

Kohti sertifioitua hiilidioksidin talteenottoa Euroopan unionissa

Arviointia suoraan ilmasta talteenotetun hiilidioksidin ja sen varastoinnin tulevasta
sääntelykehyksestä

Ympäristöoikeus murroksissa 2023
OTM-tutkielma

Laatija:
Lotta Nyman

29.8.2023

OTM-tutkielma

Oppiaine: Ympäristöoikeus

Tekijä: Lotta Nyman

Otsikko: Kohti sertifioitua hiilidioksidin talteenottoa Euroopan unionissa – Arviointia suoraan ilmasta talteenotetun hiilidioksidin ja sen varastoinnin tulevasta sääntelykehystä

Ohjaaja: Anne Kumpula

Sivumäärä: XVIII + 71 sivua

Päivämäärä: 29.8.2023

Ilmastonmuutoksen kriittisyys on saanut sekä tutkijat että poliittiset päättäjät havahtumaan siihen, ettei ilmastonmuutoksen hillintä ole enää mahdollista ainoastaan niin sanotuilla tavanomaisilla päästövähennyskeinoilla. Ilmastoa on välttämätöntä muokata myös keinotekoisesti poistamalla ilmakehästä hiilidioksidia, mikäli ilmaston lämpeneminen halutaan rajoittaa 1,5 asteeseen esiteollisesta ajasta. Vaikka mahdollisuus ilmaston keinotekoiseen muokkaukseen on tunnistettu jo 1900-luvun alussa, on tosiasialliset ilmastonmuokkaustoimet vielä mitättömiä. Viimeistään IPCC:n raportit ovat herättäneet poliittiset päättäjät hiilenpoistojen välttämättömyyteen, minkä seurauksena aiemmin pitkälti vältellyt hiilenpoistomenetelmät ovat pikkuhiljaa saaneet lainsäätäjien huomion.

Tämän tutkielman lähtökohtana on Euroopan komission marraskuussa 2022 antama asetusehdotus hiilenpoistojen sertifioinniksi, joka on ensimmäinen konkreettinen askel hiilenpoistojen sääntelyyn Euroopassa. Euroopan komissio on määritellyt asetusehdotuksessaan hiilenpoistojen laadulliset edellytykset sekä hiilenpoistojen laskemista ja todentamista koskevat säännöt. Asetusehdotus on saanut osakseen kritiikkiä sen säännösten väljyydestä ja ylimalkaisuudesta. Asetusehdotuksen aukollisuus ja siinä olevien säännösten epämääräisyys johtuu erityisesti siitä, että komissio on pyrkinyt laatimaan kaikkiin eri hiilenpoistomenetelmiin soveltuvan yhteisen sääntelykehysten. Hiilenpoistomenetelmillä on kuitenkin perustavanlaatuisia eroja, jotka edellyttävät yksityiskohtaisempaa huomioimista. Yksi potentiaalisimmista teknologisista hiilenpoistomenetelmistä on hiilidioksidin talteenotto suoraan ilmasta ja sen varastointi (DACCS), joka on tämän tutkielman pääasiallisena tarkastelun kohteena.

Tutkielmani tavoitteena on analysoida, mitä erityispiirteitä DACCS-menetelmään liittyy ja miten nämä voidaan ja tulee huomioida menetelmän sääntelyssä. Lisäksi tutkielmassa arvioidaan, miten Euroopan komission hiilenpoistojen sertifiointia koskevan asetusehdotuksen säännöksiä ja geologista varastointia koskevan CCS-direktiivin säännöksiä tulee yksityiskohtaistaa ja kehittää, jotta ne luovat asianmukaisen sääntelykehysten DACCS-menetelmälle. Asetusehdotuksen ja CCS-direktiivin nykyiset säännökset ovat riittämättömiä siihen nähden, että hiilenpoistoja saadaan lisättyä suoraan ilmasta talteenotettavan hiilidioksidin ja sen varastoinnin avulla. Oikeudellinen epävarmuus hidastaa DACCS-menetelmän käyttöönottoa, joten on tärkeää, että lainsäädännössä oleva aukko ja ongelmallisuudet paikataan ja luodaan suotuisa ilmapiiri laajamittaisille hiilenpoistoille.

Tutkielma on tutkimusmetodiltaan sääntelyteoreettinen tutkimus, jossa arvioidaan, mikä sääntelyvaihtoehto on soveltuvin DACCS-menetelmään. Lisäksi tutkielmassa annetaan ehdotuksia sääntelyn kehittämiseksi. Tutkielmassa hyödynnetään oikeustieteellisen kirjallisuuden lisäksi myös muiden tieteenalojen tutkimusta, mikä on ominaista tutkielmassa omaksutulle sääntelyteoreettiselle tutkimusmenetelmälle sekä tutkielman aiheelle, joka on hyvin monialainen. Tutkielman keskeisinä lähteinä ovat myös Euroopan unionin säädökset.

Avainsanat: ilmastonmuokkaus, hiilenpoisto, suoraan ilmasta talteenotettu hiilidioksidi ja sen varastointi, hiilenpoistojen sertifiointi, geologinen varastointi, CCS-direktiivi.

Sisällys

Lähteet	IV
Lyhenteet	XVIII
1 Johdanto	1
1.1 Tutkimuksen tausta	1
1.2 Kysymyksenasettelu, rajaus ja rakenne	4
1.3 Metodinen viitekehys	7
2 Ilmastonmuokkaus	10
2.1 Mistä ilmastonmuokkauksessa on kysymys?	10
2.1.1 Heijastavuutta lisäävät menetelmät.....	12
2.1.2 Hiilidioksidia poistavat menetelmät.....	14
2.2 Suoraan ilmasta talteenotettu hiilidioksidi ja sen varastointi	19
2.2.1 DACCS-menetelmän hyödyt.....	21
2.2.2 DACCS-menetelmään liittyvät riskit ja haasteet.....	26
2.2.3 DACCS-menetelmän sääntelyssä huomioitavat tekijät.....	31
2.2.3.1 Teknologianeutraalius suhteessa parhaaseen käytettävissä olevaan tekniikkaan.....	31
2.2.3.2 Pysyvään varastointiin soveltuvan paikan valinta ja DACCS-laitoksen sijoittaminen....	35
2.2.3.3 Varastointiin liittyvät vastuukysymykset.....	37
3 Ilmastonmuokkaussäätely Euroopan unionissa	40
3.1 Ilmastonmuokkaussäätelyä koskevan keskustelun lähtökohdat	40
3.2 Komission asetusehdotus hiilenpoistojen sertifiointiseksi	44
3.2.1 Asetusehdotuksen sisältö.....	45
3.2.2 Asetusehdotuksen säännösten sopivuus DACCS-menetelmän näkökulmasta....	48
4 DACCS-menetelmän yksityiskohtainen sääntely	52
4.1 CCS-direktiivin säännösten kehittäminen	52
4.2 DACCS-menetelmän tulevan sääntelyn yksityiskohtaistaminen	62
5 Johtopäätökset	68

Lähteet

Kirjallisuus

- Anderson, Steven, Risk, Liability, and Economic Issues with Long-Term CO2 Storage—A Review. *Natural Resources Research* 2017 (26), s. 89–112.
- Armeni, Chiara – Redgwell, Catherine, International legal and regulatory issues of climate geoengineering governance: rethinking the approach. *Climate Geoengineering Governance Working Paper Series* 021, 2015.
- Barros, Nelson – Oliveira, Gisela – de Sousa, Lemos, Environmental Impact Assessment of Carbon Capture and Sequestration: General overview. *IAIA12 Conference Proceedings, Energy Future The Role of Impact Assessment*, 32nd Annual Meeting of the International Association for Impact Assessment. IAIA, 2012.
- Biermann, Frank – Oomen, Jeroen – Gupta, Aarti – Ali, Saleem – Conca, Ken – Hajer, Maarten – Kashwan, Prakash – Kotzé, Louis – Leach, Melissa – Messner, Dirk – Okereke, Chukwumerije – Persson, Åsa – Potočník, Janez – Schlosberg, David – Scobie, Michelle – VanDeveer, Stacy, Solar geoengineering: The case for an international non-use agreement. *Wires Climate Change* 2021.
- Biofuelwatch – Heinrich Böll Foundation – ETC Group, *The Big Bad Fix: The Case Against Climate Geoengineering*, 2017.
- Bodle, Ralph, *Geoengineering and International Law: The Search for Common Legal Ground*. *Tulsa Law Review* 46, 2010, s. 305–322.
- Bodle, Ralph, *Climate Law and Geoengineering*, s. 447–470 teoksessa *Climate Change and the Law, Ius Gentium: Comparative Perspectives on Law and Justice*, Vol. 21, Springer, 2013.
- Breyer, Christian – Fasihi, Mahdi – Bajamundi, Cyril – Creutzig, Felix, Direct Air Capture of CO2: A Key Technology for Ambitious Climate Change Mitigation. *Joule* 3 (9) 2019, s. 2053–2065.
- Briglauer, Wolfgang – Stocker, Volker – Whalley, Jason, *Public policy targets in EU broadband markets: The role of technological neutrality*. Elsevier, 2019.

- Buck, Holly Jean – Carton, Wim – Lund, Jens Friis – Markusson, Nils, Why residual emissions matter right now. *Nature Climate Change* 2023 (13), s. 351–358.
- Cao, Long – Gao, Chao-Chao – Zhao, Li-Yun, Geoengineering: Basic science and ongoing research efforts in China. *Advances in Climate Change Research* 2015 (6), s. 188–196.
- Chalmin, Anja, Geoengineering in the European Union – EU-financed projects and their implications for the European Green Deal. Ecology, Heinrich-Böll-Stiftung, 2021.
- Cheng, Yuxiang – Liu, Wenna – Xu, Tianfu – Zhang, Yanjun – Zhang, Xinwen – Xing, Yunyan – Feng, Bo – Xia, Yi, Seismicity induced by geological CO₂ storage: A review. *Earth-Science Reviews*, Vol. 239. Elsevier, 2023.
- Chhun, Chanmaly – Tsuji, Takeshi, Pore Pressure Analysis for Distinguishing Earthquakes Induced by CO₂ Injection from Natural Earthquakes. Sustainability, 2020.
- Committee on Developing a Research Agenda for Carbon Dioxide Removal and Reliable Sequestration – Board on Atmospheric Sciences and Climate – Board on Energy and Environmental Systems – Board on Agriculture and Natural Resources – Board on Earth Sciences and Resources – Board on Chemical Sciences and Technology – Ocean Studies Board – Division on Earth and Life Studies – National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, Negative Emissions Technologies and Reliable Sequestration: A Research Agenda. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, 2019.
- Damen, Kay – Faaij, André – Turkenburg, Wim, Health, Safety and Environmental Risks of Underground CO₂ Storage – Overview of Mechanisms and Current Knowledge. *Climatic Change* 74/2006, s. 289–318.
- Davies, Gareth, Law and Policy Issues of Unilateral Geoengineering: Moving to a Managed World. SSRN, 2009.
- Erbach, Gregor – Victoria, Gema Andreo, Carbon dioxide removal: Nature-based and technological solutions. Briefing – Towards climate neutrality. European Parliamentary Research Service, 2021.
- Fawad, Manzar – Mondol, Nazmul, Monitoring geological storage of CO₂: a new approach. *Scientific Reports* 11 (5942). Nature, 2021.

- Fleurke, Floor, *Future Prospects for Climate Engineering within the EU Legal Order*. Cambridge University Press, 2016.
- Gale, John, *CO2 Storage in Deep Geological Formations: The Concept*, s. 1–14 teoksessa *Geological Storage of CO2 in Deep Saline Formations*. Springer, 2017.
- Gambhir, Ajay – Tavoni, Massimo, *Direct Air Carbon Capture and Sequestration: How It Works and How It Could Contribute to Climate-Change Mitigation*. *One Earth* 1 (4) 2019, s. 405–409.
- Geden, Oliver – Schenuit, Felix, *Unconventional Mitigation: Carbon Dioxide Removal as a New Approach in EU Climate Policy*. SWP Research Paper 8, 2020.
- German Environment Agency, *Commission Proposal for an EU Carbon Removal Certification Framework: Is the proposed delegation of power in line with Article 290 of the Treaty on the Functioning of the EU?* German Environment Agency, 2023.
- Gerrard, Michael – Hester, Tracy, *Climate Engineering and the Law: Regulation and Liability for Solar Radiation Management and Carbon Dioxide Removal*. Cambridge University Press, 2018.
- Giljam, Renske, *Implementing Ecological Governance in EU Energy Law: The Role of Technology Neutral Legislative Design in Fostering Innovation*. *European Energy and Environmental Law Review* 27 (6) 2018, s. 236–250.
- Global CCS Institute, *The Economics of Direct Air Carbon Capture and Storage*. Global Carbon Capture and Storage Institute, 2022. (Global CCS Institute 2022a).
- Global CCS Institute, *Global Status of CCS 2022*. Global Carbon Capture and Storage Institute, 2022. (Global CCS Institute 2022b).
- Havercroft, Ian, *Lessons and Perceptions: Adopting a Commercial Approach to CCS Liability*. Thought Leadership Report, Global CCS Institute, 2019.
- Havercroft, Ian – Macrory, Richard, *Legal Liability and Carbon Capture and Storage – A Comparative Perspective*. Global Carbon Capture and Storage Institute, 2014.
- Ho, David, *Carbon dioxide removal is an ineffective time machine*. *Nature*, Vol. 616, 2023.

- IEA, CCS Site Characterisation Criteria, Technical Study, Report No. 2009/10. International Energy Agency, 2009.
- IEA, Bioenergy with Carbon Capture and Storage. International Energy Agency, 2022. (IEA 2022a).
- IEA, CO₂ Transport and Storage. International Energy Agency, 2022. (IEA 2022b).
- IEA, Direct Air Capture: A key technology for net zero. International Energy Agency, 2022. (IEA 2022c).
- Institute for Carbon Removal Law and Policy, Carbon Removal Fact Sheet – DACCS. American University, 2018.
- IPCC, Climate Change 1995: Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change: Scientific-Technical Analyses. Contribution of Working Group II to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, 1995.
- IPCC, Climate Change 2001: Synthesis Report. A Contribution of Working Groups I, II, and III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, 2001.
- IPCC, Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage. Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, 2005.
- IPCC, Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, 2007. (IPCC 2007a).
- IPCC, Climate Change 2007: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, 2007. (IPCC 2007b).
- IPCC, Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. Cambridge University Press, 2018. (IPCC 2018a).
- IPCC, Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, 2021.

- IPCC, AR6 WGIII: Carbon Dioxide Removal Factsheet. Intergovernmental Panel on Climate Change, Working Group III-Mitigation of Climate Change, 2022. (IPCC 2022a).
- IPCC, Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, 2022. (IPCC 2022b).
- IPCC, Climate Change 2023: AR6 Synthesis Report. Intergovernmental Panel on Climate Change, 2023.
- Keith, David, Geoengineering the Climate: History and Prospect. *Annual Review of Energy and the Environment* 2000 (25), s. 245–284.
- Kintisch, Eli, Technologies, s. 28–56 teoksessa *Climate Engineering and the Law: Regulation and Liability for Solar Radiation Management and Carbon Dioxide Removal*. Cambridge University Press, 2018.
- Kujanpää, Lauri – Reznichenko, Alexander – Saastamoinen, Heidi – Mäkikouri, Sampo – Soimakallio, Sampo – Tynkkynen, Oras – Lehtonen, Juha – Wirtanen, Tom – Linjala, Onni – Similä, Lassi – Keränen, Janne – Salo, Esko – Elfving, Jere – Koponen, Kati, Carbon dioxide use and removal: Prospects and policies. Publications of the Government’s analysis, assessment and research activities 2023:19. Prime Minister’s Office, 2023.
- Kumpula, Anne – Määttä, Tapio – Similä, Jukka – Suvantola, Leila, *Näkökulmia monitieteiseen ympäristöoikeuteen*, Painosalama Oy, 2014.
- Kuokkanen, Tuomas – Laakso, Anton – Partanen, Antti-Ilari – Kulovesi, Kati – Korhonen, Hannele, *Ilmastonmuokaus ja kansainvälinen oikeus*, s. 7–51 teoksessa *Ympäristöpolitiikan ja -oikeuden vuosikirja VI*, 2013.
- Lee, Dong-Ho – Kim, Dong-hwan – Kim, Seong-il, Characteristics of forest carbon credit transactions in the voluntary carbon market. *Climate Policy*, Vol. 18 (2) 2017, s. 235–245.
- Loria, Patricia – Matthew, Bright, Lessons captured from 50 years of CCS projects. *The Electricity Journal*, Vol. 34, Issue 7. Elsevier, 2021.
- Ma, Jinfeng – Li, Lin – Wang, Haofan – Du, Yi – Ma, Junjie – Zhang, Xiaoli – Wang, Zhenliang, *Carbon Capture and Storage: History and the Road Ahead*. *Engineering* 2022 (14), s. 33–43.

- McDonald, Hugh – Siemons, Anne – Bodle, Ralph – Hobeika, May – Scheid, Aaron – Schneider, Lambert, QU.A.L.ITY soil carbon removals? Assessing the EU Framework for Carbon Removal Certification from a climate-friendly soil management perspective. Ecologic Institute, 2023.
- McQueen, Noah – Gomes, Katherine – McCormick, Colin – Blumanthal, Katherine – Pisciotta, Maxwell – Wilcox, Jennifer, A review of direct air capture (DAC): scaling up commercial technologies and innovating for the future. Progress In Energy 3. IOP Publishing, 2021.
- Meyer-Ohlendorf, Nils, Carbon Dioxide Removal Strategy for the EU, Ecologic Institute, 2021.
- Meyer-Ohlendorf, Nils – Siemons, Anne – Schneider, Lambert – Böttcher, Hannes, Certification of Carbon Dioxide Removals: Evaluation of the Commission Proposal. Interim Report. German Environment Agency, 2023.
- Ming, Tingzhen – de Richter, Renaud – Liu, Wei – Caillol, Sylvain, Fighting global warming by climate engineering: Is the Earth radiation management and the solar radiation management any option for fighting climate change? Renewable and Sustainable Energy Reviews 2014 (31), s. 792–834.
- Mission Innovation, Joint Mission Statement for the Carbon Dioxide Removal Mission, 2021.
- Mitchell-Larson, Eli – Allen, Myles – Axelsson, Kaya – Caldecott, Ben – Hale, Thomas – Hepburn, Cameron – Hickey, Conor – Malhi, Yadvinder – Otto, Friederike – Seddon, Nathalie – Smith, Steve, The Oxford Principles for Net Zero Aligned Carbon Offsetting. University of Oxford, 2020.
- Määttä, Kalle, Oikeustaloustieteen aakkoset. Helsingin yliopisto oikeustieteellinen tiedekunta, 1999.
- Määttä Kalle, Oikeudellisen sääntelyn tutkimus – lastuja sääntelyteoriasta. Oikeus 2 (31) 2002, s. 132–142.
- OECD, Best Available Techniques (BAT) for Preventing and Controlling Industrial Pollution, Activity 4: Guidance Document on Determining BAT, BAT-Associated Environmental Performance Levels and BAT-Based Permit Conditions. OECD, 2020.

- Ozkan, Mihirimah – Nayak, Saswat Priyadarshi – Ruiz, Anthony – Jiang, Wenmei, Current status and pillars of direct air capture technologies. *iScience* 25 (103990) 2022.
- Partanen, Antti-Ilari, Modelling solar geoengineering via aerosol injections. Väitöskirja. Itä-Suomen yliopisto, Luonnontieteiden ja metsätieteiden tiedekunta, 2014.
- Pérez-Silos, Ignacio – Álvarez-Martínez, José – Barquín, José, Large-scale afforestation for ecosystem service provisioning: learning from the past to improve the future. *Landscape Ecology* 2021 (36), s. 3329–3343.
- Pierrehumbert, Raymond, There is no Plan B for dealing with the climate crisis. *Bulletin of the Atomic Scientists* 75 (5) 2019, s. 215–221.
- Ridgwell, Andy – Freeman, Chris – Lampitt, Richard, Geoengineering: taking control of our planet's climate? *Philosophical Transactions of the Royal Society*, Vol. 370 (1974) 2012.
- Read, Andy – Gittins, Chris – Uilenreef, Jan – Jonker, Tom – Neele, Filip – Belfroid, Stefan – Goetheer, Earl – Wildenborg, Ton, Lessons from the ROAD project for future deployment of CCS. *International Journal of Greenhouse Gas Control* 91, 102834. Elsevier, 2019.
- Robock, Alan, 20 Reasons Why Geoengineering May Be a Bad Idea. *Bulletin of the Atomic Scientists* 64 (2) 2008, s. 14–18.
- Royal Society, Geoengineering the climate: science, governance and uncertainty. The Royal Society, 2009.
- Royal Society – Royal Academy of Engineering, Greenhouse Gas Removal. The Royal Society, 2018.
- Sacco, Nicoletta – Galmarini, Stefano – Janssens-Maenhout, Greet – Michel, Quentin, Geo-engineering: A Roadmap Towards International Guidelines. Joint Research Centre Technical Report. European Union, 2022.
- Schmidt, Hauke – Niemeier, Ulrike – Timmreck, Claudia – Aaheim, Asbjørn – Romstad, Bård – Wei, Taoyuan – Kristjánsson, Jón Egill – Alterskjær, Kari – Muri, Helene Østlie – Lawrence, Mark – Benduhn, Francois – Schulz, Michael – Karam, Diana Bou – Boucher, Olivier, The Seventh Framework Programme: Implications and risks of engineering solar radiation to limit climate change. IMPLICC, 2012.

Similä, Jukka, Oikeustieteellinen ympäristötutkimus ja oikeuspolitiikka. *Oikeus* 4 (36) 2007, s. 409–419.

Smith, Stephen – Geden, Oliver – Nemet, Gregory – Gidden, Matthew – Lamb, William – Powis, Carter – Bellamy, Rob – Callaghan, Max – Cowie, Annette – Cox, Emily – Fuss, Sabine – Gasser, Thomas – Grassi, Giacomo – Greene, Jenna – Lück, Sarah – Mohan, Aniruddh – Müller-Hansen, Finn – Peters, Glen – Pratama, Yoga – Repke, Tim – Riahi, Keywan – Schenuit, Felix – Steinhauser, Jan – Strefler, Jessica – Valenzuela, Jose Maria – Minx, Jan, *The State of Carbon Dioxide Removal: A global, independent scientific assessment of Carbon Dioxide Removal*, 1st Edition. The State of Carbon Dioxide Removal Report, 2023.

Sovacool, Benjamin – Baum, Chad – Cantoni, Roberto – Low, Sean, *Actors, legitimacy, and governance challenges facing negative emissions and solar geoengineering technologies*. *Environmental Politics*, Taylor & Francis Group, 2023.

Srivastava, Nidhi, *Geoengineering and Law: A Case Study of Carbon Capture and Storage in the European Union*. *European Energy and Environmental Law Review*, 2011.

Steeghs, Philippe – Neele, Filip – Gittins, Chris – Ros, Menno, *Drafting a monitoring plan for the ROAD project under the EU CCS Directive*. *Energy Procedia* 63. Elsevier, 2014, s. 6680–6687.

Steffen, Will – Richardson, Katherine – Rockström, Johan – Cornell, Sarah E. – Fetzer, Ingo – Bennett, Elena M. – Biggs, Reinette – Carpenter, Stephen R. – de Vries, Wim – de Wit, Cynthia A. – Folke, Carl – Gerten, Dieter – Heinke, Jens – Mace, Georgina M. – Persson, Linn M. – Ramanathan, Veerabhadran – Reyers, Belinda – Sörlin, Sverker, *Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet*. *Science* 347 (6223) 2015.

Tamme, Eve – Beck, Larissa, *European Carbon Dioxide Removal Policy: Current Status and Future Opportunities*. *Frontiers in Climate*, Vol. 3, 2021.

Terlouw, Tom – Bauer, Christian – Rosa, Lorenzo – Mazzotti, Marco, *Life cycle assessment of carbon dioxide removal technologies: a critical review*.

Environmental Science & Technology 2021 (14), s. 1701–1721. (Terlouw et al. 2021a).

Terlouw, Tom – Treyer, Karin – Bauer, Christian – Mazzotti, Marco, Life Cycle Assessment of Direct Air Carbon Capture and Storage with Low-Carbon Energy Sources. Environmental Science & Technology 55 (16) 2021, s. 11379–11411. (Terlouw et al. 2021b).

Toonssen, Rob, Public Close-Out Report 9 – Finance and Control: Rotterdam Opslag en Afvang Demonstratieproject. ROAD CCS, 2018.

United Nations Environment Programme, Emissions Gap Report 2022: The Closing Window — Climate crisis calls for rapid transformation of societies. United Nations, 2022.

Weber, Viktor, Uncertain liability and stagnating CCS deployment in the European Union: Is it the Member States' turn? Review of European, Comparative & International Environmental Law 27 (2) 2018, s. 153–161.

Virallislähteet

Conference of the Parties to the Convention on Biological Diversity
UNEP/CBD/COP/DEC/X/33 Biodiversity and climate change. Nagoya, 2010.

Convention on Environmental Impact Assessment in a Transboundary Context,
United Nations 1991.

Draft Resolution for consideration for the 4th United Nations Environment Assembly.
Geoengineering and its governance Submitted by Switzerland, Supported by Burkina Faso, Federated States of Micronesia, Georgia, Liechtenstein, Mali, Mexico, Montenegro, Niger, Republic of Korea, and Senegal, 2019.

European Commission, Commission staff working document – Accompanying document to the Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council on the geological storage of carbon dioxide: Impact assessment (COM (2008) 18 final), Document 52008SC0055. Commission of the European Communities, 2008.

European Commission, Implementation of Directive 2009/31/EC on the Geological Storage of Carbon Dioxide – Guidance Document 1: CO₂ Storage Life Cycle Risk Management Framework. European Communities, 2011. (European Commission 2011a).

- European Commission, Implementation of Directive 2009/31/EC on the Geological Storage of Carbon Dioxide – Guidance Document 2: Characterisation of the Storage Complex, CO₂ Stream Composition, Monitoring and Corrective Measures. European Communities, 2011. (European Commission 2011b).
- European Commission, Implementation of Directive 2009/31/EC on the Geological Storage of Carbon Dioxide – Guidance Document 3: Criteria for Transfer of Responsibility to the Competent Authority. European Communities, 2011. (European Commission 2011c).
- European Commission, Implementation of Directive 2009/31/EC on the Geological Storage of Carbon Dioxide – Guidance Document 4: Article 19 Financial Security and Article 20 Financial Mechanism. European Communities, 2011. (European Commission 2011d).
- European Commission, Report on review of Directive 2009/31/EC on the geological storage of carbon dioxide. COM(2015) 576 final. European Commission, 2015.
- European Commission, In-Depth analysis in support of the Commission communication COM(2018) 773 – A Clean Planet for all: A European long-term strategic vision for a prosperous, modern, competitive and climate neutral economy. European Commission, 2018.
- European Commission, Communication from the Commission to the European Parliament and the Council. Sustainable Carbon Cycles. European Commission, 2021.
- European Commission, Call for evidence for an impact assessment. Certification of carbon removals – EU rules. Ref. Ares(2022)869812. European Commission, 2022. (European Commission 2022a).
- European Commission, Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council establishing a Union certification framework for carbon removals. 2022/0394 (COD). European Commission, 2022. (European Commission 2022b).
- European Parliament, Resolution of 29 September 2011 on developing a common EU position ahead of the United Nations Conference on Sustainable Development (Rio + 20), P7_TA(2011)0430. European Parliament, 2011.
- European Parliament, Committee on Industry, Research and Energy, Opinion on the proposal for a Regulation establishing a Union certification framework for

carbon removals (COM(2022)0672 – C9-0399/2022 – 2022/0394(COD)).

European Parliament, 2023.

United Nations 2015, Paris Agreement.

U.S. Congress, Committee on Science and Technology – House of Representatives, Engineering the Climate: Research Needs and Strategies for International Coordination. U.S. Government, 111th Congress, 2010.

Yhdistyneet kansakunnat, Biologista monimuotoisuutta koskeva yleissopimus, 1992.

Internetlähteet

Bergman, Andrew – Rinberg, Anatoly, The Case for Carbon Dioxide Removal: From Science to Justice, teoksessa Carbon Dioxide Removal Primer, 2021.

<https://cdrprimer.org/read/chapter-1> (Luettu 17.4.2023).

Carbon Collect N.d. Mechanical Tree™. <https://carboncollect.com/mechanical-tree/> (Luettu 17.5.2023).

Climeworks N.d. Orca: the first large-scale plant.

<https://climeworks.com/roadmap/orca> (Luettu 17.5.2023).

Climeworks, N.d. Mammoth: our newest facility.

<https://climeworks.com/roadmap/mammoth> (Luettu 17.5.2023).

Euroopan komissio, Euroopan vihreän kehityksen ohjelma: Komission ehdotukset hiilen poistamiseksi, kierrättämiseksi ja kestäväksi varastoinniseksi.

Lehdistötiedote 15.12.2021. Euroopan unioni, 2021.

https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/fi/ip_21_6687 (Luettu 23.7.2023).

Euroopan komissio, Euroopan vihreän kehityksen ohjelma: Komissio ehdottaa hiilenpoistojen sertifiointia, jotta nettopäästöissä päästäisiin nollaan.

Lehdistötiedote 30.11.2022. Euroopan unioni, 2022. (Euroopan komissio

2022a). https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/fi/ip_22_7156 (Luettu 29.3.2023).

Euroopan komissio, Kysymyksiä ja vastauksia hiilenpoistumien sertifioinnista EU:ssa. Euroopan unioni, 2022. (Euroopan komissio 2022b).

https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/fi/qanda_22_7159 (Luettu 30.3.2023).

- European Commission, Consumer protection: enabling sustainable choices and ending greenwashing. Press release, 22.3.2023.
https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_23_1692 (Luettu 28.8.2023). (European Commission 2023a).
- European Commission, Remarks by Executive Vice-President Timmermans and High Representative/Vice-President Borrell on the new outlook on threats of climate change and environmental degradation on peace, security and defence. Speech, Press conference on Climate-Security Nexus, 28.6.2023.
https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/speech_23_3577 (Luettu 23.7.2023). (European Commission 2023b).
- European Commission N.d. Energy efficiency: Heating and cooling.
https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/heating-and-cooling_en (Luettu 9.5.2023).
- European Commission N.d. Expert group on carbon removals.
https://climate.ec.europa.eu/eu-action/sustainable-carbon-cycles/expert-group-carbon-removals_en (Luettu 24.7.2023).
- European Commission N.d. New EU forest strategy for 2030. To improve the quantity and quality of EU forests. https://environment.ec.europa.eu/strategy/forest-strategy_en (Luettu 28.8.2023).
- Global CCS Institute, Fact Sheet – Geological Storage of CO₂: Safe, Permanent, and Abundant. Global Carbon Capture and Storage Institute, 2018.
https://www.globalccsinstitute.com/wp-content/uploads/2018/12/Global-CCS-Institute-Fact-Sheet_Geological-Storage-of-CO2.pdf (Luettu 11.5.2023).
- Ilmatieteen laitos N.d. Kasvihuonekaasut.
<https://www.ilmatieteenlaitos.fi/kasvihuonekaasujen-tutkimus> (Luettu 15.3.2023).
- IPCC, Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. FAQ Chapter 4. IPCC, 2018. (IPCC 2018b).
<https://www.ipcc.ch/sr15/faq/faq-chapter-4/> (Luettu 21.4.2023).
- IPCC, Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse

gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. Annex I: Glossary. IPCC, 2018. (IPCC 2018c).

<https://www.ipcc.ch/sr15/chapter/glossary/> (Luettu 23.5.2023).

Maa- ja metsätalousministeriö, Metsien rooli ilmastonmuutoksen hillinnässä, 2023.

<https://mmm.fi/documents/1410837/22836561/Metsien+rooli+ilmastonmuutoksen+hillinnassa.pdf/b8b48104-a90c-ed4d-647d-8982f8f507d5/Metsien+rooli+ilmastonmuutoksen+hillinnassa.pdf?t=1679921835093> (Luettu 26.4.2023).

Maa- ja metsätalousministeriö – Työ- ja elinkeinoministeriö – Ympäristöministeriö, Euroopan komissio antoi asetusehdotuksen hiilenpoistojen sertifiointista hiilineutraaliuden saavuttamiseksi. Tiedote 30.11.2022. Valtioneuvosto, 2022.

<https://valtioneuvosto.fi/-/1410837/euroopan-komissio-antoi-asetusehdotuksen-hiilenpoistojen-sertifiointista-hiilineutraaliuden-saavuttamiseksi> (Luettu 6.4.2023).

Mission Innovation N.d. Carbon Dioxide Removal Mission. <https://explore.mission-innovation.net/mission/carbon-dioxide-removal/> (Luettu 23.7.2023).

Open letter to IPCC on geoengineering. ETC Group, 2011.

<https://www.etcgroup.org/content/open-letter-ipcc-geoengineering> (Luettu 29.3.2023).

Scherger, Sophie – Sharma, Shefali, Twelve problems with the European Commission's proposal for a Carbon Removal Certification Framework.

Institute for Agriculture & Trade Policy, 2023. <https://www.iatp.org/twelve-problems-ec-crcf> (Luettu 26.7.2023).

Stevenson, Martha – Weber, Chris, First Things First: Avoid, Reduce ... and only after that–Compensate. WWF, 2020.

https://wwf.panda.org/wwf_news/?362819/First-Things-First-Avoid-Reduce--and-only-after-thatCompensate (Luettu 23.5.2023).

Suomen ympäristökeskus, Ilmastonmuutos, happamoituminen ja ympäristömyrkyt - kolme kiireisiä toimenpiteitä vaativaa arktisen ympäristön uhkatekijää. Suomen ympäristökeskus 2019. [https://www.syke.fi/FI/Ajankohtaista/Ilmastonmuutos_happamoituminen_ja_ympari\(50110\)](https://www.syke.fi/FI/Ajankohtaista/Ilmastonmuutos_happamoituminen_ja_ympari(50110)) (Luettu

15.4.2023).

Temple, James, China Builds One of the World's Largest Geoengineering Research Programs. MIT Technology Review, 2017.

<https://www.technologyreview.com/2017/08/02/4291/china-builds-one-of-the-worlds-largest-geoengineering-research-programs/> (Luettu 29.3.2023).

United Nations Environment Programme N.d. Glossary – geoengineering.

<https://leap.unep.org/knowledge/glossary/geoengineering> (Luettu 23.3.2023).

United Nations N.d. Global Issues – Climate Change. <https://www.un.org/en/global-issues/climate-change> (Luettu 15.3.2023).

United Nations Treaty Collection N.d. Paris Agreement.

https://treaties.un.org/Pages/ViewDetails.aspx?src=TREATY&mtdsg_no=XXVI-l-7-d&chapter=27&clang=en (Luettu 17.3.2023).

Wilcox, Jennifer – Kolosz, Ben – Freeman, Jeremy, Carbon Dioxide Removal Primer, 2021. <https://cdrprimer.org/> (Luettu 17.4.2023).

World Wide Fund For Nature, The certification of Carbon Dioxide Removal risks undermining real climate action. WWF European Policy Office, 2022.

<https://www.wwf.eu/?8313441/proposalcertificationCarbonDioxidereoval> (Luettu 6.4.2023).

1PointFive, Occidental, 1PointFive to Begin Construction of World's Largest Direct Air Capture Plant in the Texas Permian Basin. 1PointFive, 2022.

<https://www.1pointfive.com/worlds-largest-direct-air-capture-plant-in-the-texas-permian-basin> (Luettu 11.5.2023).

Lyhenteet

BECCS	Bioenergian tuotannon yhteydessä vapautuvan hiilidioksidin talteenotto ja varastointi (Bioenergy with carbon capture and storage)
CCS	Hiilidioksidin talteenotto ja varastointi (Carbon capture and storage)
CDR	Hiilidioksidia poistava menetelmä (Carbon dioxide removal)
DACCS	Hiilidioksidin talteenotto suoraan ilmasta ja sen varastointi (Direct air carbon capture and storage)
ETS	Päästökauppajärjestelmä (Emissions trading system)
IEA	Kansainvälinen energiajärjestö (International Energy Agency)
IPCC	Hallitustenvälinen ilmastonmuutospaneeli (Intergovernmental Panel on Climate Change)
SRM	Heijastavuutta lisäävä menetelmä (Solar radiation management)

1 Johdanto

1.1 Tutkimuksen tausta

Ihmistoiminnan seurauksena lämpenevä ilmasto on yksi aikamme merkittävimmistä ja monimutkaisimmista ongelmista.¹ Ilmastonmuutoksella on ennennäkemättömiä vaikutuksia muun muassa ruoan tuotantoon, luonnon monimuotoisuuteen sekä valtamerien pinnan nousuun ja nämä vaikutukset ovat jo osittain havaittavissa. Kasvihuonekaasupäästöjen² kasvusta johtuva ilmastonmuutos on yksi maapallon vakautta vaarantava tekijä, joka uhkaa ihmiselämää sellaisena kuin sen tunnemme: viimeisimmän jääkauden jälkeen alkanut holoseeni, eli nykyinen geologinen aikakausi,³ on ainoa tila, jossa nykyisen kaltaisten yhteiskuntien tiedetään selviytyvän.⁴ Ilmaston lämmetessä ihmiset ja muut eliöt sekä ekosysteemit joutuvat sopeutumaan täysin uusiin ja jatkuvasti muuttuviin elinolosuhteisiin.

Pariisin ilmastopöytäkirjalla on saavutettu käytännössä globaali yhteisymmärrys⁵ nopeiden toimien tarpeellisuudesta ilmaston lämpenemisen rajoittamiseksi 1,5 celsiusasteeseen esiteolliseen aikaan verrattuna.⁶ Ilmastonmuutosta voidaan hillitä erityisesti kasvihuonekaasupäästöjä vähentämällä. Ilmastonmuutoksen hillitseminen on keskittynyt pitkälti päästöjen vähentämiseen niin sanotuilla tavanomaisilla keinoilla, eli muuttamalla erilaisia yhteiskunnan toimintoja siten, että ylipäätään vältetään tai merkittävästi vähennetään kasvihuonekaasupäästöjen muodostumista.⁷ Päästöjen vähentäminen on osoittautunut haastavaksi vaaditussa aikataulussa: ilmastokriisin ratkaisemiseksi vaadittavat tosiasialliset päästövähennystoimet ovat edelleen riittämättömiä.⁸ Lisäksi ilmastotoimilla on hyvin kiire. Globaali keskilämpötila on noussut jo 1,1 astetta esiteollisesta ajasta, ja erityisen huolestuttavaa

¹ Tieteellisesti on jo pitkään ollut varmaa, että tälläkin hetkellä tapahtuva maapallon keskilämpötilan nopea nousu johtuu ihmiskunnan toiminnasta. Ks. esim. IPCC 2001; IPCC 2007a; United Nations N.d.

² Hiilidioksidin lisäksi merkittävimpiä ilmastoa lämmittäviä kasvihuonekaasuja ovat metaani ja typpioksiduuli. Ks. esim. Ilmatieteen laitos N.d.

³ Useat tutkijat ovat todenneet, että ihmisen aiheuttamat merkittävät muutokset maapallon ilmastojärjestelmässä ovat muodostaneet uusia geologisia kerrostumia, minkä johdosta maapallon katsotaan siirtyneen 1900-luvun puolivälissä uuteen geologiseen aikakauteen, antroposeeniin. Antroposeenia ei kuitenkaan ole vielä virallistettu uudeksi geologiseksi aikakaudeksi. Prosessi on käynnistetty, mutta yksimielisyyttä antroposeenista ei ole kuitenkaan vielä saavutettu. Ks. esim. IPCC 2018c.

⁴ Steffen et al. 2015. Ks. myös IPCC 2023.

⁵ Pariisin ilmastopöytäkirjan on allekirjoittanut Euroopan unionin lisäksi 194 valtiota. United Nations Treaty Collection N.d.

⁶ United Nations 2015, Paris Agreement.

⁷ Geden – Schenuit 2020.

⁸ United Nations Environment Programme 2022; IPCC 2023.

on se, että lämpötilan nousu on nykyään hyvin nopeaa.⁹ Muun muassa hallitustenvälinen ilmastomuutospaneeli (IPCC) on todennut, että välittömät toimet ilmastomuutoksen hillitsemiseksi ovat tarpeen, jotta voidaan turvata sekä maapallon että ihmisten hyvinvointi.¹⁰ Kuluva vuosikymmen on ratkaiseva ilmasto-toimien saralla: nykyisten toimenpiteiden ja tarvittavien päästövähennysten välinen kuilu tulee kuroa kiinni ja päästöjen on puolituttava vuoteen 2030 mennessä, jotta 1,5 asteen tavoite on mahdollista saavuttaa.¹¹

Päästövähennyksiin liittyvistä haasteista johtuen ja nykyisten päästövähennystoimenpiteiden riittämättömyyden seurauksena osa tutkijoista on jo pidempään pohtinut uusia keinoja ilmastomuutoksen hillitsemiseksi. Yksi mahdollinen keino on ilmaston keinotekoinen viilentäminen eli niin sanottu ilmastomuokkaus (geoengineering / climate engineering). Ilmastomuokkaus määritellään usein maapallon ilmastojärjestelmän tarkoitukselliseksi ja laajamittaiseksi muuttamiseksi, jolla pyritään vähentämään ilmaston lämpenemistä ja tätä kautta hidastamaan ilmastomuutosta.¹² Mahdollisuus ilmaston keinotekoiseen muokkaukseen on tunnistettu jo 1900-luvun alussa¹³, mutta ilmaston muokkaaminen on vielä hyvin marginaalista. Tämä johtuu osittain varovaisesta suhtautumisesta ilmastomuokkaukseen.

Ilmastomuokkausta koskeva keskustelu on ollut aiemmin hyvin kahtiajakautunutta: osa suhtautuu ilmastomuokkaukseen hyvin kriittisesti siihen liittyvien mahdollisten riskien takia¹⁴, kun taas toiset näkevät ilmastomuokkauksen välttämättömyytenä.¹⁵ Esimerkiksi IPCC on todennut vielä vuonna 2007, että ilmastomuokkaukseen liittyy paljon epävarmuutta, koska menetelmien seurauksia ei tunneta, vaikka aiheesta oli jo tällöin suhteellisen paljon tutkimusta.¹⁶ Mahdollisten riskien ohella erityisesti huoli siitä, että ilmastomuokkaus veisi tahtoa muilta päästövähennystoimenpiteiltä, on ollut suurta.¹⁷

⁹ IPCC 2023.

¹⁰ IPCC 2022b; IPCC 2023.

¹¹ IPCC 2023.

¹² Keith 2000, s. 247; Kuokkanen et al. 2013, s. 12; Bodle 2013, s. 447; United Nations Environment Programme N.d.

¹³ Keith 2000, s. 249; Gerrard – Hester 2018, s. 4.

¹⁴ Ks. esim. IPCC 1995, s. 811–813; Robock 2008; Open letter to IPCC on geoengineering 2011; Kuokkanen et al. 2013, s. 12–13; Biofuelwatch – Heinrich Böll Foundation – ETC Group 2017; Pierrehumbert 2019. Ks. myös Partanen 2014.

¹⁵ Ridgwell – Freeman – Lampitt 2012, s. 4164; Kuokkanen et al. 2013, s. 13.

¹⁶ IPCC 2007b, s. 15; Kuokkanen et al. 2013, s. 41.

¹⁷ Ks. esim. Royal Society 2009, s. 57.

Ilmastoa voidaan muokata usealla eri menetelmällä. Ilmastonmuokkausmenetelmät voidaan periaatteessa jakaa kahteen ryhmään sen perusteella, millä tavalla menetelmä pyrkii viilentämään ilmastoa. Niin sanotuilla SRM-menetelmillä (solar radiation management) pyritään heijastamaan maapallolle tulevaa auringon säteilyä takaisin avaruuteen. CDR-menetelmillä (carbon dioxide removal) puolestaan pyritään vähentämään ilmakehässä olevien kasvihuonekaasujen määrää poistamalla ilmakehästä hiilidioksidia.¹⁸ Heijastavuutta voidaan lisätä ja hiilidioksidia poistaa useammalla yksityiskohtaisemmalla menetelmällä, joita käydään tarkemmin läpi luvussa kaksi. Menetelmät eroavat merkittävästi toisistaan, sillä eri menetelmillä pyritään puuttumaan ilmastojärjestelmän eri osa-alueisiin. Niihin liittyy siten erilaisia hyötyjä ja mahdollisia riskejä, joten ilmastonmuokauskeskustelussa on tärkeää erottaa eri menetelmät sekä niihin liittyvät eroavat ominaispiirteet ja riskit toisistaan.

Ilmastopoliittisesti ilmastonmuokkaus on haastava aihe, sillä ilmastonmuokkausmenetelmien edistäminen saatetaan nähdä vaihtoehtona varsinaisille päästövähennystoimenpiteille.¹⁹ Osittain tämän takia poliittiset päättäjät eivät ole aiemmin suhtautuneet ilmastonmuokkausmenetelmien käyttöönottoon erityisen myönteisesti. Esimerkiksi Euroopan parlamentti on todennut vuonna 2011 vastustavansa ehdotuksia laajamittaisesta ilmastonmuokkauksesta.²⁰ Viime aikoina nähtävissä on ollut jonkinasteista muutosta ilmastonmuokkaukseen suhtautumisessa. Monet tahot ovat nykyisin samaa mieltä vähintäänkin siitä, että ilmastonmuokkausmenetelmiä koskevaa keskustelua ja tutkimusta tulee ylläpitää. Vaikka menetelmien käyttöön liittyy tuntemattomia riskejä, tulee ilmastokriisin vakavuus huomioon ottaen kartoittaa kaikki potentiaaliset keinot ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi.²¹ Sittemmin poliittiset päättäjät ovat liittyneet mukaan aktiiviseen ilmastonmuokauskeskusteluun. Yhdysvallat ja Yhdistynyt kuningaskunta ovat aloittaneet jo vuonna 2009 kahdenvälisen yhteistyön ilmastonmuokkausta koskevan tutkimuksen saralla.²² Myös Kiinassa on jo pidempään tuettu ilmastonmuokkausta liittyvää tutkimusta.²³ Euroopan unioni on aiemmasta kannastaan poiketen sittemmin todennut, että hiilidioksidin poistaminen ilmakehästä on välttämätöntä, jotta se voi saavuttaa hiilineutraaliustavoitteensa vuoteen 2050

¹⁸ Kuokkanen et al. 2013, s. 15; Fleurke 2016; United Nations Environment Programme N.d.

¹⁹ Ks. esim. Bodle 2013, s. 470.

²⁰ European Parliament 2011, kohta 90.

²¹ Ks. esim. Bodle 2013; Geden – Schenuit 2020, s. 35.

²² U.S. Congress 2010.

²³ Ks. esim. Cao – Gao – Zhao 2015; Temple 2017.

mennessä.²⁴ Euroopan komissio on ottanut vastikään konkreettisen askeleen kohti laajamittaista hiilidioksidin poistamista ilmakehästä antamalla loppuvuodesta 2022 asetusehdotuksen hiilenpoistojen sertifiointista.²⁵ Ehdotus määrittää vapaaehtoisen sertifiointikehyksen hiilenpoistoille, ja se sisältää muun muassa hiilenpoistojen laadullisia edellytyksiä sekä laskemista ja todentamista koskevat säännöt.²⁶ Tämä muutos ilmastonmuokkauksen suhtautumisessa on ainakin osittain seurausta siitä, että IPCC on todennut vuonna 2018 julkaisemassaan 1,5 asteen raportissa, että kaikki päästövähennysstrategiat, joissa maapallon keskilämpötilan nousu rajataan 1,5 asteeseen, edellyttävät hiilidioksidin poistamista ilmakehästä ilmastonmuokkausmenetelmien avulla.²⁷

Ilmastonmuokkauksen välttämättömyys on siten tunnistettu, sillä lämpötilan nousun rajoittamista 1,5 asteeseen pidetään elintärkeänä. Ilmastonmuutoksen laajakantoisimmat vaikutukset eivät ole vielä realisoituneet ja maapallon lämpötila on siedettävällä tasolla, mutta on huomioitava, että tulevaisuudessa mahdollisesti toteutuvien riskien ehkäisy edellyttää toimenpiteitä nykyhetkessä. On selvää, ettei ilmastokriisin saralla ole enää aikaa hukattavaksi.²⁸

1.2 Kysymyksenasettelu, rajaus ja rakenne

Hiilenpoistojen välttämättömyys on tunnistettu, mutta varsinaiset toimenpiteet hiilidioksidin poistamiseksi ilmakehästä ovat vielä vähäisiä. Askeleita hiilenpoistojen laajamittaiseksi käyttöönotoksi on kuitenkin otettu. Tämän tutkielman lähtökohtana on Euroopan komission marraskuussa 2022 antama asetusehdotus hiilenpoistojen sertifiointiksi.²⁹ Asetusehdotuksessa huomioidaan erilaiset hiilenpoisto- eli CDR-menetelmät, mutta ehdotuksessa ei vielä käsitellä tarkemmin tai oteta kantaa hiilenpoistomenetelmien eroavaisuuksiin. Tämä on komission mukaan tarkoitus tehdä asiantuntijoiden tuella tulevaisuudessa. Eri CDR-menetelmille on tarkoitus määrittää yksilöidyt sertifiointimenettelysäännökset, joissa huomioidaan kunkin menetelmän ominaispiirteet. Nämä erilaisia hiilenpoistomenetelmiä varten määritellyt yksityiskohtaiset säädökset on tarkoitus antaa sekundaarilainsäädäntönä sen jälkeen, kun asetus hiilenpoistojen sertifiointiksi on hyväksytty ja tullut voimaan.³⁰

²⁴ European Commission 2021.

²⁵ European Commission, Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council establishing a Union certification framework for carbon removals. 2022/0394 (COD).

²⁶ Euroopan komissio 2022a; European Commission 2022b.

²⁷ IPCC 2018a, s. 118–125.

²⁸ Tamme – Beck 2021, s. 3; IPCC 2023.

²⁹ European Commission 2022b.

³⁰ Euroopan komissio 2022b.

Aiheen tarkastelu rajataan tässä tutkielmassa ainoastaan hiilidioksidin talteenottoon suoraan ilmasta ja sen varastointiin eli niin sanottuun DACCS-menetelmään (direct air carbon capture and storage), joka on yksi teknologiaan perustuvista hiilenpoistomenetelmistä. Eri ilmastonmuokkausmenetelmissä on kysymys hyvin erityyppisistä toimenpiteistä, mikä pätee myös erilaisiin hiilenpoistomenetelmiin. Erilaisten menetelmien sääntelyssä tulee huomioida kyseessä olevan menetelmän ominaispiirteet. Näin ollen tarkastelu on asianmukaista rajata ainoastaan yhteen hiilenpoistomenetelmään. Luvussa kaksi esitellään kuitenkin lyhyesti erilaiset ilmastonmuokkausmenetelmät, jotta lukija voi saada kattavan kuvan ilmastonmuokkauksesta, sen potentiaalista ja siihen liittyvistä riskeistä sekä menetelmien välisistä eroavaisuuksista. Näin DACCS-menetelmä asetetaan myös osaksi laajempaa ilmastonmuokauskontekstia.

Komission asetusehdotus hiilenpoistojen sertifiointeista on tosiasiallisesti hyvin suurpiirteinen: komissio on jättänyt vielä monta kysymystä avoimeksi.³¹ Koska komissio on todennut määrittävänsä yksilöidyt sertifiointimenettelyt eri hiilenpoistomenetelmille myöhemmin, tarkastelen tässä tutkielmassa, millä tavoin DACCS-menetelmää tulee säännellä tarkemmin ja mitä sen sääntelyssä tulee huomioida. Ensinnäkin selvitän, mitä tekijöitä suoraan ilmasta talteenotetun hiilidioksidin ja sen varastoinnin yksityiskohtaisessa sääntelyssä tulee ottaa huomioon. Erityisesti analysoin, miten suoraan ilmasta talteenotetun hiilidioksidin ja sen varastointiin liittyvät riskit voidaan ja tulee ennakoida menetelmän sääntelyssä. Toiseksi arvioin, miten komission asetusehdotuksen säännöksiä tulee yksityiskohtaistaa, jotta DACCS-menetelmän sääntelyssä otetaan asianmukaisella tavalla huomioon menetelmän erityispiirteet. Komission asetusehdotuksessa todetaan, että kaksinkertaisen sääntelyn välttämiseksi DACCS-menetelmään tulee soveltaa myös hiilidioksidin geologista varastointia koskevaa direktiiviä eli CCS-direktiiviä (2009/31/EY)³². Tästä syystä tutkielman luvussa neljä pohdin, onko tarkoituksenmukaista, että CCS-direktiivi ohjaa ja on mallina suoraan ilmasta talteenotetun hiilidioksidin ja sen varastoinnin sääntelyssä. Lisäksi analysoin, miten CCS-direktiivin säännöksiä tulee kehittää, jotta ne soveltuvat paremmin DACCS-menetelmän sääntelyyn.

³¹ Esimerkiksi Meyer-Ohlendorf et al. ovat todenneet, että komission ehdotus on epämääräinen erityisesti keskeisen sääntelyn kohdalla. Meyer-Ohlendorf et al. 2023, s. 9. Ks. myös Maa- ja metsätalousministeriö – Työ- ja elinkeinoministeriö – Ympäristöministeriö 2022; World Wide Fund For Nature 2022.

³² Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2009/31/EY, annettu 23 päivänä huhtikuuta 2009, hiilidioksidin geologisesta varastoinnista ja neuvoston direktiivin 85/337/ETY sekä Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivien 2000/60/EY, 2001/80/EY, 2004/35/EY, 2006/12/EY ja 2008/1/EY ja asetuksen (EY) N:o 1013/2006 muuttamisesta.

Ensimmäiseen tutkimuskysymykseen vastaamalla taustoitetaan DACCS-menetelmään liittyviä tekijöitä, jotka vaativat asianmukaista huomiota menetelmän sääntelyssä. Näiden tekijöiden läpikäynti on välttämätöntä siihen nähden, jotta voidaan vastata toiseen ja kolmanteen tutkimuskysymykseen, eli siihen, miten DACCS-menetelmään soveltuvan kahden keskeisen säännöksen, eli komission hiilenpoistojen sertifiointia koskevan asetusehdotuksen ja CCS-direktiivin säännöksiä on tarpeen yksityiskohtaistaa ja kehittää.

Aiheen tarkastelu rajataan EU:n voimassa olevista säädöksistä ainoastaan CCS-direktiiviin, vaikka suoraan ilmasta talteenotettavaan hiilidioksidiin ja sen varastointiin saattaa soveltua myös muuta EU-lainsäädäntöä. Tutkielman painopisteen säilyttämiseksi komission asetusehdotuksessa ja siinä viitattavassa CCS-direktiivissä, jätetään muiden mahdollisesti DACCS-menetelmään soveltuvien EU-säädösten arviointi tuleviin tutkimuksiin. Tästä syystä tässä tutkielmassa pystytään myös syventyä kunnolla tarkastelun kohteena olevaan sääntelyyn. Tarkastelen teemaa myös hieman periaatekontekstissa, sillä periaatteella on merkittävä asema EU:n ympäristöpolitiikassa. Tutkielman luvussa 3.1. käsitellään lyhyesti muutamaa ilmastonmuokkauskeskustelussa korostunutta ympäristöoikeudellista periaatetta, vaikkakin rajauksen vuoksi ympäristöoikeudellisia periaatteita ei käsitelläkään syvällisemmin.

Tutkielma rakentuu siten, että aluksi tarkastellaan pääpiirteittäin eri ilmastonmuokkausmenetelmiä, jotta tutkielman tarkastelukohteena oleva DACCS-menetelmä asettuu osaksi laajempaa ilmastonmuokkauks kontekstia. Tämän jälkeen syvennyttään tutkielman tarkastelukohteena olevaan DACCS-menetelmään. Tutkielman toisessa pääluvussa käsitellään DACCS-menetelmän erityispiirteitä ensin keskittämällä tarkastelu menetelmän hyötyihin. Toiseksi käsitellään menetelmään mahdollisesti liittyviä riskejä ja haasteita. Hyötyjen ja haittojen käsittely on välttämätöntä, jotta voidaan vastata ensimmäiseen tutkimuskysymykseen; mitä tekijöitä DACCS-menetelmän sääntelyssä tulee ottaa huomioon.

Kolmannessa pääluvussa käsitellään tutkielman lähtökohtana olevaa Euroopan komission asetusehdotusta hiilenpoistojen sertifiointiksi. Ensiksi kuitenkin otetaan lyhyt katsaus ilmastonmuokkaussääntelyä koskevaan keskusteluun niin EU-tasolla kuin kansainvälisesti. Tarkoitus on osoittaa, kuinka uudesta ja ajankohtaisesta oikeudellisesta ongelmasta hiilenpoistojen sääntelyssä on kyse. Tämän jälkeen siirrytään käsittelemään komission asetusehdotusta käymällä läpi sen keskeinen sisältö. Tämän jälkeen arvioin, kuinka hyvin komission asetusehdotuksen säännökset soveltuvat sellaisenaan DACCS-menetelmän

sääntelyyn. Kolmannen pääluvun tavoitteena on osoittaa asetusehdotuksen aukollisuus ja ongelmallisuus, jotka johtuvat siitä, ettei asetusehdotuksessa ole huomioitu eri hiilenpoistomenetelmien välisiä eroavaisuuksia. Sääntelyn yleisyys on aiheuttanut sen, että sääntelyn kehittäminen ja yksityiskohtaistaminen on välttämätöntä, jotta sääntelyllä saavutetaan sille asetetut tavoitteet sekä huomioidaan tutkielman toisessa luvussa esitellyt DACCS-menetelmän erityispiirteet, jotka tulee ennakoida asianmukaisella sääntelyllä.

Tutkielman neljännessä pääluvussa käsitellään ensin CCS-direktiivin säännöksiä, jotka soveltuvat komission mukaan suoraan ilmasta talteenotettavaan hiilidioksidiin ja sen varastointiin sellaisenaan. Arvioin, miten CCS-direktiivin säännöksiä on tarpeen kehittää, jotta geologista varastointia koskevat säännökset olisivat asianmukaisia DACCS-menetelmään nähden. Toiseksi pyrin myös antamaan konkreettisia kehitysehdotuksia siitä, miten komission asetusehdotuksen säännöksiä tulee tarkentaa DACCS-menetelmän varsinaisessa sääntelyssä, erityisesti huomioiden tutkielman toisessa pääluvussa käsitellyt menetelmän erityispiirteet.

Tiivistettynä voidaan todeta, että tutkielman toisessa pääluvussa arvioin, mitä tekijöitä DACCS-menetelmän sääntelyssä tulee ottaa huomioon. Kolmannessa pääluvussa osoitan, mitä DACCS-menetelmän kannalta oleellisia tekijöitä komission asetusehdotus on jättänyt vähemmälle huomiolle. Lopuksi tutkielman neljännessä pääluvussa annan ehdotukseni DACCS-menetelmää koskevan sääntelyn yksityiskohtaistamiseksi ja kehittämiseksi.

1.3 Metodinen viitekehys

Tutkielmassa analysoidaan edellä mainituin tavoin, mitä seikkoja DACCS-menetelmän yksityiskohtaisemmassa sääntelyssä tulee ottaa huomioon ja miten menetelmää voidaan ja tulee säännellä tarkemmin, eli tarkastelu tehdään lainsäätäjän näkökulmasta. Tämän takia lähestymistavaksi on tässä tutkielmassa valittu sääntelyteoreettinen näkökulma – sääntelyteoreettinen lähestymistapa on lainsäätäjää palveleva.³³ Tutkielmassa arvioidaan myös tulevaa lainsäädäntöä, eli siinä on myös piirteitä de lege feranda -tutkimuksesta. De lege feranda -tutkimukseen kuuluvien suositusten esittäminen kohdistetaan lainsäätäjälle.³⁴ Sääntelyteoreettinen tutkimusmetodi on luonteva tutkimukselle, jossa arvioidaan nykytilaa, jossa hyvin uuden ja poliittisesti haastavan menetelmän sääntelemättömyys aiheuttaa ongelmia

³³ Määttä 1999, s. 13.

³⁴ Kumpula et al. 2014, s. 139.

ja pohditaan tulevaisuuteen suuntautuvasti, miten tällaista menetelmää voidaan ja tulee säännellä.

Sääntelyteoriassa oikeutta ajatellaan yhteiskunnallisena ilmiönä ja sääntelyteoria korostaa oikeutta välineenä yhteiskuntapoliittisten tavoitteiden saavuttamiseksi.³⁵ Tutkimuskohde nähdään sääntelyteoreettisessa tutkimuksessa oikeudellisen ongelman ohella yhteiskunnallisena ongelmana.³⁶ Tämä heijastaa myös ympäristöoikeudellisen tutkimuksen monitieteisyyttä: ympäristöongelmien kokonaisvaltainen ymmärtäminen edellyttää usean eri tieteenalan, kuten luonnon- ja yhteiskuntatieteellisten, näkökulmien huomioimista.³⁷ Tämä koskee myös ilmastonmuokkausta, jonka sääntelyyn liittyy erilaisia yhteiskunnallisia intressejä. Ilmastonmuokkaustoimien suorittamisella pyritään ilmastonmuutoksen hillintään ja ilmastonmuokkausta koskevalla sääntelyllä on siten merkittävä vaikutus yhteiskunnallisesti, koska sääntelyn onnistuminen heijastuu suoraan ilmastonmuutoksen hillintää koskevan tavoitteen saavutettavuuteen. Ilmastonmuokkausmenetelmien sääntely ei kuitenkaan ole yksinkertaista, koska niihin liittyy paljon potentiaalisia riskejä ja mahdollisia ongelmia, jotka tulee pyrkiä huomioimaan ennakkollisesti. Tässä tutkielmassa kysymyksessä on sääntelyteorian normatiivinen luonne.³⁸ Tarkoituksena on selvittää, minkälaista suoraan ilmasta talteenotetun hiilidioksidin ja sen varastoinnin sääntelyn tulee olla, jotta voidaan saavuttaa sääntelylle asetetut tavoitteet eli ensinnäkin saavuttamaan Euroopan unionin hiilineutraaliustavoite vuoteen 2050 mennessä sekä toiseksi vastaamaan komission asetusehdotuksessa asetettuihin laatuvaatimuksiin ja muihin edellytyksiin.

Ilmastonmuokkausmenetelmien nykysääntely on olematonta, eikä erityisesti kansainvälisellä tasolla ole selvää, mitkä sopimukset ja säännökset tulevat sovellettaviksi ilmastonmuokkaukseen.³⁹ Ilmastonmuokkausmenetelmien sääntelemättömyys on siten merkittävä ongelma. Lainopillinen tutkimus puolestaan keskittyy lain tulkintaan ja systematisointiin, eikä lähestymistapa ole niin sovelias uuden oikeudellisen ilmiön tutkimiseen. Sääntelyteoreettisessa tutkimuksessa pyritään erityisesti vastaamaan kysymykseen, miksi sääntelyä tarvitaan.⁴⁰ Myös tämän vuoksi sääntelyteoreettinen lähestymistapa on valittu tämän

³⁵ Määttä 2002, s. 132.

³⁶ Kumpula et al. 2014, s. 149.

³⁷ Ibid, s. 135.

³⁸ Määttä 2002, s. 133–135.

³⁹ Kuokkanen et al. 2013, s. 21, 41; Sacco et al. 2022, s. 4.

⁴⁰ Similä 2007, s. 409.

tutkielman metodiksi, koska tutkielmassa tuodaan esille ilmastonmuokkausmenetelmien sääntelytarve. Sääntelyteoreettisessa tutkimuksessa on ominaista arvioida, mikä sääntelyvaihtoehto on soveltuvin kulloinkin käsillä olevassa tilanteessa.⁴¹ Sääntelyteoreettinen tutkimus pyrkii myös kehittämään sääntelyä.⁴² Tässä tutkielmassa arvioidaan, miten komission asetusehdotuksessa määritetyt edellytyksiä ja vaatimuksia sekä CCS-direktiivin säännöksiä tulee kehittää DACCS-menetelmän yksityiskohtaisessa sääntelyssä, jotta voidaan ennakkollisesti ottaa huomioon menetelmän mahdollisesti aiheuttamat riskit ja haasteet. Sääntelyssä tulee huomioida menetelmän ominaispiirteet mahdollisten riskien estämiseksi ja minimoimiseksi. Lisäksi tutkielmassa arvioidaan parhaiten soveltuvaa sääntelyinstrumenttia suoraan ilmasta talteen otettavan hiilidioksidin ja sen varastoinnin kohdalla.

Tutkimuksen keskeisimmät lähteet koostuvat kansainvälisestä kirjallisuudesta sekä EU-oikeuden säädöksistä ja muista virallislähteistä, kuten komission ohjeistuksista. Tutkielmassa hyödynnetään oikeustieteellisen kirjallisuuden lisäksi myös muiden tieteenalojen tutkimusta, mikä on ominaista tutkielmassa omaksutulle tutkimusmetodille sekä tutkielman aiheelle, joka on hyvin monialainen. Tutkielmassa ei ole hyödynnetty oikeustapauksia, koska aiheen uutuuden vuoksi relevanttia tutkielman aiheeseen liittyvää ratkaisukäytäntöä ei ole löytynyt.

⁴¹ Kumpula et al. 2014, s. 149.

⁴² Similä 2007, s. 410.

2 Ilmastonmuokkaus

2.1 Mistä ilmastonmuokkauksessa on kysymys?

Ilmastonmuokkauksella tähdätään ilmaston viilentämiseen eli sillä pyritään hidastamaan ilmaston lämpenemistä. Ilmastonmuokkaus määritetään ilmastojärjestelmän tarkoitukselliseksi ja laajamittaiseksi muuttamiseksi.⁴³ Tarkoituksellisuus ja laajamittaisuus ovat kaksi ilmastonmuokkauksen olennaista osatekijää. Toimi katsotaan ilmastonmuokkaukseksi, kun nimenomainen aikomus on muokata ilmastoa, ja kun toimen seurauksena aiheutuu laajamittaista muutosta ilmastossa eli koko planeetalla tai vähintäänkin laajemmilla alueilla kuin ainoastaan paikallisesti.⁴⁴

Ilmastonmuokkaukseen saatetaan suhtautua kriittisesti erityisesti sen takia, että menetelmillä puututaan ainoastaan ilmastonmuutoksen seurauksiin eikä sen syyhyn, eli päästöjä aiheuttavaan ihmistoimintaan.⁴⁵ Lisäksi huolena on, että ilmastonmuokkaus nähdään vaihtoehtona varsinaisille päästövähennystoimenpiteille.⁴⁶ Useat tutkijat ja erityisesti ilmastonmuokkauksen puolesta puhujat pitävät kuitenkin selvänä, että tavanomaiset päästövähennykset ovat ensisijaisia ilmastonmuokkaustoimiin nähden, eikä ilmastonmuokkauksella ole tarkoitus vähentää tai syrjäyttää päästövähennyksiä, vaan hillitä ilmastonmuutosta ja tehdä mahdolliseksi maapallon keskilämpötilan rajaaminen 1,5 asteeseen.⁴⁷ Ilmastonmuokkausta pidetään 1,5 asteen lämpötilatavoitteen saavuttamisen ohella välttämättömänä myös sen takia, että ihmistoiminnasta aiheutuu väistämättä päästöjä, joista ei voida tai on hyvin vaikea päästä eroon eli niin sanottuja jäännöspäästöjä (residual emissions).⁴⁸ On arvioitu, että jäännöspäästöt ovat jopa noin 18 prosenttia nykyisistä päästöistä.⁴⁹ Jotta on mahdollista saavuttaa hiilineutraalius, ja edelleen muuttaa päästökehitys negatiiviseksi, edellytetään siten jonkinlaista ilmastonmuokkausta, koska kaikkea ihmistoimintaa ei ole mahdollista muuttaa päästöttömäksi.

⁴³ Keith 2000, s. 247; Kuokkanen et al. 2013, s. 12; Bodle 2013, s. 447; United Nations Environment Programme N.d.

⁴⁴ Gerrard – Hester 2018, s. 2.

⁴⁵ Schmidt et al. 2012, s. 4.

⁴⁶ Ks. esim. Bodle 2013, s. 470.

⁴⁷ Gerrard – Hester 2018, s. 2; Kintisch 2018, s. 41; Bergman – Rinberg 2021; IPCC 2022a.

⁴⁸ IPCC 2018a, s. 17; Geden – Schenuit 2020, s. 8; IPCC 2021, s. 29; Wilcox – Kolosz – Freeman 2021; Buck et al. 2023; Euroopan komissio 2022a.

⁴⁹ Buck et al. 2023, s. 354.

Ilmastonmuokkausta koskevassa keskustelussa tulee huomioida menetelmien väliset merkittävät eroavaisuudet, sillä ilmastonmuokkaus ylesterminä käsittää lukuiset erilaiset menetelmät, sekä luonnolliset että teknologiset menetelmät, joissa on periaatteellisesti kyse hyvin erilaisista toimista. Tämän takia on tarpeen, että ilmastonmuokkausta tarkastellaan menetelmäkohtaisesti. Tietenkin voidaan myös argumentoida, että suhtautuminen myönteisesti johonkin ilmastonmuokkausmenetelmään antaa yleisen hyväksynnän kaikenlaiselle ilmastonmuokkaukselle. Kuten seuraavista alaluvuista ilmenee, tutkijoidenkin keskuudessa hyväksyttävyyys eri ilmastonmuokkaustoimenpiteiden välillä vaihtelee merkittävästi. Ilmastonmuokkausmenetelmiin liittyvät riskit ja niiden todennäköisyys riippuu kunkin menetelmän ominaispiirteiden lisäksi siitä, miten menetelmän käyttöönotossa ja sääntelyssä onnistutaan ennakoimaan ja varautumaan riskien mahdollisuuteen ja toteutumiseen. Joidenkin ilmastonmuokkausmenetelmien aiheuttamat riskit ovat huomattavasti helpompi ennakoida kuin toisten. Mahdollisesti realisoituvat riskit eivät kuitenkaan saisi olla esteenä sille, että ilmastonmuokkausmenetelmien tarjoamia mahdollisuuksia kartoitetaan perusteellisesti, erityisesti kun huomioidaan, että nykyiset päästövähennystoimet eivät ole läheskään riittäviä.⁵⁰ Tutkielman tavoitteena on osaltaan edistää yhden ilmastonmuokkausmenetelmän, eli suoraan ilmasta talteenotetun ja varastoidun hiilidioksidin, turvallista laajamittaista käyttöönottoa pohtimalla menetelmän sääntelyssä huomioon otettavia tekijöitä.

Ilmasto voidaan muokata joko heijastamalla maapallolle tulevaa auringon säteilyä takaisin avaruuteen tai vähentämällä ilmakehässä olevien kasvihuonekaasujen määrää poistamalla ilmakehästä hiilidioksidia.⁵¹ Huomionarvoista on mainita, että jotkut pitävät myös CCS-menetelmää, eli hiilidioksidin talteenottoa ja varastointia, ilmastonmuokkauksena⁵², vaikkakin vakiintunut tulkinta on, että menetelmässä ei ole kysymys ilmaston muokkaamisesta. CCS-menetelmä kuulostaa hyvin samankaltaiselta kuin DACCS-menetelmä, eli hiilidioksidin talteenotto suoraan ilmasta ja sen varastointi. Menetelmissä on kuitenkin perustavanlaatuisen ero. CCS-menetelmässä hiilidioksidi otetaan talteen suoraan teollisuuslaitoksista, eli hiilidioksidi otetaan talteen esimerkiksi suodattimien avulla ennen kuin se vapautuu ilmakehään. Tämä erottaa menetelmän DACCS-menetelmästä, jossa hiilidioksidi otetaan talteen suoraan ilmasta. CCS-menetelmää ei pääsääntöisesti pidetä varsinaisena ilmastonmuokkauksena, koska talteenotettu hiilidioksidi ei ole vielä vapautunut ilmakehään, eli

⁵⁰ IPCC 2023, s. 23–32.

⁵¹ Kuokkanen et al. 2013, s. 15; Fleurke 2016; United Nations Environment Programme N.d.

⁵² Ks. esim. Srivastava 2011; Chalmin 2021.

ilmastoa ei sinänsä muuteta.⁵³ Tämän vuoksi tässäkin tutkielmassa CCS-menetelmää ei pidetä varsinaisena ilmastonmuokkausmenetelmänä, koska se ennemminkin vähentää päästöjä tavanomaisin keinoin kuin muokkaa ilmastoa.⁵⁴ CCS-menetelmällä on kuitenkin merkittäviä yhtymäkohtia DACCS-menetelmään hiilidioksidin talteenoton jälkeen, sillä molemmissa menetelmissä talteenotettu hiilidioksidi varastoidaan geologisiin muodostumiin. Tämän vuoksi menetelmää koskevaa Euroopan unionin CCS-direktiiviä käsitellään jäljempänä, sillä komissio on todennut, että direktiivin säännökset soveltuvat myös DACCS-menetelmän seurauksena varastoitavaan hiilidioksidiin. Seuraavissa alaluvuissa käydään läpi pääpiirteittäin kaksi ilmastonmuokkausmenetelmää, eli auringonsäteilyn vähentämiseen tähtäävä SRM-menetelmä ja hiilidioksidin poistamiseen ilmakehästä tähtäävä CDR-menetelmä.

2.1.1 Heijastavuutta lisäävät menetelmät

Ilmastoa on periaatteessa mahdollista viilentää keinotekoisesti heijastamalla maapallolle tulevaa auringon säteilyä takaisin avaruuteen. Esimerkki on merten yllä tehtävä pilvien heijastavuuden lisääminen valkaisemisella, jossa yksinkertaistetusti sanoen suihkutetaan ilmaan merivesipisaroita, jotka muodostavat valkoisempia pilviä.⁵⁵ Heijastavuutta voidaan myös lisätä ruiskuttamalla rikkihiukkasia yläilmakehään. Idea on syntynyt siitä, kun on havaittu, että tulivuortenpurkausten seurauksena vapautuva rikkidioksidi muodostaa auringon säteilyä estäviä pilviä viilentäen näin ilmastoa.⁵⁶ Myös esimerkiksi avaruuteen asetettavia peilejä tai rakennusten kattojen valkoiseksi maalaamista on ehdotettu vaihtoehdoiksi lisäämään heijastavuutta.⁵⁷ SRM-menetelmien vahvuuksia ovat niiden nopea vaikutus ilmastoon ja edulliset toteutuskustannukset.⁵⁸ Toisaalta nämä ovat myös heikkouksia, koska vaarana on, että yksittäiset valtiot tai muut toimijat voivat suhteellisen helposti käyttää heijastavuutta lisääviä menetelmiä. Tämä voi aiheuttaa potentiaalisesti merkittäviä haitallisia vaikutuksia valtioiden rajat ylittävillä alueilla tai jopa globaalisti.⁵⁹

Heijastavuutta lisäävien menetelmien merkittävin ongelma on se, ettei menetelmillä puututa ilmastonmuutoksen aiheuttajaan, eli korkeaan kasvihuonekaasupäästöjen määrään

⁵³ Davies 2009, s. 2; Kuokkanen et al. 2013, s. 15; IPCC 2018a, s. 122.

⁵⁴ Kuokkanen et al. 2013, s. 19; Geden – Schenuit 2020, s. 7.

⁵⁵ Royal Society 2009, s. 27; Kuokkanen et al. 2013, s. 16–17; Ming et al. 2014, s. 797; Kintisch 2018, s. 34–35.

⁵⁶ Kuokkanen et al. 2013, s. 15–16; Ming et al. 2014, s. 795–796.

⁵⁷ Kuokkanen et al. 2013, s. 17, 37; Ming et al. 2014, s. 795; Kintisch 2018, s. 33.

⁵⁸ Kuokkanen et al. 2013, s. 20; Kintisch 2018, s. 28.

⁵⁹ Ks. esim. Kuokkanen et al. 2013, s. 21.

ilmakehässä. SRM-menetelmiin liittyy huomattavasti enemmän epävarmuutta kuin hiilidioksidia poistaviin menetelmiin, koska heijastavuutta lisäävillä menetelmillä puututaan rajusti maapallon ilmastojärjestelmän toimintaan.⁶⁰ Ilmastojärjestelmän toimintaan puuttuminen saattaa aiheuttaa häiriöitä sääjärjestelmissä ja muutoksia ekosysteemeissä.⁶¹ Koska heijastavuutta lisäävät menetelmät eivät vähennä kasvihuonekaasupäästöjen määrää, ei niiden käytöllä myöskään puututtaisi esimerkiksi merten happamoitumiseen, joka johtuu hiilidioksidin sitoutumisesta veteen.⁶² Lisäksi heijastavuutta lisäävien menetelmien käyttö on peruutettavissa, mikä tarkoittaa, että menetelmän käytön lopettaminen voi aiheuttaa hyvin nopean ilmaston lämpenemisen, jolla saattaisi olla tuhoavia seurauksia. Koska menetelmän käytön lopettamiseen liittyy vaarallisia riskejä, tulisi heijastavuutta lisääviä toimia jatkaa pitkään tai periaatteessa jopa ikuisesti, ellei kasvihuonekaasupäästöjen määrää ilmakehässä olla sillä välin onnistuttu laskemaan huomattavasti.⁶³

Heijastavuutta lisääviin menetelmiin yhdistetyt riskit ovat aiheuttaneet merkittävää vastustusta menetelmien testauksesta ja käyttöönotosta. Useat tutkijat ovat vedonneet poliittisiin päättäjiin, jotta SRM-menetelmien käyttöönotto estettäisiin. Esimerkiksi Biermann et al. vaativat Yhdistyneitä kansakuntia laatimaan kansainvälisen SRM-menetelmiä koskevan käyttökieltosopimuksen.⁶⁴ Gerrard & Hester ovat puolestaan todenneet, että SRM-menetelmien käyttöä voidaan pitää ainoastaan viimeisenä epätoivoisena keinona pahimman välttämiseksi.⁶⁵

Heijastavuutta lisäävien menetelmien etuja siis ovat niiden käyttöönoton nopeus ja helppous. Yksi vaihtoehtoinen keino olisi tukeutua SRM-menetelmien käyttöön kunnes kasvihuonekaasupäästöjä saadaan vähennettyä, joko tavanomaisin päästövähennyskeinoin tai hiilenpoistomenetelmien avulla. SRM-menetelmään liittyvät riskit huomioon ottaen menetelmän käyttöön ei kuitenkaan voi suhtautua kovinkaan myönteisesti ja menetelmän edut jäävät sen riskien varjoon. En ota kantaa siihen, tulisiko SRM-menetelmien käyttöönottoa edistää, mutta katson, että niiden sääntelyssä ja käyttöönotossa olisi pystyttävä varautumaan kaikkiin mahdollisiin riskeihin, mikä on hyvin haastavaa menetelmään liitettyjen

⁶⁰ Kuokkanen et al. ovat todenneet, että SRM-menetelmien käyttö johtaisi täysin uuteen ilmastolliseen tilaan, koska maapallolle saapuvan auringonsäteilyn määrä vähenisi. Kuokkanen et al. 2013, s. 20.

⁶¹ Kuokkanen et al. 2013, s. 20.

⁶² Suomen ympäristökeskus 2019. Kuokkanen et al. 2013, s. 20.

⁶³ Ming et al. 2014, s. 827; Gerrard – Hester 2018, s. 3.

⁶⁴ Biermann et al. 2021. Kuokkanen et al. 2013, s. 20–21.

⁶⁵ Gerrard – Hester 2018, s. 11.

epävarmuuksien luonteesta johtuen. Lisäksi tulisi varmistua siitä, että menetelmän käyttöä olisi mahdollista jatkaa hyvin kauan.

2.1.2 Hiilidioksidia poistavat menetelmät

Ilmakehästä hiilidioksidia poistavat menetelmät eli CDR-menetelmät ja niiden käyttömahdollisuudet ovat saaneet viime vuosina aiempaa enemmän huomiota. IPCC on vauhdittanut CDR-menetelmiä koskevaa keskustelua toteamalla, että kaikki päästövähennysstrategiat, joilla maapallon keskilämpötilan nousu on mahdollista rajata 1,5 asteeseen, edellyttää hiilidioksidin poistamista ilmakehästä ilmastonmuokkausmenetelmien avulla.⁶⁶ Hiilenpoistojen määrä vaihtelee eri skenaarioiden välillä, mutta ne ovat kuitenkin merkittäviä kaikissa päästövähennysstrategioissa.⁶⁷ Hiilidioksidia poistavien menetelmien käytöntarve on tunnistettu, mutta näiden menetelmien tosiasialliseen käyttöön suhtaudutaan vielä jokseenkin varauksellisesti. Tämä hidastaa menetelmien käyttöönottoon tähtääviä toimia, vaikka niissä olisikin otettu asianmukaisesti ja tarpeellisella laajuudella huomioon menetelmiin liittyvät riskit.⁶⁸ Tähän on luultavasti useampia syitä, mutta negatiiviseen tai varovaiseen suhtautumiseen vaikuttaa todennäköisesti yleinen ilmastonmuokkaukseen kohdistuva kriittisyys sekä tietämättömyys menetelmien välisistä eroavaisuuksista.

CDR-menetelmillä vähennetään ilmakehässä olevien kasvihuonekaasupäästöjen määrää poistamalla ilmakehästä hiilidioksidia ja varastoimalla se pysyvästi.⁶⁹ On kuitenkin hyvä huomioida, että vaikka hiilenpoistoissa on nimensäkin mukaisesti perinteisesti kyse hiilidioksidin talteenotosta, voidaan ilmakehästä periaatteessa poistaa muitakin kasvihuonekaasupäästöjä.⁷⁰ Tässä tutkielmassa keskitytään hiilidioksidin poistamiseen, koska tarkasteltavana olevassa DACCS-menetelmässä on kyse nimenomaisesti siitä. Ilmakehästä poistettu hiilidioksidi voidaan joko varastoida pysyvästi geologisiin muodostelmiin sekä maa- ja meriekosysteemeihin tai hiilidioksidia voidaan käyttää edelleen.⁷¹ Hyötykäyttö voidaan tehdä suoraan eli hyödyntämällä talteenotettu hiilidioksidi esimerkiksi juomien

⁶⁶ IPCC 2018a, s. 118–125.

⁶⁷ IPCC 2018a, s. 118–125; Meyer-Ohlendorf 2021, s. 4. IPCC:n mukaan vuoteen 2100 mennessä vaadittavien hiilenpoistojen määrä vaihtelee sadasta tuhanteen gigatonnia hiilidioksidia. IPCC 2018a, s. 17.

⁶⁸ Wilcox – Kolosz – Freeman 2021. Ks. myös Ho 2023.

⁶⁹ Kuokkanen et al. 2013, s. 15; Fleurke 2016; IPCC 2018b; IEA 2022c; United Nations Environment Programme N.d.

⁷⁰ IPCC 2018b; The Royal Society – Royal Academy of Engineering 2018.

⁷¹ IPCC 2022a.

hiilihapotuksessa tai epäsuorasti eli käyttää hiilidioksidia raaka-aineena erilaisten tuotteiden prosesseissa, mikä tarkoittaa, että tällöin hiilidioksidi varastoidaan tuotteisiin.⁷²

Hiilidioksidin uudelleenkäytön seurauksena kerran talteenotettu hiilidioksidi kuitenkin vapautuu jossain vaiheessa uudestaan ilmakehään. Jotta kysymyksessä on hiilenpoisto, tulee talteenotettu hiilidioksidi varastoida pysyvästi.⁷³ Tämä tarkoittaa, että hiilidioksidin on oltava varastoituna niin kauan, kun hiilidioksidi säilyy ilmakehässä, eli jopa tuhansia vuosia.⁷⁴ Hiilidioksidin varastoinnissa tulee siten huolehtia siitä, että hiilidioksidi pysyy täydellisesti eristettynä jopa tuhansien vuosien ajan ilman vuotoja. Hiilidioksidin uudelleenkäytössä hiilidioksidi vapautuu ilmakehään huomattavasti aikaisemmin kuin tuhansien vuosien päästä, eli periaatteessa niissä ei ole kysymys pysyvistä hiilidioksidin poistamisesta.⁷⁵ Tosin nämäkin hiilenpoistot ovat merkittäviä, ja ne voivat edistää ilmastonmuutoksen hillintää, vaikka talteenotettu hiilidioksidi ei pysykään varastoituna pysyvästi. Pysyvään varastointiin tulee kuitenkin pyrkiä, koska ilmastotavoitteiden saavuttaminen edellyttää hyvin laajamittaista kasvihuonekaasupäästöjen vähentämistä, eikä tätä saavuteta pitkällä tähtäimellä siten, että kerran talteenotettu hiilidioksidi vapautuu uudestaan ilmakehään.⁷⁶

CDR-menetelmillä saavutettava tosiasiallinen hyöty riippuu ensinnäkin siitä, pysyykö menetelmän käytöstä aiheutuneet päästöt alhaisempana kuin menetelmän seurauksena talteenotetun hiilidioksidin määrä. Hiilenpoistoissa on siten otettava talteen enemmän hiilidioksidia kuin sitä vapautuu menetelmien käytössä. Toiseksi hyöty riippuu siitä, kuinka kauan talteenotettu hiilidioksidi pysyy varastoituna.⁷⁷ Hiilenpoistoista saadaan irti niiden täysi potentiaali varastoimalla talteenotettu hiilidioksidi pysyvästi, eli käytännössä geologisiin muodostelmiin. IPCC:n mukaan hiilidioksidin varastointi geologisiin muodostelmiin tarkoittaa yli kymmenen tuhannen vuoden varastointia.⁷⁸

⁷² IEA 2022c, s. 46.

⁷³ Ibid.

⁷⁴ IPCC on todennut, että noin puolet hiilidioksidista poistuu ensimmäisen 30 vuoden kuluessa. Kuitenkin noin 20 prosenttia hiilidioksidista säilyy ilmakehässä jopa useita tuhansia vuosia. IPCC 2007a, s. 25. Ks. myös Bergman – Rinberg 2021.

⁷⁵ IEA 2022c, s. 67.

⁷⁶ Ibid, s. 46.

⁷⁷ Royal Society 2009, s. 9; Bergman – Rinberg 2021.

⁷⁸ IPCC 2022a.

Kuten heijastavuutta lisääviä menetelmiä, myös hiilenpoistomenetelmiä on useita erilaisia ja näillä menetelmillä on joitakin perustavanlaatuisia eroja. Menetelmien potentiaali vaihtelee ja osaa CDR-menetelmistä hyödynnetään jo nyt aktiivisesti kun taas toiset ovat vasta kehitysvaiheessa. Hiilenpoistomenetelmät voidaan ensinnäkin jakaa niin sanottuihin luonnollisiin eli biologisiin hiilenpoistoihin ja teknologisiin hiilenpoistoihin.⁷⁹ Luonnolliset hiilenpoistotoimet ovat jo merkittävässä roolissa ilmastonmuutoksen hillitsemisessä. Näitä ovat esimerkiksi metsittäminen (afforestation), jossa metsitetään alueita, joilla ei ole ennestään ollut metsää sekä uudelleenmetsitys (reforestation), jossa puolestaan metsitetään uudelleen alueita, joilla on aikaisemmin ollut metsää.⁸⁰ Edellä mainituissa on siis kysymys hiilinielujen vahvistamisesta ja kasvattamisesta. Puusto on kuitenkin merkittävä raaka-aine ja metsiin kohdistuu paljon hakkuita, minkä lisäksi metsät ovat alttiita esimerkiksi metsäpaloille ja muille tuhoille. Hiilinielut eivät siten ole kovin vakaita ja ne saattavat muuttua voimakkaasti ajan kuluessa.⁸¹ Metsien varastoima hiilidioksidi myös vapautuu takaisin ilmakehään esimerkiksi hakkuiden myötä ja puiden lahotessa, eli metsät ovat hiilinielujen ohella myös hiililähteitä.⁸²

Muita biologisia CDR-menetelmiä ovat muun muassa hiilen sitominen maaperään, jota voidaan tehostaa muuttamalla maatalouskäytäntöjä⁸³, merten lannoittaminen⁸⁴ sekä biohiilen tuotto ja sen hautaaminen maaperään, joka toteutetaan käytännössä siten, että biomassasta tuotetaan keinotekoisesti hiiltä, joka pysyy maaperään haudattuna varastoituna vuosikymmenistä vuosisatoihin.⁸⁵ Jotkut katsovat, että biohiilen tuotannossa on kysymys biologisen ja teknologisen CDR-menetelmän yhdistelmästä.⁸⁶ Yhdistelmänä voidaan myös pitää BECCS-menetelmää, joka tarkoittaa bioenergian tuotannon yhteydessä vapautuvan hiilidioksidin talteenottoa ja varastointia.⁸⁷ Pääsääntöisesti, ja niin myös tässäkin tutkielmassa, BECCS-menetelmä lasketaan teknologiseksi hiilenpoistomenetelmäksi, vaikkakin sen käyttö perustuu biomassan hyödyntämiseen.⁸⁸ On kuitenkin hyvä huomioda, että jako biologisiin ja teknologisiin hiilenpoistoihin on jossain määrin häilyvä.

⁷⁹ Kuokkanen et al. 2013, s. 18–19; IPCC 2018b; Tamme – Beck 2021, s. 2.

⁸⁰ Kuokkanen et al. 2013, s. 18; Geden – Schenuit 2020, s. 10; Erbach – Victoria 2021, s. 4.

⁸¹ Geden – Schenuit 2020, s. 10; Meyer-Ohlendorf 2021, s. 14.

⁸² Gerrard – Hester 2018, s. 10; Maa- ja metsätalousministeriö 2023.

⁸³ Geden – Schenuit 2020, s. 10; Erbach – Victoria 2021, s. 4; IPCC 2022a.

⁸⁴ Royal Society – Royal Academy of Engineering 2018, s. 43; Kintisch 2018, s. 47; IPCC 2022a.

⁸⁵ Kuokkanen et al. 2013, s. 18; Bodle 2013, s. 454; Geden – Schenuit 2020, s. 11; Erbach – Victoria 2021, s. 4; IPCC 2022a.

⁸⁶ Tamme – Beck 2021, s. 2.

⁸⁷ Gambhir – Tavoni 2019, s. 405; Tamme – Beck 2021, s. 2.

⁸⁸ IEA 2022a.

BECCS-menetelmässä hiilidioksidi otetaan talteen bioenergian tuotannon yhteydessä ja varastoidaan geologisiin muodostelmiin.⁸⁹ BECCS-menetelmä tähtää siten hiilidioksidin pysyvään varastointiin. Bioenergian tuotannossa käytetään raaka-aineena biomassaa, eli esimerkiksi puuta, joka on kasvaessaan sitonut itseensä hiilidioksidia. Bioenergian hiilidioksidin talteenotto ja varastointi on ainoa hiilenpoistomenetelmä, joka tuottaa energiaa.⁹⁰ Tämä on menetelmän vahvuus. BECCS-menetelmään liittyy kuitenkin samoja huolenaiheita kuin biologisiin hiilenpoistomenetelmiin. Biologisten CDR-menetelmien merkittävämpänä haasteena on niiden vaatima maa-ala.⁹¹ Tämä aiheuttaa ongelmia ruoan tuotannolle, luonnon monimuotoisuudelle ja hiilinieluina toimivien metsien hiilensidonnalle.⁹² Puut ja muu biomassa ovat merkittäviä raaka-aineita ja vaikka ne ovat uusiutuvia, eivät ne kuitenkaan ole rajattomia luonnonvaroja. Biomassaa ei siten riitä loputtomasti. BECCS-menetelmää pidetään kuitenkin, esimerkiksi IPCC:n päästövähennysstrategioissa, hyvin tärkeänä hiilenpoistomenetelmänä erityisesti, jotta voidaan saavuttaa vaadittavat hiilenpoistot keskilämpötilan rajaamiseksi 1,5 asteeseen.⁹³ BECCS-menetelmän haaste on riippuvuus biomassasta, koska tämä saattaa kannustaa esimerkiksi joko nykyisten hiilinielujen hakkaamiseen bioenergian tuottamiseksi tai siihen, että metsitetään runsaasti alueita, joilla ei ole ennestään ollut metsää, mikä taas voi aiheuttaa haasteita luonnon monimuotoisuudelle ja ruoan tuotannolle.⁹⁴

BECCS-menetelmän ohella esimerkki teknologisesta hiilenpoistomenetelmästä on eroosion tehostaminen, joka tarkoittaa käytännössä sitä, että tehostetaan kivien ja kallioiden eroosiota, jolloin kiviaineksessa olevat mineraalit reagoivat hiilidioksidin kanssa sitomalla enemmän hiilidioksidia.⁹⁵ Käytännössä tämä toteutetaan siten, että kivimurskaa levitetään erilaisille pinnoille, kuten maaperään tai mereen. Menetelmän hyödynnettävyys on kuitenkin kyseenalaista, koska kivimurskaa vaadittaisiin hyvin paljon.⁹⁶ Kysymyksessä on osittain samankaltainen ongelma kuin biomassassa: kivimurskaa on rajallisesti, koska se on uusitumaton luonnonvara. Teknologiaan perustuva hiilenpoistomenetelmä on myös hiilidioksidin talteenotto suoraan ilmasta ja sen varastointi, jota käsitellään seuraavassa luvussa.

⁸⁹ Erbach – Victoria 2021, s. 5; IEA 2022a; IPCC 2022a.

⁹⁰ IEA 2022a.

⁹¹ Gerrard – Hester 2018, s. 326.

⁹² Kuokkanen et al. 2013, s. 18; IPCC 2018a, s. 17; IPCC 2018b; Royal Society – Royal Academy of Engineering 2018, s. 40; Gambhir – Tavoni 2019; Erbach – Victoria 2021, s. 5.

⁹³ IPCC 2018a, s. 14–17; Kintisch 2018, s. 45; IEA 2022c, s. 50.

⁹⁴ Ks. esim. Kuokkanen et al. 2013, s. 18; Royal Society – Royal Academy of Engineering 2018, s. 71; Pérez-Silos – Álvarez-Martínez – Barquín 2021, s. 3337; IEA 2022c, s. 52–53.

⁹⁵ Kuokkanen et al. 2013, s. 19; Erbach – Victoria 2021, s. 5.

⁹⁶ Kuokkanen et al. 2013, s. 19.

CDR-menetelmien käyttöä pidetään usein tosiasiallisesti todennäköisempänä kuin SRM-menetelmien käyttöä, koska CDR-menetelmiin liittyy vähemmän vaarallisia ja vaikeasti ennakoitavia riskejä, sillä menetelmällä puututaan korkeaan kasvihuonekaasupäästöjen määrään eikä maapallon ilmastojärjestelmän toimintaa varsinaisesti muuteta.⁹⁷ Teknologisista hiilenpoistomenetelmistä BECCS- ja DACCS-menetelmiä pidetään potentiaalisimpina vaihtoehtoina hiilenpoistojen toteuttamiseksi, kuin taas luonnollisista menetelmistä potentiaalisimpina pidetään metsittämistä ja uudelleenmetsitystä.⁹⁸ Hiilenpoistojen merkitys korostuu etenkin vuosisadan loppua kohden, koska ihmistoiminnasta aiheutuu väistämättä jäännöspäästöjä, joten hiilinegatiivisuuden saavuttaminen edellyttää jonkinlaista ilmastonmuokkausta, ja nimenomaan hiilenpoistoja pidetään tässä vaiheessa varteenotettavimpana ilmastonmuokkausmenetelmänä. Biologiset menetelmät, kuten metsittäminen, ovat osittain jo nyt tärkeässä asemassa ilmastotavoitteiden saavuttamisessa,⁹⁹ joten nämä menetelmät ovat luontaisesti helpompi nähdä turvallisimpina kuin täysin uudenkaltaiset teknologiset menetelmät. Biologiset menetelmät ovat kuitenkin riippuvaisia biomassasta ja ne vaativat merkittäviä maa-alueita, mikä haastaa menetelmien tosiasiallista potentiaalia, erityisesti kuin puhutaan laajamittaisesta hiilenpoistosta.¹⁰⁰ Suoraan ilmasta hiilidioksidia talteenottavalla menetelmällä ei puolestaan ole suoranaisesti materiaalisia rajoja, millä tarkoitetaan sitä, ettei menetelmä ole varsinaisesti riippuvainen luonnonvaroista.¹⁰¹

Ilmastonmuokkausmenetelmiä on siis lukuisia erilaisine ominaispiirteineen ja riskeineen. Ilmastonmuokkauskeskustelussa tulee siten erottaa eri menetelmät toisistaan, koska tulevaisuudessa on välttämätöntä jossain määrin tukeutua ilmastonmuokkausmenetelmien käyttöön. Menetelmistä keskusteleminen yleisen ilmastonmuokkaustermin alla saattaa hidastaa menetelmien kehittämistä, testausta ja tosiasiallista käyttöönottoa, koska huomio kiinnitetään yleisimpiin riskeihin ja ongelmiin, jotka eivät kuitenkaan päde kaikkiin ilmastonmuokkausmenetelmiin. Kaikkien menetelmien sisällyttäminen yhden yleisen termin alle aiheuttaa myös haasteita ilmastonmuokkausta koskevalle sääntelylle. Kaikkeen ilmastonmuokkaukseen on vaikea soveltaa yhtä tiettyä sääntelykehystä, koska menetelmissä on perustavanlaatuisia eroja. Tässä tutkielmassa syvennyttäänkin ainoastaan DACCS-

⁹⁷ Gerrard – Hester 2018, s. 4.

⁹⁸ IEA 2022c, s. 50.

⁹⁹ Ks. esim. European Commission N.d. New EU forest strategy for 2030.

¹⁰⁰ Ks. esim. Kuokkanen et al. 2013, s. 18; IPCC 2018a, s. 17; Gambhir – Tavoni 2019, s. 405.

¹⁰¹ Committee on Developing a Research Agenda for Carbon Dioxide Removal and Reliable Sequestration et al. 2019, s. 223.

menetelmään ja sen sääntelymahdollisuuksiin. Seuraavassa luvussa käydään ensin läpi menetelmän erityispiirteitä, jotka sekä edistävät että aiheuttavat haasteita menetelmän laajamittaiselle käyttöönotolle.

2.2 Suoraan ilmasta talteenotettu hiilidioksidi ja sen varastointi

Hiilidioksidin talteenotossa suoraan ilmasta on kyse suhteellisen uudesta teknologisesta innovaatiosta. Ensimmäinen hiiltä suoraan ilmasta talteenottava laitos on otettu käyttöön vasta kymmenen vuotta sitten,¹⁰² eikä menetelmä ole vielä laajalti käytössä, vaikka kasvua on ollut viimeisen kymmenen vuoden aikana.¹⁰³ Viime vuonna toiminnassa on ollut 18 suoraan ilmasta hiilidioksidia talteenottavaa laitosta, kaikki näistä Euroopassa, Yhdysvalloissa ja Kanadassa, ja ainoastaan kahdessa laitoksessa talteenotettu hiilidioksidi on varastoitu geologisiin muodostelmiin.¹⁰⁴ Tällä hetkellä suoraan ilmasta talteenotettu hiilidioksidi siten ennemmin hyödynnetään uudelleen kuin varastoidaan pysyvästi.

DACCS-menetelmän laajemmalle käyttöönotolle on potentiaalia ja suunnittelussa on yhä useampi DACCS-menetelmää hyödyntävä laitos.¹⁰⁵ Lisäksi menetelmän käyttöönottoa edistetään nykyään yhä aktiivisemmin valtioiden tasolla esimerkiksi tukemalla menetelmään liittyvää tutkimusta sekä rahoittamalla varsinaista kehitystyötä ja menetelmän käyttöönottoa.¹⁰⁶ Vaikka IPCC on todennut hiilenpoistojen olevan välttämättömiä ja DACCS-menetelmän laajamittainen hyödynnettävyys on tunnistettu,¹⁰⁷ on menetelmän tosiasiallinen käyttöpotentiaali kuitenkin vielä alkuvaiheessa, erityisesti puhuttaessa laitoksista, jotka kykenevät ottamaan talteen suuria määriä hiilidioksidia. Globaalisti toiminnassa ei ole vielä yhtäkään hiilenpoistolaitosta, joka poistaisi suoraan ilmasta hiilidioksidia suuressa mittakaavassa: yksi suuren mittakaavan hiilenpoistolaitos on rakenteilla Yhdysvalloissa, ja laitoksen on tarkoitus aloittaa toimintansa ensi vuonna.¹⁰⁸ DACCS-menetelmän käyttöönoton edistäminen edellyttää etenkin taloudellista tukea ja innovaatioiden mahdollistamista.

¹⁰² Ozkan et al. 2022, s. 9.

¹⁰³ Gambhir – Tavoni 2019, s. 408; IEA 2022c, s. 16.

¹⁰⁴ IEA 2022c, s. 19, 46. Vrt. Ozkan et al. 2022, jotka ovat todenneet, että maailmanlaajuisesti toiminnassa on vuonna 2022 ollut 19 DAC-laitosta.

¹⁰⁵ Ks. esim. IEA 2022c, s. 54.

¹⁰⁶ Breyer et al. 2019; Terlouw et al. 2021b; IEA 2022c, s. 54–56; Ozkan et al. 2022, s. 3.

¹⁰⁷ IPCC 2018a, s. 17.

¹⁰⁸ IPointFive 2022; IEA 2022c, s. 61.

DACCS-menetelmässä hiilidioksidi otetaan talteen suoraan ilmasta kemiallisten prosessien avulla.¹⁰⁹ Hiilidioksidin talteenotto suoraan ilmasta voidaan tehdä kahdella eri tavalla: joko liuotin- tai kiinteäpohjaisella menetelmällä. Yksinkertaistettuna liuotinpohjainen menetelmä toimii siten, että nestemäinen liuos sitoo itseensä suoraan ilmasta talteenotettua hiilidioksidia. Kiinteäpohjaisessa menetelmässä hyödynnetään esimerkiksi suodatinta, joka sitoo hiilidioksidin itseensä.¹¹⁰ Näiden menetelmin ohella kehitysvaiheessa on myös muita menetelmiä, joilla hiilidioksidi saadaan sidottua ja otettua talteen – nämä ovat tosin vasta varhaisessa testausvaiheessa.¹¹¹ Liuotin- ja kiinteäpohjaisen menetelmän toiminnan tarkempi ymmärtäminen ei ole tarpeen tässä tutkielmassa esitettävän kannalta, mutta olennaista on tiedostaa niiden väliset eroavaisuudet: erityisesti menetelmien lämpötilavaatimuksissa, vedenkulutuksessa ja potentiaalissa laajamittaiseen käyttöön on eroavaisuuksia.

Talteenotetun hiilidioksidin varastointi toteutetaan siten, että hiilidioksidi ruiskutetaan syvällä oleviin maaperän suolaisen veden muodostumiin, tyhjentyneisiin öljy- ja kaasuesiintymiin, kivihiihkerrostumiin sekä muihin geologisiin muodostelmiin.¹¹² Hiilidioksidia on varastoitu geologisiin muodostelmiin jo pitkään. CCS-menetelmää, eli hiilidioksidin talteenottoa ja varastointia, on hyödynnetty jo 1970-luvun alusta alkaen ja laajamittaisesti vuodesta 1996 lähtien,¹¹³ mikä tarkoittaa, että kokemusta hiilenvarastoinnista on ehtinyt kertyä. Tällä hetkellä suurin osa CCS-menetelmän taltioimasta hiilidioksidista varastoidaan öljyesiintymiin.¹¹⁴ Jo vuosikymmeniä jatkuneen varastoinnin myötä potentiaalisia varastointipaikkoja on kartoitettu ja tutkittu perusteellisesti ja suurin varastointipotentiaali vaikuttaa nykytiedon valossa olevan maaperän suolaisen veden muodostumisissa, koska nämä tarjoavat suurimman varastointialan.¹¹⁵ Tulevaisuudessa suolaisiin pohjavesikerrostumiin varastoitavan hiilidioksidimäärän ennakoitaan kasvavan ja nousevan merkittävimmäksi hiilenvarastointivaihtoehdoksi.¹¹⁶

Suoraan ilmasta talteen otetulla hiilidioksidilla ja sen varastoinnilla on tiettyjä etuja muihin hiilenpoistomenetelmiin nähden, kuten se, että DACCS-menetelmä vaatii suhteellisen pienen

¹⁰⁹ IPCC 2018a, s. 346; Institute for Carbon Removal Law and Policy 2018; Terlouw et al. 2021a, s. 1704.

¹¹⁰ IPCC 2018a, s. 121; Committee on Developing a Research Agenda for Carbon Dioxide Removal and Reliable Sequestration et al. 2019, s. 190; IEA 2022c, s. 21–24; Ozkan et al. 2022.

¹¹¹ IEA 2022c, s. 24–26.

¹¹² IPCC 2005, s. 4; IEA 2022c, s. 46. Ks. myös IPCC 2018a, s. 346.

¹¹³ IPCC 2005, s. 199; Loria – Bright 2021; Ozkan et al. 2022, s. 17.

¹¹⁴ Ma et al. 2022, s. 40.

¹¹⁵ Gale 2017, s. 7–8; Ma et al. 2022, s. 40.

¹¹⁶ Global CCS Institute 2018; Ma et al. 2022, s. 41.

maa-alueen, sen vedenkulutus ei ole niin merkittävä kuin joidenkin muiden hiilenpoistomenetelmien ja sen vaikutus ekosysteemeihin on pieni.¹¹⁷ Lisäksi DACCS-menetelmä tarjoaa suhteellisen korkean varmuuden varastoinnin pysyvyydestä, koska talteenotettu hiilidioksidi varastoidaan geologisiin muodostelmiin.¹¹⁸ Vaikka vaadittavat hiilenpoistot voidaan toteuttaa useammalla eri tavalla, on tehokkain ja haitattomin keino luonnollisesti paras vaihtoehto.

Vaikka menetelmällä on tiettyjä vahvuuksia, niin siihen liittyy luonnollisesti myös haasteita, kuten korkea energiantarve ja kustannukset sekä varastoinnin turvallisuus, joihin tulee pyrkiä ennakkollisesti puuttumaan huolellisella suunnittelulla ja sääntelyllä. Se hyöty, mitä hiilidioksidin talteenotolla suoraan ilmaista voidaan saavuttaa, riippuu ensinnäkin varastoinnin pysyvyydestä ja toiseksi siitä, onko hiilidioksidia talteenottavan laitoksen kokonaispäästöt alhaisemmat kuin talteenotettavan hiilidioksidin määrä.¹¹⁹ Seuraavissa alaluvuissa käsitellään DACCS-menetelmään liittyviä hyötyjä ja haittoja, minkä jälkeen vastataan ensimmäiseen tutkimuskysymykseen eli siihen, mitä suoraan ilmasta talteenotetun hiilidioksidin ja sen varastoinnin yksityiskohtaisessa sääntelyssä tulee ottaa huomioon.

2.2.1 DACCS-menetelmän hyödyt

Biologisiin hiilenpoistoihin pohjautuvat menetelmät sekä BECCS-menetelmä voidaan sinänsä mieltää turvallisemmiksi vaihtoehtoiksi kuin suhteellisen uusi teknologinen menetelmä, mutta niiden edellyttämät suuret maa-alueet ja riippuvuus biomassasta aiheuttavat haasteita menetelmien laajamittaiselle käytölle. Menetelmä, jossa hiilidioksidi otetaan talteen suoraan ilmasta ja varastoidaan geologisiin muodostelmiin, tarjoaa ratkaisun ainakin maa-alaa koskevaan ongelmaan, koska menetelmä perustuu teknologiaan eikä ole riippuvainen biomassasta ja siten se ei vaadi merkittäviä maa-alueita toimiakseen laajamittaisesti.¹²⁰ On arvioitu, että DACCS-menetelmän maankäyttövaatimus on huomattavasti pienempi kuin BECCS-menetelmän, kun huomioidaan poistettavan hiilidioksidin määrä.¹²¹ Koska maankäytön vaatimus on pienempi, ei DACCS-menetelmä aiheuta niin merkittäviä negatiivisia

¹¹⁷ Committee on Developing a Research Agenda for Carbon Dioxide Removal and Reliable Sequestration et al. 2019, s. 224; Gambhir – Tavoni 2019, s. 407; IEA 2022c, s. 51.

¹¹⁸ IEA 2022c, s. 52. IPCC 2022a.

¹¹⁹ IEA 2022c, s. 36–37.

¹²⁰ Committee on Developing a Research Agenda for Carbon Dioxide Removal and Reliable Sequestration et al. 2019, s. 224; Gambhir – Tavoni 2019, s. 405; IEA 2022c, s. 51.

¹²¹ Gambhir – Tavoni 2019, s. 407.

vaikutuksia ekosysteemien toiminnalle, luonnon monimuotoisuudelle ja ruoan tuotannolle. Menetelmästä aiheutuu siten hyvin vähän sivuvaikutuksia ilmastolle ja ympäristölle.¹²² DACCS-menetelmän vedentarve on myös alhaisempi kuin monen muun CDR-menetelmän.¹²³ Maapallon vesivarannot ovat myös rajalliset, joten tämä on hyödyksi menetelmän laajamittaiselle käyttöönotolle.

DACCS-menetelmän hyödyntämä kiinteäpohjainen hiilenpoistomenetelmä voi toimia uusiutuvalla ja mahdollisimman vähäpäästöisellä energialla, kuten tuuli-, aurinko ja ydinvoimaenergialla,¹²⁴ joiden käytöstä ei aiheudu läheskään yhtä paljon kasvihuonekaasupäästöjä kuin fossiilisten polttoaineiden tuottama energia aiheuttaa. DACCS-menetelmän toteuttamista uusiutuvalla energialla voidaan pitää ensiarvoisen tärkeänä sen takia, että menetelmän käytöstä seuraa mahdollisimman suuri kokonaishyöty.¹²⁵ Menetelmän, jolla pyritään poistamaan hiilidioksidia ilmakehästä ja sitä kautta ratkaisemaan ilmastokriisiä, ei tulisi itsessään aiheuttaa ilmasto- tai ympäristöhaittoja, tai näiden haittojen tulisi olla mahdollisimman pienet saavutettavaan hyötyyn nähden.

Periaatteessa hiilidioksidia talteenottavat laitokset voidaan sijoittaa minne tahansa, eli toisin sanoen ne voidaan sijoittaa mahdollisimman lähelle potentiaalisia varastointipaikkoja, jolloin hiilidioksidin kuljettamisesta ei aiheutuisi niin suurta riskiä eikä se edellyttäisi niin merkittäviä infrastruktuuri-investointeja.¹²⁶ Näin voidaan minimoida sekä kuljettamisesta aiheutuvat mahdolliset vahingot että infrastruktuurin vaatimat kustannukset. Lisäksi DACCS-laitosten sijoittamista voidaan painottaa alueille, joissa uusiutuvan vähäpäästöisen energian tuotanto on suurta.¹²⁷ On kuitenkin huomioitava, että DACCS-menetelmä on suhteellisen uusi teknologia eikä hiilidioksidin poistamista suoraan ilmakehästä ole vielä testattu esimerkiksi erittäin kuivissa tai kosteissa ilmastoissa, joten on mahdollista, että tutkimusten edetessä havaitaan, että menetelmän käytöllä on rajalliset mahdollisuudet tietyissä ilmastoissa.¹²⁸ Vaikka hiilidioksidin kuljettamisesta varastointipaikalle saattaa aiheutua erinäisiä riskejä, arvioidaan hiilidioksidin

¹²² Kuokkanen et al. 2013, s. 19; Gambhir – Tavoni 2019, s. 407. Terlouw et al. 2021a, s. 1712.

¹²³ IEA 2022c, s. 39.

¹²⁴ Ozkan et al. 2022, s. 12.

¹²⁵ Kokonaishyödyn todentamista edesauttaa DACCS-menetelmän kohdalla se, että kansainvälisen energiajärjestön (IEA) mukaan suoraan ilmasta talteenotetun hiilidioksidin laskenta on helpompaa kuin joidenkin muiden hiilenpoistomenetelmien. IEA 2022, s. 8.

¹²⁶ Kuokkanen et al. 2013, s. 19; Committee on Developing a Research Agenda for Carbon Dioxide Removal and Reliable Sequestration et al. 2019, s. 243; Gambhir – Tavoni 2019, s. 407; IEA 2022c, s. 41–48.

¹²⁷ Global CCS Institute 2022a.

¹²⁸ IEA 2022c, s. 10–11.

kuljettaminen putkijohtoverkossa ja merikuljetusjärjestelmien välityksellä kuitenkin suhteellisen turvallisiksi vaihtoehtoiksi.¹²⁹ Siten, vaikka myöhemmissä testauksissa paljastuisi, että hiilidioksidin poistaminen ilmakehästä on haastavaa tietyssä ilmastossa, jonka alueella on paljon soveltuvia geologisia varastointipaikkoja, on mahdollista kuljettaa muualla talteenotettu hiilidioksidi näille alueille. Tämä edellyttää, että etukäteen huomioidaan ja varaudutaan mahdollisiin riskeihin. Varastointimahdollisuudet ovatkin globaalisti nykytiedon valossa suhteellisen laajat: potentiaalisia hiilidioksidin varastointipaikkoja on enemmän kuin on tarpeen poistaa hiilidioksidia ilmakehästä.¹³⁰ Alueellinen vaihtelevuus on kuitenkin suurta.¹³¹ Esimerkiksi Suomessa ei ole hiilidioksidin varastointiin soveltuvia geologisia muodostumia.¹³² Mikäli Suomessa halutaan ottaa hiilidioksidia talteen suoraan ilmasta ja varastoida se pysyvästi, tulee tämä varastointi tehdä muualla kuin manner-Suomessa.

Ilmastotavoitteiden saavuttaminen edellyttää hiilidioksidin tosiasiallista poistamista ilmakehästä, eikä tavoitteita saavuteta pitkällä tähtäimellä siten, että kerran talteenotettu hiilidioksidi vapautuu uudestaan ilmakehään. DACCS-menetelmässä talteenotettu hiilidioksidi varastoidaan lähtökohtaisesti pysyvästi.¹³³ Varastoinnin pysyvyyttä ei voida kuitenkaan sataprosenttisesti taata, vaan vuodot ovat mahdollisia. IPCC:n mukaan hiilidioksidin varastointi geologisiin muodostelmiin tarkoittaa yli kymmenen tuhannen vuoden varastointia,¹³⁴ minkä jälkeen vaarana ei enää ole hiilidioksidin vapautuminen takaisin ilmakehään.¹³⁵ DACCS-menetelmässä on siten kyse tosiasiallisesta hiilenpoistosta,¹³⁶ toisin kuin menetelmissä, jossa hiilidioksidi on sidottu biomassaan tai tuotteisiin.¹³⁷ Geologisen varastoinnin pysyvyyden ohella toinen menetelmän etu on, että hiilidioksidin varastoinnista geologisiin muodostumiin on jo vuosikymmenien kokemus. Hiilidioksidin varastointia on alun perin hyödynnetty niin sanotun tehostetun öljyn talteenotossa (enhanced oil recovery), jossa hiilidioksidi ruiskutetaan maaperään öljyn tuotannon tehostamiseksi.¹³⁸ Tehostetun öljyn talteenoton myötä on kehittynyt nykymuotoinen hiilidioksidin talteenotto ja varastointi (CCS). Hiilidioksidin varastoimista

¹²⁹ IPCC 2005, s. 187.

¹³⁰ Global CCS Institute 2018; IPCC 2023, s. 52.

¹³¹ IEA 2022c, s. 47.

¹³² Ks. esim. Kujanpää et al. 2023, s. 34.

¹³³ IEA 2022c, s. 51–52; IPCC 2022a.

¹³⁴ IPCC 2022a.

¹³⁵ IPCC 2007a, s. 25.

¹³⁶ IEA 2022c, s. 46.

¹³⁷ Meyer-Ohlendorf et al. 2023, s. 19.

¹³⁸ Global CCS Institute 2022b, s. 42.

geologiin muodostumiin onkin toteutettu jo yli 50 vuoden ajan.¹³⁹ Kokemusta varastoinnista siten on, mikä tarkoittaa sitä, että tapoja varastoinnin turvallisuuden varmistamiseksi on kehittynyt ja kehitetään edelleen.¹⁴⁰ Varastoidun hiilidioksidin pysyvyyden varmistamiseksi on kehitetty lukuisia erilaisia seuranta-, mittaus- ja todentamistekniikoita, jotta voidaan ennen ja jälkeen hiilidioksidin injektoinnin varmistua siitä, että hiilidioksidi pysyy tosiasiallisesti pysyvästi eristettynä.¹⁴¹ Kokemukset varastoinnista ovat myös kasvattaneet luottamusta menetelmään.¹⁴²

DACCS-menetelmä on teknologisen kehityksensä alkuvaiheessa, jolloin sen kehitysmahdollisuudet ovat suhteellisen suuret.¹⁴³ Hiilidioksidia on otettu talteen suoraan ilmasta vasta noin 10 vuoden ajan¹⁴⁴ ja näistä laitoksista ainoastaan muutama varastoi hiilidioksidin pysyvästi, niin, että kysymyksessä katsotaan olevan DACCS-menetelmää hyödyntävä laitos.¹⁴⁵ Vuonna 2021 Islannissa otettiin käyttöön maailman ensimmäinen DACCS-menetelmää hyödyntävä laitos Orca.¹⁴⁶ Vaikka kyse on tällä hetkellä maailman suurimmasta DACCS-laitoksesta, on talteenotetun hiilidioksidin määrä vielä pieni. Vuonna 2022 Orcan toiminnasta vastaava Climeworks julkaisi suunnitelmat uudesta laitoksesta, joka ottaa talteen yhdeksänkertaisen määrän hiilidioksidia Orcaan verrattuna.¹⁴⁷ Tämä osoittaa, että jo muutamassa vuodessa teknologiakehitys on mahdollistanut DACCS-menetelmän moninkertaisen kehityksen. Uudet teknologiat kehittyvät tyypillisesti nopeasti ja innovaatioiden ja investointien avulla hiilidioksidin talteenottoa suoraan ilmasta voidaan kehittää sekä edullisemmaksi että tehokkaammaksi.¹⁴⁸

Innovaatioiden edistäminen ja rahoituksen varmistaminen on myös välttämätöntä, koska esimerkiksi Ozkan et al. ovat arvioineet, että nykyisellä hiilenpoistotahdilla vuosisadan loppuun

¹³⁹ IPCC 2005, s. 199; Global CCS Institute 2018; Loria – Bright 2021; Ozkan et al. 2022, s. 17.

¹⁴⁰ Global CCS Institute 2018. Ks. myös Loria – Bright 2021; Fawad – Mondol 2021; Ma et al. 2022.

¹⁴¹ IEA 2022b.

¹⁴² IPCC 2005, s. 200.

¹⁴³ Esimerkiksi Euroopan komissio on todennut, että DACCS-menetelmä voi kehittyä ensisijaiseksi teknologiseksi hiilenpoistomenetelmäksi. European Commission 2018, s. 190.

¹⁴⁴ Ozkan et al. 2022, s. 9.

¹⁴⁵ IEA 2022c, s. 46.

¹⁴⁶ Orca ottaa talteen vuosittain 4000 tonnia hiilidioksidia, joka varastoidaan geologisesti basalttikivimuodostumiin, jossa hiilidioksidi vähitellen mineralisoituu ja muuttuu kiveksi. IEA 2022c, s. 18; Ozkan et al. 2022, s. 6; Climeworks N.d. Orca.

¹⁴⁷ Climeworks N.d. Mammoth.

¹⁴⁸ Gambhir – Tavoni 2019, s. 408; Ozkan et al. 2022, s. 2.

mennessä edellytettäviin hiilenpoistoihin menisi yli 20 000 vuotta.¹⁴⁹ Nykyiset hiilenpoistot ovat siten vähäisiä: kuten tavanomaisissa päästövähennystoimissa, myös hiilenpoistotoimissa on merkittävä aukko tosiasiallisten ja vaadittavien hiilenpoistojen välillä. Kuitenkin toisin kuin tavanomaisten päästövähennyskeinojen kohdalla, hiilenpoistojen laajamittaistaminen ei vielä nykyisin ole realistisesti mahdollista. Laajamittaistaminen on edellytys sille, että voidaan saavuttaa vaadittava hiilenpoistotaso.¹⁵⁰ DACCS-menetelmän laajamittaistuminen voi alentaa sen kustannuksia ja kustannuksien alentamisessa erityisesti poliittisen tuen kasvu on tärkeää, koska uuden teknologian kustannuksia voidaan saada pienennettyä jatkokehityksellä, uusilla innovaatioilla ja hiilenpoistomarkkinoiden edistämällä, ja poliittiset päättäjät voivat luoda näille suotuisan ilmapiirin.¹⁵¹ Vaikka DACCS-menetelmän kustannukset ovat nykyisin huomattavia, on arvioitu, että ne voivat alentua tasolle, jossa yhden hiilidioksiditonin talteen ottaminen suoraan ilmasta kustantaisi 100 dollarista 300 dollariin¹⁵², tai jopa alle 100 dollaria.¹⁵³ Nykyiset kustannukset saattavat olla yli kolminkertaisia tästä arviosta.¹⁵⁴

Teknologiakehitys ja innovaatiot saattavat edistää myös muiden kuin edellä mainittujen kiinteä- ja liuotinpohjaisen menetelmien käyttöä. Valtaosa nykyisistä suoraan ilmasta hiilidioksidia talteenottavista menetelmistä pohjautuu kiinteäpohjaiseen menetelmään, jossa hiilidioksidi otetaan talteen esimerkiksi suodattimien avulla. Muitakin hiilidioksidia talteenottavia menetelmiä kehitetään jatkuvasti: esimerkiksi MechanicalTree on kehittänyt kirjaimellisesti mekaanisia puita, jotka kykenevät poistamaan ilmakehästä tuhat kertaisen määrän hiilidioksidia tavallisiin puihin verrattuna.¹⁵⁵ MechanicalTree kutsuu menetelmäänsä niin sanotuksi passiiviseksi hiilenpoistoksi, koska menetelmä ei vaadi energiaa ottaakseen hiilidioksidia talteen, vaan se toimii tuulen avulla.¹⁵⁶ Tällaisen passiivisen hiilenpoistomenetelmän kustannukset ovat siten huomattavasti alhaisemmat kuin menetelmien, jotka kuluttavat energiaa hiilidioksidin talteen ottamiseksi.

¹⁴⁹ Ozkan et al. 2022, s. 6.

¹⁵⁰ Gambhir – Tavoni 2019, s. 407; Ozkan et al. 2022, s. 19; Smith et al. 2023, s. 8.

¹⁵¹ Global CCS Institute 2022a; Ozkan et al. 2022, s. 3, 13, 18.

¹⁵² IPCC 2023, s. 52.

¹⁵³ IEA 2022c, s. 9.

¹⁵⁴ Ozkan et al. 2022, s. 18.

¹⁵⁵ Ozkan et al. 2022, s. 3; IEA 2022c, s. 25; Carbon Collect N.d.

¹⁵⁶ Carbon Collect N.d.

2.2.2 DACCS-menetelmään liittyvät riskit ja haasteet

Vaikka suoraan ilmasta talteenotettavaan hiilidioksidiin ja sen varastointiin liittyy tiettyjä vahvuuksia, niin on menetelmällä luonnollisesti myös haasteita ja sen käytöstä seuraa potentiaalisia riskejä, joihin sääntelyllä tulee pyrkiä ennakkollisesti puuttumaan. DACCS-menetelmällä ei ole suoraan materiaalisia rajoja, jotka rajoittaisivat menetelmän laajamittaista käyttöönottoa, millä viitataan siihen, ettei menetelmä ole riippuvainen luonnonvaroista, kuten esimerkiksi BECCS-menetelmä on.¹⁵⁷ Menetelmän laajamittaiselle käytölle kuitenkin aiheutuu rajoitteita korkeiden kustannuksien ja energiantarpeen johdosta.¹⁵⁸ Näitä nostaa erityisesti hiilen talteenottomenetelmien toiminta. Vaikka teknologiakehitys ja innovaatioiden mahdollistaminen todennäköisesti laskevat DACCS-menetelmän käyttökustannuksia, on kustannukset nykyisellään huomattavan suuret. DACCS-menetelmän merkittävin heikkous onkin sen hinta, joka on moninkertainen tarvittavaan hintatasoon nähden.¹⁵⁹

DACCS-menetelmän kustannukset ovat myös korkeat verrattuna muihin hiilenpoistomenetelmiin: tämä johtuu erityisesti menetelmän vaatimasta energiasta, sillä hiilen talteenotto suoraan ilmasta ei ole yhtä helppoa kuin hiilen talteen ottaminen esimerkiksi suoraan teollisuuslaitoksista suodattimien avulla.¹⁶⁰ Korkeat kustannukset ja laajamittaisuus ovat ongelmallinen yhtälö: DACCS-menetelmän laajamittainen käyttö on haasteellista, koska menetelmän kustannukset ovat niin korkeat, mutta toisaalta laajamittaisen käytön on ennakoitu laskevan menetelmään liittyviä kustannuksia. Korkea energiantarve kasvattaa DACCS-menetelmän kustannuksia, sillä hiilidioksidin talteenotto suoraan ilmasta kuluttaa huomattavasti energiaa. Korkea energiantarve johtuu siitä, että hiilidioksidin määrä ilmakehässä on hyvin pieni.¹⁶¹

Energiantarpeella on toisaalta suora yhteys DACCS-menetelmällä saavutettavaan kokonaishyötyyn.¹⁶² Kokonaishyöty on sitä suurempi, mitä pienemmät ovat menetelmän käytöstä aiheutuvat kasvihuonekaasupäästöt. DACCS-menetelmän nykyisten hiilidioksidin talteenottomenetelmien energiantarpeet eroavat toisistaan, kuten eroavat myös vaihtoehtoiset

¹⁵⁷ Committee on Developing a Research Agenda for Carbon Dioxide Removal and Reliable Sequestration et al. 2019, s. 223.

¹⁵⁸ Ozkan et al. 2022, s. 15.

¹⁵⁹ Institute for Carbon Removal Law and Policy 2018; Ozkan et al. 2022, s. 1.

¹⁶⁰ IEA 2022c, s. 9; Ozkan et al. 2022, s. 1.

¹⁶¹ Kuokkanen et al. 2013, s. 19; Gambhir – Tavoni 2019, s. 406.

¹⁶² Terlouw et al. 2021b, s. 11403.

energianlähteet. DACCS-menetelmän kokonaishyötyä saadaan nostettua hyödyntämällä hiilidioksidin talteen ottamisessa uusiutuvaa ja mahdollisimman vähäpäästöistä energiaa. Uusiutuvalla energialla toimiva menetelmä on kuitenkin kalliimpi kuin hiilellä ja maakaasulla toteutettavat hiilenpoistot – näiden välinen kustannusero on nykyisellään huomattava.¹⁶³ Erot energialähteiden kustannuksissa saattavat huolestuttavalla tavalla kannustaa fossiilisilla polttoaineilla tuotettujen energianlähteiden käyttöön. Tällaisten energialähteiden hyödyntäminen kuitenkin tosiasiallisesti vaarantaisi DACCS-menetelmän tarkoituksen ja pienentäisi sen tuottamaa kokonaishyötyä.¹⁶⁴ Voikin olla tarpeen pohtia tiettyjen energianlähteiden hyödyntämisen tarkoituksenmukaisuutta: onko fossiilisilla polttoaineilla tuotettujen energianlähteiden käyttäminen vastoin hiilenpoistojen tarkoitusta.

Liutinpohjaisen hiilidioksidin talteenottomenetelmän energiankulutus on huomattavasti suurempi kuin kiinteäpohjaisen menetelmän.¹⁶⁵ Merkittävin heikkous liutinpohjaisessa menetelmässä on sen vaatima hyvin korkea lämmöntarve – jopa 900 celsiusastetta.¹⁶⁶ Uusiutuvat energianlähteet saavat nykyteknologioilla tuotettua matalaa lämpöä, mutta korkean lämpötilan saavuttaminen ei vielä tällä hetkellä onnistu uusiutuvalla energialla tuotetulla sähköllä.¹⁶⁷ Teknologiat kuitenkin kehittyvät ja on mahdollista, että tulevaisuudessa uusiutuvalla energialla tuotetulla sähköllä voidaan saavuttaa liutinpohjaisen menetelmän vaatima lämpötila. Liutinpohjaisen menetelmän tosiasiallinen hyödyntäminen on vielä jokseenkin ongelmallista, koska menetelmän käyttö aiheuttaa suhteellisen paljon kasvihuonekaasupäästöjä, mikä puolestaan vähentää hiilenpoistosta saatavaa kokonaishyötyä. Menetelmän, jolla poistetaan kasvihuonekaasupäästöjä ilmakehästä, ei tule itsessään aiheuttaa päästöjä enempää kuin on välttämätöntä. Kiinteäpohjainen menetelmä saattaa puolestaan olla kalliimpi ja sen laajamittainen käyttömahdollisuus hieman pienempi kuin liutinpohjaisen menetelmän, koska menetelmä koostuu moduuleista ja vaatii siten hieman enemmän maa-alaa.¹⁶⁸

¹⁶³ Ozkan et al. 2022, s. 12.

¹⁶⁴ Committee on Developing a Research Agenda for Carbon Dioxide Removal and Reliable Sequestration et al. 2019, s. 194.

¹⁶⁵ Committee on Developing a Research Agenda for Carbon Dioxide Removal and Reliable Sequestration et al. 2019, s. 221; Ozkan et al. 2022, s. 18; IEA 2022c, s. 23.

¹⁶⁶ McQueen et al. 2021, s. 3–4; IEA 2022c, s. 23.

¹⁶⁷ IEA 2022c, s. 35–36; European Commission N.d. Energy efficiency.

¹⁶⁸ Committee on Developing a Research Agenda for Carbon Dioxide Removal and Reliable Sequestration et al. 2019, s. 221; IEA 2022c, s. 23.

Toisaalta uusiutuvan ja vähäpäästöisen energian hyödyntäminen hiilenpoistoissa saattaa olla ristiriidassa päästövähennystoimien kanssa, sillä yhteiskunnan toiminnot tulee muovata mahdollisuuksien mukaan hiilineutraaliksi, jolloin uusiutuvan energian tarve kasvaa.¹⁶⁹ Uusiutuviin energianlähteisiin kohdistuu siten eriäviä intressejä, joten niiden runsas käyttäminen hiilenpoistojen toteuttamiseksi voi olla kyseenalaista, mikäli yhteiskunnassa on edelleen muita toimintoja, jotka tulee muuttaa vähäpäästöiseksi. DACCS-menetelmän laajamittaistamiseksi sen energiavaatimuksen tulisi olla mahdollisimman pieni kuten myös menetelmän aiheuttamat kustannukset. Näiden tavoitteiden yhteensovittaminen saattaa olla hankalaa ja osittain ristiriidassa hiilenpoistojen laajamittaistamisen kanssa, koska tällä hetkellä halvin energiavaihtoehto ei ole vähäpäästöisin.¹⁷⁰

DACCS-menetelmän korkeat kustannukset ja energiantarve liittyvät molemmat hiilen talteenottoon suoraan ilmakehästä. DACCS-menetelmän toiseen keskeiseen osatekijään eli geologiseen varastointiin taas liittyy omia huolenaiheita. DACCS-menetelmän käyttöä rajoittaa myös saatavilla olevat turvalliset geologiset varastot,¹⁷¹ vaikka on todettu, että varastoksi soveltuvia muodostumia on enemmän kuin on tarpeen varastoida hiilidioksidia.¹⁷² Varastointiin liittyvät riskit kohdistuvat erityisesti mahdollisiin vuotoihin, joita voi tapahtua niin talteenotetun hiilidioksidin kuljettamisen aikana kuin suoraan varastosta, mikäli hiilidioksidi ei ole täysin eristettynä tai tapahtuu jokin odottamaton tapahtuma, minkä seurauksena hiilidioksidi pääsee vuotamaan.¹⁷³ Vuodot voivat tapahtua äkillisesti tai pikkuhiljaa.¹⁷⁴ Vuotoja saattaa aiheutua ihmistoiminnan, kuten huolimattomuuden tai puhtaan vahingon seurauksena, tai luonnollisten tapahtumien, kuten seismisen aktiivisuuden seurauksena.¹⁷⁵

On myös havaittu, että hiilidioksidin ruiskuttaminen geologisiin muodostumiin voi itsessään aiheuttaa maanjäristyksiä.¹⁷⁶ Injektoinnin aiheuttama maanjäristys voi kuitenkin aiheutua vain tietyissä olosuhteissa, eikä riski siihen ole kovinkaan suuri.¹⁷⁷ Hiilidioksidin ruiskutusaineella voidaan välttää riskin toteutumista suhteellisen hyvin,¹⁷⁸ mutta on hyvä huomioida, että

¹⁶⁹ Institute for Carbon Removal Law and Policy 2018.

¹⁷⁰ Ozkan et al. 2022, s. 12.

¹⁷¹ IEA 2022c, s. 10.

¹⁷² Global CCS Institute 2018; IPCC 2023, s. 52.

¹⁷³ Ma et al. 2022, s. 39.

¹⁷⁴ IPCC 2005, s. 13.

¹⁷⁵ IPCC 2005, s. 66; Institute for Carbon Removal Law and Policy 2018; Ma et al. 2022, s. 39.

¹⁷⁶ Ks. esim. IPCC 2005, s. 249–250; Chhun – Tsuji 2020; Ma et al. 2022, s. 39; Cheng et al. 2023.

¹⁷⁷ IPCC 2005, s. 250.

¹⁷⁸ Ibid.

luonnollisen seismisen aktiivisuuden lisäksi hiilidioksidin ruiskuttaminen saattaa itsessään aiheuttaa seismisyyttä. Vaikka seismistä aktiivisuutta olisikin ja mahdollisiin riskeihin voidaan varautua ennalta siten, että varastointipaikat pyritään sijoittamaan ei-seismisille alueille, on todettu, ettei maanjäristykset välttämättä johda vuotoihin, mikäli turvallisuudesta on muutoin huolehdittu.¹⁷⁹

Varastoinnin ohella vuotoja voi aiheutua hiilidioksidin kuljettamisesta talteenottolaitoksesta varastointipaikalle. Tämä riski voidaan kuitenkin minimoida DACCS-menetelmässä suhteellisen hyvin, jos hiilidioksidia talteenottava laitos voidaan sijoittaa varastointipaikan välittömään läheisyyteen. DACCS-menetelmällä toimiva laitos voidaan periaatteessa sijoittaa mihin tahansa, paitsi jos myöhemmissä testauksissa paljastuu, ettei hiilidioksidin talteenottaminen suoraan ilmasta onnistu esimerkiksi tietyssä ilmastossa. Lisäksi on huomioitava laitoksen vaikutus ympäröivään luontoon, erityisesti sen monimuotoisuuteen.

Hiilidioksidin vuotaminen geologisesta varastosta saattaa aiheuttaa vesien, maaperän ja ilman saastumista, mistä voi seurata terveyshaittoja ja muita ongelmia ihmisille ja muille eliöille, sekä ekosysteemien vaarantumista¹⁸⁰. Lisäksi vuotanut hiilidioksidi saattaa voimistaa merten happamoitumista ja saastumista,¹⁸¹ sekä aiheuttaa ongelmia hiilivety- ja mineraalivarannoille.¹⁸² Ongelmana on, että vuotanut hiilidioksidi aiheuttaa edellä mainittuja ongelmia erityisesti paikallisesti, ja mitä suurempi määrä hiilidioksidia vuotaa, sitä korkeammaksi nousee paikallinen hiilidioksidipitoisuus. Ilmakehään vuotanut hiilidioksidi taas vaikuttaa globaalisti nostoen ilmakehän hiilidioksidipitoisuutta¹⁸³ ja heikentäen siten päästövähennysten tavoitettavuutta. Paikalliset vahingot ovat kuitenkin voimakkaampia ja vaarallisimpia, kuin vuodosta aiheutuvat globaalit vahingot. Vuotojen aiheuttamat vahingot ovat sitä suuremmat, mitä kauemmin vuodon havaitsemiseen ja eristämiseen kuluu aikaa. Asianmukaisella ennakoinnilla, seurannalla ja säännöllisillä mittauksilla voidaan varmistaa, että varastoitu hiilidioksidi on tosiasiallisesti eristettynä.¹⁸⁴ Vaikka vuotojen aiheuttamat vahingot voivat olla merkittäviä, on nykyiset käytössä olevat seurantatoimenpiteet kehittyneet

¹⁷⁹ Ks. esim. Nagaoka projekti, jossa todettiin mittaamalla, ettei maanjäristys vaikuttanut varastoinnin turvallisuuteen. Chhun – Tsuji 2020; Gale 2017, s. 10.

¹⁸⁰ IPCC 2005, s. 13; Damen – Faaij – Turkenburg 2006, s. 297–298; Anderson 2017, s. 90; Institute for Carbon Removal Law and Policy 2018.

¹⁸¹ Anderson 2017, s. 90.

¹⁸² IPCC 2005, s. 197.

¹⁸³ Ibid.

¹⁸⁴ Ibid, s. 34.

vuosikymmenten saatossa toimiviksi, ja varastoinnin luotettavuus on kasvanut.¹⁸⁵ Lisäksi varastointiin liittyvien vuotoriskien todennäköisyys on hyvin pieni.¹⁸⁶ Mahdollisten riskien etukäteinen tiedostaminen edesauttaa asianmukaista ennakkointia ja varautumista, ja riskiarvion suorittamisella voidaan pyrkiä minimoimaan sekä riskien realisoitumisen todennäköisyys että niiden aiheuttamat seuraukset.

On mahdollista, että hiilidioksidin varastointi maaperään aiheuttaa huolestuneisuutta etenkin kansalaisten keskuudessa ja yleisen hyväksyttävyyden saavuttaminen laajamittaiseen hiilidioksidin varastointiin saattaa viedä oman aikansa, vaikkakin hiilidioksidin geologisessa varastoinnissa ei ole kysymys erityisen uudesta ilmiöstä. Varsinaiset haasteet DACCS-menetelmässä liittyvät ennemminkin hiilidioksidin talteen ottamiseen suoraan ilmakehästä, kuin varastointiin. Suuren yleisön keskuudessa hiilidioksidin geologinen varastointi nähdään kuitenkin huolestuttavampana ongelmana.¹⁸⁷ Menetelmän laajamittainen käyttö edellyttää osaltaan myös suuren yleisön ja poliittisten päättäjien hyväksyntää. Geologinen varastointi saattaa kohdata vastustusta ja onkin olennaista, että niin DACCS-menetelmästä kuin muistakin hiilenpoistomenetelmistä on saatavilla riippumatonta, avointa ja luotettavaa tietoa. Menetelmään liittyvää tutkimusta tulee ylläpitää ja tietoisuutta hiilenpoistojen välttämättömyydestä tulee edistää, jotta yleinen hyväksyntä ja tuki voidaan saavuttaa.

DACCS-menetelmän tosiasiallinen laajamittainen käyttö tulevaisuudessa nojautuu tässä vaiheessa vielä vahvasti teknologiakehitykseen. Jotta teknologiaa voidaan hyödyntää laajamittaisesti, vaaditaan vielä paljon lisätutkimusta ja arviointia menetelmän hyödynnettävyydestä. Erityisesti on tutkittava, onko hiilidioksidin talteen ottaminen suoraan ilmasta mahdollista kaikenlaisissa ilmastoissa, kuten erittäin kosteissa tai kuivissa ilmastoissa.¹⁸⁸ On myös kiinnitettävä huomiota siihen, ettei luoteta liian vahvasti DACCS-menetelmän kehitykseen, sekä innovaatioiden ja rahoituksen riittävyyteen. Päästövähennystoimia ei siten tule lykätä sen turvin, että luotetaan DACCS-menetelmää koskevan teknologian kehittymiseen tulevaisuudessa.¹⁸⁹ Kestävä ratkaisu ei ole, että yhteiskunnan toiminnot aiheuttavat runsaasti kasvihuonekaasupäästöjä, joita jälkikäteen

¹⁸⁵ IPCC 2005, s. 200; IEA 2022b.

¹⁸⁶ Anderson 2017, s. 108.

¹⁸⁷ Ks. esim. Ozkan et al. 2022; IEA 2022c, s. 40.

¹⁸⁸ IEA 2022c, s. 10–11.

¹⁸⁹ Gambhir – Tavoni 2019, s. 408.

poistetaan ilmakehästä esimerkiksi DACCS-menetelmällä. Päästövähennyksiä ei siten tule sivuuttaa, vähentää tai lykätä hiilenpoistojen turvin.

2.2.3 DACCS-menetelmän sääntelyssä huomioitavat tekijät

Jotta DACCS-menetelmä voidaan ottaa käyttöön hiilenpoistojen vaatimassa mittakaavassa, tulee sen sääntelyllä luoda kattava kehys, jossa huomioidaan niin hiilenpoistolaitoksen kuin hiilidioksidin varastointiin liittyvät tekniset, ympäristölliset ja oikeudelliset näkökulmat. Sääntelyn tavoitteena tulee olla varmistaa, että talteenotettu ja varastoitu hiilidioksidi pysyy täysin eristettynä sille tarkoitettussa geologisessa muodostumassa ja että menetelmän aiheuttamat potentiaaliset riskit ympäröivälle luonnolle sekä ihmisten ja muiden eliöiden terveydelle minimoidaan. Seuraavissa aluvuissa tuodaan esille seikkoja, jotka tulee ottaa huomioon suoraan ilmasta talteenotetun hiilidioksidin ja sen varastoinnin yksityiskohtaisessa sääntelyssä. Erityisesti pohditaan, miten edellisessä luvussa käsitellyt riskit ja haasteet voidaan ennakkollisesti huomioida menetelmän sääntelyssä niin, että riskien realisoituminen ja riskeistä mahdollisesti aiheutuvat vahingot voidaan estää tai minimoida. Aluvuissa esitetty vastaus kysymykseen, mitä suoraan ilmasta talteenotetun hiilidioksidin ja sen varastoinnin yksityiskohtaisessa sääntelyssä tulee ottaa huomioon, ei kuitenkaan ole tyhjentävä. Tarkoitus on tuoda esille nimenomaisesti DACCS-menetelmän sääntelyyn liittyvät merkittävimmät tekijät. Hiilenpoistomenetelmien sääntelyssä huomioitavat yleiset tekijät jätetään vähemmälle huomiolle, vaikka niistäkin nostetaan tärkeimmät huomiot esille.

2.2.3.1 Teknologianeutraalius suhteessa parhaaseen käytettävissä olevaan tekniikkaan

Seikka, joka on merkittävä nimenomaan DACCS-menetelmän sääntelyssä, mutta koskee yleisemminkin kaikkia hiilenpoistomenetelmiä, on se, että sääntelyn tulee olla teknologianeutraalia. Lainsäätäjän tehtävänä ei ole edistää tietyn teknologian käyttöönottoa, vaan erilaisille menetelmille tulee säätää sinänsä yhtäläiset vaatimukset. Teknologianeutraalius on saavuttanut EU:ssa suhteellisen merkittävän aseman. Komissio on määritellyt teknologianeutraaliuden siten, ettei sääntelyllä saa edellyttää tai suosia tiettyntyyppistä teknologiaa.¹⁹⁰ Tällä ei kuitenkaan tarkoiteta sitä, etteikö sääntelyssä voitaisi tai tulisi asettaa tiukempia vaatimuksia esimerkiksi toimenpiteille, joihin sisältyy enemmän riskejä. Vaatimukset tulee kuitenkin ennemmin kohdistaa potentiaalsiin riskeihin kuin yksittäiseen

¹⁹⁰ Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2002/21/EY, annettu 7 päivänä maaliskuuta 2002, sähköisten viestintäverkkojen ja -palvelujen yhteisestä sääntelyjärjestelmästä (puitedirektiivi), s. 6 kohta 18.

teknologiaan tai hiilenpoistomenetelmään. On myös hyvä huomioida, että tiettyjen teknologioiden oikeasuhtainen edistäminen on sallittua perustelluissa tapauksissa.¹⁹¹ Erityisesti DACCS-menetelmän sääntelyssä teknologianeutraalius -periaatteen noudattaminen on tärkeää. Kuten todettu, tällä hetkellä hiilidioksidi voidaan ottaa talteen suoraan ilmasta ainoastaan kahdella eri menetelmällä, mutta kehitysvaiheessa on myös monia muita tapoja.¹⁹² DACCS-menetelmää koskevan sääntelyn tulee siten olla avointa myös uusien hiilen talteenottomenetelmien kehittymiselle ja käyttöönotolle. Teknologianeutraalilla sääntelyllä varmistetaan se, että hiilenpoistomenetelmät kehittyvät markkinaehtoisesti, jolloin mahdollistetaan vapaa innovaatiokehitys. Tämä on ensisijaisen tärkeää sen kannalta, että DACCS-menetelmä voidaan ottaa laajamittaisesti käyttöön.¹⁹³ Teknologianeutraalisuudella varmistetaan myös se, ettei sääntely jää jälkeen teknologiakehityksestä. Erityisesti DACCS-menetelmää koskevan teknologian odotetaan kehittyvän tulevaisuudessa, joten neutraalilla sääntelyllä varmistetaan se, ettei sääntelyä tarvitse muuttaa teknologian kehittyessä.

Vaikka sääntelyn tulee ensisijassa olla teknologianeutraalia, voidaan sääntelyssä ohjata DACCS-menetelmän käytön painottuvan menetelmiin, joiden negatiiviset vaikutukset ovat kokonaisuudessaan pienimmät. Nämä vaikutukset voivat kohdistua esimerkiksi ilmastoon, energiatalouteen, luonnon monimuotoisuuteen tai maa-alueisiin. DACCS-menetelmän yksi merkittävimpiä heikkouksia on sen vaatima energiantarve, joka korostuu erityisesti liuotinpohjaisessa menetelmässä, jossa uusiutuvalla energialla ei vielä nykyisin saada tuotettua tarpeeksi korkeaa lämpöä, jota menetelmä vaatii toimiakseen.¹⁹⁴ On hyvin mahdollista, että tulevaisuudessa korkean lämpötilavaatimuksen saavuttaminen uusiutuvalla energialla on mahdollista, kuten on myös esimerkiksi passiivisen hiilenpoistomenetelmän laajempi kehittyminen. Samanaikaisesti kun sääntelyssä pyritään mahdollistamaan erilaisten hiilenpoistovaihtoehtojen ja teknologioiden kehittyminen teknologianeutraalisuudella, on tärkeää painottaa parhaan käytettävissä olevan tekniikan periaatetta (best available techniques, BAT),¹⁹⁵ jotta menetelmän käytöstä aiheutuvat negatiiviset ympäristövaikutukset voidaan

¹⁹¹ Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2002/21/EY, s. 6 kohta 18. Ks. myös Briglauer – Stocker – Whalley 2019.

¹⁹² Ks. esim. Ozkan et al. 2022, s. 3–4.

¹⁹³ Ks. esim. Global CCS Institute 2022a.

¹⁹⁴ McQueen et al. 2021, s. 3–4; IEA 2022c, s. 23, 35–36; European Commission N.d. Energy efficiency.

¹⁹⁵ Erityisesti EU:ssa BAT-periaatteella on keskeinen asema teollisen toiminnan sääntelyssä. Periaate määritellään teollisuuspäästädirektiivissä 2010/75/EU, jossa edellytetään, että teollista toimintaa harjoittavan toiminnan luvan saamisen yhteydessä toiminnanharjoittajan tulee arvioida parasta käytettävissä olevaa tekniikkaa. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2010/75/EU, annettu 24 päivänä marraskuuta 2010,

minimoida. Paras käytettävissä oleva tekniikka viittaa siihen, että käytettävissä olevilla menetelmillä, ja tässä tapauksessa hiilenpoistolaitoksen toiminnalla, voidaan ehkäistä tai vähentää toiminnasta johtuvaa ympäristön pilaantumista ja päästöjen syntymistä.¹⁹⁶ DACCS-menetelmän sääntelyssä voidaan siten edellyttää, että käytetään sellaista menetelmää hiilidioksidin talteenottamiseksi, joka on taloudellisesti ja teknisesti kannattavaa ja joka estää tai josta aiheutuu mahdollisimman vähän negatiivisia vaikutuksia ilmastolle ja ympäristölle. Parhaan käytettävissä olevan tekniikan periaatteen soveltaminen osaltaan edellyttää teknologianeutraalisuutta.¹⁹⁷

Kun huomioidaan ilmastonmuutoksen vastaisten toimien kiireellisyys ja nykyisten ilmastotoimien riittämättömyys, on tarpeen pitää mielessä, ettei menetelmän, jolla pyritään poistamaan hiilidioksidia ilmakehästä ja sitä kautta ratkaisemaan ilmastokriisiä, tule itsessään aiheuttaa ilmasto- tai ympäristöhaittoja, tai näiden haittojen tulee olla mahdollisimman pienet saavutettavaan hyötyyn nähden. Tämän vuoksi voidaan pohtia, tulisiko DACCS-menetelmän sääntelyn rajata hiilenpoistojen toteuttaminen ainoastaan uusiutuvalla energialla toimiviin menetelmiin.¹⁹⁸ Tämä olisi perusteltua, koska DACCS-menetelmän täytyy kyetä tuottamaan nettohiilenpoistohyöty, joka on sitä suurempi, mitä pienemmät ovat toimenpiteen toteuttamisesta aiheutuvat kasvihuonekaasupäästöjen lisäykset.¹⁹⁹ DACCS-menetelmän käyttämistä ainoastaan uusiutuvia energianlähteitä hyödyntäen voidaan perustella lisäksi sillä, että tiettyjen teknologioiden oikeasuhtainen edistäminen on sallittua perustelluissa tapauksissa.²⁰⁰ Perusteltuna voitaisiin pitää DACCS-menetelmän käytön rajaamista uusiutuvilla energiamuodoilla toimiviin talteenottomenetelmiin sillä perusteella, että fossiilisilla polttoaineilla tuotettujen energianlähteiden käyttäminen on vastoin hiilenpoistojen tarkoitusta, koska tällöin hiilidioksidia myös päästetään ilmakehään.

teollisuuden päästöistä (yhtenäistetty ympäristön pilaantumisen ehkäiseminen ja vähentäminen) (uudelleenlaadittu toisinto).

¹⁹⁶ Ks. esim. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2010/75/EU, annettu 24 päivänä marraskuuta 2010, teollisuuden päästöistä (yhtenäistetty ympäristön pilaantumisen ehkäiseminen ja vähentäminen) (uudelleenlaadittu toisinto), 3 artikla 10 alakohta; OECD 2020.

¹⁹⁷ Ks. esim. Giljam 2018, s. 236.

¹⁹⁸ Institute for Carbon Removal Law and Policy 2018; Committee on Developing a Research Agenda for Carbon Dioxide Removal and Reliable Sequestration et al. 2019, s. 224; Ozkan et al. 2022, s. 16.

¹⁹⁹ IEA 2022c, s. 36–37.

²⁰⁰ Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2002/21/EY, s. 6 kohta 18. Ks. myös Briglauer – Stocker – Whalley 2019.

Vaikka sääntelyssä tulee painottaa teknologianeutraalisuutta ja parhaimman käytettävissä olevan tekniikan periaatetta, tulee sääntelyssä kuitenkin olla varovainen sen kannalta, ettei DACCS-menetelmällä, kuten muillakaan ilmastonmuokkausmenetelmillä, ole tarkoitus vähentää tai heikentää tavanomaisia päästövähennystoimia.²⁰¹ Päästövähennykset ovat ensisijaisia ilmastonmuokkaustoimiin nähden,²⁰² ja on tärkeää, ettei sääntelyllä tosiasiallisesti kannusteta ilmastonmuokkaukseen tavanomaisten päästövähennyksien sijaan. Mikäli DACCS-menetelmän sääntelyllä halutaan varmistaa, ettei hiilenpoistoja tehdä tavanomaisten päästövähennysten kustannuksella, voitaisiin pohtia niin sanotun päästövähennykset ensin -periaatteen soveltamista, joka ohjaa erityisesti kompensatioajattelua. Periaatteen mukaan tulee ensisijaisesti välttää ja vähentää kasvihuonekaasupäästöjä, ja vain siinä määrin kuin tämä ei ole mahdollista, kompensoida päästöt.²⁰³ Periaatetta voitaisiin muokata hiilenpoistoihin soveltuvaksi siten, että sääntelyssä edellytetään, että ensin toteutetaan kaikki mahdolliset päästövähennykset, ja DACCS-menetelmällä puututaan ainoastaan niin sanottuihin jäännöspäästöihin. Toisaalta myös hiilenpoistojen lisäämisen edellyttäminen varmistaa sen, ettei hiilenpoistotoimintaa suoriteta tavanomaisten päästövähennysten kustannuksella.²⁰⁴

Edellä mainittujen lisäksi DACCS-menetelmän sääntelyn tulee sisältää tarkat säännökset siitä, miten määritetään laskennallisesti talteenotetun ja varastoidun hiilidioksidin määrä. Jotta voidaan varmistaa, että hiilenpoistoilla tosiasiallisesti saavutetaan hyöty, tulee pystyä määrittämään mahdollisimman tarkasti talteenotetun hiilidioksidin määrä sekä menetelmän käytöstä aiheutuneiden kasvihuonekaasupäästöjen määrä. Hiilenpoistojen yhtenäinen laskennallinen määrittäminen on tärkeää myös siihen nähden, että erilaisia hiilenpoistotoimia voidaan vertailla keskenään.²⁰⁵ Olemassa on jo erilaisia laskentatapoja, joilla voidaan määrittää poistettavan hiilidioksidin määrä.²⁰⁶ DACCS-menetelmän sääntelyssä voitaisiinkin pyrkiä yhteensopivuuteen muiden järjestelmien sekä kansainvälisten hiilidioksidin laskentaa koskevien säännösten kanssa, koska tällöin voidaan varmistaa erilaisten järjestelmien keskinäinen vertailtavuus.

²⁰¹ Geden – Schenuit 2020.

²⁰² Ks. esim. Gerrard – Hester 2018, s. 2; Kintisch 2018, s. 41; Bergman – Rinberg 2021; IPCC 2022a.

²⁰³ Ks. esim. Stevenson – Weber 2020; Mitchell-Larson et al. 2020.

²⁰⁴ Ks. esim. Euroopan komissio 2022a.

²⁰⁵ Ks. esim. European Commission 2022b, s. 15.

²⁰⁶ Ks. esim. McDonald et al. 2023, s. 8.

2.2.3.2 Pysyvään varastointiin soveltuvan paikan valinta ja DACCS-laitoksen sijoittaminen

DACCS-menetelmällä saavutettava hyöty riippuu menetelmän käytöstä aiheutuvien kasvihuonekaasupäästöjen ohella siitä, pystytäänkö varmistamaan hiilidioksidin pysyvä poistaminen ilmakehästä. Varastointia koskevissa säännöksissä tulee ottaa huomioon se tosiasia, ettei voida olla täysin varmoja siitä, että varastoitu hiilidioksidi pysyy eristettynä sille tarkoitettussa geologisessa varastossa niin kauan kuin hiilidioksidi säilyy ilmakehässä, eli jopa tuhansia vuosia.²⁰⁷ Vaikka geologinen varastointi on nykytiedon perusteella suurella todennäköisyydellä pysyvä,²⁰⁸ ja esimerkiksi IPCC on määrittänyt geologisen varastoinnin yli kymmenen tuhannen vuoden varastoinniksi,²⁰⁹ liittyy varastointiin, sekä mahdolliseen hiilidioksidin kuljettamiseen, vuotoriski. Sääntelyssä tulee siten huomioida sekä hiilenpoiston pysyvyys että talteenotetun hiilidioksidin asianmukainen ja turvallinen varastointi.

Hiilidioksidin geologisen varastoinnin ensisijainen tavoite on eristää talteenotettu hiilidioksidi pysyvästi ilmakehästä.²¹⁰ DACCS-menetelmän sääntelyssä tulee siten ensinnäkin huolehtia siitä, että toiminnanharjoittaja veloitetaan suunnittelemaan varastointi pysyväksi ja huolehtimaan sen käytännön toteutumisesta. Sääntelyssä täytyy jollain tavalla määritellä, mitä pysyvyydellä tarkoitetaan. Tällä hetkellä ei kuitenkaan ole tieteellistä konsensusta siitä, mitä hiilidioksidin pysyvä varastointi tarkoittaa.²¹¹ Määrittelyssä pitää olla tarkkana sen suhteen, ettei asetettu määritelmä ole liian avoin. Pysyvyyden määrittelyssä lähtökohtana voi olla esimerkiksi se aika, jonka hiilidioksidin oletetaan säilyvän ilmakehässä,²¹² mikä on IPCC:n mukaan jopa tuhansia vuosia.²¹³ Vaikka määritelmä saattaa vaikuttaa suhteellisen avoimelta, on sen taustalla kuitenkin tieteellisesti laskettu aika hiilidioksidin säilymisestä ilmakehässä.²¹⁴

Toiminnanharjoittajalle tulee asettaa vastuu varastointipaikan ennakkollisen soveltuvuuden varmistamisesta: varastointipaikan täytyy olla lähtökohdiltaan soveltuva hiilidioksidin pysyvään varastointiin²¹⁵ eli varastointipaikan tulee suurella todennäköisyydellä pitää hiilidioksidi eristettynä tuhansien vuosien ajan. Tämän lisäksi toiminnanharjoittajalle tulee

²⁰⁷ IPCC 2007a, s. 25. Ks. myös Bergman – Rinberg 2021; Meyer-Ohlendorf et al. 2023, s. 22.

²⁰⁸ IEA 2022c, s. 52.

²⁰⁹ IPCC 2022a.

²¹⁰ Ks. esim. CCS-direktiivi, johdanto-osa kohta 27.

²¹¹ Kujanpää et al. 2023, s. 10.

²¹² Ks. esim. Meyer-Ohlendorf et al. 2023, s. 10.

²¹³ IPCC 2007a, s. 25.

²¹⁴ Ibid.

²¹⁵ Ks. esim. European Commission 2008, s. 35.

asettaa velvollisuus varastoidun hiilidioksidin säännölliseen seurantaan erinäisten mittauksien avulla.²¹⁶ Vaatimus ennakkollisesta varastointipaikan soveltuvuuden varmistamisesta ja säännöllisen seurannan suorittamisesta liittyy toiseen pysyvän varastoinnin osatekijään, eli siihen, että DACCS-menetelmän sääntely sisältää asianmukaisen ja turvallisen varastoinnin vaatimuksen. Tämän vaatimus kattaa kaikki ennakkolliset, hiilidioksidin injektoinnin aikaiset ja jälkikäteiset toimet, joilla pyritään huolehtimaan siitä, että talteenotettu hiilidioksidi pysyy pysyvästi eristettynä geologisessa muodostumassa ilman, että hiilidioksidi vuotaa tai että toiminnasta aiheutuu muunlaista haittaa ihmisille, eläimille ja ekosysteemeille.²¹⁷

Soveltuvan, asianmukaisen ja turvallisen varastointipaikan valinta on erittäin tärkeä tekijä siihen nähden, että DACCS-menetelmää voidaan käyttää turvallisesti ja tarkoituksenmukaisesti.²¹⁸ Ensimmäinen tapa varmistaa talteenotetun hiilidioksidin turvallinen varastointi on edellyttää toiminnanharjoittajalta varastointilupaa, kuten esimerkiksi CCS-direktiivissä on tehty.²¹⁹ Varastointiluvan saamiselle voidaan asettaa tietyt edellytykset, kuten erilaisten mallinnojen ja arviointien suorittaminen, joissa ollaan havaittu, että geologinen varasto ja sitä ympäröivä alue soveltuu hiilidioksidin pysyvään varastointiin eikä varastoinnilla aiheuteta vahinkoa ympäröivälle alueelle, kuten ekosysteemien toiminnalle tai luonnon monimuotoisuudelle.²²⁰ Tällainen arviointi voi velvoittaa esimerkiksi ympäristövaikutusten arviointimenettelyn suorittamiseen.²²¹ Lisäksi luvan edellytyksenä tulee olla hiilivuotojen ihmisten ja muiden eliöiden terveydelle mahdollisesti aiheuttamien vahinkojen arviointi. Varastointiluvan edellytyksenä tulee ainakin olla mitätön tai erittäin vähäinen vuotoriski ja seismisyys.²²² Lisäksi voidaan asettaa erinäisiä toiminnanharjoittajaan kohdistuvia edellytyksiä, kuten vakaa taloudellinen asema sekä asianmukainen ammatillinen osaaminen,²²³ jotta voidaan huolehtia siitä, että toiminnanharjoittaja on kykeneväinen toteuttamaan hiilenpoistoja DACCS-menetelmällä.

²¹⁶ European Commission 2011b, s. 89–111; Barros – Oliveira – de Sousa 2012, s. 3; Weber 2018, s. 156; Committee on Developing a Research Agenda for Carbon Dioxide Removal and Reliable Sequestration et al. 2019, s. 325; CCS-direktiivi, johdanto-osa kohta 28 ja 13 artikla.

²¹⁷ Barros – Oliveira – de Sousa 2012, s. 3.

²¹⁸ Ks. esim. IPCC 2005, s. 34, 197; European Commission 2011b, s. 3.

²¹⁹ Varastointiluvasta säädetään CCS-direktiivin 3 luvussa.

²²⁰ Ks. esim. IPCC 2005, s. 227; IEA 2009; European Commission 2011b, s. 6.

²²¹ Ks. esim. Barros – Oliveira – de Sousa 2012; Kuokkanen et al. 2013, s. 25.

²²² IEA 2009.

²²³ Ks. esim. CCS-direktiivi.

Kun varastointipaikka on tiedossa ja on tehty arvio siitä, että paikka tosiasiallisesti soveltuu turvalliseen hiilidioksidin varastointiin, tulee vielä arvioida, voidaanko suoraan ilmasta hiilidioksidia talteenottava laitos sijoittaa tällaisen varastointipaikan välittömään läheisyyteen. DACCS-menetelmän yksi hyödyistä on, että suoraan ilmasta hiilidioksidia talteenottava laitos voidaan periaatteessa sijoittaa minne tahansa.²²⁴ DACCS-menetelmää koskevassa sääntelyssä voidaan ensisijaisesti edellyttää, että hiilidioksidia talteenottava laitos sijoitetaan geologisen varastointipaikan välittömään yhteyteen. DACCS-menetelmän sääntelyssä tulee kuitenkin huolehtia siitä, että kuten varastointipaikka niin myös hiilidioksidia talteenottava laitos sijoitetaan ainoastaan alueille, joissa ne eivät voi aiheuttaa vahinkoa ympäröivälle alueelle. DACCS-menetelmää käyttävän laitoksen ei tule aiheuttaa uhkaa ekosysteemeille tai heikentää luonnon monimuotoisuutta. Laitoksen tulee muutoinkin aiheuttaa mahdollisimman vähän haittaa niin sosiaalisesti kuin ekologisestikin. Mikäli havaitaan, että varastointipaikan välittömään yhteyteen sijoitettava laitos aiheuttaisi negatiivisia vaikutuksia, tulisi tällöin laitos sijoittaa muualle, ja kuljettaa talteenotettu hiilidioksidi varastointipaikalle. DACCS-menetelmän sääntelyn tulee siten sisältää myös säännökset asianmukaisesta ja turvallisesta hiilidioksidin kuljettamisesta. Toiminnanharjoittajan tulee varmistaa kuljetuksen turvallisuus sekä ennakoita ja minimoida mahdolliset vuotojen aiheuttamat vahingot. Vastuu kuljetuksesta ja sen aikana mahdollisesti tapahtuvista vahingoista tulee asettaa toiminnanharjoittajalle.

2.2.3.3 Varastointiin liittyvät vastuukysymykset

DACCS-menetelmän sääntelyssä on erityisen tärkeää painottaa varastointiin liittyvää vastuuta: kuka on vastuussa ja kuinka pitkään mahdollisista vuodoista ja muista vahingoista, joita saattaa aiheutua ilmastolle, ympäristölle, ihmisille tai muille eliöille. Ensisijaisesti vastuu tällaisista vahingoista tulee olla toiminnanharjoittajalla, mutta sääntelyssä on rajattava vastuun ulkopuolelle force majeure tilanteet.²²⁵ Toiminnanharjoittajan vastuusta tulee säännellä tarkasti, jotta sääntelyllä voidaan ennakoita ja minimoida toiminnasta mahdollisesti aiheutuvat riskit. Monimutkainen tekijä varastointiin liittyen on se, että vuotouhka voi olla olemassa jopa tuhansia vuosia.²²⁶ Mahdollinen vuotouhka on olemassa niin kauan, ettei ketään yksittäistä

²²⁴ Kuokkanen et al. 2013, s. 19; Committee on Developing a Research Agenda for Carbon Dioxide Removal and Reliable Sequestration et al. 2019, s. 243; Gambhir – Tavoni 2019, s. 407; IEA 2022c, s. 41.

²²⁵ Esimerkiksi ympäristövastuudirektiivissä force majeure tilanteita ovat aseellinen konflikti, vihollisuudet, sisällissota tai kapina, sekä poikkeuksellinen, väistämätön ja hallitsemaan luonnonilmiö. Näissä tilanteissa aiheutunut ympäristövahinko ei kuulu direktiivin soveltamisalaan. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2004/35/EY, annettu 21 päivänä huhtikuuta 2004, ympäristövastuusta ympäristövahinkojen ehkäisemisen ja korjaamisen osalta.

²²⁶ Meyer-Ohlendorf et al. 2023, s. 28.

toiminnanharjoittajaa voida tosiasiallisesti velvoittaa huolehtimaan siitä, että hiilidioksidi säilyy pysyvästi eristettynä koko sen ajan, jonka hiilidioksidin oletetaan säilyvän ilmakehässä.²²⁷ Vastuukysymykset ovat haasteellisia, koska geologisen varastoinnin pysyvyyttä ei voida täysin varmistaa, eikä toisaalta vastuuta ole realistisesti mahdollista asettaa toiminnanharjoittajalle koko vuotouhan ajaksi.

Vastuun lakkaamisen ei tule olla mahdollista, koska hiilidioksidin vuotouhka ei sinänsä ole täysin poissuljettu, kunnes hiilidioksidi ei voi enää vapautua ilmakehään, vaikka aktiiviset injektointitoimenpiteet ovatkin loppuneet ja seurannassa on varmistettu hiilidioksidin senhetkinen stabiilius.²²⁸ Koska toiminnanharjoittajaa ei voida asettaa vastuuseen koko hiilidioksidin varastoimisajaksi, eikä vastuun lakkaaminen uhan ollessa vielä olemassa ole järkevää, tulee pohtia vastuun siirtoa valtiolle.²²⁹ Tähän ratkaisuun on päädytty esimerkiksi CCS-direktiivissä, jossa vastuu siirtyy toiminnanharjoittajalta valtiolle tiettyjen ehtojen täytyessä. Näitä ehtoja käsitellään myöhemmin luvussa 4.1.

DACCS-menetelmän sääntelyssä tulee säännellä tarkasti toiminnanharjoittajan vastuusta, sekä niistä ehdoista, joiden täytyessä vastuu siirtyy toiminnanharjoittajalta valtiolle. Nämä ehdot eivät voi olla liian ankaria, koska muutoin heikennetään DACCS-menetelmän tosiasiallista käyttömahdollisuutta ja mahdollisten toiminnanharjoittajien intoa ryhtyä hiilenpoistoihin, mikäli toiminnanharjoittajilla on pelko, etteivät he voi koskaan saavuttaa vastuun siirtämisen edellytyksiä.²³⁰ Ehtojen tulee kuitenkin olla sellaisia, että niillä varmistetaan varastoinnin vakaus ja pysyvyys ennen ja jälkeen vastuun siirron.²³¹ Toisaalta tulee ottaa huomioon hiilenpoistojen laajamittainen tarve tulevaisuudessa: hiilidioksidia on tarpeen poistaa ilmakehästä huomattava määrä pysyvästi,²³² jotta voidaan saavuttaa nykyiset ilmastotavoitteet ja pitää maapallo elinkelpoisena. Tämänhetkiset hiilenpoistotavoitteet ennakoivat merkittävää lisäystä hiilidioksidin varastointiin geologisesti. Onkin tarpeen pohtia sitä, ettei valtiolle siirrettävä vastuu aseta valtiolle liian suurta taakkaa, koska varastoinnin lisääntyessä myös potentiaalisten vahinkojen määrä kasvaa.²³³ Valtion vastuun helpottamiseksi voidaan

²²⁷ Ks. esim. European Commission 2008, s. 38; Havercroft – Macrory 2014, s. 6, 36.

²²⁸ Meyer-Ohlendorf et al. 2023, s. 22–23.

²²⁹ Ks. esim. Havercroft – Macrory 2014, s. 6.

²³⁰ Ks. esim. Havercroft – Macrory 2014, s. 38; Weber 2018, s. 155.

²³¹ Havercroft – Macrory 2014, s. 37.

²³² IEA 2022c, s. 46.

²³³ Meyer-Ohlendorf et al. 2023, s. 11.

esimerkiksi pohtia erilaisten taloudellisten turvajärjestelmien, kuten rahastojen perustamista. Tällaiset taloudelliset turvajärjestelmät varmistaisivat sen, ettei vastuun siirron jälkeen tapahtuneiden vuotojen aiheuttamien vahinkojen korjaaminen kuluta kohtuuttomasti valtion, eli toisin sanoen kansalaisten varoja.

Edellä on tuotu esille DACCS-menetelmään liittyvät keskeisimmät erityispiirteet, jotka tulee ottaa huomioon menetelmän sääntelyssä. Erityispiirteet huomioimalla voidaan varmistaa hiilenpoistojen turvallisuus ja asianmukaisuus sekä luoda mahdollisimman suotuisa ja kannattava ilmapiiri suoraan ilmasta talteenottavaa hiilidioksidia ja sen varastointia koskevan teknologian kehittämiseksi ja innovaatioiden edistämiseksi. Seuraavassa luvussa käsitellään Euroopan komission asetusehdotusta hiilenpoistojen sertifiointiksi²³⁴, joka on lähtökohtana sille, että tutkielman neljännessä luvussa voidaan arvioida, miten DACCS-menetelmän sääntelyä voidaan yksityiskohtaistaa ja kehittää.

²³⁴ European Commission 2022b.

3 Ilmastonmuokkaussäätely Euroopan unionissa

3.1 Ilmastonmuokkaussäätelyä koskevan keskustelun lähtökohdat

Ilmastonmuokkaussäätelyn, erityisesti DACCS-menetelmään soveltuvaa säätelyn, käsittely on rajattu tässä tutkielmassa ainoastaan EU-oikeuteen, mutta tämän taustoittamiseksi tässä luvussa käydään lyhyesti läpi ilmastonmuokkaussäätelyä koskevaa keskustelua myös kansainvälisellä tasolla. Ilmastonmuokkauksen nimenomainen säätely on niin kansainvälisesti kuin Euroopassakin olematonta.²³⁵ Säätelyttömyys on ongelma, johon lainsäätäjät ovat viime aikoina havahtuneet. Tämä johtuu erityisesti siitä, kun on ymmärretty, että ilmastoa saatetaan muokata sellaisten toimijoiden aloitteesta, jotka eivät kuitenkaan ole asianmukaisella tavalla esimerkiksi ennakoineet ja varautuneet mahdollisiin riskeihin.²³⁶ Mikäli riskit realisoituvat, joudutaan jälkikäteen pohtimaan, miten toiminnanharjoittaja voidaan asettaa vastuuseen toiminnasta aiheutuneesta vahingosta. Tämä on helpompaa silloin, kun voidaan tukeutua nimenomaisiin ilmastonmuokkausta koskeviin säännöksiin. Säätelyn puutteesta johtuvien haasteiden lisäksi nykyiset ilmastotavoitteet tekevät ilmastonmuokkauksen tavoittelun välttämättömäksi. Ilmastonmuokausmenetelmien tosiasiallinen edistäminen edellyttää kuitenkin osaltaan oikeudellista varmuutta. Kysymys on riskialttiista menetelmistä, joten taloudellisten investointien kasvattaminen ja menetelmän markkinaehtoinen kehittäminen vaativat suotuisaa ilmapiiriä myös säätelyn tasolla.²³⁷

Ilmastonmuokkauksen nimenomainen säätelyttömyys ei kuitenkaan tarkoita, etteivätkö jotkut kansainvälisen oikeuden periaatteet sovellu ilmastonmuokausmenetelmiin.²³⁸ Tällaisia periaatteita ovat esimerkiksi ympäristöoikeudessa merkittävä ennalta varautumisen periaate, jota kutsutaan myös varovaisuusperiaatteeksi (precautionary principle) sekä kansainvälisen oikeuden periaate, jonka mukaan toiminnanharjoittajan tulee toteuttaa ympäristövaikutusten arviointimenettely, jos toiminnalla on mahdollisesti rajat ylittäviä ympäristövaikutuksia.²³⁹

²³⁵ Kuokkanen et al. 2013, s. 21, 41; Sacco et al. 2022, s. 4.

²³⁶ Ks. esim. Kuokkanen et al. 2013, s. 21; Sacco et al. 2022, s. 4.

²³⁷ Ks. esim. Euroopan komissio 2022a; Euroopan komissio 2022b. Ks. myös Sovacool et al. 2023, s. 3–4.

²³⁸ Kuokkanen et al. 2013, s. 41.

²³⁹ Convention on Environmental Impact Assessment in a Transboundary Context, United Nations 1991. Ks. myös Kuokkanen et al. 2013, s. 24–25. Ympäristövaikutusten arviointimenettelyistä säännellään myös EU:ssa. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2014/52/EU, annettu 16 päivänä huhtikuuta 2014, tiettyjen julkisten ja yksityisten hankkeiden ympäristövaikutusten arvioinnista annetun direktiivin 2011/92/EU muuttamisesta ja Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2001/42/EY, annettu 27 päivänä kesäkuuta 2001, tiettyjen suunnitelmien ja ohjelmien ympäristövaikutusten arvioinnista. Ks. myös Fleurke 2016, s. 63–64.

Ennalta varautumisen periaate sisältyy Yhdistyneiden kansakuntien ilmastopöytäkirjaan²⁴⁰, jonka 3 artiklassa todetaan, että sopimusosapuolten tulee ryhtyä ennakkollisiin toimenpiteisiin estääkseen tai minimoidakseen ilmastonmuutoksen syitä ja lieventääkseen sen haitallisia vaikutuksia. Merkittävin varovaisuusperiaatteen piirre on artiklan toisessa virkkeessä, jossa todetaan, että ”täydellisen tieteellisen varmuuden puutetta ei vakavien tai peruuttamattomien vaurioiden uhatessa tulisi käyttää syynä siirtää myöhemmäksi tällaisia toimia”. Ennalta varautumisen periaate oikeuttaa siten tietyn toimen, vaikka ei olisikaan tieteellistä varmuutta sen ihmisten terveydelle tai ympäristölle aiheuttamista riskeistä, jos toimenpiteellä estetään, minimoidaan tai lievennetään ilmastonmuutoksen haitallisia vaikutuksia. Se, millä tavalla ennalta varautumisen periaate soveltuu ilmastonmuokkaukseen, on tulkinnanvaraista.²⁴¹ Periaatetta on tulkittu kahdella tavalla: toisaalta periaatteen nähdään oikeuttavan ilmastonmuokkaustoimen käytön, kun taas toisaalta voidaan katsoa, että periaate mahdollistaa ainoastaan suojelutoimenpiteet, eikä se siten sovellu ilmastonmuokkaukseen.²⁴² Ennalta varautumisen periaate tarjoaa siten argumentteja sekä ilmastonmuokkauksen puolesta että sitä vastaan. Periaatteen tulkintatavan voi osin katsoa heijastavan tulkitsijan yleistä kantaa ilmastonmuokkausmenetelmien hyödynnettävyyteen ja hyväksyttävyyteen.²⁴³

Vaikka ilmastonmuokkausta ei koske mikään yksittäinen oikeudellisesti sitova kansainvälinen sopimus, on ilmastonmuokkaukseen kuitenkin pyritty muodostamaan yhtenäistä kantaa esimerkiksi biologista monimuotoisuutta koskevaan yleissopimukseen²⁴⁴ liittyvässä vuonna 2010 järjestetyssä Nagoyan osapuolikokouksessa. Osapuolikokouksessa todettiin, ettei ilmastoa tulisi vielä muokata, koska ilmastonmuokkausmenetelmien käytön seurauksista ei ole riittävästi tieteellistä tietoa.²⁴⁵ Suosituksessa rajoitetaan ilmastonmuokkauksen käytöstä viitattiin nimenomaan ennalta varautumisen periaatteeseen.²⁴⁶ Kyse ei kuitenkaan ole oikeudellisesti velvoittavasta kiellosta, vaan suosituksesta. Ilmastonmuokkausta koskevan voimakkaasti lisääntyneen tutkimuksen johdosta voidaan pohtia, onko suosituksessa enää

²⁴⁰ Yhdistyneiden kansakuntien ilmastonsuojelun puitesopimus 1992.

²⁴¹ Ks. esim. Bodle 2010, s. 309; Fleurke 2016.

²⁴² Kuokkanen et al. 2013, s. 25; Fleurke 2016, s. 70–73.

²⁴³ Ilmastonmuokkauksen puoltajat vaikuttavat perustelevan kantaansa usein sillä, että tieteellisen epävarmuuden ei tulisi estää ilmastonmuokkaustoimien käyttämistä, koska ilmastonmuutoksen hillitseminen vaatii kaikkien potentiaalisten toimien käyttämistä. Ilmastonmuokkauksen vastustajat taas perustelevat ilmastonmuokkauksesta pidättäytymistä juuri sillä, että ilmastonmuokkaukseen liittyy vielä niin paljon tieteellistä epävarmuutta, ettei menetelmiä ole turvallista käyttää ilman huomattavaa riskiä ympäristölle ja ihmisten terveydelle.

²⁴⁴ Biologista monimuotoisuutta koskeva yleissopimus, Yhdistyneet kansakunnat 1992.

²⁴⁵ Conference of the Parties to the Convention on Biological Diversity UNEP/CBD/COP/DEC/X/33 Biodiversity and climate change, Nagoya, 2010. Ks. esim. Kuokkanen et al. 2013, s. 31–33.

²⁴⁶ Nagoya 2010, para 8 (w).

perustaa silloin, kun ilmastonmuokkausta toteutetaan hiilenpoistomenetelmillä, koska useat hiilenpoistomenetelmät ovat käytännössä testattuja ja menetelmien riskit tunnetaan, jolloin ne ovat myös ennakoitavissa ja osittain estettävissä. SRM-menetelmillä voi puolestaan olla merkittäviä vaikutuksia muun muassa luonnon monimuotoisuuteen ja ilmastojärjestelmän vakauteen, ja näitä vaikutuksia on vaikea ennustaa. Tämä taas puoltaa suosituksessa pidättymistä, ellei tieteellinen varmuus SRM-menetelmien käytöstä kasva.

Ilmastonmuokkausmenetelmien sääntelemättömyys nostanut esiin tarpeen selkeämmälle oikeustilalle. Keskustelu sääntelytarpeesta on painottunut siihen, mitkä kansainvälisen oikeuden sääntelykehykset voivat soveltua ilmastonmuokkausmenetelmien sääntelyyn.²⁴⁷ Tämä johtuu pitkälti siitä, että uuden ilmastonmuokkausmenetelmiin nimenomaisesti tarkoitetun sopimuksen laatimista ei pidetä kovin realistisena tai edes toivottavana. Esimerkiksi Kuokkanen et al. ovat todenneet, että ilmastonmuokkausmenetelmien säänteleminen olemassa olevien sopimusjärjestelmien puitteissa on järkevämpää, koska kansainvälinen sopimusjärjestelmä on jo nykyisellään hyvin pirstaloitunut ja uusien sopimuksien ratifiointiprosessit ovat hitaita.²⁴⁸ Lisäksi yhteisymmärryksen saavuttaminen on globaalisti haastavaa, ja sopimuksissa joudutaan usein tekemään kompromisseja.²⁴⁹

Koska globaalilla tasolla ilmastonmuokkauksen oikeudellisen varmuuden saavuttaminen on haastavaa, eikä merkittäviä askeleita ole tähän mennessä otettu, on erityisesti Euroopan unionissa tartuttu ilmastonmuokkausmenetelmien sääntelemättömyyttä koskevaan ongelmaan.²⁵⁰ Euroopan komissio on vastikään todennut, että ilmastonmuokkauksesta on tarpeen keskustella kansainvälisesti korkeimmalla mahdollisella tasolla. Euroopan komission mukaan minkään yksittäisen tahon ei tule ryhtyä ilmastonmuokkaustoimiin yhteisellä planeetallamme, koska yksittäisellä toimella voi olla maailmanlaajuisia vaikutuksia.²⁵¹

²⁴⁷ Ks. esim. Bodle 2010; Kuokkanen et al. 2013; Armeni – Redgwell 2015; Sacco et al. 2022.

²⁴⁸ Kuokkanen et al. 2013, s. 42.

²⁴⁹ Esimerkkinä yhteisymmärryksen savuttamattomuudesta on Sveitsin aloitteesta vuonna 2019 laadittu päätöslauselmaehdotus YK:n ympäristökokoukselle. Päätöslauselmaehdotuksessa pyrittiin kannustamaan ilmastonmuokkausmenetelmien arviointiin sekä pyydettiin YK:n ympäristökokouksen johtajaa arvioimaan sitä, miten eri ilmastonmuokkausmenetelmiä voitaisiin säännellä globaalisti. Yhdysvallat, Saudi-Arabia ja Brasilia kuitenkin vastustivat päätöslauselman hyväksymistä. Draft Resolution for consideration for the 4th United Nations Environment Assembly 2019.

²⁵⁰ Esimerkiksi Chalmin on todennut, että lobbaus ilmastonmuokkauksen puolesta on kasvanut ja komissio on myös tukenut taloudellisesti joitain ilmastonmuokkauksen parissa toimivia organisaatioita. Chalmin 2021, s. 18.

²⁵¹ European Commission 2023b.

Ilmastonmuokkausteknologioiden kehittyessä entistä edullisemmiksi ja helpommin saatavilla oleviksi, todennäköisyyksille, että ilmastoa muokataan, kasvaa.

Euroopan komissio on ottanut ensimmäisen askeleen ilmastonmuokkausta koskevan sääntelyn edistämiseksi vuonna 2021, kun se antoi tiedonannon ”Kestävä hiilen kierto”. Se perustuu vuonna 2019 käynnistettyyn Euroopan vihreään ohjelmaan. Tiedonannossa määritellään suuntaviivat hiilenpoistojen edistämiseksi.²⁵² Komissio toteaa tiedonannossaan, että hiilenpoistot tulee sisällyttää EU:n ilmastopolitiikkaan, jotta voidaan saavuttaa eurooppalaisen ilmastolain 2 artiklan mukainen tavoite hiilineutraaliudesta vuoteen 2050 mennessä.²⁵³ Hiilenpoistot nähdään siten välttämättöminä unionin ilmastotavoitteen saavuttamiseksi. Kestävää hiilenkiertoa koskevassa tiedonannossa on todettu, että komissio tulee antamaan asetusehdotuksen hiilenpoistojen sertifiointiksi, jotta voidaan valvoa hiilenpoistotoimia ja varmistaa, että kaikki hiilenpoistot täyttävät vaatimukset muun muassa korkealaatuisuudesta ja kestävydestä.²⁵⁴

Euroopan unionissa toteutettu sääntely on tällä hetkellä todennäköisemmin ja helpommin toteutettavissa kuin kansainvälisen tason sääntely. Konsensuksen saavuttaminen myös kansainvälisellä tasolla on tulevaisuudessa tarpeellista, jotta voidaan ennakkollisesti puuttua mahdollisiin yksittäisten toimijoiden suorittamiin ilmastonmuokkaustoimiin, joilla saattaa olla vaikutusta globaalisti. Kansainvälinen yhteistyö on muutoinkin tärkeää, jotta hiilenpoistomenetelmien kehitys voidaan optimoida ja jotta voidaan mahdollistaa mahdollisimman laajat turvalliset hiilenpoistot.²⁵⁵ Tällaista yhteistyötä onkin jo olemassa, ja parhaimmillaan yhteistyö hiilenpoistoteknologioiden kehittämiseksi yhtenäistää myös eri valtioiden kantoja ilmastonmuokkausmenetelmien käyttöön ja näin ollen tekee kansainvälisen konsensuksen saavuttamisesta todennäköisempää tai joka tapauksessa helpompaa ilmastonmuokkaussääntelyn saralla.²⁵⁶ Euroopan unioni voi myös osaltaan pyrkiä edistämään kansainvälistä keskustelua, kuten komissio on vastikään tehnytkin.²⁵⁷ EU:n

²⁵² Euroopan komissio 2021.

²⁵³ Euroopan parlamentin ja neuvoston asetukset (EU) 2021/1119, annettu 30 päivänä kesäkuuta 2021, puitteiden vahvistamisesta ilmastoneutraaliuden saavuttamiseksi sekä asetusten (EY) N:o 401/2009 ja (EU) 2018/1999 muuttamisesta (eurooppalainen ilmastolaki).

²⁵⁴ European Commission 2021, s. 19–21.

²⁵⁵ Ks. esim. Kuokkanen et al. 2013, s. 29; IEA 2022c, s. 72.

²⁵⁶ Ks. esim. Carbon Dioxide Removal Mission, joka on Yhdysvaltojen, Saudi-Arabian ja Kanadan johtama yhteistyöprojekti, jonka tukijäsenenä on myös Euroopan komissio. Mission Innovation N.d; Mission Innovation 2021.

²⁵⁷ European Commission 2023b.

hiilenpoistosertifiointikehyksellä voi potentiaalisesti olla samankaltaista yhtenäistävää vaikutusta. Kansainvälinen energiajärjestö (IEA) on todennut, että on tarpeen sopia kansainvälisesti siitä, miten hiilenpoistot sertifioidaan ja millaisia hiilenpoistojen laskutapoja sovelletaan, jotta hiilenpoistoja kohdeltaisiin samalla tavalla ympäri maailmaa.²⁵⁸ EU:lla on mahdollisuus tehdä sertifiointikehyksestään yhteensopiva suunnitteilla olevien muiden sertifiointikehysten kanssa, kuitenkin huomioiden, että sertifioinneissa edellytetään tarpeeksi kunnianhimoista laadukkuutta ja kestävyttä. Näin voidaan edistää kansainvälistä koheesiota hiilenpoistojen sertifioinnissa.

3.2 Komission asetusehdotus hiilenpoistojen sertifioimiseksi

Euroopan unionin kunnianhimoisen hiilineutraaliustavoitteen saavuttaminen edellyttää tavanomaisten päästövähennysten ohella myös hiilidioksidin poistamista ilmakehästä. Hiilenpoistojen laajamittaista edistämistä estää kuitenkin se, ettei EU:ssa ole vielä käytössä yhtenäistä standardia, jolla voitaisiin tunnistaa laadukkaat ja kestävät hiilenpoistotoimet.²⁵⁹ Erilaisia sertifiointikehyksiä hiilenpoistoille on jo olemassa, mutta näiden heikkous on, että erilaiset sertifiointikehykset poikkeavat merkittävästi toisistaan. Erityisesti vaihtelevat hiilenpoistojen laskentatavat heikentävät näiden sertifiointikehysten vertailtavuutta. Jotta voidaan edistää hiilenpoistojen laajamittaista käyttöönottoa, on komissio katsonut tarpeelliseksi laatia yhtenäiset säännöt kaikille hiilenpoistoille.²⁶⁰ Jo olemassa olevien sertifiointikehysten haasteita ovat lisäksi puuttuva avoimuus ja läpinäkyvyys, mikä tarkoittaa sitä, että on vaikea tietää, millä perusteella hiilenpoistotoimille on myönnetty sertifikaatit.²⁶¹ Asetusehdotuksessa pyritään ratkomaan myös näitä läpinäkyvyyteen ja avoimuuteen liittyviä ongelmia.²⁶²

Komission asetusehdotuksen ensisijaisina tavoitteina on ensinnäkin varmistaa, että hiilenpoistot ovat korkealaatuisia ja toiseksi välttää viherpesua.²⁶³ Tavoitteena on lisäksi kannustaa toiminnanharjoittajia hiilenpoistojen toteuttamiseen.²⁶⁴ Nämä tavoitteet komissio toivoo saavuttavansa perustamalla EU:n hallinnoiman sertifiointijärjestelmän, jossa valvotaan ja noudatetaan asetuksessa määritettyjä laatuksiteereitä luotettavasti ja yhdenmukaisesti koko

²⁵⁸ IEA 2022c, s. 11.

²⁵⁹ European Commission 2022a.

²⁶⁰ Ibid.

²⁶¹ Ks. esim. Lee – Kim – Kim 2017, s. 1–2.

²⁶² European Commission 2022b, s. 8.

²⁶³ European Commission 2022b, s. 1-2. Viherpesulla tarkoitetaan sitä, että esitetään harhaanjohtavia tai virheellisiä ympäristövääntämiä. Ks. esim. European Commission 2023a.

²⁶⁴ European Commission 2022b, 1 artikla.

unionissa.²⁶⁵ Seuraavassa luvussa käydään läpi asetusehdotuksen sisältö pääpiirteittäin ja tämän jälkeen tarkastellaan sen sisältöä DACCS-menetelmän näkökulmasta.

3.2.1 Asetusehdotuksen sisältö

Komission asetusehdotuksessa tunnistetaan erilaiset hiilenpoistomenetelmät, mutta ehdotuksessa ei vielä käsitellä tarkemmin tai oteta kantaa näiden menetelmien eroavaisuuksiin. Nyt ehdotettu hiilenpoistojen sertifiointia koskeva asetusta on tarkoitettu soveltuvaksi kaikkiin CDR-menetelmiin, eli sekä biologisiin että teknologisiin hiilenpoistomenetelmiin. Komissio on kuitenkin tunnistanut hiilenpoistomenetelmien väliset eroavaisuudet ja tarpeen yksityiskohtaisemmalle sääntelylle, jossa otetaan huomioon kunkin hiilenpoistomenetelmän erityispiirteet.²⁶⁶ Kullekin hiilenpoistomenetelmälle tullaan laatimaan myöhemmin asiantuntijoiden tuella yksityiskohtaiset sertifiointisäännöt. Asiantuntijaryhmä on aloittanut toimintansa maaliskuussa 2023, ja ryhmän tarkoitus on kokoontua neljä kertaa vuodessa.²⁶⁷

Asetusehdotuksen yleinen rakenne voidaan komission mukaan jakaa kolmeen pilariin.²⁶⁸ Asetusehdotuksen ensimmäinen pilari liittyy tavoitteeseen varmistaa hiilenpoistojen korkealaatuisuus. Ensimmäinen pilari koostuu asetusehdotuksen 2 luvusta eli artikloista 4-7, joissa määritellään neljä laatukriteeriä: hiilenpoistojen kvantifiointi, täydentävyys, varastoinnin pitkäkestoisuus ja kestävyys. Näiden kriteerien tulee täytyä, jotta sertifikaatti on ylipäätään mahdollista saada. Laatukriteerit voidaan nähdä ehdotetun sertifiointikehyksen ydinsisältönä.

Ensimmäinen laatukriteeri edellyttää, että hiilenpoisto tuottaa nettohiilenpoistohyödyn. Hiilenpoiston laskentaa koskeva säännös on asetusehdotuksen 4 artiklassa, jossa todetaan, että hiilenpoistotoimenpiteen tulee tuottaa nettohiilenpoistohyöty, eli menetelmän seurauksena poistettavan hiilidioksidin määrän tulee olla suurempi kuin hiilenpoistotoimenpiteestä aiheutuvien kasvihuonekaasupäästöjen määrän. Hiilenpoistojen laskenta perustuu perustason määrittämiseen: ”perustaso vastaa vertailukelpoisilla toimenpiteillä saavutettavia tavanomaisia hiilenpoiston tuloksia vastaavissa sosiaalisissa, taloudellisissa ja ympäristöön ja teknologiaan liittyvissä olosuhteissa, ja siinä otetaan huomioon maantieteellinen toimintaympäristö.”²⁶⁹

²⁶⁵ European Commission 2022b, s. 1–2.

²⁶⁶ Ibid, s. 7.

²⁶⁷ European Commission N.d. Expert group on carbon removals.

²⁶⁸ European Commission 2022b, s. 10-11.

²⁶⁹ Ibid, 4 artikla 5 kohta.

Perustason mukaisesta hiilenpoistosta vähennetään kyseisellä hiilenpoistotoimella aikaansaadut hiilenpoistot sekä hiilenpoistotoimenpiteellä aiheutetut suorat ja epäsuorat kasvihuonekaasupäästöjen lisäykset ja näin saadaan selville hiilenpoistotoimenpiteen tuottama hyöty. Asetusehdotuksessa todetaan, että tätä perustasoa päivitetään säännöllisesti.²⁷⁰

Hiilenpoistojen täydentävyyttä koskevan laatukriteerin mukaan hiilenpoistoissa on oltava kyse ylimääräisistä poistoista eli hiilenpoiston tulee mennä pidemmälle, kun unionin ja kansallisen tason lakisääteiset vaatimukset edellyttävät. Vaatimus edesauttaa myös sitä, että hiilenpoistotoimet nähdään erillisinä tavanomaisiin päästövähennystoimiin nähden. Hiilenpoiston tulee lisäksi toteutua sertifiointin kannustavan vaikutuksen vuoksi, mikä tarkoittaa sitä, että toiminnanharjoittajan tulee ryhtyä hiilenpoistotoimeen asetuksen kannustavan vaikutuksen seurauksesta.²⁷¹ Biologisia hiilenpoistoja koskee jo tällä hetkellä tietyt oikeudelliset vaatimukset, joten niiden kohdalla hiilenpoistojen täydentävyysvaatimus ei välttämättä toteudu.²⁷² Tämä ei kuitenkaan päde teknologisiin hiilenpoistoihin, joten todennäköisyys siihen, että tällaiset poistot eivät olisi täydentäviä, on hyvin pieni.²⁷³

Kolmas hiilenpoistoille määritetty laatukriteeri on hiilenpoistojen varastoinnin pitkäaikaisuus. Komissio on asetusehdotukseen liittyvässä uutisoinnissa ja asetusehdotuksen johdannossa painottanut tarvetta hiilen varastoinnin pysyvyydelle, joka on tarkoitus toteuttaa sitomalla sertifikaatin voimassaolo siihen, kuinka kauan hiilidioksidi pysyy varastoituna.²⁷⁴ Vaikka komissio on painottanut pysyvän varastoinnin tärkeyttä, on asetusehdotuksessa lähtökohtana ainoastaan hiilen pitkäaikaisvarastointi – määrittämättä, mitä tällä tosiasiallisesti tarkoitetaan. Pitkäaikaisuutta koskevan artiklan mukaan ”tavoitteena on varmistaa hiilen pitkäaikaisvarastointi” eli kyseessä ei ole myöskään oikeudellinen velvollisuus, vaan toiminnanharjoittajalle asetetaan ainoastaan tavoite pyrkiä hiilen pitkäaikaisvarastointiin.²⁷⁵ Kuten aiemmin on tuotu esille, talteenotettu hiilidioksidi tulee varastoida pysyvästi, jotta kysymyksessä on tosiasiallinen hiilenpoisto.²⁷⁶ Varastoinnin pysyvyydessä ja pitkäaikaisuudessa on merkittävä ero. Asetuksessa olisi tarpeen määrittää vähintäänkin, mitä

²⁷⁰ European Commission 2022b, 4 artikla.

²⁷¹ Ks. esim. McDonald et al. 2023, s. 10.

²⁷² Ks. esim. Meyer-Ohlendorf et al. 2023, s. 24; McDonald et al. 2023, s. 10.

²⁷³ Meyer-Ohlendorf et al. 2023, s. 24.

²⁷⁴ Euroopan komissio 2022a.

²⁷⁵ European Commission 2022b, 6 artikla.

²⁷⁶ IEA 2022c, s. 46.

pitkäaikaisuudella tarkoitetaan. Lyhytaikaista varastointia ei varsinaisesti ole suljettu asetusehdotuksessa ulkopuolelle, mikä on ristiriidassa komission tavoitteen kanssa sekä erityisesti siihen nähden, että IPCC on todennut hiilidioksidin poistamisen ja pysyvän varastoinnin olevan välttämätöntä 1,5 asteen lämpötilatavoitteen kannalta.²⁷⁷ Koska DACCS-menetelmässä talteenotettu hiilidioksidi varastoidaan geologisesti, minkä katsotaan tarkoittavan pysyvää varastointia,²⁷⁸ ei epäselvyys pitkäaikaisvarastoinnin määritelmästä aiheuta sinänsä tulkintaongelmia, mutta joidenkin muiden hiilenpoistomenetelmien kohdalla tämä on merkittävä heikkous, koska kaikki hiilenvarastointitavat eivät varastoi hiiltä pysyvästi. Euroopan parlamentti taas on kiinnittänyt huomiota siihen, että ei-pysyvää varastointia toteuttaville hiilenpoistotoimille tulisi asettaa tiukemmat ehdot koskien varastoinnin seurantaan sekä sertifikaatin päättymisajankohtaa, kuin pysyville hiilenpoistotoimille.²⁷⁹

Viimeisenä laatuvaatimuksena on, että hiilenpoistot ovat kestäviä. Tämä tarkoittaa, että niillä on neutraali tai edistävä vaikutus artiklassa määritettyihin kestävyystavoitteisiin, joita ovat ”nettohiilenpoistohyötyä suurempi ilmastonmuutoksen hillintä, ilmastonmuutokseen sopeutuminen, vesivarojen ja merten tarjoamien luonnonvarojen kestävä käyttö ja suojeleminen, siirtyminen kiertotalouteen, ympäristön pilaantumisen ehkäiseminen ja vähentäminen sekä luonnon monimuotoisuuden ja ekosysteemien suojeleminen ja ennallistaminen.” Asetusehdotuksessa on lisäksi todettu, että eri hiilenpoistomenetelmiä koskevissa yksityiskohtaisissa säädöksissä tullaan vahvistamaan tarkemmat kestävyyttä koskevat vähimmäisvaatimukset, jotka kunkin hiilenpoistotoimen tulee täyttää saadakseen sertifioinnin. Asetusehdotuksen kestävyyskriteeri on suhteellisen vaatimaton, koska edellytys on, että toiminnalla on neutraali vaikutus. Esimerkiksi McDonald et al. ovat painottaneet kunnianhimoisemman kestävyysääntelyn tärkeyttä.²⁸⁰ Kullekin hiilenpoistomenetelmälle myöhemmin laadituissa yksilöidyissä sertifiointimenettelyissä tulee täsmentää kestävyysvaatimuksia, jotta voidaan varmistua siitä, että hiilenpoistoilla tosiasiallisesti edistetään, tai maltillisemmin tuetaan, kestävyystavoitteita.

Asetusehdotuksen toinen pilari koostuu artikloista 9-10, joissa määritetään sertifiointi- ja todentamisprosessin keskeiset tekijät. Sertifioinnin saaminen edellyttää laatukriteereiden täyttämisen ohella sitä, että hiilenpoisto on todennettu riippumattomasti. Hiilenpoistojen

²⁷⁷ IPCC 2018.

²⁷⁸ IEA 2022c, s. 51–52; IPCC 2022a; European Commission 2022b, s. 16.

²⁷⁹ European Parliament 2023, s. 2, 4.

²⁸⁰ McDonald et al. ehdottavat ”ei merkittävää haittaa” -periaatteen (do no significant harm) edellyttämistä. McDonald et al. 2023, s. 17–18.

riippumaton todentaminen pyritään varmistamaan asettamalla vaatimuksia sertifikaatin myöntävälle sertifiointielimelle. Sertifiointielinten toiminta on valvonnanaalaista ja valvonnasta vastaavat jäsenvaltiot.²⁸¹ Asetusehdotuksessa muun muassa säädetään uudelleensertifiointitarkastuksista, joilla on tarkoitus varmistaa, että hiilenpoistotoimenpide täyttää laatuvaatimukset edelleen sertifikaatin myöntämisen jälkeen.²⁸²

Kolmas pilari koostuu 11-14 artikloista, joissa määritellään ehdot sertifiointijärjestelmien toiminnalle. Ehdotuksen kolmas pilari liittyy asetusehdotuksen toiseen päätavoitteeseen, eli pyrkimykseen välttää viherpesua, perustamalla EU:n hallinnoima sertifiointijärjestelmä, jossa valvotaan asetuksessa määritettyjen laatuksiteereiden noudattamista yhdenmukaisesti koko unionissa.²⁸³ Jotta toiminnanharjoittaja voi saada sertifikaatin, tulee hänen käyttää komission tunnustamaa sertifiointijärjestelmää laatuksiteerien täyttämisen osoittamiseksi. Sertifiointijärjestelmiä koskeva tärkein tavoite on huolehtia järjestelmien avoimesta, läpinäkyvästä ja luotettavasta toiminnasta.²⁸⁴

Komission asetusehdotus on tärkeää aloite hiilenpoistojen sertifiointisäännösten yhtenäistämiseksi, mutta se on tosiasiallisesti hyvin väljä ja merkittävilta osin avoin, ja sellaisenaan se tarvitsee tuekseen paljon yksityiskohtaisempia säännöksiä.²⁸⁵ Erityisesti vastuukysymykset on jätetty pitkälti huomiotta. Seuraavassa luvussa käsitellään lyhyesti komission asetusehdotuksen säännöksiä DACCS-menetelmän näkökulmasta ja pohditaan, mitkä ovat merkittävimpiä puutteita, joihin suoraan ilmasta talteenotetun hiilidioksidin ja sen varastoinnin yksityiskohtaisessa sääntelyssä tulee pyrkiä vastaamaan.²⁸⁶

3.2.2 Asetusehdotuksen säännösten sopivuus DACCS-menetelmän näkökulmasta

Asetusehdotuksen aukollisuus ja siinä olevien säännösten avoimuus johtuu etenkin siitä, että komissio on pyrkinyt laatimaan kaikkiin eri hiilenpoistomenetelmiin soveltuvan yhteisen sääntelyn. Erityisesti biologisten ja teknologisten hiilenpoistomenetelmien väliset

²⁸¹ European Commission 2022b, 10 artikla 4 kohta.

²⁸² Ibid, 9 artikla 3 kohta.

²⁸³ Ibid, s. 1–2.

²⁸⁴ Ibid, s. 8, 19.

²⁸⁵ Ks. esim. Meyer-Ohlendorf et al. 2023; McDonald et al. 2023; German Environment Agency 2023.

²⁸⁶ Voidaan todeta, että myös muut hiilenpoistomenetelmät vaativat tuekseen huomattavasti yksityiskohtaisempaa sääntelyä. Erityisen huolestuttavana voidaan pitää sitä, ettei asetusehdotuksessa velvoiteta pysyvien hiilenpoistojen tavoitteluun. Rajauksen takia muita menetelmiä koskevia säännöksiä ei kuitenkaan käsitellä syvemmin tässä tutkielmassa.

perustavanlaatuiset erot edellyttävät esitettyä yksityiskohtaisempaa huomioimista. Sääntelyn aukollisuus voi vaarantaa sen tavoitteet, eli tässä tapauksessa hiilenpoistojen laadukkuuden sekä sen, että sertifiointijärjestelmän läpinäkyvyydellä ja avoimuudella estetään viherpesua.²⁸⁷ Epäselvyyksiä tai muita puutteellisuuksia sisältävällä sääntelyllä myöskään tuskin saavutetaan sellaista kannustavaa vaikutusta, joka edesauttaisi hiilenpoistojen merkittävää lisäystä.²⁸⁸

Asetusehdotuksen 6 artiklan 1 kohdassa asetetaan toiminnanharjoittajalle tavoite varmistaa, että hiilidioksidin varastointi on pitkäaikaista. Pitkäaikaisuutta ei määritellä asetusehdotuksessa, toisin kuin pysyvää varastointia, jolla tarkoitetaan useiden vuosisatojen varastointia.²⁸⁹ Tarkempaa määritelmää pysyväälle varastoinnille ei ole asetettu. Hiilidioksidi säilyy kuitenkin ilmakehässä huomattavasti kauemmin kuin useita vuosisatoja.²⁹⁰ Vaikka DACCS-menetelmässä geologiisiin muodostumiin varastoidun hiilidioksidin on tarkoitettu pysyvän eristettynä vähintäänkin niin kauan, kun hiilidioksidin oletetaan säilyvän ilmakehässä, eli tuhansia vuosia, tulee menetelmän yksityiskohtaisessa sääntelyssä asettaa oikeudellinen velvollisuus pysyvän varastoinnin tavoitteluun sekä määrittää tarkemmin, mitä pysyvyydellä tarkoitetaan.²⁹¹ Hiilidioksidin varastointi on keskeisin tekijä hiilenpoistossa, joten sen, mitä pysyvyydellä tosiasiasiallisesti tarkoitetaan, ei tule aiheuttaa tulkinnanvaraisuutta.

Asetusehdotuksessa todetaan, että toiminnanharjoittajalla on vastuu varmistaa, että talteenotettu hiilidioksidi pysyy eristettynä seurantajakson ajan. Komissio on todennut, että tällainen seurantajakso määritetään kullekin hiilenpoistomenetelmälle erikseen.²⁹² Asetusehdotuksen 6 artiklan 2 kohdan mukaan toiminnanharjoittajan tulee seurantajakson aikana seurata ja lieventää riskejä, jotka liittyvät mahdollisiin vuotoihin. Lisäksi toiminnanharjoittajaan sovelletaan seurantajakson aikana asianmukaisia vastuumekanismeja, jotta voidaan puuttua vuotojen seurauksena tapahtuvaan hiilenpoistojen kumoutumiseen. Komissio on edelleen todennut, että geologista varastointia ja talteenotetun hiilidioksidin vuotamista koskevat vastuusäännökset on jo määritetty CCS-direktiivissä, joten sen

²⁸⁷ European Commission 2022b, s. 1–2.

²⁸⁸ Näin on käynyt CCS-direktiivin kohdalla, jonka osin epäselvät vastuusäännökset ovat johtaneet siihen, että toiminnanharjoittajilla ei ole riittävää varmuutta siitä, mitä heiltä odotetaan. Nykyisin toiminnassa olevia CCS-laitoksia on Euroopassa ainoastaan kolme. Kujanpää et al. 2023, s. 47. European Commission 2015; Weber 2018; Chalmers 2021, s. 8–9.

²⁸⁹ European Commission 2022b, 2 artikla 1 kohta g alakohta.

²⁹⁰ IPCC 2007a, s. 25.

²⁹¹ Ks. esim. Meyer-Ohlendorf et al. 2023, s. 10.

²⁹² European Commission 2022b, s. 16.

vastuumekanismit soveltuvat myös DACCS- ja BECCS-menetelmiin, jotta vältetään päällekkäinen vastuuta koskeva sääntely.²⁹³

Asetusehdotuksessa todetaan hiilenpoistojen sertifiointin voimassaolon riippuvan siitä, kuinka kauan talteenotettu hiilidioksidi pysyy lähtökohtaisesti varastoituna sekä siitä, millaisia vuotoriskejä hiilenpoistomenetelmään liittyy.²⁹⁴ Asetusehdotuksessa ei siten lähtökohtaisesti oteta kantaa siihen, kuinka kauan myönnetty sertifiointi on voimassa. Komissio on kuitenkin todennut, että geologisiin muodostumiin varastoidun hiilidioksidin voidaan katsoa takaavan hiilidioksidin pysyvän varastoinnin.²⁹⁵ Tämän voi tulkita tarkoittavan sitä, että DACCS-menetelmällä toteutettujen hiilenpoistojen sertifiointi on voimassa lähtökohtaisesti pysyvästi.²⁹⁶ Asetusehdotuksessa puolestaan todetaan, että hiilenpoistot, jotka toteutetaan hiiliviljelyllä tai hiilen varastoimisella tuotteisiin, sisältävät enemmän vuotoriskejä kuin geologisesti varastoitu hiilidioksidi, joten tällaisille hiilenpoistosertifioinneille tulee asettaa voimassaolon päättymispäivä, joka vastaa seurantajakson pituutta.²⁹⁷

Huomionarvoista on, että Meyer-Ohlendorf et al. ovat tulkinneet asetusehdotusta siten, että asetusehdotuksen määrittäessä hiilidioksidin varastoinnin geologisiin muodostumiin pysyväksi, ei hiilenpoistomenetelmiin, jotka hyödyntävät geologista varastointia, kohdistuisi ollenkaan seurantajaksoja.²⁹⁸ Tämä tarkoittaisi myös sitä, etteivät asetusehdotuksen 6 artiklan 2 kohdassa seurantajakson ajalle määritellyt seuranta- ja lievennysvastuut soveltuisi tällaisia hiilenpoistoja suorittaviin toiminnanharjoittajiin.²⁹⁹ Meyer-Ohlendorf et al. tulkinta ilmeisemmin perustuu käsitykseen, että seurantajakso ja hiilenpoiston sertifiointin voimassaolo kytkeytyvät toisiinsa. Tämä käsitys on kaikesti syntynyt asetusehdotuksen johdanto-osan 13 kohdasta, jossa todetaan, että hiiliviljelyyn tai hiilen varastoinnin tuotteisiin perustuvan hiilenpoiston sertifiointin voimassaolo kytkeytyy seurantajakson pituuteen. Eli toisin sanoen seurantajakson pituus määrittää sertifiointin voimassaolon pituuden. Meyer-Ohlendorf et al. ovat edelleen todenneet, että geologisesti varastoitavan hiilen sertifiointille ei

²⁹³ European Commission 2022b, s. 17.

²⁹⁴ Ibid, s. 16.

²⁹⁵ Ibid, s. 16–17.

²⁹⁶ Meyer-Ohlendorf et al. 2023, s. 26.

²⁹⁷ European Commission 2022b, s. 16–17.

²⁹⁸ Meyer-Ohlendorf et al. 2023.

²⁹⁹ Meyer-Ohlendorf et al. 2023, s. 26–27. Ks. myös German Environment Agency 2023, s. 4.

voida asettaa päättymispäivää, koska sen pitäisi olla tuhansien vuosien päässä.³⁰⁰ Näin ollen ei asetettaisi myöskään seurantajaksoa.

Asetusehdotusta ei kuitenkaan näkemykseni mukaan voida tulkita yksiselitteisesti siten, että tarkoitus on olla asettamatta seurantajaksoja sellaisille hiilenpoistotoimille, joissa hiilidioksidi varastoidaan geologisiin muodostumiin. Meyer-Ohlendorf et al. tulkinta ilmaisee ajatusta, että seurantajaksoa ja sertifikaatin voimassaoloa koskevia säännöksiä tulee tulkita yhdessä, mutta nämä säännökset ovat erillisiä, eikä asetusehdotus anna tukea tulkinnalle, että seurantajaksoa ei asetettaisi kaikille hiilenpoistotoimille. Näkemykseni mukaan asetusehdotuksen 6 artikla ilmaisee seurantajakson ja sertifioinnin voimassaolon erillisyyttä. Artiklassa todetaan, että seurantajakson aikana toiminnanharjoittajan tulee seurata ja lieventää hiilidioksidin vuotoriskejä, minkä lisäksi toiminnanharjoittajaan kohdistetaan asianmukaiset vastuumekanismit, jotka ovat hiilidioksidin geologisen varastoinnin osalta määritetty jo CCS-direktiivissä. Asetusehdotuksen sanamuodon mukaisella tulkinnalla seurantajakso määritetään kaikille hiilenpoistotoimenpiteille, mikä tarkoittaa, että toiminnanharjoittajalla on seuranta- ja vastuuvaihtoehtoja myös asetusehdotuksen nojalla silloin, kun kyse on hiilenpoistotoimenpiteestä, jossa hiilidioksidi varastoidaan geologisiin muodostumiin.

Asetusehdotus on saanut kritiikkiä siitä, miten hiilenpoistotoimella aikaansaatu hyöty lasketaan.³⁰¹ Meyer-Ohlendorf et al. mukaan asetusehdotuksen mukainen tarkka laskentatapa on merkittävä heikkous, koska se eroaa Pariisin ilmastopöytäkirjasta, puhtaan kehityksen mekaniikasta (CDM) sekä kaikista tärkeimmistä päästöhyvitysjärjestelmistä, jotka kaikki perustuvat maltilliseen laskentatapaan.³⁰² Tässä tutkielmassa ei oteta tarkemmin kantaa siihen, poikkeako komission asetusehdotuksen mukainen nettohiilenpoistohyödyn laskentatapa yleisestä käytännöstä. Voidaan kuitenkin todeta, että yhteensopivuus muiden järjestelmien sekä kansainvälisten säännösten kanssa on merkittävässä asemassa, joten tämä on tärkeää huomioida myös hiilenpoistojen laskentatavassa. Hiilenpoistojen yhtenäinen laskennallinen määrittäminen on tärkeää myös siihen nähden, että erilaisia hiilenpoistotoimia kohdellaan vertaisina.³⁰³

³⁰⁰ Meyer-Ohlendorf et al. 2023, s. 26.

³⁰¹ Ks. esim. Meyer-Ohlendorf et al. 2023; Scherger – Sharma 2023.

³⁰² Meyer-Ohlendorf et al. mukaan hiilenpoistojen laskennallisessa määrittelyssä tulisi käyttää menetelmää, jossa hiilenpoisto lasketaan varovaisesti ja maltillisesti sen sijaan, että hiilenpoistot lasketaan tarkalla tavalla. Meyer-Ohlendorf et al. 2023, s. 23–24. Ks. myös McDonald et al. 2023, s. 8–9.

³⁰³ European Commission 2022b, s. 15.

4 DACCS-menetelmän yksityiskohtainen sääntely

4.1 CCS-direktiivin säännösten kehittäminen

Euroopan parlamentin ja neuvoston vuonna 2009 antaman direktiivin hiilidioksidin geologisesta varastoinnista voidaan katsoa olleen aikaansa edellä.³⁰⁴ Vaikka hiilidioksidin talteenotto ja varastointi (CCS) on kehittynyt useita vuosikymmeniä sitten,³⁰⁵ on Euroopassa CCS-menetelmän hyödyntäminen ollut olematonta ennen direktiivin laatimista.³⁰⁶ CCS-direktiivin ei myöskään merkittävästi muuttanut menetelmän tosiasiallista käyttöä Euroopassa.³⁰⁷ Mielenkiintoista onkin pohtia, kannustavatko direktiivin säännökset nykyisellään toiminnanharjoittajia ryhtymään CCS-menetelmää hyödyntävään toimintaan. CCS-direktiiviä on kritisoitu siitä, ettei se tarjoa toiminnanharjoittajille varmuutta etenkin vastuusäännösten kohdalla.³⁰⁸ ROAD -projektista (Rotterdam Capture and Storage Demonstration Project) saadut kokemukset kuitenkin osoittavat, että direktiivin säännösten toimivuudesta on päinvastaisiakin kokemuksia. ROAD -projekti toimii esimerkkinä siitä, että toiminnanharjoittajan on mahdollista täyttää CCS-direktiivin vaatimukset ja saada lupa hiilidioksidin varastoinnille.³⁰⁹ Kritiikin määrän ja laadun huomioon ottaen on kuitenkin tarpeen pohtia, onko ylipäätään tarkoituksenmukaista, että CCS-direktiivi ohjaa ja on mallina suoraan ilmasta talteenotetun hiilidioksidin ja sen varastoinnin sääntelyssä. Tässä luvussa pohditaan, miten CCS-direktiivin säännöksiä on tarpeen kehittää, jotta niissä huomioidaan asianmukaisella tavalla DACCS-menetelmän erityispiirteet.

CCS-direktiivin keskeisimmät säännökset sisältävät varastointiluvan saamista koskevat ehdot ja edellytykset sekä varastointiluvan myötä toiminnanharjoittajalle asetettavat oikeudet ja velvollisuudet. Keskiössä ovat myös vastuun siirtoa koskevat säännökset. Geologista

³⁰⁴ Weber 2018, s. 154.

³⁰⁵ IPCC 2005, s. 199; Global CCS Institute 2018; Loria – Bright 2021; Ozkan et al. 2022, s. 17.

³⁰⁶ Mielenkiintoista onkin, että CCS-direktiivi on laadittu niin sanotusti ennen kuin kyseistä teknologiaa tosiasiallisesti hyödynnettiin Euroopassa. Varsinaisten hiilenpoistomenetelmien sääntelyn voidaan taas katsoa olevan jäljessä teknologisesta valmiudesta. DACCS-menetelmää koskeva teknologia on sinänsä jo olemassa ja valmiina käytettäväksi, vaikkakin sen jatkokehittäminen on tarpeen, jotta menetelmää voidaan hyödyntää laajamittaisesti. Esimerkiksi Islannissa on jo toiminnassa DACCS-menetelmää hyödyntävä laitos Orca. Climeworks N.d. Orca.

³⁰⁷ Euroopassa on toiminnassa vasta kolme CCS-menetelmää hyödyntävää laitosta. Kujanpää et al. 2023, s. 47.

³⁰⁸ Ks. esim. Steeghs et al. 2014; Weber 2018.

³⁰⁹ ROAD -projekti on CCS-direktiivin nojalla ensimmäinen varastointiluvan saanut projekti. Projekti on kuitenkin jo päättynyt vuonna 2017. Steeghs et al. 2014; Toonssen 2018; Read et al. 2019.

varastointia koskeva toiminta jaetaan direktiivissä ajallisesti neljään eri vaiheeseen: ennakolliseen, toiminnanaikaiseen, sulkemiseen ja sulkemisen jälkeiseen aikaan.³¹⁰

Toiminnanharjoittajan edellytetään tekevän ennakollisesti varastointiluvan saamiseksi kattavan selvityksen potentiaalisen varastointipaikan soveltuvuudesta hiilidioksidin turvalliseen geologiseen varastointiin (7 artikla). Luonnollisesti varastointipaikkaan ei saa liittyä merkittävää vuotouhkaa tai muuta uhkaa ympäröivälle luonnolle tai ihmisten ja eliöiden terveydelle.³¹¹ Toiminnanharjoittajan on myös laadittava suunnitelma korjaavista toimenpiteistä, jotka toteutetaan mahdollisten vuotojen tai muiden häiriöiden ilmetessä. Lisäksi toiminnanharjoittajan tulee tehdä etukäteinen suunnitelma siitä, millaisilla toimenpiteillä varmistetaan ja seurataan varastoinnin vakautta ja pysyvyyttä sekä varastointipaikalla olevien laitteiden toimivuutta (13 artikla). Suunnitelma seurannasta ja korjaavista toimenpiteistä edellyttävät molemmat varastointipaikkaan ja hiilidioksidin injektointiin liittyvien riskien tunnistamista. Jotta toiminnanharjoittaja voi laatia seurantasuunnitelman, tulee tämän pystyä identifioimaan kyseiseen varastointipaikkaan liittyvät riskit. Myös korjaavat toimenpiteet tulee laatia nimenomaisesti mahdollisten riskien minimoimista ja rajaamista varten.³¹² Riskien tunnistaminen on siten avainasemassa siihen nähden, että toiminnanharjoittaja onnistuu laatimaan seurantaa ja korjaavia toimenpiteitä koskevat suunnitelmat asianmukaisesti ja saamaan luvan varastoinnille. Varastointipaikkaan kohdistuvien vaatimusten ohella vaatimuksia kohdistetaan myös toiminnanharjoittajaan: toiminnanharjoittajan taloudellisen tilanteen tulee olla vakaa. Toiminnanharjoittajan tulee myös olla muun muassa taidoiltaan pätevä ja kykeneväinen harjoittamaan hiilenvarastointitoimintaa (8 artikla).

Yksi ennakollisiin toimenpiteisiin liittyvä huolenaihe on se, että toiminnanharjoittajan edellytetään asettavan rahallisen vakuuden (19 artikla), mihin liittyy epävarmuutta.³¹³ Vakuus tulee asettaa sen vuoksi, että toiminnanharjoittajan laiminlyödessä varastointiluvan mukaisia velvollisuuksiaan siirtyy tosiasiallinen vastuu näistä velvollisuuksista toimivaltaiselle viranomaiselle, mikä tarkoittaa myös kustannusten siirtymistä viranomaisen vastuulle.³¹⁴ Komission mukaan rahallisen vakuuden ei edellytetä olevan tietyssä muodossa, vaan

³¹⁰ Weber 2018, s. 154.

³¹¹ European Commission 2011a, s. 4.

³¹² Steeghs et al. 2014, s. 6684.

³¹³ Ks. esim. Weber 2018, s. 155; Havercroft – Macrory 2014, s. 47.

³¹⁴ Ks. lisää European Commission 2011d, s. 10–11.

jäsenvaltio voi itse päättää, millaisen vakuuden se hyväksyy.³¹⁵ Toiminnanharjoittajan ei siis ole välttämätöntä tosiasiallisesti siirtää vakuutta suoraan jäsenvaltion hallintaan, vaan ratkaisuna voi olla esimerkiksi erilaiset takaukset, joissa varat luvataan jäsenvaltion käyttöön, mikäli toiminnanharjoittaja laiminlyö varastointiin liittyviä velvoitteitaan.³¹⁶ Huolena on, että toiminnanharjoittajan saatetaan edellyttää asettavan vakuudeksi valtavia summia.³¹⁷ Rahallisen vakuuden määrästä ei ole tarkempia säännöksiä, vaan artiklan sanamuodon mukaan vakuuden on oltava riittävä.³¹⁸ Taloudellinen rasite ei voi olla liian suuri, koska tällöin heikennetään hiilenpoistojen kannattavuutta ja horjutetaan vaadittavien hiilenpoistojen saavutettavuutta. Rasitetta voidaan pienentää siten, että pääsääntönä olisi jonkinlaisen takauksen tai vakuutuksen hankkiminen, ja vasta poikkeuksellisissa tilanteissa toimivaltainen viranomaisen voi edellyttää toiminnanharjoittajan siirtävän rahallisen vakuuden suoraan viranomaisen hallintaan.³¹⁹ Taloudellisen vakuuden määrässä tulee löytää tasapaino siinä, että vakuus on riskinäkökulmasta riittävä, mutta kuitenkin toiminnanharjoittajien näkökulmasta kannustava.

CCS-direktiivin geologisen varastoinnin ennakkollista vaihetta koskevien säännösten tavoitteena on varmistaa varastoinnin turvallisuus sekä ennakoida ja estää mahdolliset toiminnasta aiheutuvat riskit.³²⁰ Näihin tavoitteisiin nähden ennakkollisen vaiheen säännökset ovat sinänsä suhteellisen selkeitä ja asianmukaisia. CCS-direktiivin ennakkollista aikaa koskevat säännökset mahdollistavat tapauskohtaisen jouston. Tämä tarkoittaa, että viranomaisen ja hiilenvarastointia toteuttava toiminnanharjoittaja voivat keskenään sopia tapauskohtaisen arvioinnin perusteella tarkemmat edellytykset muun muassa siitä, miten toiminnanharjoittajan tulee täyttää seurantaa ja rahallista vakuutta koskevat vaatimukset.³²¹ Tämä voi olla sekä hyvä että huono asia. ROAD -projekti osoittaa, CCS-direktiivin suhteellisen tiukoista vaatimuksista huolimatta toiminnanharjoittajan on mahdollista päästä yhteisymmärrykseen toimivaltaisen viranomaisen kanssa toiminnanharjoittajalta vaadittavien toimenpiteiden laajuudesta.³²² Kysymyksessä on ainoastaan yksi projekti, joten yksiselitteisiä johtopäätöksiä ei voi tehdä, sillä CCS-menetelmän hyödyntäminen on EU:ssa muutoin edelleen vähäistä.³²³

³¹⁵ European Commission 2011d, s. 2–6.

³¹⁶ Ibid, s. 5.

³¹⁷ Havercroft – Macrory 2014, s. 35; Weber 2018, s. 155.

³¹⁸ Ks. lisää European Commission 2011d, s. 11–23.

³¹⁹ Komissio voisi kannustaa jäsenvaltioita tähän päivittämällä rahallista vakuutta koskevaa ohjeistustaan.

³²⁰ CCS-direktiivi, 1 artikla.

³²¹ Weber 2018, s. 161; Read et al. 2019, s. 11.

³²² Steeghs et al. 2014.

³²³ Ks. esim. Weber 2018, s. 156.

CCS-direktiivin tarjoamaa joustomahdollisuutta voitaisiin hyödyntää myös DACCS-menetelmää koskevissa varastointiluvissa. Liian tiukkojen velvoitteiden asettaminen ei kannusta DACCS-menetelmän käyttöön. Niillä heikennetään sekä komission asetusehdotuksen että CCS-direktiivin tavoitetta turvallisten hiilenpoistojen lisäämisestä. Tasapainon varmistaminen on tärkeää: toiminnanharjoittaja velvoitetaan varmistamaan ja suunnittelemaan turvallinen hiilidioksidin geologinen varastointi, mutta toisaalta ei vaikeuteta hiilenvarastointitoimintaa asettamalla toiminnanharjoittajille liian ankaria ehtoja. Kuten todettu, hiilidioksidin geologinen varastointi on hyvin turvallista ja vakaata.³²⁴ Koska geologinen varastointi tarjoaa hyvän varmuuden hiilidioksidin pysyvistä varastoinnista ja vuotojen todennäköisyydet ovat pieniä, tulisi toiminnanharjoittajalta edellytettävät toimet suhteuttaa tähän varmuuteen. Vaikka joustomahdollisuutta hyödynnetään, tulee toiminnanharjoittajia kohdella yhdenvertaisesti kunkin projektin erityispiirteet huomioiden. Joustomahdollisuuden ei ole myöskään tarkoitus aiheuttaa epävarmuutta. Kuten Read et al. ovat todenneet, jäsenvaltioiden mahdollisuudet määrittää kullekin projektille erilaiset vaatimukset saattavat vähentää hiilenvarastointitoimintaan liittyvää varmuutta, joka puolestaan heikentää taloudellisia investointeja ja hidastaa varastointia koskevan teknologian kehittämistä.³²⁵

Jotta CCS-direktiivin varastointiluvan saamista koskevat edellytykset näyttäytyisivät selkeämpinä ja saavutettavimpina toiminnanharjoittajille, on komission tärkeää huomioida direktiivin saama kritiikki ja vähintäänkin päivitettävä direktiiviä koskevia ohjeistuksiaan, jotta DACCS-menetelmä tulee tosiasiallisesti laajemmin hyödynnettäväksi EU:ssa kuin CCS-menetelmä.³²⁶ Toiminnanharjoittajilla on oltava selvillä heihin kohdistuvat odotukset ja vaatimukset, jotta hiilenpoistotoimintaa ylipäätään harkitaan.

Varsinaisen hiilenvarastointitoiminnan aikana toiminnanharjoittajalla on velvollisuus toteuttaa varastointilupahakemuksen yhteydessä laatimansa seurantasuunnitelman mukaista seurantaa ja varmistaa, että varastoitu hiilidioksidi käyttäytyy odotetulla tavalla ja että hiilidioksidi pysyy tosiasiallisesti eristettynä (13 artikla). Lisäksi hiilenvarastointia valvovalla viranomaisella on aktiivinen rooli ja CCS-direktiivi edellyttää avointa vuorovaikutusta valvovan viranomaisen ja

³²⁴ Global CCS Institute 2018.

³²⁵ Read et al. 2019, s. 11.

³²⁶ Komissio on antanut neljä eri ohjeistusta CCS-direktiivin tulkinnasta. European Commission 2011a–d. Tarve komission ohjeistuksien päivittämiseen on nostettu esille useissa yhteyksissä, mutta askeleita oikeustilan selkeyttämiseksi ei ole vielä otettu. Weber 2018, s. 161; Read et al. 2019, s. 10–11.

toiminnanharjoittajan välillä.³²⁷ Toiminnanharjoittajan on raportoitava viranomaiselle suorittamastaan seurannasta sekä todistettava, että rahallinen vakuus on edelleen voimassa (14 artikla). Toimivaltaisen viranomaisen tulee puolestaan arvioida toiminnanharjoittajan raportointia sekä tehdä säännöllisesti tarkastuksia varastointialueelle (15 artikla). Toiminnanaikaisia velvollisuuksia on myös toiminnanharjoittajan velvollisuus ryhtyä korjaaviin toimenpiteisiin niitä koskevan suunnitelman mukaisesti, mikäli ilmenee vuotoja tai muita merkittäviä häiriöitä (16 artikla). Merkittävällä häiriöllä tarkoitetaan varastointitoiminnassa tai -paikassa ilmenevää häiriötä, johon liittyy riski varastoidun hiilidioksidin vuotamisesta tai riski ympäristölle tai ihmisten terveydelle.³²⁸ Kyseessä ei siten ole ainoastaan velvollisuus ryhtyä jälkikäteisiin korjaaviin toimenpiteisiin, vaan myös ehkäiseviin toimiin.

Myös ympäristövastuudirektiivissä (2004/35/EY)³²⁹ asetetaan toiminnanharjoittajalle velvollisuus ryhtyä ehkäiseviin toimiin ympäristövahingon estämiseksi ja korjaaviin toimiin välittömästi, kun ympäristövahinko on tapahtunut.³³⁰ CCS-direktiivin korjaavia toimenpiteitä koskeva säännös ja ympäristövastuudirektiivin ehkäiseviä toimenpiteitä koskeva säännös vastaavat siten sisällöllisesti pitkälti toisiaan, vaikka CCS-direktiivin 16 artiklassa mainitaan ainoastaan korjaavat toimenpiteet.³³¹ CCS-direktiivin ohella geologista varastointia ja talteenotetun hiilidioksidin vuotamista koskevia vastuumekanismeja sisältyy päästökauppajärjestelmä- eli ETS-direktiiviin (2003/87/EY)³³², jota sovelletaan komission mukaan myös hiilenpoistomenetelmiin, joissa hiilidioksidi varastoidaan geologisesti.³³³ Mikäli vuotoja tapahtuu, tulee toiminnanharjoittajan palauttaa vuotoa vastaava määrä päästöoikeuksia ETS-direktiivin edellyttämällä tavalla.³³⁴ Edellä mainitut toiminnanaikaiset velvollisuudet ovat välttämättömiä ja tarpeellisia, sillä toiminnanharjoittajalla tulee olla velvollisuus ehkäistä ja minimoida kaikenlaisia varastointitoiminnan aiheuttamia vahinkoja.

³²⁷ European Commission 2011b, s. 114–116.

³²⁸ CCS-direktiivi, 3 artikla 1 kohta 17 alakohta.

³²⁹ Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2004/35/EY, annettu 21 päivänä huhtikuuta 2004, ympäristövastuusta ympäristövahinkojen ehkäisemisen ja korjaamisen osalta. CCS-direktiivin johdanto-osan 30 kohdan mukaan ympäristövastuudirektiiviä sovelletaan CCS-direktiivin soveltamisalaan kuuluvien varastointipaikkojen käyttöön.

³³⁰ Ympäristövastuudirektiivi, 5 ja 6 artikla.

³³¹ Weber 2018, s. 160.

³³² Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2003/87/EY, annettu 13 päivänä lokakuuta 2003, kasvihuonekaasujen päästöoikeuksien kaupan järjestelmän toteuttamisesta unionissa ja neuvoston direktiivin 96/61/EY muuttamisesta.

³³³ European Commission 2022b, s. 17.

³³⁴ Havercroft – Macrory 2014, s. 46; Weber 2018, s. 154.

Merkittävin CCS-direktiiviin kohdistuva kritiikki liittyy sulkemista ja sulkemisen jälkeistä aikaa koskeviin säännöksiin.³³⁵ Varastointipaikka suljetaan kolmessa tapauksessa (17 artikla). Varastointipaikka suljetaan ensinnäkin silloin, kun toiminnanharjoittaja on täyttänyt varastointiluvassa määritellyt sulkemisehdot. Sulkemisehtojen täyttäminen on luonnollisesti tavoitteena kaikissa varastointiprojekteissa. Toiseksi varastointipaikka voidaan sulkea, jos toiminnanharjoittaja sitä perustellusti pyytää ja toimivaltainen viranomainen suostuu tähän pyyntöön. Silloin, kun varastointipaikka suljetaan näiden tilanteiden perusteella, vastaa toiminnanharjoittaja direktiivin mukaisista vaatimuksista niin kauan, kunnes vastuu on siirretty toimivaltaiselle viranomaiselle. Vastuu ei siten siirry automaattisesti varastointipaikan sulkemisen yhteydessä. Kolmas tilanne, jolloin varastointipaikka tulee sulkea, on varastointiluvan peruuttaminen. Varastointilupa on peruutettava, jos esimerkiksi ilmenee, ettei toiminnanharjoittaja ole noudattanut varastointilupaehtoja tai jos on ilmennyt riski vuotoihin tai muihin häiriöihin. Kun lupa peruutetaan, toimivaltaisen viranomaisen tulee päättää, myönnetäänkö varastoinnille uusi lupa vai suljetaanko varastointipaikka kokonaan (11 artikla 4 kohta). Kun varastointipaikka suljetaan luvan peruuttamisen seurauksena, siirtyy vastuu seuranta ja korjaavia toimenpiteitä koskevien velvoitteiden suorittamisesta välittömästi toimivaltaiselle viranomaiselle. Entinen toiminnanharjoittaja kuitenkin vastaa tällöin edelleen kaikkien velvollisuuksien aiheuttamista kustannuksista (17 artikla 5 kohta).

Vastuun siirtymisessä toiminnanharjoittajalta toimivaltaiselle viranomaiselle on kysymys varastointipaikan sulkemisen jälkeisestä ajasta. Varastointipaikan suljettua kahden ensimmäisen edellä mainitun kohdan perusteella, siirretään kaikki toiminnanharjoittajalla olevat vastuut toimivaltaiselle viranomaiselle. Siirrolle on kuitenkin asetettu lisäedellytyksiä. Ensinnäkin CCS-direktiivi edellyttää, että seuranta osoittaa varastoidun hiilidioksidin olevan pysyvästi eristettynä.³³⁶ Toiminnanharjoittajan tulee osoittaa näytön perusteella, ettei varastoinnista ole havaittu vuotoja viimeisen 10 vuoden aikana ennen vastuun siirtoa, varastoitu hiilidioksidi käyttäytyy todistetusti ennalta odotetun tavoin ja varastointipaikka vakaus kehittyi kohti pitkäkestoista vakautta.³³⁷ Näytön tulee perustua erinäisiin mallinnuksiin, jotka ovat muutoinkin kuuluneet toiminnanharjoittajan velvollisuuksiin suorittaa seuranta varastoinnin pysyvyydestä.³³⁸ Toiseksi vastuunsiirrolle on määritelty 20 vuoden vähimmäisaika. Vastuu

³³⁵ Weber 2018.

³³⁶ CCS-direktiivi, 18 artikla 1 kohdan a alakohta.

³³⁷ CCS-direktiivi, 18 artikla; European Commission 2011c, s. 4–11. Ks. myös Weber 2018, s. 157–158.

³³⁸ European Commission 2011c, s. 8.

voidaan siirtää toiminnanharjoittajalta toimivaltaiselle viranomaiselle aikaisintaan 20 vuoden kuluttua siitä, kun varastointipaikka on suljettu ja toiminnanharjoittaja on täyttänyt direktiivissä määritellyt velvollisuutensa. Tähän vähimmäisaikaan on kuitenkin poikkeus. Mikäli toimivaltainen viranomainen on vakuuttunut toiminnanharjoittajan toimittaman näytön perusteella siitä, että hiilidioksidi on pysyvästi eristettynä, ei 20 vuoden määräaika edellytetä sovellettavaksi.³³⁹ Kolmas edellytys vastuun siirrolle on, että toiminnanharjoittaja antaa toimivaltaiselle viranomaiselle taloudellisen vakuuden, koska toimivaltaiselle viranomaiselle saattaa aiheutua erilaisia kuluja vastuun siirron jälkeen, kuten esimerkiksi varastoinnin seurantakustannukset. Vakuuden tulee olla lähtökohdiltaan niin suuri, että se kattaa vähintään 30 vuoden seurantakustannukset.³⁴⁰ Viimeinen edellytys vastuun siirrolle on, että hiilidioksidin injektointilaitteet on purettu ja varastointipaikka on sinetöity.³⁴¹

Merkittävä ongelma vastuunsiirrossa on, että toimivaltaisella viranomaisella on valta päättää, kuinka pitkä vähimmäisaika vastuun siirrolle asetetaan.³⁴² Tämä tarkoittaa, että vaikka viranomainen on vakuuttunut, että hiilidioksidi on pysyvästi eristettynä, voidaan silti soveltaa 20 vuoden tai jopa pidempää määräaika vastuun siirrolle.³⁴³ Sekä Weber että Read et al. ovatkin todenneet, että periaatteessa on mahdollistua, että vastuun siirtoa lykätään loputtomasti.³⁴⁴ Toimivaltaisella viranomaisella, eli toisin sanoen valtiolla, on luonnollisesti intressi siihen, ettei vastuuta siirretä, ennen kuin kaikki todisteet viittaavat hiilidioksidin varastoinnin pysyvyyteen. Se, mitä kaikilla todisteilla tarkoitetaan, saattaa kuitenkin muodostua ongelmaksi. Halukkuutta vastuun siirrolle saattaa tulevaisuudessa heikentää myös se, että hiilenpoistojen lisäämisen myötä lisääntyy myös varastoitavan hiilidioksidin määrä,³⁴⁵ jolloin valtioille saattaa aiheutua hyvinkin merkittävä määrä vastuuta. Koska vastuun siirrolle ei ole asetettu ylärajaa, on periaatteessa mahdollista, että toimivaltainen viranomainen vastuuta välttääkseen siirtää vastuun siirtoa loputtomasti. Komissio on todennut, että onnistunut vastuun siirto riippuu ensinnäkin siitä, millaiset ehdot siirrolle on hyväksytty varastointiluvassa ja toiseksi siitä, että varastointi on näyttäytynyt turvallisena ja vakaana alusta alkaen.³⁴⁶

³³⁹ European Commission 2011b, s. 14.

³⁴⁰ European Commission 2011d; Weber 2018, s. 159.

³⁴¹ European Commission 2011c, s. 14–15.

³⁴² Ibid, s. 14.

³⁴³ Ibid, s. 13–14.

³⁴⁴ Weber 2018, s. 156; Read et al. 2019, s. 10. Ks. myös European Commission 2011c, s. 4.

³⁴⁵ Tämänhetkiset hiilenpoistotavoitteet ennakoivat merkittävää lisäystä hiilen geologiseen varastointiin.

³⁴⁶ European Commission 2011c, s. 3–4.

Tosiasiallisesti vastuun siirto riippuu näiden lisäksi pitkälti toimivaltaisesta viranomaisesta ja tämän halukkuudesta ottaa vastuu itselleen.

Vastuun siirtoa koskevat säännökset saattavat siten muodostua ongelmaksi DACCS-menetelmän näkökulmasta, koska liian ankarat ehdot eivät kannusta toiminnanharjoittajia ryhtymään hiilenpoistoihin menetelmää hyödyntäen, mikäli toiminnanharjoittajilla on pelko, etteivät he voi koskaan saavuttaa vastuun siirtämisen edellytyksiä tai saamaan toimivaltaisen viranomaisen hyväksyntää siirrolle.³⁴⁷ Vastuun siirtoa koskevia säännöksiä on tarpeen tarkentaa nykyistä selkeämmiksi ja ennakoitavimmiksi, jotta toiminnanharjoittajat voivat luottaa siihen, että vastuu siirtyy ehtojen täytyessä. Kuitenkin vastuusäännösten tulee olla sellaisia, että niillä varmistetaan varastoinnin vakaus ja pysyvyys ennen ja jälkeen mahdollisen vastuun siirron toiminnanharjoittajalta valtiolle. Vastuusäännösten asianmukaisuus on avainasemassa siinä, että DACCS-menetelmän sääntelyssä onnistutaan huomioimaan ja ennakoimaan tämän tutkielman 2.2.2 luvussa esitellyt menetelmään liittyvät riskit ja haasteet.

Vastuun siirtoa koskevia säännöksiä voidaan selkeyttää kolmella vaihtoehtoisella tavalla. Kahdessa ensimmäisessä tavassa muutetaan vastuun siirron vähimmäisaikaa koskevaa säännöstä, koska tällä hetkellä CCS-direktiivin 18 artiklan mukainen 20 vuoden vähimmäisaika ei sido toimivaltaista viranomaista, vaan viranomaisella on oikeus asettaa vastuun siirrolle miten pitkä aika tahansa.³⁴⁸ Ennakoitavuutta ja varmuutta lisäisi ensinnäkin se, että säännöksessä todetaan, että kaikkien todisteiden viitatessa hiilidioksidin pysyvään eristyvyYTEEN, vastuun siirtoa ei saa lykätä tietyn ajan yli, joka voisi esimerkiksi olla nykyinen direktiivin mukainen 20 vuotta. Vastuun siirrolle ei näin ollen olisi enää vähimmäis- vaan enimmäisaika. Toinen vaihtoehto, joka mahdollistaisi sinänsä vähimmäisajan säilyttämisen, olisi muuttaa artiklaa siten, että toimivaltaisen viranomaisen sijaan vastuun siirtämisestä päättäisi jokin kolmas taho, esimerkiksi EU-toimielin tai -erillisvirasto, jonka tehtävänä olisi arvioida, täyttyykö edellytys, jonka mukaan hiilidioksidin tulee pysyä ”täysin ja pysyvästi eristettynä” (18 artikla 1 kohta b alakohta). Näin varmistettaisiin puolueettomuus vastuun siirrossa, koska toimivaltainen viranomainen ei voisi kieltäytyä vastuun siirtämisestä, mikäli edellä mainittu taho toteaa vastuun siirron edellytyksen täyttyvän. Tämän pyrkimyksen täyttäisi myös kolmas tapa, jossa viranomaisen edellytetään antavan siirron edellytysten täyttymisestä

³⁴⁷ Ks. esim. Havercroft – Macrory 2014, s. 38; Weber 2018, s. 155; Read et al. 2019, s. 10–11; Havercroft 2019.

³⁴⁸ European Commission 2011c, s. 13–14.

toiminnanharjoittajalle valituskelpoinen päätös. Tämä tarkoittaisi sitä, että toimivaltaisen viranomaisen tulisi antaa valituskelpoinen päätös, mikäli toiminnanharjoittaja ehdottaa tälle vastuun siirtoa. Toiminnanharjoittajalla olisi tällöin mahdollisuus riitauttaa päätös, mikäli se katsoo, että vastuun siirron edellytykset täyttyvät, mutta viranomainen on asiasta eri mieltä.

Sen lisäksi, että toimivaltaisella viranomaisella on valta päättää vastuun siirrosta, saattaa toiminnanharjoittajalle aiheutua myös yllättäviä ongelmia liittyen velvollisuuteen antaa rahoitusosuus toimivaltaiselle viranomaiselle ennen vastuun siirtoa (20 artikla). Rahoitusosuuden ”on katettava vähintään ennakoidut seurantakustannukset 30 vuoden ajaksi”.³⁴⁹ Huolestuttavana voidaan erityisesti pitää sitä, ettei toiminnanharjoittaja voi toimintaa aloittaessaan tietää, mihin ennakoidut seurantakustannukset asettuvat vuosikymmenten saatossa. Koska hiilentalteenotto ja -varastointitoiminta on hyvin pitkä prosessi, saattaa kulua useita vuosikymmeniä projektin aloittamisesta vastuun siirtoon – komission mukaan jopa 50–70 vuotta.³⁵⁰ Tässä ajassa kustannukset voivat nousta merkittävästikin. Rahoitusosuuteen liittyvä taloudellinen epävarmuus vähentää jälleen mahdollisten toiminnanharjoittajien halukkuutta ryhtyä hiilenpoisto- ja varastointihankkeisiin.³⁵¹

Direktiivin sanamuodon mukaan 30 vuoden seurantakustannukset ovat vähimmäisvaatimus, eli toimivaltainen viranomainen voi edellyttää toiminnanharjoittajaa antamaan tätä suuremman rahoitusosuuden, esimerkiksi ennakoidut seurantakustannukset 50 vuoden ajalta.³⁵² Voidaan pohtia, onko jo vaatimus 30 vuoden seurantakustannuksista ylimitoitettu geologisen varastoinnin turvallisuuteen ja varmuuteen nähden, puhumattakaan vielä suuremmista kustannuksista. Mikäli hiilen injektoinnin jälkeen ei ole ollut minkäänlaisia viitteitä tapahtuneesta vuodosta tai muusta häiriöstä on pohdittava, kuinka aktiivista seurannan on tarkoituksenmukaista olla, erityisesti jos injektoinnin lopettamisesta on jo kulunut pitkän aikaa. Esimerkiksi Read et al. ovat katsoneet, että suurin vuotoriski geologisessa varastoinnissa liittyy siihen hetkeen, kun hiilidioksidi injektoidaan sille tarkoitettuun varastoon. Tämän jälkeen vuotojen todennäköisyys on hyvin olematon.³⁵³

³⁴⁹ CCS-direktiivi, 20 artikla 1 kohta. Ks. myös European Commission 2011d, s. 41.

³⁵⁰ Esimerkiksi komissio on todennut, että yksittäiseen hiilenvarastointihankkeeseen saattaa kulua jopa 50-70 vuotta, ennen kuin vastuu siirretään. European Commission 2011a, s. 3.

³⁵¹ Ks. esim. Read et al. 2019, s. 11.

³⁵² Ks. esim. European Commission 2011d, s. 43; Havercroft – Macrory 2014, s. 48; Read et al. 2019, s. 11.

³⁵³ Read et al. 2019, s. 10. Ks. myös Global CCS Institute 2018.

CCS-direktiivin 20 artiklan 2 kohdassa todetaan, että komissio voi laatia suuntaviivoja rahoitusosuuden arvioimiseksi. Näiden suuntaviivojen tarkoituksena on lisätä avoimuutta ja ennakoitavuutta erityisesti toiminnanharjoittajien kannalta. Tässä tapauksessa olisikin tarpeellista, että CCS-direktiivin vastuusäännösten laajentuessa DACCS-menetelmän geologiseen varastointiin, komissio antaisi uudet suuntaviivat, jossa tarkasteltaisiin toiminnanharjoittajan rahoitusosuuteen liittyvän rasiitteen tarkoituksenmukaisuutta. Varsinkin tulevaisuudessa, hiilidioksidin geologisen varastoinnin varmuuden edelleen kasvaessa, on tarpeen arvioida, kuinka pitkä optimaalinen seuranta-aika on. Ei ole järkevää tai tarpeenmukaista käyttää resursseja ylimääräiseen seurantaan, erityisesti jos nämä resurssit voidaan osoittaa uusiin hiilenpoistohankkeisiin. Tässä tutkielmassa ei oteta kantaa siihen, kuinka kauan seuranta on tosiasiallisesti tarpeen tehdä, jotta voidaan huolehtia hiilenvarastoinnin turvallisuudesta. Komission on kuitenkin tarpeen tarkastella CCS-direktiivin säännöksiä säännöllisesti, kun varmuus hiilidioksidin geologisesta varastoinnista kasvaa edelleen, jotta voidaan optimoida sekä varastoinnin turvallisuus että hiilenpoistojen laajuus. Direktiivin voimaantulosta on kulunut jo nyt lähes 15 vuotta, jonka aikana varastointia koskeva tutkimus, ja sitä myöten luottamus geologisen varastoinnin pysyvyyteen on lisääntynyt.³⁵⁴ Vastuun siirron jälkeen 30 vuotta kestävä toimivaltaisen viranomaisen suorittama seuranta saattaa siten olla tarpeettoman pitkä aika geologisen varastoinnin vakauteen nähden.

Kun käsitys geologisen varastoinnin turvallisuudesta kasvaa edelleen, voidaan pohtia, olisiko tarkoituksenmukaisin ratkaisu perustaa esimerkiksi yhteinen taloudellinen turvajärjestelmä, jota hallinnoi kukin toimivaltainen viranomainen omalla alueellaan, jonne alueella hiilenvarastointitoimintaa suorittavat toiminnanharjoittajat toimittaisivat CCS-direktiivin 20 artiklan mukaisen rahoitusosuuden ennen vastuun siirtoa. Rahoitusosuus voi siten olla kunkin toiminnanharjoittajan kohdalla pienempi, kuin tällä hetkellä edellytetään. Tällainen ratkaisu, jossa yksittäisen toiminnanharjoittajan rahoitusosuus on suhteellisen pieni, toimisi tilanteessa, jossa todennäköisyys injektoinnin jälkeisille vuodoille olisi miltei olematon, koska vuodon tai muun häiriön sattuessa voitaisiin korjauskustannukset kattaa esimerkiksi yhteisestä rahastosta. Yhteisellä taloudellisella turvajärjestelmällä varmistettaisiin ensinnäkin se, ettei yksittäiselle toiminnanharjoittajille aseteta velvollisuutta antaa toimivaltaiselle viranomaiselle epätarkoituksenmukaisen suurta rahoitusosuutta. Toisaalta varmistetaan edelleen se, ettei

³⁵⁴ Global CCS Institute 2018.

vastuun siirron jälkeen tapahtuneiden vahinkojen korjaaminen kuluta kohtuuttomasti valtion, eli toisin sanoen kansalaisten varoja.³⁵⁵

CCS-direktiivin ei voi nähdä sellaisenaan soveltuvan aikaan, jolloin hiilenpoistoja tulee lisätä merkittävästi, jotta voidaan saavuttaa sekä EU:n tavoite hiilineutraaliudesta vuoteen 2050 mennessä sekä rajoittaa ilmaston lämpeneminen 1,5 celsiusasteeseen esiteolliseen aikaan verrattuna. DACCS-menetelmällä vaadittavia hiilenpoistoja ei voida saavuttaa, mikäli sääntelykehys ei ole suotuisa toiminnanharjoittajille. Hiilidioksidin geologista varastointia koskevassa sääntelyssä tulee pyrkiä löytää tasapaino varastoinnin turvallisuuden ja hiilenvarastointitoiminnan kannattavuuden välillä. Tällä hetkellä CCS-direktiivin säännökset sisältävät toiminnanharjoittajien kannalta sen verran epävarmuutta, ettei sääntelyilmapiiri ole suotuisa suoraan ilmasta talteenottavaa hiilidioksidia ja sen varastointia koskevan teknologian käyttöönottamiseksi ja edistämiseksi.

4.2 DACCS-menetelmän tulevan sääntelyn yksityiskohtaistaminen

Edellisessä luvussa on ehdotettu, miten CCS-direktiivin säännöksiä olisi tarpeen kehittää, jotta geologista varastointia koskevat säännökset olisivat asianmukaisia DACCS-menetelmään nähden. Komissio ei ole asetusehdotuksessaan nostanut esille nimenomaisesti suoraan ilmasta talteenottavien laitosten toimintaan soveltuvia säännöksiä. Tässä luvussa pyritään antamaan konkreettisia ehdotuksia DACCS-menetelmän tulevan sääntelyn yksityiskohtaistamiseksi ja kehittämiseksi siltä osin, kun näistä asioista ei säädetä edellisessä luvussa käsitellyssä CCS-direktiivissä. Ehdotus heijastuu luvuissa 2.2.3.1–2.2.3.3. esiin tuotuihin tekijöihin, jotka tulevat ottaa huomioon suoraan ilmasta talteenotettavan hiilidioksidin ja sen varastoinnin sääntelyssä.

Yksi sääntelyn tavoitteisiin ja hiilenpoistojen tarkoitukseen nähden merkittävä tekijä, joka täytyy ottaa yksityiskohtaisemmin huomioon DACCS-menetelmän sääntelyssä on se, että toiminnanharjoittajalla tulee olla velvollisuus varmistaa hiilenpoiston pysyvyys.³⁵⁶ Varsinaisesta hiilenpoistosta on kysymys ainoastaan silloin, kun varmistetaan, ettei kertaalleen poistettu hiilidioksidi vapaudu uudestaan ilmakehään.³⁵⁷ Koska komission asetusehdotus ei aseta toiminnanharjoittajalle velvollisuutta pyrkiä pysyvään hiilenpoistoon, tulee tämä tehdä

³⁵⁵ Ks. esim. Meyer-Ohlendorf et al. 2023, s. 11.

³⁵⁶ Ibid, s. 22.

³⁵⁷ IEA 2022c, s. 46.

DACCS-menetelmän yksityiskohtaisessa sääntelyssä. DACCS-menetelmän sääntelyssä tulee siten ensinnäkin huolehtia siitä, että toiminnanharjoittaja velvoitetaan suunnittelemaan varastointi pysyväksi ja huolehtimaan sen käytännön toteutumisesta. Vaikka lähtökohtana usein pidetään geologisen varastoinnin pysyvyyttä,³⁵⁸ niin toiminnanharjoittajalle tulee asettaa oikeudellinen velvollisuus varmistaa, että varastointipaikka soveltuu tosiasiallisesti tuhansien vuosien varastointiin. Asetusehdotuksen nykyinen tavoite pitkäaikaisvarastoinnista ei ole riittävä edellytys. Lisäksi tavoitteeseen liittyy epävarmuutta, koska pitkäaikaisuutta voi tulkita monella eri tavalla.³⁵⁹

Sen lisäksi, että DACCS-menetelmän yksityiskohtaisessa sääntelyssä toiminnanharjoittaja tulee velvoittaa varmistamaan varastoinnin pysyvyys, tulee määrittää yksityiskohtaisemmin, mitä pysyvyydellä tarkoitetaan. Hiilidioksidin pysyvä varastointi tulee näkemykseni mukaan määrittää siten, että sillä tarkoitetaan aikaa, jonka hiilidioksidin arvioidaan tieteelliseen konsensuksen mukaan säilyvän ilmakehässä.³⁶⁰ Tällaisen määritelmän ohella pysyvyydelle tulee asettaa tietty minimiaika, jonka ajan varaston täytyy vähintäänkin pitää talteenotettu hiilidioksidi eristettynä, joka voi olla esimerkiksi viisi tuhatta vuotta.³⁶¹ Näin pysyvyyden määritelmä perustuisi viimeisimpään tieteellisesti saatuun tietoon, mutta kuitenkin huolehdittaisiin, että toiminnanharjoittajat velvoitetaan suunnittelemaan ja huolehtimaan varastointipaikan soveltumisesta tarpeeksi pitkään varastointiin.

Pysyvyyteen liittyy myös sertifikaatin voimassaolo, sillä komissio on todennut asetusehdotuksessaan, että sertifikaatin voimassaolo tulee sitoa siihen aikaan, jonka hiilidioksidi pysyy eristettynä. Silloin, kun toiminnanharjoittaja on tosiasiallisesti velvoitettu huolehtimaan pysyvästä varastoinnista, joka tämän hetken käsityksen mukaan on siten tuhansia vuosia, tulee myös sertifikaatti DACCS-menetelmää hyödyntävälle toiminnalle myöntää pysyväksi. DACCS-menetelmän yksityiskohtaiseen sääntelyyn tulee kuitenkin sisällyttää säännökset tilanteista, jolloin sertifiointi voidaan peruuttaa.

Suoraan ilmasta talteenotetun hiilidioksidin varastointiin kohdistetaan tulkintani mukaan seurantajakso, jonka aikana toiminnanharjoittajan vastuulla on seurata hiilen varastoinnin

³⁵⁸ Näin myös komission asetusehdotuksessa. European Commission 2022b, s. 16–17.

³⁵⁹ Ks. esim. Meyer-Ohlendorf et al. 2023, s. 25.

³⁶⁰ Ibid, s. 10.

³⁶¹ IPCC:n mukaan hiilidioksidin varastointi geologisesti tarkoittaa yli kymmenen tuhannen vuoden varastointia. IPCC 2022a.

vakautta.³⁶² Komission mukaan seurantajakson pituus määritetään kullekin hiilenpoistomenetelmälle erikseen.³⁶³ Koska CCS-direktiivin vastuusäännökset soveltuvat DACCS-menetelmään sellaisenaan, vaikuttaa epävarmalta, mikä suhde seurantajakson ja CCS-direktiivin säännösten välillä on. DACCS-menetelmän yksityiskohtaisessa sääntelyssä on selkeyden vuoksi tarpeen määrittää seurantajakson pituus. Seurantajaksoa koskevassa säännöksessä voidaan todeta, että seurantatoimenpiteillä tarkoitetaan CCS-direktiivin 13 artiklan mukaisia toimenpiteitä, joista toiminnanharjoittaja ja toimivaltainen viranomainen sopivat varastointiluvan yhteydessä laaditussa seurantasuunnitelmassa. Lisäksi korjaavia ja ehkäiseviä toimenpiteitä koskien voidaan seurantajaksoa koskevassa säännöksessä vastaavasti viitata toimenpiteisiin, joista säädetään CCS-direktiivin 16 artiklassa, ympäristövastuudirektiivin 5 ja 6 artiklassa ja ETS-direktiivin 12 artiklassa. Seurantajakson pituus tulee DACCS-menetelmän yksityiskohtaisessa sääntelyssä liittää toiminnanharjoittajalla CCS-direktiivin nojalla olevaan vastuun pituuteen. Toisin sanoen seurantajakso päättyy silloin, kun vastuu siirtyy toiminnanharjoittajalta toimivaltaiselle viranomaiselle. Tämä selkeyttäisi osaltaan hiilidioksidin varastointiin liittyviä vastuusäännöksiä, kun DACCS-menetelmän sertifiointia koskevassa yksityiskohtaisessa sääntelyssä asetetaan toiminnanharjoittajalle velvollisuus seurantaan (seurantajakso), jonka pituus ja vastuut määräytyvät kuitenkin CCS-direktiivin säännösten nojalla.

DACCS-menetelmän laajamittaisen käyttöönoton mahdollistaminen edellyttää, että menetelmään liittyviä teknologioita, erityisesti suoraan ilmasta hiiltä talteenottavia menetelmiä, voidaan kehittää. DACCS-menetelmän kehitysmahdollisuudet onkin arvioitu merkittäviksi,³⁶⁴ ja näin ollen on tärkeää, ettei menetelmän sääntelyllä rajoiteta tätä kehitysmahdollisuutta. Hiilenpoistomenetelmien ja hiilenpoistossa hyödynnettävien menetelmien paras kehitys saavutetaan silloin, kun nämä kehittyvät markkinaehtoisesti, jolloin mahdollistetaan vapaa innovaatiokehitys.³⁶⁵ Vapaan kehityksen varmistamiseksi DACCS-menetelmän sääntelyn tulee olla teknologianeutraalia. Teknologianeutraalius toteutetaan käytännössä siten, että DACCS-menetelmän sääntelyssä ei rajoiteta menetelmän käyttöä tiettyihin tällä hetkellä käytössä oleviin menetelmiin, eli ei esimerkiksi todeta, että DACCS-menetelmästä on kyse ainoastaan silloin kun hiilidioksidi poistetaan suoraan ilmasta tietyllä, esimerkiksi kiinteä- tai

³⁶² Meyer-Ohlendorf et al. ovat päätyneet päinvastaiseen tulkintaan.

³⁶³ European Commission 2022b, s. 16.

³⁶⁴ Ks. esim. European Commission 2018, s. 190.

³⁶⁵ Global CCS Institute 2022a.

liuotinpohjaisella, menetelmällä. Näin mahdollistetaan uusien menetelmien kehittyminen ja hyödyntäminen sekä huolehditaan siitä, ettei sääntely jää jälkeen teknologiakehityksestä.

Teknologianeutraaliuden ohella DACCS-menetelmän yksityiskohtaisen sääntelyn tulee sisältää parhaan käytettävissä olevan tekniikan periaatteen (BAT), jotta DACCS-menetelmän käytöstä aiheutuvat negatiiviset ympäristövaikutukset voidaan minimoida. Teknologianeutraalius ja parhaan käytettävissä olevan tekniikan periaate kytkeytyvät toisiinsa.³⁶⁶ Parhaan käytettävissä olevan tekniikan hyödyntämisellä varmistetaan se, että hiilenpoistolaitoksen toiminnalla voidaan ehkäistä tai vähentää toiminnasta johtuvaa ympäristön pilaantumista ja päästöjen syntymistä.³⁶⁷ Velvoite käyttää parasta käytettävissä olevaa tekniikkaa osaltaan edellyttää toiminnanharjoittajia käyttämään hiilenpoistojen toteuttamisessa menetelmää, joka aiheuttaa mahdollisimman vähän kasvihuonekaasupäästöjä. Tämä käytännössä tarkoittaa uusiutuvalla energialla toimivan menetelmän, eli tällä hetkellä kiinteäpohjaisen menetelmän, hyödyntämistä.³⁶⁸ Tämä on tarkoituksenmukaista myös sen perusteella, että fossiilisilla polttoaineilla tuotettujen energianlähteiden käyttäminen hiilenpoistojen toteuttamisessa on vastoin hiilenpoistojen tarkoitusta, koska tällöin hiilidioksidia myös päästetään ilmakehään. Kokonaisyödyn optimoinnin kannalta DACCS-menetelmän tulee itsessään aiheuttaa mahdollisimman vähän haittoja saavutettavaan hyötyyn nähden. Parhaan käytettävissä olevan tekniikan periaate kasvattaa myös DACCS-menetelmästä saatavaa kokonaisyötyä.³⁶⁹ Näillä perusteilla katson, että DACCS-menetelmän yksityiskohtaisessa sääntelyssä tulee edellyttää sellaisen hiilidioksidin talteenottomenetelmän käyttämistä, jonka käytöstä aiheutuu vähiten päästöjä ja ympäristön pilaantumista.

Monet DACCS-menetelmän sääntelyn tarkennusehdotuksista liittyvät hiilenpoistotoiminnan jälkimmäiseen vaiheeseen, eli talteenotetun hiilidioksidin varastointiin. DACCS-menetelmän toinen keskeisin tekijä, eli itse hiilenpoistotoiminta vaatii myös täsmennystä menetelmän sääntelyssä. Hiilenpoistolaitoksen toiminnasta saattaa aiheutua samoja ympäristö- ja ilmastoriskejä, kuin varastointipaikan toiminnasta. DACCS-menetelmän merkittävä hyöty

³⁶⁶ Ks. esim. Giljam 2018, s. 236.

³⁶⁷ Teollisuuden päästöistä annettu direktiivi 2010/75/EU, 3 artikla 10 alakohta; OECD 2020.

³⁶⁸ Institute for Carbon Removal Law and Policy 2018; Committee on Developing a Research Agenda for Carbon Dioxide Removal and Reliable Sequestration et al. 2019, s. 224; Ozkan et al. 2022, s. 16.

³⁶⁹ IEA 2022c, s. 36–37.

kuitenkin on, että hiiltä talteenottava laitos voidaan periaatteessa sijoittaa minne tahansa.³⁷⁰ Hiilidioksidin talteenottolaitoksen ympäristövaikutukset pystytään huomioimaan parhaiten suorittamalla ympäristövaikutusten arviointi. Ympäristövaikutusten arviointimenettelyä koskevan direktiivin 2011/92/EU (YVA-direktiivi)³⁷¹ liitteeseen I on lisätty CCS-direktiivin voimaantulon myötä CCS-direktiivin mukaiset geologiset varastointipaikat, geologista varastointia varten rakennetut hiilidioksidin kuljetusputket sekä hiiltä talteenottavat laitokset, joista talteenotettu hiilidioksidi varastoidaan geologisesti.³⁷² Tällä perusteella myös DACCS-menetelmän hiilentalteenottolaitos, mahdolliset hiilidioksidin kuljetusputket ja varastointipaikka ovat YVA-direktiivin 4 artiklan 1 kohdan nojalla arvioitava direktiivin 5–10 artiklojen mukaisesti. DACCS-menetelmän yksityiskohtaisessa säännöksessä tulee nimenomaisesti viitata YVA-direktiiviin, ja päinvastoin, jotta sääntely on selkeää.

Joustavuus talteenottolaitoksen sijoittamisesta mahdollistaa sen, että DACCS-menetelmän yksityiskohtaisessa sääntelyssä voidaan ensisijaisesti velvoittaa talteenottolaitoksen sijoittaminen varastointipaikan välittömään läheisyyteen. Näin menetellen pienennetään hiilidioksidin kuljettamisen aiheuttamaa riskiä sekä kustannuksia, jotka liittyvät hiilidioksidin kuljettamiseen.³⁷³ Mikäli ympäristövaikutusten arviointimenettelyssä kuitenkin ilmenee, että varastointipaikan välittömään yhteyteen sijoitettava laitos aiheuttaisi joillain tavalla negatiivisia vaikutuksia ympäröivälle alueelle tai alueella oleville ihmisille tai eliöille, tulee tällöin laitos sijoittaa muualle, ja kuljettaa talteenotettu hiilidioksidi varastointipaikalle. Menetelmän yksityiskohtaiseen sääntelyyn tulee siten sisällyttää säännös, jossa toiminnanharjoittaja veloitetaan ensisijaisesti sijoittamaan suoraan ilmasta hiilidioksidia talteenottava laitos potentiaalisen varastointipaikan välittömään läheisyyteen. Mikäli tämä aiheuttaa muun muassa riskin ympäristö- tai ilmastovahingosta, heikentää luonnon monimuotoisuutta tai vaarantaa ekosysteemien toimintaa, niin tulee laitos sijoittaa toisaalle. Säännökseen voidaan lisäksi sisällyttää muita poikkeuksia, kuten hiiltä talteenottavan laitoksen sijoittaminen erilleen varastointipaikasta silloin, kun varastointipaikan ilmasto ei sovi hiilidioksidin talteenottoon

³⁷⁰ Kuokkanen et al. 2013, s. 19; Committee on Developing a Research Agenda for Carbon Dioxide Removal and Reliable Sequestration et al. 2019, s. 243; Gambhir – Tavoni 2019, s. 407; IEA 2022c, s. 41–48.

³⁷¹ Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2011/92/EU, annettu 13 päivänä joulukuuta 2011, tiettyjen julkisten ja yksityisten hankkeiden ympäristövaikutusten arvioinnista.

³⁷² Ks. myös Fleurke 2016, s. 64.

³⁷³ Kuokkanen et al. 2013, s. 19; Committee on Developing a Research Agenda for Carbon Dioxide Removal and Reliable Sequestration et al. 2019, s. 243; Gambhir – Tavoni 2019, s. 407; IEA 2022c, s. 41–48.

suoraan ilmasta tai tilanteessa, jossa potentiaalisen talteenottoapaikan lähettyvillä ei ole geologiseen varastointiin soveltuvia alueita.

Edellä olen tarkastellut, millä tavalla DACCS-menetelmän tulevaa sääntelyä tulee yksityiskohtaistaa ja kehittää komission asetusehdotuksen lähtökohdista, jotta voidaan saavuttaa suotuisa ja kannustava ilmapiiri DACCS-menetelmää koskevien teknologioiden kehittämiseksi kuitenkin samanaikaisesti huomioiden, että sääntelyn tulee varmistaa hiilenpoistojen turvallisuus ja haitattomuus. Kokonaisuutena tutkielman neljäs pääluku muodostaa ehdotukseni siitä, miten asetusehdotuksen säännöksiä tulee yksityiskohtaistaa ja CCS-direktiivin säännöksiä kehittää, jotta DACCS-menetelmän sääntelyssä otetaan asianmukaisella tavalla huomioon menetelmän erityispiirteet. Kiinnitän kuitenkin lukijan huomiota siihen, ettei ehdotus ole tyhjentävä, vaan olen käsitellyt ainoastaan tutkielman rajauksen ja DACCS-menetelmän keskeisten erityispiirteiden kannalta oleellisia tekijöitä.

5 Johtopäätökset

Ilmastotavoitteiden saavuttaminen edellyttää, että hiilidioksidia poistetaan ilmakehästä. Hiilenpoistomenetelmät ovat aiemmin nähty uusina, keskeneräisinä ja saavuttamattomina keinoina päästöjen vähentämiseksi, mutta nyt on viimeistään aika nähdä hiilenpoistot välttämättöminä, jos maapallon elinolosuhteet halutaan säilyttää nykyisellään. Maapallon lämpötila on noussut jo 1,1 astetta esiteolliseen aikaan verrattuna. Jos lämpötilan nousu halutaan rajata 1,5 asteeseen, tulee hiilenpoistotoimia vauhdittaa hyvinkin nopeasti. Hiilenpoistojen laajamittaista käyttöönottoa hidastaa edelleen se, ettei ilmapiiri ole suotuisa hiilenpoistotoiminnalle. Tämän tutkielman tavoitteena onkin osaltaan edistää yhden hiilenpoistomenetelmän, eli suoraan ilmasta talteenotetun ja varastoidun hiilidioksidin, tosiasiallista käyttöönottoa pohtimalla menetelmän sääntelyssä huomioon otettavia tekijöitä.

Hiilidioksidin talteenotto suoraan ilmasta ja sen varastointi nähdään yhtenä potentiaalisimmista uusista teknologisista ratkaisuista hiilidioksidin poistamiseksi. Tämän on todennut sekä IPCC että Euroopan komissio. Menetelmällä on lukuisia etuja muihin hiilenpoistomenetelmiin nähden, kuten hiilenpoistojen pysyvyys, menetelmän riippumattomuus luonnonvaroista, vähäiset haitalliset sivuvaikutukset ilmastolle ja ympäristölle sekä laajat geologiset varastointimahdollisuudet ja kokemukset hiilidioksidin turvallisesta varastoinnista.

DACCS-menetelmän tosiasiallista käyttöä rajoittaa sen uutuus, mistä johtuen menetelmän kustannukset ja energiankulutus ovat vielä hyvinkin korkeat. Näiden on kuitenkin ennakoitu laskevan huomattavasti, sillä innovaatioiden ja investointien avulla hiilidioksidin talteenotto suoraan ilmasta kehittyä todennäköisesti sekä edullisemmaksi että tehokkaammaksi. Suoraan ilmasta talteenotettavaan hiilidioksidiin ja sen varastointiin liittyy erityispiirteitä, jotka tulevat ottaa huomioon menetelmän sääntelyssä. Tutkielmassa pyrittiin arvioimaan, mitkä nämä erityispiirteet ovat. DACCS-menetelmään liittyy tiettyjä riskejä, jotka voidaan minimoida säätämällä menetelmälle sellaiset säännökset, jotka velvoittavat näiden riskien huomiointiin ja ehkäisemiseen. Tutkielmassa on esitetty, että DACCS-menetelmän sääntelyssä huomioitavia tekijöitä ovat erityisesti hiilidioksidin talteenotto- ja varastointipaikan sijoittaminen ja varastointiin liittyvät tekijät, kuten pysyvyys, turvallisuus, vastuu ja vastuun siirtäminen. Lisäksi sääntelyssä on huomioitava, ettei lainsäätäjän tule edistää tietyn teknologian käyttöä, vaan sääntelyn on tarpeen olla teknologianeutraalia. Olemassa on kuitenkin tarve ohjata DACCS-menetelmän tosiasiallisen käytön painottuvan menetelmiin, joiden negatiiviset

vaikutukset ovat kokonaisuudessaan pienimmät. Tämä tarve voidaan täyttää sisällyttämällä menetelmän sääntelyyn parhaan käytettävissä olevan tekniikan periaatteen, joka asettaa ympäristö- ja ilmastonäkökulmat keskiöön tiettyä teknologiaa valittaessa. Tutkielmassa on lisäksi tunnistettu tarve rajata DACCS-menetelmän hyödyntäminen uusiutuvalla energialla toimiviin menetelmiin, jottei aiheudu ristiriitaa hiilenpoistojen ydintavoitteeseen nähden, eli siihen, että ilmakehästä poistetaan hiilidioksidia. DACCS-menetelmän sääntelyssä tulee myös huomioida tavanomaisten päästövähennysten ensisijaisuus, jottei päädytä tilanteeseen, jossa puututaan ainoastaan päästöjen aiheuttamiin ongelmiin eikä niihin syihin, joiden takia päästöjä ylipäätään aiheutuu.

Oikeudellinen epävarmuus on yksi tekijä, joka hidastaa DACCS-menetelmän kehittämistä ja käyttöönottoa. Investointien kasvattaminen ja DACCS-menetelmän markkinaehtoinen kehittäminen vaativat suotuisampaa ilmapiiriä myös sääntelyn tasolla. Jotta DACCS-menetelmän käyttöä saadaan lisättyä, tulee paikata lainsäädännössä oleva aukko ja luoda mahdollisille toiminnanharjoittajille varmuutta siitä, että menetelmän hyödyntäminen on mahdollista ja kannattavaa jo lähitulevaisuudessa. Tutkielmassa arvioitiin, miten Euroopan komission hiilenpoistojen sertifiointia koskevan asetusehdotuksen säännöksiä tulee yksityiskohtaistaa, jotta DACCS-menetelmän sääntely ottaa asianmukaisella tavalla huomioon menetelmän erityispiirteet. Arvioinnin kohteena oli asetusehdotuksen säännösten lisäksi hiilidioksidin geologista varastointia koskeva CCS-direktiivi.

Johtopäätöksenä voidaan todeta, että vaikka CCS-direktiivi sisältää asianmukaisia ja tarpeellisia säännöksiä esimerkiksi hiilenvarastointitoiminnan aikaisesta seurannasta, voidaan direktiivin katsoa saaneen syystä kritiikkiä. Kritiikki on kohdistunut erityisesti vastuun siirtoa koskeviin säännöksiin. Katson, etteivät direktiivin säännökset luo nykyisellään suotuisaa ilmapiiriä laajamittaisille hiilenpoistoille, koska toiminnanharjoittajiin kohdistuu sellaista epävarmuutta ja ennakoimattomuutta, ettei hiilenpoisto- ja varastointitoiminta näyttäydy kovinkaan varmana tai luotettavana. Tämä johtuu erityisesti siitä, että toimivaltaisen viranomaisen on periaatteessa mahdollista pitkittää vastuun siirtoa loputtomasti. Lisäksi CCS-direktiivin säännökset sisältävät epävarmuutta toiminnanharjoittajan taloudellisiin velvoitteisiin liittyen. Koska toiminnanharjoittajalta edellytettävän rahallisen vakuuden määrästä ei ole varmuutta, on huolena, että toiminnanharjoittajalle asetetaan liian ankara taloudellinen rasite. Nykyinen CCS-direktiivi siten estää ja hidastaa asetusehdotuksen pyrkimystä edistää innovatiivisia hiilenpoistotekniikoita ja EU:n ilmasto-, ympäristö- ja

hiilineutraaliustavoitteiden saavutettavuutta. Komission on tarpeen tarkastella CCS-direktiivin säännöksiä erityisesti direktiivin säännösten laajentuessa DACCS-menetelmän geologiseen varastointiin, ja vähintäänkin tulee harkita uusien suuntaviivojen antamista, jotta selkeytetään toiminnanharjoittajiin kohdistuvia vastuuta ja taloudellisia rasitteita.

DACCS-menetelmän turvallista käyttöönottoa edistäisi myös säännökset, joissa selkeästi velvoitetaan toiminnanharjoittaja vastaamaan varastointipaikan soveltuvuudesta pysyvään varastointiin, jolla tarkoitettaisiin aikaa, jonka hiilidioksidin oletetaan säilyvän ilmakehässä. Lisäksi toiminnanharjoittajan seuranta koskevia velvollisuuksia tulee täsmentää säätämällä DACCS-menetelmän yksityiskohtaisessa sääntelyssä toiminnanharjoittajalle velvollisuus suorittaa varastointipaikan seuranta niin kauan, kunnes vastuu siirtyy toimivaltaiselle viranomaiselle. Seurantajaksoa koskevassa säännöksessä tulee selkeyden vuoksi viitata geologiseen varastointiin soveltuviin vastuusäännöksiin, joita sisältyvät CCS-direktiiviin, ETS-direktiiviin ja ympäristövastuudirektiiviin. Mahdollisia menetelmään liittyviä riskejä pienentää se, jos talteenotettua hiilidioksidia ei tarvitse kuljettaa pitkiä matkoja talteenottolaitokselta varastointipaikalle. Tutkielmassa ehdotetaan, että hiiltä talteenottava laitos tulee ensisijaisesti sijoittaa varastointipaikan välittömään läheisyyteen, mutta mikäli ympäristövaikutusten arviointimenettelystä ilmenee, että hiiltä talteenottavan laitoksen sijoittaminen aiheuttaisi jonkunlaista riskiä ympäristölle tai ilmastolle, tulee laitos sijoittaa muualle. Lopuksi voidaan todeta, että DACCS-menetelmän edistäminen ylipäätään edellyttää menetelmän kehittämistä, joka tulee mahdollistaa tekemällä menetelmän yksityiskohtaisesta sääntelystä teknologianeutraalia. Teknologianeutraaliuden ohella olemassa on tarve kannustaa menetelmää käytettäväksi ainoastaan menetelmillä, joiden käytöstä aiheutuu vain vähän, jos ollenkaan, päästöjä tai muuta haittaa ympäristölle. Toisin sanoen sääntelyyn tulee sisällyttää parhaan käytettävissä olevan tekniikan periaate. Edellä mainittujen tekijöiden sisällyttäminen DACCS-menetelmän yksityiskohtaiseen sääntelyyn varmistaisi sen, että sääntely on mahdollisimman optimaalista niin turvallisten hiilenpoistojen varmistamiseksi kuin DACCS-menetelmän tosiasialliseksi ja laajamittaiseksi edistämiseksi ja käyttöönotoksi.

Tässä tutkielmassa on käyty läpi keskeisimpiä DACCS-menetelmän sääntelyssä huomioitavia tekijöitä. Tarkastelunäkökulma on ollut rajallinen, mikä johdosta tutkielmassa ei ole käsitelty tyhjentävästi kaikkia DACCS-menetelmän yksityiskohtaisessa sääntelyssä huomioitavia tekijöitä. DACCS-menetelmä on hyvinkin uutena teknologisenä hiilenpoistomenetelmänä ollut suhteellisen vähäisen tutkimuksen kohteena, ja erityisesti sen sääntelyyn liittyvät aspektit

vaativat mielestäni keskeisemmän paikan hiilenpoistomenetelmiä koskevassa tutkimuksessa, koska DACCS-menetelmään liittyvät hyödyt ja kehitysmahdollisuudet tekevät siitä yhden potentiaalisimmista hiilenpoistomenetelmistä.

Komission perustama asiantuntijaryhmä, jonka tehtävänä on avustaa komissiota kutakin hiilenpoistomenetelmää koskevan yksityiskohtaisen sääntelyn laatimisessa, on aloittanut työskentelynsä maaliskuussa 2023. Asiantuntijaryhmä ei ole vielä käsitellyt teknologisia hiilenpoistomenetelmiä, mukaan lukien suoraan ilmasta talteenotettavaa hiilidioksidia ja sen varastointia. Lokakuussa 2023 järjestetään asiantuntijaryhmän kokous, jossa käsitellään muun muassa DACCS-menetelmää ja pyritään laatimaan alustavia suunnitelmia tulevalle teknologisten hiilenpoistomenetelmien yksityiskohtaiselle sääntelylle. Asetusehdotus on tällä hetkellä hyvin aukollinen ja tulkinnallisesti epäselvä, mutta komissio tulee oletettavasti täsmentämään näitä säännöksiä myöhemmin kunkin yksittäisen hiilenpoistomenetelmän yksityiskohtaisessa sääntelyssä. Nähtäväksi siten jää, miten komissio onnistuu tasapainottamaan menetelmään sääntelyyn liittyvät osittain ristiriitaisetkin tavoitteet ja luomaan mahdollisimman suotuisan ilmapiirin, jotta potentiaaliset toiminnanharjoittajat ryhtyvät vaadittaviin hiilenpoistoihin.

Hiilenpoistojen asema tulee oletettavasti kehittymään EU:n ympäristöpolitiikassa, sillä komissio on todennut laajamittaisten hiilenpoistojen olevan välttämättömiä, jotta EU voi saavuttaa tavoitteensa hiilineutraaliudesta. Mielenkiintoista olisi siten arvioida, miten vapaaehtoisuuteen perustuvaa hiilenpoistojen koskevaa sääntelykehystä voidaan tulevaisuudessa laajentaa. Jossain vaiheessa, DACCS-menetelmän hyödyntämisen teknologian vielä edistyttyä, saatetaan alkaa edellyttämään hiilenpoistojen suorittamista esimerkiksi valtiollisilta toimijoilta. Tässä vaiheessa katson, että hiilenpoistojen vapaaehtoinen sääntely on riittävää, koska realistisesti ei ole vielä mahdollista edellyttää toimijoilta teknologisiin hiilenpoistoihin perustuvien menetelmien käyttöä. Suhtaudun kuitenkin jollain tavalla myönteisesti siihen, että tulevaisuudessa hiilenpoistomenetelmien kehittyessä voidaan keskustella valtioiden velvoitteista ilmastomuokkaukseen. Tällöin kysymys siitä, voisiko jossain vaiheessa kehittyä esimerkiksi ennalta varautumisen periaatteen mukainen velvollisuus tiettyjen ilmastomuokkaustoimien suorittamiseksi, nousee ajankohtaiseksi. Periaate voisi myös mahdollisesti oikeuttaa unionin lainsäädäntötoimet tilanteessa, jossa vapaaehtoinen hiilenpoistokehitys ei olisi enää riittävä.