



Bryssel, 27. helmikuuta 2025
(OR. en)

6600/25

ENER 39
COMPET 95

SAATE

Lähettäjä: Euroopan komission pääsihteeri, allekirjoittajana johtaja Martine
DEPREZ

Saapunut: 26. helmikuuta 2025

Vastaanottaja: Thérèse BLANCHET, Euroopan unionin neuvoston pääsihteeri

Kom:n asiak. nro: COM(2025) 74 final

Asia: KOMISSION KERTOMUS EUROOPAN PARLAMENTILLE JA
NEUVOSTOLLE
puhtaan energian teknologioiden kilpailukyvyn edistymisestä

Valtuuskunnille toimitetaan oheisena asiakirja COM(2025) 74 final.

Liite: COM(2025) 74 final



Bryssel 26.2.2025
COM(2025) 74 final

KOMISSION KERTOMUS EUROOPAN PARLAMENTILLE JA NEUVOSTOLLE

puhtaan energian teknologioiden kilpailukyvyn edistymisestä

VUODEN 2025 KERTOMUS PUHTAAN ENERGIAN TEKNOLOGIOIDEN KILPAILUKYVYN EDISTYMISESTÄ

Sisällysluettelo

Tiivistelmä	2
1. Johdanto.....	6
2. EU:n puhtaan energian alan kilpailukyvyyn arviointi	7
2.1. Maailmantalouden tilanne ja EU:n nettonollateknologia-alan kilpailukyky.....	7
2.1.1. Energian hintojen ja kustannusten kehitys.....	7
2.1.2. Tuki nettonollateknologialle maailmanmarkkinoilla	10
2.2. Nettonollateknologian arvoketjut EU:ssa: puhtaan teollisuuden mahdollisuudet ja haasteet	12
2.2.1. Valmistusteollisuuden toimitusketjut	12
2.2.2. Energjavaltaisen teollisuuden hiilestä irtautuminen.....	15
2.2.3. Inhimillinen pääoma ja osaaminen	16
2.3. Puhtaan energian alan innovointiympäristö.....	18
2.3.1. Tutkimuksen ja innovoinnin suuntaukset.....	18
2.3.2. Riskipääomasijoitusten kehitys.....	21
3. Arvio EU:n kilpailukyvyistä nettonollateknologioiden alalla	24
3.1. Aurinkosähkö	24
3.2. Aurinkolämpö.....	25
3.3. Maa- ja merituulivoima	27
3.4. Valtamerienergia.....	28
3.5. Akut ja energian varastointi.....	29
3.6. Lämpöpumpputeknologiat.....	31
3.7. Geoterminen energia.....	32
3.8. Vetyteknologiat: elektrolyysilaitteet ja polttokennot	33
3.9. Kestävät biokaasu- ja biometaaniteknologiat	35
3.10. Hiilidioksidin talteenoton ja varastoinnin (CCS) teknologiat.....	37
3.11. Sähköverkkoteknologiat: voimajohdot ja muuntajat	38
3.12. Ydinfissioenergiateknologiat	40
3.13. Vesivoima	41
3.14. Kestävät vaihtoehtoiset polttoaineet	42
3.15. Teollisuuden ylijäämälämmön talteenottoteknologiat	44
4. Päätelmät	45

TIIVISTELMÄ

Vuoden 2025 kertomuksessa puhtaan energian teknologioiden kilpailukyvyn edistymisestä esitetään katsaus nettonollateknologioiden ja niiden valmistuksen suuntauksista ja haasteista EU:ssa. Siinä tarkastellaan ensin **horisontaalisesti EU:n puhtaan energian alan kilpailukykyä** ja esitetään sen jälkeen **alakohtainen analyysi 15 teknologiasta**. Kertomus perustuu Draghin raporttiin ja kilpailukykykompassiin, ja se toimii nettonollateollisuussäädöksen seurantakertomuksena ja tukee siten säädöksen täytäntöönpanoa. Kertomus hyväksyttiin puhtaan teollisen kehityksen ohjelman ja kohtuuhintaista energiaa koskevan toimintasuunnitelman yhteydessä, ja se tukee molempia aloitteita tarjoamalla tietoa teknologioista, joita tarvitaan EU:n teollisuuden hiilestä irrottamiseksi samalla kun vahvistetaan teollisuuden kilpailukykyä ja alennetaan energiakustannuksia.

EU:n puhtaan energian alan kilpailukyky

Puhtaat energiateknologiat ovat kustannuksiltaan edelleen erittäin kilpailukykyisiä EU:ssa alhaisten toimintakustannustensa ansiosta. Uusiutuvien energialähteiden osuus unionin sähköntuotannosta nousi vuonna 2024 ennätykselliseen 48 prosenttiin oltuaan 45 prosenttia vuonna 2023 ja 41 prosenttia vuonna 2022.

Vaikka puhtaiden energiateknologioiden käyttöä lisätään voimakkaasti, EU:n nettonollateollisuuden liiketoimintaympäristö on haastava ja kilpailu on kovaa. Kuten Draghin raportissa korostetaan, EU:n on puhtaiden teknologioiden innovaatiojohtajana hyödynnettävä taloudelliset mahdollisuudet, joita näiden teknologioiden maailmanlaajuinen käyttöönotto tarjoaa. Samaan aikaan teollisuuspolitiikka ja uudet tuontirajoitukset esimerkiksi Yhdysvalloissa ja Kiinassa vaikuttavat yhä vahvemmin liiketoimintaympäristöön, kauppasuhteisiin ja investointipäätöksiin.

EU:ssa on monipuolista nettonollateknologian valmistusteollisuutta. Se kuitenkin kamppailee säilyttääkseen markkinaosuutensa maailmanlaajuisesti, koska Kiina hallitsee tuotantoa keskeisillä aloilla. EU on kaikkien nettonollateknologioiden toimitusketjuissa edelleen riippuvainen tietyistä teknologiakomponenteista ja keskeisistä raaka-aineista, mikä asettaa haasteita unionin talouden yleiselle häiriönsietokyvyille ja strategiselle riippumattomuudelle. Tämä on kytköksissä myös EU:n kohtaamiin haasteisiin energiavaltaisilla teollisuudenaloilla, jotka toimittavat metalleja ja kemikaaleja nettonollateknologian valmistajille.

Puhtaat energiateknologiat tarjoavat laadukkaita työpaikkoja, mutta ammattitaitoisten työntekijöiden saatavuus ja työvoiman ikääntyminen ovat yhä haasteena. Työllisyys kasvoi edelleen vuonna 2023, ja uusiutuvan energian alan työpaikat nousivat EU:ssa 1,8 miljoonaan. Laajemman puhtaan energian alan työpaikoista noin kolmannes on nettonollateknologioiden valmistuksessa, mikä on osoitus näiden arvoketjujen yhteiskunnallisesta ja taloudellisesta merkityksestä.

EU:lla on edelleen hyvä asema puhtaita energiateknologioita koskevassa tutkimuksessa, mutta sen kilpailuetu innovoinnissa on viime vuosina heikentynyt kovan maailmanlaajuisen kilpailun takia. Tuoreimpien tietojen mukaan puolet raportoivista jäsenvaltioista lisäsi energiateknologioita koskevaan tutkimukseen ja innovointiin (T&I) liittyviä menojaan vuonna 2023. Jos nämä osittaiset raportointitiedot osoittautuvat edustaviksi, se merkitsisi 9 prosentin lisäystä energiaunionin T&I-painopisteisiin myönnettävään tukeen. Kaiken kaikkiaan EU:lla on maailmanlaajuinen johtoasema puhtaisiin energiateknologioihin suunnattujen julkisten T&I-menojen osalta. Sitä vastoin yksityiset T&I-investoinnit – joiden

osuus on edelleen yli kolme neljäsosaa puhtaiden energiateknologioiden T&I-rahoituksesta suurimmissa talouksissa – ovat huomattavasti suurempia Aasian suurissa talouksissa. Kuten Draghin raportissa korostetaan ja kilpailukykykompassissa todetaan, tarvitaan lisätoimia sen varmistamiseksi, että EU voi säilyttää johtoasemansa puhtaan teknologian tutkimuksen ja innovoinnin alalla ja parantaa heikkoa suorituskykyään innovaatioiden saattamisessa markkinoille.

Riskipääoman saatavuus on edelleen keskeinen ongelma puhtaan energiateknologian alalla toimivien EU:n yritysten perustamiselle ja laajentamiselle. Vuoden 2024 alustavat tiedot osoittavat, että vaikea makrotaloudellinen tilanne vaikutti osaltaan siihen, että puhtaaseen energiateknologiaan tehdyt riskipääomasijoitukset vähenivät EU:ssa merkittävästi (–34 %) vuoteen 2023 verrattuna. Lasku liittyy pääomasijoitustoiminnan vähenemiseen ja merkittävien investointien vähäisempään määrään verrattuna vuoteen 2023, jolloin tehtiin akkujen ja vetypohjaisen teräksen tuotantolaitoksia koskevia laajamittaisia rahoitus sopimuksia. Näillä sopimuksilla oli merkittävä rooli siinä, että alalle tehdyt riskipääomasijoitukset EU:ssa nousivat 9,2 miljardiin euroon vuonna 2023 (+20 prosenttia vuoteen 2022 verrattuna). Samaan aikaan alustavat tiedot osoittavat, että EU:n osuus puhtaisiin energiateknologioihin koko maailmassa tehdyistä riskipääomasijoituksista pysyi suhteellisen vakaana vuonna 2024. EU oli vuonna 2023 maailmanlaajuisesti toisella sijalla 28 prosentin osuudellaan Yhdysvaltojen (30 prosenttia) ja Kiinan (24 prosenttia) välissä.

EU:n kilpailukyky nettonollateknologioiden alalla

Vuonna 2024 EU asensi Kiinan jälkeen toiseksi eniten uutta aurinkosähkökapasiteettia. EU:n valmistajien toimintaympäristö on erittäin haastava, ja niillä on vaikeuksia kilpailla maailmanlaajuisesti. EU on hyvin riippuvainen aurinkosähkötuotteiden tuonnista Kiinasta, jossa sijaitsee yli 90 prosenttia maailman tuotantolaitoksista. Samaan aikaan EU:lla on kuitenkin edelleen vahva rooli tiettyjä aurinkosähkösovelluksia koskevassa T&I-toiminnassa.

EU:n aurinkolämpöteknologian valmistuskapasiteetti on edelleen vahva. Aurinkolämpö on kypsä teknologia, mutta alalla oli edelleen vaikeuksia pysyä muiden uusiutuvien ratkaisujen tahdissa vuosina 2023–2024. Vaikka aurinkolämpömarkkinat supistuivat vuonna 2023, teollisen prosessilämmön segmentin kehitys oli lupaavaa, ja segmentti kasvoi maailmanlaajuisesti kolminkertaiseksi edellisvuodesta.

EU:n kilpailukyky tuulivoimateknologian alalla on edelleen erittäin hyvä. EU:n toimijoihin kohdistuu kuitenkin kasvavia paineita erityisesti siksi, että kiinalaiset yritykset tarjoavat yhä kilpailukykyisempiä tuotteita alhaisemmilla hinnoilla. Vuonna 2024 EU:n osuus laivojen ja konehuonekokoonpanojen maailmanlaajuisesta valmistuskapasiteetista oli lähes 13 prosenttia ja tornien valmistuksesta noin 22 prosenttia. EU:n yritysten markkinaosuus oli vuonna 2023 lähes 90 prosenttia Euroopan markkinoista ja 23 prosenttia maailmanmarkkinoista, mikä merkitsee noin 7 prosentin laskua maailmanmarkkinoilla vuoteen 2022 verrattuna.

Vuonna 2024 valtamerienergiateknologiat houkuttelivat ennennäkemätöntä rahoitusta ja kiinnostusta. Euroopassa asennettiin vuonna 2024 noin 1 230 kilowattia uutta valtamerienergiakapasiteettia. Kiinalla on kuitenkin tällä alalla johtoasema arvokkaiden keksintöjen osalta ennen EU:ta. Tarvitaan lisätoimia, jotta voidaan lisätä valtamerienergian taloudellista kannattavuutta ja saattaa innovatiivista valtamerienergiateknologiaa markkinoille.

EU:n akkuvalmistajat kohtaavat voimakasta kilpailua pyrkiessään kasvattamaan valmistuskapasiteettiaan ja lisäämään markkinaosuuksiaan. Akkuteknologian alalla

Kiinalla on johtoasema, ja sen osuus maailmanlaajuisesta valmistuskapasiteetista vuonna 2024 oli yli 85 prosenttia. Kiinan jälkeen tulivat EU noin 7 prosentin osuudella ja Yhdysvallat noin 5 prosentin osuudella. EU:n valmistajat ovat erittäin riippuvaisia Kiinasta katodien ja anodien osalta. Jos ilmoitetut hankkeet toteutuvat, EU näyttää saavuttavan vuodelle 2030 asetetun tuotantotavoitteen, joka on 10 prosenttia (1 510 gigawattituntia) vuodelle 2030 ennustetusta maailmanlaajuisesta akkutuotantokapasiteetista. Tarkkailijat ennustavat akkukennojen ylitarjontaa tulevina vuosina, mikä todennäköisesti johtaa maailmanlaajuisen kilpailun tiukentumiseen.

EU:n lämpöpumppuvalmistajilla on maailmanlaajuinen johtoasema kotitalouskäyttöön tarkoitettujen innovatiivisten huippuluokan ratkaisujen ja teollisuuden lämpöpumppujen alalla. EU:n loppukokoonpanokapasiteetti on hyvää vauhtia täyttämässä vuotta 2030 koskevat EU:n käyttöönottoarpeet. EU:n teollisuus on kuitenkin edelleen erittäin riippuvainen tiettyjen komponenttien, kuten kompressorien, tuonnista. Vaikka EU:n kauppataseen alijäämä toimitusketjussa supistui kolmanneksella vuonna 2023, lämpöpumppujen myynti EU:ssa väheni 7,2 prosenttia vuonna 2023 vuosikymmenen kasvun jälkeen. Suuntaus paheni vuonna 2024, jolloin myynti laski Euroopassa 31 prosenttia. Tämä osoittaa, että on tarpeen toteuttaa toimia alan kääntämiseksi jälleen kasvuun.

EU:n yrityksillä on vahva rooli unionissa käyttöönotetun geotermisen energiateknologian asentamisessa ja lopullisessa kokoonpanossa. Keskeisten komponenttien maailmanmarkkinoita hallitsevat kuitenkin EU:n ulkopuoliset yritykset. Alaa koskevien haasteiden, kuten pinnanalaisia kerroksia koskevan tiedon saatavuuden, ratkaiseminen voi auttaa EU:n teollisuutta.

Eurooppalaisilla yrityksillä on edelleen merkittävä rooli elektrolyysilaitteiden valmistuksessa. Niiden osuus maailmanlaajuisesta valmistuskapasiteetista vuonna 2024 oli arviolta noin kolmannes tai neljännes. Vaikka vetyelektrolyysikapasiteettia lisätään edelleen voimakkaasti EU:ssa, haasteena on luoda suuren tuotantokapasiteetin vetysektori, joka varmistaa, että saatavilla on runsaasti kustannuksiltaan kilpailukykyistä vetyä. Lisäksi EU on jäänyt jälkeen polttokennojen valmistuksessa.

EU:ssa toimii joitakin maailman suurimpia biokaasun ja biometaanin tuottajia ja alan komponenttien valmistajia. Euroopassa on kehittynyt biokaasu- ja biometaaniteollisuus, joka keskittyy pääasiassa sähköntuotantoon, mutta myös lämmitykseen ja liikenteeseen liittyvät markkinat kasvavat. Lähes 50 prosenttia tuotannosta on Euroopassa, ja pelkästään Saksa kattaa 20 prosenttia maailmanlaajuisesta kysynnästä.

EU:lla on hyvä asema hiilidioksidin talteenottoteknologiassa, mutta se on jäljessä Yhdysvalloista ja Kanadasta hiilidioksidin kuljetuksessa ja varastoinnissa. Hiilidioksidin talteenottoa ja varastointia (CCS) koskevien hankkeiden määrä on kasvanut nopeasti sekä maailmanlaajuisesti että Euroopassa. Tällä alalla EU:n keskeisiin toimiin kuuluvat ennustettavuuden parantaminen investoijien kannalta sekä varastoinnin kysynnän ja tarjonnan näkyvyyden lisääminen.

EU:ssa toimii joitakin pitkäaikaisia markkina- ja teknologiajohtajia sekä voimajohtojen että muuntajien aloilla. Eurooppalaisten yritysten odotetaan kohtaavan kasvavaa kansainvälistä kilpailua lyhyellä ja keskipitkällä aikavälillä. Sähköverkkoalaitteiden valmistus riippuu suuresti raaka-aineiden, kuten kuparin, alumiinin ja raesuunnatun sähköteräksen, saatavuudesta, koska EU:n valmistajat ovat tältä osin alttiita tuontiriippuvuudelle.

Ydinvoiman alalla EU:ssa toimii edelleen yksi reaktoritoimittaja, jonka maailmanlaajuinen markkinaosuus rakenteilla olevista reaktoreista oli 5,3 prosenttia

vuoden 2024 alussa. EU:n ydinvoimalaitosten ja alan työvoiman ikääntyminen merkitsevät, että on tarpeen ryhtyä toimiin alan nykyaikaistamiseksi. Vuonna 2024 perustettiin pieniä modulaarisia reaktoreita (SMR) koskeva eurooppalainen teollinen allianssi helpottamaan SMR-hankkeiden käyttöönottoa ja tukemaan kilpailukykyistä EU:n ekosysteemiä tämän kehittyvän teknologian alalla.

EU:lla on edelleen maailmanlaajuinen johtoasema vesivoimateollisuudessa, mutta se on viime vuosina menettänyt markkinaosuuttaan turbiinien ja muiden osien valmistuksen alalla. EU:n kauppataaseen ylijäämä supistui merkittävästi vuoden 2015 ennätystuloksesta (466 miljoonaa euroa) 213 miljoonaan euroon vuonna 2023. Vahvan komponenttien valmistusteollisuuden säilyttäminen EU:ssa edellyttää sisämarkkinoiden tukemista uusilla investoinneilla. Käyttämätöntä potentiaalia verkon joustavuuden lisäämiseksi on myös pumppuvesivoiman tuotannon laajentamisessa.

EU on yksi innovaatiojohtajista lento- ja meriliikenteessä käytettävien kestävien vaihtoehtoisten polttoaineiden kehittyvillä markkinoilla. Tuotantokapasiteetti on edelleen rajallinen, ja sitä on lisättävä. Samalla näiden polttoaineiden hintoja on alennettava.

EU:n teollisuusprosesseista peräisin olevasta ylijäämäenergiasta voitaisiin tuottaa orgaaniseen Rankine-prosessiin (ORC) perustuvissa voimalaitoksissa 150 terawattituntia sähköä vuosittain. EU:n valmistajat ovat johtavia toimijoita maailmanmarkkinoilla, mutta käyttöönoton lisäämiselle unionissa on edelleen esteitä, kuten pitkät takaisinmaksuajat.

1. JOHDANTO

Puhdas energiateknologia on yksi keskeisistä tekijöistä, joiden avulla EU voi saavuttaa ilmaston neutraaliuden vuoteen 2050 mennessä, vahvistaa energian toimitusvarmuuttaan ja parantaa kilpailukykyään. **Viime vuosikymmeninä unionilla on ollut keskeinen rooli puhtaiden teknologioiden, kuten aurinko- ja tuulienergian, käyttöönotossa.** Vuonna 2024 uusiutuvien energialähteiden osuus EU:n sähköntuotannosta oli 48 prosenttia. Tämä osoittaa, että puhtaiden energiatekniologioiden kilpailukyky ja taloudellinen merkitys kasvaa fossiilisiin energialähteisiin verrattuna. Jotta Eurooppa voi saavuttaa vuodeksi 2030 ja sen jälkeiseksi ajaksi asetetut kasvihuonekaasupäästöjen vähentämistavoitteensa, sen on jatkettava tämän suuntaista työtä ja tehostettava toimiaan.

Samaan aikaan EU:n teollisuuden kilpailukykyyn kohdistuu entistä suurempi paine nettonollatekniologioiden alalla. Johtoasema EU:ssa kehitetyissä teknologioissa ja tällaisten teknologioiden valmistus ovat entistä enemmän siirtymässä muihin suuriin talouksiin, kuten Kiinaan ja Yhdysvaltoihin, jotka laajentavat tuotantokapasiteettiaan.

Kilpailukykyvyyttä on tullut EU:n politiikan painopiste, myös nettonollatekniologioiden alalla. Huhtikuussa 2024 kokoontuneen Eurooppa-neuvoston päätelmissä kehoitettiin EU:ta parantamaan kilpailukykyään.¹ Uudessa kilpailukykykompassissa esitetään joukko toimenpiteitä EU:n kilpailukykyvyyden vahvistamiseksi tulevina vuosina sisämarkkinoita ja kilpailukykyä koskevan vuosikertomuksen havaintojen ja Draghin raportissa esitetyn perusteellisen analyysin pohjalta.² Draghin raportissa korostetaan taloudellisia mahdollisuuksia, joita EU:lle on tarjolla puhtaan teknologian alan innovaatiojohtajana.³ Raportissa luetellaan tärkeimmät esteet, jotka haittaavat EU:n kilpailukykyä, ja kehoitetaan laatimaan yhdenmukainen ja kohdennettu strategia, jossa otetaan huomioon eri teollisuudenalojen väliset erot. Sekä Draghin että Lettan raporteissa mainitaan myös, että on tärkeää vahvistaa samalla energian sisämarkkinoita ja niihin liittyviä infrastruktuureja, jotta voidaan hyödyntää EU:n mahdollisuudet uusiutuvan energian alalla ja taata varma ja kohtuuhintainen energia EU:n teollisuudelle.⁴

EU:n strategisen riippumattomuuden tukemiseksi ja sen teollisen perustan turvaamiseksi ja innovaatiopotentiaalin ylläpitämiseksi on **olennaisen tärkeää, että nykyisiä ja tulevaisuuden nettonollatekniologioita valmistetaan Euroopassa. Puhtaan teollisen kehityksen ohjelma on uusi suunnitelma unionin vaurauden ja kilpailukykyvyyden varmistamiseksi.**⁵ Sen avulla komissio parantaa EU:n teollisuuden mahdollisuuksia saada rahoitusta, materiaalivirtoja ja ammattitaitoista työvoimaa samalla kun luodaan uusia edelläkävijämarkkinoita ja parannetaan arvoketjujen häiriönsietokykyä. Samaan aikaan komissio aikoo toteuttaa ennennäkemättömiä yksinkertaistamistoimia yrityksiin kohdistuvan taakan vähentämiseksi. Tämä tasoittaa tietä kilpailukykyisemmälle teollisuudelle ja laadukkaille työpaikoille erityisesti puhtaiden ja strategisten teknologioiden aloilla.

Kohtuuhintaisen energian saatavuus on EU:n kilpailukykyvyyden kannalta keskeinen tekijä ja myös uuden kohtuuhintaista energiaa koskevan toimintasuunnitelman⁶ keskeinen tavoite. Toimintasuunnitelma täydentää puhtaan teollisen kehityksen ohjelmaa, ja siinä

¹ Eurooppa-neuvosto (2024), Eurooppa-neuvoston ylimääräisen kokouksen (17. ja 18. huhtikuuta 2024) päätelmät; Eurooppa-neuvosto (2024), Budapestin julistus uudesta Euroopan kilpailukykyohjelmasta (7.–8. marraskuuta 2024).

² COM(2025) 30 final ja COM(2025) 26 final.

³ Mario Draghi, *The future of European competitiveness*, 2024.

⁴ Enrico Letta, *Much more than a market*, 2024.

⁵ [LISÄTÄÄN VIITTAUS PUHTAAN TEOLLISEN KEHITYKSEN OHJELMAAN].

⁶ [LISÄTÄÄN VIITTAUS KOHTUUHINTAISTA ENERGIAA KOSKEVAAN TOIMINTASUUNNITELMAAN].

esitetään toimenpiteitä teollisuuden, yritysten ja kotitalouksien energiakustannusten alentamiseksi ja tarvittavien rakenneuudistusten nopeuttamiseksi. Suunnitelman tavoitteena on nopeuttaa siirtymistä kohtuuhintaiseen, puhtaaseen ja unionin sisällä tuotettuun energiaan tässä kertomuksessa käsiteltyjen teknologioiden pohjalta. Toimintasuunnitelman tarkoituksena on saattaa energiaunioni valmiiksi ja varmistaa täysin yhdentyneet energian sisämarkkinat ja tarvittavat fyysiset yhteenliitännät.

Tämä kertomus tarjoaa näyttöön perustuvaa seurantatietoa ja neuvontaa puhtaiden energiateknologioiden ja niiden valmistajien kilpailukyvästä Euroopassa. Kertomuksen merkitystä vahvistaa edelleen se, että vuonna 2024 voimaan tulleessa nettonollateollisuussäädöksessä kertomus nimetään ensisijaiseksi välineeksi, jolla seurataan EU:n edistymistä säädöksessä asetettujen tuotantotavoitteiden saavuttamisessa. Nettonollateollisuussäädöksen avulla EU pyrkii vahvistamaan keskeisten puhtaiden teknologioiden sisäistä valmistuskapasiteettiaan ja parantamaan teollisuuden kilpailukykyä ja häiriönsietokykyä. Tavoitteena on vähentää riippuvuutta ulkoisista toimijoista saavuttamalla valmistuskapasiteetti, joka on vähintään 40 prosenttia EU:n vuoteen 2030 ulottuvien ilmasto- ja energiavoitteiden saavuttamiseksi tarvittavien teknologioiden vuotuisista käyttöönottoarpeista, sekä saavuttaa vuoteen 2040 mennessä 15 prosentin osuus maailmanlaajuisesta tuotannosta.⁷

Kertomuksen ensimmäisessä osassa esitetään yleistä tietoa EU:n koko nettonollateknologia-alan kilpailukyvyn kannalta keskeisistä kysymyksistä. Siinä käsitellään muun muassa energiakustannuksia, valmistusteollisuutta, teollisuuden hiilestä irtautumista, osaamista, investointisuuntauksia, tutkimusta ja innovointia sekä maailmanlaajuisia toimintaympäristöä. Kertomuksen toisessa osassa kartoitetaan EU:n teollisuuden kilpailukykyä 15 nettonollateknologian alalla ja tuodaan esiin näihin teknologioihin liittyvien arvoketjujen vahvuuksia ja heikkouksia.

Tämä on viides painos tästä kilpailukykyä koskevasta edistymiskertomuksesta. Kertomus on julkaistu vuodesta 2020 lähtien energiaunionin ja ilmastotoimien hallinnosta annetun asetuksen 35 artiklan 2 kohdan m alakohdan mukaisesti. Kertomus perustuu puhtaan energiateknologian seurantakeskuksen (CETO) tietoihin.⁸

2. EU:N PUHTAAN ENERGIAN ALAN KILPAILUKYVYN ARVIOINTI

2.1. Maailmantalouden tilanne ja EU:n nettonollateknologia-alan kilpailukyky

2.1.1. Energian hintojen ja kustannusten kehitys

EU:n energiamarkkinoiden tilanne parani vuosina 2023 ja 2024. Energian hinnat olivat huomattavasti alhaisemmat kuin vuonna 2022, mutta ne pysyivät kuitenkin kriisiä edeltäneen tason yläpuolella ja olivat huomattavasti korkeammat kuin kilpailevilla alueilla. Kaasun tuonnin monipuolistaminen ja uusiutuvan energian tuotantokapasiteetin lisääminen yhdessä pienemmän kulutuksen kanssa auttoivat alentamaan kaasun ja sähkön tukkuhintoja.

Kaasun tukkuhinnat olivat vuonna 2024 alhaisemmat kuin vuonna 2023 ja huomattavasti alhaisemmat kuin ensimmäisinä kuukausina sen jälkeen, kun Venäjä hyökkäsi Ukrainaan vuonna 2022. Ne pysyivät kuitenkin korkeampina kuin ennen kriisiä. Vuonna 2024 kaasun keskimääräinen tukkuhinta vakiintui 34 euroon megawattitunnilta. Vaikka hinnat laskivat lähes

⁷ EUVL L, 2024/1735, 28.6.2024, 5 artikla.

⁸ Lisätietoja ja CETO-raportteja: [puhtaan energiateknologian seurantakeskus](#).

30 euroon megawattitunnilta vuoden ensimmäisellä puoliskolla, ne nousivat tasaisesti 35–45 euroon megawattitunnilta vuoden 2024 loppuun mennessä ja nousivat jälleen vuoden 2025 alussa.

Sähkömarkkinoiden perustekijöiden positiivinen kehitys jatkui vuonna 2024, mikä johti sähkön tukkuhintojen alenemiseen. Alhaisemmat kaasun hinnat, vaimea kysyntä ja uusiutuvan energian ja ydinvoiman lisääntynyt tuotanto auttoivat alentamaan sähkön tukkuhintoja kaikilla EU:n markkinoilla. Euroopan sähkön vertailuarvo oli keskimäärin 95 euroa megawattitunnilta vuonna 2023, mikä on 57 prosenttia vähemmän kuin vuonna 2022. Vuoden 2024 kolmella ensimmäisellä neljänneksellä keskiarvo laski 70 euroon megawattitunnilta, mutta hinnat nousivat jälleen viimeisellä neljänneksellä. Kaiken kaikkiaan vuoden 2024 keskiarvo oli 76 euroa megawattitunnilta. Vuonna 2024 EU:n sähkönkulutus kasvoi hieman (+2 %) teollisen kysynnän hienoisen kasvun myötä.

Energiakriisistä johtunut sähkön tukkuhintojen merkittävä nousu siirtyi loppukuluttajille, joissakin tapauksissa viiveellä. Tämän seurauksena kotitalouksien sähkön vähittäishinnat nousivat vuonna 2022 ja osittain myös vuonna 2023.⁹ EU:n toimien mukaisesti jäsenvaltiot ottivat käyttöön väliaikaisia toimenpiteitä, joilla pyrittiin lieventämään korkeiden hintojen vaikutusta kuluttajiin. Korkeat hinnat olivat kuitenkin edelleen ongelma erityisesti heikossa asemassa oleville kuluttajille. Kotitalouksien vähittäishintojen kehitys vuonna 2024 osoittaa, että hinnat ovat kaikkialla EU:ssa laskeneet hieman tai pysyneet vuoden 2023 hintojen tasolla.

Teollisuuskäyttäjien sähkön hinnat laskivat merkittävästi vuoden 2024 alkupuoliskolla verrattuna vuoden 2023 vastaavaan ajanjaksoon. Lasku vaihteli eri kulutusluokissa 13 prosentista 27 prosenttiin (ilman veroja) tai 6 prosentista 27 prosenttiin (ei-palautettavat verot mukaan luettuna)¹⁰, mikä vahvisti vuonna 2023 alkanutta laskusuuntausta. EU:n teollisuuden sähkön hinnat ovat kuitenkin tällä hetkellä noin kaksi kertaa korkeammat kuin Yhdysvalloissa tai Kiinassa. Vuonna 2024 keskimääräinen hinta oli 0,16 euroa kilowattitunnilta¹¹.

Uusiutuvan energian osuus EU:n sähköntuotannosta kasvoi ennätykselliseen 48 prosenttiin vuonna 2024 (verrattuna 45 prosenttiin vuonna 2023 ja 41 prosenttiin vuonna 2022¹²), kun taas fossiilisten polttoaineiden osuus laski merkittävästi 24 prosenttiin (vuoden 2023 28 prosentista). Aurinko- ja merituulivoiman tuotanto kasvoi merkittävästi vuonna 2024: merituulivoima kasvoi 17 prosenttia (+9 TWh) ja aurinkoenergia 19 prosenttia (+37 TWh). Vesivoiman tuotanto kasvoi 7 prosenttia (+22 TWh), kun taas maatuulivoiman tuotanto pysyi suunnilleen vakaana (–1 TWh) ja ydinvoiman tuotanto kasvoi 5 prosenttia (+29 TWh) samalla ajanjaksolla.¹³ Samaan aikaan sähköistyminen ei ole nopeutunut, vaan sähkön osuus energiapaletista on pysynyt noin 20 prosentissa vuodesta 2000 lähtien.¹⁴

Kaaviossa 1 esitetään arvio **energian tasoitetuista kokonaistuotantokustannuksista (LCOE) EU:ssa**¹⁵, joka perustuu kunkin jäsenvaltion sähköjärjestelmien erityispiirteisiin

⁹ Eurostat ([nrg_pc_204](#)), sivustolla käyty 12.2.2025.

¹⁰ Eurostat ([nrg_pc_205](#)), sivustolla käyty 12.2.2025.

¹¹ Eurostatin [sähkön hintatilat](#). Huomautus: Hinnat viittaavat ID-kulutusluokkaan, pois lukien palautettavat maksut.

¹² Vuoden 2022 tiedot perustuvat [Eurostatin](#) tietoihin.

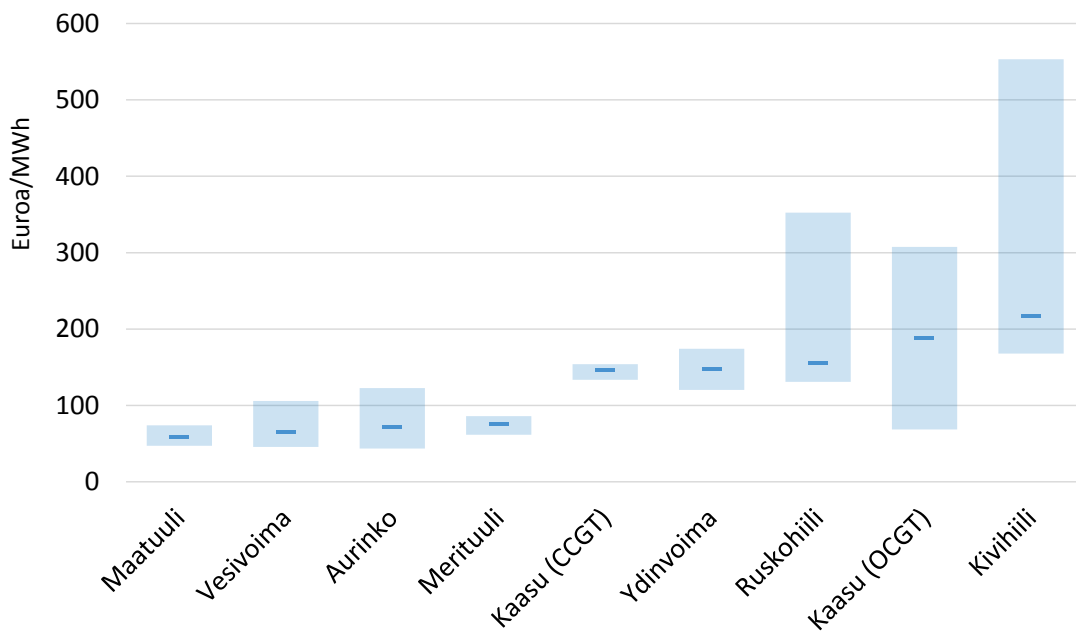
¹³ Tässä kohdassa esitetyt vuosien 2023 ja 2024 tiedot perustuvat [Sähkö-ENTSON avoimuusfoorum](#)in tietoihin.

¹⁴ COM(2025) 26 final.

¹⁵ Energian tasoitetut kokonaistuotantokustannukset (LCOE) määritetään vertaamalla yhden sähköyksikön (yleensä megawattitunti) tuottamisen keskimääräisiä kustannuksia voimalaitoksen koko elinkaaren ajalta ottamalla huomioon kaikki voimalaitoksen rakentamiseen ja toimintaan liittyvät kustannukset (pääomamenot, toiminta- ja ylläpitokustannukset, polttoainekustannukset (tapauksen mukaan), rahoituskustannukset ja käytöstäpoistokustannukset (tapauksen mukaan)).

vuonna 2023. Investointi-, toiminta- ja ylläpitokustannukset nousivat vuonna 2023 inflaation ja kasvaneiden materiaali- ja työvoimakustannusten vuoksi. Korkea inflaatio ja korkeat korot vaikuttivat merkittävästi investointipäätöksiin tai viivästyttivät niitä vuonna 2023 sekä hankkeiden toteuttajien että valmistajien osalta.

Kaavio 1: Tilannekatsaus teknologiakohtaisiin energian tasoitettuihin kokonaistuotantokustannuksiin (LCOE) vuonna 2023. Siniset viivat kuvaavat mediaania ja vaaleansiniset pylväät osoittavat 25 prosentin vaihteluvälin eri puolilla EU:ta, mikä antaa käsityksen jäsenvaltioiden välisistä eroista.



Lähde: JRC:n METIS-mallisimulaatio¹⁶

Nousevista kustannuksista huolimatta teknologiatyypit, joiden muuttuvat kustannukset (mukaan lukien toimintakustannukset, kuten huolto- ja polttoainekustannukset) ovat alhaiset (esim. maatuuli- ja aurinkoenergia), ovat edelleen kustannuksiltaan kilpailukykyisempiä kuin tuotantoteknologiat, joiden muuttuvat kustannukset ovat korkeammat (esim. fossiiliset energialähteet, kuten kaasu ja kivihiili, joihin vaikuttavat polttoainekustannukset). Kaiken kaikkiaan uusiutuvat energialähteet ovat edelleen erittäin kustannuskilpailukykyisiä EU:ssa.

Yksittäisen teknologian LCOE-arvoon vaikuttaa muun muassa kyseisen teknologian vuotuisen tuotantomäärän ja sen asennetun kapasiteetin välinen suhde. Mitä vähemmän teknologiaa käytetään, sitä suurempi sen LCOE-arvo on. Tästä syystä perinteisten teknologioiden, kuten ruskohiilen, avoimen kierron kaasuturbiinien (OCGT) ja kivihiilen LCOE-arvojen vaihteluväli on suurempi, koska niihin perustuva tuotanto on ollut joissakin jäsenvaltioissa vähäisempää. Sitä vastoin esimerkiksi maakaasukäyttöisten kombivoimalaitosten (CCGT) LCOE-arvojen vaihteluväli on hyvin pieni, koska CCGT-voimaloiden käyttöaste on useimmissa jäsenvaltioissa korkea.

¹⁶ Lähde: Gasparella, A., Koolen, D. ja Zucker, A., ”The Merit Order and Price Setting Dynamics in European Electricity Markets”, Euroopan unionin julkaisutoimisto, 2023. Laskelma perustuu vuoden 2023 vuotuisiin kustannuksiin. Pääomamenot ja toimintamenot perustuvat vuoteen 2040 ulottuvan ilmastotavoitteen PRIMES-viiteskenaarioon, ja ne on muunnettu vuositasolle teknisten käyttöikien ja keskimääräisen pääomakustannuksen perusteella. Vuosittaiset kustannukset on tasoitettu käyttämällä METIS-mallista johdettuja käyttökertoimia. Muuttuvat kustannukset perustuvat vuoden 2023 hyödykkeiden hintoihin, toimintamenojen muuttujaan ja METIS-simulaatioon.

Uusiutuvat energialähteet ovat edelleen kustannuksiltaan kaikkein kilpailukykyisimpiä teknologioita, kun taas CCGT nousi kustannuskilpailukykyisimmäksi lämpöteknologiaksi. Tämä suuntaus selittyy osittain sillä, että maakaasun hinnat laskivat merkittävästi edellisvuoteen verrattuna. Lisäksi vaikka vuonna 2022 kaasusta siirryttiin merkittävästi kivihiiheen hintojen vaihtelun vuoksi, vuonna 2023 keskityttiin enemmän korkeampien kiinteiden kustannusten vaikutuksiin kaikkien teknologioiden osalta.

Viimeisten kymmenen vuoden aikana eri tuotantoteknologioiden LCOE-arvot ovat muuttuneet Euroopassa merkittävästi useiden keskeisten tekijöiden vuoksi. Teknologian kehittyminen on lisännyt tehokkuutta ja kapasiteettia erityisesti aurinkosähkön ja tuulivoiman alalla, mikä on alentanut kustannuksia huomattavasti. Mittakaavaedut etenkin laajamittaisissa hankkeissa ja massatuotannossa ovat edelleen alentaneet uusiutuvan energian kustannuksia. Toimintapoliittiset tukitoimet, muun muassa tukipalkkiot, verokannustimet ja hiilen hinnoittelu, ovat kannustaneet ottamaan käyttöön puhtaampia energialähteitä ja samalla lisänneet fossiilisiin polttoaineisiin, kuten kivihiiheen ja maakaasuun, liittyviä kustannuksia. Toimitusketjujen ja valmistusprosessien parantuminen on lisännyt uusiutuvan energian teknologioiden yleistä kilpailukykyä. Näiden tekijöiden yhteisvaikutukset ovat muuttaneet energiaympäristöä, tehneet uusiutuvista energialähteistä kustannustehokkaampia ja vähentäneet riippuvuutta perinteisistä energialähteistä.

Draghin raportissa korostetaan, että energia on EU:n kilpailukyvyn kannalta keskeinen tekijä. Siinä ehdotetaan toimenpidekokonaisuutta, jolla puututaan korkeiden energianhintojen syihin EU:ssa ja pyritään edesauttamaan sitä, että myös loppukäyttäjät hyötyisivät energia-alan hiilestä irtautumisesta.¹⁷ Energianäkökohdat ovat keskeisellä sijalla uudessa puhtaan teollisen kehityksen ohjelmassa, ja komissio esittää kohtuuhintaista energiaa koskevan toimintasuunnitelman yhteydessä konkreettisia toimenpiteitä kotitalouksien ja teollisuuden energiakustannusten alentamiseksi.

2.1.2. Tuki nettonollateknologialle maailmanmarkkinoilla

Uusi geopoliittinen dynamiikka ja korkeat korot ja inflaatio ovat muuttaneet nettonollateknologioiden liiketoimintaympäristöä viime vuosina. Keskeisten massatuotannossa olevien nettonollateknologioiden maailmanmarkkinoiden odotetaan lähes kolminkertaistuvan vuoteen 2035 mennessä, jolloin niiden vuotuinen arvo olisi noin 1,9 biljoonaa euroa.¹⁸ Kilpailtaessa valmistuskapasiteetin lisäämisestä ennakoitun kysynnän tyydyttämiseksi keskeisenä tavoitteena on edelleen varmistaa, että EU:n teollisuus säilyy kilpailukykyisenä ja kykenee osallistumaan energiasiirtymän edellyttämien teknologioiden tuottamiseen Euroopassa ja maailmanlaajuisesti. Samaan aikaan epävarma tilanne muodostaa haasteen pitkän aikavälin investoinneille, myös valmistus- tai tuotantolaitoksiin tehtäville investoinneille. Nyt tehtävillä ja toteutettavilla päätöksillä on ratkaiseva merkitys, jotta EU ja sen teollisuus voisivat kilpailla markkinaosuuksista vuonna 2030 ja sen jälkeen. Viivästykset nettonollateknologioiden valmistuskapasiteetin lisäämisessä uhkaavat vaikuttaa EU:n kilpailukykyyn tulevina vuosikymmeninä. Sähköistymisen vauhdittaminen vähentää riippuvuutta fossiilisista polttoaineista, mutta uusien riippuvuuksien välttämiseksi tarvitaan

¹⁷ Mario Draghi, [The future of European competitiveness](#), 2024.

¹⁸ IEA, *Energy Technology Perspectives*, 2024. Aurinkosähkön, tuulivoiman, sähköajoneuvojen, akkujen, elektrolyysilaitteiden ja lämpöpumppujen maailmanmarkkinoita koskevat arviot. Raportissa viitataan 2 biljoonaa Yhdysvaltain dollariin. Tämä arvo muunnettiin euroiksi vuoden 2024 lopussa.

myös häiriönsietokykyisiä nettonollatekniologioiden, kuten tuulivoiman tai akkujen, arvoketjuja.¹⁹

Viimeaikaisiin kriiseihin vastaamiseksi ja yritysten energiasiirtymän tukemiseksi eri puolilla maailmaa, kuten Etelä-Koreassa, Intiassa, Japanissa, Kanadassa, Kiinassa ja Yhdysvalloissa, on otettu käyttöön teollisuuspolitiikkaa, jolla lisätään puhtaan energiateknologian valmistusta. Inflaation hillitsemistä koskevan lain (Inflation Reduction Act, IRA) myötä Yhdysvallat tarjosi avustuksia kehittyneiden tekniologioiden asentamiseen sekä verohelpotuksia puhtaan energian laitteiden tuotantolaitoksiin tehtävien investointien edistämiseksi (tuen kokonaismäärä on arviolta 461 miljardia euroa²⁰, josta 60 prosenttia on suunnattu energia-alalle). Samaan aikaan Kiinasta on tullut monien nettonollatekniologioiden pääasiallinen tuottaja ja edelläkävijä puhtaiden tekniologioiden tukemisessa investointikeskeisen talouden kautta.²¹ Esimerkiksi yli 90 prosenttia aurinkoenergia-alan tuotantolaitoksista sijaitsee Kiinassa.²²

Yhdysvaltojen ja muiden maiden soveltamat tuontirajoitukset lisäävät EU:n valmistajiin kohdistuvaa painetta unionin sisäisillä markkinoilla. Lisäksi valmistuskapasiteetin maailmanlaajuinen kasvu aiheuttaa ylikapasiteetin riskin, koska sen ennakoitaan tällä hetkellä mahdollisesti ylittävän käyttöönottovalmiudet tiettyjen tekniologioiden osalta. Tällainen kehitys voisi vakavasti vahingoittaa tiettyjä EU:n valmistusteollisuuden segmenttejä, mukaan lukien nettonollatekniologiat. Vuotta 2025 koskevien ennusteiden mukaan maailmanlaajuinen ylikapasiteetti jatkuu edelleen keskeisten puhtaiden energiatekniologioiden aloilla, erityisesti akku- ja aurinkoenergia-alojen koko arvoketjuissa sekä tuuliturbiinien konehuoneiden osalta.²³

Arvioiden mukaan Kiinan kokonaistuet ovat kolmesta yhdeksään kertaa suuremmat kuin muissa OECD-maissa, kuten Yhdysvalloissa tai Saksassa.²⁴ EU on saattanut päätökseen Kiinasta peräisin olevien akkusähköajoneuvojen tasoitustulleja koskevan tutkimuksen, jonka tuloksena tällaiselle tuonnille otettiin käyttöön tasoitustullit.²⁵ Tukien laajuuden ja soveltamisalan sekä kansainvälisen kaupan sääntöjen noudattamisen arvioimiseksi on kuitenkin otettava huomioon myös muut julkisen tuen kanavat. EU aikoo myös tehdä yhteistyötä kansainvälisten kauppakumppanien kanssa ja pyytää apua tilanteen seurantaan kansainvälisiltä elimiltä, kuten Taloudellisen yhteistyön ja kehityksen järjestöltä (OECD) ja Kansainväliseltä energiajärjestöltä (IEA).

Maailmanlaajuisen energiasiirtymän onnistuminen edellyttää taloudellisten mahdollisuuksien ja hyötyjen jakamista koko arvoketjussa. Tältä osin maailmanlaajuiset kumppanuudet ja tasapuoliset toimintaedellytykset ovat olennaisen tärkeitä EU:n häiriönsietokyvyn ja strategisen riippumattomuuden saavuttamiseksi. EU:n nykyisellä Global Gateway -aloitteella edistetään investointeja EU:n ulkopuolisiin maihin unionin ja sen vihreän ja digitaalisen siirtymän kannalta keskeisillä aloilla. Global Gateway -strategian tavoitteena on saada liikkeelle jopa 300 miljardin euron investoinnit.²⁶ Kunnianhimoisten kauppasopimusten neuvottelemine, tekemine ja täytäntöönpano auttaa laajentamaan markkinoille pääsyä ja parantamaan talouden häiriönsietokykyä.²⁷ Lisäksi puhtaan kaupan ja puhtaiden investointien kumppanuuksilla voidaan täydentää kauppasopimuksia ja tukea hiilestä irtautumista koskevia

¹⁹ Euroopan komissio, [sisämarkkinoita ja kilpailukykyä koskeva vuosikertomus 2025](#), ks. sähköistymistä koskeva keskeinen tulosindikaattori 18.

²⁰ Vuoden 2024 keskimääräisen vaihtokurssin mukaan (0,9239 euroa = 1 Yhdysvaltojen dollari), lähde: [EKP](#).

²¹ Strategic perspectives, [Competing in the new zero-carbon industrial era](#), 2023.

²² Lisätietoa on jäljempänä aurinkosähköä käsittelevässä jaksossa.

²³ BloombergNEF, *Trade & Supply Chains: 10 Things to Watch in 2025*, 2025.

²⁴ Kiel Institute for the World Economy, *Foul Play? On the Scale and Scope of Industrial Subsidies in China*, 2024.

²⁵ EUVL L, 2024/2754, 29.10.2024.

²⁶ Lisätietoa: https://international-partnerships.ec.europa.eu/policies/global-gateway_fi.

²⁷ COM(2025) 30 final.

toimia EU:ssa ja sen ulkopuolella unionin ja sen kauppakumppaneiden puhtaaseen energiaan liittyvien liiketaloudellisten intressien mukaisesti.

Unionin hiilestä irtautumisen ja puhtaaseen energiaan siirtymisen vauhdittaminen on ollut keskeisellä sijalla Euroopan vihreän kehityksen ohjelmassa ja sen jälkeisissä politiikkatoimissa, kuten 55-valmiuspaketissa ja vihreän kehityksen teollisuussuunnitelmassa. EU:lla on vankka nettonollateknologioita edistävä kehys, jossa yhdistyvät T&I-tuki, taloudelliset kannustimet, kuten EU:n päästökauppajärjestelmän mukainen hiilen hinnoittelu, sekä sääntelyvälineet, kuten uusiutuvan energian direktiivi ja nettonollateollisuussäädös. Elpymis- ja palautumistukivälineestä osoitettiin 650 miljardia euroa jäsenvaltioiden uudistusten ja investointien tukemiseen. Tästä määrästä vähintään 37 prosenttia kohdistetaan kansallisten elpymis- ja palautumissuunnitelmien vihreisiin toimenpiteisiin. Lisäksi EU:n koheesipolitiikan rahastoista eli Euroopan aluekehitysrahastosta, koheesiorahastosta, oikeudenmukaisen siirtymän rahastosta ja Interreg-ohjelmasta myönnetään lähes 120 miljardia euroa vihreisiin toimenpiteisiin (kokonaisinvestoinnit ovat yli 166 miljardia euroa). Näiden rahastojen varoista osoitetaan ilmastotoimiin keskimäärin 40 prosenttia, mikä ylittää selvästi lakisääteiset vähimmäissitoumukset.²⁸ Lisäksi REPowerEU-suunnitelmalla oli keskeinen rooli pyrittäessä vähentämään nopeasti riippuvuutta Venäjän fossiilisista polttoaineista ja vauhdittamaan vihreää siirtymää.

EU perusti Euroopan strategisten teknologioiden kehysvälineen (STEP) tukemaan Euroopan teollisuutta ja lisäämään eurooppalaisia investointeja kriittisiin teknologioihin, myös puhtaisiin energiateknologioihin. STEP-kehysvälineessä yhdistetään taloudellisia kannustimia hankerahoituksen saantia helpottaviin toimenpiteisiin. Välineen kautta pyritään rahoittamaan kriittisiä teknologioita EU:n nykyisistä ohjelmista ja rahastoista, kuten koheesipolitiikan rahastoista, InvestEU-ohjelmasta, Horisontti Eurooppa -puiteohjelmasta, Euroopan puolustusrahastosta, EU:n päästökauppajärjestelmän innovaatorahastosta sekä elpymis- ja palautumistukivälineestä. Lisäksi Horisontti Eurooppa -puiteohjelman klusterista 5 ”Ilmasto, energia ja liikkuvuus” on vuoteen 2024 mennessä myönnetty yli kolme miljardia euroa puhtaiden energiateknologioiden tutkimuksen ja innovoinnin tukemiseen.

2.2. Nettonollateknologian arvoketjut EU:ssa: puhtaan teollisuuden mahdollisuudet ja haasteet

2.2.1. Valmistusteollisuuden toimitusketjut

EU on viime vuosina toteuttanut toimia nettonollateknologioiden valmistuskapasiteetin lisäämiseksi. Tavoitteena on vähentää strategisia riippuvuuksia ja parantaa EU:n häiriönsietokykyä sekä edistää unionin ilmasto- ja energiatavoitteiden saavuttamista.

Vaikka EU lisää toimiaan, se kohtaa voimakasta painetta maailmanlaajusten kilpailijoiden taholta. Viime vuosina sen asema nettonollateknologioiden valmistuksessa on heikentynyt maailmanlaajuisesti huolimatta sen vahvuuksista esimerkiksi tutkimuksen ja innovoinnin, ammattitaitoisen työvoiman ja sääntelystandardien osa-alueilla. EU:lla on edelleen vahva tuotantoperusta tietyissä nettonollateknologioissa, kuten tuulivoimassa ja elektrolyytilaitteissa, mutta muut maailman osat hallitsevat tietyjä arvoketjuja yhä vahvemmin, kuten esimerkiksi aurinkosähkö- ja akkualoilla. Haasteena on riippuvuus paitsi tietyistä nettonollateknologioista

²⁸ Lisätietoa: [”Exploring investments 2021-2027 – Cohesion policy support to climate action”](#).

myös toimitusketjun tietyistä teknologiakomponenteista. EU:n on esimerkiksi edelleen suurin ilmavesilämpöpumppujen valmistaja, mutta Kiina tuottaa suurimman osan nelitieventiileistä ja kompressoreista.²⁹ Lisäksi EU on edelleen erittäin riippuvainen useista kriittisistä raaka-aineista, jotka ovat välttämättömiä erilaisten nettonollateknologioiden valmistuksessa.

Maailmanlaajuiset investoinnit puhtaan teknologian valmistukseen kasvoivat nopeasti vuoteen 2023 asti. Vuonna 2024 investoinnit pysyivät samalla tasolla ja olivat noin 129 miljardia euroa (133 miljardia euroa vuonna 2023).³⁰ Kansainvälisen energijärjestön (IEA) mukaan EU ja Yhdysvallat pystyivät kasvattamaan yhteenlasketun osuutensa kaikista puhtaan teknologian valmistukseen tehdyistä investoinneista 16 prosenttiin vuonna 2023 (11 prosentista vuonna 2022).³¹ Samaan aikaan Kiinalla on edelleen merkittävä johtoasema valmistusteollisuuteen tehtävissä investoinneissa. Vuonna 2024 Kiinan osuus kaikista puhtaan teknologian toimitusketjuihin tehdyistä investoinneista oli arviolta 81 prosenttia.³²

Valmistuskustannukset ovat EU:ssa ja Yhdysvalloissa edelleen rakenteellisesti korkeammat kuin Kiinassa. Aurinkosähkömoduulien valmistuskustannukset ovat Kiinassa 35–65 prosenttia alhaisemmat kuin EU:ssa ja Yhdysvalloissa.³³ Maalla sijaitsevien tuuliturbiinien kustannukset Kiinassa ovat noin 355 euroa kilowattia kohti, kun taas EU:ssa ja Yhdysvalloissa kustannukset vaihtelevat 448 eurosta 485 euroon kilowattia kohti.³⁴ Lämpöpumppujen loppukokoonpano maksaa EU:ssa ja Yhdysvalloissa noin kaksi kertaa enemmän kuin Kiinassa.³⁵

Kustannuseroihin vaikuttavat useat tekijät, kuten korkeat energian hinnat, toimitusketjuhäiriöt, valuuttainflaatio, korkojen nousu, voimakas kilpailu markkinoilla, erilaiset tukiohjelmat ja epävarma tuleva kysyntä. IEA:n tuore analyysi osoittaa, että Kiina on edelleen kustannustehokkain maa tuotantolaitoksiin tehtävien pääomainvestointien osalta. EU:ssa ja Yhdysvalloissa kustannukset ovat 70–195 prosenttia korkeammat tuotantokapasiteetin yksikköä kohti.³⁶ Vaikka unionin valmistusteollisuuden vahvistamiseen liittyy huomattavia haasteita, EU on yksi nettonollateknologioiden kehittämisen ja käyttöönoton keskeisistä markkinoista. Siksi sillä on myös hyvät valmiudet hyödyntää maailmanlaajuisen energiasiirtymän tarjoamat taloudelliset mahdollisuudet.

Nettonollateollisuus on levittäytynyt monille EU:n alueille, joista kukin on erikoistunut eri teknologioihin. Vaikka EU:n osuus maailmanlaajuisesta aurinkosähköteknologian valmistuksesta on pienentynyt viime vuosina, tuotantolaitoksia on edelleen Saksassa, Italiassa, Espanjassa, Ranskassa ja Itävallassa. Tuulivoiman alalla komponenttien tuotanto on jakautunut eri puolille EU:ta, mutta tärkeimmät turbiinivalmistajat ovat keskittyneet Tanskaan ja Saksaan, minkä lisäksi Espanjassa on tornien valmistuskapasiteettia. EU:n akkuvalmistusala on vasta kehittymässä, ja tuotantoa on Puolassa, Saksassa, Unkarissa, Ranskassa, Ruotsissa ja muutamissa muissa jäsenvaltioissa. Vedyn alalla yli puolet EU:n elektrolyysilaitteiden

²⁹ Ks. tämän kertomuksen jakso 3 (lämpöpumpputeknologiat).

³⁰ BloombergNEF, *Energy Transition Investment Trends 2025*, 2025. Tiedot kattavat akkujen keskeisten komponenttien valmistuksen (kaivokset ja jalostamot mukaan luettuina) sekä aurinkosähkön, tuulivoiman ja vedyn toimitusketjun. Vuoden 2024 keskimääräisen vaihtokurssin mukaan (0,9239 euroa = 1 Yhdysvaltojen dollari), lähde: [EKP](#).

³¹ IEA, *Advancing Clean Technology Manufacturing*, 2024.

³² BloombergNEF, *Energy Transition Investment Trends 2025*, 2025. Tiedot kattavat akkujen keskeisten komponenttien valmistuksen (kaivokset ja jalostamot mukaan luettuina) sekä aurinkosähkön, tuulivoiman ja vedyn toimitusketjun.

³³ IEA, *Advancing Clean Technology Manufacturing*, 2024.

³⁴ Vuoden 2024 keskimääräisen vaihtokurssin mukaan (0,9239 euroa = 1 Yhdysvaltojen dollari), lähde: [EKP](#).

³⁵ IEA, *Advancing Clean Technology Manufacturing*, 2024.

³⁶ IEA, *Advancing Clean Technology Manufacturing*, 2024.

valmistuksesta tapahtuu Saksassa, ja lisäkapasiteettia on Tanskassa, Espanjassa, Portugalissa, Italiassa ja Ranskassa. Lämpöpumppujen osalta merkittävää valmistusta on Saksassa, Ruotsissa, Suomessa ja Tanskassa. Geotermisen energian alalla Italia on kärkisijalla valmistuksessa, mutta merkityksellistä tuotantoa on myös Saksassa ja Ranskassa. Italiassa on johtoasema myös EU:n kaapelituotannossa, ja sitä seuraavat Ruotsi, Saksa, Ranska, Puola ja Tanska. EU on myös johtava biokaasun ja biometaanin tuottaja. Merkityksellistä tuotantoa on erityisesti Saksassa ja Italiassa sekä alan komponenttien osalta Tšekissä, Espanjassa ja Puolassa.³⁷

EU hyväksyi nettonollateollisuussäädöksen vähentääkseen unionin riippuvuutta nettonollateknologioiden tuonnista, vahvistaakseen arvoketjujen häiriönsietokykyä ja rakentaakseen vahvan sisäisen tuotantoperustan. Säädöksen tavoitteena on luoda sääntelykehys, jolla varmistetaan nettonollateknologioiden turvattu ja kestävä tarjonta unionissa muun muassa lisäämällä nettonollateknologioiden ja niiden toimitusketjujen valmistuskapasiteettia.

Lisäksi jäsenvaltiot ottavat yhä enemmän käyttöön erityisiä politiikkoja, joilla edistetään nettonollateknologioiden tuotantoa. Nettonollateknologioita koskevissa kansallisissa poliittisissa ja oikeudellisissa kehyksissä yhdistellään kannustinjärjestelmiä, vero- ja finanssipolitiikkaa sekä osaamis- ja koulutuspolitiikkaa. Monissa näistä kansallisista strategioista kuitenkin keskitytään tiettyihin teknologioihin eikä nettonollateknologioihin yleensä. Tuoreen tutkimuksen mukaan suurin osa yksilöidyistä jäsenvaltioiden politiikoista koskee elektrolyysilaitteita ja polttokennoja, ja seuraavina tulevat akku- ja varastointiteknologiat, tuulienergia ja aurinkosähkö. Esimerkiksi Saksassa ja Espanjassa on käytössä vetyteknologiaa koskevat strategiat, kun taas Irlannilla ja Puolalla on alakohtaiset strategiat tuulivoimateknologiaa varten.³⁸

Yksi nettonollateknologioiden laajamittaisen tuotannon haasteista on tuotantolaitoksia koskevat lupamenettelyt, joita käsitellään laajasti nettonollateollisuussäädöksessä. Säännöt vaihtelevat maittain, mikä saattaa vaikuttaa näiden teknologioiden käyttöönottoaikatauluun. Jäsenvaltiot ovat kuitenkin alkaneet esimerkiksi siirtyä kohti digitaalisia ratkaisuja sekä perustaa keskitettyjä asiointipisteitä ja priorisoida vihreitä hankkeita. Esimerkiksi Italia on luonut yritystoimintaan erikoistuneita keskitettyjä asiointipisteitä ja Suomi on asettanut vihreää siirtymää koskevat hankkeet tilapäisesti etusijalle. Lisäksi Unkari on luokitellut tietyt hankkeet ensisijaisiksi investointikohteiksi. Ranskassa puolestaan vihreää teollisuutta koskevan lain tavoitteena on lyhentää lupamenettelyjen kestoja rinnakkaiskäsitelyyn ja strategiaan hankkeisiin sovellettavien nopeutettujen menettelyjen avulla.³⁹

Draghin raportissa korostetaan, että EU:ssa on säilytettävä puhtaan teknologian valmistusta ja sitä on vahvistettava, jotta voidaan hyödyntää kasvumahdollisuudet, joita unionin vahvaan innovointi- ja valmistusperustaan pohjautuvat kasvavat markkinat EU:ssa ja sen ulkopuolella tarjoavat. Lisäksi raportissa yksilöidään useita haasteita, joita EU:n valmistajat kohtaavat, kun ne pyrkivät laajentamaan toimintaansa ja kilpailemaan näillä teknologia-aloilla, sekä ehdotetaan useita toimenpiteitä EU:n kilpailukyvyyn tukemiseksi tällä alalla. Raportissa

³⁷ Ecorys, *The Net-Zero manufacturing industry landscape across Member States - Final Report*, 2025. Viitteellinen luettelo esimerkeistä.

³⁸ Ks. edellinen alaviite.

³⁹ Ks. edellinen alaviite.

korostetaan muun muassa, että nettonollateollisuussäädöksen täydellinen ja nopea täytäntöönpano on ratkaisevan tärkeää valmistusteollisuuden tukemiseksi.⁴⁰

Puhtaan teollisen kehityksen ohjelmassa esitetään kilpailukykyyn perustuva lähestymistapa hiilestä irtautumiseen. Tavoitteena on varmistaa, että EU on houkutteleva paikka valmistusteollisuudelle, myös energiavaltaisille teollisuudenaloille ja puhtaalle teknologialle. Lisäksi tuleva Euroopan kilpailukykyrahasto auttaa varmistamaan, että strategista teknologiaa, myös puhdasta teknologiaa, kehitetään ja valmistetaan EU:ssa.⁴¹

2.2.2. Energiavaltaisen teollisuuden hiilestä irtautuminen

Energiavaltaisen teollisuuden tuottamalla materiaaleilla, kuten teräksellä, alumiinilla ja kemikaaleilla, on strateginen merkitys EU:n talouden kannalta muun muassa siksi, että ne muodostavat perustan nettonollateknologioiden suunnittelulle ja valmistukselle. Tuuliturbiinien rakentamisessa tarvitaan terästä tornia ja sen perustaa varten, alumiinia konehuonetta ja lapoja varten sekä erityisiä kemiallisia aineita pinnoitetta varten. Samaan aikaan nettonollateknologiat, kuten uusiutuvat energialähteet, vedyntuotanto, energiatehokkaat teknologiat ja hiilidioksidin talteenotto- ja varastointiteknologiat, mahdollistavat energiavaltaisen teollisuuden hiilestä irtautumisen. Tämä osoittaa, miten olennaisen tärkeitä energiavaltaisen teollisuuden tuotteet ovat nettonollateknologioiden arvoketjuille ja päinvastoin.

Siksi EU:n strategisen riippumattomuuden lisääminen edellyttää arvoketjuihin perustuvaa lähestymistapaa, jossa otetaan huomioon kaikki nettonollateknologioiden keskeiset komponentit ja materiaalit. Nettonollateollisuussäädöksessä tunnustetaan muutosvoimaisten teollisuusteknologioiden merkitys perusmateriaalien (kuten teräksen, alumiinin, muiden kuin rautametallien, kemikaalien ja sementin) tuotannon hiilestä irtautumisessa. Siihen sisältyy myös tuki energiavaltaisen teollisuuden hiilestä irtautumista koskeville hankkeille, jotka ovat osa nettonollateknologioiden toimitusketjuja.⁴² Nämä hankkeet hyötyvät muun muassa nopeutetuista lupamenettelyistä. Lisäksi EU tukee siirtymistä fossiilisista polttoaineista uusiutuviin ja vähähiilisiin energialähteisiin erityisesti energiatehokkaan sähköistämisen avulla. Esimerkkinä voidaan mainita lämmön talteenotto pakokaasuista lämpöpumppujen avulla uudelleenkäyttöä varten.

Energiavaltaisen teollisuuden osuus EU:n teollisuuden energiankulutuksesta on yli puolet⁴³, ja näihin teollisuudenaloihin vaikuttaa myös eniten se, että energian hinnat ovat EU:ssa rakenteellisesti korkeammat kuin muissa suurissa talouksissa. REPowerEU-suunnitelman puitteissa toteutetuista toimituksista huolimatta EU:n energiavaltaisen teollisuuden tuotanto on supistunut 10–15 prosenttia vuodesta 2021.⁴⁴ Samaan aikaan energiavaltainen teollisuus aiheuttaa merkittävän osan EU:n kasvihuonekaasupäästöistä. Sen hiilestä irrottaminen on välttämätöntä ilmastoneutraaliuden saavuttamiseksi, mutta tämä edellyttää merkittäviä investointeja, mikä lisää entisestään EU:n yrityksiin kohdistuvaa painetta. Tämä aiheuttaa suuria paineita myös koko unionin energiavaltaisen teollisuuden kilpailukykyille verrattuna maihin, joissa energian hinnat ovat alhaisemmat ja joiden hiilidioksidipäästöjen vähentämishjelmat eivät ole yhtä kunnianhimoisia. Jos tämä paine johtaisi keskeisten

⁴⁰ Mario Draghi, *The future of European competitiveness*, 2024.

⁴¹ [Poliittiset suuntaviivat seuraavalle Euroopan komissiolle 2024–2029](#).

⁴² EUVL L, 2024/1735, 28.6.2024, 2 artiklan 3 kohta.

⁴³ Ks. https://single-market-economy.ec.europa.eu/industry/strategy/energy-intensive-industries_en?prefLang=fi.

⁴⁴ Mario Draghi, *The future of European competitiveness*, 2024.

teollisuustuotteiden tuotannon menettämiseen, se heikentäisi EU:n nettonollateknologioiden toimitusketjuja, lisäisi riippuvuutta tuonnista ja vähentäisi vaurautta.

Draghin raportissa korostetaan energiavaltaiten teollisuudenalojen merkitystä EU:n taloudelle ja niiden valtavaa haastetta jatkaa investointeja hiilestä irtautumiseen samalla kun hiilidioksidipäästöjen hinnat nousevat ja ne joutuvat kilpailemaan maailmanmarkkinoilla. Tältä osin raportissa todetaan, että toimintaedellytykset eivät ole tasapuoliset etenkin verrattuna yrityksiin, jotka hyötyvät suurista tuista esimerkiksi Kiinassa ja muissa tuotantoaan nopeasti laajentavissa maissa. Tämän analyysin pohjalta Draghin raportissa ehdotetaan koordinoitua tuen tarjoamista EU:n energiavaltaiten teollisuudenaloille niiden siirtymässä. Tuki ulottuisi lupamenettelyistä taloudelliseen tukeen ja kattaisi muun muassa kysynnän luomisen vihreille tuotteille, jotta puhtaaseen tuotantoon tehtäville investoinneille olisi selkeät taloudelliset kannustimet. Raportissa kehoitetaan tasoittamaan toimintaedellytyksiä kansainvälisiin kilpailijoihin nähden myös esimerkiksi EU:n hiilirajamekanismin (CBAM) pohjalta.⁴⁵

Puhtaan teollisen kehityksen ohjelmassa painotetaan voimakkaasti EU:n teollisuuden ja sen kilpailukyvyn tukemista hiilestä irtautumisessa. Komissio aikoo muun muassa ehdottaa teollisuuden vähähiilistämistä vauhdittavaa säädöstä, jolla tuetaan siirtymävaiheessa olevia teollisuudenaloja luomalla edelläkävijämarkkinat puhtaille tuotteille ja nopeuttamalla tuotantolaitosten rakentamis- ja muuntamishankkeita koskevia suunnittelu-, tarjouskilpailu- ja lupamenettelyjä, keskittyen erityisesti energiavaltaiseen teollisuuteen. Uudessa kilpailukykykompassissa kaavallaan räätälöityjä toimintasuunnitelmia Euroopan valmistusteollisuuden selkärangana toimiville energiavaltaiten teollisuudenaloille, kuten teräs, metalli ja kemikaalit. Lisäksi kilpailukykykompassissa ehdotetaan kilpailukyvyn horisontaalisia edellytyksiä koskevia toimia, kuten sääntely-ympäristön yksinkertaistamista ja EU:n teollisuuden sääntelytaakan keventämistä.

2.2.3. Inhimillinen pääoma ja osaaminen

EU:n kyky suunnitella, valmistaa, rakentaa, liittää ja ylläpitää puhtaita energiateknologioita ja -infrastruktuureja perustuu osaavaan työvoimaan. Viimeisimmän IRENAn raportin mukaan uusiutuvan energian ala työllisti EU:ssa noin 1,8 miljoonaa henkilöä vuonna 2023.⁴⁶ Toimialajärjestöiltä saadut tiedot osoittavat, että EU:n aurinkoenergia-alalla työskenteli vuoden 2023 lopussa noin 826 000 henkilöä (362 000 suoraa työpaikkaa). Alan työpaikkojen määrä on kasvanut 27 prosenttia vuodesta 2022 alkaen, ja 5 prosenttia työpaikoista on valmistusteollisuudessa.⁴⁷ Lämpöpumppualalla oli samana vuonna lähes 170 000 suoraa työpaikkaa, joista 39 prosenttia oli valmistusteollisuudessa.⁴⁸ Negatiiviset suuntaukset vuonna 2024 ja sen jälkeen voivat kuitenkin vaikuttaa alan työmarkkinoihin. Tässä yhteydessä on syytä huomata puhtaiden energiateknologioiden rooli valmistusteollisuudessa, koska valmistuksen osuus laajemman puhtaan energian alan työpaikoista on noin kolmannes. Tämä korostaa nettonollateknologioiden ja niiden valmistusteollisuuden keskeistä merkitystä myös työllisyyden kannalta.

⁴⁵ Ks. edellinen alaviite.

⁴⁶ IRENA ja ILO, *Renewable energy and jobs: Annual review 2024*, 2024.

⁴⁷ Solar Power Europe, *EU Solar Jobs Report 2024 – a solar workforce ready for stronger growth*, 2024.

⁴⁸ European Heat Pump Association, *European Heat Pump Market and Statistics Report 2024*, 2024.

Vaikka tilanne parani hieman vuonna 2024, työvoimapula on edelleen huolenaihe. Vuoden 2024 kolmannella neljänneksellä avoimien työpaikkojen aste oli energia-alalla 1,6 prosenttia, kun koko EU:n taloudessa se oli 2,3 prosenttia.⁴⁹ Sähkölaitteiden valmistusalalla työvoimapulasta ilmoittaneiden yritysten osuus laski vuoden 2023 viimeisen neljänneksen 20 prosentista 15 prosenttiin vuoden 2024 viimeisellä neljänneksellä.⁵⁰ Keskeinen tekijä, joka voi pahentaa rakenteellista työvoimapulaa tulevina vuosina, on työvoiman ikääntyminen monissa jäsenvaltioissa.⁵¹

Useilla tasoilla on jo käytössä politiikkoja, joilla puututaan työvoimapulaan ja osaamisvajeeseen, mutta ponnisteluja on jatkettava. Jäsenvaltiot pitävät tärkeänä uudelleenkoulutusta ja työntekijöiden uudelleensijoittamista eri ammatteihin, aloille ja alueille. Osaamista koskevat tavoitteet ja toimenpiteet on mahdollisuuksien mukaan sisällytetty kansallisten energia- ja ilmastosuunnitelmien tutkimus-, innovointi- ja kilpailukyky politiikkaan.⁵² EU:n tasolla Euroopan osaamisohjelma on säilynyt painopisteenä myös Euroopan osaamisen teemavuoden 2023 jälkeen. Vuonna 2024 käyttöön otetussa työvoimapulaa ja osaamisvajetta koskevassa EU:n toimintasuunnitelmassa esitetään EU:lle, jäsenvaltioille ja työmarkkinaosapuolille uusia toimia täydennys- ja uudelleenkoulutuksen tukemiseksi erityisesti aloilla, joihin vihreä ja digitaalinen siirtymä vaikuttaa.⁵³ Osaamissopimuksen puitteissa on perustettu kolme laajamittaista kumppanuutta (jotka koskevat merellä tuotettavaa uusiutuvaa energiaa, maalla tuotettavaa uusiutuvaa energiaa ja energijärjestelmän digitalisointia) ja kolme nettonollateollisuuden alan koulutusyhteinliittymää (akkualan yhteenliittymän koulutuskeskus vuonna 2022, aurinkoalan koulutuskeskus kesäkuussa 2024 ja raaka-aineakatemia joulukuussa 2024). Näillä pyritään korjaamaan erityisiä osaamisvajeita keskeisillä puhtaan energiateknologian aloilla. Lisäksi suunnitteilla on myös tuuli- ja vetyteknologiaa käsittelevät koulutusyhteinliittymät.

Kilpailukykyinen puhtaan energian teollisuus ja energiasiirtymä edellyttävät näin ollen merkittäviä, tehostettuja ja kohdennettuja julkisia ja yksityisiä koordinoitavia toimia työntekijöiden houkuttelemiseksi ja uudelleen- ja täydennyskouluttamiseksi, jotta käytettävissä on riittävästi työvoimaa. Tarvitaan jatkuvia toimia, jotta voidaan lisätä naisten osuutta puhtaiden energiateknologioiden kehittämisessä, valmistuksessa ja käyttöönotossa, houkuttella nuoria energia-alan ammatteihin sekä kehittää puhtaan energian osaajareserviä. Komissio korostaa kilpailukykykompassissa, että osaamisvajeiden ja työvoimapulan korjaamiseksi tarvitaan lisätoimenpiteitä. Lisäksi se hahmottelee toimia kompassissa käsiteltyjen teollisuudenalojen tukemiseksi. Niihin sisältyvät muun muassa osaamisunionin perustaminen ja osaamiseen liittyvän rahoituksen painottaminen EU:n talousarviossa keskittyen vihreään ja digitaaliseen siirtymään osallistuviin aloihin. Nämä toimenpiteet ovat erityisen tärkeitä paitsi puhtaan energian teknologioiden myös energiasiirtymän onnistumisen kannalta.

⁴⁹ Eurostat ([jvs_q_nace2](#)), sivustolla käyty 13.2.2025.

⁵⁰ Euroopan komissio, talouden ja rahoituksen pääosasto, [yritys- ja kuluttajakyselytietokanta, alasektorien tiedot](#), NACE-koodia ”27 – Sähkölaitteiden valmistus” käytetään ilmaisemaan uusiutuvan energian valmistusteollisuutta, koska monet puhtaat energiateknologiat kuuluvat tähän luokkaan.

⁵¹ IEA, *World Energy Employment, 2024*; Cedefop, *Electroengineering workers: skills opportunities and challenges*, 2023.

⁵² Tieto perustuu jäsenvaltioiden kansallisiin energia- ja ilmastosuunnitelmiin.

⁵³ COM(2024) 131 final.

2.3. Puhtaan energian alan innovointiympäristö

2.3.1. Tutkimuksen ja innovoinnin suuntaukset

EU on perinteisesti pyrkinyt ja onnistunut saavuttamaan tieteellistä ja teknistä huipputaamista puhtaiden energiateknologioiden alalla, mikä on antanut sille etulyöntiaseman ja sitä kautta tuonut menestystä markkinoilla. Tämä kilpailuetu on kuitenkin vähentynyt viime vuosina. Muut taloudet ovat muun muassa T&I-toimintaa edistämällä, teknologian siirron kytkösmarkkinoita hyödyntämällä ja tekemällä oppimisen kautta onnistuneet kuromaan EU:n kiinni tai jopa ohittaneet sen innovointivalmiudessa, mikä on samalla vaikuttanut kilpailukykyyn. Tämän vuoksi innovaatiokuilun umpeen kurominen on yksi kilpailukykykompassin kolmesta toimintalinjasta, ja siksi kompassissa esitetään toimenpiteitä EU:n innovaatiokyvyn vahvistamiseksi.

Samaan aikaan unionilla on edelleen vahva perusta puhtaiden energiateknologioiden alalla, jolla se on monilla sektoreilla edelleen hyvässä asemassa. EU on kuitenkin jäämässä jälkeen Yhdysvalloista ja Kiinasta digitaalisilla aloilla sekä yleisesti että puhtaaseen teknologiaan liittyvillä erityisaloilla.⁵⁴ Ottaen huomioon digitalisaation horisontaalinen merkitys eri teknologioiden välillä myös tämä vaikuttaa EU:n kilpailukykyyn.

Kun tarkastellaan suurten talouksien puhtaisiin energiateknologioihin liittyviä T&I-menoja BKT:hen suhteutettuna, EU:n julkiset T&I-menot ovat korkeat mutta yksityisten T&I-menojen taso on suhteellisen matala. Tuoreimmat saatavilla olevat tiedot osoittavat, että puolet jäsenvaltioista, jotka ovat jo ilmoittaneet vuotta 2023 koskevat luvut⁵⁵, ovat lisänneet julkisia T&I-menojaan. Jos nämä osittaiset raportointitiedot osoittautuvat edustaviksi – ja jos huomioon ei oteta muita tekijöitä – se merkitsisi 0,7 miljardin euron (9 prosentin) lisäystä energiaunionin T&I-painopisteisiin myönnettävään tukeen.⁵⁶

Julkiset investoinnit energiaunionin T&I-painopisteisiin ovat lisääntyneet tasaisesti, ja jäsenvaltioiden vuonna 2022 ilmoittamat luvut olivat 23 prosenttia suuremmat kuin vuonna 2021.⁵⁷ Noin puolet tietoja toimittaneista jäsenvaltioista⁵⁸ lisäsi vuonna 2022 julkisia T&I-investointejaan energiaunionin painopisteisiin vuoteen 2021 verrattuna. Vuonna 2022 ilmoitetut julkiset investoinnit EU:n varoilla täydennettyinä olivat yli 9 miljardia euroa. Näiden lukujen sekä Kiinaa ja Yhdysvaltoja koskevien arvioiden perusteella EU on suurten talouksien kärjessä puhtaisiin energiateknologioihin liittyvissä julkisissa T&I-menoissa sekä absoluuttisesti mitattuna että BKT:hen suhteutettuna (0,057 prosenttia, kun toisena tulevan Japanin suhdeluku on 0,055 prosenttia).

⁵⁴ Euroopan komissio, tutkimuksen ja innovoinnin pääosasto, [Science, research and innovation performance of the EU 2024](#), 2024.

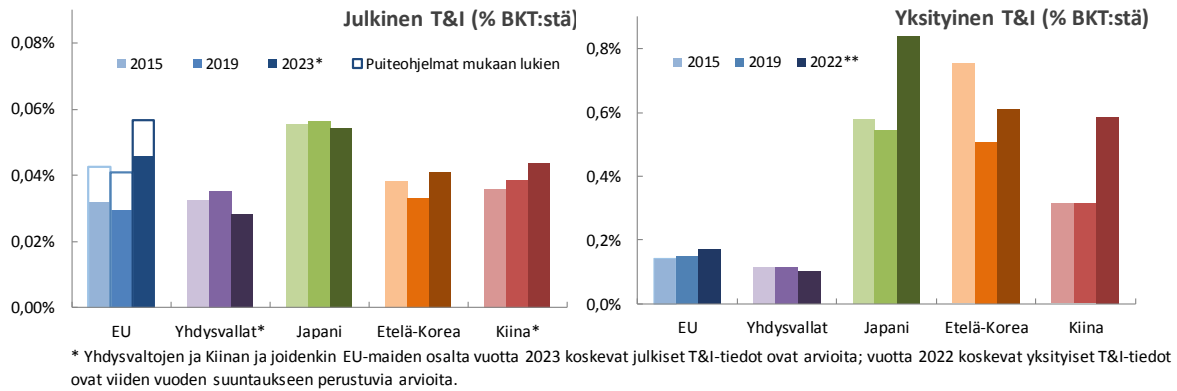
⁵⁵ Ajankohtaista, luotettavaa ja vertailukelpoista tietoa puhtaita energiateknologioita koskevan T&I-toiminnan suuntauksista ei ole helposti saatavilla. Tämä johtuu osittain tiettyihin tilastoihin luonnostaan liittyvästä viiveestä mutta myös siitä, että kyseisiä teknologia-aloja ei aina ole määritelty selkeästi ja että tiedot ovat usein hajallaan laajempia aihealueita, kuten energiaa, liikennettä tai rakennettua ympäristöä, koskevissa tilastoissa. Raportoinnin hajanaisuus vaikeuttaa yhtenäisen kuvan muodostamista ja on yksi niistä asioista, joihin on kiinnitettävä huomiota T&I-toiminnan seurannan ja koordinoimisen parantamiseksi. Ks. myös SWD(2023) 646 final.

⁵⁶ COM(2015) 80 final.

⁵⁷ Merkittävä osa kasvusta vuosina 2021 ja 2022 johtui Espanjassa raportointiin tehdystä muutoksesta ja Ranskan tekemistä tarkistuksista. Nämä kaksi jäsenvaltiota lisäsivät T&K-investointeja yhteensä miljardilla eurolla vuonna 2022. Myös merkittävä osa vuoden 2023 kasvusta johtuu Ranskasta. Lähde: IEA, [Energy Technology RD&D Budgets – Database documentation](#), 2024.

⁵⁸ Kaikkiaan 22 jäsenvaltiota on IEA:n jäseniä: AT, BE, CZ, DE, DK, EL, ES, FI, FR, HU, IE, IT, LT, LU, NL, PL, PT, SE, SK (Kreikka ja Luxemburg eivät raportoi ja Italian tiedot puuttuvat). Vuonna 2022 BE, DE, EE, ES, FR, LT, IE, PL, PT ja FI ilmoittivat IEA:lle lisäyksistä vuonna 2022. AT, BE, FR, LT, IE ja SK ilmoittivat lisäyksistä vuonna 2023.

Kaavio 2: Julkiset ja yksityiset investoinnit energiaunionin T&I-painopisteisiin suhteessa BKT:hen suurissa talouksissa



Lähde: Yhteinen tutkimuskeskus IEA:n⁵⁹, Mission Innovationin⁶⁰ ja oman analyysinsä⁶¹ perusteella.

Viimeisimmät lisäykset merkitsevät sitä, että jäsenvaltioiden investoinnit ovat vuodesta 2021 lähtien ylittäneet vuosikymmenen takaiset, ennen talouden taantumaa kirjatut huippulukemat paitsi nimellisesti myös inflaation vaikutukset huomioituna. Samalla ajanjaksolla julkisten T&I-investointien jakautuminen energiaunionin T&I-prioriteetteihin on muuttunut merkittävästi. Aiemmin merkittävin ala oli ydinturvallisuus, joka houkutteli lähes kolmanneksen julkisista T&I-investoinneista, kun taas viime vuosina kestävä liikenne ja erityisesti akku- ja vetyteknologia on houkutelut vastaavan osuuden.

Jäsenvaltioiden julkisia investointeja täydennetään EU:n varoilla. EU:n tutkimukseen ja innovointiin keskittyvästä Horisontti Eurooppa -puiteohjelmasta tuetaan edelleen puhtaita energiateknologioita ja niiden kilpailukykyä. Esimerkiksi puiteohjelman klusterista 5 ”Ilmasto, energia ja liikkuvuus” investoitiin vuosina 2021–2024 noin 320 miljoonaa euroa tutkimukseen ja innovointiin aurinkosähköalalla, 70 miljoonaa euroa geotermiseen energiaan ja yli 230 miljoonaa euroa lento- ja meriliikenteen kestäviin vaihtoehtoihin polttoaineisiin liittyvien kehittyneiden teknologioiden edistämiseen. Horisontti Eurooppa -puiteohjelmaan sisältyy myös toimia, joilla pyritään saamaan liikkeelle yksityisiä investointeja eurooppalaisten kumppanuuksien, kuten puhtaan vedyn kumppanuuden, akkukumppanuuden tai aurinkosähkökumppanuuden, kautta.

Yksityiset investoinnit muodostavat edelleen suurimman osan (yli kolme neljäsosaa) puhtaan energiateknologian T&I-rahoituksesta sekä EU:ssa että kaikissa suurimmissa talouksissa. BKT:hen suhteutetut investoinnit ovat edelleen huomattavasti suuremmat Aasian tärkeimmissä talouksissa kuin EU:ssa ja Yhdysvalloissa. Suurin osa puhtaaseen energiateknologiaan tehdyistä yksityisistä T&I-investoinneista EU:ssa kohdistuu kestäviin liikenneteknologioihin. Suurin osa teollisuuden T&K-investoinneista unionissa tehdään autoteollisuudessa. Alalla on kärkipaikka autoteollisuuden T&K-investoinneissa koko maailmassa, ja sen investoinnit ovat

⁵⁹ Mukautettu julkaisusta IEA, ”[IEA energy technology RD&D budgets database](#)”, 2024. Yhdysvaltojen julkisia T&I-tietoja koskevat arviot perustuvat IEA:n tietoihin ja seuraavaan lähteeseen: Myslikova, Z., Gallagher, K. S., Zhang, F., Narassimhan, E., Oh S., & Chi, K., ”[Global Public Energy RD&D Expenditures Database](#)”, 2024.

⁶⁰ Mission Innovation, [Country Highlights](#), 2020. Kiinan julkisia T&I-investointeja koskeva arvio perustuu aiempina vuosina toimitettuihin tietoihin ja muihin lähteisiin.

⁶¹ Euroopan komission yhteinen tutkimuskeskus, [SET-suunnitelman tietojärjestelmän T&I-tiedot](#); yksityiset T&I-tiedot ovat viiden vuoden suuntaukseen perustuvia arvioita.

kahdeksan kertaa niin suuret kuin investoinnit energiateollisuuteen (puhtaisiin ja muihin teknologioihin).⁶² Lähes neljännes alan innovaatiotoiminnasta liittyy kestävämpiin teknologioihin, joista yli kolmannes koskee sähköistä liikkumista (myös akkuja).⁶³

Draghin raportissa painotettiin innovoinnin keskeistä roolia tuottavuuden lisäämisessä ja korostettiin, että tarvitaan yhteisiä toimia innovoinnin esteiden poistamiseksi ja Kiinan ja Yhdysvaltojen saavuttamiseksi keskeisissä teknologioissa. Tältä osin raportissa korostetaan, että EU:n etumatka vihreiden teknologioiden alalla on entistä enemmän uhattuna.⁶⁴ Samaan aikaan EU:n johtavia T&K-investoijia koskeva analyysi osoittaa T&K-investointien tuottojen olevan laskussa, mikä viittaa siihen, että pelkkä investointien lisääminen ei välttämättä riitä vaan myös muut kysymykset, kuten osaajien säilyttäminen, on ratkaistava.⁶⁵ Manuel Heitorin johtama riippumaton asiantuntijaryhmä määritteli vuonna 2024 useita toimenpiteitä, joita EU voisi toteuttaa varmistaakseen johtoaseman T&I-toiminnassa ja tukeakseen kilpailukykyä nopeasti muuttuvassa teknologiaympäristössä. Nämä toimenpiteet ulottuvat rahoituksen lisäämisestä ja yhteistoiminnan uudelleenmäärittelystä T&I-politiikkojen ja -välineiden rakenteiden uudistamiseen.⁶⁶ T&I-toiminnan suorituskyvyn ja kilpailuaseman jatkuva seuranta auttaa toteuttamaan muutoksia käytännössä ja tarvittaessa arvioimaan niiden vaikutuksia.

Vaikka EU suoriutuu edelleen hyvin, Kiina on lisännyt johtoasemaansa puhtaita teknologioita koskevissa tieteellisissä tuotoksissa. Tieteellisten julkaisujen osalta unionissa tuotetaan enemmän erikoistunutta tutkimusta kuin Yhdysvalloissa, mutta EU jää Kiinasta älykäästä, ympäristöystävällistä ja yhdentynyttä liikennettä sekä turvallista, puhdasta ja tehokasta energiaa koskevassa tutkimuksessa. Sillä on kuitenkin edelleen johtoasema tieteellisissä tuotoksissa, joissa käsitellään kohtuuhintaista ja puhdasta energiaa koskevan kestävä kehityksen tavoitetta.⁶⁷

Ilmastonmuutoksen hillitsemiseen liittyvien teknologioiden suojaamiseksi tehtyjen patenttihakemusten osuus kaikista keksinnöistä oli suurimmillaan vuonna 2011. Samaan aikaan kun ”vihreiden” patenttien hakeminen on vähentynyt, asiaan liittyviä tavaramerkkejä koskevat hakemukset ovat lisääntyneet, mikä osoittaa, että painopiste on siirtynyt tutkimuksesta ja innovoinnista toteutukseen ja käyttöönnottoon.⁶⁸ EU:lla on edelleen maailmanlaajuinen johtoasema sellaisissa arvokkaissa patenttihakemuksissa⁶⁹, jotka liittyvät uusiutuvia energialähteitä ja energiatehokkuutta koskeviin energiaunionin T&I-prioriteetteihin. EU:n osuus uusiutuvia energialähteitä koskevista patenttihakemuksista on 29 % ja energiatehokkuutta koskevista 23 %. EU on toisella sijalla Japanin jälkeen kestävässä liikenteessä ja Yhdysvaltojen jälkeen hiilidioksidin talteenotossa, hyödyntämisessä ja

⁶² Euroopan komission yhteinen tutkimuskeskus, [EU:n teollisuuden tutkimus- ja kehitysinvestointien tulostaulu 2024](#), 2024.

⁶³ Euroopan komission yhteinen tutkimuskeskus, [EU:n teollisuuden tutkimus- ja kehitysinvestointien tulostaulu 2023](#), 2023.

⁶⁴ Mario Draghi, *The future of European competitiveness*, 2024.

⁶⁵ Euroopan komission yhteinen tutkimuskeskus, [EU:n teollisuuden tutkimus- ja kehitysinvestointien tulostaulu 2024](#), 2024.

⁶⁶ Euroopan komissio, tutkimuksen ja innovoinnin pääosasto, *Align, act, accelerate – Research, technology and innovation to boost European competitiveness*, 2024.

⁶⁷ Ks. edellinen alaviite.

⁶⁸ Cervantes, M. ym., *Driving low-carbon innovations for climate neutrality*, *OECD Science, Technology and Industry Policy Papers*, nro 143, 2023.

⁶⁹ Yhteinen tutkimuskeskus Euroopan patenttinviraston kevään 2024 Patstat-julkaisuun sisältyvien tietojen perusteella. Tulokset perustuvat kolmeen viimeisimpään vuoteen, joista on saatavilla täydelliset tilastot (2018–2020). Näin vältetään tietojen viivästyksistä johtuva suuntausten vääristyminen. Lisätietoa: [”Patent-Based Indicators: Main Concepts and Data Availability”](#).

varastoinnissa (CCUS) sekä ydinturvallisuudessa, mutta se ei ole onnistunut parantamaan asemaansa älykkäiden järjestelmien alalla. Kiina keskittyi vuosien ajan kotimarkkinoitaan koskeviin hakemuksiin, mutta nykyisin se keskittyy yhä enemmän puhtaan energian innovaatioiden suojaamiseen kansainvälisellä tasolla. Sillä on jo kärkisija älykkäitä järjestelmiä koskevissa arvokkaissa patenttihakemuksissa (33 %), ja se parantaa sijoitustaan myös kaikilla muilla aloilla. EU on kuitenkin jatkuvasti erikoistunut maailmanlaajuisia keskiarvoa enemmän uusiutuvaan energiaan, kestävään liikenteeseen ja CCUS-teknologioihin. Unionilla on myös edelleen erikoistumiseen perustuvaa kilpailuetua useissa muissa teknologioissa, kuten tuulienergiassa, liikenteessä käytettävässä vedyssä ja bioenergiassa.

Euroopan strateginen energiateknologiasuunnitelma (SET-suunnitelma) on tärkein väline tutkimusta, innovointia ja kilpailukykyä koskevan energiaunionin toimintalohkon täytäntöönpanossa. Sen pohjalta jäsenvaltiot ja komissio tekevät yhteistyötä ja työskentelevät tiiviisti teollisuuden ja tutkimuslaitosten kanssa yhteisten tutkimus- ja innovointiohjelmien laatimiseksi nettonollateknologioiden alalla. SET-suunnitelmaa tarkistettiin vuonna 2023⁷⁰, minkä jälkeen SET-suunnitelman ja sen ohjausryhmän roolia vahvistettiin edelleen nettonollateollisuussäädöksellä puhtaiden, tehokkaiden ja kustannustehokkaiden energiateknologioiden kehittämisen tukemiseksi koordinoinnin ja yhteistyön avulla⁷¹.

SET-suunnitelman mukainen työ edistyi tasaisesti vuosina 2023 ja 2024. SET-suunnitelman työryhmien käsittelemien aihealueiden välillä on vahvoja kytköksiä, minkä ansiosta suunnitelman mukainen yhteistyö on tehostunut. Vuonna 2024 työryhmien välillä tehtiin enemmän yhteistyötä kuin koskaan SET-suunnitelman laatimisesta lähtien. Yhteistyö on ollut tiivistä esimerkiksi energiajärjestelmiä sekä teollisuuden kestävää ja tehokasta energiankäyttöä käsittelevien ryhmien välillä. SET-suunnitelman työryhmät jatkavat teknologiakohtaisten toteutussuunnitelmien päivittämistä ja tarkistamista. Esimerkiksi tasavirtateknologian alalla julkaistiin vuonna 2024 uusi pienjännitteistä tasavirtaa (LVDC) koskeva toteutussuunnitelma, jonka tavoitteena on kehittää LVDC-mikroverkkoja ja demonstroida niiden toimintaa rakennuksissa ja teollisuuslaitoksissa. Vuoden 2024 SET-suunnitelman edistymiskertomuksessa⁷² tarkastellaan yksityiskohtaisemmin viimeaikaista kehitystä, kuten suunnitelman puitteissa geotermisen energian alalle kehitettyä, vuoteen 2050 ulottuvaa visiota.

Komissio on uudessa kilpailukykykompassissaan korostanut tarvetta asettaa tutkimus ja innovointi EU:n talouden ytimeen, koska ne ovat keskeisiä kilpailukykyä edistäviä tekijöitä. Innovaatiokuilun umpeen kuromiseksi komissio aikoo esittää eurooppalaista tutkimusaluetta koskevan säädöksen, jolla vahvistetaan T&K-investointeja ja nostetaan ne asetettuun tavoitteeseen, joka on 3 prosenttia suhteessa BKT:hen. Lisäksi Euroopan tutkimusneuvostoa ja Euroopan innovaationeuvostoa laajennetaan.⁷³

2.3.2. Riskipääomasijoitusten kehitys

Puhtaan energian yritysten rahoituksella on tärkeä rooli EU:n energia-alan häiriönsietokyvyn ja teknologisen riippumattomuuden edistämisessä. Riskipääoma on innovatiivisia startup- ja scale-up-yrityksiä rahoittavan ekosysteemin keskiössä. Sillä on myös keskeinen rooli sen

⁷⁰ COM(2023) 634 final.

⁷¹ EUVL L, 2024/1735, 28.6.2024.

⁷² Euroopan komission yhteinen tutkimuskeskus, Kuzov, T., Letout, S., Georgakaki, A., Volt, S., Tumara, D., Martinez Castilla, G., Lauritzen, A., Sobczak, A., Paunescu, G., Fromentin, M., Degiorgis, E., Volkanovski, A., Tzimas, E., [SET Plan Progress Report](#), 2024.

⁷³ [Poliittiset suuntaviivat seuraavalle Euroopan komissiolle 2024–2029](#); COM(2025) 30 final.

varmistamisessa, että EU voi hyödyntää uusien puhtaiden energiateknologioiden tarjoamat teolliset mahdollisuudet.

Riskipääomasijoitusten kehitys EU:n puhtaasti energian alalla on osoitus EU:n tekemästä työstä, jolla se on pyrkinyt kehittämään unionin riskipääoma-alaa, lisäämään julkisia investointeja merkittävien rahoitusvajeiden korjaamiseksi ja houkuttelemaan myös muita rahoittajia, kuten yritys- ja yhteisösijoittajia. EU:ssa on suhteellisesti eniten julkista riskipääomaa (verrattuna riskipääoman kokonaismäärään)⁷⁴, mikä osoittaa julkisten investointien vahvan aseman yksityisiin investointeihin verrattuna.

Vuosia 2023 ja 2024 koskevat tiedot antavat tilanteesta vaihtelevan kuvan, johon liittyy sekä mahdollisuuksia että haasteita EU:lle. Vuonna 2023 riskipääomarahoituksen määrä supistui koko maailmassa. EU kuitenkin osoitti kykynsä houkutella kasvuun tähtääviä strategisia rahoitus sopimuksia akkujen ja vetypohjaisen teräksen laajamittaisia tuotantolaitoksia varten. Nämä poikkeukselliset sopimukset vauhdittivat puhtaaseen energiateknologiaan tehtyjen riskipääomasijoitusten kasvua unionissa, ja investoinnit nousivat 9,2 miljardiin euroon vuonna 2023 (+20 prosenttia vuoteen 2022 verrattuna)⁷⁵.

Vuonna 2024 jatkunut epäsuotuisa makrotaloudellinen toimintaympäristö vähensi rahoitus sopimusten tekemistä, mikä johti EU:n riskipääomasijoitusten kokonaismäärän merkittävään vähenemiseen. Tämä jyrkkä lasku (–34 prosenttia vuoteen 2023 verrattuna) osoitti, että toiminta on perustunut pitkälti vain muutamiin merkittäviin rahoitus sopimuksiin, joissa riskipääoman määrä on ollut yli miljardi euroa. Vuonna 2023 ainoastaan kolme yritystä kykeni keräämään tällaisia määriä. Näiden investointien yhteenlaskettu osuus kaikista puhtaaseen energiateknologiaan tehdyistä riskipääomasijoituksista EU:ssa oli 43 prosenttia. Yksi mainituista yrityksistä oli ruotsalainen akkuvalmistaja Northvolt. Se kuitenkin haki konkurssisuoja marraskuussa 2024, mikä korostaa tuotannon nopeaan laajentamiseen liittyviä haasteita. Riippuvuus merkittävistä rahoitus sopimuksista oli vieläkin ilmeisempää vuonna 2024, jolloin tehtiin vain yksi tällainen sopimus. Se oli arvoltaan 2,4 miljardia euroa, ja sen osuus EU:n puhtaaseen energiateknologiaan tehdyistä riskipääomasijoituksista oli 39 prosenttia.⁷⁶

Näiden merkittävien sopimusten vuoksi investointikuilu EU:n ja Yhdysvaltojen ja Kiinan välillä oli kapeimmillaan vuonna 2023. Tämä johtui siitä, että puhtaiden energiateknologioiden osuus EU:n yhteenlasketuista riskipääomasijoituksista kasvoi samaan aikaan kun riskipääomasijoitukset Yhdysvalloissa ja Kiinassa vähenivät. Näin ollen EU:n osuus puhtaisiin energiateknologioihin koko maailmassa tehdyistä riskipääomasijoituksista kasvoi 28 prosenttiin vuonna 2023. Tällä tuloksella se sijoittautui Yhdysvaltojen (30 %) ja Kiinan (24 %) väliin. Osuus pysyi suhteellisen vakaana vuonna 2024.

Kaiken kaikkiaan rahoituksen saatavuus on edelleen keskeinen este useimmille EU:n yrityksille, jotka kehittävät ja valmistavat puhtaita energiateknologioita. Menestystarinoita on välttämätöntä toistaa, myös muissa teknologioissa, joissa EU on tällä hetkellä jäljessä.

⁷⁴ Euroopan komissio, *Science, research and innovation performance of the EU – A competitive Europe for a sustainable future*, 2024.

⁷⁵ Perustuu otokseen, jonka JRC on valinnut PitchBookin vertikaalien ja syväanalyysien perusteella CETOn ja Euroopan ilmaston neutraalin teollisuuden kilpailukyyn tulostaulun tarkoituksia varten. Lisätietoa: Euroopan komission yhteinen tutkimuskeskus, Georgakaki, A., Taylor, N., Ince, E., Koukoufikis, G., Kuokkanen, A., Kuzov, T., Letout, S., Mountraki, A., Murauskaite-Bull, I., Mancini, L., Miletic, M., Pennington, D., Ozdemir, E. ja Terça, G., CETO, *Overall Strategic Analysis of Clean Energy Technology in the European Union*, 2024.

⁷⁶ Perustuu vuotta 2024 koskeviin osittaisiin tietoihin, jotka on poimittu PitchBookin tietokannasta tammikuussa 2025 JRC:n CETOn tarkoituksia varten valitsemalla otoksen perusteella.

Samaan aikaan riskipääomasijoitukset aurinkosähköteknologiaan kasvoivat EU:ssa, ja niiden osuus vuosina 2021–2023 koko maailmassa tehdyistä investoinneista oli 20 prosenttia. Näistä investoinneista kuitenkin hyötyivät enimmäkseen aurinkoenergiaratkaisujen integrointiin erikoistuneet yritykset, eivätkä ne siten edistäneet EU:n sisäistä aurinkomoduli tuotantoa. Kiinalaiset yritykset keräsivät 2,7 kertaa enemmän riskipääomasijoituksia kuin vastaavat EU:n yritykset. Suurin osa investoinneista kohdistui uudentyyppejä aurinkokennoja ja -moduuleja kehittäviin ja valmistaviin scale-up-yrityksiin.

EU:n osuus vetyteknologioihin koko maailmassa tehdyistä riskipääomasijoituksista oli 15 prosenttia vuosina 2021–2023. Unionin asemaa on kuitenkin heikentänyt riskipääomasijoitusten väheneminen vuonna 2023 sekä kiinalaisten polttokennovalmistajien vuosina 2021 ja 2022 ja yhdysvaltalaisen elektrolyysilaitteiden valmistajien vuonna 2023 tekemät merkittävät rahoitussopimukset. Vuonna 2023 elektrolyysiteknologiaa kehittävät yhdysvaltalaiset startup-yritykset keräsivät kahdeksan kertaa enemmän riskipääomarahoitusta kuin EU:n kilpailijat. Niiden pyrkimyksenä on lisätä valmistuskapasiteettia, alentaa tuotantokustannuksia ja laajentaa toimintaa ulkomaisille markkinoille.

Pohjois-Amerikan startup-yritykset ovat perinteisesti menestyneet myös muilla nettonollateknologioiden aloilla, ja ne ovat houkutteleet valtaosan näihin teknologioihin tehdyistä riskipääomasijoituksista. Tämä koskee muun muassa CCUS-teknologiaa, keskittävää aurinkoenergiaa, geotermistä energiaa, vesivoimaa, ydinvoimaa, muuta kuin biologista alkuperää olevia uusiutuvia polttoaineita sekä kestävien vaihtoehtoisten polttoaineiden teknologioita. Näillä aloilla EU:n osuus koko maailmassa tehdyistä riskipääomasijoituksista on jatkuvasti ollut pieni.

EU on kuitenkin luonut merkittävää yritystoimintaa bioenergian, sähköajoneuvojen latauksen, lämpöpumppujen, uudenlaisten energian varastointiteknologioiden sekä valtameri-, aurinkolämpö- ja tuuliteknologian aloilla. Näiden alojen osuus EU:ssa vuosina 2021–2023 nettonollateknologioihin tehdyistä riskipääomasijoituksista on yhteensä 18,5 prosenttia (josta sähköajoneuvojen lataus kattaa puolet). Vuonna 2023 EU kattoi Yhdysvaltojen ohella suurimman osuuden kuhunkin näihin teknologioihin koko maailmassa tehdyistä investoinneista. Vaikka investoinnit ovat lisääntyneet vuodesta 2021 lähtien, tällaisia teknologioita ja komponentteja kehittäville EU:n yrityksille puuttuu edelleen merkittäviä rahoitussopimuksia, joiden avulla ne voisivat saada kilpailuetua ja edistää näiden teknologioiden laajamittaista käyttöönottoa.

Innovatiivisia puhtaaseen teknologiaan tehtäviä investointeja edistetään useilla EU:n rahoitusvälineillä, kuten innovaatorahastolla, InvestEU-ohjelmalla sekä Euroopan innovaationeuvoston (EIC) riskisijoitusvälineellä eli EIC-rahastolla. Vuonna 2024 käyttöön otetulla Euroopan strategisten teknologioiden kehitysvälineellä (STEP) tuetaan investointeja EU:n startup-yrityksiin, pk-yrityksiin ja pieniin midcap-yrityksiin, jotka kehittävät ja valmistavat kriittisiä puhtaan energian teknologioita.⁷⁷

EU:n puhtaan energian ekosysteemin koko potentiaalinen hyödyntäminen edellyttää investointien esteiden poistamista ja kohdennettuja julkisia toimia.⁷⁸ Draghin raportissa katsotaan, että alikehittyneet riskipääomamarkkinat ovat yksi puhtaan teknologian esteistä EU:ssa, ja kehoitetaan edistämään yksityisiä investointeja.⁷⁹ Kuten raportissa todetaan, puhtaaseen energiateknologiaan tehtävien investointien lisääminen edellyttää määrärahojen

⁷⁷ EUVL L, 2024/795, 29.2.2024. Lisätietoa: <https://strategic-technologies.europa.eu>.

⁷⁸ Euroopan investointipankki, *The scale-up gap*, 2024.

⁷⁹ Mario Draghi, *The future of European competitiveness*, 2024.

vahvistamista ja tehostamista EU:n talousarvion tasolla sekä sellaisten rahoitusjärjestelmien käyttöönottoa, joilla tuetaan yksityisiä ja riskialttiimpia investointeja innovatiivisiin yrityksiin, jotta EU:n strategisten yritysten ja pitkän aikavälin siirtymähankkeiden toimintaa voidaan laajentaa.

Komission poliittisissa suuntaviivoissa todetaan, että tarvitaan enemmän julkisia investointeja ja yksityiseen pääomaan liittyvien riskien vähentämistä koskevia toimia. Erityisen tärkeää on helpottaa liikepankkien, sijoittajien ja riskipääoman mahdollisuuksia rahoittaa nopeasti kasvavia yrityksiä. Komissio aikoo Lettan raportin⁸⁰ pohjalta ehdottaa Euroopan säästö- ja investointiunionia, joka kattaa pankkitoiminnan ja pääomamarkkinat⁸¹. EU:n pankki- ja pääomamarkkinoiden syventäminen on olennainen edellytys, jotta voidaan löytää uusia rahoituslähteitä, edistää rajatylittäviä investointeja ja lisätä scale-up-yritysten houkuttelevuutta sijoittajien kannalta parantamalla sijoittajien irtautumisvaihtoehtoja.

EU:n investointivajeen korjaamiseksi tarvittavien rahoitusvirtojen varmistaminen edellyttää, että puhtaat energiateknologiat asetetaan strategiseksi painopisteeksi. Tältä osin komissio on ilmoittanut, että seuraavan monivuotisen rahoituskehityksen puitteissa otetaan käyttöön Euroopan kilpailukykyrahasto, jolla pyritään houkuttelemaan investointeja puhtaisiin ja strategisiin teknologioihin. Lisäksi uusien yritysten perustamisen ja laajenemisen esteisiin tullaan puuttumaan EU:n startup- ja scale-up-strategialla.⁸²

3. ARVIO EU:N KILPAILUKYVYSTÄ NETTONOLLATEKNOLOGIOIDEN ALALLA

3.1. Aurinkosähkö

Aurinkosähkö on nopeimmin kasvava uusiutuviin energialähteisiin perustuva sähköntuotantoteknologia. Vuonna 2024 EU eteni hyvää vauhtia kohti unionin aurinkoenergiastrategian tavoitetta saavuttaa 600 gigawattia asennettua vaihtovirtakapasiteettia (noin 720 gigawattipiikkiä) vuoteen 2030 mennessä⁸³. Vuotta 2024 koskevien alustavien tietojen perusteella vuotuinen kasvu on hidastunut, mutta asennettu kapasiteetti on silti lisääntynyt merkittävästi: vuonna 2023 määrä ylitti 56 gigawattipiikkiä ja vuonna 2024 se oli 63 gigawattipiikkiä. Molempina vuosina EU oli toisella sijalla Kiinan (374 gigawattipiikkiä vuonna 2024) jälkeen ja ennen Yhdysvaltoja (45 gigawattipiikkiä vuonna 2024).⁸⁴ Useimmissa maissa aurinkosähkön tuotantokustannukset ovat nyt alhaisemmat kuin fossiilisiin polttoaineisiin perustuvien vaihtoehtojen kustannukset.⁸⁵

Nettonollateollisuussäädöksessä viitataan eurooppalaisen aurinkovoimateollisuuden allianssin tavoitteeseen saavuttaa 30 gigawattipiikin vuotuinen aurinkosähkön valmistuskapasiteetti koko arvoketjussa vuoteen 2025 mennessä.⁸⁶ Tämä tavoite on jo ylitetty vaihtosuuntaajien osalta (82 gigawattipiikkiä vuonna 2023⁸⁷), ja se on lähes saavutettu monikiteisen piin osalta (29 gigawattipiikkiä vuonna 2024). Tilanne on kuitenkin toinen arvoketjun muiden osien osalta. Unionin aurinkosähköalan nykyinen valmistuskapasiteetti harkkojen ja kiekkojen osalta

⁸⁰ Enrico Letta, *Much more than a market*, 2024.

⁸¹ Lisätietoa: [kannanottoesitys Euroopan säästö- ja investointiunionista](#).

⁸² COM(2025) 30 final.

⁸³ COM(2022) 221 final.

⁸⁴ Jaeger-Waldau, A., *Snapshot of Photovoltaics*, 2025 (julkaistaan myöhemmin).

⁸⁵ IEA, *Advancing Clean Technology Manufacturing*, 2024.

⁸⁶ EUVL L, 2024/1735, 28.6.2024, johdanto-osan 16 kappale.

⁸⁷ Solar Power Europe, [Inverter Explained 2.0](#), kesäkuu 2024.

on alle 1 gigawattipiikkiä, kun taas kennojen ja moduulien osalta se on alle 3 gigawattipiikkiä.⁸⁸ Jälkimmäisten osalta on kuitenkin viitteitä siitä, että tosiasiallinen tuotanto vuonna 2023 oli noin 2 gigawattipiikkiä.⁸⁹ Kaiken kaikkiaan EU on hyvin riippuvainen aurinkosähkötuotteiden tuonnista Kiinasta, jossa sijaitsee 91 prosenttia käyttöönotetuista tuotantolaitoksista. EU:n, Yhdysvaltojen ja Intian osuus on kunkin osalta 1 prosentti⁹⁰.

Aurinkosähkömoduulien tuotantokustannusten arvioidaan olevan EU:ssa noin 60 prosenttia korkeammat kuin Kiinassa.⁹¹ Erot johtuvat korkeammista investointi-, työvoima- ja energiakustannuksista, pienimuotoisemmasta tuotannosta sekä vertikaalisen integroinnin puutteesta. Eurooppalaisten valmistajien lisähaasteita ovat suuret varastot ja Kiinasta tuleva ylitarjonta, mikä on johtanut moduulien spot-markkinahintojen jyrkkään laskuun. Hinnat laskivat vuositasolla yli 25 prosenttia ja olivat 0,105 euroa wattipiikkiä kohti tammikuussa 2025.⁹² Vaikka tämä lisää käyttöönottoa, se aiheuttaa valmistajille suuria paineita. Kennoja ja moduuleja valmistavien laitosten keskimääräinen käyttöaste on maailmanlaajuisesti alhainen, noin 50 prosenttia⁹³.

EU:n aurinkosähkövalmistajilla on yleisesti ottaen vaikeuksia kilpailla maailmanlaajuisesti, etenkin hinnoilla. Aurinkosähköalan valmistuskapasiteetin keskittyminen yhteen maahan, Kiinaan, aiheuttaa riskejä arvoketjun häiriönsietokyvylle sekä hintavakaudelle.⁹⁴ EU:lla on edelleen vahva rooli aurinkosähköä koskevassa tutkimuksessa ja innovoinnissa erityisesti tiettyjen sovellusten, kuten rakennuksiin, maatalouteen, infrastruktuuriin tai ajoneuvoihin integroidun aurinkosähköteknologian, alalla.⁹⁵

Jotta EU voisi parantaa kilpailukykyään aurinkosähköalan valmistuksessa, sen olisi laajennettava innovatiivisten teknologioiden käyttöä suuriin gigawattiluokan tehtaisiin, jotka on integroitu koko arvoketjuun. Huhtikuussa 2024 allekirjoitetussa Euroopan aurinkovoimaa koskevassa peruskirjassa⁹⁶ komissio, 23 jäsenvaltiota ja toimialan edustajat sitoutuivat vapaaehtoisin toimiin EU:n aurinkosähköalan valmistusteollisuuden tukemiseksi.

3.2. Aurinkolämpö

EU:n aurinkoenergiastrategiassa⁹⁷ asetettiin tavoitteeksi kolminkertaistaa aurinkolämmön kysyntä vuosien 2022 ja 2030 välillä. Ala on kuitenkin toistaiseksi edistynyt tässä tavoitteessa vain vähän, ja se kohtasi monenlaisia haasteita vuosina 2023 ja 2024. Investoinnit hidastuivat vaihtoehtoisina uusiutuvina ratkaisuinähtyjen aurinkosähkön ja lämpöpumppujen aiheuttaman kilpailun vuoksi sekä edullisemmän kaasun ja käyttöönottokannustimien muutosten seurauksena.⁹⁸ EU lisäsi aurinkolämpökapasiteettia 1,3 gigawattia lämpötehoa

⁸⁸ Euroopan komission yhteinen tutkimuskeskus, Chatzipanagi, A., Jaeger-Waldau, A., Letout, S., Mountraki, A., Gea Bermudez, J., Georgakaki, A., Ince, E. ja Schmitz, A., CETO, [Photovoltaics in the European Union](#), 2024.

⁸⁹ ESMC:n [kirje Euroopan komissiolle](#), tammikuu 2024.

⁹⁰ CETO, [Photovoltaics in the European Union](#), 2024.

⁹¹ IEA, *Renewables 2023 - Analysis and forecast to 2028*, 2024.

⁹² PV Exchange, ["Solar Market Analysis January 2025 - PV module prices at crossroads"](#), 2025.

⁹³ IEA, *Advancing Clean Technology Manufacturing*, 2024.

⁹⁴ [Euroopan aurinkovoimaa koskeva peruskirja](#), 2024.

⁹⁵ CETO, [Photovoltaics in the European Union](#), 2024.

⁹⁶ [Euroopan aurinkovoimaa koskeva peruskirja](#), 2024.

⁹⁷ COM(2022) 221 final.

⁹⁸ EurObserv'ER, "Solar thermal and concentrated solar power barometer", 2024.

(GWth) vuonna 2023, mikä on 24 prosenttia vähemmän kuin vuonna 2022. Kapasiteetin nettolisäys (vanhojen järjestelmien käytöstä poisto mukaan luettuna) oli näin ollen 1,3 prosenttia, mikä on huomattavasti alle kapasiteetin kolminkertaistamiseksi vuoteen 2030 mennessä tarvittavan tason.⁹⁹

Myös maailmanmarkkinat kääntyivät laskuun: vuonna 2023 uutta kapasiteettia asennettiin 21 GWth, kun vuonna 2022 vastaava luku oli 23 GWth.¹⁰⁰ Teollisen prosessilämmön segmentti kuitenkin ilahduttavasti kasvoi maailmanlaajuisesti kolminkertaiseksi edellisvuodesta ja saavutti 0,95 GWth:n kokonaiskapasiteetin vuonna 2023. Tähän sisältyi Espanjassa sijaitseva EU:n uusin ja suurin keskittävä aurinkolämpölaite (tuotantokapasiteetti 30 MWth, varastointikapasiteetti 68 MWh). Keskittävän aurinkoenergian (CSP) osalta EU:n tuotantokapasiteetti ei kuitenkaan ole kasvanut, vaan se on pysynyt lähes muuttumattomana vuodesta 2013 (2,30 gigawattia, josta lähes kaikki Espanjassa).¹⁰¹ Tällä välin Kiina on noussut maailman johtavaksi CSP-tuottajaksi: sillä on jo käytössä 1 gigawatin verran uutta kapasiteettia ja 2 gigawatin lisäkapasiteetti on kehitteillä.¹⁰²

EU:ssa on vahva aurinkokäyttöisten vedenlämmittimien valmistusala. Aiempien arvioiden mukaan se kattaa jopa 90 prosenttia unionin sisäisestä kysynnästä, mikä ylittää selvästi nettonollateollisuussäädöksessä vahvistetun valmistuksen vertailuarvon. Vaikka ala on keskittynyt viimeisten kymmenen vuoden aikana erityisesti Saksaan ja Espanjaan, sillä toimii edelleen useita monenlaisia tuotteita tarjoavia toimijoita. Kreikkalaiset painovoimaisten järjestelmien valmistajat ovat pystyneet hyödyntämään markkinoiden vahvan kasvun, ja myös vienti on ollut merkittävää.¹⁰³ Lisäksi suurten kaukolämpölaitosten ja teollisen aurinkolämmön markkinoille on tulossa useita uusia EU:n yrityksiä, ja alan odotetaan kasvavan merkittävästi tulevien kymmenen vuoden aikana. Aurinkokäyttöisten ja muiden kuin sähköllä toimivien vedenlämmittimien kauppaa koskevat tiedot osoittavat tuonnin kasvaneen merkittävästi, vaikka EU:n kauppataase säilyikin kokonaisuudessaan positiivisena ja oli 27 miljoonaa euroa vuonna 2023.¹⁰⁴

Aurinkolämpöteknologia on kypsä vaihtoehto hiilestä irtautumiseen, mutta jää nähtäväksi, voiko se saavuttaa merkittävän markkinaosuuden. Tällä hetkellä aurinkolämpö kattaa vain 0,9 prosenttia maailmanlaajuisesta lämmönkulutuksesta.¹⁰⁵ Aurinkolämmön tasoitettujen kustannukset voivat olla kilpailukykyisiä perinteisiin lähteisiin nähden erityisesti alueilla, joilla on hyvät aurinkoenergiaresurssit. Aurinkolämpöteknologiaa käytetään kuitenkin usein järjestelmissä, joissa on myös jokin toinen lämmönlähde, kun taas lämpöpumput voivat tarjota itsenäisesti toimivia ratkaisuja moniin eri sovelluksiin. Aurinkolämpöala hyötyisi koordinoituista toimista ja selkeistä etenemissuunnitelmista, jotta kasvu saataisiin etenemään kohti vuodeksi 2030 asetettua tavoitetta.

EU:n yritykset ovat hyvässä asemassa teknologian toimittajina, mutta standardointia on jatkettava, kuin myös sellaisen asentajien verkoston kehittämistä, jolla on asiantuntemusta kustannustehokkaista ratkaisuista, kuten teknologian yhdistämisestä muihin uusiutuviin

⁹⁹ Ks. edellinen alaviite.

¹⁰⁰ Weiss, W., Spörk-Dür, M., [Solar Heat Worldwide](#), 2024.

¹⁰¹ Eurostat ([nrg_inf_epcrw](#)), sivustolla käyty 12.2.2025, ja Euroopan komission yhteinen tutkimuskeskus, Carlsson, J., Taylor, N., Georgakaki, A., Letout, S., Mountraki, A., Ince, E., Schmitz, A. ja Gea Bermudez, J., CETO, [Solar Thermal Energy in the European Union](#), 2024.

¹⁰² REN21, [Renewables 2024 Global Status Report Collection: Energy Supply](#), 2024.

¹⁰³ EurObserv'RE, "Concentrated Solar Power and Solar Thermal Barometer", 2023.

¹⁰⁴ CETO, [Solar Thermal Energy in the European Union](#), 2024.

¹⁰⁵ IEA, [Renewables 2023](#), 2024.

teknologioihin. Keskittävän aurinkoenergian alalla EU:n markkinoiden elpyminen perustuu pitkälti Espanjan ehdotukseen lisätä kapasiteettia 2,5 gigawattia vuoteen 2030 mennessä.¹⁰⁶ Myös tässä tapauksessa suunnittelun ja valmistuksen standardointi olisi olennaisen tärkeää kilpailukykyisen kustannustason saavuttamiseksi.

3.3. Maa- ja merituulivoima

EU on maailman tuulivoimateollisuuden eturintamassa, ja sen asema on tähän asti ollut vahva. Kiina kuitenkin asettaa painetta unionin kilpailukyvyille. Tuulivoimalla on keskeinen rooli EU:n energiasiirtymässä. Vuoteen 2023 mennessä asennettu tuulivoimakapasiteetti oli yhteensä 219 gigawattia, josta 91 prosenttia oli maalla ja 9 prosenttia merellä.¹⁰⁷ Vuonna 2023 uutta kapasiteettia asennettiin 16,8 gigawattia, josta 83 prosenttia oli maatuulivoimaloita ja 17 prosenttia merituulivoimaloita.¹⁰⁸ Tämä kehitys osoittaa, että asennustahti on nopeutunut (vuonna 2022 kapasiteettia asennettiin yhteensä 15,5 gigawattia). Vuosi 2023 olikin ennätysvuosi vuotuisen asennetun kapasiteetin osalta. Vuotta 2024 koskevat alustavat luvut osoittavat, että EU:ssa asennettiin uutta tuulivoimakapasiteettia 13,6 gigawattia, josta 10,7 gigawattia maatuulivoimaloita ja 2,9 gigawattia merituulivoimaloita.¹⁰⁹

Nettonollateollisuussäädöksen myötä EU:n tavoitteena on saavuttaa vähintään 36 gigawatin tuulivoiman valmistuskapasiteetti vuoteen 2030 mennessä.¹¹⁰ Vuonna 2024 EU:n osuus maailmanlaajuisesta lapojen valmistuksesta oli 12,6 prosenttia (noin 25 gigawattia), konehuonekokoonpanojen valmistuksesta 12,5 prosenttia (noin 35 gigawattia) ja tornien valmistuksesta 21,8 prosenttia (noin 38 gigawattia).¹¹¹ Vuonna 2023 EU:n yritykset toimittivat tuuliturbiineja maailmanlaajuisesti yli 27 gigawatin edestä.¹¹² EU:n valmistajien maailmanlaajuinen markkinaosuus kuitenkin pieneni vuonna 2023 edellisvuoden 30 prosentista 23 prosenttiin, kun taas kiinalaisten valmistajien osuus kasvoi 46 prosentista 55 prosenttiin. EU:n yritykset kuitenkin hallitsevat edelleen Euroopan markkinoita, ja niiden markkinaosuus oli 89 prosenttia vuonna 2023. Unionin valmistuskapasiteettia on lisättävä, jotta se voi vastata tulevaan kysyntään, joka perustuu asennetun kapasiteetin odotettuun lisääntymiseen. Tämä on ratkaisevan tärkeää uuden asennetun kapasiteetin edellyttämien pääomamenojen vähentämiseksi, sen varmistamiseksi, että tarjonta vastaa kysyntään kilpailukykyiseen hintaan, sekä tarjonnan pullonkaulojen ja kustannusten nousun välttämiseksi.

EU:n yritysten suurimmat haasteet liittyvät erityisesti Kiinasta tulevaan voimakkaaseen kilpailuun. Kiinalaiset valmistajat pystyvät tarjoamaan paljon alhaisempia hintoja kuin eurooppalaiset kilpailijansa, ja Kiinasta viedyt turbiinit ovat noin 32 prosenttia halvempia kuin kilpailevat tuotteet.¹¹³ Lisäksi tuuliturbiinien ja niiden komponenttien hinnat nousivat maailmanlaajuisesti noin 26 prosenttia pandemiaa edeltäneeseen tasoon verrattuna.¹¹⁴ Tämä

¹⁰⁶ Espanjan hallitus, yhdenntetty kansallinen energia- ja ilmastosuunnitelma, vuosia 2023–2030 koskeva päivitys, 2024.

¹⁰⁷ Eurostat ([nrg_inf_epcrw](#)), sivustolla käyty 12.2.2025.

¹⁰⁸ Eurostat ([nrg_inf_epc](#)), sivustolla käyty 12.2.2025.

¹⁰⁹ Yhteinen tutkimuskeskus GWEC:n ja Rystadin perusteella, 2025.

¹¹⁰ EUVL L, 2024/1735, 28.6.2024, johdanto-osan 16 kappale.

¹¹¹ Yhteinen tutkimuskeskus BloombergNEF:n ja Rystadin perusteella.

¹¹² Euroopan komission yhteinen tutkimuskeskus, Mc Govern, L., Tapoglou, E., Georgakaki, A., Mountraki, A., Letout, S., Ince, E., Gea Bermudez, J., Schmitz, A. ja Grabowska, M., CETO, [Wind Energy in the European Union](#), 2024.

¹¹³ BloombergNEF, *Wind Turbine Price Index 2H 2024*, 27. joulukuuta 2024.

¹¹⁴ BloombergNEF, *Rising costs dampen the outlook for offshore wind*, 3. heinäkuuta 2024.

voi luoda epätasapuoliset toimintaedellytykset EU:n yrityksille ja haitata niiden tulevaa kilpailukykyä maailmanmarkkinoilla.

Makrotaloudellisen ympäristön parantuessa myös tuulivoimainvestoinnit ovat alkaneet elpyä.¹¹⁵ Vuonna 2023 EU:ssa investoitiin ennätyselliset 48 miljardia euroa (kun vuonna 2022 investoinnit olivat 20 miljardia euroa). Vuonna 2023 maatuulivoimainvestoinnit pysyivät vuoden 2022 tasolla ja olivat noin 18 miljardia euroa, kun taas merituulivoimainvestoinnit kasvoivat 0,4 miljardista eurosta vuonna 2022 yhteensä 30 miljardiin euroon vuonna 2023.

Tuulivoimateollisuus on koko maailmassa vahvasti riippuvainen monimutkaisista toimitusketjuista, jotka voivat olla alttiita häiriöille, kaupan jännitteille ja kriittisten raaka-aineiden puutteelle. Joitakin materiaaleja, kuten kuparia ja terästä, tarvitaan paljon, koska niitä käytetään useissa turbiinikomponenteissa, kuten generaattoreissa, torneissa, lavoissa ja vaihteistoissa. Huolta aiheuttaa etenkin vahva riippuvuus kiinalaisista harvinaisista maametalleista¹¹⁶, jotka ovat välttämättömiä tuuliturbiineissa käytettävien kestopagneettien tuottamiseksi. Myös komponentteihin ja osakomponentteihin, kuten generaattoreihin, liittyy haavoittuvuuksia, mikä lisää toimitusketjuhäiriöiden riskiä. Materiaalien ja komponenttien hankinta voi keskittyä vain muutamiin maihin, mikä saattaa aiheuttaa geopolittisistä riippuvuuksista johtuvia toimitusketjuriskejä. Tämä korostaa tarvetta parantaa toimitusketjujen monipuolisuutta ja kestävyyttä tuulivoimateollisuuden kasvun tukemiseksi.

Komissio on ehdottanut Euroopan tuulivoimaa koskevassa toimintasuunnitelmassa toimenpiteitä, joilla tuetaan unionin tuulivoimateollisuuden kilpailukykyä.¹¹⁷ Yksi näistä aloitteista on EU:n tuulivoimaa koskeva peruskirja¹¹⁸, joka allekirjoitettiin joulukuussa 2023. Siihen osallistuu 26 jäsenvaltiota, jotka ovat sitoutuneet tukemaan unionin tuulivoima-alaa muun muassa lisäämällä valmistuskapasiteettia EU:ssa sekä parantamalla ja yksinkertaistamalla huutokauppa- ja lupamenettelyjä. Nykyisiä toimia käyttöönoton tukemiseksi, mukaan lukien lupamenettelyjen nopeuttaminen, hankkeiden kehittämisen näkyvyyden lisääminen ja verkkoinvestoinnit, on jatkettava sen varmistamiseksi, että tulevat tuulipuistot säilyvät houkuttelevina investointikohteina ja että EU:n tuulivoimateollisuus voi hyötyä tuulien maailmanlaajuisen kasvun tarjoamista mahdollisuuksista.

3.4. Valtamerienergia

Valtamerienergia käsittää useita teknologioita, joista edistyneimpiä ovat vuorovesienergia ja aaltoenergia. Vaikka jotkin näistä teknologioista ovat saavuttaneet korkean teknologisen valmiuden tason, valtamerienergiaan liittyvää teknologiaa ei ole vielä otettu käyttöön teollisessa mittakaavassa.

EU:lla on johtoasema valtamerienergiateknologian kehittämisessä, erityisesti vuorovesi- ja aaltoenergian alalla. Se kohtaa kuitenkin kasvavaa kilpailua muiden suurten talouksien, kuten Yhdysvaltojen ja Kiinan, taholta. Yhdysvallat on investoinut viiden viime vuoden aikana 546 miljoonaa euroa¹¹⁹ valtamerienergiaan. Vuosina 2023 ja 2024 markkinat houkuttelivat

¹¹⁵ Rystadin ja WindEuropen raportti, [Rebound in wind energy financing in 2023 shows that the right policies attract investors](#), 21. maaliskuuta 2024.

¹¹⁶ Euroopan komissio, sisämarkkinoiden, teollisuuden, yrittäjyyden ja pk-yritystoiminnan pääosasto, [Study on the Critical Raw Materials for the EU 2023: Final Report](#), 2023.

¹¹⁷ COM(2023) 669 final.

¹¹⁸ [EU:n tuulivoimaa koskeva peruskirja](#), 2023.

¹¹⁹ Vuoden 2024 keskimääräisen vaihtokurssin mukaan (0,9239 euroa = 1 Yhdysvaltojen dollari), lähde: [EKP](#).

ennennäkemätöntä rahoitusta ja kiinnostusta. Vuotta 2024 koskevat alustavat tiedot osoittavat, että Euroopassa asennettiin kyseisenä vuonna ainakin 1 230 kilowattia uutta valtamerienergiakapasiteettia.¹²⁰ Vuonna 2022 EU:ssa asennettiin 878 kilowattia ja vuonna 2023 asennettiin 250 kilowattia.¹²¹ Kansalliset tulotuet (esim. hinnanerosopimukset tai syöttötariffit) sekä EU:n ja kansallinen rahoitus olivat vuosina 2023–2024 tärkeimmät tekijät, jotka houkuttelivat yksityisiä investointeja ja vauhdittivat näiden hankkeiden kehittämistä Euroopassa. Toimialan edustajat odottavat 165 megawatin hankeputkea, johon kuuluu 15 pilotti- tai esikaupallisessa vaiheessa olevaa tuotantolaitosta.¹²² Suurin osa jäsenvaltioiden yhteenlasketusta asennetusta kapasiteetista vuorovesienergian alalla on Ranskassa, Tanskassa ja Alankomaissa, kun taas Portugali ja Espanja ovat kärjessä aaltoenergialaitteiden käyttöönotossa.

Unionin teollisuus on edelläkävijä alan kehittämisessä, ja 41 prosenttia vuorovesivirtateknologian kehittäjistä ja 52 prosenttia aaltoenergian kehittäjistä on sijoittautunut EU:hun.¹²³ Vaihteistojen, generaattoreiden ja ohjausjärjestelmien valmistus tapahtuu pääasiassa Euroopassa, ja hankkeiden arvioidaan tarjoavan vähintään 415 kokoaikaista työpaikkaa unionissa. Maailmanlaajuisesti EU:n hallussa on 20 prosenttia arvokkaista keksinnöistä, mikä on toiseksi eniten heti Kiinan (32 prosenttia) jälkeen.¹²⁴

Suurin haaste on edelleen korkeat pääomakustannukset, mikä hidastaa investointeja ja käyttöönottoa. Sillä on myös kerrannaisvaikutuksia teollistumiseen. Strategisessa energiategnologiasuunnitelmassa (SET-suunnitelma) asetetaan tältä osin tavoitteita, joilla pyritään alentamaan tuotantokustannukset 0,10 euroon kilowattitunnilta vuorovesivirran osalta ja 0,15 euroon kilowattitunnilta aaltoenergian osalta vuoteen 2030 mennessä.¹²⁵ Tämä on tarkoitus saavuttaa erityisesti pilotti- ja esikaupallisille tuotantolaitoksille suunnatuilla teknologiakohtaisilla huutokaupoilla. Tällaisia laitoksia ei kuitenkaan ole vielä kaikissa jäsenvaltioissa. Hankeputken toteuttaminen ja tämän tavoitteen saavuttaminen edellyttävät välineitä, joilla voidaan pienentää investointiriskiä. Tällaisiin riskien vähentämistä välineisiin voisi kuulua esimerkiksi lainatakuut ensimmäisille esikaupallisille tuotantolaitoksille pääomakustannusten alentamiseksi, sijoittajien houkuttelemiseksi ja käyttöönoton nopeuttamiseksi. Näin saataisiin aikaan mittakaavaetuja ja voitaisiin alentaa kustannuksia edelleen, kuten vakiintuneempien uusiutuvien energialähteiden tapauksessa on käynyt.

3.5. Akut ja energian varastointi

Euroopan pyrkimys johtaa maailmanlaajuisista siirtymistä puhtaaseen energiaan perustuu sen valmiuksiin kehittää, tuottaa ja integroida kehittyntä akkuteknologiaa nopeasti ja laajamittaisesti. Nettonollateollisuussäädöksessä mainitaan tavoitteeksi saavuttaa unionissa vähintään 550 gigawattitunnin akkuvalmistuskapasiteetti vuoteen 2030 mennessä.¹²⁶

¹²⁰ Ocean Energy Europan alustavat tiedot.

¹²¹ Eurostat ([nrg_inf_epc](https://nrg-inf.epc)), sivustolla käyty 12.2.2025.

¹²² ETIP Ocean, *Strategic Research and Innovation Agenda for Ocean Energy*, 2024.

¹²³ Euroopan komission yhteinen tutkimuskeskus, Tapoglou, E., Mc Govern, L., Georgakaki, A., Mountraki, A., Letout, S., Ince, E., Gea Bermudez, J., Schmitz, A. ja Grabowska, M., CETO, *Ocean Energy in the European Union*, 2024.

¹²⁴ CETO, *Ocean Energy in the European Union*, 2024.

¹²⁵ SET-suunnitelma, *Ocean energy implementation plan*, 2021; CETO, *Ocean Energy in the European Union*, 2024.

¹²⁶ EUVL L, 2024/1735, 28.6.2024, johdanto-osan 16 kappale.

Vuoden 2024 alussa EU näytti saavuttavan vuodeksi 2030 asetetun tavoitteensa, mutta marraskuussa 2024 ruotsalainen valmistaja Northvolt ilmoitti hakeneensa konkurssisuoja. Arvioiden mukaan noin 616 gigawattituntia Eurooppaan suunnitellusta valmistuskapasiteetista on ilmoitettu peruutetuksi, viivästyneeksi tai supistetuksi, mikä saattaa vaarantaa vuodeksi 2030 asetetun tavoitteen.¹²⁷ Tämän seurauksena EU:n osuus maailmanlaajuisesti toiminnassa olevasta akkutuotannosta oli 7 prosenttia vuonna 2024, mikä on arvioitua pienempi tulos. Samaan aikaan maailmanlaajuisen tuotannon odotetaan lähes viisinkertaistuvan seuraavien viiden vuoden aikana. Jos EU:n osuudeksi ennustettu 10 prosenttia maailmanlaajuisesta tuotannosta toteutuu, se kattaisi kokonaan unionin arvioidut tarpeet vuonna 2030.¹²⁸

EU:n kennotuotantoon kohdistuu kriittisiä toimitusketjuriskejä, jotka johtuvat muun muassa suuresta riippuvuudesta Kiinasta katodien ja anodien osalta sekä korkeammista tuotantokustannuksista. Nämä kustannukset ovat yleensä 70–130 prosenttia suuremmat tuotantokapasiteettiyksikköä kohti kuin Kiinassa.¹²⁹ Kennojen maailmanlaajuisen ylituotannon lisääntyminen ja sähköajoneuvojen kysynnän lasku johtivat siihen, että eurooppalaiset tuotantolaitokset toimivat vajaateholla tai pysäyttivät tai lykkäsivät tuotantolinjojaan, kuten kävi esimerkiksi Volkswagenin Salzgitterin-tehtaan tapauksessa (tehdas tuotti vain 20 gigawattituntia 40 gigawattitunnin sijaan)¹³⁰. Ennusteiden mukaan akkukenoista on edelleen maailmanlaajuisia ylitarjontaa vuonna 2030. Lisäksi kaupan suojoitimenpiteet ovat lisääntymässä. Yhtenä esimerkkinä voidaan mainita Yhdysvaltojen asettamat tullit kiinalaisille sähköajoneuvoille. Kaupan jännitteiden kärjistyminen entisestään voisi lisätä kustannuksia ja vaikuttaa akkutoimitusketjujen hankintapäätöksiin.¹³¹ EU:ssa komissio saattoi vuonna 2024 päätökseen Kiinasta peräisin olevien akkusähköajoneuvojen tasoitustulleja koskevan tutkimuksen, jonka tuloksena tuontiajoneuvoille otettiin käyttöön tasoitustullit.¹³²

Verkkomittakaavan akkuenergian varastointijärjestelmän (BESS) kapasiteetti oli vuonna 2024 maailmanlaajuisesti 168 gigawattituntia, mikä merkitsee huomattavaa lisäystä vuonna 2023 käyttöön otetusta 96,1 gigawattitunnista.¹³³ Kiinan osuus koko maailmassa käyttöön otetusta BESS-kapasiteetista oli 67 prosenttia, jonka jälkeen tulivat Yhdysvallat ja Kanada. Eurooppa on tällä hetkellä jäljessä BESS-kapasiteetin käyttöönotossa. ”Mittarin takana” (behind the meter, BTM) olevien energiavarastojen kapasiteetti oli koko maailmassa 40 gigawattituntia vuonna 2024. Arvioiden mukaan vuoteen 2035 mennessä kiinteiden sovellusten osuus koko maailmassa käyttöön otetuista akuista on 16 prosenttia, kun se vuonna 2020 oli 6 prosenttia.¹³⁴ Useimmat johtavat BESS-akkujen toimittajat ovat sijoittautuneet Aasiaan.

Pysyäkseen kilpailijoidensa vauhdissa EU:n on vauhditettava tuotantokapasiteetin käyttöönottoa, rakennettava luotettavia arvoketjuja, investoitava enemmän uusien akkuteknologioiden tutkimukseen ja kehittämiseen sekä korjattava arvoketjunsä kriittiset puutteet vaihtoehtoisten ratkaisujen avulla.

¹²⁷ BloombergNEF, *Northvolt Collapse Underscores Importance of Supply Chains*, 2024.

¹²⁸ Vuonna 2024 EU:n tuotantokapasiteetti oli 237 gigawattituntia, kun taas maailmanlaajuinen kapasiteetti oli 3 347 gigawattituntia. EU:n tuotantokapasiteetin arvioidaan vuonna 2030 olevan 1 510 gigawattituntia, kun taas maailmanlaajuisesti kapasiteetiksi on arvioitu 14 903 gigawattituntia (BloombergNEF:n perusteella, sivustolla käyty 20.2.2025).

¹²⁹ IEA, *Advancing Clean Technology Manufacturing Report*, 2024.

¹³⁰ Reuters, *Volkswagen's German battery plant to stay at half capacity amid cost pressures*, 2024.

¹³¹ BloombergNEF, *Energy Storage: 10 Things to Watch in 2025*, 2025.

¹³² EUVL L, 2024/2754, 29.10.2024.

¹³³ Energy Storage News, [Global BESS deployments soared 53% in 2024](#), 2025.

¹³⁴ BloombergNEF:n perusteella, tammikuu 2025.

3.6. Lämpöpumpputeknologiat

EU:ssa sijaitsevat lämpöpumppujen loppukokoonpanojen valmistajat ovat maailman kärjessä asuinrakennuksiin tarkoitettujen huippuluokan vesikiertoisten ratkaisujen alalla, kun taas kiinalaiset yritykset hallitsevat kaksitoimisten ilma-ilma-ilmastointilaitteiden markkinoita.¹³⁵ EU:n valmistajat ovat ilmoittaneet lisäävänsä loppukokoonpanokapasiteettia yli 30 gigawattia lämpötehoa (GWth) tämän vuosikymmenen aikana, kun vuonna 2023 olemassa oleva kapasiteetti oli noin 24 GWth. Näiden suunniteltujen lisäysten myötä unionin teollisuus on lähellä Kansainvälisen energiajärjestön vuodeksi 2030 unionin osalta määrittämää noin 60 GWth:n käyttöönottarvetta.¹³⁶ EU on näin ollen hyvää vauhtia saavuttamassa nettonollateollisuussäädöksen tavoitteen, jonka mukaan lämpöpumppujen loppukokoonpanojen valmistuskapasiteetti on vähintään 31 GWth. Unionin yritysten asema on kuitenkin heikompi tiettyjen komponenttien valmistuksessa.

Ilmavesilämpöpumppujen kauppataaseen alijäämä EU:ssa supistui kolmanneksella vuonna 2023, kun tuonti väheni 13 prosenttia ja vienti kasvoi 14 prosenttia.¹³⁷ Samaan aikaan lämpöpumppujen myynti EU:ssa laski 7,2 prosenttia vuonna 2023 vuoteen 2022 verrattuna kymmenen vuoden tasaisen kasvun jälkeen.¹³⁸ Suuntaus jatkui vuonna 2024, kun myynti laski Euroopassa 31 prosenttia vuoteen 2023 verrattuna.¹³⁹ Tämä johti työajan lyhentämisyhteistyöhön ja alan työpaikkojen vähenemiseen ja aiheutti epävarmuutta tuotantoa koskeviin investointipäätöksiin. Lisäksi EU:n valmistuskapasiteetin kasvu hidastui vuonna 2023.¹⁴⁰ Suuntauksen kääntämiseksi toimiala peräänkuuluttaa kunnianhimoisia EU:n tavoitteita tilojen lämmityksen hiilestä irrottamiseksi, vakaita pitkän aikavälin kansallisia toimintakehyksiä sekä suotuisaa sähkön ja kaasun hintasuhdetta.¹⁴¹

Lämpöpumppujen loppukokoonpanovaiheen arvioidaan maksavan Euroopassa ja Yhdysvalloissa noin 184–230 euroa kilowattia kohti¹⁴², mikä on noin kaksi kertaa enemmän kuin Kiinassa. Koska komponenttien osuus lopullisista kustannuksista on 75 prosenttia, vertikaalisesti integroituneilla valmistajilla on parempi kilpailuasema.¹⁴³ EU:n teollisuus on edelleen suurelta osin riippuvainen tuontikomponenteista, kuten kompressoreista, lämmönvaihtimista, venttiileistä ja kylmäaineista. Jotta voitaisiin vahvistaa asuinrakennuksiin tarkoitettujen lämpöpumppujen valmistajien kilpailukykyä ja häiriönsietokykyä, riippuvuuksia

¹³⁵ COMEXT/COMTRADE-tietokantojen tiedot HS-koodille 841861 – lämpöpumput, ei kuitenkaan ilmastointilaitteet: EU:n vienti: 3 837 miljoonaa euroa, josta 603 miljoonaa euroa EU:n ulkopuolisiin maihin; Kiinan vienti: 971 miljoonaa euroa. COMEXT/COMTRADE-tietokantojen tiedot HS-koodille 841581 – ilmastointilaitteet: EU:n vienti: 782 miljoonaa euroa, josta 177 miljoonaa euroa EU:n ulkopuolisiin maihin; Kiinan vienti: 549 miljoonaa euroa.

¹³⁶ IEA, *Advancing Clean Technology Manufacturing*, 2024. Vuoteen 2050 ulottuva nettonollapäästöskenaario; soveltamisala: asuin- ja liikerakennusten tilojen ja veden lämmitykseen tarkoitettujen lämpöpumppujen, mukaan lukien ensisijaisena lämmityslaitteena käytettävät kaksitoimiset ilmastointilaitteet.

¹³⁷ HS-koodi 841861 – lämpöpumput (ei kuitenkaan ilmastointilaitteet). Lisätietoa: Euroopan komission yhteinen tutkimuskeskus, Toleikyte, A., Lecomte, E., Volt, J., Lyons, L., Roca Reina, J.C., Georgakaki, A., Letout, S., Mountraki, A., Wegener, M., Schmitz, A., CETO, *Heat Pumps in the European Union*, 2024.

¹³⁸ European Heat Pump Association (EHPA), ”Market Report, 2024”. Raportti kattaa valtiot AT, BE, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, HU, IE, IT, LT, NL, PL, PT, SE, SK. Raportti koskee pääasiassa sisätilojen lämmitykseen ja lämpimän talousveden tuottamiseen käytettäviä lämpöpumppuja.

¹³⁹ BloombergNEF, ”Europe’s Heat Pump Market Collapse Triggers Spending Dip”, 2025.

¹⁴⁰ IEA, *Advancing Clean Technology Manufacturing*, 2024.

¹⁴¹ EHPA, *EU Heat Pump Accelerator*, 2023.

¹⁴² Vuoden 2024 keskimääräisen vaihtokurssin mukaan (0,9239 euroa = 1 Yhdysvaltojen dollari), lähde: [EKP](#).

¹⁴³ IEA, *Advancing Clean Technology Manufacturing*, 2024.

on pyrittävä vähentämään monipuolistamalla toimitusketjuja ja vahvistamalla EU:n arvoketjuja.

Teollisuuden lämpöpumppujen alalla EU:n valmistajat ovat maailman kärjessä ja kattavat koko toimitusketjun.¹⁴⁴ Kansainvälisen energijärjestön mukaan noin 30 prosenttia teollisuuden lämmöntarpeesta aina 400 C:n lämpötilaan saakka olisi katettava teollisuuslämpöpumpuilla vuoteen 2050 mennessä ja puolet siitä jo vuoteen 2030 mennessä.¹⁴⁵ Teollisuuden lämpöpumpuilla voitaisiin kattaa myös alle 200°C:n lämmitystarpeet – niiden osuus teollisuuden lämmöntarpeesta on 37 prosenttia¹⁴⁶. Tällaisia ratkaisuja on jo käytössä elintarvike- ja juoma-alalla sekä sellu- ja paperialalla.

Teollisuuden lämpöpumppujen kehittämiseksi tarvitaan T&K-hankkeita, jotta sovellusvalikoimaa voitaisiin edelleen laajentaa ja jotta voitaisiin varmistaa näiden teknologioiden mahdollisimman nopea käyttöönotto ja standardisointi.¹⁴⁷ Lisäksi tarvitaan investointeja EU:n toimitusketjuun tuotantokapasiteetin lisäämiseksi ja tuotekustannusten alentamiseksi. Toimiala katsoo, että teollisuuden lämpöpumpuilla on potentiaalia tulla eurooppalaiseksi menestystarinaksi.

3.7. Geoterminen energia

Vuonna 2024 geoterminen energia sai paljon julkista huomiota ja poliittista nostetta. Poliittinen tahto näkyi muun muassa Euroopan parlamentin päätöslauselmassa geotermisestä energiasta¹⁴⁸ ja neuvoston päätelmissä geotermisestä energiasta¹⁴⁹. Vuonna 2023 asennetun geotermisen energian nettokapasiteetti EU:ssa oli noin 0,9 gigawattia sähkötehoa (GWe)¹⁵⁰ (maailmanlaajuisesti 14,8 GWe¹⁵¹). Maalämmön suora käyttö kasvoi tasaisesti, ja vuonna 2023 oli käytössä 298 kaukolämmitys- ja -jäähdytysjärjestelmää.¹⁵²

EU:n yrityksillä on vahva rooli sisämarkkinoilla maastotutkimuksista käytöstäpoistoon asti, koska käyttöönottoon liittyvät arvoketjut ovat yleensä täysin unionin sisäisiä.¹⁵³ Lopputuotteiden valmistuksen osalta alan arvioidaan saavuttavan nettonollateollisuussäädöksen tavoitteen, jonka mukaan 40 prosenttia käyttöönototarpeista on katettava unionin sisäisellä tuotannolla.¹⁵⁴ Sitä vastoin komponenttien, kuten turbiinien, turbohöyrystimien, pumppujen, venttiilien ja ohjausjärjestelmien, maailmanmarkkinoita hallitsevat EU:n ulkopuoliset yritykset. Japani tuottaa 82 prosenttia flash cycle -höyryturbiineista ja Israel 74 prosenttia kaksikiertoteknologiaan perustuvista höyrystimistä. Näiden teknologioiden eurooppalaiset valmistajat sijaitsevat pääasiassa Italiassa

¹⁴⁴ IEA HPT TCP, [Annex 58 High-Temperature Heat Pumps](#), 2023. Valmistajia on EU:ssa 20 ja Norjassa seitsemän. Japanissa on 24 valmistajaa, joista yhdeksän on keskittynyt höyryn mekaaniseen komprimointiin (MVR) perustuvaan teknologiaan. MVR-tuotantolaitoksia on myös Kiinassa.

¹⁴⁵ IEA, *Net Zero by 2050*, 2021.

¹⁴⁶ TNO, [Strengthening Industrial Heat Pump Innovation](#), 2020.

¹⁴⁷ IEA:n lämpöpumpputeknologioita koskeva teknologisen yhteistyön ohjelma (HPT TCP), [Annex 58 High-Temperature Heat Pumps](#), 2023.

¹⁴⁸ Euroopan parlamentin päätöslauselma 18. tammikuuta 2024 geotermisestä energiasta (2023/2111(INI)).

¹⁴⁹ Euroopan unionin neuvoston päätelmät geotermisen energian edistämisestä, 16. joulukuuta 2024.

¹⁵⁰ Eurostat ([nrg_inf_eprw](#)), sivustolla käyty 12.2.2025.

¹⁵¹ Renewable Energy Policy Network for the 21st Century (REN21), *Renewables Global Status Report*, 2024.

¹⁵² European Geothermal Energy Council (EGEC), *Geothermal Market Report 2023*, 2024.

¹⁵³ EGEC, *Geothermal Market Report 2023*, 2024.

¹⁵⁴ Euroopan komission yhteinen tutkimuskeskus, Taylor, N., Georgakaki, A., Ince, E., Letout, S. Mountraki, Gea Bermudez, J. ja Schmitz, A., CETO, [Geothermal Energy in the European Union](#), 2024.

ja vähäisemmässä määrin Saksassa ja Ranskassa.¹⁵⁵ Tutkimuksen ja innovoinnin alalla EU oli maailman kärjessä arvokkaissa keksinnöissä ennen kuin Kiina ohitti sen vuonna 2019.¹⁵⁶

Litiumin ja muiden raaka-aineiden yhteistuotanto voi parantaa geotermisten laitosten taloudellista kestävyyttä. Materiaaliriippuvuuksien suhteen teknologia itsessään on vahvasti riippuvainen teräksestä, josta suuri osa tuodaan Aasiasta. Geotermisen ala tarvitsee vähäisemmässä määrin myös kriittisiä raaka-aineita, kuten alumiinia¹⁵⁷, kuparia ja titaania¹⁵⁸. Euroopan parlamentin äskettäisessä valiokunta-aloitteisessa mietinnössä¹⁵⁹ sekä hiljattaisissa neuvoston päätelmissä¹⁶⁰ suositellaan muun muassa seuraavia toimia: i) lisätään poliittista näkyvyyttä ja yleistä tietoisuutta geotermisen energian mahdollisuuksista ja haasteista, ii) korjataan tietojen saatavuuteen liittyvät puutteet, iii) vähennetään investointiriskejä ottamalla käyttöön takausjärjestelyjä, iv) yksinkertaistetaan ja nopeutetaan lupamenettelyjä, v) edistetään parhaita käytäntöjä, vi) korjataan ammattitaitoisen työvoiman puute ja vi) edesautetaan yleistä hyväksyntää.

3.8. Vetyteknologiat: elektrolyysilaitteet ja polttokennot

Veden elektrolyysi on prosessi, jossa vetyä tuotetaan vedestä sähköllä. Jos tarvittava sähkö tuotetaan uusiutuvista ja vähähiilisistä lähteistä, tällä teknologialla voi olla keskeinen rooli hiilestä irtautumisessa teollisuudenaloilla, joilla päästöjä on vaikea vähentää, kuten energiaintensiivisten materiaalien tuotannossa (esim. teräs tai sementti), lannoitetuotannossa sekä lento- ja meriliikenteessä. Elektrolyysilaitteiden valmistuskapasiteetti on lisääntymässä Euroopassa, ja sitä tuetaan sääntely- ja rahoituskehyksillä¹⁶¹. Vuonna 2024 järjestetyssä Euroopan vetypankin ensimmäisessä huutokaupassa myönnettiin 720 miljoonaa euroa seitsemälle hankkeelle. Vaikka tämä mahdollistaa yhä useampien hankkeiden lopulliset investointipäätökset, eurooppalaiset yritykset kohtaavat edelleen rahoitukseen ja toimintaan liittyviä esteitä.

Elektrolyysilaitteiden asennettu kapasiteetti kasvoi Euroopassa vuonna 2023 kirjatusta 228 MWe:stä 663 MWe:hen vuonna 2024 (käynnissä olevat hankkeet ja hankkeet, joista on tehty investointipäätös), ja kapasiteetista 517 MWe oli EU-maissa.¹⁶² Maailmanlaajuinen asennettu kapasiteetti kasvoi 1,4–1,7 GWe:stä vuonna 2023 jopa 5 GWe:hen vuonna 2024.¹⁶³ Tästä määrästä 2,7 GWe on Kiinassa ja noin 300 MWe Yhdysvalloissa.

¹⁵⁵ EGEC, [Geothermal Market Report 2023](#), 2024.

¹⁵⁶ CETO, [Geothermal Energy in the European Union](#), 2024.

¹⁵⁷ EGEC, [Geothermal Market Report 2023](#), 2024.

¹⁵⁸ Euroopan komissio, tutkimuksen ja innovoinnin pääosasto, Schleker, T., Hicks, M., Cressida Howard, I., Ohrvik-Stott, J. ym., [Study on clean energy R&I opportunities to ensure European energy security by targeting challenges of distinct energy value chains for 2030 and beyond](#), 2024.

¹⁵⁹ Euroopan parlamentin päätöslauselma 18. tammikuuta 2024 geotermisestä energiasta (2023/2111(INI)).

¹⁶⁰ Euroopan unionin neuvoston päätelmät geotermisen energian edistämisestä, 16. joulukuuta 2024.

¹⁶¹ Kuten uusiutuvan energian direktiiviin (EU) 2023/2413 sisältyvillä kulutustavoitteilla, elektrolyysikumppanuuden tavoitteella saavuttaa 25 GWe:n vuotuinen tuotanto vuoteen 2025 mennessä sekä neljällä vetyä ja polttokennoja koskevalla Euroopan yhteistä etua koskevalla tärkeällä hankkeella, ks. https://competition-policy.ec.europa.eu/state-aid/ipcei/approved-ipceis_en?prefLang=fi.

¹⁶² Perustuu IEA:n vetyhankkeita koskevaan data-aineistoon (tammikuun 2025 tiedot EU:n, Norjan, Yhdistyneen kuningaskunnan ja Sveitsin osalta).

¹⁶³ Euroopan komission yhteinen tutkimuskeskus, Bolard, J., Dolci, F., Gryc, K., Eynard, U., Georgakaki, A., Letout, S., Mountraki, A., Ince, E., Shtjefni, D., Rózsai, M. and Wegener, M., CETO, [Water Electrolysis and Hydrogen in the European Union](#), 2024; IEA, [Global Hydrogen Review](#), 2024. IEA:n tietojen mukaan Yhdysvaltojen asennettu kapasiteetti oli vuonna 2024 huomattavasti pienempi kuin hanketietokannassa vuonna 2023 ilmoitettu 717 MWe.

Euroopan elektrolyysipinojen vuotuisen valmistuskapasiteetin arvioidaan olevan 10–15,7 GWe vuonna 2024¹⁶⁴, kun taas maailmanlaajuisesti vuotuisen kapasiteetin ennustetaan olevan 40–54 GWe¹⁶⁵. Kiinan valmistuskapasiteetti on suurin, arviolta noin 20 GWe vuonna 2024¹⁶⁶.

Valmistuskapasiteetin ja järjestelmien koon kasvusta huolimatta odotettuja kustannussäästöjä ei ole vielä saavutettu. Tämä johtuu inflaatiosta ja muista kustannuksista, kuten apukomponenteista, sähköliitännöistä ja välillisistä kustannuksista. Tuoreimpien tutkimusten mukaan 100 megawatin alkalijärjestelmien pääomakustannukset ovat 3 050 euroa kilowattia kohti ja 200 megawatin järjestelmien osalta 2 630 euroa kilowattia kohti¹⁶⁷, mikä on ainakin neljä kertaa enemmän kuin Aasiassa. Jotkin eurooppalaiset valmistajat ovat ilmoittaneet, että niiden tuotannolle ei ole riittävästi ostajia. Tämä vaikuttaa niiden kykyyn vähentää pääomakustannuksia kilowattia kohti sekä myös monien uusiutuvan ja vähähiilisen vedyn liiketoimintamallien kannattavuuteen.

Tarjonnan kasvu Euroopassa on hidastumassa. Tämä johtuu toimitusketjun alkupäähän vaikuttavista puutteista, riittävän kysynnän puutteesta sekä riippuvuudesta kriittisistä raaka-aineista (kuten platinaryhmän metalleista)¹⁶⁸ ja komponenteista¹⁶⁹. Nämä tekijät myös lisäävät valmistuskustannuksia. Eurooppalaisten elektrolyysiyritysten kilpailukyky jää näin ollen vaatimattomaksi. Tärkeimmissä elektrolyysilaitteiden ryhmissä on kuitenkin kaupallisesti saatavilla olevia tuotteita¹⁷⁰, ja EU:n toimijoilla on hyvä asema arvokkaissa patenteissa¹⁷¹. Toisaalta pinokokoonpanojen pitkät toimitusajat, arvoketjun alkupään heikkoudet ja kalliimmat järjestelmät vaikuttavat eurooppalaisten valmistajien kilpailukykyyn. Liiketoimintamahdollisuuksiin voivat vaikuttaa myös muut näkökohdat, kuten valmistuksen jälkeiset takuut ja uusiutuvan vedyn tuotannon korkeat toimintakustannukset.

Sähkökustannuksilla on tärkeä rooli vedyn tasoitetuissa kokonaiskustannuksissa (LCOH). Tämä johtuu siitä, että sähkön osuus kokonaiskustannuksista on merkittävä. Suhteellinen osuus kuitenkin vaihtelee sijainnin ja elektrolyysilaitteen ominaisuuksien mukaan.¹⁷² Esimerkiksi Alankomaissa hiljattain ehdotetuissa hankkeissa¹⁷³ LCOH-arvo oli 12–14 euroa vetykiloa kohti 100–200 MWe:n elektrolyysijärjestelmissä merellä tuotettavan sähkön osalta. LCOH-arvo kuitenkin riippuu merkittävästi hankkeiden suunnittelusta, toteutuksesta ja sijainnista.

¹⁶⁴ IEA, *Global Hydrogen Review*, 2024; CETO, [Water Electrolysis and Hydrogen in the European Union](#), 2024. Vaihteluvälin yläraja perustuu Rystadt Energy:n tietoihin, ja siinä huomioidaan myös rakenteilla oleva valmistuskapasiteetti (lokakuu 2024).

¹⁶⁵ IEA, *Global Hydrogen Review*, 2024. Vaihteluvälin yläraja perustuu BloombergNEF:n ennusteeseen (ks. *Electrolysers, too many fish in the Pond*, 2024).

¹⁶⁶ IEA, *Global Hydrogen Review*, 2024. Vaihteluvälin yläraja perustuu alkuperäisten laitevalmistajien päätoimipaikkoihin Kiinassa.

¹⁶⁷ Perustuu seuraaviin: BloombergNEF, *Electrolyser Price Survey*, 2024; TNO, *Evaluation of the levelised cost of hydrogen based on proposed electrolyser projects in the Netherlands*, 2024.

¹⁶⁸ Perustuu JRC:n julkaisuun ”[Supply chain analysis and material demand forecast in strategic technologies and sectors in the EU](#)”, 2023. Noin 1–5 prosenttia elektrolyysilaitteiden kriittisistä raaka-aineista hankitaan Euroopasta.

¹⁶⁹ Perustuu julkaisuun BloombergNEF, *Electrolyser Price Survey*, 2024.

¹⁷⁰ Neljä tärkeintä kaupallista teknologiaa ovat alkalielektrolyysi, polymeerielektrolyysi (PEM), kiinteäoksidielektrolyysi ja anioninvaihtomembraanielektrolyysi (AEM). Lisäksi kehitteillä on protoneja johtavaan keraamiseen elektrolyyttiin perustuva teknologia.

¹⁷¹ Euroopan ilmastoneutraalin teollisuuden kilpailukykyyn tulostaulu (CIndECS). EU:n osuus arvokkaista keksinnöistä on 31 prosenttia.

¹⁷² CETO, [Water Electrolysis and Hydrogen in the European Union](#), 2024.

¹⁷³ TNO, [Evaluation of the levelised cost of hydrogen based on proposed electrolyser projects in the Netherlands](#), 2024.

Muita tutkimus- ja innovointihaasteita ovat kalvoissa käytettävien ”ikuisuuskemikaalien” (PFAS-yhdisteiden) korvaaminen, järjestelmäkustannusten alentaminen, järjestelmien suorituskyvyn ja käyttöiän parantaminen, makean veden kulutuksen vähentäminen ja käyttöönoton edistäminen loppukäyttöaloilla kilpailukyysisin hinnoin.

Polttokennot ovat järjestelmiä, jotka tuottavat sähköä puhtaasta vedystä tehokkaasti. Ne tuottavat lisäarvoa tarjoamalla hiilettömiä ratkaisuja liikenteeseen, lämmitykseen tai sähköverkon ulkopuoliseen energiantuotantoon. Polttokennoja käytetään pääasiassa polttokennokäyttöisissä sähköajoneuvoissa, linja-autoissa ja taajamajunissa sekä vähemmässä määrin lämmityksessä, koneissa ja sähköverkon ulkopuolissa kiinteissä energiajärjestelmissä. EU:ssa päästönormit ja hiilen hinta luovat lisäkannustimia investoinneille. Vuonna 2023 maailmanlaajuinen asennettu kapasiteetti oli arviolta 7,8 gigawattia, josta suurin osa oli Aasiassa (72 %), Yhdysvalloissa ja Kanadassa (18 %) sekä Euroopassa (0,6 gigawattia eli 8 %) ¹⁷⁴. Suurin markkinasegmentti oli liikenne ¹⁷⁵.

Eurooppalaiset toimijat valmistavat myös polttokennobusseja, mutta niissä käytettävät polttokennot ostetaan useimmiten unionin ulkopuolisilta toimittajilta, erityisesti Kanadasta ja Japanista. EU:ssa on kehitteillä polttokennoprototyyppejä raskaille hyötyajoneuvoille, koska kiinnostus puhtaaseen liikenteeseen kasvaa ja siten kokonaiskäyttökustannukset saattavat laskea lähelle dieselkäyttöisten kuorma-autojen kustannuksia vuoden 2035 jälkeen. Polttokennokäyttöisten raskaiden hyötyajoneuvojen arvioidaan kuitenkin pysyvän kalliimpana kuin akkukäyttöiset sähköajoneuvot. Polttokennojen käyttö lämmityksessä jää todennäköisesti marginaaliseksi EU:ssa.

Sekä elektrolyytilaitteiden että polttokennojen arvoketjujen häiriönsietokykyä on vahvistettava raaka-aineiden hankinnasta aina komponenttien valmistukseen ja toimitukseen asti, jotta kokonaisten järjestelmien toimitusaikoja voidaan lyhentää Euroopassa kilpailukyysisin kustannuksin. Poliitiikan painopisteenä on edelleen varmistaa, että saatavilla on runsaasti kustannuksiltaan kilpailukykyistä uusiutuvaa ja vähähiilistä vetyä.

3.9. Kestävät biokaasu- ja biometaaniteknologiat

Euroopassa on kehittynyttä teollisuutta, joka tuottaa sähköä pääasiassa biokaasun avulla, sekä kasvavat lämmityksen ja liikenteen markkinat, jotka perustuvat biometaanin syöttämiseen verkkoon. Lähes 50 prosenttia tuotannosta on Euroopassa, ja pelkästään Saksa kattaa 20 prosenttia maailmanlaajuisesta kysynnästä. ¹⁷⁶ Anaerobinen mädätys on edelleen tärkein kaupallinen teknologia, jolla tuotetaan biometaaniksi jalostettavaa biokaasua. EU on johtava biokaasun ja biometaanin tuottaja, ja sen yhteenlaskettu tuotanto oli noin 22,1 miljardia kuutiometriä vuonna 2023. ¹⁷⁷ Sillä on johtoasema myös laitevalmistuksessa. Anaerobisesta mädätyksestä peräisin olevan biometaanin tuotantokapasiteetti unionissa oli 3,8 miljardia kuutiometriä vuonna 2023, ja todellisen vuosituotannon arvioidaan olevan 3,5 miljardia kuutiometriä. Tuotantokapasiteetin kuitenkin ennustetaan viisinkertaistuvan vuoteen 2030 mennessä. ¹⁷⁸ Biometaanin nykyinen kasvuvauhti EU:ssa noudattaa tarkasti kansallisissa

¹⁷⁴ Perustuu julkaisuun Rystad Energy, ”Fuel Cell Installed Capacity Dataset”, 2024.

¹⁷⁵ European Hydrogen Observatory, [Fuel Cell Market Dataset](#), 2021.

¹⁷⁶ IEA, *Renewables 2023*, [Special section: Biogas and biomethane](#), 2024.

¹⁷⁷ Perustuu European Biogas Associationin (EBA) [tilastoraporttiin](#) 2024.

¹⁷⁸ Euroopan komissio, tutkimuksen ja innovoinnin pääosasto, [Development of outlook for the necessary means to build industrial capacity for drop-in advanced biofuels \(liite 3\)](#), 2024.

energia- ja ilmastosuunnitelmissa vuodelle 2030 asetettuja tavoitteita REPowerEU-tavoitteen mukaisesti.

EU:ssa toimii joitakin maailman johtavia yrityksiä biokaasun ja biometaanin tuotanto- ja valmistuskomponenttien (mädättimet, biokaasun puhdistuslaitteet, kaasuttimet jne.) alalla.¹⁷⁹ Myös uusia etenemisreittejä on kehitteillä, ja EU on tällä alalla edelläkävijä.¹⁸⁰ EU:n Horisontti-ohjelmasta on investoitu yli 120 miljoonaa euroa 20 innovatiiviseen hankkeeseen, jotka edistävät alan teknologiaa. Biometaanin suoraan tuottavia innovatiivisia teknologioita, kuten jäännös- ja jätebiomassan kaasuttamista, ei ole vielä laajalti demonstroitu EU:ssa (vuonna 2023 käytössä oleva asennettu tuotantokapasiteetti oli 2 000 tonnia vuodessa, mutta biometaanin tuotannon odotetaan kasvavan 0,7 miljardiin kuutiometriin vuoteen 2030 mennessä¹⁸¹). Nesteytetyn biometaanin tuotantolaitokset tarjoavat arvokkaan vaihtoehdon EU:ssa. Niiden kapasiteetin odotetaan kasvavan vuoden 2023 noin 7,3 terawattitunnista 15,4 terawattituntiin vuonna 2025.¹⁸²

EU:n osuus biokaasuinvestoinneista on merkittävä, ja se on kärkisijalla arvokkaissa patenteissa.¹⁸³ Biokaasuteknologioihin (anaerobinen mädätys ja kaasun jalostus) ei liity kriittisiä riippuvuuksia materiaaleista, komponenteista tai toimittajista, eivätkä kaasuttimissa käytetyt teknologiat ole riippuvaisia mistään tietyistä laitteista, materiaaleista tai toimittajista.¹⁸⁴ EU ei myöskään ole riippuvainen biologisten raaka-aineiden tuonnista.¹⁸⁵ Sitä vastoin sähköntuotannossa käytettäviin kaasumootoreihin ja -turbiineihin sekä kaikkiin kaasumaisiin polttoaineisiin liittyy riippuvuuksia unionin ulkopuolisista toimittajista.

Korkeat kustannukset haittaavat tällä hetkellä biometaanin laajempaa käyttöönottoa. Esimerkiksi anaerobiseen mädätykseen perustuvan biokaasulaitoksen pääomakustannukset ovat noin 1 500–2 000 euroa kilowattia kohti¹⁸⁶, ja biokaasun tuotannon ja jalostuksen kokonaiskustannusten arvioidaan olevan noin 100 euroa megawattituntia kohti¹⁸⁷. Vastaavasti kaasutukseen perustuvan biometaanilaitoksen pääomakustannukset ovat 2 000–3 600 euroa kilowattia kohti ja tuotantokustannukset noin 89–112 euroa megawattituntia kohti.¹⁸⁸

EU:n kilpailukyky voidaan säilyttää tällä alalla tukemalla edelleen innovointia teknologioissa, jotka koskevat kaasutuksesta ja anaerobisesta mädätyksestä peräisin olevan biometaanin jalostukseen perustuvaa kestäväää biokaasutuotantoa. Tavoitteena on lisätä tuotantokapasiteettia ja alentaa tuotantokustannuksia. Lisäksi biokaasu- ja biometaanilaitosten verkkoon pääsy olisi helpotettava.

¹⁷⁹ Euroopan komissio, tutkimuksen ja innovoinnin pääosasto, [Study on energy technology dependence](#), 2020.

¹⁸⁰ Euroopan komission yhteinen tutkimuskeskus, Motola, V., Scarlat, N., Buffi, M., Hurtig, O., Rejtharova, J., Georgakaki, A., Mountraki, A., Letout, S., Salvucci, R., Rózsai, M. ja Schade, B., CETO, [Bioenergy in the European Union](#), 2024.

¹⁸¹ Euroopan komissio, tutkimuksen ja innovoinnin pääosasto, [Development of outlook for the necessary means to build industrial capacity for drop-in advanced biofuels \(liite 3\)](#), 2024.

¹⁸² CETO, [Bioenergy in the European Union](#), 2024.

¹⁸³ CETO, [Bioenergy in the European Union](#), 2024.

¹⁸⁴ Euroopan komissio, tutkimuksen ja innovoinnin pääosasto, [Study on energy technology dependence](#), 2020.

¹⁸⁵ CETO, [Bioenergy in the European Union](#), 2024.

¹⁸⁶ Euroopan komissio, tutkimuksen ja innovoinnin pääosasto, [Development of outlook for the necessary means to build industrial capacity for drop-in advanced biofuels](#), 2023.

¹⁸⁷ IEA, [Outlook for Biogas and Biomethane](#), 2020; Euroopan komissio, tutkimuksen ja innovoinnin pääosasto, [Development of outlook for the necessary means to build industrial capacity for drop-in advanced biofuels \(liite 3\)](#), 2024.

¹⁸⁸ Euroopan komissio, tutkimuksen ja innovoinnin pääosasto, [Development of outlook for the necessary means to build industrial capacity for drop-in advanced biofuels \(liite 3\)](#), 2024.

3.10. Hiilidioksidin talteenoton ja varastoinnin (CCS) teknologiat

Helmikuussa 2024 hyväksytyssä teollisessa hiilenhallintastrategiassa¹⁸⁹ EU esittää vision vankasta sääntely- ja investointikehyksestä, joka koskee hiilidioksidin talteenottoa, kuljetusta, käyttöä ja varastointia sekä ilmakehästä peräisin olevaa hiiltä poistavia teknologioita. Strategiassa esitetään konkreettisia toimia CCS-teknologioiden tukemiseksi. Sitä tuetaan nettonollateollisuussäädöksellä, jossa asetetaan tavoitteeksi saavuttaa 50 miljoonan tonnin vuotuinen hiilidioksidin injektointikapasiteetti EU:n varastointipaikoilla vuoteen 2030 mennessä¹⁹⁰.

EU:n asema hiilidioksidin talteenottoteknologioissa on hyvä, ja viisi näiden teknologioiden 16 tärkeimmästä toimittajasta on EU:n yrityksiä.¹⁹¹ Kuitenkin kun tarkastellaan hiilidioksidin kuljetusta, varastointia ja koko arvoketjua, Eurooppa on jäljessä Yhdysvalloista ja Kanadasta, koska näitä teknologioita tarjoavia EU:n yrityksiä on hyvin vähän.¹⁹² EU on viime vuosina kuronut etumatkaa umpeen julkisissa T&K-menoissa. Vuonna 2022 EU:n osuus maailmanlaajuisista menoista oli noin 22 prosenttia, mikä on hieman suurempi kuin Kanadan tai Japanin osuus¹⁹³. Suurin osa investoinneista suuntautui hiilidioksidin varastointiin.

Vuonna 2023 eri kehitysvaiheissa olevien CCS-hankkeiden määrä kaksinkertaistui edellisvuoteen verrattuna ja oli 392 hanketta maailmanlaajuisesti (joista 119 hanketta sijaitsi Euroopassa). Näiden hankkeiden yhteenlaskettu vuotuinen kapasiteetti oli 361 miljoonaa hiilidioksiditonnia¹⁹⁴. Euroopan eri kehitysvaiheissa olevilla CCS-hankkeilla tuetaan esimerkiksi seuraavia teollisuudenaloja: vedyn, ammoniakkin ja lannoitteiden tuotanto (20 laitosta), sähkön- ja lämmöntuotanto (19 laitosta), sementintuotanto (17 laitosta) ja sähkön- ja lämmöntuotanto biomassasta (15 laitosta).¹⁹⁵

Euroopassa kehitteillä olevista 35:stä hiilidioksidin kuljetus- ja verkkohankkeesta monet ovat keskeisiä yhteistä etua koskevia hankkeita, joilla tuetaan EU:n rajatylittävää hiilidioksidiverkkoa.¹⁹⁶ Vaikka varastointikapasiteetti on edelleen keskittynyt Pohjanmerelle, myös muissa jäsenvaltioissa, kuten Bulgariassa, Kroatiaassa, Kreikassa ja Italiassa, on kartoitettu uusia sijoituspaikkoja maalla ja merellä toteutettaville CCS-hankkeille. Vuonna 2024 Tanska myönsi ensimmäiset tutkimusluvut hiilidioksidin maalla tapahtuvaa varastointia varten, mikä kaksinkertaistaa hiilidioksidin varastointia koskevien tutkintalupien kokonaismäärän.¹⁹⁷ Komissio myönsi tammikuussa 2025 Verkkujen Eurooppa -välineestä 250 miljoonaa euroa rahoitusta, jolla tuetaan kolmen hankkeen rakentamista ja yhdeksää

¹⁸⁹ COM(2024) 62 final.

¹⁹⁰ EUVL L, 2024/1735, 28.6.2024, johdanto-osan 36 kappale.

¹⁹¹ Euroopan komission yhteinen tutkimuskeskus, Martinez Castilla, G., Tumara, D., Mountraki, A., Letout, S., Jaxa-Rozen, M., Schmitz, A., Ince, E. and Georgakaki, A., CETO, [Carbon Capture, Utilisation and Storage in the European Union](#), 2024.

¹⁹² CETO, [Carbon Capture, Utilisation and Storage in the European Union](#), 2024.

¹⁹³ Ks. edellinen alaviite.

¹⁹⁴ Kehitteillä, rakenteilla ja toiminnassa olevat laitokset, lukuun ottamatta hiilidioksidin kuljetus- ja/tai varastointihankkeita (kaksinkertaisen laskennan välttämiseksi), paitsi kun on kyse hiilidioksidin kuljetus- ja/tai varastointilaitoksista, joilla ei ole omaa hiilidioksidin talteenottopistettä.

¹⁹⁵ Global CCS Institute, *Global Status of CCS 2023, Scaling up through 2030*.

¹⁹⁶ Esimerkiksi Porthos- ja Aramis-hankkeet Alankomaissa ja Antwerp@C-hanke Belgiassa. [Uusi luettelo yhteistä ja keskinäistä etua koskevista EU:n energiahankkeista \(europa.eu\)](#) sisältää 14 hiilidioksidiverkkohanketta.

¹⁹⁷ Tanskan ilmasto-, energia- ja julkisten palvelujen ministeriö, [The first exploration licenses for land-based storage of CO₂ in Denmark have been granted](#), 20. kesäkuuta 2024.

valmistelevaa tutkimusta yhteistä etua koskevia hiilidioksidi-infrastruktuurihankkeita varten.¹⁹⁸

EU:lla on hyvä asema keskeisten CCS-komponenttien valmistuksessa, kuten absorptiossa käytävissä amiiniliuottimissa (kypsin teknologia). Tuotanto ei kuitenkaan ole vielä laajamittaista, eikä alalla ole vielä erikoistuneita arvoketjuja. Kymmenen vuoden nollakasvujakson jälkeen unionin amiiniliuottimien tuotanto saavutti 260 miljoonaa euroa vuonna 2023, mikä on 8 prosenttia enemmän kuin edellisellä vuonna. EU:lla on hyvät edellytykset kehittää innovatiivisia menetelmiä, joissa käytetään esimerkiksi kalvomateriaaleja (polymeeriset, keraamiset) ja adsorbentteja. Toisaalta Kiinalla on maailmanlaajuinen johtoasema vertaisarvioituissa artikkeleissa. EU:n Horisontti 2020 -puiteohjelman hankkeiden odotetaan parantavan prosesseja merkittävästi ja sysäävän nämä menetelmät kaupalliseen vaiheeseen.¹⁹⁹

Vaikka CCS-teknologioiden käyttö lisääntyi EU:ssa viime vuonna, hiilidioksidin varastoinnin käyttöönottoahtia on lisättävä eksponentiaalisesti, jotta voidaan saavuttaa vuosiin 2030, 2040 ja 2050 ulottuvien tavoitteiden edellyttämät merkittävät hiilidioksidin talteenottovolyymit. EU ottaa käyttöön toimenpiteitä, joilla lisätään varastoinnin kysynnän ja tarjonnan näkyvyyttä, ja luo tarvittavat puitteet syrjimättömälle multimodaaliselle hiilidioksidi-infrastruktuurille, johon on avoin pääsy. Näillä toimenpiteillä vastataan teollisten hiilenhallintaratkaisujen käyttöönoton suurimpiin haasteisiin, lisätään ennustettavuutta sijoittajien kannalta ja vähennetään investointien riskejä. Komissio aikoo myös ehdottaa lisätoimenpiteitä hiilidioksidin talteenotto-, hyödyntämis- ja varastointiteknologioiden (CCUS) käyttöönoton kannustamiseksi ja lisäämiseksi.²⁰⁰

3.11. Sähköverkkoteknologiat: voimajohdot ja muuntajat

Sähköverkkoja koskevassa EU:n toimintasuunnitelmassa²⁰¹ kuvataan maailmanlaajuisia suuntauksia (esim. kasvava sähkönkulutus, digitalisaatio ja uusiutuvien energialähteiden integrointi), jotka osaltaan lisäävät verkkokomponenttien, kuten voimajohtojen ja muuntajien²⁰², maailmanlaajuista kysyntää. Europacablen vuoden 2024 analyysissä verkkojen kehittämisen 10-vuotissuunnitelmista²⁰³ ennakoidaan, että Euroopassa asennetaan vuosina 2024–2033 lähes 100 000 kilometriä uusia siirtojohtoja ja kaapeleita (vuonna 2022 esitettyä arviota on tarkistettu 10 prosenttia ylöspäin). Jakelujärjestelmän osalta Eurelectric odottaa, että vuosina 2025–2050 on tarpeen asentaa keskimäärin 262 000 kilometriä johtimia vuosittain, uudet ja uusittavat linjat mukaan luettuina.²⁰⁴ Lisäksi pelkästään EU:n ja Norjan jakeluverkon kehittäminen voi edellyttää jopa 172 000 muuntajayksikön asentamista vuosittain vuosina 2025–2050, mikä kaksinkertaistaisi muuntajien määrän 4,5 miljoonasta 9 miljoonaan vuosisadan puoliväliin mennessä.²⁰⁵ Kaiken kaikkiaan Euroopan sähkönsiirto- ja

¹⁹⁸ Ks. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_25_377.

¹⁹⁹ CETO, *Carbon Capture, Utilisation and Storage in the European Union*, 2024.

²⁰⁰ Toimeksiantokirje energia- ja asumisasioista vastaavalle komissaarille Dan Jørgensenille, 17. syyskuuta 2024.

²⁰¹ COM(2023) 757 final.

²⁰² Kertomuksen tässä painoksessa keskitytään voimalinjoihin ja muuntajiin, kun taas edellisessä painoksessa keskityttiin suurjännitteisiin tasasähköjärjestelmiin (HVDC-järjestelmiin) ja suuntaaja-asemiin, ks. COM(2023) 652 final.

²⁰³ Kaasu-ENTSO ja Sähkö-ENTSO, *Ten-Year Network Development Plans (TYNDP)*, toukokuu 2024.

²⁰⁴ Tämän seurauksena EU:n ja Norjan verkon odotetaan laajentuvan 10 miljoonasta kilometristä 16,8 miljoonaan kilometriin vuosina 2025–2050.

²⁰⁵ Eurelectric, *Grids for speed*, 2024.

jakeluinfrastruktuurin parantaminen saattaa vaatia jopa 730 miljardin euron investoinnit vuoteen 2040 mennessä.²⁰⁶

EU:ssa toimii joitakin pitkäaikaisia markkina- ja teknologiajohtajia sekä voimajohtojen että muuntajien aloilla. EU:n johto- ja kaapelimarkkinoilla toimii pääasiassa eurooppalaisia yrityksiä, vaikka kansainvälisten toimijoiden aiheuttama kilpailupaine saattaa kasvaa lyhyellä ja keskipitkällä aikavälillä. Euroopan muuntajamarkkinoilla tilanne on kuitenkin hieman erilainen: muutamat suuret monikansalliset yritykset hallitsevat suurten siirtoverkkomuuntajien segmenttiä, kun taas keskikokoisten muuntajien ja jakeluverkkomuuntajien segmenteissä toimii sekä perinteisiä kansallisia valmistajia ja eurooppalaisia perheyriksiä että kansainvälisiä kilpailijoita.

Kuparin ja alumiinin toimitusketjut ovat valmistuksen kannalta kriittisiä. Niiden odotetaan pysyvän kasvavan kysynnän tahdissa lyhyellä aikavälillä, mutta suuri kysyntä ja puhdistetun kuparin tuotannon keskittyminen aiheuttavat häiriöiden riskin pitkällä aikavälillä.²⁰⁷ Muuntajan tärkein arvokas komponentti, sydän, valmistetaan raesuunnatusta sähköteräksestä (GOES). Maailmanlaajuisten GOES-markkinoiden arvon arvioidaan lähes kaksinkertaistuvan vuoteen 2032 mennessä²⁰⁸ muuntajien kysynnän vuoksi. Vaikka EU on merkittävä tuottaja, monet unionin muuntajavalmistajat ovat riippuvaisia sydämessä käytettävän teräksen tuonnista.²⁰⁹

Voimajohtojen ja muuntajien kaltaisten sähköverkkokomponenttien kysynnän kasvu on johtanut toimitusten viivästymiseen, pitkiin toimitusaikoihin ja hintapiikkeihin. Korjatakseen tilanteen useat johtavat eurooppalaiset kaapelinvalmistajat ovat ilmoittaneet 4 miljardin euron investointipäätöksistä, mikä osaltaan auttaa kaksinkertaistamaan suurelle ja erittäin suurelle jännitteelle tarkoitettujen kaapelien tuotantokapasiteetin Euroopassa.²¹⁰ EU:n ja unionin ulkopuolisille muuntajavalmistajille suunnatun kyselytutkimuksen perusteella tuotantokapasiteetin voidaan odottaa kasvavan 10 prosenttia lyhyellä aikavälillä (vuoteen 2026 mennessä) ja jopa 30 prosenttia vuoteen 2030 mennessä, jos kysynnän kasvusuuntaus vahvistuu.²¹¹ Kysynnän odotetaan joka tapauksessa kasvavan edelleen tarjontaa nopeammin tulevina vuosina ja 2030-luvulla.

Alan yksi suurimmista haasteista on ammattitaitoisen työvoiman puute. Lähes puolet kyselyyn osallistuneista muuntajavalmistajista ilmoitti, että kapasiteetti oli vajaakäytöllä pätevien työntekijöiden puutteen vuoksi.²¹² Komissio on yksilöinyt sähköverkkoja koskevassa EU:n toimintasuunnitelmassa toimenpiteitä, joilla varmistetaan EU:n sähköverkkojen toiminnan tehostaminen ja nopeampi käyttöönotto.²¹³ Tiiviimpi yhteistyö viranomaisten, verkonhaltijoiden ja teknologian tarjoajien välillä on keskeistä, jotta voidaan kehittää yhdenmukaistettuja teknologiaeritelmiä, parantaa verkkohankkeiden kehittämisen näkyvyyttä, helpottaa investointeja valmistuskapasiteettiin ja turvata toimitusketjut. Kuluvalla toimikaudella komissio harkitsee eurooppalaisten sähköverkkojen oikeudellista kehystä

²⁰⁶ Euroopan komissio, energian pääosasto, Finesso, A., Kralli, A., Bene, C., Goodall, F. ym., [Investment needs of European energy infrastructure to enable a decarbonised economy](#), 2025.

²⁰⁷ IEA, [Critical Minerals Market Review](#), 2023.

²⁰⁸ Fortune Business Insights, [Grain Oriented Electrical Steel Market Size, Share & Industry Analysis](#), 2024.

²⁰⁹ T&D Europe, [Transformer Commodities Indices](#), huhtikuu 2024.

²¹⁰ [Europacable, kirje Euroopan komission johtavalle varapuheenjohtajalle Maroš Šefčovičille](#), 5. maaliskuuta 2024.

²¹¹ Transformers Magazine's Industry Navigator, [Investments 2024 – Outlook to 2033](#), 2024.

²¹² Ks. edellinen alaviite.

²¹³ COM(2023) 757 final.

sähköistymisen tukemiseksi ja lupamenettelyjen nopeuttamiseksi.²¹⁴ Komissio esittää sähköistämistä koskevan toimintasuunnitelman, jolla tuetaan sähköistymistä kaikilla loppukäyttöaloilla. Lisäksi se ehdottaa Euroopan verkkoja koskevaa pakettia energian siirto- ja jakeluinfrasustruktuurin nykyaikaistamiseksi ja laajentamiseksi.

3.12. Ydinfissioenergiateknologiat

Ydinvoimalat ovat yksi niistä teknologioista, joilla voidaan säädettävästi tuottaa vähähiilistä sähköä.²¹⁵ Ydinvoimaloiden tuottaman sähkön yksikkökustannukset ovat yleensä uusiutuvan energian ja fossiilisten teknologioiden välillä. Ydinvoimalat tuottivat 22,8 prosenttia EU:n sähköstä vuonna 2023, mikä on hieman enemmän kuin vuonna 2022 kirjattu 21,9 prosenttia.²¹⁶ Tähän päästiin kolmella keinolla, jotka ovat: käyttöiän pidentäminen, uusien suurten ydinvoimaloiden rakentaminen sekä pienten modulaaristen reaktorien käyttöönotto.

Suurin osa rakenteilla olevista uusista reaktoreista sijaitsee Aasiassa. Vuoden 2024 alussa maailmassa oli rakenteilla noin 61 gigawattia reaktorikapasiteettia, josta yli puolet Kiinassa ja Intiassa. EU:ssa toimii edelleen yksi reaktoritoimittaja²¹⁷, jonka osuus edellä mainitusta kapasiteetista on 5,3 prosenttia.²¹⁸ Tämä osoittaa, että EU:n teollisuuden on parannettava kilpailukykyään nettonollateollisuussäädöksen tavoitteiden mukaisesti.

Komissio käynnisti vuonna 2024 pieniä modulaarisia reaktoreita (SMR) koskevan eurooppalaisen teollisen allianssin edistääkseen SMR-reaktorien käyttöönottoa 2030-luvun alkuun mennessä ja tukeakseen kilpailukykyistä eurooppalaista ekosysteemiä.²¹⁹ SMR-voimaloissa käytetään innovatiivisia ratkaisuja, ja ne perustuvat modulaarisiin komponentteihin, joita saattaa olla mahdollista valmistaa sarjatuotantona. Niitä ei ole vielä otettu käyttöön EU:ssa, mutta ensimmäiset SMR-voimalat ovat jo toiminnassa Kiinassa ja Venäjällä.²²⁰

Suunnitellun kapasiteetin toteuttaminen EU:ssa edellyttää valmistuskapasiteetin lisäämistä.²²¹ Lisäksi alan työvoiman ikääntymiseen on vastattava houkuttelemalla nuorta työvoimaa ja uudelleenkouluttamalla muiden teollisuudenalojen ammattilaisia. Ydinalan osaamisen kehittämisohjelmia on myös edistettävä. Ydinpolttoaineen, polttoainekiertoon liittyvien palvelujen ja varaosien toimitusketjujen monipuolistamista on jatkettava, jotta voidaan poistaa

²¹⁴ Toimeksiantokirje energia- ja asumisasioista vastaavalle komissaarille Dan Jørgensenille, 17. syyskuuta 2024.

²¹⁵ Jäsenvaltiot voivat vapaasti valita energialähteiden yhdistelmänsä perussopimusten mukaisesti.

²¹⁶ Komission analyysi perustuu seuraaviin julkaisuihin: Eurostatin kuukausittaiset tiedot sähkön nettotuotannosta polttoainetyypeittäin (verkkotietokoodi: [nrg_cb_pem](#), päivitetty viimeksi 28.1.2025); Sähkö-ENTSO, *Statistical Factsheet 2023, 2024*; Euroopan parlamentin tutkimuspalvelu, *Strategic autonomy and the future of nuclear energy in the EU, 2024*; SWD(2024) 63 final, osa 1/5.

²¹⁷ 1980-luvulla eurooppalaisia reaktorivalmistajia oli neljä: ABB (Ruotsi/Sveitsi), Framatome (Ranska), Kraftwerk Union / Siemens (Saksa) ja National Nuclear Corp. (Yhdistynyt kuningaskunta). Näistä enää Framatome toimii yhä alalla. Ydinenergiajärjestö NEA, *Nuclear New build: Insights into Financing and Project Management, 2015*.

²¹⁸ Komission analyysi perustuu IAEA:n PRIS-tietoihin (tilanne 31. joulukuuta 2023). Framatome sai valmiiksi Olkiluoto 3:n (Suomi), joka aloitti kaupallisen toiminnan toukokuussa 2023.

²¹⁹ [Pieniä modulaarisia reaktoreita \(SMR\) koskeva eurooppalainen teollinen allianssi](#), 2024.

²²⁰ IAEA:n PRIS-tiedot (31. joulukuuta 2023).

²²¹ Lisäksi Euratomin hankintakeskuksen (ESA) analyysien mukaan länsimaista puuttuu rikastuskapasiteettia jopa 2 500 tuhatta erotustyöyksikköä (tSWU) vuodeksi 2030 arvioidusta tarpeesta, ja länsimaisista reaktoreista puuttuu noin 6 000 tuhatta yksikköä (tU) konvertointikapasiteettia vuodessa vakaan kysynnän skenaariossa. ESA, Euratomin hankintakeskuksen vuosikertomus, 2022.

riippuvuudet yksittäisistä epäluotettavista kumppaneista, erityisesti Venäjältä.²²² Lisäksi ydinturvallisuuden ylläpitämiseen, monipuolisten toimitusketjujen turvaamiseen, turvalliseen jätehuoltoon ja uusien teknologioiden edistämiseen on kiinnitettävä jatkuvaa huomiota.²²³ Ydinvoiman tulevan käytön ehtona on oltava tiukimpien ydinturvallisuusnormien noudattaminen sekä kaikenlaisen ydinjätteen ja käytetyn ydinpolttoaineen turvallinen loppusijoitus.

3.13. Vesivoima

Maailmanlaajuinen vesivoimakapasiteetti oli 1 416 gigawattia vuonna 2023²²⁴, ja kapasiteetin odotetaan lisääntyvän noin 160 gigawattia (josta noin 15–16 gigawattia Euroopassa) vuoteen 2030 mennessä²²⁵. Pumppuvesivoima on edelleen yleisin energian varastointiteknologia. Sen osuus koko maailman verkkomittakaavan varastointikapasiteettista on yli 90 prosenttia, ja EU:n asennettu pumppuvesivoimakapasiteetti on 46 gigawattia.²²⁶ Vaikka unionin yritykset toteuttavat uusia vesivoimahankkeita maailmanlaajuisesti, EU:ssa keskitytään olemassa olevien laitosten parantamiseen ja kunnostamiseen. Näiden laitosten asennettu kapasiteetti on noin 153 gigawattia²²⁷.

EU:n vesivoimakomponenttien valmistusalan toiminta jatkui vahvana vuonna 2024, mikä viittaa siihen, että nettonollateollisuussäädöksen vertailuarvojen saavuttamisessa on edistytty. Vaikka unionin toimitusketjut ovat kehittyneitä, vaarana on, että kestopaneettien osalta esiintyy tulevaisuudessa riippuvaisuuksia.²²⁸ EU:ssa valmistettujen osien ja turbiinien arvo oli 605 miljoonaa euroa vuonna 2023, mutta kauppataseen ylijäämä on supistunut huomattavasti viime vuosina: ylijäämä oli 213 miljoonaa euroa vuonna 2023, kun se vuonna 2015 oli 466 miljoonaa euroa. Tämä näkyy myös EU:n osuudessa maailmanlaajuisesta viennistä, vaikka unionin osuus pysyi edelleen suurena, 44 prosentissa, vuosina 2021–2023.²²⁹ Tuotannon arvon lasku viime vuosina osoittaa, että vaikka EU:n teollisuus on edelleen kilpailukykyinen, sen kohtaama maailmanlaajuinen kilpailu on lisääntynyt, kun erityisesti Kiina on kasvattanut asemaansa vesivoimateknologian alalla.²³⁰

EU:n vesivoimateollisuus on edelleen edelläkävijä maailmanlaajuisesti, mutta on odotettavissa, että sen asema tullaan haastamaan keskipitkällä ja pitkällä aikavälillä. Unionin teollisuuden kannalta erityisenä ongelmana on uusien vesivoimahankkeiden vähäisempi potentiaali Euroopassa, jossa uusien sijoituspaikkojen löytäminen kestävästi vesivoiman

²²² Viidessä jäsenvaltiossa on käytössä VVER-tyyppisiä painevesireaktoreita. Näitä reaktoreita on perinteisesti palvellut vain yksi venäläinen polttoainetoimittaja, mikä on riski toimitusvarmuuden kannalta. Komissio käynnisti vuonna 2022 kuulemiset VVER-reaktoreita käyttävien jäsenvaltioiden kanssa vauhdittaakseen polttoainetoimitusten monipuolistamista REPowerEU-tavoitteiden mukaisesti.

²²³ Toimeksiantokirje energia- ja asumisasioista vastaavalle komissaarille Dan Jørgensenille, 17. syyskuuta 2024.

²²⁴ Euroopan komissio yhteinen tutkimuskeskus, Quaranta, E., Georgakaki, A., Letout, S., Mountraki, A., Ince, E. ja Gea Bermudez, J., CETO, *Hydropower and Pumped Storage Hydropower in the European Union*, 2024.

²²⁵ IRENA, *The changing role of hydropower: Challenges and opportunities*, 2023; IEA, *Hydropower Special Market Report Analysis and forecast to 2030*, 2021.

²²⁶ CETO, *Hydropower and Pumped Storage Hydropower in the European Union*, 2024.

²²⁷ Eurostat ([nrg_inf_epc](https://nrg-inf.epc)), sivustolla käyty 12.2.2025.

²²⁸ Euroopan komissio, tutkimuksen ja innovoinnin pääosasto, Schleker, T., Hicks, M., Cressida Howard, I., Ohrvik-Stott, J. ym., *Study on clean energy R&I opportunities to ensure European energy security by targeting challenges of distinct energy value chains for 2030 and beyond*, 2024.

²²⁹ CETO, *Hydropower and Pumped Storage Hydropower in the European Union*, 2024.

²³⁰ IEA, *Hydropower Special Market Report Analysis and forecast to 2030*, 2021.

hankkeille on edelleen suuri haaste. EU:n vesivoima-alan valmistusteollisuuden lisähaasteena on alan osaamisen ylläpitäminen.

EU:n on säilytettävä maailmanlaajuinen johtoasema vesivoiman alalla investoimalla enemmän tutkimukseen ja innovointiin kuin sen maailmanlaajuiset kilpailijat ja ylläpitämällä sisämarkkinoitaan uusilla investoinneilla. Käyttämätöntä potentiaalia on erityisesti pumppuvesivoiman laajentamisessa verkon joustavuuden lisäämiseksi muun muassa suorittamalla jälkiasennuksia nykyisissä vesivoimalaitoksissa.

3.14. Kestävät vaihtoehtoiset polttoaineet

Nettonollateollisuussäädöksen määritelmän mukaan kestäville vaihtoehtoisilla polttoaineilla tarkoitetaan kestäviä ja vähähiilisiä polttoaineita, joiden tarkoituksena on vähentää kasvihuonekaasupäästöjä lento- ja meriliikenteessä.²³¹ EU:lla on hyvä asema näissä teknologioissa, mutta lisätoimia tarvitaan kilpailukykyisen massatuotannon kehittämiseksi unioniin. Kaiken kaikkiaan EU:lla on tällä hetkellä teknologinen etulyöntiasema tuotannossa: suurin osa maailman kaupallisista tuotantolaitoksista sijaitsee unionissa, ja EU:lla on vahva rooli uusien ja innovatiivisten teknologioiden kehittämisessä.

Vetykäsitellyt esterit ja rasvahapot (HEFA) on tällä hetkellä ainoa täysin kaupallisesti toimiva lentopolttoaineteknologia. Vaikka EU:ssa ei tällä hetkellä ole merkittävää kestävien lentopolttoaineiden tuotantoa, nykyisiä vetykäsiteltyä kasviöljyä (HVO) tuottavia laitoksia koskevilla parannuksilla ne voitaisiin saada tuottamaan noin 1,07 miljoonaa öljykvivalenttitonnia kehittyneitä HEFA-polttoaineita vuodessa. Tämä olisi yli kaksi kertaa enemmän kuin kestävien lentopolttoaineiden kokonaistuotanto maailmassa vuonna 2023²³² mutta alle puolet EU:n politiikkaan perustuvasta kysynnästä. Soveltuviin biomassaraaka-aineisiin perustuvan tuotannon ennustetaan kasvavan EU:ssa 1,5 miljoonaan öljykvivalenttitonniin vuodessa vuoteen 2030 mennessä. Meriliikenteen alalla EU tuottaa tällä hetkellä kestäviä polttoaineita 0,1 miljoonaa öljykvivalenttitonnia vuodessa jäteperäisistä raaka-aineista. Tämän määrän ennustetaan kasvavan 2,1 miljoonaan öljykvivalenttitonniin vuodessa vuoteen 2030 mennessä²³³, mikä olisi noin puolet EU:n politiikkaan perustuvasta kysynnästä. Teollisuuden ilmoittamien suunnitelmien perusteella arvioidaan, että sähköstä tuotetun kerosiinin (e-kerosiini) tuotanto on 1 129 miljoonaa öljykvivalenttitonnia vuodessa vuoteen 2030 mennessä, kun taas sähköstä tuotetun metanolin (e-metanoli) ja ammoniakkin (e-ammoniakki) tuotannoksi arvioidaan 1 464 miljoonaa öljykvivalenttitonnia vuodessa.²³⁴ Tämä on e-kerosiinin osalta noin 3 prosenttia ja e-metanolin ja e-ammoniakin osalta noin 4 prosenttia EU:n ennustetusta kysynnästä.

Maailmanlaajuisesti kestäviä lentopolttoaineita tuottaa 28 kaupallista laitosta (teknologisen kehityksen taso (TRL) 9), joista 15 sijaitsee EU:ssa (näistä 14 on HEFA-laitoksia) ja kuusi Yhdysvalloissa. EU:ssa on myös kuusi HEFAan ja kehittyneeseen teknologiaan keskittyvää

²³¹ EUVL L, 2024/1735, 28.6.2024, 3 artikla. Määritelmä perustuu ReFuelEU Aviation -asetuksen ja FuelEU Maritime -asetuksen määritelmiin. Tässä jaksossa käsitellään ainoastaan biopolttoaineita ja muuta kuin biologista alkuperää olevia uusiutuvia synteettisiä polttoaineita.

²³² IATA:n vuosikatsaus, 2024.

²³³ Euroopan komissio, tutkimuksen ja innovoinnin pääosasto, [Development of outlook for the necessary means to build industrial capacity for drop-in advanced biofuels \(liite 3\)](#), 2024.

²³⁴ Euroopan komissio, tutkimuksen ja innovoinnin pääosasto, [Development of outlook for the necessary means to build industrial capacity for drop-in advanced biofuels \(liite 4\)](#), 2024.

esikaupallista laitosta (TRL 8), kun Yhdysvalloissa niitä on neljä. Meriliikenteen tarkoituksia varten toiminnassa on vain kolme innovatiivista biometaanilaitosta (TRL 8) (joista yksi EU:ssa).²³⁵ Tämä kuvaa EU:n nykyistä kilpailukykyä tällä kehittyvällä alalla ja osoittaa, että kehittyneiden teknologioiden kaupallistamista on tarpeen vauhdittaa kilpailukyyn ylläpitämiseksi.

Teknologioiden osalta ei ole kriittisiä riippuvuuksia, koska monet teknologian kehittäjät ja laitevalmistajat sijaitsevat EU:ssa ja koska kriittisiin materiaaleihin liittyvien riippuvuuksien riski on pieni.²³⁶ Lisäksi kehittyneiden biopolttoaineteknologioiden osalta ei ole merkittäviä riippuvuuksia raaka-aineiden tuonnista. Sen sijaan muuta kuin biologista alkuperää olevien uusiutuvien polttoaineiden tuotannossa on kriittisiä riippuvuuksia katalysaattorimateriaaleja (koboltti, kromi, vanadiini ja volframi) tuottavista kolmansista maista sekä uusiutuvan sähkön, uusiutuvan vedyn (ks. vetyteknologioita koskeva 3.8 kohta) ja raaka-aineena hyödynnettävän hiilidioksidin saatavuudesta.

Tuotantokustannukset vaihtelevat teknologian mukaan, ja ne muodostavat edelleen haasteen, koska nämä teknologiat on vielä skaalattava kaupalliselle tasolle. Kehittyneistä raaka-aineista tuotettujen HEFA-polttoaineiden kustannukset ovat 15–32 euroa megawattitunnilta, ja kaasuttamalla tuotetun biometanolin kustannukset ovat 89–112 euroa megawattitunnilta.²³⁷ Muuta kuin biologista alkuperää olevien uusiutuvien polttoaineiden kustannukset riippuvat suurelta osin uusiutuvan vedyn, sähkön ja hiilidioksidin kustannuksista. Ne ovat meriliikenteessä käytettävien polttoaineiden osalta 90–180 euroa megawattitunnilta, mutta huomattavasti korkeammat e-metanolista tuotetun e-kerosiin osalta.²³⁸

Kestävien lentopolttoaineiden hinnat ovat tällä hetkellä 3–10 kertaa korkeammat kuin tavanomaisten polttoaineiden hinnat, mutta niiden odotetaan laskevan huomattavasti tuotantoteknologioiden käyttöönoton laajentumisen myötä. Tutkimus ja -innovointitoiminnan lisääminen voisi alentaa kustannuksia merkittävästi. Kun tähän yhdistetään demonstraatiolaitosten ja varhaisen kaupallisen vaiheen laitosten käyttöönotto pääoma- ja toimintakustannusten vähentämiseksi, tuotannon kokonaiskustannuksia olisi mahdollista alentaa 5–27 prosenttia.²³⁹ Lisäksi tie-, lento- ja meriliikenteessä käytettävien uusiutuvien polttoaineiden markkinoita ja tuotantolaitoksia voitaisiin kehittää rinnakkain synergioiden luomiseksi kaikilla liikenteen aloilla. Esimerkiksi lentopolttoaineiden tuotanto useiden kehittyneiden biopolttoainereittien avulla luo sivutuotemarkkinat kuorma-autoissa käytettävälle vihreälle dieselille ja laivoissa käytettävälle teollisuusbensinille. Sivutuotteiden taloudellisen arvon hyödyntäminen voi alentaa primaaripolttoaineen kustannuksia. Kehittyneiden biopolttoaineiden ja muuta kuin biologista alkuperää olevien uusiutuvien polttoaineiden väliset synergiat ovat ratkaisevan tärkeitä myös vihreän vedyn, biogeenisen hiilidioksidin ja niihin liittyvien teknologioiden käytön kannalta.

²³⁵ Ks. Task 39 -tietokannan tiedot [liikenteen hiilestä irtautumista edistävästä biopolttoainehankkeista](#).

²³⁶ Euroopan komissio, tutkimuksen ja innovoinnin pääosasto, [Study on energy technology dependence](#), 2020.

²³⁷ Euroopan komissio, tutkimuksen ja innovoinnin pääosasto, [Development of outlook for the necessary means to build industrial capacity for drop-in advanced biofuels \(liite 3\)](#), 2024.

²³⁸ Euroopan komissio, tutkimuksen ja innovoinnin pääosasto, [Development of outlook for the necessary means to build industrial capacity for drop-in advanced biofuels \(liite 4\)](#), 2024.

²³⁹ IEA:n bioenergiateknologiaa koskeva yhteistyöohjelma, [Advanced Biofuels - Potential for Cost Reduction](#), 2020.

3.15. Teollisuuden ylijäämälämmön talteenottoteknologiat

Teollisuusprosesseissa syntyvän ylijäämälämmön talteenottoteknologia ovat ratkaisevan tärkeitä teollisuuden energiatehokkuuden lisäämiseksi.²⁴⁰ Käytössä on useita tekniikoita. Yleensä lämpö otetaan ensin talteen (esimerkiksi pakokaasuista) lämmönvaihtimien avulla, minkä jälkeen se voidaan siirtää paikallisesti toiseen prosessiin (esimerkiksi raaka-aineiden esilämmitysprosessiin) joko suoraan tai nesteen välityksellä tai se voidaan syöttää kaukolämpöverkkoon. Talteen otettu lämpö voidaan myös ”jalostaa” (esimerkiksi lämpöpumppujen avulla, ks. 3.6 kohta), jotta sitä voidaan käyttää korkeammassa lämpötilassa tai jäädytystä varten. Vaihtoehtoisesti se voidaan myös muuntaa mekaaniseksi tai sähköenergiaksi.

Tässä jaksossa keskitytään lämmön talteenottoon ja muuntamiseen sähköenergiaksi Rankine-prosessin avulla. Kyseisessä prosessissa käytetään lämpöä muuntamaan neste turbiinissa tai sähkögeneraattorissa käytettäväksi höyryksi. Sekä orgaaninen (ORC-prosessi) että perinteinen (SRC) Rankine-prosessi ovat kaupallisesti saatavilla, ja ORC-teknologiaa kehitetään edelleen tutkimus- ja innovointitoimilla. Ylikriittiseen hiilidioksidiin (sCO₂) perustuva kierto voi olla tehokkaampi ja kompaktimpi ratkaisu, mutta se ei ole vielä kypsä teknologia.

EU:ssa teollisuuden ylijäämälämmön teoreettiseksi tuotantopotentiaaliksi on arvioitu 920 terawattituntia vuodessa, mikä vastaa 279 terawattitunnin Carnot-potentiaalia.²⁴¹ Lisäksi on arvioitu, että unionin teollisuusprosesseista peräisin olevasta ylijäämäenergiasta voitaisiin tuottaa ORC-voimaloissa vuosittain 150 terawattituntia sähköä.²⁴²

Maailmanlaajuisten ORC-markkinoiden arvoksi arvioitiin 750 miljoonaa euroa vuonna 2023, ja markkinoiden ennustetaan kasvavan.²⁴³ ORC-teknologiaa sovelletaan pääasiassa geotermiseen energiaan (77 %), teollisuuden ylijäämälämmön talteenottoon (11 %) ja biomassaan (10 %).²⁴⁴ ORC- ja SRC-järjestelmien pääkomponentteja ovat lämmönvaihtimet, lauhduttimet, syöttöpumput ja turbiini-generaattori-yhdistelmät. Käytetyt materiaalit ovat teräs, alumiini ja (orgaaniset) nesteet, generaattorin kupari ja magneetit sekä muut ohjauselektronikan komponentit.

Euroopassa on suuri määrä ORC-järjestelmien valmistajia ja paljon alaan liittyvää innovointitoimintaa. Yksi yhdysvaltalaisyritys ja kaksi EU:n yritystä ovat vallanneet suurimman osuuden maailmanlaajuisista ORC-markkinoista (78 prosenttia vuosina 2016–2020).²⁴⁵ Euroopalla on johtoasema ORC-teknologiaa koskevassa T&K-toiminnassa²⁴⁶, mutta kiinnostus aihetta kohtaan on lisääntynyt maailmanlaajuisesti: ORC:tä käsittelevien tieteellisten julkaisujen määrä on yli kaksinkertaistunut vuosiin 2014–2018 verrattuna, ja vuosina 2019–2023 julkaistiin 3 329 tutkimusta. Tästä määrästä 523 tutkimusta julkaistiin

²⁴⁰ Vaikka kirjallisuudessa on perinteisesti viitattu teollisuuden ”hukkalämmön” talteenottoon, nykyään käytetään mieluummin termiä ’ylijäämälämpö’, koska kun lämpö otetaan talteen, se ei mene hukkaan.

²⁴¹ Bianchi, G., Panayiotou, G.P., Aresti, L. ym., *Estimating the waste heat recovery in the European Union Industry*. Energy, Ecology and Environment, 2019.

²⁴² KCORC, *Thermal Energy Harvesting*, 2025.

²⁴³ Grand View Research, *Organic Rankine Cycle Market Size & Trends*, 2024. Vuoden 2024 keskimääräisen vaihtokurssin mukaan (0,9239 euroa = 1 Yhdysvaltojen dollari), lähde: [EKP](#).

²⁴⁴ Wieland, C., Schiffelechner, C., Dawo, F., Astolfi, M., *The organic Rankine cycle power systems market: Recent developments and future perspectives*, Applied Thermal Engineering, 2023.

²⁴⁵ Ks. edellinen alaviite.

²⁴⁶ KCORC, *Thermal Energy Harvesting*, 2025.

EU:ssa, joka sijoittui toiseksi Kiinan (860) jälkeen ja ennen Irania (368), Yhdistynyttä kuningaskuntaa (176) ja Yhdysvaltoja (165).²⁴⁷

Rankine-prosessin ja muiden lämmön talteenottoteknologioiden käyttöönoton tiellä on edelleen tiettyjä esteitä, jotka haittaavat alan jatkokehitystä. Lämmön talteenoton alkua- ja ylläpitovaiheen kustannukset sekä tuotetun sähkön hinta voivat vaihdella, mikä johtaa erilaisiin takaisinmaksuaikoihin²⁴⁸. Lisäksi lämmön saatavuus tulevaisuudessa voi olla epävarmaa, koska teollisuuden prosesseissa voi tapahtua muutoksia (esimerkiksi sähköistymisen vuoksi).

Prosessi- ja laitoskohtaiset ominaispiirteet lisäävät lämmön talteenottojärjestelmien suunnittelun ja asentamisen vaatimaa työmäärää. Ylijäämälämmön talteenoton käyttöönotto ja toimitusketju hyötyisivät standardoiduista komponenteista, jotka on suunniteltu täyttämään useimpien tietyllä teollisuuden alasektorilla toimivien laitosten tarpeet. EU:n tasolla tiedonvaihdon jatkaminen teknologian tuottajien ja loppukäyttäjien välillä, mahdollisesti strategisen energiateknologiasuunnitelman puitteissa, voisi auttaa vauhdittamaan käyttöönottoa ja vahvistamaan EU:n kilpailukykyä.

4. PÄÄTELMÄT

Nettonollateknologiat tarjoavat EU:lle merkittäviä taloudellisia mahdollisuuksia, ja ne ovat myös olennaisen tärkeitä energiasiirtymän kannalta. Keskeisten puhtaiden energiateknologioiden maailmanmarkkinat saattavat lähes kolminkertaistua noin 1,9 biljoonaan euroon vuoteen 2035 mennessä.²⁴⁹ Unionin teollisuudella voi olla keskeinen rooli näiden teknologioiden tuottamisessa unionin vahvan teollisen perustan ja tutkimus- ja innovointitoiminnan ansiosta. Mikään muu teknologia-ala, jolla EU:lla on yhtä hyvät mahdollisuudet, ei välttämättä kykene yhtä nopeaan kasvuun.

EU on edelleen yksi suurimmista nettonollateknologioiden markkinoista maailmassa. EU:n uusiutuvat energialähteet ovat kustannuksiltaan erittäin kilpailukykyisiä, ja niiden osuus unionissa vuonna 2024 tuotetusta sähköstä oli 48 prosenttia. Samaan aikaan energian hinnat ovat EU:ssa edelleen huomattavasti korkeammat kuin monissa muissa suurissa talouksissa, erityisesti Yhdysvalloissa ja Kiinassa. Tämä on rakenteellinen haitta paitsi unionin teollisuudelle ja erityisesti energiavaltaiselle teollisuudelle myös monien EU:n nettonollateknologiavalmistajien kilpailukyvyille. Nettonollateknologioista tulee entistäkin tärkeämpiä, kun EU jatkaa energiasiirtymän edistämistä, lisää sähköistämistä ja vähentää riippuvuuttaan fossiilisista polttoaineista. Unionin valmistajien kilpailukyky ratkaisee, toteutetaanko tämä siirtymä olennaisin osin sisäisesti tuotettujen ratkaisujen vai tuontiratkaisujen pohjalta. Kyse ei ole ainoastaan toimitusvarmuudesta vaan myös vauraudesta ja työllisyydestä.

EU:lla on edelleen hyvä asema puhtaiden energiateknologioiden tutkimuksessa, mutta se on yhä jäljessä yksityisissä T&I-investoinneissa. Horisontti Eurooppa -puiteohjelmasta tuetaan edelleen puhtaita energiateknologioita ja niiden kilpailukykyä koskevaa tutkimusta ja innovointia, kuten toimia, joilla pyritään lisäämään yksityisiä investointeja eurooppalaisten kumppanuuksien kautta. Samaan aikaan yksityisiin T&I-investointeihin ja yritystoimintaan

²⁴⁷ Tiedot haettiin Elsevierin Scopus-tietokannasta 31. tammikuuta 2025 haulla ”Organic AND Rankine AND Cycle AND Power”.

²⁴⁸ CE-Delft, ”[ORC Plants for Thermal Energy Harvesting](#)”, 2023.

²⁴⁹ IEA, *Energy Technology Perspectives*, 2024. Aurinkosähkön, tuulivoiman, sähköajoneuvojen, akkujen, elektrolyysilaitteiden ja lämpöpumppujen maailmanmarkkinoita koskevat arviot. Raportissa viitataan 2 biljoonaan Yhdysvaltain dollariin. Tämä arvo muunnettiin euroiksi vuoden 2024 lopussa.

laajentamiseen liittyvät pitkään tiedossa olleet haasteet jarruttavat unionin edistymistä edelleen. Vuonna 2023 EU suoriutui hieman paremmin riskipääoman houkuttelussa puhtaan energiateknologian alalle, mutta tämä perustui vain muutamaankin merkittävään rahoitus sopimukseen. Tämä on keskeinen tekijä, joka selittää vuoden 2024 alustavien tietojen osoittamaa riskipääoman määrän laskua alalla. Se korostaa myös tarvetta jatkaa EU:n toimia saada liikkeelle yksityistä rahoitusta, jotta yritykset voivat laajentaa toimintaansa.

Kustannuskilpailun lisääntyessä EU:n kilpailukyky ja tuotanto ovat vaarassa heikentyä entisestään. Kiina hallitsee jo aurinkosähkö- ja akkualan maailmanlaajuisia tuotantoa, ja sen odotetaan tulevina vuosina lisäävän merkittävästi valmistuskapasiteettiaan uusien puhtaiden energiateknologioiden alalla. EU:n kehittyvän akkuteollisuuden ongelmat lisätä tuotantoa osoittavat, millaisia valtavia haasteita liittyy sellaisten teknologioiden laajamittaisen valmistuskapasiteetin kehittämiseen, joiden tuotannon painopiste ja valmistusosaaminen ovat siirtyneet Euroopan ulkopuolelle huomattavista julkisista ja yksityisistä investoinneista huolimatta. Tulevina vuosina selviää, voiko unionin nykyinen aurinkoenergia- ja akkualan T&I-asiantuntemus auttaa elvyttämään näitä aloja EU:ssa esimerkiksi tutkimalla vähemmän kriittisiä raaka-aineita vaativia ratkaisuja.

EU:lla on edelleen vahva asema useiden nettonollateknologioiden, kuten tuulienergian ja lämpöpumppujen, valmistuksessa. Molempien teknologioiden merkitys kasvaa edelleen maailmanlaajuisesti, ja arvioiden mukaan valmistuskapasiteetti saattaa olla riittämätön odotettuun maailmanlaajuiseen kysyntään verrattuna. Vaikka unionin tuulivoimateollisuudella on edelleen hyvä asema, kiinalaisia kilpailijoita on alkanut tulla maailmanmarkkinoille, ja EU:n yritykset ovat jo menettäneet markkinaosuuksia viime vuosina. Lämpöpumppuratkaisuilla on tulevaisuudessa keskeinen rooli sekä kotitalouksien että teollisuuden lämmitystarpeisiin vastaamisessa. EU:n asema on edelleen vahva, mutta ala tarvitsee uutta vauhtia. Näille strategisille teollisuudenaloille tarvitaan lisätukea unionin arvoketjujen vahvistamiseksi.

On muitakin vakiintuneita teknologioita, joissa unionin teollisuudenalat ovat kilpailukykyisiä ja voivat edelleen kasvaa. EU:ssa on esimerkiksi kehittynyt biokaasu- ja biometaaniteollisuus. Unioniin sijoittautuneilla yrityksillä on myös vahva asema sähköverkon komponenttien tuotannossa, ja näiden komponenttien kysyntä kasvaa maailmanlaajuisesti sähköistymisen lisääntyessä. Alaan kohdistuu kuitenkin todennäköisesti voimakkaampaa kilpailua tulevaisuudessa. Kuten monien muiden nettonollateknologioiden tapauksessa, verkkokomponenttien valmistus on vahvasti riippuvainen tietyistä materiaaleista, kuten kuparista ja erikoisteräksestä. EU:n teollisuudella on myös pitkät perinteet vesivoiman alalla, mutta se on menettänyt osuutensa maailmanmarkkinoista viime vuosina. Vesivoima-alalla on hyödyntämättömiä mahdollisuuksia myös unionin sisällä. Pumppuvesivoiman laajentaminen, muun muassa suorittamalla jälkiasennuksia nykyisissä laitoksissa, voisi auttaa lisäämään verkon joustavuutta.

Lisäksi kehitteillä on useita teknologioita, jotka tarvitsevat lisätukea kaupallisten mahdollisuuksien demonstroimiseksi. Tämä koskee esimerkiksi valtamerienergiateknologioita, pieniä modulaarisia reaktoreita, kestäviä vaihtoehtoisia polttoaineita sekä hiilidioksidin talteenottoa ja varastointia. Nämä teknologiat edellyttävät kohdennettua tukea, jotta niiden kaupallista kannattavuutta voidaan parantaa ja jotta niitä voidaan ottaa käyttöön laajemmassa mittakaavassa.

Innovoinnilla on keskeinen rooli EU:n kilpailukyvyn parantamisessa: se tuottaa markkinoille uusia teknologioita ja auttaa parantamaan olemassa olevia ratkaisuja. Tutkimusta ja innovointia tarvitaan myös tehokkuuden lisäämiseksi, ja se voi vähentää

riippuvuutta kriittisistä raaka-aineista, kuten litiumista akkuteknologiassa. Myös kiertotalouden ja kestävyuden edistämiseksi tarvitaan lisätoimia, jotta esimerkiksi PFAS-kemikaalien käyttö elektrolyysilaitteissa voidaan lopettaa. Investoinnit nettonollateknologioihin kasvavat maailmanlaajuisesti, ja EU:n on lisättävä toimiaan, jotta se voi pysyä T&I-kehityksessä mukana. Tämä on huomioitu äskettäisen kilpailukykykompassin painopisteessä, jossa keskitytään innovaatiokuilun umpeen kuromiseen. Hiljattain vahvistetulla strategisella energiateknologiasuunnitelmalla on keskeinen rooli tutkimuksen painopisteiden koordinoinnissa ja yhdenmukaistamisessa, koska se kokoaa yhteen julkisia ja yksityisiä sidosryhmiä ja lisää jäsenvaltioiden T&I-menojen tehokkuutta muun muassa puhtaaseen energiaan siirtymistä koskevan kumppanuuden (CETP)²⁵⁰ avulla.

Jotta EU voi saada parhaan mahdollisen taloudellisen hyödyn maailmanlaajuisesta energiasiirtymästä, unionin valmistuskapasiteettia on lisättävä. Arvoketjuihin perustuva lähestymistapa on edelleen ratkaisevan tärkeä, koska siinä otetaan huomioon koko ketju raaka-aineista ja energiavaltaisesta materiaalityöstöstä valmistukseen ja lopulliseen asennukseen saakka. Osaamisvaje pysyy myös tulevina vuosina merkittävänä haasteena, joka on korjattava, jotta ala voi menestyä.

Nettonollateollisuussäädöksen täytäntöönpano voi olla keskeisessä asemassa koordinoitun tuen tarjoamisessa EU:n nettonollateknologian valmistusalalle. Tämä edellyttää kaikkien säädöksen tarjoamien välineiden hyödyntämistä, mukaan lukien lupamenettelyt ja muiden kuin hintaan perustuvien perusteiden käyttö julkisissa hankintamenettelyissä ja huutokaupoissa. Euroopan nettonollafoorumilla on tärkeä rooli EU:n politiikan koordinoinnissa ja teollisuuden kanssa tehtävässä yhteistyössä. Nettonollateollisuussäädöksen voimaantulon myötä tämä kilpailukykyyn edistymistä koskeva kertomus on nyt säädöksen tärkein seurantaväline. Tulevina vuosina kertomuksessa seurataan edelleen tiiviisti EU:n kilpailukykyyn kehitystä nettonollateknologioiden alalla, mutta siinä tarkastellaan myös nettonollateollisuussäädöksen täytäntöönpanoon liittyviä kysymyksiä.

Kilpailukykykompassin, puhtaan teollisen kehityksen ohjelman ja kohtuuhintaista energiaa koskevan toimintasuunnitelman myötä komissio on asettanut EU:n kilpailukykyyn vahvistamisen tulevien vuosien suunnitelmiansa keskiöön. Näissä kolmessa asiakirjassa hahmotellaan keskeisiä toimia, jotka perustuvat nettonollateknologia-alan tuloksiin ja vahvistavat alaa. Niihin kuuluvat muun muassa Euroopan teollisuuden vähähiilistämiseen ja kilpailukykyyn tähtäävä yhteinen etenemissuunnitelma, josta säädetään puhtaan teollisen kehityksen ohjelmassa, sekä kohtuuhintaista energiaa koskevassa toimintasuunnitelmassa suunnitellut toimet, joiden tarkoituksena on parantaa kohtuuhintaisen energian saatavuutta.

Tätä taustaa vasten komissio jatkaa nettonollateknologioiden tukemista paitsi tärkeänä teollisuuden alana myös teknologioina, jotka mahdollistavat laajemman talouden hiilestä irtautumisen. Tämä edellyttää jatkuvia koordinoituja toimia sekä EU:n että kansallisella tasolla.

²⁵⁰ Lisätietoa: [puhtaaseen energiaan siirtymistä koskeva kumppanuus](#).