

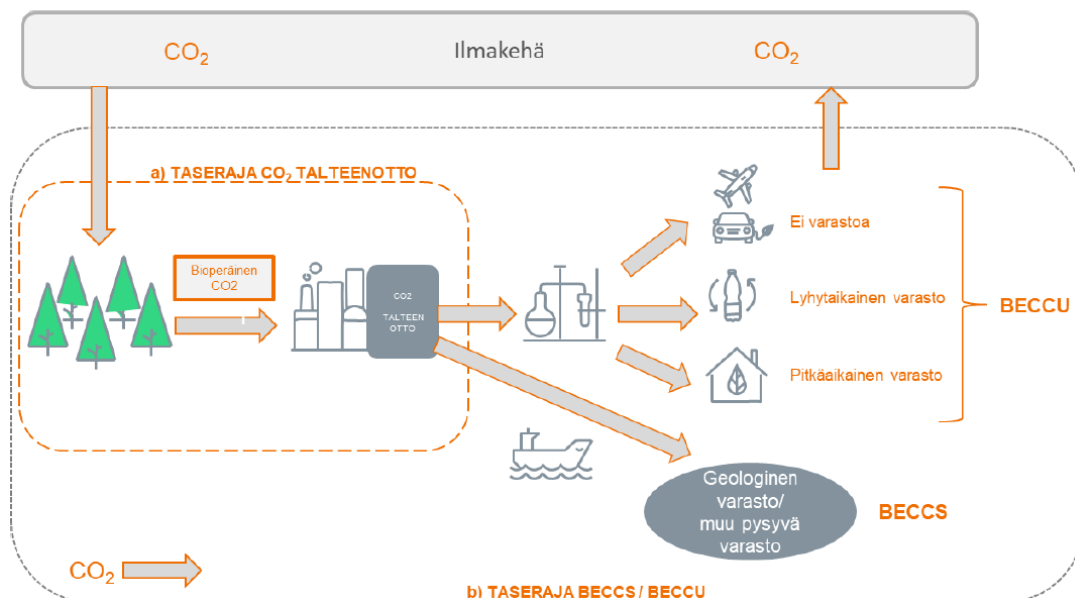
TIETOKOOSTE

Asia: Sosialidemokraattisen eduskuntaryhmän pyyntö hiilen talteenoton ja varastoinnin teknologioihin liittyvästä tietotuesta ja politiikkasuosituksista.

Suomen ilmastopaneelin asiantuntijoiden kokoama tieto- ja materiaalikoooste hiilidioksidin talteenoton ja varastoinnin teknologioista. Asiakirjaan on kerätty olemassa olevaa selvitys- ja tutkimuskirjallisuutta, eikä sisältö edusta Ilmastopaneelin virallisia politiikkasuosituksia. Annettu 4.7.2025.

TAUSTAA

Bioperäistä hiilidioksidia voidaan ottaa talteen ja varastoida pysyvästi (BECCS = *bioenergy with carbon capture and storage*). Hiilidioksidia voidaan myös hyötykäyttää tuotteisiin kuten polttoaineisiin, kemikaaleihin tai muoveihin (BECCU = *bioenergy with carbon capture and utilisation*). Jälkimmäiseen vaaditaan puhdasta vedyn tuotantoa ja siten suuri määrä energiaa.



Kuva 1. Hiilidioksidin talteenoton, hyötykäytön ja poiston taserajat. Lähde: [Koponen & Kujanpää 2025](#).

BECCS:lle ei ole tällä hetkellä suoraa kannustinta vapaaehtoisen markkinan lisäksi. Euroopan unioni harkitsee BECCS:n liittämistä päästökauppaan, joka voisi toimia kysynnän synnyttäjänä ja investointien kannusteena. Nykyinen päästöoikeuden hinta ei kuitenkaan välttämättä riitä yksinään kannusteeksi, vaan tarvitaan myös investointitukia tai muita tuki-instrumentteja.

BECCU-tuotteille luovat kysyntää puhtaiden liikennepolttoaineiden sääntely, esimerkiksi EU:n RED-direktiivi sekä ReFuel EU Aviation. Hinnaltaan kalliiden tuotteiden kysynnästä tarvitaan varmuus, jotta investoinnit toteutuvat sekä vedyn tuotantoon että CCU:hun (*carbon capture and utilisation*).

Ilmastopaneeli on keväällä 2025 arvioinut¹, että 2035 mennessä voitaisiin tuottaa noin 3 Mt CO₂-ekv. (jatkossa lyhyemmin Mt) BECCSiä. Päivittynyt arvio on pienempi kuin Ilmastopaneelin aiempi arvio², sillä parhaillaan suunniteltava kannustinjärjestelmä on jäämässä pieneksi (144 M€).

Mielenkiintoinen esimerkki Ruotsista on Stockholm Exergin BECCS-laitos, jolle on tehty investointipäätös keväällä 2025. Investointi on tarkoitus rahoittaa EU:n investointituen, Ruotsin käänteisen huutokaupan sekä vapaaehtoismarkkinoille myytyjen hiilidioksidin poistojen yhdistelmänä.

Alla olevassa koosteessa käsitellään erityisesti hiilidioksidin poistoa ilmakehästä, eli hiilidioksidin talteenottoa ja pysyvää varastointia esimerkiksi BECCS:n avulla.

MATERIAALEJA

ESABCC:n politiikkasuositukset helmikuussa 2025

Scaling up carbon dioxide removals: Recommendations for navigating opportunities and risks in the EU. European Scientific Advisory Board on Climate Change. Julkaistu: 21.2.2025. (ks. s. 10–13)

- Päästövähennyksille, pysyville poistoille (kuten BECCS = *bioenergy with carbon capture and storage* ja DACCS = *direct air capture and storage*) ja väliaikaisille poistoille (kuten metsitys) on asetettava erilliset, oikeudellisesti sitovat tavoitteet.
- Johdonmukaisia seuranta-, raportointi- ja todentamisjärjestelmiä tulee kehittää. Poistojen osuus EU:n ilmastotavoitteiden saavuttamisessa tulee olla läpinäkyvä.
- EU:n luonnonnielun jatkuva heikkeneminen on pysäytettävä kiireellisesti. Biomassan kestävä alkuperä, hankinta ja käyttö tulee varmistaa. Maankäyttöön liittyvästä sääntelystä tulee muodostaa yhdenmukainen politiikkakehyks, joka velvoittaa sektorikohtaisiin toimiin EU:n luonnonnielujen parantamiseksi ja ilmastomuutokseen sopeutumisen edistämiseksi.
- Sääntely-ympäristön signaaleja ja rahoitusta innovaatiocyklin kaikissa vaiheissa tulee vahvistaa. Pysyviin poistoihin tähtääviä hiilidioksidin talteenoton ja säilytyksen (CSS) ratkaisuja on priorisoitava. Suuren yleisön tietoisuutta aiheesta tulee kasvattaa.
- EU:n hiilidioksidin kuljetus- ja varastointi-infrastruktuuria tulee kehittää vahvemman koordinaation, investointien ja strategisen suunnittelun keinoin. Samalla tulee varmistaa mm. oikeudenmukaisen siirtymän ja ilmastokestävyyden näkökulmat.
- Pysyvien poistojen asteittaista sisällyttämistä EU:n päästökauppajärjestelmään tulee tarkastella huolehtien tiukoista ehdoista, joilla ehkäistään mm. ympäristöriskejä ja päästövähennysten hidastumista.
- Maankäyttösektorilla (LULUCF) sektorilla tulee ottaa käyttöön uusia ohjauskeinoja, joilla hinnoitellaan päästöjä ja luodaan kannusteita poistoihin. Poliittikajohdonmukaisuus laajemman ilmastoarkkitehtuurin kanssa on tärkeä varmistaa.

¹ Suomen ilmastopaneeli 2025. Suomen hiilineutraaliuspolku – Arvio hiilineutraaliuden saavuttamisesta ja sen keinoista. Suomen ilmastopaneelin julkaisuja 1/2025.

² Kujanpää, L., Koponen, K., Linjala, O., Mäkikouri, S., Arasto, A. 2023. Teknologisten hiilinielujen mahdollisuudet ja niiden edistäminen Suomessa. Suomen ilmastopaneelin raportti 5/2023.

- Kasvihuonekaasupäästöjen aiheuttajien vastuu tulee ymmärtää laajasti niin, että päästöjen aiheuttajilta edellytetään panostuksia myös tuottamiensa päästöjen poistamiseen tulevaisuudessa.
- EU-ilmastopolitiikan hallinnollisia ja institutionaalisia valmiuksia tulee lisätä. Tätä tulee tukea diplomatian keinoin hiilivuotoa vähentämällä ja kansainvälisen ilmastopolitiikan kunnianhimoa kirittämällä.

NEGEMin politiikkasuositukset EU:n 2040-ilmastotavoitteen konsultaatioon kesällä 2023

Quantifying and Deploying Responsible Negative Emissions: Science-policy brief. NEGEM-tutkimushanke. Julkaistu: 20.7.2023. (VTT:n koordinoima EU Horizon 2020 -tutkimusohjelma, koordinaattorina Kati Koponen) (ks. s. 7)

- Päästövähennyksille ja hiilidioksidin poistolle (CDR) tulisi asettaa erilliset tavoitteet vuodelle 2040.
 - Vuoteen 2040 mennessä monien sektoreiden (kuten energiasektorin) päästöjen tulisi olla lähellä nollaa. Tämän lisäksi saatetaan tarvita erillinen CDR-tavoite.
 - LULUCF-sektorille sekä tekniselle, hiilidioksidin geologiseen varastointiin johtavalle poistolle (CDR) tulisi olla erilliset tavoitteet.
 - Päästövähennystavoitteiden ja CDR-tavoitteiden jakautumisen EU-maiden kesken tulisi olla oikeudenmukainen. Myös EU:n globaali vastuu tulee huomioida.
- Vuoden 2050 ilmastoneutraaliustavoitteessa hiilidioksidin poiston merkitys korostuu etenkin, jos luonnon hiilinielu EU:ssa heikkenee.
 - Hiilenpoistoteknologioiden teollisen mittakaavan käyttöönoton tulisi käynnistyä viimeistään 2030-luvulla, jotta teknologioiden on mahdollista skaalautua vuoteen 2050 mennessä.
 - Päästöjen vähentäminen on ensisijaista ja riippuvaisuus hiilenpoistoteknologioista on syytä minimoida.
- Luontopohjaisten ja teknologisten ratkaisujen roolit ovat erilaiset.
 - Geologisen mittakaavan varastointiin perustuvia teknologisia ratkaisuja tarvitaan hiilineutraaliuden saavuttamiseen.
 - Luontopohjaiset menetelmät hyödyttävät ilmastomuutoksen hillinnän lisäksi monimuotoisuuteen ja ennallistamiseen liittyviä kansainvälisiä tavoitteita (esim. Kunming-Montreal).
- Yhteistyö EU-jäsenmaiden välillä ja EU:n ulkopuolella on mahdollistettava (esim. hiilidioksidin kuljetukseen ja varastointiin liittyen).
- Yhteinen sääntelykehys hiilidioksidin poistolle tarvitaan pikaisesti, jotta toimijat saavat selkeyttä ja varmuutta investointipäätöksiin.

Ilmastopaneelin raportin 5/2023 johtopäätökset

Teknologisten hiilinielujen mahdollisuudet ja niiden edistäminen Suomessa. Suomen ilmastopaneelin raportti 5/2023. Tekijät: Lauri Kujanpää, Kati Koponen, Onni Linjala, Sampo Mäkikouri, Antti Arasto. Julkaistu: 14.12.2023. (ks. Esipuhe s. v-vi)

- Lähtökohdat BECCS-tekniikkaan perustuville hiilinieluille Suomessa:
 - Suomessa syntyy nykyisin vuosittain noin 28 Mt bioperäisiä hiilidioksidipäästöjä. Bioperäisen hiilidioksidin lähteistä merkittävimmät ovat metsäteollisuus (19,6 Mt_{bio}), lämpövoimalaitokset ja muut polttolaitokset (8,0 Mt_{bio}) sekä jätteenpoltto (0,6 Mt_{bio}). Oletettavissa oleva teknistaloudellinen potentiaali on kuitenkin merkittävästi tätä alhaisempi.
 - Suomessa ei ole hiilidioksidin pysyvään varastointiin soveltuvia geologisia muodostumia, kuten syvällä sijaitsevia suolavesikerrostumia tai tiiviin kerroksen sulkemaa huokoista kallioperää. Potentiaalisimmat varastoalueet löytyvät todennäköisesti Pohjanmeren alueelta. Varastoitava hiilidioksidi pitäisi näin ollen kuljettaa ensin satamaan, josta hiilidioksidi kuljetetaan laivakuljetuksena joko suoraan varastoalueelle tai vastaanottavaan satamaan, josta on putkiyhteys varastoalueeseen.
 - Suomesta voi löytyä mahdollisuuksia hiilidioksidin mineralisointiin, joka lasketaan myös pysyväksi varastoksi.
- Hiilidioksidin talteenoton ja varastoinnin (BECCS) kustannukset:
 - Suomen teollisista päästölähteistä saatavan hiilinielun yksikkökustannus vaihtelee talteenottokohteen mukaan nykyarvion mukaan noin 120–240 €/tCO₂ kaupallisella laitoksella vuoden 2030 tienoilla. Hiilidioksidin geologiseen varastointiin perustuvien teknologisten hiilinielujen kustannus kattaa hiilidioksidin talteenoton, paineistuksen, kuljetuksen ja varastoinnin. Raportissa esitettävät kustannusarviot sisältävät epätarkkuuksia ja niiden tarkoitus on olla vain suuntaa antavia.
 - Raportin analyysin perusteella päästövähennysten kannalta biogeenisen hiilidioksidin talteenoton ja varastoinnin ominaispäästövähennyskustannus on alhaisempi kuin hiilidioksidin talteenoton ja hyötykäytön kustannus esimerkiksi synteettisten polttoaineiden valmistamisessa.
 - Hyötykäytön kannattavuuteen yritystoiminnassa vaikuttaa kuitenkin myös tuotettavasta hyödykkeestä saatava hinta. Se riippuu hyödykkeen kysynnästä, jota ajaa lähinnä ilmastopoliittikan tiukkuus eri käyttösektoreilla eli hiilidioksidiekvivalenttipäästöjen hinta.
- Strategian ja kannustimien luominen hiilidioksidin talteenoton, varastoinnin ja hyötykäytön (BECCUS) edistämiseksi on kiireellistä.
 - Geologisen varastokapasiteetin rajoitettu määrä voi muodostaa merkittävän pullonkaulan, jonka poistamiseksi Suomessa tulee alkaa valmistella huomattavasti aktiivisemmin hiilidioksidin talteenottoja varastointihankkeita. Suomalaisia toimijoita ja teknologisten hiilinielujen toteuttamista hyödyttää, jos valtion tasolla tehdään strategisia avauksia ja yhdistettäisiin hajanaisia toimia yhdeksi rintamaksi.
 - Suomessa ei ole tällä hetkellä suoria taloudellisia kannustimia teknologisten hiilinielujen tuottamiseksi vapaaehtoisia päästömarkkinoita lukuun ottamatta. Käänteisen huutokaupan (tarjouskilpailu) tai muun taloudellisen kannustinmekanismin selvitystyö tulisi käynnistää pian, jos hankkeita halutaan toteuttaa 2030-luvun alkupuolella.

- Hiilidioksidin talteenoton, kuljetuksen ja varastoinnin hankekehityksen suunnitelmiseen, luvituksineen ja rakennus- sekä käyttöönottovaiheineen on arvioitu vievän vähintään 6–7 vuotta. Hankkeita pitäisi käynnistää nopeasti pitkän valmisteluajan vuoksi.
- Teknologisten nielujen (BECCS) teknologian kehitykseen, kustannuksiin ja niitä koskevaan politiikkaan liittyy paljon epävarmuuksia.
 - Biogeenisen hiilidioksidin arvioidussa potentiaalisessa määrässä pääosaa näyttelee metsäteollisuuden polttama biomassa. Niukkuus biomassasta kasvaa samalla, kun mahdollisuudet tuottaa erilaisista sivujakeista uusia tuotteita polttamisen sijaan lisääntyvät. Metsäteollisuuden tulevat valinnat vaikuttavat merkittävästi biogeenisen hiilidioksidin potentiaalin kehitykseen.
 - Raportoidut kustannukset ovat arvioita demonstraatiovaiheen jälkeisistä kustannuksista. Niihin sisältyy paljon epävarmuutta. Teknologian ja osaamisen kehitys voi olla nopeampaa tai hitaampaa.
 - Raportoitujen kustannusten alaraja vuonna 2030 on lähellä taakanjakosektorille nyt arvioitujen päästövähennyskustannusten tasoa. Merkille pantavaa on, että kustannukset ylittävät selvästi maankäyttösektorin edullisimpien toimien päästövähennyskustannukset (kuten entisten turpeenottoalueiden vettäminen). Jo tunnistetut ilmastotoimet ovat siis tänään selvästi edullisempia kuin teknologisten nielujen tuottaminen tulevaisuudessa.
- Teknologiset nielut (BECCS) tarjoavat lisäkeinon Suomen ilmastotavoitteiden saavuttamiseen vuoden 2030 jälkeen, mutta ne eivät saa syrjäyttää tai hidastaa muita ilmastotoimia.
 - Suomi on jäämässä pahasti jälkeen EU:n vuoden 2030 tavoitteista taakanjako- ja maankäyttösektoreille. Niiden saavuttamiseksi tarvitaan jo tunnistettujen toimien merkittävää tehostamista. Teknologisista nieluista ei saada apua näiden tavoitteiden saavuttamiseen.
 - Ilmastotoimien tehostaminen on tarpeen myös Suomen vuoden 2035 hiilineutraaliustavoitteen saavuttamiseksi. Tämänkin tavoite voidaan saavuttaa erittäin määrätietoisilla ja tehostetuilla ilmastotoimilla taakanjako- ja maankäyttösektoreilla, mutta toimiin on ryhdyttävä heti.
 - Kuten Ilmastopaneelin Suuntaviivoja Suomen ilmastotoimien tehostamiseen -muistiossa (2023) tunnistettiin, ilmastolain mukaisen hiilineutraaliustavoitteen saavuttamisen varmistamiseksi ja sen jälkeistä nettonegatiivisuutta ajatellen Suomen olisi hyödyllistä tuottaa 5–6 Mt negatiivisia päästöjä tarjouskilpailun tai muiden ohjauskeinojen avulla.
- Raportissa todetaan että, Suomen 2–3 eniten bioperäistä hiilidioksidia tuottavan laitoksen hiilidioksidi riittäisi talteen otettuna ja varastoituna tuottamaan noin 5 Mt teknologisen hiilinielun. Laitokset ovat sellu-, paperi- ja biotuotetehtaita. Jos kansallinen operatiivinen tuki kattaisi koko hiilidioksidin talteenoton, paineistuksen, kuljetuksen ja varastoinnin kustannuksen, 5 MtCO₂-suuruisen teknologisen hiilinielun rahoittaminen vaatisi 605–705 M€/vuosi.

VTT:n ja Bioenergia ry:n julkaisun pääviestit lokakuussa 2024

Outlook of CO₂ logistics in Finland for CCUS. VTT, Bioenergia ry. Tekijät: Lauri Kujanpää, Onni Linjala, Sampo Mäkikouri. Julkaistu: 4.10.2024.

- Selvityksessä kartoitettiin hiilidioksidin logistiikkajärjestelmien kehitysmahdollisuuksia Suomessa CCUS-tarkoituksiin (hiilidioksidin talteenotto, hyödyntäminen ja varastointi).
- Selvitykseen sisällytettyjen teollisuuslaitosten päästölähteet ja -määrät: vuonna 2022 yhteensä 45 Mt / vuosi, josta 30,1 Mt bioperäistä.
- Selvityksessä tunnistettiin yhdeksän mahdollista alueellista "hiilidioksidikeskittymää" (CO₂ hub). Niiden ympärille laadittiin kolme talteenottoskenaariota, joissa talteen otettava päästömäärä 25 Mt (josta 21 Mt bioperäistä). Lisäksi laadittiin kaksi laajempaa runkolinjaskenaariota, joissa tarkastelussa hiilidioksidin kuljetus keskittymien välillä ja verkostot keskusten ulkopuolella. Kuljetusmäärät ovat näissä skenaarioissa 23,2–38,1 Mt / vuosi.
- Rautatiekuljetuksen painotettu keskimääräinen kustannus on 20–59 euroa / tCO₂. Runkolinjoilla kuljetuskustannusarvio on 40–60 euroa / tCO₂.
- Pääomakustannukset skenaarioissa vaihtelevat 3,7–4,7 miljardin euron välillä. Käyttöpainotteinen (*utilization-heavy*) skenaario vaatii vähiten investointeja, geologiseen varastointiin painottuva skenaario eniten investointeja.
- Olemassa olevan rautatieinfran hyödyntäminen on taloudellisesti kannattava vaihtoehto. Putkisto on edullisempi lyhyillä matkoilla ja suurilla volyyymeilla, mutta menettää kustannusetasunsa, mikäli vuosikapasiteetti laskee alle 1 Mt.

LISÄTIEDOT:

Kati Koponen
Suomen ilmastopaneelin jäsen
Erikoistutkija, VTT
kati.koponen@vtt.fi
040 487 8123

Anni Toiviainen
Tiedesihteeri, Suomen ilmastopaneeli
anni.toiviainen@ilmastopaneeli.fi
050 346 2961