliöihin
    - Lasti kuljetetaan Ajokselle, missä se puretaan **välivarastoon** myöhempään käyttöön tuotantoa/jatkokuljetusta varten, mahdollisesti myös **terminaali** laivakuljetusta varten.
  - Metsä Fibre – Veitsiluoto:
    - CO_2 **nesteytetään** Metsä Fibrellä ja lastataan säiliöihin
    - Lasti kuljetetaan Veitsiluotoon, missä se puretaan **välivarastoon** myöhempään käyttöön tuotantoa varten.
  - Metsä Fibre – Karsikko:
    - Vaihtoehtoa ei tarkastella tässä vaiheessa, sillä alueelle ei mene junaraiteita.

- **Maantie:**
  - Metsä Fibre – Ajos:
    - CO_2 **nesteytetään** Metsä Fibrellä ja lastataan säiliöihin.
    - Lasti kuljetetaan Ajokselle, missä se puretaan **välivarastoon** myöhempään käyttöön tuotantoa/jatkokuljetusta varten, mahdollisesti myös **terminaali** laivakuljetusta varten.
  - Metsä Fibre – Veitsiluoto:
    - CO_2 **nesteytetään** Metsä Fibrellä ja lastataan säiliöihin.
    - Lasti kuljetetaan Veitsiluotoon, missä se puretaan **välivarastoon** myöhempään käyttöön tuotantoa varten.
  - Metsä Fibre – Karsikko:
    - CO_2 **nesteytetään** Metsä Fibrellä ja lastataan säiliöihin.
    - Lasti kuljetetaan Karsikkoon, missä se puretaan **välivarastoon** myöhempään käyttöön tuotantoa varten.

SWOT - Vahvuudet

Vahvuudet

- Putkistokuljetuksen kilpailukyky paranee ajan kuluessa.
- Sopii suurille kuljetuskapasiteeteille (>1 000 000 t/a)
- Matalammat OPEX kustannukset kuin maanteitse tapahtuvalla CO_2 kuljetuksella.
- Alle 40 km pitkät putket eivät välttämättä vaadi YVA:a.

Vahvuudet

- Hyödyntää jo olemassa olevaa rautatieinfraa
- Kuljetusmuodolla on matala hiilijalanjälki
- Matalampi investointikustannus kuin putkistokuljetuksessa, toisaalta nesteytyksen ja välivarastoinnin tarve saattaa kasvattaa kustannusta.

Vahvuudet

- Hyödyntää jo olemassa olevaa tieinfraa
- Sopii pienemmillekin kuljetuskapasiteeteille (<200 000 t/a)
- Matalampi investointikustannus kuin putkistokuljetuksessa, toisaalta nesteytyksen ja välivarastoinnin tarve saattaa kasvattaa kustannusta.

SWOT - Heikkoudet

Heikkoudet

- Alkuinvestointi on suurehko maantie- tai rautatiekuljetukseen verrattuna
- Tekniset haasteet kaupunkialueella tapahtuvassa toteutuksessa → maankäytön haasteet
- Joustamaton kuljetusmuoto ilman välivarastointia.
- Varastointitarkoituksiin CO_2 on muunnettava nestemäiseen muotoon, mikä lisää investointikustannuksia.

Heikkoudet

- Sisältää käyttökustannuksia CO_2:n kuljetukselle
- Tarvitsee nesteytysyksikön, sekä todennäköisesti myös välivaraston, mikä kasvattaa investointikustannusta
- Muu junaliikenne reitteineen ja aikatauluvaatimuksineen voi rajoittaa CO_2:n joustavaa kuljetusta
- Onnettomuudet ja ruuhkat muussa junaliikenteessä voivat aiheuttaa viivästyksiä ja onnettomuusriskejä CO_2:n kuljetuksessa
- Vr Transpointilla ei tällä hetkellä ole olemassa nestemäisen CO_2:n kuljettamiseen soveltuvaa kalustoa

Heikkoudet

- Väliaikainen ratkaisu, käyttökustannukset kasvavat vuosikymmenten aikana.
- Tarvitsee nesteytysyksikön, sekä todennäköisesti myös välivaraston, mikä kasvattaa investointikustannusta.
- Onnettomuudet ja ruuhkat muussa liikenteessä voivat aiheuttaa viivästyksiä ja onnettomuusriskejä CO_2:n kuljetuksessa

SWOT - Mahdollisuudet

Mahdollisuudet

- Keino laskea yrityksen hiilijalanjälkeä.
- Mahdollista laajentaa uusiin päästölähteisiin sekä varastointikohteisiin.
- Uudet innovaatiot materiaaleissa ja valvontajärjestelmissä parantavat turvallisuutta ja voivat alentaa kustannuksia.
- CO_2 mahdollista kuljettaa rannikolle ja sieltä laivoilla pysyvään varastoon Pohjanmeren pohjaan. Voi lisätä kustannuksia.

Mahdollisuudet

- Keino laskea yrityksen hiilijalanjälkeä.
- CO_2 mahdollista kuljettaa rannikolle ja sieltä laivoilla pysyvään varastoon Pohjanmeren pohjaan. Voi lisätä kustannuksia.
- Kuljetusmäärää on kohtalaisen helppo skaalata vaunujen määrällä tarpeen vaihtelun mukaan.

Mahdollisuudet

- Soveltuu joustavammin asiakkaan tarpeisiin kuin putkistokuljetus.
- Helppo laajentaa uusiin päästölähteisiin
- Sähkö-, vety- ja biokaasukäyttöiset ajoneuvot laskevat yrityksen hiilijalanjälkeä.
- Maantiekuljetus voi toimia väliaikaisena ratkaisuna, kunnes pysyvämpi infrastruktuuri, kuten putkistot, on rakennettu paikoilleen.

SWOT - Uhat

Uhat

- Lainsäädännön epäselvyydet erilaisten lupavaatimusten osalta
- Pohjavesialueen läheisyys reitin varrella voi koitua haasteelliseksi suunnittelun osalta
- Haasteet putkiston suunnittelussa ja luvituksessa voivat vaikuttaa toteutusaikatauluun
- Vuodot ja muut tekniset ongelmat voivat aiheuttaa terveysongelmia ihmisille ja eläimille.
- Kysynnän ja tarjonnan yhteensovittaminen ilman väliaikaista varastointia voi olla haastavaa

Uhat

- Vuodot ja muut tekniset ongelmat voivat aiheuttaa terveysongelmia ihmisille ja eläimille.
- Huonot sääolosuhteet (lumi ja myrskyt) voivat vaikuttaa junakuljetusten turvallisuuteen ja aikatauluihin
- Maailmalta löytyy vähän esimerkkejä, joissa junavaunuja käytettäisiin suurten määrien kuljettamiseen CCUS-arvoketjussa.

Uhat

- Mahdolliset lainsäädännön muutokset voivat vaikuttaa toimintaan.
- Vuodot ja muut tekniset ongelmat voivat aiheuttaa terveysongelmia ihmisille ja eläimille.
- Muut kuljetusmuodot, kuten putkistot tai rautatiet voivat muuttua kustannustehokkaammiksi, mikä voi vähentää maantiekuljetustenkysyntää.

SWOT-analyysin yhteenveto kuljetusmuodoista

Nestemäisen CO_2:n maantie- tai junakuljetuksen investointikustannukset voivat olla huomattavat, sillä ne edellyttävät nesteytysyksikön, lastaus- ja purkuyksiköiden rakentamista sekä kuorma-autojen tai junien hankintaa. Vaikka olemassa olevaa infrastruktuuria voidaan hyödyntää kuljetuksissa, alkuinvestoinnit ovat silti korkeat. Toisaalta putkistokuljetus vaatisi täysin uuden infrastruktuurin rakentamisen, mikä edustaa merkittävää alkuinvestointia. Kuitenkin putkistokuljetuksen kilpailukyky käytön kustannusten osalta paranee ajan myötä verrattuna maantiekuljetukseen, jonka käyttökustannuksiin vaikuttavat muun muassa CO_2:n nesteytyskustannukset ja henkilöstökulut.

Putkistokuljetus voi myös edellyttää nesteytysyksikön perustamista, mikäli CO_2:n tasainen virtaus jatkojalostukseen ei ole taattu. Ilman väliaikaista varastointia tarjonnan ja kysynnän yhteensovittaminen voi olla erityisen haastavaa. Koska Metsä Fibren tuotantolaitos toimii lähes ympäri vuoden, välivarastointikapasiteetin ei välttämättä tarvitse olla kovin suuri.

Lisähaasteena putkistokuljetuksessa on sen toteuttaminen kaupunkiympäristössä, jossa turvallisuus on keskeinen tekijä reittisuunnittelussa. CO_2:n kuljettaminen putkistoissa on Suomessa uutta teknologiaa, mikä voi luoda epäselvyyksiä lainsäädännössä erilaisten lupavaatimusten suhteen, kuten luvussa 6 on nähtävissä.

Yritykset voivat vähentää hiilijalanjälkeään kaikilla kuljetustavoilla. Maantiekuljetusten osalta on tärkeää, että käytössä on ajoneuvoja, jotka hyödyntävät uusiutuvia polttoaineita tai käyttövoimaa, kuten biokaasua tai sähköä. Junakuljetusten tulisi tapahtua myös sähkökäyttöisesti. Tällaisen kaluston saatavuutta ja soveltuvuutta nesteytetyn CO_2:n kuljetukseen tulisi kuitenkin tutkia tarkemmin.

Kaikkia kuljetusmenetelmiä voidaan laajentaa uusille alueille, mutta maantiekuljetuksen soveltaminen on yleensä helpompaa kuin putkisto- tai junakuljetuksen. Kaasun siirto on jo kypsää teknologiaa, ja jatkuva kehitystyö voi tuoda mukanaan uusia innovaatioita ja materiaaliratkaisuja, jotka auttavat vähentämään kustannuksia.

Kuljetustavoille voi kuitenkin olla uhkana lainsäädännön muutokset. Lisäksi kaikissa kuljetusmenetelmissä on terveysriskejä reitin varrella asuville asukkaille, mikäli kaasuvuotoja tai muita teknisiä ongelmia esiintyy.

5 Kuljetustapojen tarkastelu

Johdanto

Tämän selvityksen olennaisimmat lähtötiedot ovat lähtö- ja päätepisteet reittiselvitystä varten, sekä Kemin Metsä Fibren biotuotetehtaalta siirrettävien CO_2-kapasiteettivaihtoehtojen suuruudet, sekä tehtaan vuotuiset käyttötunnit. Lisäksi selvityksessä on hyödynnetty Kemin kaupungin karttaa putkisto-, maantie- ja junakuljetuksen reitin ja pituuden määrittämistä varten. Selvityksessä hyödynnetyt lähtötiedot on esitetty tässä luvussa.

© 2023, Metsä Group

Lähtötiedot

CO_2:n kuljetusten tarkastelujen lähtöpiste sijaitsee Kemin Metsä Fibren tehtaan alueella. Metsä Fibreltä saadut lähtötiedot on esitetty taulukossa 1. Tarkasteltavat loppupisteet sijaitsevat Kemissä Ajoksessa sekä Veitsiluodossa, että Simossa Karsikon alueella. Verrokkilaskelmana selvityksessä pidetään Metsä Fibren kokonaishiilidioksidipäästöjä vuodessa (4 milj. t/a), joka kuvaa tilannetta, mikäli Metsä Fibre möisi kaiken CO_2:n ja/tai kaikki CO_2 siirrettäisiin Ajokseen, Veitsiluotoon tai Karsikkoon.

Tarkasteltavat kuljetuskapasiteetit eri kuljetusmuodoille ovat:

1) 50 000 tCO_2/a
2) 150 000 tCO_2/a
3) 1 000 000 tCO_2/a

Lisäksi selvityksessä hyödynnetään Kemin kaupungin karttamateriaalia alustavien putkistoreittien suunnittelemiseksi.

Taulukko 1. CO_2 tuottajan antamat lähtötiedot

	Metsä Fibre, Kemi
Käyttötunnit (h/a)	8424
CO_2 päästöt vuodessa (t/a)	n. 4 000 000
Arvioitu CO_2 sisääntulopaine (barg)	Normaali ilmanpaine

Alustava selvitys CO_2:n siirtoputkistojen reiteistä

Alustavat mitoitusperusteet CO_2:n siirtoputkistolle ovat:

- CO_2 kuljetetaan putkistossa paineistettuna kaasuna
- CO_2 :n talteenoton jälkeen kaasu on normaalissa ilmanpaineessa.
- Kaasun tulopaine putkeen on 25 bar(a).
- Kaasun nopeus putkessa on kaikissa vaihtoehdoissa <5 m/s.
- Reittien pituuksiin on lisätty varmuuskerroin 1,2 reitin riittävän pituuden varmistamiseksi.
- Alustavien reittien pituudet ovat varmuuskertoimen mukaan:
  - Metsä Fibre Kemi – Ajos 1: 13,4 km
  - Metsä Fibre Kemi – Ajos 2, vesilinja: 16 km
  - Metsä Fibre Kemi – Veitsiluoto 1: 16,9 km
  - Metsä Fibre Kemi – Veitsiluoto 2, vesilinja: 12,6
  - Metsä Fibre Kemi – Karsikko 1: 23,5 km
  - Metsä Fibre Kemi – Karsikko 2: 22,2 km
  - Metsä Fibre Kemi – Kemi East 1: 11,1 km
  - Metsä Fibre Kemi – Kemi East 2 vesilinja: 15,2 km

Alustavat reittivaihtoehdot putkistoreiteille, sekä reittejä rajoittaville tekijöille on esitetty tarkemmin liitteessä 1 karttamuodossa. Tässä raportissa esitetyt CO_2-putkistoreittivaihtoehdot on tarkasteltu hyvin alustavalla konseptitasolla. On tärkeää huomata, että nämä reittivaihtoehdot eivät ole lopullisia suunnitelmia. Lopullisen reitin tai reittien suunnittelu vaatii perusteellisempaa selvitystyötä, kuten teknisiä tutkimuksia, sekä luvitustarpeiden huolellista läpikäyntiä.

Reittitarkastelussa ilmeni seuraavia huomioita:

- Kaikki reitit Ajokseen merenpohjaa pitkin kulkevaa putkistoreittiä lukuun ottamatta kulkisivat Kemin keskusta-alueen läpi, jolloin putki joudutaan todennäköisesti viemään ajoteiden alitse.
- Ajokseen vievällä reitillä on paljon infraa (junaraiteet, sähkölinja) joka voi vaikuttaa reitin tarkempaan suunnitteluun
- Ajoksen ja Karsikon pohjavesi-alue voi rajoittaa siirtoputkiston suunnittelua
- Ajoksen ja Veitsiluodon teollisuusalue voi asettaa erityisvaatimuksia putkiston reitille ja suunnittelulle
- Ajokseen tai Veitsiluotoon vievästä reitistä riippuen saattaa olla tarpeen johtaa putkilinja 1-2 kohdasta rautatien alitse.
- Maaperässä Ajokseen menevä putkilinjareitti, sekä Karsikkoon ja Veitsiluotoon menevät putkilinjareitit menisivät todennäköisesti sähkölinjan alitse.
- Kemin rannikolla useampi luonnonsuojelualue (Ajoksessa Natura 2000 – alue)

Alustava selvitys CO_2:n siirtoputkistojen reiteistä

Putkistomateriaalina käytetään hiiliterästä (P235GH) ja paineluokkaa PN40. Putkistomitoitukset eri reittivaihtoehdoille ovat esitetty taulukossa 2. Siirtokapasiteetin suuruudesta ja pituudesta riippuen putkistokoko vaihtelee DN125 ja DN1000 välillä. Metsä Fibreltä Kemi East -alueelle laaditut putkistomitoitukset on alustavasti mitoitettu ainoastaan Ajoksen ja Kemi East-alueen väliselle matkalle, koska saatavilla ei ole tietoa siitä, kuinka paljon CO_2:a käytetään Kemi East -alueella ja kuinka paljon sitä siirretään välivarastoitavaksi Ajoksessa.

Valittua P235GH-materiaalia käytetään tyypillisesti teollisuudessa putkistoissa, mutta sen korroosionkestävyys on rajoitetumpaa kuin toisilla teräslaaduilla. Kaasumainen ja epäpuhdas hiilidioksidi voi muodostaa putkistossa hiilihappoa tapauksissa, joissa se sisältää vettä tai muita epäpuhtauksia. Tällöin riskinä ovat putkiston korroosiovauriot.

Myöhemmissä suunnitteluvaiheissa on tärkeää ottaa huomioon CO_2:n huolellinen kuivaaminen osana CO_2:n kuljetusprosessia, jotta kondensoitumista ei tapahdu ja hiilihapon muodostumista putkistossa voidaan ehkäistä. Toinen vaihtoehto on tarkastella jonkin muun, korroosiota paremmin kestävän materiaalin käyttöä putkistossa. Vaihtoehtoinen materiaali on esimerkiksi öljy- ja kaasuteollisuudessa käytettävä hiiliteräspohjainen MLP-putki (Mechanically lined pipe), jonka sisäpuoli on pinnoitettu korroosiota kestävällä materiaalilla. MLP-putkea valmistaa esimerkiksi yritys nimeltä Butting.

Taulukko 2. Alustavat putkistomitoitukset eri reittivaihtoehdoille

Kuljetuskapasiteetti (tCO_2/a)	50 000	150 000	1 000 000	4 000 000
Metsä Fibre – Ajos 1	DN150	DN200	DN500	DN1000
Metsä Fibre – Ajos 2 vesilinja	DN150	DN200	DN500	DN1000
Metsä Fibre – Veitsiluoto 1	DN200	DN250	DN500	DN1000
Metsä Fibre – Veitsiluoto 2 vesilinja	DN150	DN200	DN500	DN1000
Metsä Fibre – Karsikko 1	DN200	DN250	DN500	DN1000
Metsä Fibre – Karsikko 2	DN200	DN250	DN500	DN1000
Metsä Fibre – Kemi East 1	DN150	DN200	DN500	DN1000
Metsä Fibre – Kemi East 2 vesilinja	DN150	DN200	DN500	DN1000

Alustava selvitys CO_2:n siirtoputkistojen reiteistä

Jos Metsä Fibren kaikki ulospäästämä hiilidioksidi kuljetettaisiin putkistolla määränpäähänsä, tarvittaisiin halkaisijaltaan suuri putki (DN1000), joka olisi sijoitettava karttatarkastelun perusteella Kemin taajama-alueen läpi, lukuun ottamatta Ajokseen suuntautuvaa merenpohjareittiä.

Mikäli putken halkaisijaa halutaan pienentää, CO_2:ta olisi paineistettava huomattavasti korkeampaan paineeseen, mikä voisi vaikuttaa putkiston luvitusprosessin aikatauluun ja rakentamisen kustannuksiin. Yksi vaihtoehto olisi suunnitella putken reitti kiertämään Kemin taajama-alue, mutta tämä pidentäisi reittiä ja voisi siten nostaa rakentamisen kustannuksia.

Taulukko 2. Alustavat putkistomitoitukset eri reittivaihtoehdoille

Kuljetuskapasiteetti (tCO_2/a)	50 000	150 000	1 000 000	4 000 000
Metsä Fibre – Ajos 1	DN150	DN200	DN500	DN1000
Metsä Fibre – Ajos 2 vesilinja	DN150	DN200	DN500	DN1000
Metsä Fibre – Veitsiluoto 1	DN200	DN250	DN500	DN1000
Metsä Fibre – Veitsiluoto 2 vesilinja	DN150	DN200	DN500	DN1000
Metsä Fibre – Karsikko 1	DN200	DN250	DN500	DN1000
Metsä Fibre – Karsikko 2	DN200	DN250	DN500	DN1000
Metsä Fibre – Kemi East 1	DN150	DN200	DN500	DN1000
Metsä Fibre – Kemi East 2 vesilinja	DN150	DN200	DN500	DN1000

Alustava selvitys maantiekuljetusten reiteistä

Valitut siirtokapasiteetit ovat 6, 18 ja 119 t/h. Lisäksi on oletettu, että täysperävaunurekan kapasiteetti on 38 t/kuorma ja täyttöaika on yli tunnin, ja kuormaa ajetaan viitenä päivänä viikossa. Matalimmilla siirtokapasiteeteilla rekkojen määrä päivätasolla pysyy maltillisena. Jos CO_2:a siirretään vuodessa 1 000 000 tCO_2/a, nousee kuormien määrä päivässä yli sataan. Tuntitasolla tämä tarkoittaisi noin 4 rekkaa tunnissa. Mikäli kaikki CO_2 kuljetettaisiin rekoilla, tarkoittaisi se yli 400:aa rekkakuormaa päivässä.

Lastausasemia on arvioitu tarvittavan Metsä Fibren laitosalueella 0-7 kpl riippuen kuljetuskapasiteetin suuruudesta, kun laitosalueella nesteytetty CO_2 kuljetetaan rekoilla pois alueelta. Tällöin siirtokapasiteetista riippuen rekkoja tulisi lastaukseen noin 0-4 kpl tunnissa. Myös lastauspaikkojen tarve nousisi yli 20 kappaleeseen, mikäli kaikki CO_2 siirrettäisiin maanteitse vastaanottopisteeseen. Lastausaikaa olisi mahdollista lyhentää konttiratkaisulla, jossa autolla tuodaan tyhjä kontti ja viedään valmiiksi täytetty kontti. Alustavat maantiereittisuunnitelmat ovat nähtävissä liitteessä 2.

- Arvioidut reittien pituudet ovat:
  - Metsä Fibre – Ajos: 13 km
  - Metsä Fibre – Veitsiluoto: 14 km
  - Metsä Fibre – Karsikko: 21 km

Taulukko 3. Lastauspaikkojen ja rekkojen määrä

CO_2 siirtokapasiteetti (tCO_2/a)	CO_2 siirtokapasiteetti (tCO_2/h)	Kuormaa viikossa (kuorma / viikko)	Rekkaa päivässä (kuorma / päivä)	Lastauspaikkojen tarve (lkm)
50 000	6	26	5	0
150 000	18	79	16	1
1 000 000	119	525	105	7
4 000 000	475	2 099	420	26

Tarkastelun perusteella selvisi, että riippumatta siitä, minne CO_2 kuljetetaan, se on kuljetettava Kemin taajama-alueen läpi. Säännöllinen kuljetusliikenne Kemin keskusta-alueen läpi voi vaikuttaa keskustan liikenteen sujuvuuteen sekä liikennemäärän kasvaessa mahdollisesti myös katupinnoitteiden elinikään.

Myöhemmissä suunnitteluvaiheissa tulee lisäksi tarkastella sitä, millainen valmius Metsä Fibrellä on lisääntyvään rekkaliikenteeseen, ja onko alueella tilaa lastausasemille. Myös CO_2:n vastaanottajien tulee tarkastella valmiutta rekkaliikenteen kasvuun sekä lastauspaikan vaatimaan tilaan.

Alustava selvitys junakuljetusten reiteistä

Karsikkoon ei tehty tarkastelua, koska sinne ei tällä hetkellä kulje raiteita. Rautateitse CO_2 voidaan kuljettaa Karihaaran teollisuuslaitokselta Kemin liikennepaikan kautta Ajoksen satamaan. Ajoksen satamaan tarvitaan todennäköisesti oma raide rautatiekuljetuksia varten.

Reitin pituus on 15 km ja matka-aika on noin 45 minuuttia. Rautatiekuljetukset edellyttävät CO_2-kuljetuksiin soveltuvien säiliövaunujen hankkimista, joita tällä hetkellä ei ole suomalaisilla rautatieoperaattoreilla. Taloudellisesti kannattava rautatieliikenne vaatii vähintään 350 metriä pitkiä sivuraiteita sekä 2200 tonnin painavien junien kulkemista. Junien kapasiteetti on 1800 tonnia, mikä tarkoittaa, että siirtokapasiteetti olisi 500 000 tonnia CO_2 vuodessa.

Tarkastelussa on oletettu, että junaa vedetään yhdellä Dr19-dieselveturilla. Veturin pituus on 18 metriä, ja yhdellä veturilla voi vetää kerralla 26 Zagns-säiliövaunua. Alustavat junareittisuunnitelmat ovat nähtävissä liitteessä 2.

Taulukko 4. Junalähtöjen määrä

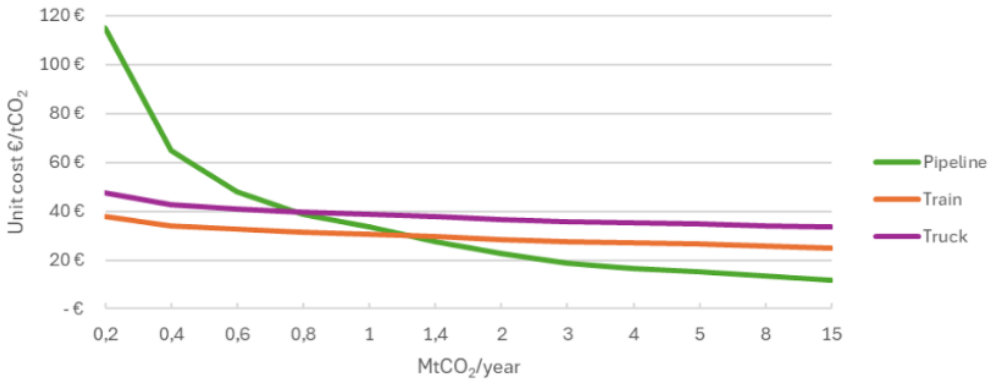
CO_2 siirtokapasiteetti (tCO_2/a)	CO_2 Talteenottokapasiteetti (t/h)	Junalähtöjä viikossa (kuorma / viikko)	Junia päivässä (kuorma / päivä)
50 000	6	1	0,15
150 000	18	2	0,46
500 000	59	8	1,54
1 000 000	119	15	3
4 000 000	475	62	12

Kuljetustapojen kokoava vertailu

Eri kuljetusmenetelmille ja siirtokapasiteeteille tehtiin keskinäistä vertailua. Vertailun apuna hyödynnettiin VTT:n ja Bioenergia ry:n tuottamaa aineistoa, jossa vertailtiin putkisto-, maantie-, ja junakuljetuksen kannattavuutta kuljetusetäisyyden ollessa 200 km. Kustannukset sisälsivät komprimoinnin (putkistoille), nesteytyksen (maantie- ja rautatiekuljetuksille) sekä kuljetuksen. Tulokset on esitetty kuvassa 5.

Aineiston tulosten perusteella putkistolla siirrettävän CO_2:n kannattavuus paranee huomattavasti kun kapasiteetti on suuri tapauksissa, joissa kuljetusetäisyys on lyhyt. Jos kapasiteetti jää alle 1 000 000 tCO_2/a, jää putkikuljetus kannattamattomaksi maantie- ja junaliikenteeseen verrattuna. Samanlaista selkeää muutosta ei ole nähtävissä juna- tai maantiekuljetuksen kustannustarkastelussa.

Putkistosiirto on selvityksessä tehdyn vertailun perusteella yleisesti hyvä vaihtoehto kaikille reiteille siksi, ettei se juurikaan vaikuttaisi muun liikenteen sujuvuuteen. On kuitenkin huomioitava, että pienemmillä kapasiteeteilla (50 000 ja 150 000 tCO_2/a) sen kannattavuus voi jäädä alhaiseksi. Suuremmilla kapasiteeteilla kannattavuus todennäköisesti paranee. Toisaalta tekninen toteutus voi olla haasteellisempi, sillä CO_2:n siirron lähtö- ja tulopisteet sijaitsevat keskusta-alueen reunoilla, jolloin putket olisi vedettävä keskusta-alueen läpi. Toteutus voi vaikuttaa myös luvitusprosessin sujuvaan läpimenoon. Suurten määrien siirto (> 1 000 000 tCO_2/a) vaatii joko suuren putken halkaisijan (DN) tai korkeaa siirtopainetta putkessa. Mikäli putkistoa ei haluta vetää keskusta-alueen läpi, joudutaan etsimään reitille kiertoreittejä, joilla voi olla vaikutusta sen teknistaloudelliseen toteutettavuuteen.



Kuva 5. Siirtokapasiteetin vaikutus putkisto-, juna-, tai maantiekuljetuksen kustannukseen. (Bioenergia ry & VTT, 2024)

Kuljetustapojen kokoava vertailu

Kuten kuvasta 5 on nähtävissä, siirtokapasiteetin muutoksen vaikutus ei ole yhtä merkittävä junakuljetuksen kustannukseen. Junakuljetus ei välttämättä vaikuta kannattavalta pienille määrille, mutta suuremmilla kapasiteeteilla se voisi olla mahdollista, sillä alueen muu junaliikenne on vähäisempää. Tämä vaihtoehto soveltuu vain Ajokseen tai Veitsiluotoon meneville reiteille. Työssä ei ole otettu huomioon vaihtoehtoa, jossa CO_2:a kuljetettaisiin junalla Karsikkoon, sillä sinne ei johda ennestään junaraiteita.

On oletettavaa, että siirron sekä alku- että loppupisteen infrastruktuuria on suunniteltava ratapihoilla uudelleen, jotta kapasiteettimäärät voidaan käsitellä alueella. Tällä hetkellä Suomessa ei myöskään ole käytössä junakalustoa, joka soveltuisi nesteytetyn CO_2:n kuljettamiseen, joten vaunut olisi hankittava muualta.

Pienten kapasiteettien (50 000 ja 150 000 tCO_2/a) kuljetukset vaikuttavat soveltuvan paremmin maantiekuljetukseen kaikilla reiteillä. Tällöin vuorokauden aikaiset liikennemäärät CO_2:n kuljetuksesta eivät vielä vaikuta merkittävästi muuhun liikenteeseen keskusta-alueella. Jos CO_2:a kuljetetaan suuria määriä (> 1 000 000 tCO_2/a) maantiekuljetuksena, liikennemäärien odotetaan nousevan merkittävästi, mikä vaikuttaa myös muun liikenteen sujuvuuteen. Haasteena lisäksi on se, että CO_2:a ei voida kuljettaa kiertoreittejä pitkin, vaan se on käytännössä pakko kuljettaa nykyisiä reittejä pitkin keskustan läpi.

Yhteenvetona on, että pienet kapasiteetit on todennäköisesti järkevintä hoitaa kuorma-autoilla, kun taas suuret kapasiteetit olisi järkevintä kuljettaa joko putkistolla tai junilla. Nämä vaihtoehdot vaativat kuitenkin tarkempaa teknistä suunnittelua suunnitelmien onnistuneeksi toteuttamiseksi. Lisäksi seuraavissa vaiheissa tulisi tehdä taloudellista tarkastelua kuljetusmuotojen välillä paremman selvyyden aikaansaamiseksi kannattavuudesta.

6 Katsaus luvitukseen ja alustava riskiarvio

Alustava katsaus luvitukseen putkistokuljetuksen osalta

Hankkeet, joilla voi olla haitallisia ympäristövaikutuksia, saattavat edellyttää ympäristövaikutusten arviointimenettelyä (YVA) sekä ympäristöluvan tai ilmoituksen. Rakennushankkeiden on myös noudatettava voimassa olevia kaavoituksia, ja ne tarvitsevat toimenpideluvan paikalliselta hallinnolta. Lisäksi vesilupa voi olla tarpeen esimerkiksi putkilinjan rakentamisessa vesiväylien ali, sekä todennäköisesti tapauksissa, joissa putki vedettäisiin pohjavesialueen läpi. CO_2-putkilinjat teollisten laitosten välillä, joissa hiilidioksidia ei ole tarkoitus varastoida geologisesti, **eivät kuulu hiilidioksidin talteenoton ja varastoinnin laissa (416/2012) määriteltyyn soveltamisalaan.**

Lupamenettelyn arvioidaan olevan seuraavanlainen CO_2:n putkistosiirrolle:

YVA-menettely on epätodennäköinen, sillä yli 40 km pituiset putkilinjat vaativat aina YVA:n, ja sen tarpeen arviointi on ELY-keskuksen harkinnassa.

Erillisen **ympäristöluvan** tarpeesta on epäselvyyksiä. On todennäköistä, että CO_2:n kuljetusta säädellään Metsä Fibren laitoksen ja/tai CO_2:a vastaanottavien laitosten lupien kautta.

Putkilinjavaihtoehdot Metsä Fibren laitokselta Ajoksen satamaan saattaa kulkea vesiväylien ali tai pohjavesialueen läheisyydessä, mikä saattaa vaatia **vesiluvan** aluehallintovirastolta. Myös Metsä Fibreltä Karsikkoon kulkeva putkilinja kulkee pohjavesialueen läheisyydessä, jolloin vesilupa saattaa olla tarpeen (Viitaten lakiin 587/2011 ja asetukseen 1560/2011, 4 §).

CO_2-putkilinja vaatii todennäköisesti myös **maankäyttösuunnitelman ja rakennusluvan** (viitaten lakiin 416/2012, 11 §) rakentamista varten.

Alustava katsaus luvitukseen maantie- ja junakuljetuksen osalta

Nesteytetyn hiilidioksidin (CAS-numero 124-38) kuljettaminen luokitellaan vaarallisten aineiden kuljetukseksi (VAK), ja siihen sovelletaan VAK-lain (541/2023) sääntöjä. Sotilastoiminnassa tapahtuvista vaarallisten aineiden kuljetuksista on erikseen säädetty. Nesteytetty hiilidioksidi on merkitty ominaisuuksien perusteella: UN 2187, varoituslipuke 2.2, myrkyttömät ja palamattomat kaasut. Tieliikenteessä vaaditaan TRAFICOMin hyväksyntä (TRAFICOM/473662/03.04.03.00/2022) ja raideliikenteessä (TRAFICOM/474029/03.04.02.00/2022).

Pääsääntöisesti ennakollista lupaa tai ilmoitusta vaarallisten aineiden kuljetuksesta tiellä tai rautatiellä ei tarvita, ellei kyseessä ole aine, jonka kuljetusvaatimuksista ei ole säädetty tai joka aiheuttaa vakavaa vaaraa, kuten räjähteet. Pakkauksien tulee olla kuljetukseen soveltuvia, pääsääntöisesti tyyppihyväksyttyjä ja rekisteröityjä (painesäiliöt). Niissä on oltava tarvittavat merkinnät ja varoituslipukkeet vaarallisen sisällön tunnistamiseksi. Kuljetuksen mukana on oltava rahtikirja ja kirjallinen turvallisuusohje kuorman mukaisesti.

Useissa tapauksissa vaarallisten aineiden tie- tai rautatiekuljetukseen sekä niihin liittyvään pakkaamiseen, lähettämiseen tai muuhun turvallisuuteen liittyvään toimintaan on nimettävä erityisesti koulutettu henkilö yrityksen turvallisuusneuvonantajaksi.

Ajoneuvon kuljettajalla tulee pääsääntöisesti olla vaarallisten aineiden kuljetukseen oikeuttava lupa, ns. ADR-ajolupa. Tietyissä tehtävissä voi vaatia myös henkilöturvallisuusselvitystä. Ajoneuvon on oltava katsastettu ja todettu teknisesti sopivaksi vaarallisten aineiden kuljetukseen, ja siinä on oltava sisällöstä kertovat varoitusmerkit.

Kuljetusreitin suunnittelussa on otettava huomioon, että Liikenne- ja viestintävirasto voi rajoittaa vaarallisten aineiden kuljetusta määrätyillä alueilla tai teillä, erityisesti tiheästi asutuilla alueilla VAK-lain nojalla. Myönnetyt kuljetusrajoitukset merkitään kieltomerkein.

Aineen tilapäiseen säilyttämiseen liittyy omat menettelynsä, kuten sisäinen pelastussuunnitelma. Rataverkon haltijalle on myös säädetty omia velvoitteita. Vaarallisten aineiden kuljetuksessa tiellä tai rautatiellä sattuvasta onnettomuudesta tai vaaratilanteesta on annettava selvitys Turvallisuus- ja kemikaalivirastolle.

Kaavatilanne siirtoputkistojen reiteillä

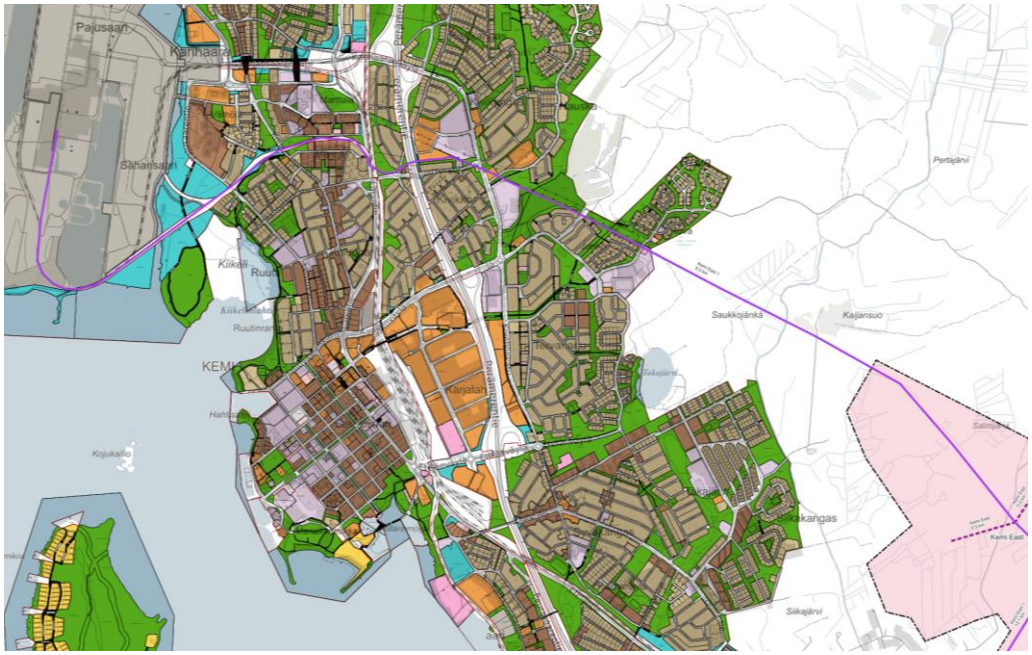
Vaihtoehtoisilla putkireiteillä on kauttaaltaan olemassa joko asemakaava tai yleiskaava. Seuraavassa tarkastellaan yleispiirteisesti asemakaava- ja yleiskaavatilannetta vaihtoehtoisilla putkireiteillä sekä linjauksiin liittyviä mahdollisesti haasteellisia kohtia. Putkilinjaukset on osoitettu kartalla tämän raportin liitteessä 1.

Kemi East 1 (Metsä Fibre – Kemi East)

Metsä Fibren ja Jungon välisellä alueella putken reitti kulkee asemakaavoissa osoitettujen asuinalueiden halki. Metsä Fibreltä Lapintien varteen reitti kulkee asemakaavassa osoitettua rautatiealuetta pitkin. Rautatiealueen ympärille osoitetaan asemakaavoissa pääasiassa viheralueita (puisto-, lähivirkistys- ja suojaviheralueita), paikallisesti rautatiealue rajautuu asuinkortteleihin. Mäntylässä rautatiealueella sijaitseva putkireitti sivuaa valtakunnallisesti arvokasta aluetta, joka osoitetaan asemakaavassa rivitalojen ja asuinkerrostalojen korttelialueena, jolla ympäristö säilytetään.

Putken reitti risteää pohjois-eteläsuuntaisen Lapintien, sen rinnalla kulkevan radan (asemakaavassa rautatiealuetta) sekä samansuuntaisen Perämerentien (asemakaavassa yleisen tien aluetta) kanssa. Putkireitti jatkuu Perämerentien itäpuolella asuinkortteleiden ja asuinalueita yhdistävien liikenneväylien väliin rajautuvia viheralueita myötäillen. Kivikon ja Jungon välissä putkireitille osoitetaan asemakaavassa urheilu- ja virkistyspalvelualue (Golfpuisto). Putkireitti myötäilee voimajohtokäytävää, joka osoitetaan asemakaavassa vaara-alueena.

Metsä Fibren ja Kemi East -alueen välissä haastavimmat paikat putkireitillä sijaitsevat Lapintien, radan ja Perämerentien ympäristössä, missä tiestön ja asutuksen väliin rajautuvat viheralueet ovat paikoin kapeahkoja. Putken linjaaminen viheralueiden kautta edellyttää useita teiden alituksia ja mutkia reittiin. Toisaalta reitti on mahdollista saada koko matkalla kulkemaan viheralueiden kautta.



Kaavatilanne siirtoputkistojen reiteillä

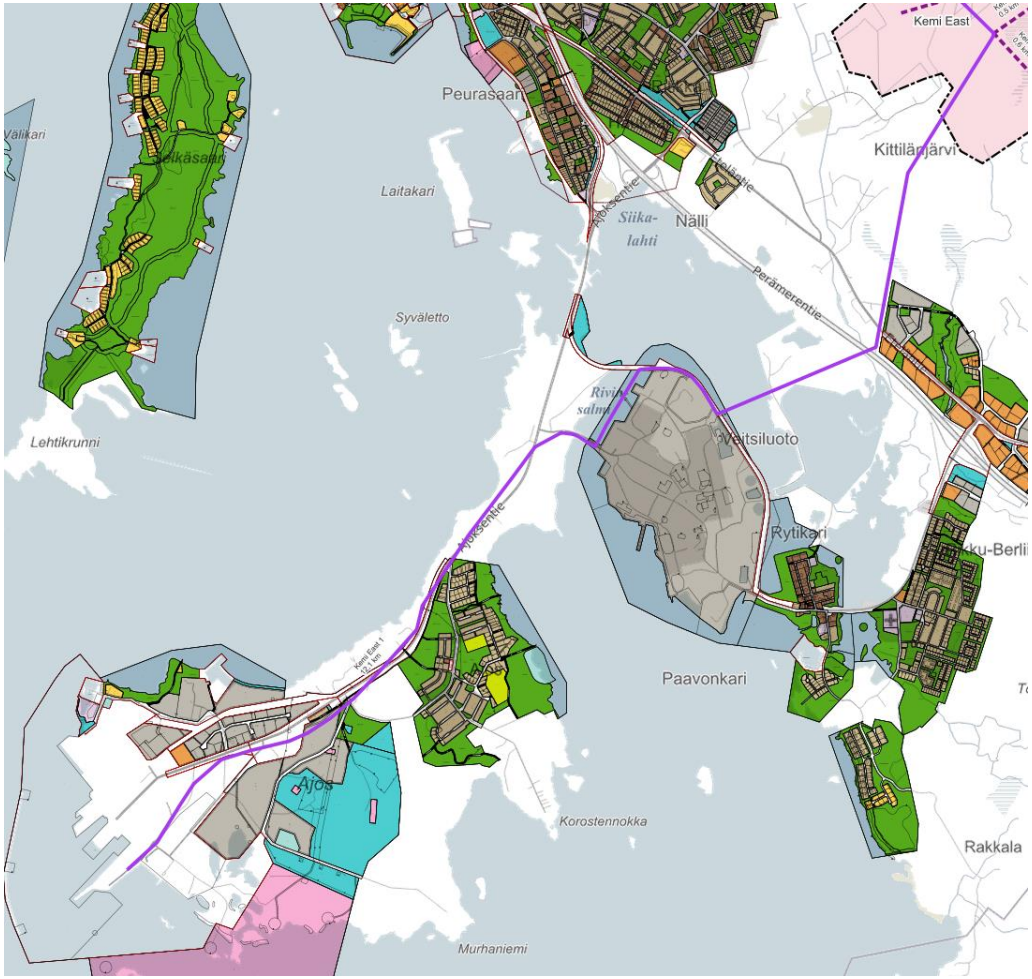
Jungon ja Rovan asuinalueiden kaakkoispuolella ei ole asemakaavaa. Yleiskaavassa Rovan asuinalueen ja Vähä-Ruonaojan väliselle alueelle osoitetaan urheilu- ja virkistyspalvelujen aluetta ja asuinkortteleita sekä viheralueita. Vähä-Ruonaojan itäpuolella sijaitsevat rakentamattomat alueet osoitetaan yleiskaavassa maa- ja metsätalousalueina. Putkireitti seuraa yleiskaavassa osoitettua voimalinjaa.

Kemi East 1 (Kemi East – Ajos)

Kemi East -alueelta Ajokseen putki kulkee samaa reittiä kuin vaihtoehdossa Kemi East 2. Kemi East -alueen ja Veitsiluodon väliin rajautuvalla alueella ei ole asemakaavaa. Yleiskaavassa Kemi Eastin ja rautatien väliin rajautuva alue osoitetaan maa- ja metsätalousalueena, radan ja Perämerentien eteläpuoliset alueet suojaviheralueena sekä teollisuusjätteen käsittely- ja varastointialueena. Putkireitti tukeutuu yleiskaavassa osoitettuun voimalinjaan. Järpin tienoilla putkireitti risteää radan, Eteläntien ja Perämerentien kanssa.

Veitsiluoto osoitetaan asemakaavassa kokonaisuudessaan teollisuus- ja varastorakennusten alueena. Putkireitti kiertää teollisuusalueen pohjoisosan ympäri, osin rautatiealuetta myötäillen, ja jatkuu Ajokseen lounaan suuntaan. Veitsiluodon ja Ajoksen välissä ei ole asemakaavaa. Putkireitti tukeutuu yleiskaavassa osoitettuun liikennealueeseen. Ajoksessa reitti kulkee satamaa kohti asemakaavassa osoitetulla rautatiealueella. Reitin loppupää sijaitsee satama-alueella.

Putkireitin kannalta haastavin paikka lienee Veitsiluodon teollisuusalueen luoteislaita, jossa teollisuusalue rajautuu vesialueeseen. Olemassa olevat teollisuusrakennukset sijaitsevat paikoin hyvin lähellä rantaa. Muutoin reitti tukeutuu lähes koko matkaltaan joko voimalinjaan tai rautatiealueeseen.

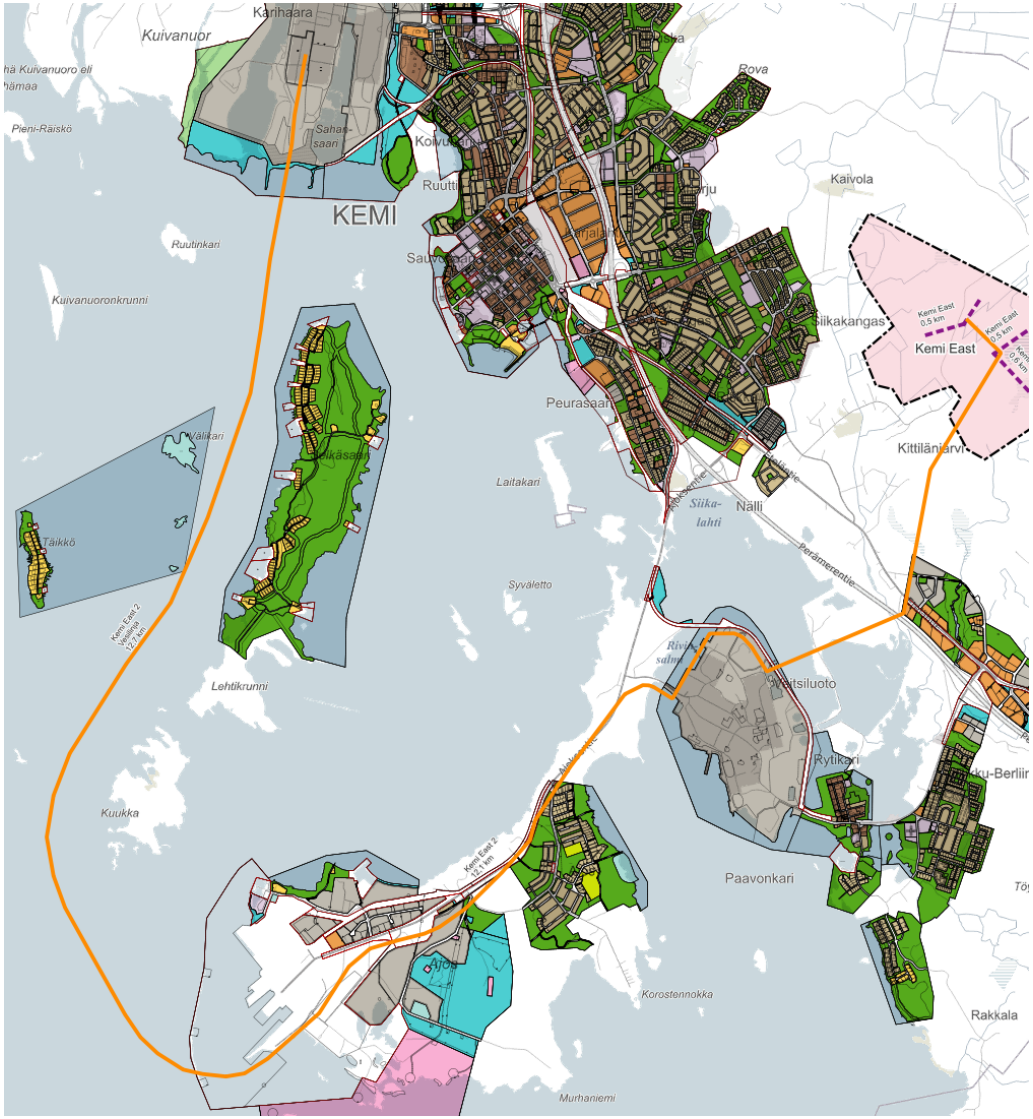


Kemi East 2

Metsä Fibren ja Ajoksen välisellä alueella putkireitti kulkee vesialueen halki Selkäsaaren ja Kuukan länsipuolitse. Putkireitillä ei ole asemakaavaa. Yleiskaavassa putkireitti kulkee vesialueella. Välikaria, Eetunkaria ja Kajavakaria ympäröivät alueet osoitetaan yleiskaavassa luonnonsuojelualueena, joka kuuluu tai jota on ehdotettu EU:n Natura 2000-verkostoon.

Ajoksesta Kemi East -alueelle putki kulkee samaa reittiä kuin vaihtoehdossa Kemi East 1. Ajoksessa putkireitti kulkee asemakaavassa osoitetulla satama-alueella ja edelleen koillisen suuntaan rautatiealueella. Ajoksen ja Veitsiluodon välissä reitti tukeutuu yleiskaavassa osoitettuun liikennealueeseen. Putkireitti kulkee Veitsiluodon teollisuusalueen luoteisreunaa pitkin koilliseen ja edelleen rautatiealuetta ja voimalinjaa pitkin Kemi East -alueelle. Järpin tienoilla putkireitti risteää Perämerentien, Eteläntien ja radan kanssa.

Putkireitin kannalta haastavin paikka lienee Veitsiluodon teollisuusalueen luoteislaita, jossa teollisuusalue rajautuu vesialueeseen. Olemassa olevat teollisuusrakennukset sijaitsevat paikoin hyvin lähellä rantaa. Muutoin putkireitti kulkee vesialueella tai tukeutuu joko rautatiealueeseen tai voimalinjaan.



Ajos 1

Karihaarassa putkireitti kulkee valtakunnallisesti arvokkaan Karihaaran tehdasyhdyskunnan alueen halki, arvoalue osoitetaan asemakaavassa asuin-, liike- ja toimistorakennusten alueena, jolla ympäristö säilytetään. Putkireitti tukeutuu arvoalueella katuihin ja johtoa varten varattuun alueen osaan.

Putkireitti kulkee Kemin keskustan pohjoispuolella sijaitsevien asuinalueiden halki katualueiden yhteydessä. Koivuharjunkadulla, joka on asuinalueen pääkatu, katualueen leveys on noin 15–20 metriä. Muut asuntokadut ovat selvästi kapeampia, leveydeltään tyypillisesti noin 10 metriä. Asuntokatuja rajaavat molemmin puolin asuinrakennusten korttelialueet, osa vanhimmista asuintaloista sijaitsee tiiviisti kiinni katuvarressa.

Sauvosaaressa putkireitti kulkee Kemin vanhan ruutukaavakeskustan läpi luode-kaakkosuuntaisia katuja myöten (tarkka sijainti ei erotu yleispiirteisessä suunnitelmassa). Valtakadulla katualue on leveä, noin 27 metriä. Samansuuntaisella Keskuspuistokadulla katualueen keskellä kulkee puistoalue: puiston ja sen molemmin puolin sijaitsevien katujen muodostaman katualueen leveys on noin 35 metriä. Keskuspuistokadulla katualueen keskellä sijaitsevat puistoalueet osoitetaan asemakaavassa paikoin puistoalueena, joilla ympäristö säilytetään.

Ruutukaavakeskustan kaakkoispuolella putkireitti kulkee Koivuniemen ja Pajarinrannan puistoalueiden läpi ja jatkuu Eteläntien, Perämerentien ja radan rinnalla kaakkoon Veitsiluodon suuntaan. Eteläntie osoitetaan asemakaavoissa katuna, Perämerentie yleisen tien alueena ja rata rautatiealueena. Peurasaaressa putkireitti kääntyy asuntokatujen kautta Ajoksen suuntaan Ajoksentietä ja sen rinnalla kulkevaa rataa pitkin. Yleiskaavassa tiet ja rata osoitetaan liikennealueina.

Haasteena on se, että putkireitti kulkee valtaosan matkasta asuinalueiden läpi asuinkortteleiden reunustamia asuntokatuja myöten. Koivuharjun, Ruutin ja Peurasaaren alueilla putki joudutaan sovittamaan asutuksen ympäröimille katualueille. Ruutukaavakeskustan alueella putkireitti risteää poikittaisten lounas-koillissuuntaisten katujen kanssa.

Ajos 2

Putkireitti kulkee Metsä Fibreltä Ajokseen vesialueen halki. Selkäsaaren pohjoispuolella yleiskaavassa osoitetaan likimain samalle reitille malminrikasteputki. Reitin läheisyydessä sijaitsevat saaret osoitetaan yleiskaavassa pääosin virkistysalueina.

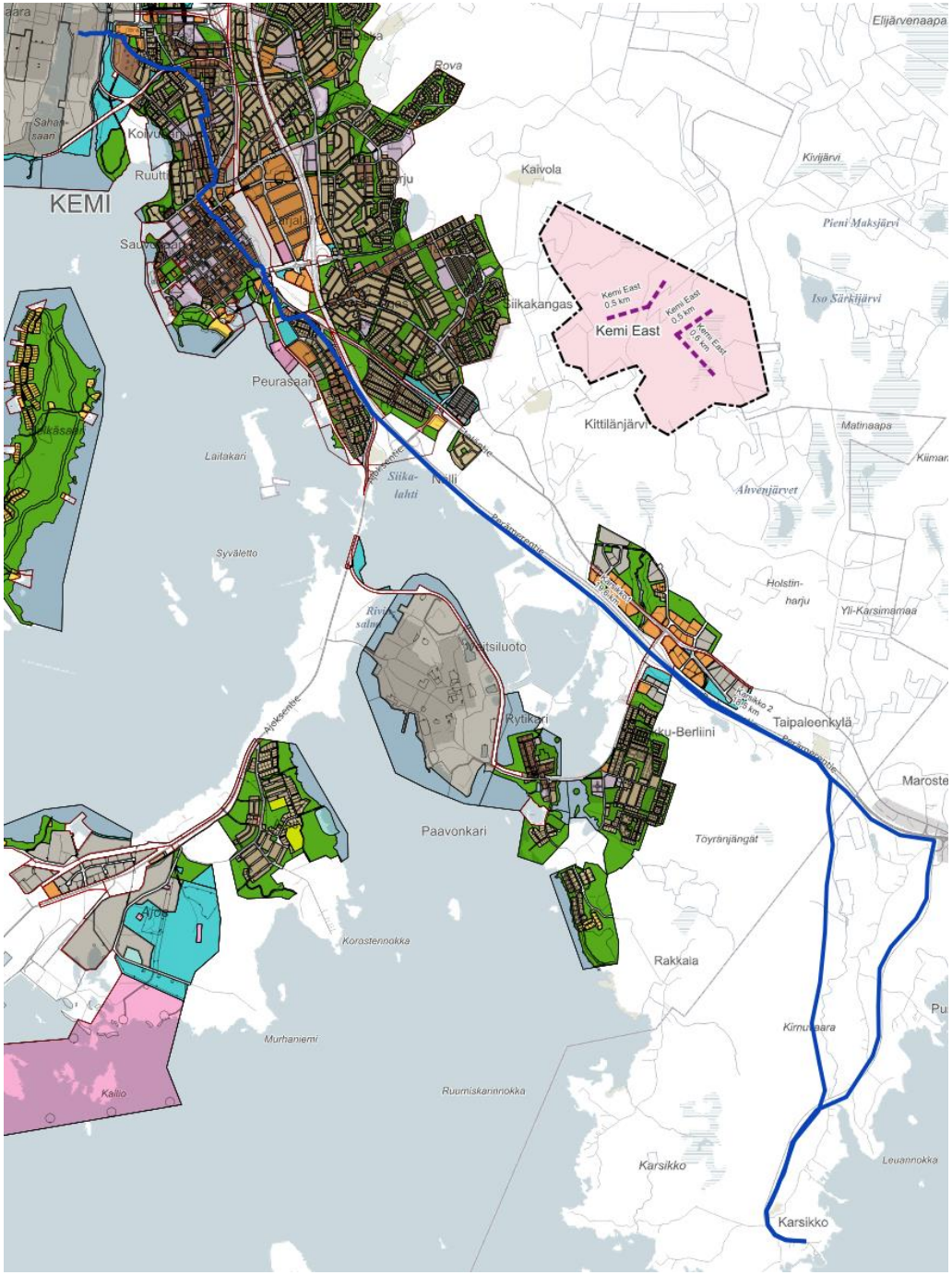
Ajoksessa putkireitti mukailee asemakaavassa osoitettua rautatiealuetta.

Karsikko

Putkireitti kulkee Metsä Fibreltä Peurasaareen samaa reittiä kuin vaihtoehdoissa Veitsiluoto 1 ja Ajos 1, eli valtakunnallisesti arvokkaan Karihaaran tehdasyhdyskunnan alueen halki katuja ja johtoa varten varattua aluetta pitkin, Kemin keskustan pohjoispuolella sijaitsevien asuinalueiden halki katuverkkoa pitkin, Kemin vanhan ruutukaavakeskustan läpi luode-kaakkosuuntaisia katuja pitkin, Koivuniemen ja Pajarinrannan puistoalueiden läpi ja edelleen Eteläntien, Perämerentien ja radan rinnalla kaakon suuntaan.

Haukkarista kaakkoon putkireitti kulkee Perämerentien rinnalla Kemin ja Simon kuntarajaan saakka. Perämerentie osoitetaan yleiskaavassa yleisen tien alueena.

Haasteellisia paikkoja reitillä ovat asuinalueiden tiiviit asuntokadut sekä ruutukaavakeskustan katuverkko.



Veitsiluoto 1

Putkireitti kulkee Metsä Fibreltä Peurasaareen samaa reittiä kuin vaihtoehdoissa Ajos 1 ja Karsikko, eli valtakunnallisesti arvokkaan Karihaaran tehdasyhdyskunnan alueen halki katuja ja johtoa varten varattua aluetta pitkin, Kemin keskustan pohjoispuolella sijaitsevien asuinalueiden halki katuverkkoa pitkin, Kemin vanhan ruutukaavakeskustan läpi luode-kaakkosuuntaisia katuja pitkin, Koivuniemen ja Pajarinrannan puistoalueiden läpi ja edelleen Eteläntien, Perämerentien ja radan rinnalla kaakon suuntaan.

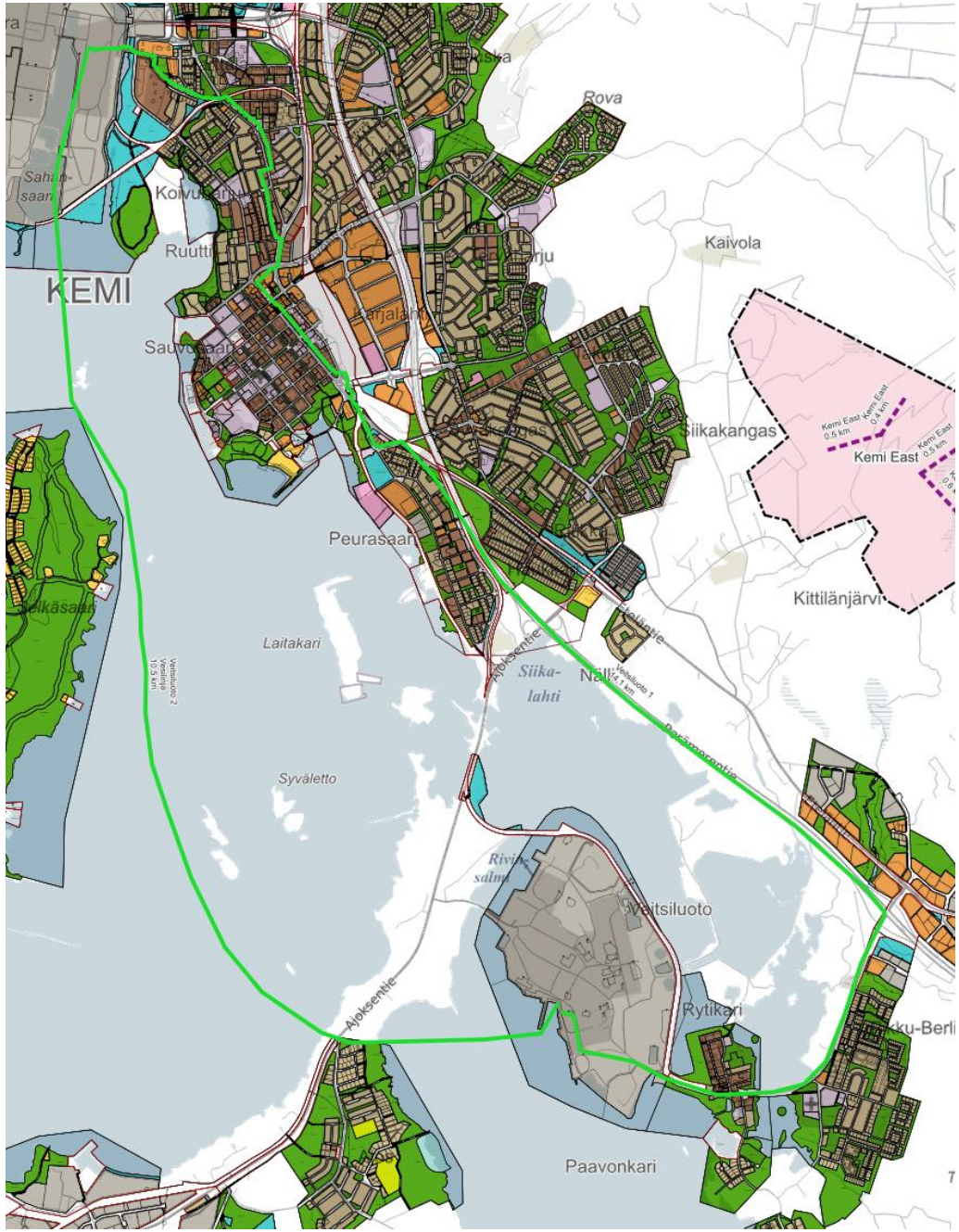
Haukkarista kaakkoon putkireitti kulkee Perämerentien rinnalla Kemintulliin saakka. Perämerentie osoitetaan yleiskaavassa yleisen tien alueena. Kemintullista Veitsiluotoon putkireitti myötäilee Veitsiluodontietä, joka osoitetaan yleiskaavassa yleisen tien alueena, Rytikarin kohdalla asemakaavassa liikennealueena. Reitin loppupää sijoittuu asemakaavassa osoitetulle teollisuus- ja varastorakennusten alueelle.

Haasteellisia paikkoja reitillä ovat asuinalueiden tiiviit asuntokadut sekä ruutukaavakeskustan katuverkko.

Veitsiluoto 2

Putki kulkee suurimmaksi osaksi samaa reittiä kuin vaihtoehdossa Ajos 2. Reitti kulkee Metsä Fibreltä Ajokseen vesialueen halki. Selkäsaaren pohjoispuolella yleiskaavassa osoitetaan likimain samalle reitille malminrikasteputki. Reitin läheisyydessä sijaitsevat saaret osoitetaan yleiskaavassa pääosin virkistysalueina.

Ajoksessa putkireitti risteää Ajoksentien ja Ajokseen johtavan radan kanssa. Ajoksentien varressa putkireitille ulottuu yleiskaavassa osoitettu Natura 2000-verkostoon kuuluva tai ehdotettu alue. Reitin loppupää jatkuu vesialueen yli Veitsiluotoon, asemakaavassa osoitetulle teollisuus- ja varastorakennusten alueelle. Yleiskaavassa reitin loppupäähän Veitsiluodon eteläpuolelle on osoitettu satama-alue.



Alustava riskiarvio

Riski ja turvallisuusarvioinnissa huomioitavia seikkoja:

- CO_2 on hajuton, väritön ja sen tiheys on suurempi kuin ilman. Erittäin suuret CO_2 pitoisuudet syrjäyttävät O_2:n, mikä voi aiheuttaa suljetussa tilassa tukehtumisen hapenpuutteen vuoksi.
- CO_2 on inertti kaasu, eikä se ole palavaa ainetta. Se voi reagoida voimakkaasti alkalimetallien, kuten puhtaan kaliumin tai natriumin kanssa aiheuttaen eksotermisen reaktion ja siten palo- ja räjähdysvaaran sopivissa olosuhteissa. Tällaisia materiaaleja ei tyypillisesti käytetä CO_2:n käsittelyssä.
- Epäpuhtaudet CO_2:ssa, kuten H_2O ja H_2S, saattavat aiheuttaa korroosiota putkilinjoissa. Siksi CO_2 tulisi esimerkiksi kuivata ja puhdistaa perusteellisesti ennen siirtoa. Myös korroosiota kestäviä materiaaleja tulisi käyttää putkissa ja muissa laitteissa.
- Paineen ja lämpötilan säätely on tärkeää pyrkiä pitämään tasaisena putkilinjassa, ettei CO_2:n olomuoto putken sisällä pääse vaihtumaan ja siten turhaan rasittamaan putkea.
- CO_2 liukenee veteen, jolloin se muodostaa hiilihappoa, jota esiintyy luontaisesti luonnonvesissä eri muodoissaan. Suurten CO_2-pitoisuuksien päätyminen veteen saattaa alentaa pH-tasoa, muuttaen veden pH:n happamammaksi ja aiheuttaen mahdollisia muutoksia vesiympäristössä.
- Kaavoituksen näkökulmasta, tarkasteluilla reittilinjauksilla on voimassa olevia yleis- ja asemakaavoja sekä kaavoittamattomia alueita, joiden puisto-, lähivirkistys- ja suojaviheralueille on mahdollista sijoittaa putkilinjaus,
- Kaavoituksen näkökulmasta, tarkasteluilla reittilinjauksilla on voimassa olevia yleis- ja asemakaavoja, joiden puisto-, lähivirkistys- ja suojaviheralueille siirtoputki on lähtökohtaisesti mahdollista sijoittaa huomioiden suojaetäisyydet mm. muuhun infrastruktuuriin.
- Putkireitin sijoittamiselle keskusta-alueella haasteita aiheuttavat asuinalueiden tiiviit asuntokadut sekä ruutukaavakeskustan katuverkko.
- Välillä Kemi East-Ajos putkireitin kannalta haastavin paikka lienee Veitsiluodon teollisuusalueen luoteislaita, jossa teollisuusalue rajautuu vesialueeseen ja olemassa olevat teollisuusrakennukset sijaitsevat paikoin hyvin lähellä rantaa.
- Putkireitti tukeutuu eri linjausvaihtoehdoissa joko voimalinja- tai rautatiealueeseen. Yksityiskohtaisemmassa suunnittelussa tulee huomioida niin rautatie- kuin voimajohtoreittien kehittämistarve aluevarauksineen ja käydä tiivistä vuoropuhelua voimalinja-alueiden osalta Fingridin sekä rautatiealueiden osalta Väyläviraston kanssa.
- Osa tarkastelluista siirtoputkilinjoista kulkee Natura- sekä pohjavesialueiden läheisyydessä, joka täytyy huomioida jatkosuunnittelussa.
- Merialueelle sijoittuvien putkilinjausten osalta epävarmuustekijöinä voidaan pitää merenpohjan lähtötietojen puutteellisuutta mm. rakentamisolosuhteisiin sekä maaperän pilaantuneisuuteen liittyen.

7 Alustava suuruusluokka-arvio

Johdanto

Tässä luvussa esitetään esiselvityksen alustavat suuruusluokka-arviot kahdelle putkistoreitille, jotka sijaitsevat välillä Metsä Fibre – Ajos (n. 13,3 km), sekä Metsä Fibre – Kemi East (n. 11,1 km). Siirrettävä CO_2-kapasiteetti molemmille reiteille on 500 000 tCO_2/a. Molemmissa suuruusluokka-arvioissa on otettu huomioon CO_2:n komprimointi, putkisiirto, CO_2 :n nesteytys, välivarastointi sekä terminaalitoiminnot Ajoksessa. Metsä Fibren alueella tapahtuvan CO_2:n talteenoton, Ajoksessa CO_2 :n siirtoon liittyvien laivojen kustannusten tai Kemi East -alueen sisäisen CO_2 :n jakeluverkon kustannuksia ei ole kuitenkaan otettu arvioissa huomioon. Arviossa ei myöskään ole tarkasteltu merenpohjan sedimentin tai maaperän laatua tai kuntoa, ja niiden on oletettu olevan puhtaita. Lisäksi maaperätutkimuksen tarpeellisuutta ei ole huomioitu tarkastelussa. Kustannusarviot perustuvat Swecon sisäisiin hintatietoihin.

Kemi East -alueella on oletettu, että koko kapasiteetti nesteytetään ja jaetaan Kemi East -alueen sisäistä CO_2 :n jakeluverkkoa pitkin jatkojalostajien käyttöön, tai välivarastoidaan. Ajoksen satama-alueella on oletettu, että koko kapasiteetti nesteytetään ja siirretään välivarastoon laivaan lastausta varten. Tyhjennyksen jälkeen varasto täytetään kaasumaisella CO_2:lla, jotta haluttu paine säilyisi varastoissa. Välivarastoinnin tarve perustuu Swecon arvioon, jonka mukaan varasto tyhjennettäisiin keskimäärin kerran viikossa laivaan.

Taulukko 5. Kustannustarkastelua varten tehdyt olettamukset

	Oletukset
Tulopaine (bara)	1
Ulosmenopaine (bara)	25
Vuosittainen siirtokapasiteetti (tCO_2/a)	500 000
Arvioitu välivarastoinnin tarve (m^3)	30 000

Arvioitu kompressorin teho on 4,8 MW, jonka laskemiseen on käytetty taulukossa 5 esitettyjä oletuksia. Taulukon oletukset perustuvat Sweco:n sisäisiin tietoihin. Lisäksi luvussa esitetään alustava tilantarpeen arvio CO_2:n nesteytys- ja välivarastointiyksikölle.

Konseptin suuruusluokka-arvio Metsä Fibren ja Kemi East – alueen väliselle reitille

Suuruusluokka-arvio Metsä Fibren ja Kemi East -alueen väliselle reitille on esitetty taulukossa 6. Kustannukset on laskettu liitteessä 1 violetilla värillä esitetyn reittivaihtoehdon perusteella, jonka pituudeksi on arvioitu noin 11,1 km varmuuskerroin huomioon ottaen. Valittu putkistomateriaali on haponkestävä teräs ja paineluokka on PN40.

Putkiston, nesteytysyksikön ja välivaraston kustannukset sisältävät laitteistojen materiaalit, asennuksen, kaivuutyöt, putkistot, liitännät sekä instrumentoinnin ja sähköistyksen. Kustannusarvio muodostuu suurelta osin CO_2:n nesteytyksen ja välivarastoinnin hinnasta.

Putkiston kustannus on esitetty -50 % / +100 % tarkkuudella. Putkiston hintaan vaikuttavat erityisesti kaivuu- ja asennustöiden kustannukset. Lisäksi putkiston kustannuksessa on otettu huomioon putken materiaali, projektin hallinta sekä suunnittelu- ja luvitustyöt. Putkiston hinta kilometriä kohden olisi siten noin 1,9 M€/km.

Välivaraston kustannus on annettu keskimääräisenä arviona, eikä siinä ole otettu kantaa siihen, minkälainen varasto tyypiltään voisi olla (bullet- vai pallovarasto). Alustavan reittivalinnan ja siirtokapasiteetin perusteella kyseisen reitin suuruusluokka-arvion arvioidaan olevan noin 200-250 miljoonaa euroa.

Taulukko 6. Esimerkki Metsä Fibren ja Kemi East –alueen välisen reitin suuruusluokka-arviosta

Kustannus	M€
kompressori	5
putkisto	20
CO_2:n nesteytys	100
CO_2:n välivarasto	80*
Yhteensä	**205**

*) Varaston koko on määritelty Ajoksen tapauksen mukaan. Kemi East -alueen tapauksessa pienempikin varastointikapasiteetti voi olla mahdollinen.

Konseptin suuruusluokka-arvio Metsä Fibren ja Ajoksen väliselle reitille

Suuruusluokka-arvio Metsä Fibren ja Ajoksen väliselle reitille on esitetty taulukossa 7. Kustannukset on laskettu liitteessä 1 punaisella värillä esitetyn reittivaihtoehdon perusteella, jonka pituudeksi on arvioitu noin 13,4 km varmuuskerroin huomioon ottaen. Putkistomateriaalina on valittu haponkestävä teräs, ja paineluokka on PN40.

Putkiston, nesteytysyksikön ja välivaraston kustannukset kattavat laitteistojen materiaalit, asennuksen, kaivuutyöt, putkistot, liitännät sekä instrumentoinnin ja sähköistyksen. Terminaalin kustannuksiin sisältyvät myös rakennusautomaatio, sähköistykset, boil-off takaisinkeruujärjestelmän, lastausvarret (2-4 kpl) ja -pumput. Välivaraston kustannus on annettu keskimääräisenä arviona, eikä siinä ole otettu kantaa siihen, minkälainen varasto tyypiltään voisi olla (bullet- vai pallovarasto). Suuruusluokka-arvio muodostuu pääasiassa CO_2:n nesteytyksen, terminaalin ja välivarastoinnin kustannuksesta.

Putkiston kustannus on esitetty -50 % / +100 % tarkkuudella. Erityisesti kaivuu- ja asennustöiden kustannukset vaikuttavat putkiston hintaan, ja merenpohjassa tapahtuvan asennuksen vuoksi näiden töiden osuus on suurempi kuin maalle rakennettavalla putkistolla. Toisaalta vesistön syvyys reitin varrella on suhteellisen matala, mikä on edullista kustannusten näkökulmasta. Putkiston hinta kilometriä kohden olisi noin 2,3 M€/km. Alustavan reittivalinnan ja siirtokapasiteetin perusteella kyseisen reitin suuruusluokka-arvion arvioidaan olevan noin 300-350 miljoonaa euroa.

Taulukko 7. Esimerkki Metsä Fibren ja Kemi East –alueen välisen reitin suuruusluokka-arviosta

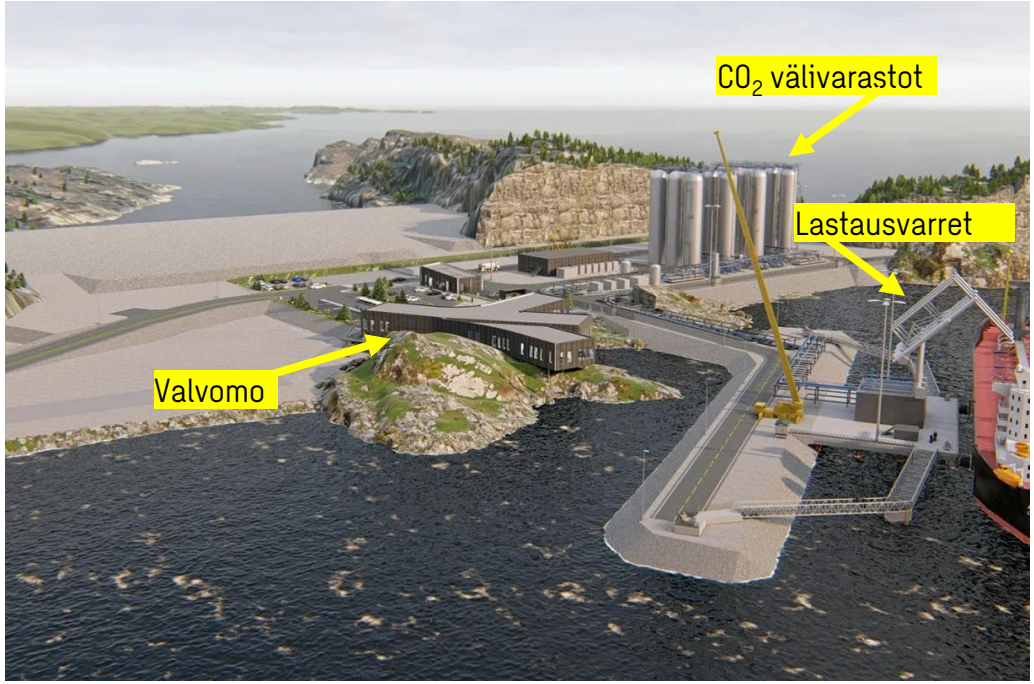
Kustannus	M€
kompressori	5
putkisto	30
CO_2:n nesteytys	100
CO_2:n välivarasto	80
Terminaali	100
Yhteensä	**315**

Välivaraston ja nesteytyksen alustava tilantarvearvio

Alustavan arvion mukaan väliaikaisen CO_2:n varastointitilan tilan tarve on noin 1 ha. Tilan tarpeessa on otettu huomioon Turvallisuus- ja kemikaalivirasto (Tukesin) määräykset terveydelle ja ympäristölle vaarallisia kemikaaleja sisältävien varastojen välisestä vähimmäisetäisyydestä ja se jättää riittävästi tilaa varastojen ympärille varastojen huoltoa, lastausta ja purkua varten. Kuitenkin tilan tarvetta on tutkittava tarkemmin projektin edetessä, että välivarastointiin liittyvät tarvittavat turvallisuusmääräykset täyttyvät.

CO_2:n nesteytyksen alustavan tilantarpeen arvioidaan olevan noin 2 000 m^2. Sekä välivaraston, että CO_2:n nesteytyksen alustava tilantarve pohjautuvat Swecon sisäisiin tietoihin, sekä aikaisempiin laitevalmistajien antamiin tarjouksiin.

Kuvassa 6 on esitettynä miltä lastausterminaalialue eri yksiköineen voisi kokonaisuutena näyttää. Esimerkkikuvasta puuttuu CO_2:n nesteytys, sillä Northern lights CCS –projektissa tällä kyseisellä terminaalialueella CO_2 nesteytetään heti talteenoton jälkeen, ja siirretään sen jälkeen putkea pitkin välivarastoon. Kuvassa CO_2:n välivarasto sijaitsee kauempana, ja itse terminaalialue, sekä valvomo jäävät etualalle. CO_2 siirretään välivarastosta lastausalueelle putkisiltaa pitkin.



Kuva 6. Havainnollistava esimerkkikuva Northern Lights CCS –projektin CO_2:n lastausterminaalialueen sijoittelusta (muokattu lähteestä McCulley, R. 2022)

8 Yhteenveto ja ehdotukset seuraavista toimenpiteistä

Yhteenveto

Tämän työn tavoitteena oli tutkia alustavalla tasolla CO_2:n kuljetusta Kemin Metsä Fibren biotuotetehtaalta kolmelle Kemin ja Simon alueilla sijaitseville alueille putkisto-, maantie-, ja junakuljetuksen näkökulmasta. SWOT-analyysi suoritettiin kuljetustapojen vertailua varten, jossa yhdeksi isommaksi kokonaisuudeksi korostuivat siirtokapasiteetin vaikutus kuljetuksen tekniseen toteutettavuuteen.

Kuljetuskapasiteetin kasvulla on kerrannaisvaikutuksia muuhun liikenteeseen, mikä tulee ottaa myöhemmissä suunnitteluvaiheissa huomioon erityisesti siksi, koska CO_2:n siirron alku- ja loppupisteet sijaitsevat eri puolilla Kemin keskusta-aluetta, jolloin lisääntyvä kuljetusliikenne vaikuttaisi muuhunkin alueen liikenteeseen erityisesti maantieliikenteen näkökulmasta katsottuna.

Alustavassa putkistoreitin valinnassa nousi esiin useita eri vaihtoehtoja, ja niissä korostuivat hieman eri asiat. Kaikille yhteinen piirre oli kuitenkin se, että putkisto tulisi kulkemaan lähes kaikissa tapauksissa suurehkojen risteysalueiden, maanteiden ja rautateiden alitse, minkä odotetaan kasvattavan kustannuksia. Lisäksi Metsä Fibren ja Ajoksen, sekä Metsä Fibren ja Kemi East välisen alueen yksi reittivaihtoehto kulkisi merenpohjaa pitkin, mikä todennäköisesti vaatii oman erityisen lupakäsittelynsä. Reittien varrella sijaitsee pohjavesialueita, joiden vaikutusta reittisuunnitteluun tulee ottaa seuraavissa vaiheissa tarkemmin huomioon. Reiteille sijoittuu paikoin valtakunnallisesti arvokasta rakennettua kulttuuriympäristöä tai arvokasta luonnonympäristöä, mikä tulee huomioida jatkossa reitin toteutuksen suunnittelussa.

Putkistokuljetuksessa on haasteena toteuttaminen kaupunkiympäristössä, jossa turvallisuus on keskeinen tekijä reittisuunnittelussa. CO_2:n kuljettaminen putkistoissa on Suomessa uutta teknologiaa, mikä voi aiheuttaa epäselvyyksiä lainsäädännössä liittyen erilaisiin lupavaatimuksiin, kuten luvussa 6 on käsitelty.

Kuljetusvaihtoehtojen tarkastelusta esitetyillä vaihtoehtoisilla siirtokapasiteeteilla voidaan yhteenvetona todeta, että mikäli kapasiteetti jää alle 1 000 000 tCO_2/a, jää putkikuljetus kannattamattomaksi maantie- ja junaliikenteeseen verrattuna. Putkistosiirto on selvityksessä tehdyn vertailun perusteella yleisesti hyvä vaihtoehto kaikille reiteille siksi, ettei se juurikaan vaikuttaisi muun liikenteen sujuvuuteen.

Rautatiekuljetuksiin liittyy useita epävarmuustekijöitä mm. kaluston ja liikennöitsijän saatavuuden takia. On mahdollista, ettei liikennöitsijöillä ole kiinnostusta lyhyelle reitille. Siirtokapasiteetin ollessa alle 500 000 tCO2/a rautatiekuljetukset eivät ole taloudellisesti kannattavia. Viikossa tämä tarkoittaisi kahdeksaa junaa. Jos siirtokapasiteetti on 4 000 000 tCO2/a rautatiekuljetus on kannattava vaihtoehto. Karsikon alueella ei ole olevaa rautatieinfraa, ja se vaatisi erillisen investoinnin. Selvityksen yhteydessä on arvioitu, että tarkasteltavien hiilidioksidimäärien siirrolla rautateitse ei ole vaikutusta päärataverkkoon Kemin kohdalla.

Pienten kapasiteettien (50 000 ja 150 000 tCO_2/a) kuljetukset vaikuttavat soveltuvan paremmin maantiekuljetukseen kaikilla reiteillä. Tällöin vuorokauden aikaiset liikennemäärät CO_2:n kuljetuksesta eivät vielä vaikuta merkittävästi muuhun liikenteeseen keskusta-alueella.

Jatkosuunnittelussa tulisi selvittää kaikkien kuljetusmuotojen osalta lastaus- ja purkualueiden nykytila sekä mahdolliset parantamistarpeet niin purku- kuin lastausalueiden osalta. Tämä koskee etenkin Metsä Fibren sekä Ajoksen ja Veitsiluodon alueita.

Yhteenveto

Suuruusluokka-arvio toteutettiin kahdelle putkistosiirron reitille, jotka olivat Metsä Fibren laitokselta Ajoksen satamaan tai Kemi East-alueelle. Suuruusluokka-arvion perusteella kalliimpi putkistosiirtokonsepti tulisi olemaan Metsä Fibren laitokselta Ajokseen menevän reitin suuruusluokka-arvio joka on noin 300-350 miljoonaa euroa. Kemi East-alueelle vievän reitin suuruusluokka-arvio on noin 200-250 miljoonaa euroa. Ero kustannuksissa johtuu pääosin siitä, että CO_2:n lastausterminaali Ajoksessa kasvattaa kyseisen reitin kustannusta huomattavasti. Tämän lisäksi Ajokseen vievä reitti on hieman pidempi kuin Kemi East – alueelle vievä reitti, ja merenpohjassa kulkevan putkiston kustannus on hieman suurempi kuin maaperällä kulkevalla putkistolla johtuen putken suuremmasta pituudesta, sekä kaivuu- ja asennustöiden kustannuksesta.

Luvitus- ja maaperätutkimusten osuus kustannuksista saattaa aiheuttaa kustannusten nousua, sillä alueella aikaisemmin toimineet paperi- ja sellutehtaat ovat todennäköisesti päästäneet jätteitä ja puhdistamattomia jätevesiä suoraan mereen aikaisempina vuosikymmeninä, minkä seurauksena merenpohjan sedimenttikerrokset saattavat olla laadultaan epätasaisia ja jopa pilaantuneita. Tämä voi vaikuttaa maaperätutkimusten toteutukseen ja projektin aikatauluun. Laadunvalvonta ja nostettavien kuormien käsittely voivat siten muodostaa merkittäviä kustannuksia.

On tärkeää huomata, että molemmissa putkistosiirron vaihtoehdoissa CO_2:n nesteytys ja välivarastointi aiheuttavat suuremmat kustannukset kuin itse putkistosiirto. Kemi East -alueella kustannuksia voisi mahdollisesti vähentää pienentämällä välivarastoinnin kapasiteettia, sillä CO_2:a on saatavilla melko tasaisena virtana lähes koko vuoden ajan Metsä Fibren suurten käyttötuntien vuoksi. Myös mahdollisten CO_2:n jatkojalostajien määrä alueella ja heidän kapasiteettitarpeensa voivat vaikuttaa lopulliseen CO_2:n nesteytyksen ja välivarastoinnin tarpeeseen. Tätä mahdollisuutta ei kuitenkaan ole käsitelty tämän selvityksen puitteissa. Joka tapauksessa Kemi East -alueen tapauksessa välivaraston koko määritellään täysin eri lähtökohdista kuin Ajoksessa, mikä voi siten muuttaa investointikustannuksen suuruutta.

Ehdotukset seuraavista toimenpiteistä

Seuraavia jatkotoimenpiteitä ehdotetaan:

- Yhteistyön tiivistäminen CO_2:n tuottajan, sekä jatkojalostajien kesken.
- Tässä selvityksessä selvitettiin mahdollisuutta kuljettaa CO_2:a putkistoa pitkin kaasuna, jonka jälkeen sitä jatkokäsitellään käyttökohteen mukaan. Jos CO_2 joka tapauksessa nesteytetään, voisi kannattavuuden näkökulmasta myös pohtia mahdollisuutta, jossa CO_2 nesteytettäisiin jo Metsä Fibren alueella, ja siirrettäisiin sieltä nestemäisessä muodossa eteenpäin. Tällöin tulee tarkastella sitä, onko Metsä Fibrellä tilaa nesteytysprosessille.
- Tilantarpeen selvitys: jotta tarkempaa selvitystä olisi mahdollista seuraavissa vaiheissa edistää, on tarpeen kartoittaa tilantarpeet sekä CO_2:n lähtö- että vastaanottopaikoilta. Tämä on erityisen tärkeää Ajoksen ja Veitsiluodon alueilla, koska siellä on jo olemassa olevaa satama- ja teollisuustoimintaa, joka tulee ottaa alueen suunnittelussa huomioon.
- Siirtoputken sijoittaminen: Siirtoputken sijoittamisen osalta täytyy käydä tiivistä vuoropuhelua kaupungin, Fingridin ja Väyläviraston sekä muiden tarvittavien osallisten kanssa. Siirtoputken suunnittelussa tulee huomioida maankäytön, ympäristön, luonnon sekä rakennetun kulttuuriperinnön aiheuttamat reunaehdot putken sijoittamiselle.
- Konseptin tarkentaminen: on tärkeää selkeyttää kokonaiskonseptia määrittelemällä miten ja missä CO_2:a aiotaan välivarastoida ja hyödyntää, jotta saadaan selville todellinen siirrettävän CO_2:n määrä. Tällöin pystytään rajaamaan kuljetusvaihtoehtojen määrää, sekä tekemään tarkempaa tarkastelua esimerkiksi kustannusten osalta.

9 Lähteet ja liitteet

Lähteet ja liitteet

Lähteet:

Bioenergia & VTT, 2024. Outlook of CO_2 logistics in Finland for CCUS – Public summary report. PDF-dokumentti. Julkaistu 4.10.2024. Saatavissa: https://www.bioenergia.fi/wp-content/uploads/2024/10/PUBLIC-SUMMARY-REPORT-CO2-LOGISTICS_Bioenergiary-VTT-04-10-2024.pdf Viitattu 10.12.2024

Danish Energy Agency, 2024. Carbon capture, transport and storage – Technology data. Pdf-dokumentti. Päivitetty 04/2024. Saatavissa: https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Analyser/technology_data_for_carbon_capture_transport_and_storage.pdf Viitattu 10.12.2024.

McCulley, R. 2022. Upstream - Northern Lights signs first cross-border commercial carbon capture deal. Uutinen. Julkaistu 29.8.2022. Päivitetty 31.8.2022. Saatavissa: Northern Lights signs first cross-border commercial carbon capture deal | Upstream Viitattu 25.3.2025.

Wang, H. et al, 2019. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 310 032033. Pdf-dokumentti. Saatavissa: Open Access proceedings Journal of Physics: Conference series Viitattu 20.3.2025

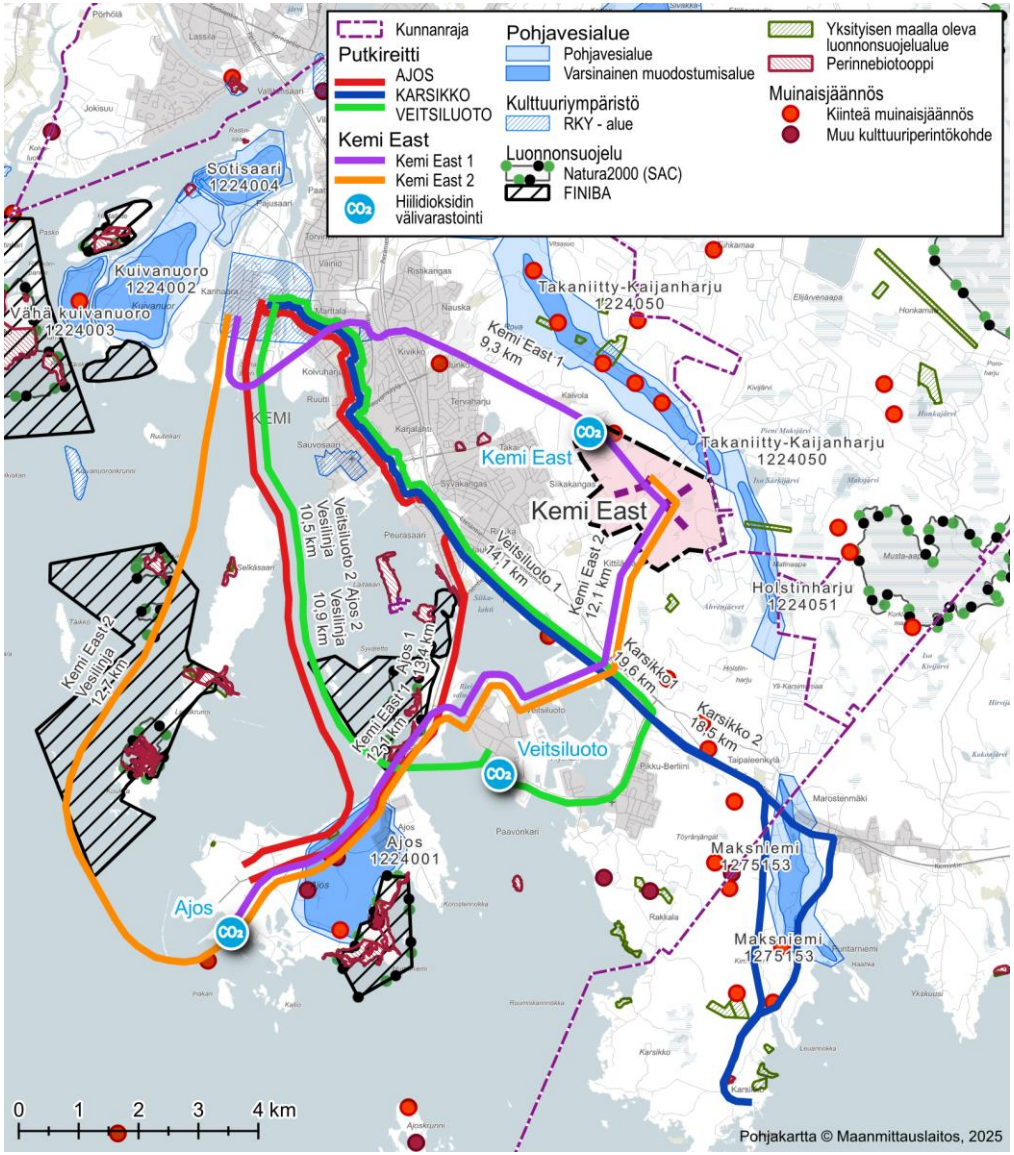
ZEP (Zero Emissions Platform), 2023. Pdf-dokumentti. Saatavissa: An-Interoperable-CO2-Transport-Network.pdf Julkaistu 09/2023. Viitattu 20.3.2025

Liitteet:

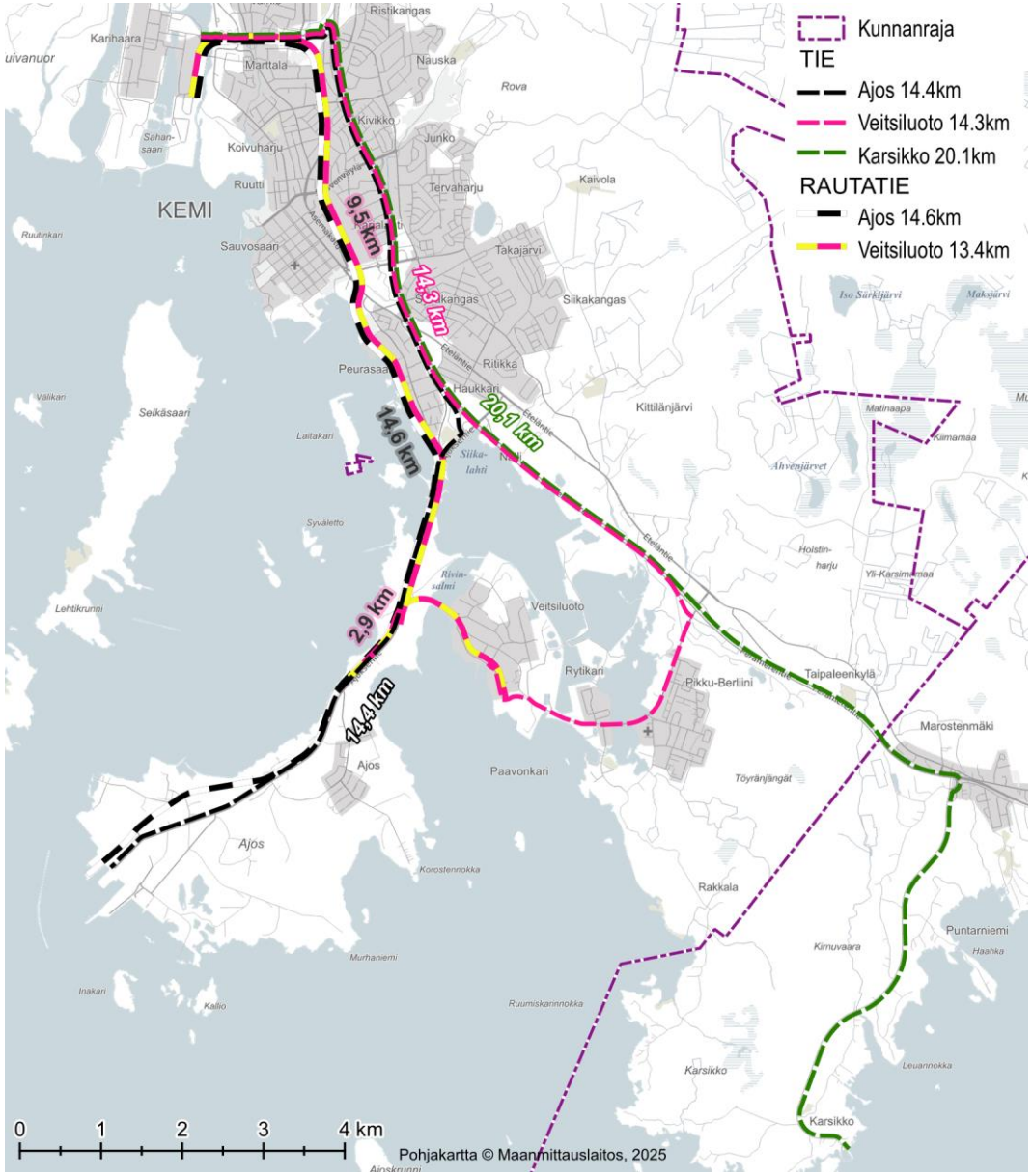
Liite 1. Alustavien putkistoreittien tarkastelu karttamuodossa, sekä reittien rajoitustekijät

Liite 2. Alustavien rauta-, sekä maantiereittien tarkastelu karttamuodossa

Liite 1. Alustavien putkistoreittien tarkastelu karttamuodossa, sekä reittien rajoitustekijät



Liite 2. Alustavien rauta-, sekä maantiereittien tarkastelu karttamuodossa



Transforming society together