



Euroopan unionin  
neuvosto

Bryssel, 17. joulukuuta 2022  
(OR. en)

14916/22

ENER 605  
CLIMA 610  
RECH 604  
COMPET 915  
IND 483  
TRANS 719  
EMPL 435

## SAATE

---

Lähettäjä:	Euroopan komission pääsihteeri, allekirjoittajana johtaja Martine DEPREZ
Saapunut:	15. joulukuuta 2022
Vastaanottaja:	Thérèse BLANCHET, Euroopan unionin neuvoston pääsihteeri
Kom:n asiak. nro:	COM(2022) 643 final
Asia:	KOMISSION KERTOMUS EUROOPAN PARLAMENTILLE JA NEUVOSTOLLE puhtaan energian teknologioiden kilpailukyvyn edistymisestä

---

Valtuuskunnille toimitetaan oheisena asiakirja COM(2022) 643 final.

---

Liite: COM(2022) 643 final



Bryssel 15.11.2022  
COM(2022) 643 final

**KOMISSION KERTOMUS EUROOPAN PARLAMENTILLE JA NEUVOSTOLLE**

**puhtaan energian teknologioiden kilpailukyvyn edistymisestä**

## Sisällysluettelo

1.	Johdanto .....	1
2.	EU:n puhtaan energian alan yleinen kilpailukyky .....	3
<b>2.1</b>	<b>Taustaa: viimeaikainen kehitys</b>	3
2.1.1	<i>Energian hinnat ja kustannukset: viimeaikainen kehitys</i>	3
2.1.1	<i>Maailmanlaajuiset resurssien ja materiaalien toimitusketjut: haavoittuvuudet ja häiriöt</i>	6
2.1.2	<i>Covid-19-pandemian vaikutukset ja elpyminen</i>	8
2.1.3	<i>Inhimillistä pääomaa ja osaamista</i>	10
<b>2.2</b>	<b>Tutkimuksen ja innovoinnin suuntaukset</b>	13
<b>2.3</b>	<b>Puhtaan energian maailmanlaajuinen kilpailuympäristö</b>	16
<b>2.4</b>	<b>Innovoinnin rahoitusympäristö EU:ssa</b>	19
<b>2.5</b>	<b>Systemisen muutoksen vaikutukset</b>	22
3.	Tärkeimmät puhtaan energian teknologiat ja ratkaisut .....	23
<b>3.1.</b>	<b>Aurinkosähkö</b>	24
<b>3.2.</b>	<b>Merituulivoima ja maatuulivoima</b>	26
<b>3.3.</b>	<b>Lämpöpumput rakennussovelluksiin</b>	28
<b>3.4.</b>	<b>Akut</b>	30
<b>3.5.</b>	<b>Uusiutuvan vedyn tuotanto veden elektrolyysillä</b>	32
<b>3.6.</b>	<b>Uusiutuvat polttoaineet</b>	34
<b>3.7.</b>	<b>Energianhallinnan älykkäät teknologiat</b>	37
<b>3.8.</b>	<b>Muita puhtaita energiateknologioita koskevat keskeiset havainnot</b>	40
4.	Päätelmät.....	43
	LIITE I: Menetelmäkehys EU:n kilpailukyvyn arvioimiseksi.....	46

## 1. JOHDANTO

Venäjän provosoimaton ja perusteeton hyökkäys Ukrainaan on häirinnyt valtavasti maailman energiajärjestelmää. Se on osoittanut EU:n liiallisen riippuvuuden Venäjän fossiilista polttoaineista ja korostanut tarvetta vahvistaa EU:n energiajärjestelmän häiriönsietokykyä, jolle covid-19-kriisi oli jo asettanut omat haasteensa.<sup>1</sup> Ennätyksellisen korkeat energian hinnat ja saatavuusongelmien riski kaikkialla EU:ssa ovat lisänneet entisestään tarvetta kiihdyttää Euroopan vihreän kehityksen ohjelman<sup>2</sup> mukaista vihreää ja digitaalista siirtymää ja varmistaa varmempi, edullisempi, kestävämpi ja riippumattomampi energiajärjestelmä.

Vuotta 2022 leimaa REPowerEU-suunnitelma<sup>3</sup>, joka on ratkaiseva osa EU:n poliittisia toimia ennennäkemättömään kriisiin vastaamiseksi. Se on etenemissuunnitelma, jonka avulla EU:n riippuvuus Venäjän energiantuonnista voidaan lopettaa asteittain mahdollisimman pian energiansäästöä, energiansaannin monipuolistamista ja uusiutuvien energialähteiden käyttöönoton nopeuttamista koskevilla toimenpiteillä.

Lisäksi komissio on esittänyt tiedonannon *Kaasua säästöön talven varalle*<sup>4</sup> yhteydessä suunnitelman vähentää kaasun käyttöä EU:ssa 15 prosenttia ensi kevääseen mennessä. Neuvosto on antanut kaksi asetusta kaasun varastoinnista ja koordinoituista kysynnän vähentämistoimenpiteistä.<sup>5</sup> Neuvosto hyväksyi syyskuussa 2022 komission ehdotuksen asetukseksi korkeisiin energianhintoihin liittyvistä hätätoimenpiteistä<sup>6</sup>, jotta voidaan lieventää energian hintojen vaikutusta EU:n kuluttajiin ja samalla puuttua ennennäkemättömään epävakautteen ja epävarmuuteen EU:n ja maailman energiamarkkinoilla. Toimenpiteisiin sisältyy erityisesti sähkönkulutuksen vähentäminen, inframarginaalisilla teknologioilla tuotetulle sähkölle asetettu tulojen yläraja sekä fossiilisten polttoaineiden parissa toimivien yritysten pakollinen väliaikainen solidaarisuusmaksu.

REPowerEU:n tavoitteiden saavuttaminen edellyttää 210 miljardin euron kumulatiivisia lisäinvestointeja vuoteen 2027 mennessä niiden investointien lisäksi, joita jo tarvitaan ilmaston neutraaliuden saavuttamiseksi vuoteen 2050 mennessä.<sup>7</sup> Investoinneilla tuetaan puhtaiden energiateknologioiden (esim. aurinkosähkö, tuulivoima, lämpöpumput, energiansäästöteknologiat, biometaani ja uusiutuva vety) käyttöönoton huomattavaa lisäämistä ja nopeuttamista, mikä on ratkaisevan tärkeää sekä energiaan että ilmastoon liittyvien kiireellisten haasteiden kannalta. Tähän liittyvien teknologisten ja muiden haasteiden voittaminen edellyttää myös vahvaa ja kilpailukykyistä EU:n puhtaan energian sektoria.

---

<sup>1</sup> Komission kertomus Euroopan parlamentille ja neuvostolle puhtaan energian teknologioiden kilpailukyyn edistymisestä (COM(2021) 952 final ja SWD(2021) 307 final).

<sup>2</sup> *Euroopan vihreän kehityksen ohjelma* (COM(2019) 640 final).

<sup>3</sup> *REPowerEU-suunnitelma* (COM(2022) 230 final).

<sup>4</sup> *Kaasua säästöön talven varalle* (COM(2022) 360 final).

<sup>5</sup> EUVL L 173, 30.6.2022. Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EU) 2022/1032, annettu 29 päivänä kesäkuuta 2022, asetusten (EU) 2017/1938 ja (EY) N:o 715/2009 muuttamisesta kaasun varastoinnin osalta; EUVL L 206, 8.8.2022. Neuvoston asetus (EU) 2022/1369, annettu 5 päivänä elokuuta 2022, koordinoituista kaasun kysynnän vähentämistoimenpiteistä.

<sup>6</sup> Ehdotus neuvoston asetukseksi korkeisiin energianhintoihin liittyvistä hätätoimenpiteistä (COM(2022) 473 final).

<sup>7</sup> Direktiivin (EU) 2018/2001, asetuksen (EU) 2018/1999 ja direktiivin 98/70/EY muuttaminen uusiutuvista lähteistä peräisin olevan energian käytön edistämiseksi (COM(2021) 557 final).

REPowerEU-suunnitelmassa vahvistettiin sitoumus saavuttaa Euroopan vihreän kehityksen ohjelman pitkän aikavälin tavoite tehdä EU:sta ilmastoneutraali vuoteen 2050 mennessä ja panna kokonaisuudessaan täytäntöön heinäkuussa 2021 esitelty 55-valmiuspaketti<sup>8</sup>. Euroopan vihreän kehityksen ohjelman tavoitteiden saavuttaminen edellyttää, että EU kehittää, toteuttaa ja laajentaa innovatiivisia energiatehokkuutta ja uusiutuvia energialähteitä koskevia ratkaisuja. Puolet vuoteen 2050 mennessä odotettavissa olevista kasvihuonekaasupäästöjen vähennyksistä edellyttävät teknologioita, jotka eivät ole vielä markkinakelpoisia<sup>9</sup>, joten tutkimus- ja innovointitoimet (T&I) ovat ratkaiseva tekijä EU:n teknologisen itsenäisyyden ja maailmanlaajuisen kilpailukyvyn lisäämisessä.

Tässä kolmannessa kilpailukyvyn edistymistä käsittelevässä vuosikertomuksessa<sup>10</sup> esitetään tässä yhteydessä ja aiempien kertomusten mukaisesti puhtaan ja vähähiilisen energian eri teknologioiden ja ratkaisujen nykytilanne ja ennuste.<sup>11</sup> Siinä kartoitetaan myös EU:n puhtaan energian järjestelmän tutkimukseen, innovointiin ja kilpailukykyyn liittyviä näkökohtia kokonaisuutena<sup>12</sup>.

Vuoden 2021 kertomus oli tärkeässä asemassa covid-19:n jälkeistä talouden elpymistä arvioitaessa, koska siinä korostettiin, miten kilpailukyvyn parantaminen voi lieventää pandemian taloudellisia ja sosiaalisia vaikutuksia lyhyellä ja keskipitkällä aikavälillä.

Tämän vuoden kertomuksessa on otettava huomioon EU:n vaatimus puhtaiden energiateknologioiden laajemmasta käyttöönnotosta sekä energiakriisin vaikutukset alaan. Tätä taustaa vasten kertomuksessa hyödynnetään saatavilla olevia tietoja, jotta saadaan käsitys tavoista vahvistaa EU:n kilpailukykyä strategisissa energia-alan arvoketjuissa ja samalla lisätä EU:n puhtaiden energiateknologioiden käyttöä. Geopoliittinen ja energia- ja ilmastoasioihin liittyvä kehitys on kuitenkin jatkuvaa ja nopeaa, minkä vuoksi ajantasaisimmatkaan määrälliset tiedot eivät aina pysty heijastamaan ennennäkemätöntä tilannetta asianmukaisesti. Siksi tässä kertomuksessa keskitytään vuoden 2021 loppuun mennessä saavutettuun edistykseen ja hyödynnetään siihen mennessä saatavilla olleita konsolidoituja tietoja. Tuoreempia tietoja on ilmoitettu, kun niitä on tullut saataville ja ne on todettu luotettaviksi. Niitä on kuitenkin vähän, eivätkä ne siksi vielä anna täydellistä kuvaa nykyisen energiakriisin vaikutuksista puhtaiden energiateknologioiden kilpailukykyyn. Analyysi perustuu mahdollisuuksien mukaan jo näkyviin vaikutuksiin ja vuotta 2022 koskeviin laadullisiin arviointeihin, jotta voidaan ottaa huomioon puhtaan energian alan

---

<sup>8</sup> *Valmiina 55:een: Vuoden 2030 ilmastotavoitteesta totta matkalla kohti ilmastoneutraaliutta* COM(2021) 550 final).

<sup>9</sup> Euroopan komissio, tutkimuksen ja innovoinnin pääosasto, *Research and innovation to REPower the EU*, Euroopan unionin julkaisutoimisto, Luxemburg, 2022, <https://data.europa.eu/doi/10.2777/74947>

<sup>10</sup> Komission kertomus Euroopan parlamentille ja neuvostolle puhtaan energian teknologioiden kilpailukyvyn edistymisestä (ensimmäinen kertomus: COM(2020) 953 final; toinen kertomus: COM(2021) 952 final).

<sup>11</sup> Näitä ovat muun muassa seuraavat: Aurinkosähkö, meri- ja maatuulivoima, lämpöpumput rakennussovelluksiin, akut, veden elektrolyysin avulla tuotettu uusiutuva vety, uusiutuvat polttoaineet, älykkäät energianhallintateknologiat, vesivoima, valtamerienergia, geoterminen energia, hiilidioksidin talteenotto, hyödyntäminen ja varastointi (CCUS), bioenergia, keskittävä aurinkovoima (CSP) ja keskittävä aurinkolämpö, ydinvoima.

<sup>12</sup> Puhtaan energian järjestelmä kattaa tässä kertomuksessa seuraavat kolme markkinasegmenttiä:

- 1) uusiutuva energia, mukaan lukien valmistus, asennus ja tuotanto
- 2) energiatehokkuus- ja energianhallintajärjestelmät, joihin sisältyviä teknologioita ja toimintoja ovat muun muassa älymittarit, älyverkot ja varastointi sekä rakennusten kunnostaminen ja
- 3) sähköinen liikenne, johon sisältyvät sähköajoneuvojen ja latausinfrastruktuurin kannalta olennaiset osat, kuten akut ja polttokennot.

viimeaikaiset haasteet ja niiden vaikutukset. Vaikutuksia voidaan kuitenkin arvioida kokonaisuudessaan vasta ensi vuoden edistymiskertomuksessa.

Kilpailukyky on monimutkainen ja monitahoinen käsite, jota ei voida määritellä yhdellä indikaattorilla.<sup>13</sup> Siksi tässä kertomuksessa arvioidaan EU:n puhtaan energian järjestelmän kilpailukykyä kokonaisuutena (2 jakso) sekä puhtaiden energiateknologioiden ja -ratkaisujen kilpailukykyä (3 jakso) analysoimalla määritellyjä indikaattoreita (liite I). Komission puhtaan energiateknologian seurantakeskus (*Clean Energy Technology Observatory*, CETO) tulee tästä vuodesta alkaen tekemään perusteellisen näyttöön perustuvan analyysin, johon tämä kertomus pohjautuu.<sup>14</sup>

Tämä kertomus julkaistaan energiaunionin ja ilmastotoimien hallinnosta annetun asetuksen<sup>15</sup> 35 artiklan 1 kohdan m alakohdan mukaisesti, ja se liitetään energiaunionin tilaa koskevaan katsaukseen<sup>16</sup>.

## 2. EU:N PUHTAAN ENERGIAN ALAN YLEINEN KILPAILUKYKY

### 2.1 Taustaa: viimeaikainen kehitys

#### 2.1.1 Energian hinnat ja kustannukset: viimeaikainen kehitys

Kuten aiemmissa kilpailukykyä koskevissa edistymiskertomuksissa todetaan, teollisuuden sähkön ja kaasun hinnat ovat viime vuosikymmenen aikana olleet EU:ssa korkeammat kuin useimmissa EU:n ulkopuolisissa G20-maissa. Venäjän provosoimaton ja perusteeton hyökkäys Ukrainaan on nostanut EU:ssa ja monilla muilla alueilla entisestään hintoja, jotka olivat ennätyskellisen korkeita jo vuonna 2021. Kaasun tukkuhinnat olivat Euroopassa vuoden 2022 ensimmäisellä neljänneksellä viisi kertaa niin korkeat kuin vuotta aiemmin, ja elokuussa 2022 hinnat olivat historiallisen korkealla tasolla ennen kuin niiden nousu taittui. Koska kaasuvoimalaitokset usein määräävät hinnat Euroopan markkinoilla, sähkön tukkuhintojen kehitys on seurannut kaasun hintoja.<sup>17</sup> Ne ovat vaikuttaneet myös joidenkin alojen, erityisesti energiavaltaiten teollisuudenalojen, valmistuskustannuksiin. Myös hyödykkeiden hinta on noussut. Viidennessä energian hintoja ja kustannuksia koskevassa kertomuksessa<sup>18</sup>, joka on määrä hyväksyä vuoden 2022 lopussa, esitetään ajantasaiset määrälliset tiedot ja analyysi.

EU ja sen jäsenvaltiot ovat vuodesta 2021 alkaen toteuttaneet jo useita toimenpiteitä lieventääkseen korkeiden energian hintojen vaikutuksia.<sup>19</sup> Neuvosto hyväksyi syyskuussa 2022 komission ehdotuksen asetukseksi korkeisiin energianhintoihin liittyvistä hätätoimenpiteistä. Ehdotukseen sisältyy välineitä, joilla voidaan vähentää kaasun käyttöä

<sup>13</sup> Kilpailukykyneuvoston 28.7.2020 antamien päätelmien pohjalta.

<sup>14</sup> [https://setis.ec.europa.eu/publications/clean-energy-technology-observatory-ceto\\_en](https://setis.ec.europa.eu/publications/clean-energy-technology-observatory-ceto_en)

<sup>15</sup> EUVL L 328, 21.12.2018. Euroopan parlamentin ja neuvoston asetukset (EU) 2018/1999, annettu 11 päivänä joulukuuta 2018, energiaunionin ja ilmastotoimien hallinnosta.

<sup>16</sup> Energiaunionin tila 2022 (COM(2022) 547 final).

<sup>17</sup> Euroopan komissio, energian pääosasto, energiamarkkinoiden seurantakeskus, *Quarterly Report on European gas markets*, osa 15.

<sup>18</sup> Edellinen kertomus vuodelta 2020: Energian hinnat ja kustannukset Euroopassa (COM(2020) 951 final).

<sup>19</sup> Toimenpiteitä ovat muun muassa komission tiedonanto *Miten vastata energian hintojen nousuun: toiminta- ja tukivälineistö* (COM(2021) 660 final) ja tiedonanto *Toimitusvarmuus ja kohtuulliset energian hinnat* (COM(2022) 138 final).

sähköntuotantoon noin 4 prosentilla talven aikana ja näin vähentää hintapaineita, sekä ehdotus kerätä jäsenvaltioille yli 140 miljardia euroa, jotta ne voivat lieventää korkeiden energianhintojen vaikutusta kuluttajiin.<sup>20</sup>

Vaikka tällä suuntauksella on edelleen erilaisia vaikutuksia puhtaiden energiateknologioiden arvoketjuun, se voi olla merkki niiden kilpailukyvyn parantumisesta erityisesti verrattuna uusiutumattomiin vaihtoehtoihin.<sup>21</sup> Esimerkiksi aurinkosähkö on jo nyt edullisin tuotantolähde yhä useammassa maassa. Veden elektrolyysillä tuotettavan uusiutuvan vedyn tuotannossa sähkön hinta on kuitenkin yksi tärkeimmistä tekijöistä, jotka vaikuttavat elektrolyysilaitteiden taloudelliseen elinkelpoisuuteen.

Kaavio 1 antaa lisätietoa puhtaiden energiateknologioiden kustannuksista. Siinä esitetään katsaus energian tasoitettuja kokonaistuotantokustannuksia (LCOE) koskeviin vuoden 2021 laskelmiin erilaisten edustavien olosuhteiden<sup>22</sup> osalta eri puolilla EU:ta. Tulokset osoittavat, että teknologiatyypit, joiden muuttuvat kustannukset (mukaan luettuina muuttuvat toimintakustannukset ja polttoainekustannukset) ovat alhaiset, ovat olleet kustannuksiltaan erittäin kilpailukykyisiä vuonna 2021. Tämä havainto koskee vahvimmin aurinko- ja tuulivoimalla tuotettua sähköä, jonka LCOE on 40–60 euroa megawattituntia kohti. Lisäksi kombivoimalaitokset (CCGT) näyttävät olleen vuonna 2021 keskimäärin kilpailukykyisempiä kuin kivihiileen perustuva sähköntuotanto. Kombivoimalaitokset hyötyivät suosituimmuuskohtelusta vuoden 2021 kolmen ensimmäisen neljänneksen aikana, ja polttoaineen vaihtamisesta tuli tärkeää vasta vuoden 2021 neljännellä neljänneksellä. Tämä mahdollisti kombivoimalaitosten huomattavasti korkeammat käyttökertoimet vuonna 2021.<sup>23</sup> Kaasun hinnannousun vuoksi kaasun vaihtaminen hiileen oli vuoden 2022 ensimmäisellä neljänneksellä edelleen kannattavaa hiilen hinnannoususta huolimatta. Kivihiilen korkea hinta vuoden 2022 toisen neljänneksen alussa alkoi kuitenkin tasoittaa tilannetta, ja jotkin jäsenvaltiot ovat viime aikoina ilmoittaneet lisäävänsä kivihiilivoimaloiden käyttöä väliaikaisesti. Tämän vuoksi kivihiilen hintojen odotetaan nousevan edelleen lähikuukausina.

---

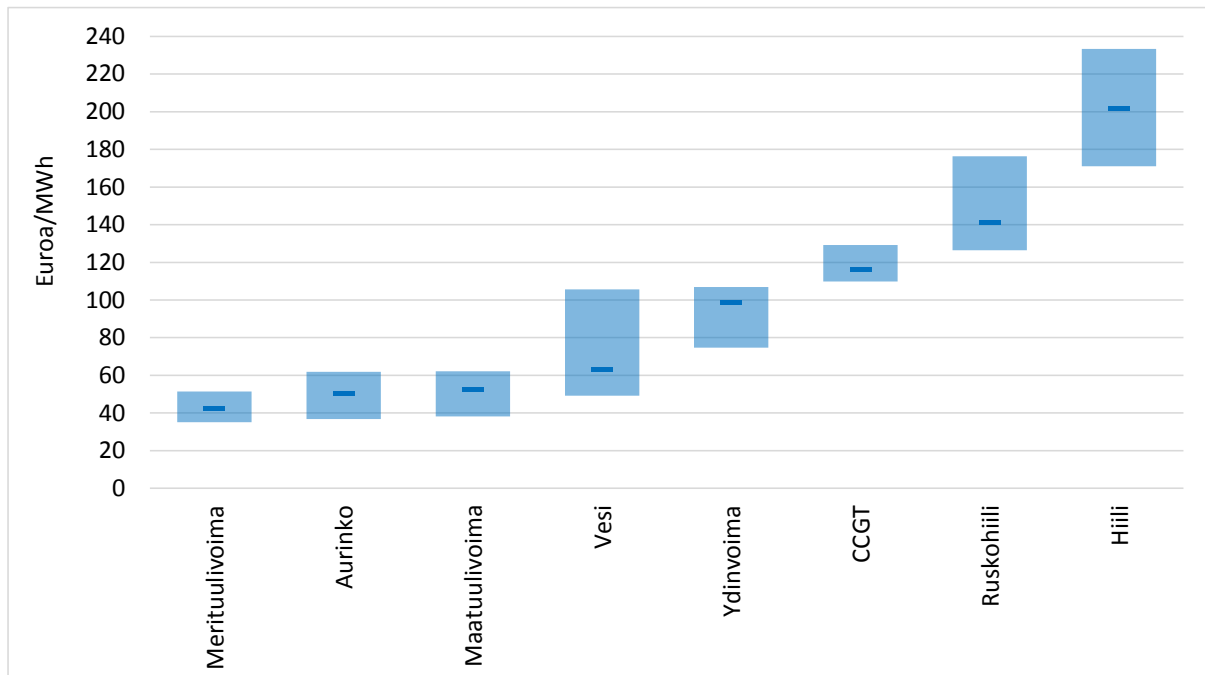
<sup>20</sup> Ehdotus neuvoston asetukseksi korkeisiin energianhintoihin liittyvistä hätätoimenpiteistä (COM(2022) 473 final).

<sup>21</sup> Kansainvälinen uusiutuvan energian virasto (IRENA), [World Energy Transitions Outlook 2022: 1,5 °C Pathway](#), Abu Dhabi.

<sup>22</sup> Tietopisteet näytetään ensimmäisestä kolmanteen kvartiiliväliin poikkeavien tekijöiden suodattamiseksi.

<sup>23</sup> Mallinnetut käyttökertoimet saattavat yliarvioida todellista polttoaineen vaihtoa ja siten jossain määrin käyttökertoimien eroja (ks. Kanellopoulos, K., De Felice, M., Busch, S. ja Koolen, D., [Simulating the electricity price hike in 2021](#) (2.1 jakso), JRC127862, EUR 30965 EN, Euroopan unionin julkaisutoimisto, Luxemburg, 2022).

Kaavio 1: Tilannekatsaus teknologialaitteistokohtaisiin energian tasoitettuihin kokonaistuotantokustannuksiin (LCOE) vuonna 2021. Vaaleansiniset viivat näyttävät vaihteluvälin EU:n 27:ssä jäsenvaltiossa. Paksut siniset viivat kuvaavat mediaania.



Lähde: Yhteisen tutkimuskeskuksen (JRC) METIS-mallisimulaatio, 2022<sup>24</sup>

Erittäin korkeat energian hinnat ovat tuottaneet suuria taloudellisia voittoja niille sähkötuottajille, joiden marginaalikustannukset ovat pienemmät (esimerkiksi tuuli- ja aurinkoenergia-alalla toimivat tuottajat). Tämän vuoksi komissio ehdotti korkeisiin energianhintoihin liittyviä hätätoimenpiteitä koskevaa asetusta<sup>25</sup>, josta päästiin poliittiseen yhteisymmärrykseen 30. syyskuuta pidetyssä energianeuvoston ylimääräisessä kokouksessa. Asetukseen sisältyviä toimenpiteitä ovat esimerkiksi inframarginaalisten teknologioiden tuottojen väliaikainen rajoittaminen ja uudelleenjakaminen energiankuluttajien ja koko yhteiskunnan vaikeuksien lievittämiseksi. Siihen sisältyy myös pakollinen väliaikainen solidaarisuusmaksu, jota sovelletaan öljy-, kaasu-, hiili- ja jalostamoaloilla toimivien yritysten voittoihin. Nämä voitot ovat kasvaneet merkittävästi aiempiin vuosiin verrattuna. Nykyinen energiaa ja fossiilisia polttoaineita koskeva kriisi on viimeisin muistutus siitä, että on tarpeen muuttaa ajattelutapaa tulevan vakauden varmistamiseksi.

REPowerEU-suunnitelmassa kehoitetaan lisäämään ja nopeuttamaan uusiutuvien energialähteiden käyttöä sähkötuotannossa, teollisuudessa, rakennuksissa ja liikenteessä, jotta voidaan paitsi nopeuttaa EU:n energiaomavaraisuutta ja vauhdittaa vihreää siirtymää, myös alentaa sähkön hintaa ja vähentää fossiilisten polttoaineiden tuontia ajan mittaan.<sup>26</sup> Toimenpiteisiin kuuluu uusiutuvan energian edistäminen, mikä edellyttää tähän tarkoitukseen

<sup>24</sup> JRC127862 Kanellopoulos, K., De Felice, M., Busch, S. ja Koolen, D., *Simulating the electricity price hike in 2021*, EUR 30965 EN, Euroopan unionin julkaisutoimisto, Luxemburg, 2022.

<sup>25</sup> Ehdotus neuvoston asetukseksi korkeisiin energianhintoihin liittyvistä hätätoimenpiteistä (COM(2022) 473 final).

<sup>26</sup> Ks. REPowerEU-suunnitelman 3 jakso, sivu 6 (COM(2022) 230 final).

sopivaa sähköinfrastruktuuria. REPowerEU-tavoitteiden saavuttamiseksi uusiutuvien energialähteiden käyttöönotto on yhdistettävä energiansäästö- ja energiatehokkuustoimiin.<sup>27</sup>

### *2.1.1 Maailmanlaajuiset resurssien ja materiaalien toimitusketjut: haavoittuvuudet ja häiriöt*

Sekä covid-19-pandemia että nykyinen geopoliittinen tilanne ovat yhdessä toimitusketjujen – erityisesti maakaasun toimitusten – luotettavuutta koskevien huolenaiheiden kanssa johtaneet häiriöihin joissakin maailmanlaajuisissa materiaalien ja resurssien toimitusketjuissa, mikä on vaikuttanut puhtaan energian alaan. EU on vahvasti riippuvainen kolmansista maista tulevista toimituksista, ja raaka-aineiden saatavuus edistää vihreää ja digitaalista siirtymää. Materiaalien ja resurssien maailmanlaajuisen toimitusketjujen viimeaikaiset suuntaukset ovat korostaneet tarvetta vahvistaa kiireesti EU:n häiriönsietokykyä ja energian toimitusvarmuutta materiaali- ja resurssiomavaraisuuden sekä teknologisen itsenäisyyden avulla.

Materiaalien saatavuus ja toimitusketjujen häiriönsietokyky ovat REPowerEU-tavoitteiden saavuttamisen edellytyksiä, koska puhtaan teknologian kasvava kysyntä kulkee käsi kädessä metallien ja mineraalien kaltaisten resurssien suuren kysynnän kanssa. Tuoduista raaka-aineista voimakkaasti riippuvaisia teknologioita tai niitä sisältäviä komponentteja ovat tuulivoima (kestomagneetit, harvinaiset maametallit), aurinkosähkö (hopea, germanium, gallium, indium, kadmium, piimetalli) ja akut (koboltti, litium, grafiitti, mangaani, nikkeli)<sup>28</sup>. Kansainvälinen energiajärjestö (IEA) ennustaa mineraalien maailmanlaajuisen kokonaiskysynnän kaksinkertaistuvan tai jopa nelinkertaistuvan vuoteen 2040 mennessä, mikä johtuu ilmoitetusta uusiutuvien energialähteiden käyttöönotosta<sup>29</sup>.

Raaka-aineiden hintojen nousu vaikuttaa puhtaiden energiateknologioiden kustannuksiin. Näiden teknologioiden tarvitsemien hyödykkeiden, kuten litiumin ja koboltin, hinnat yli kaksinkertaistuivat vuonna 2021, kun taas kuparin ja alumiinin hinnat nousivat noin 25–40 prosenttia.<sup>30</sup> Samana vuonna tuulivoimaloiden ja aurinkosähkömoduulien kustannukset kääntyivät kymmenen vuoden laskusuunnan jälkeen nousuun: tuulivoimaloiden kustannukset nousivat 9 prosenttia ja aurinkosähkömoduulien 16 prosenttia vuoteen 2020 verrattuna. Akkuyksiköt ovat vuonna 2022 vähintään 15 prosenttia kalliimpia kuin vuonna 2021<sup>31</sup>.

Tulevana haasteena on välttää korvaamasta riippuvuutta fossiilisista polttoaineista riippuvuudella tuontiraaka-aineista ja niiden jalostukseen ja komponenttien valmistukseen tarvittavasta teknologisesta asiantuntemuksesta. Esimerkiksi Kiina on lähes monopoliasemassa puhtaiden energiateknologioiden kannalta ratkaisevien harvinaisten maametallien louhinnassa ja jalostuksessa ja sillä on vahva markkina-asema niiden tuotantoketjussa.

Resurssiriippuvuuteen liittyvä haaste on kolmiosainen. Ensinnäkin EU joutuu kilpailemaan yhä kovemmin kriittisten raaka-aineiden saannista, kun muut maat kiihdyttävät omia

<sup>27</sup> *Kaasua säästöön talven varalle*, (COM(2022) 360 final).

<sup>28</sup> Euroopan komissio, *Critical raw materials for strategic technologies and sectors in the EU - a foresight study*, 2020, <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/42882>

<sup>29</sup> IEA, *The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions*, tarkistettu versio, toukokuu 2022.

<sup>30</sup> Kim, T., *Critical minerals threaten a decades-long trend of cost declines for clean energy technologies*, IEA:n verkkosivut, toukokuu 2022.

<sup>31</sup> IEA, *The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions*, tarkistettu versio, toukokuu 2022.

toimiaan kapasiteettinsa kehittämiseksi ja mahdollisesti rajoittavat vientiään. Puolet EU:n luetteloimista 30 kriittisestä raaka-aineesta<sup>32</sup> ovat yli 80-prosenttisesti tuontitavaraa. Tämä on erityisesti huolestuttavaa silloin, kun tarjonta keskittyy vain muutamaan maahan.

Toiseksi, vaikka kiertotaloudessa ja kierrätysasteissa on saavutettu merkittävää edistystä (nykypäivänä joistakin metalleista<sup>33</sup> kierrätetään yli 50 prosenttia, mikä kattaa yli 25 prosenttia niiden kulutuksesta<sup>34</sup>), uusioraaka-aineet eivät yksinään riitä vastaamaan suureen – ja yhä kasvavaan – kysyntään. Uusioraaka-aineet aiheuttavat myös lisähaasteita (esimerkiksi joidenkin materiaalien korkeammat kierrätyskustannukset, tekninen toteutettavuus ja käytöstä poistettujen laitteistojen niukkuus). Kierrätyksen taloudellisuus paranee kuitenkin ensimateriaalien kustannusten noustessa ja käytettävissä olevien romulaitteistojen määrän kasvaessa. Siksi uusioraaka-aineet ovat tärkeä hankintalähde vuoden 2030 jälkeen – edellyttäen, että tarvittavat investoinnit aloitetaan nyt. Myös innovatiivinen kierrätettävyyssuunnittelu on erittäin tärkeää.

Kolmanneksi on teoriassa mahdollista kattaa 5–55 prosenttia Euroopan vuoden 2030 tarpeista hyödyntämällä Euroopan maaperästä saatavia raaka-aineita.<sup>35</sup> EU:n oman kaivostoiminnan edistämiseksi on kuitenkin esteitä, jotka johtuvat hitaista lupamenettelyistä ja ympäristöhuolista, riittämättömästä jalostuskapasiteetista sekä ammattitaitoisen työvoiman ja asiantuntemuksen puutteesta. Uusi ehdotus akkuasetukseksi<sup>36</sup> on esimerkki lippulavahankkeesta, joka auttaa Eurooppaa nousemaan johtoasemaan akkujen kiertotaloudessa – kestävästä kaivostoiminnasta aina kierrätykseen saakka.

Maa- ja vesialueiden ja muiden resurssien niukkuus saattaa rajoittaa puhtaiden energiateknologioiden käytön lisäämistä toivotulle tasolle EU:ssa. Tämä koskee niin aurinko-, tuuli- ja bioenergian kuin uusiutuvan vedyn tuottamiseen käytettävien vesielektrolyysilaitteistojen sijoittamista. Näitä rajoituksia voidaan poistaa helpottamalla tilan käyttöä useaan tarkoitukseen. Tästä esimerkkinä ovat maatalousaurinkosähkö (maatalouden ja aurinkoenergian tuotannon yhdistäminen) sekä merten aluesuunnitelmissa nimetyt kohteet, joissa samanaikaisesti harjoitetaan kalastusta ja tuotetaan uusiutuvaa energiaa. Jäsenvaltioiden on kuitenkin myös erittäin tärkeää ottaa huomioon veden saatavuus energialähteiden yhdistelmää suunnitellessaan.

On ratkaisevan tärkeää omaksua tehokas lähestymistapa EU:n riippuvuuteen puhtaiden energiateknologioiden valmistuksessa tarvittavien raaka-aineiden tuonnista, jotta voidaan varmistaa alan tuleva kilpailukyky (kustannusten, teknologisen riippumattomuuden ja häiriönsietokyvyn osalta) sekä toteuttaa vihreä ja digitaalinen siirtymä. Komissio julkaisi vuonna 2020 toimintasuunnitelman toimitusriskien<sup>37</sup> vähentämiseksi. Siihen sisältyi toimia EU:n ulkopuolelta tehtävien hankintojen monipuolistamiseksi (esimerkiksi strategisten raaka-

<sup>32</sup> Kriittisiin raaka-aineisiin liittyvä häiriönsietokyky: miten lisätä toimitusvarmuutta ja kestävyyttä (COM(2020) 474 final).

<sup>33</sup> Rauta, sinkki ja platina.

<sup>34</sup> Euroopan komission energiapäösasto: Guevara Opinska, L., Gérard, F., Hoogland, O., ym., *Study on the resilience of critical supply chains for energy security and clean energy transition during and after the COVID-19 crisis: final report*, Euroopan unionin julkaisutoimisto, Luxemburg, 2021, <https://data.europa.eu/doi/10.2833/946002>

<sup>35</sup> KU Leuven, *Metals for Clean Energy: Pathways to solving Europe's raw materials challenge*, 2022.

<sup>36</sup> Ehdotus Euroopan parlamentin ja neuvoston asetukseksi akuista ja käytetyistä akuista, direktiivin 2006/66/EY kumoamisesta ja asetuksen (EU) N:o 2019/1020 muuttamisesta (COM(2020) 798 final).

<sup>37</sup> Kriittisiin raaka-aineisiin liittyvä häiriönsietokyky: miten lisätä toimitusvarmuutta ja kestävyyttä (COM(2020) 474 final).

ainekumppanuuksien avulla), kiertotalouden edistäminen (esimerkiksi ekologinen suunnittelu, tutkimus ja innovointi sekä kriittisten raaka-aineiden saatavuuden kartoittaminen kaupunkikaivoksista tai rikastusjätteistä) ja unionin oman potentiaalın mahdollistaminen (esimerkiksi maapallon havainnointitekniikan avulla). Toimitusten turvaamisen lisäksi EU:n on ehkä muodostettava strategisia varantoja siltä osin kuin saatavuus on epävarmaa. Euroopan komission puheenjohtaja ilmoitti sen vuoksi Euroopan kriittisiä raaka-aineita koskevasta säädöksestä unionin tilaa koskevassa puheessaan 14. syyskuuta 2022.

### *2.1.2 Covid-19-pandemian vaikutukset ja elpyminen*

Covid-19-pandemian vaihtelevat taloudelliset vaikutukset olivat merkittävä uhka EU:n puhtaan energian alalle vuosina 2020–2021.

Toisaalta EU:n uusiutuvaa energiaa tuottava teollisuus, jonka liikevaihto vuonna 2020 oli 163 miljardia euroa ja bruttoarvonlisäys 70 miljardia euroa, kasvoi vuoden 2019 lukuihin verrattuna 9 prosenttia vuonna 2020 ja 8 prosenttia vuonna 2021. Kaiken kaikkiaan se tuotti liikevaihtoeuroa kohti noin neljä kertaa niin paljon lisäarvoa<sup>38</sup> kuin fossiilisten polttoaineiden teollisuus ja lähes 70 prosenttia enemmän kuin EU:n koko tehdasteollisuus<sup>39</sup>. Suhdeluku kuitenkin heikkeni hieman vuonna 2020, mikä viittaa arvovuodon lisääntymiseen (esimerkiksi tuonnin muodossa).

Vuonna 2021 useimpien puhtaiden energiatekniologioiden ja -ratkaisujen valmistus<sup>40</sup> EU:ssa lisääntyi huomattavasti, mikä käänsi vuonna 2020 havaitun suuntauksen päinvastaiseksi. EU:n akkutuotannossa oli poikkeuksellisen hyvä vuosi, ja tuotannon arvo nelinkertaistui vuoteen 2020 verrattuna, kun kapasiteettia lisättiin. Lämpöpumppujen, tuulivoiman ja aurinkoenergian tuotanto kasvoi 30 prosenttia vuonna 2021 (lämpöpumppujen tuotanto oli ennätystasolla, tuulivoima palasi pandemiaa edeltäneelle tasolle ja aurinkosähkö kääntyi nousuun vuodesta 2011 jatkuneen laskusuuntauksen jälkeen). Biopolttoaineiden, pääasiassa biodieselin, tuotanto kasvoi 40 prosenttia ja lisääntyi huomattavasti eri jäsenvaltioissa. Bioenergian (esimerkiksi pellettien, tärkkelysjätteiden ja hakkeen) tuotanto kasvoi puolestaan 5 prosenttia. Vetyä tuotettiin<sup>41</sup> lähes 50 prosenttia enemmän, kun Alankomaat yli kaksinkertaisti tuotantonsa vuonna 2021.

Vuonna 2021 alkanut samanaikainen hinnannousu voi kuitenkin antaa liian myönteisen kuvan tuotannon kasvusta. Lisäksi joidenkin teknologioiden tuonti lisääntyi, jotta voitaisiin vastata EU:n kasvavaan kysyntään. Esimerkiksi vuonna 2021 EU:n lämpöpumppujen kauppavaje kasvoi suhteellisesti eniten (390 miljoonaa euroa vuonna 2021 verrattuna 40 miljoonaan euroon vuonna 2020, joka oli ensimmäinen vuosi, jolloin EU:n kauppataaseen ylijäämä muuttui alijäämäksi). Seuraavina tulivat biopolttoaineet (2,3 miljardia euroa vuonna 2021 verrattuna 1,4 miljardiin euroon vuonna 2020) ja aurinkosähkö (9,2 miljardia euroa vuonna 2021 verrattuna 6,1 miljardiin euroon vuonna 2020). EU:n tuulivoimatekniikan kauppataase pysyi kuitenkin positiivisena (2,6 miljardia euroa

<sup>38</sup> Fossiilisten polttoaineiden teollisuuden bruttoarvonlisäys euroa kohti on alle 0,10 euroa (Eurostatin yritystoiminnan rakennetilastot).

<sup>39</sup> Tehdasteollisuuden (NACE C) arvonlisäys suhteessa liikevaihtoon EU:ssa on noin 0,25 euroa (Eurostatin tiedot SBS\_NA\_IND\_R2).

<sup>40</sup> Tällä tarkoitetaan tuotannon rahallista arvoa (euroina).

<sup>41</sup> Tämä sisältää kaiken vedyn tuotantotavasta riippumatta.

vuonna 2021 ja 2 miljardia euroa vuonna 2020), samoin vesivoimateknologian, vaikka suuntaus on ollut laskeva vuodesta 2015 (211 miljoonaa euroa vuonna 2021 verrattuna 232 miljoonaan euroon vuonna 2020).

EU:n talouden elvytyspolitiikka, johon kuuluu muun muassa NextGenerationEU-ohjelman<sup>42</sup> mukainen elpymis- ja palautumistukiväline, on avainasemassa investointien suuntaamisessa puhtaan energian alalle ja niiden lisäämisessä. Neuvosto hyväksyi<sup>43</sup> lokakuussa 2022 Euroopan komission ehdotuksen<sup>44</sup> erityisen REPowerEU-suunnitelmaa koskevan luvun lisäämisestä jäsenvaltioiden elpymis- ja palautumissuunnitelmiin, jotta voidaan rahoittaa keskeisiä investointeja ja uudistuksia REPowerEU-tavoitteiden saavuttamiseksi.<sup>45</sup>

Jäsenvaltioiden elpymis- ja palautumissuunnitelmissaan ehdottamat uudistukset ja investoinnit ovat tähän mennessä ylittäneet sekä ilmasto- että digitaalista siirtymää koskevat menotavoitteet (vähintään 37 prosenttia ja 20 prosenttia elpymis- ja palautumissuunnitelmien menoista).<sup>46</sup> Komission 8. syyskuuta 2022 mennessä hyväksymissä 26<sup>47</sup> elpymis- ja palautumissuunnitelmassa on varattu noin 200 miljardia euroa ilmastosiirtymään ja 128 miljardia euroa digitaaliseen siirtymään.<sup>48</sup> Ensin mainittu vastaa 40:tä prosenttia ja jälkimmäinen 26:ta prosenttia näiden jäsenvaltioiden kokonaismäärärahoista (avustukset ja lainat).

---

<sup>42</sup> *Euroopan h-hetki: korjaamalla ja kehittämällä parempaa seuraavalle sukupolvelle* (COM(2020) 456 final).

<sup>43</sup> <https://www.consilium.europa.eu/fi/press/press-releases/2022/10/04/repowereu-council-agrees-its-position/>

<sup>44</sup> Ehdotus Euroopan parlamentin ja neuvoston asetukseksi asetuksen (EU) 2021/241 muuttamisesta elpymis- ja palautumissuunnitelmien REPowerEU-lukujen osalta sekä asetuksen (EU) 2021/1060, asetuksen (EU) 2021/2115, direktiivin 2003/87/EY ja päätöksen (EU) 2015/1814 muuttamisesta (COM(2022) 231 final).

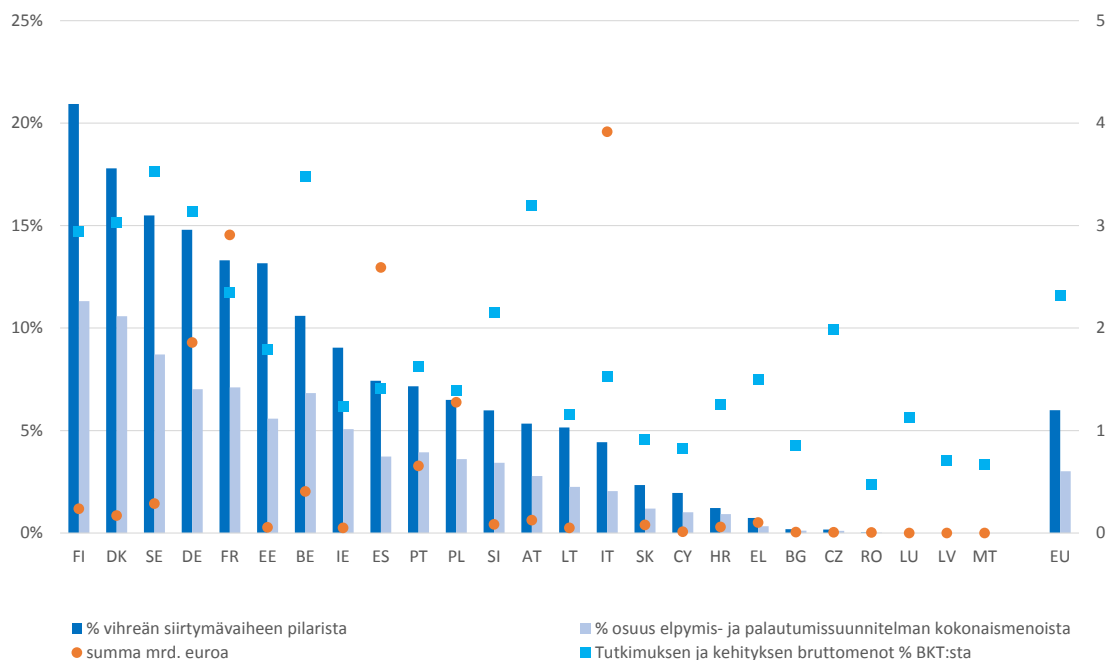
<sup>45</sup> Ehdotukseen sisältyy EU:n talousarvion lisämäärärahoja, joilla täydennetään edelleen saatavilla olevia 225 miljardin euron suuruisia elpymis- ja palautumistukivälineen lainoja, ja siinä kehoitetaan lisäämään elpymis- ja palautumistukivälineen varoja. Euroopan komissio on aloittanut kahdenväliset keskustelut jäsenvaltioiden kanssa sellaisten uusiin REPowerEU-lukuihin sisältyvien uudistusten ja investointien yksilöimiseksi, jotka voisivat mahdollisesti saada rahoitusta. EU:n rahoitus täydentää muuta saatavilla olevaa julkista ja yksityistä rahoitusta, joka on keskeisessä asemassa REPowerEU-suunnitelmaan tarvittavien investointien toteuttamisessa.

<sup>46</sup> Elpymis- ja palautumissuunnitelmien toteuttamisessa saavutettua edistystä voidaan seurata reaaliaikaisesti komission joulukuussa 2021 perustamasta verkossa toimivasta elpymisen ja palautumisen tulostaulusta.

<sup>47</sup> AT, BE, BG, CY, CZ, DE, DK, EE, EL, ES, FI, FR, HR, IE, IT, LT, LU, LV, MT, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK.

<sup>48</sup> Elpymis- ja palautumissuunnitelmissa oli täsmennettävä ja perusteltava, missä määrin mikäkin toimenpide edistää ilmastotavoitetta täysimääräisesti (100%), osittain (40%) tai ei lainkaan (0%). Vaikutukset ilmastotavoitteisiin on laskettu elpymis- ja palautumistukivälinettä koskevan asetuksen liitteen VI mukaisesti. Kun kertoimet yhdistetään kunkin toimenpiteen kustannusarvioihin, voidaan laskea, missä määrin suunnitelmat edistävät ilmastotavoitetta.

Kaavio 2: Elpymis- ja palautumissuunnitelmiin sisältyvien vihreän toiminnan T&K&I-toimenpiteiden osuus (vasen akseli) ja absoluuttinen määrä (oikea akseli). Vertailun vuoksi esitetään myös T&K-toiminnan osuus BKT:sta (oikea akseli).



Lähde: Yhteinen tutkimuskeskus talouden ja rahoituksen pääosaston tietojen pohjalta

Neuvoston 8. syyskuuta 2022 hyväksymät 25 elpymis- ja palautumissuunnitelmaa sisältävät tutkimukseen ja innovointiin liittyviä toimenpiteitä, joiden kokonaisbudjetti on 47 miljardia euroa<sup>49</sup> (mukaan lukien sekä temaattiset että horisontaaliset investoinnit<sup>50</sup>). Tästä määrästä 14,9 miljardia euroa on kohdennettu investointeihin vihreän toiminnan tutkimus-, kehitys- ja innovointitoimenpiteisiin (T&K&I) (Kaavio 2).

### 2.1.3 Inhimillistä pääomaa ja osaamista

Maailmanlaajuista **inhimillistä pääomaa** koskevat viimeisimmät tiedot osoittavat, että vaikka puhtaan energian ala on kestänyt covid-19-pandemian, osaamisvaje ja -pula kasvoivat vuonna 2021, ja niiden odotetaan kasvavan edelleen vuonna 2022.

EU:n laajempi puhtaan energian ala<sup>51</sup> työllisti 1,8 miljoonaa vuonna 2019, ja sen työllisyys on kasvanut vuosittain keskimäärin 3 prosenttia vuodesta 2015 lähtien<sup>52</sup>. Sen osuus EU:n

<sup>49</sup> Luvut perustuvat elpymisen ja palautumisen tulostaulussa käytettyyn pilaripohjaiseen seurantamenetelmään, ja ne koskevat toimenpiteitä, joiden ensisijaisena tai toissijaisena politiikan alana on ”vihreän kehityksen T&K&I-toimenpiteet”, ”digitaalialan T&K&I-toimenpiteet” ja ”T&K&I-toimenpiteet”. Neuvosto ei ole vielä hyväksynyt Alankomaiden elpymis- ja palautumissuunnitelmaa, joten pilaripohjaisen seurantamenetelmän mukaisia tietoja ei vielä ole saatavilla. Lisätietoja elpymisen ja palautumisen tulostaulusta on osoitteessa [https://ec.europa.eu/economy\\_finance/recovery-and-resilience-scoreboard/](https://ec.europa.eu/economy_finance/recovery-and-resilience-scoreboard/)

<sup>50</sup> Temaattisia T&I-investointeja ovat vihreään siirtymään, digitaaliteknoologiaan ja terveyteen kohdistuvat investoinnit, kun taas horisontaalisiin T&I-investointeihin sisältyy monialaisia toimenpiteitä, joilla esimerkiksi vahvistetaan innovaatioekosysteemejä, parannetaan tutkimusinfrastruktuuria ja tuetaan yritysten innovointia. Lisätietoja elpymisen ja palautumisen tulostaulusta on osoitteessa [https://ec.europa.eu/economy\\_finance/recovery-and-resilience-scoreboard/](https://ec.europa.eu/economy_finance/recovery-and-resilience-scoreboard/).

<sup>51</sup> Kertomuksessa esitetyt puhtaan energian alaa koskevat luvut viittaavat Eurostatin EGSS-luokitukseen perustuviin tietoihin (luokat ”CREMA13A”, ”CREMA13B” ja ”CEPA1”). CREMA13A (energiantuotanto uusiutuvista energialähteistä) sisältää uusiutuvan energian tuottamiseen tarvittavan teknologian valmistuksen. CREMA 13B (lämmön-/energiansäästö ja -hallinta) käsittää lämpöpumput, älymittarit, energiasaneerauksen, eristysmateriaalit ja

kokonaistyöllisyydestä on 1 prosentti. Vertailun vuoksi todettakoon, että koko talouden työllisyys kasvoi keskimäärin 1 prosentin vuodessa<sup>53</sup>, kun taas fossiilisten energialähteiden teollisuuden työllisyys laski keskimäärin 2 prosenttia viime vuosikymmenen aikana.<sup>54</sup> Maailmanlaajuinen työllisyys uusiutuvan energian alalla vuonna 2020 oli maailman korkein Kiinassa (39 prosenttia) ja sen jälkeen EU:ssa (11 prosenttia)<sup>55</sup>. Yhteensä työpaikkoja oli 12 miljoonaa<sup>56</sup>.

EU:n laajemman puhtaan energian alan työpaikkojen koostumus on muuttunut monin tavoin.<sup>57</sup> Lämpöpumpputoimiala<sup>58</sup> on ohittamassa kiinteiden polttoaineiden alan<sup>59</sup> ja tuulivoima-alan suurimpana työnantajana. Tämä johtuu pääasiassa siitä, että lämpöpumppujen asentaminen on lisääntynyt. Tämä suuntaus todennäköisesti jatkuu REPowerEU-suunnitelman ja korjausrakennusalan uusien tuotevalikoimien myötä.<sup>60</sup> Lisäksi puhtaan energian ala on 20 prosenttia tuottavampi kuin koko talous keskimäärin. Vuodesta 2015 lähtien työn tuottavuus on kasvanut puhtaan energian alalla (2,5 prosenttia vuodessa) nopeammin kuin koko taloudessa (1,8 prosenttia vuodessa). Kasvua ovat vauhdittaneet sähköisen liikkuvuuden ala (5 prosenttia vuodessa) ja uusiutuvat energialähteet (4 prosenttia vuodessa), ja suuntaukset vaihtelevat eri teknologioiden mukaan.

Lähes 30 prosenttia sähkölaitteiden valmistukseen osallistuvista EU:n yrityksistä<sup>61</sup> on kuitenkin kärsinyt vuonna 2022 **työvoimapulasta**, joka on ollut jopa suurempaa kuin vuonna 2018. Tämä johtuu pääasiassa pandemian aiheuttamasta yleisestä talouden elpymisestä sekä siitä, että vihreän ja digitaalisen siirtymän edellyttämä puhtaan energian alan osaaminen kehittyy hitaasti.<sup>62</sup> Yli 70 prosenttia sähkölaitteiden valmistukseen osallistuvista EU:n

---

älyverkkojen osat. CEPA1 (ulkoilman ja ilmaston suojelu) sisältää sähkö- ja hybridi-autot ja -linja-autot sekä muut puhtaammat ja tehokkaammat ajoneuvot ja sähköajoneuvojen toiminnalle välttämättömän latausinfrastruktuurin (tähän sisältyvät myös sähköajoneuvojen kannalta olennaiset osat, kuten akut, polttokennot ja sähköiset voimalaitteet).

<sup>52</sup> Eurostat [env\_ac\_egss1].

<sup>53</sup> Eurostat [lfsi\_emp\_a].

<sup>54</sup> Eurostat [sbs\_na\_ind\_r2].

<sup>55</sup> Kansainvälinen uusiutuvan energian virasto (IRENA) ja Kansainvälinen työjärjestö (ILO), *Renewable Energy and Jobs – Annual Review 2021*, Abu Dhabi ja Geneve.

<sup>56</sup> Tämä sisältää sekä suoraan että välillisesti alaan liittyvät työpaikat.

<sup>57</sup> EurObserv'ER. *The State of Renewable Energies in Europe – Edition 2021 20th EurObserv'ER Report*, 2022. Tämä luku sisältää lämpöpumput.

<sup>58</sup> Lämpöpumppujen osuus kaikista uusiutuviin energialähteisiin liittyvistä työpaikoista oli 24 prosenttia, kun taas kiinteiden biopolttoaineiden ja tuulivoiman osuus oli 20 prosenttia. Perustuu seuraavaan: EurObserv'ER. *The State of Renewable Energies in Europe – Edition 2021 20th EurObserv'ER Report*, 2022.

<sup>59</sup> Menetelmätarkistukset ovat vaikuttaneet erityisesti biopolttoaineita koskeviin tietoihin, joita päivitetään Horisontti 2020 -ohjelman ADVANCEFUEL-hankkeen hanketietojen perusteella.

<sup>60</sup> Euroopan lämpöpumppuyhdistys (EHPA). *European Heat Pump Market and Statistics Report 2021*, 2022.

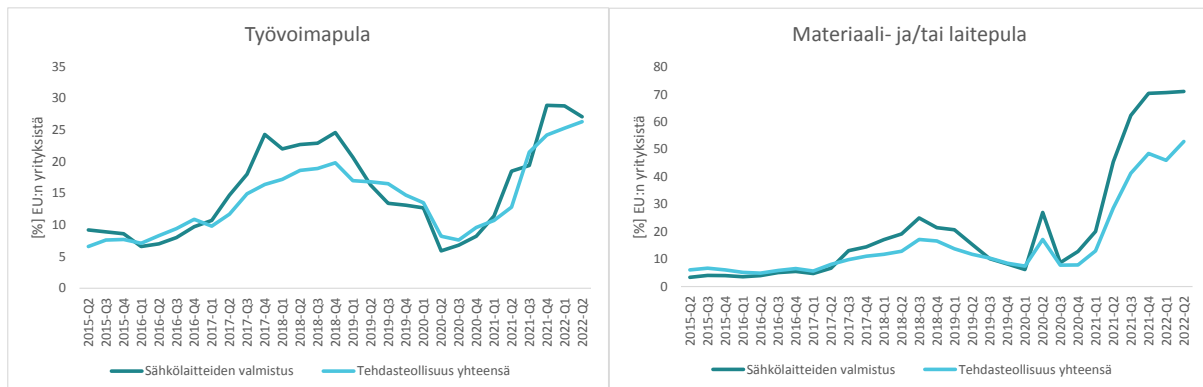
<sup>61</sup> NACE-koodia ”27 – Sähkölaitteiden valmistus” käytetään ilmaisemaan puhtaan energian valmistusteollisuutta, koska monet puhtaat energiateknologiat kuuluvat tähän luokkaan. EU:n teollisuusstrategiassa (COM(2020)108 final ja sen äskettäinen päivitys COM(2021)350 final) sitä käytetään myös ilmaisemaan uusiutuvien energialähteiden teollista ekosysteemiä.

<sup>62</sup> Hitaus johtuu useista työpaikkojen kohtaanto-ongelmista (esim. alueelliset, alakohtaiset, ammatilliset ja ajalliset). Nopeatempoisen muutoksen kohti vihreää ja digitaalista toimintaa on ristiriidassa osaamisen kehittämiseen tarvittavan ajan kanssa. Ks. esim.

- Czako, V., *Skills for the clean energy transition*, 2022. (ei vielä julkaistu);
- Asikainen, T., Bitat, A., Bol, E., Czako, V., Marmier, A., Muench, S., Murauskaite-Bull, I., Scapolo, F. ja Stoermer, E., *The future of jobs is green*, Euroopan unionin julkaisutoimisto, Luxemburg, 2021, [doi:10.2760/218792.JRC126047](https://doi.org/10.2760/218792.JRC126047);
- Cedefop (Euroopan ammatillisen koulutuksen kehittämiskeskus), *An ally in the green transition – VET, especially apprenticeship, can provide the skills needed for greening jobs – and in turn help shape them*, Euroopan unionin julkaisutoimisto, Luxemburg, 2022, <http://data.europa.eu/doi/10.2801/712651>.

yrityksistä on kärsinyt materiaalipulasta vuonna 2022, ja nämä suuntaukset osoittavat, että puhtaan energian toimitusketjun häiriöiden riski kasvaa (Kaavio 3).

Kaavio 3: Työvoima- ja materiaalipula EU:n sähkölaitteiden valmistuksessa ja EU:n koko tehdasteollisuudessa [%].



Lähde: Yhteinen tutkimuskeskus talouden ja rahoituksen pääosaston yritys-kyselyistä saatujen tietojen pohjalta<sup>63</sup>

REPowerEU-suunnitelmassa kehoitetaan lisäämään toimia ammattitaitoisen työvoiman puutteen korjaamiseksi puhtaiden energiateknologioiden alan eri lohkoilla. Tätä varten ja EU:ssa jo toteutettujen toimien<sup>64</sup> pohjalta suunnitelmassa esitetään osaamisen tukemista ERASMUS+ -ohjelman<sup>65</sup> ja puhtaan vedyn yhteisyrityksen<sup>66</sup> kautta. EU:n aurinkoenergiastrategiassa ehdotetaan myös erityistoimia.<sup>67</sup> Vuoden 2022 puhtaan energian teollisuusfoorumissa (CEIF) hyväksyttiin ammattitaitoa koskeva yhteinen julistus<sup>68</sup>, jossa sitouduttiin toteuttamaan konkreettisia toimia havaittujen ammattitaitoisen työvoiman puutteiden korjaamiseksi<sup>69</sup>. Neuvosto antoi vuonna 2022 myös suosituksen, jossa se kehotti jäsenvaltioita hyväksymään toimenpiteitä, jotka koskevat ilmasto-, energia- ja ympäristöpolitiikan työllisyys- ja sosiaalinenäkökohtia<sup>70</sup>. Euroopan komissio ehdotti 12. lokakuuta 2022, että vuodesta 2023 tehtäisiin Euroopan osaamisen teemavuosi, jotta EU:sta tulisi houkuttelevampi ammattitaitoisille työntekijöille.<sup>71</sup>

**Sukupuolten epätasapaino** energia-alan työvoimassa ja energiaan liittyvässä tutkimuksessa ja innovoinnissa jatkuu, vaikka yhdenmukaisesti ja yhtäjaksoisesti kerätyt sukupuolen mukaan eritellyt tiedot puuttuvat suurelta osin.<sup>72</sup> Naisten aliedustus energiayhtiöiden päätöksenteossa ja luonnontieteiden, teknologian, insinöritieteiden ja matematiikan alojen

<sup>63</sup> Yritys- ja kuluttajakyselyistä saadut tiedot [industry\_subsector\_q8\_nace2].

<sup>64</sup> Esimerkiksi vuoden 2020 Euroopan osaamishjelma, sen lippulaivana toimiva osaamissopimus ja kumppanuudet teollisuuden ekosysteemien kanssa sekä oikeudenmukaisen siirtymän mekanismi.

<sup>65</sup> Erasmus + <https://www.erasmuskills.eu/eskills/>

<sup>66</sup> Puhtaan vedyn yhteisyritys, *Strategic Research and Innovation Agenda 2021–2027*, <https://www.clean-hydrogen.europa.eu/system/files/2022-02/Clean%20Hydrogen%20JU%20SRIA%20-%20approved%20by%20GB%20-%20clean%20for%20publication%20%28ID%2013246486%29.pdf>

<sup>67</sup> EU:n aurinkoenergiastrategia (COM(2022) 221 final).

<sup>68</sup> Yhteinen julistus puhtaan energian alan ammattitaidosta, julkaistu 16. kesäkuuta 2022. Saatavilla osoitteessa <https://ec.europa.eu/info/news/clean-energy-industrial-forum-underlines-importance-deploying-renewables-2022-jun-16-fi>

<sup>69</sup> Arvioiden mukaan on esimerkiksi koulutettava 800 000 työntekijää työskentelemään akkujen arvoketjussa, jotta REPowerEU:n tavoitteet voidaan saavuttaa. Lämpöpumppujen arvoketjussa on koulutettava ja jatkokoulutettava noin 400 000 työntekijää. Luvussa ei ole otettu huomioon sellaisia tällä hetkellä lämpöpumppujen parissa työskenteleviä asiantuntijoita, jotka ovat siirtymässä eläkkeelle lähivuosina (ks. alaviite 69).

<sup>70</sup> Neuvoston suositus oikeudenmukaisesta siirtymisestä ilmastoneutraaliuteen (2022/C 243/04).

<sup>71</sup> COM(2022) 526 final.

<sup>72</sup> Komission kertomus Euroopan parlamentille ja neuvostolle puhtaan energian teknologioiden kilpailukyvyen edistymisestä (COM(2020) 953 final, COM(2021) 952 final).

korkeakoulutuksessa näkyy siinä, että naiskeksijöiden tekemien patenttihakemusten osuus on pienempi (vain 20 prosenttia kaikissa patenttiluokissa vuonna 2021<sup>73</sup> ja hieman yli 15 prosenttia ilmastonmuutoksen hillitsemiseen käytettävissä teknologioissa<sup>74</sup>), startup-yrityksiä, jotka ovat naisten perustamia tai joiden perustajien joukossa on naisia, on vähemmän (alle 15 prosenttia EU:ssa vuonna 2021)<sup>75</sup> ja naisjohtoisiin yrityksiin investoidaan vähemmän pääomaa (EU:ssa vuonna 2021 vain 2 prosenttia investointipääomasta suuntautui naisten perustamiin startup-yrityksiin ja 9 prosenttia sellaisiin yrityksiin, joiden perustajien joukossa on edustettuina sekä miehiä että naisia<sup>76</sup>).

EU tehostaa toimiaan tasapainoisen ja tasapuolisen ekosysteemin varmistamiseksi. Aloitteisiin kuuluvat sukupuolten tasa-arvostrategia 2020–2025<sup>77</sup>, vuonna 2022 käynnistetty Women TechEU -aloite<sup>78</sup>, Horisontti Eurooppa -puiteohjelmaan sisällytetty uusi<sup>79</sup> tukikelpoisuuskaiteeri ja vuoden 2022 uuteen innovaatio-ohjelmaan<sup>80</sup> sisältyvät konkreettiset kohdennetut toimenpiteet. Sukupuolten välisen kuilun kaventaminen auttaa vastaamaan EU:n työllisyys- ja osaamishaasteisiin vihreän ja digitaalisen siirtymän aikaansaamiseksi, ja lisäksi se tukee naisten integroitumista näille työaloille ja auttaa siten vastaamaan yhteiskunnallisiin haasteisiin.

## 2.2 Tutkimuksen ja innovoinnin suuntaukset

Maailman kasvava ympäristöä koskeva, geopoliittinen, taloudellinen ja sosiaalinen epävakaus edellyttää EU:lta ketterää tutkimus- ja innovaatiopolitiikkaa, jolla voidaan vastata tehokkaasti kriisitilanteisiin ja samalla varmistaa Euroopan vihreän kehityksen ohjelman täytäntöönpano.

EU:n tutkimus- ja innovaatiopolitiikka ohjaa innovoinnin suuntaa ja muovaa puhtaiden energiateknologioiden valikoimaa. Maailman suurimman tutkimuksen ja innovoinnin ohjelman, Horisontti Euroopan (jonka talousarvio on 95,5 miljardia euroa tutkimukseen ja innovointiin vuosina 2021–2027), ja muiden EU:n rahoitusohjelmien (esimerkiksi innovaatorahasto ja koheesiopolitiikan rahoitus) tarkoituksena on vahvistaa EU:n tutkimuksen ja innovoinnin ekosysteemiä ja auttaa saavuttamaan EU:n poliittiset tavoitteet.<sup>81</sup> Tutkimus- ja innovointitoimet yhdessä jäsenvaltioiden yhteisten ja koordinoitujen toimien

<sup>73</sup> Sellaisten keksintöjen osalta, joiden keksijöistä vähintään yksi on sijoittautunut Eurooppaan. Luvut perustuvat Euroopan patenttiviraston tietoihin vuodelta 2022.

<sup>74</sup> Kansainvälinen energiajärjestö, <https://www.iea.org/commentaries/gender-diversity-in-energy-what-we-know-and-what-we-dont-know>

<sup>75</sup> Euroopan innovaationeuvoston ja pk-yritysasioiden toimeenpanovirasto (EISMEA), 2022.

<sup>76</sup> IDC European Women in Venture Capital report, 2022.

<sup>77</sup> Euroopan komissio, sukupuolten tasa-arvostrategia.

<sup>78</sup> Euroopan innovaationeuvoston ja pk-yritysasioiden toimeenpanovirasto (EISMEA), 2022. [https://eismea.ec.europa.eu/programmes/european-innovation-ecosystems/women-techeu\\_en](https://eismea.ec.europa.eu/programmes/european-innovation-ecosystems/women-techeu_en)

<sup>79</sup> Horisontti Eurooppa -puiteohjelman uuden tukikelpoisuuskaiteerin mukaan rahoitusta hakevilla tutkimusorganisaatioilla on oltava toimintakelpoinen sukupuolten tasa-arvoa koskeva suunnitelma, jonka tavoitteena on saavuttaa 50-prosenttinen sukupuolijakauma kaikkien Horisontti Eurooppa -puiteohjelmaan liittyvien päätöksentekoolimien ja arvioijien osalta. Lisätietoja on saatavilla seuraavassa osoitteessa: [https://research-and-innovation.ec.europa.eu/strategy/strategy-2020-2024/democracy-and-rights/gender-equality-research-and-innovation\\_en#gender-equality-plans-as-an-eligibility-criterion-in-horizon-europe](https://research-and-innovation.ec.europa.eu/strategy/strategy-2020-2024/democracy-and-rights/gender-equality-research-and-innovation_en#gender-equality-plans-as-an-eligibility-criterion-in-horizon-europe)

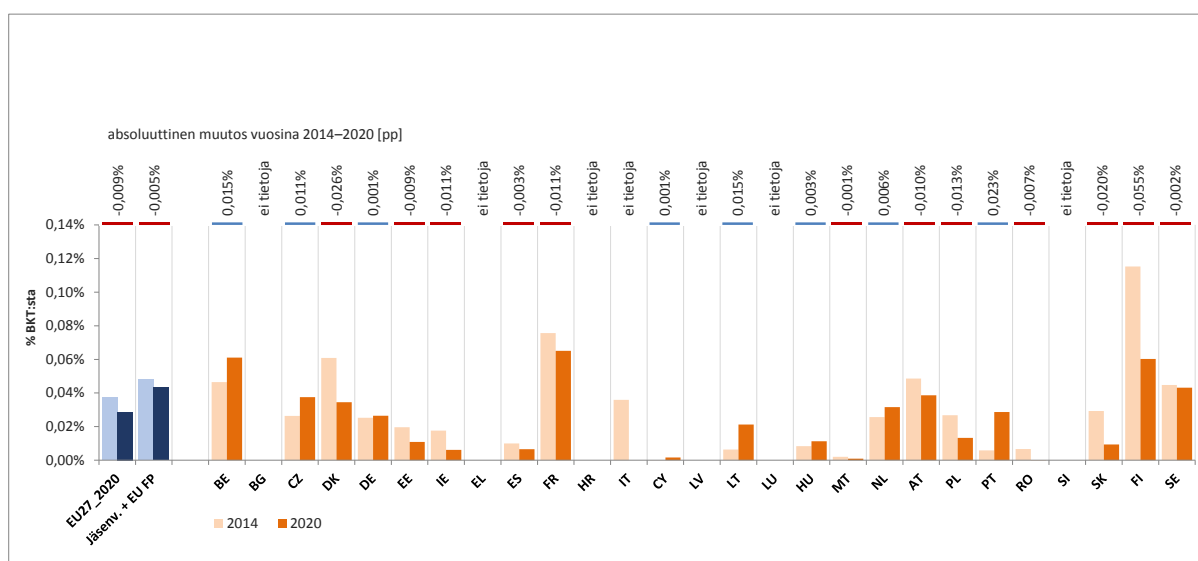
<sup>80</sup> Uusi eurooppalainen innovaatio-ohjelma (COM(2022) 332 final).

<sup>81</sup> Euroopan komissio, tutkimuksen ja innovoinnin pääosasto, *Science, Research and Innovation Performance of the EU 2022 report*, Euroopan unionin julkaisutoimisto, Luxemburg, 2022.

kanssa (erityisesti strategisen energiateknologiasuunnitelman eli SET-suunnitelman<sup>82</sup> avulla) lisäävät EU:n puhtaan energian alan häiriönsietokykyä.

Useimmat EU:n jäsenvaltiot lisäsivät julkisia T&K-investointejaan EU:n energiaunionin painopisteiksi määritellyille osa-alueille vuonna 2020<sup>83,84</sup>, ja tähän mennessä ilmoitetut investoinnit ovat arvoltaan yli 4 miljardia euroa. Vuoden 2020 lopullisten kokonaislukujen odotetaan olevan absoluuttisesti mitattuna verrattavissa finanssikriisiä edeltäviin arvoihin. Kun investointeja tarkastellaan suhteessa bruttokansantuotteeseen (BKT), julkiseen tutkimukseen ja innovointiin kansallisesti ja EU:n tasolla tehdyt investoinnit jäävät kuitenkin alle vuoden 2014 tason (Kaavio 4).

*Kaavio 4: Puhtaaseen energiaan liittyvät julkiset T&I-investoinnit EU:n jäsenvaltioissa osuutena BKT:sta Horisontti 2020 -puiteohjelman alusta alkaen.<sup>85</sup>*



*Lähde: JRC IEA:n<sup>86</sup> ja oman työn<sup>87</sup> perusteella.*

Vuonna 2020 energiaunionin tutkimus- ja innovointipainopisteiden tukemiseen tarkoitetuista Horisontti 2020 -varoista lisättiin 2 miljardia euroa jäsenvaltioiden kansallisten ohjelmien rahoitusosuuksiin. Kansalliset rahoitusosuudet ovat maailman suurimpiin talouksiin verrattuna pieniä, mutta jos Horisontti 2020 -varat lasketaan mukaan, EU:n julkiset T&K-investoinnit puhtaaseen energiaan olivat vuonna 2020 suurista talouksista toiseksi suurimmat (Kaavio 5)<sup>88</sup> sekä absoluuttisina menoina mitattuna (6,6 miljardia euroa, kun Yhdysvallat

<sup>82</sup> SET-suunnitelma on EU:n tärkein väline, jolla voidaan sovittaa yhteen EU:n ja kansallisen tason puhtaita energiateknologioita koskevat politiikat ja rahoitus sekä lisätä yksityisiä investointeja. Lisätietoja: : [https://energy.ec.europa.eu/topics/research-and-technology/strategic-energy-technology-plan\\_en](https://energy.ec.europa.eu/topics/research-and-technology/strategic-energy-technology-plan_en)

<sup>83</sup> Uusiutuvat energianlähteet, älyjärjestelmä, tehokkaat järjestelmät, kestävät liikennejärjestelmät, hiilidioksidin talteenotto, käyttö ja varastointi sekä ydinturvallisuus (”energiaunionipaketti”, COM(2015) 80 final).

<sup>84</sup> JRC SETIS [https://setis.ec.europa.eu/publications/setis-research-and-innovation-data\\_en](https://setis.ec.europa.eu/publications/setis-research-and-innovation-data_en)

<sup>85</sup> ”EU FP” tarkoittaa EU:n puiteohjelmaa ja ”na” tarkoittaa maita, jotka eivät ole toimittaneet tietoja.

<sup>86</sup> JRC SETIS [https://setis.ec.europa.eu/publications/setis-research-and-innovation-data\\_en](https://setis.ec.europa.eu/publications/setis-research-and-innovation-data_en)

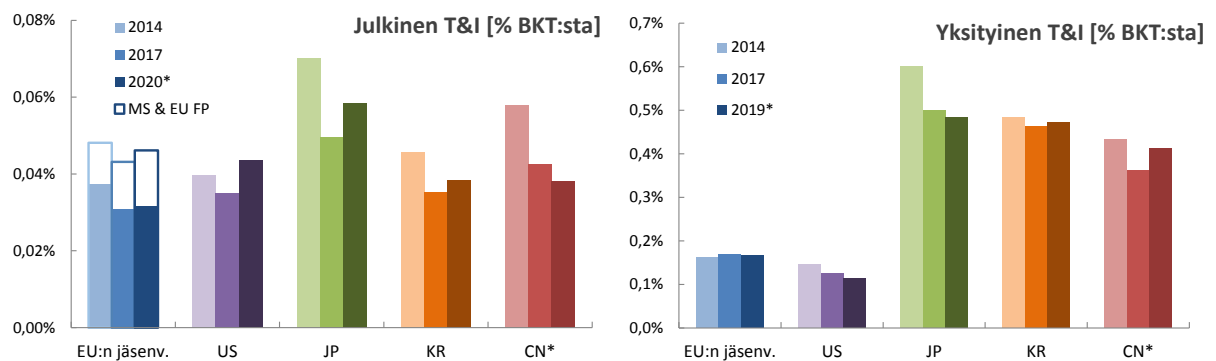
<sup>87</sup> Muokattu IEA:n vuotta 2022 koskevien energiateknologian tutkimuksen, kehittämisen ja demonstroinnin määrärahatietojen pohjalta.

<sup>88</sup> Kaavio on EU:n osalta päällekkäinen kaavio 4 kahden ensimmäisen luokan kanssa. Näiden kahden kaavio arvo ovat hieman erilaiset, sillä Italiaa koskeva luku Kaavio 5 on arvio.

johti 8 miljardilla eurolla) että suhteessa BKT:hen (0,046 prosenttia, kun Japani johti 0,058 prosentin osuudella; Yhdysvallat ja Etelä-Korea tulivat hieman perässä<sup>89</sup>).

Globaalien arvioiden mukaan yrityssektorin investoinnit puhtaasti energian tutkimukseen ja innovointiin ovat keskimäärin vähintään kolme kertaa suuremmat kuin julkisen sektorin.<sup>90</sup> EU:n yrityssektorin investoinnit muodostavat 80 prosenttia energiaunionin T&I-painopisteisiin suunnatuista tutkimus- ja innovointimenoista. Vuonna 2019 yksityiset T&I-investoinnit EU:ssa olivat arviolta 0,17 prosenttia suhteessa BKT:hen (Kaavio 5) ja 11 prosenttia liike-elämän ja yrityssektorin T&K-menojen kokonaismäärästä. EU:ta koskevat arviot osoittavat, että investointien absoluuttinen määrä (18–22 miljardia euroa vuodessa) on vuodesta 2014 ollut verrattavissa Yhdysvaltoihin ja Japaniin. Vaikka EU:n investoinnit ovat suhteessa BKT:hen Yhdysvaltoja suuremmat, EU on alemmalla tasolla kuin muut suuret kilpailevat taloudet (Japani, Etelä-Korea ja Kiina).

Kaavio 5: Julkinen ja yksityinen T&I-rahoitus energiaunionin T&I-painopisteisiin suhteessa BKT:hen suurissa talouksissa



\* Kiinan ja Italian julkiset T&I-tiedot (EU:n kokonaistiedoissa) viittaavat vuoteen 2019; yksityiset T&I-tiedot vuodelta 2019 ovat alustavia

Lähde: Yhteinen tutkimuskeskus IEA:n<sup>91</sup>, MI:n<sup>92</sup> ja oman työn perusteella.

Vuodesta 2014 lähtien puolet EU:n jäsenvaltioista on lisännyt **patentointitoimintaansa** energiaunionin T&I-painopisteiden mukaisesti, ja vihreän innovoinnin mestarit, kuten Saksa ja Tanska, ovat suoriutuneet hyvin sekä absoluuttisina lukuina mitattuna että niiden koko innovaatiovalikoiman vihreiden patenttien osuuden perusteella tarkasteltuna. EU on edelleen maailman suurin patentinhakija ilmaston ja ympäristön (23 prosenttia), energian (22 prosenttia) ja liikenteen (28 prosenttia) aloilla.

Vähähiilistä energiateknologiaa käsitteleviä **tieteellisiä julkaisuja** oli vuonna 2020 maailmanlaajuisesti hieman vähemmän kuin vuosina 2016–2019. EU:ssa niiden lukumäärä kasvoi vaatimattomammin vuosina 2016–2019 (verrattuna maailman keskiarvoon) ja pieneni voimakkaammin vuonna 2020. EU:n osuus maailman tieteellisistä artikkeleista oli hieman yli

<sup>89</sup> Näihin lukuihin sisältyvät jäsenvaltioiden ja EU:n puiteohjelman varat. Viime vuoden kertomuksessa viitattiin ainoastaan jäsenvaltioiden rahoitukseen (esitetty myös kaaviossa 5), joka jää muiden suurten talouksien rahoituksen alle suhteessa BKT:hen.

<sup>90</sup> IEA, *Tracking clean energy innovation - A framework for using indicators to inform policy*, 2020.

<sup>91</sup> Muokattu IEA:n vuotta 2022 koskevien energiateknologian tutkimuksen, kehittämisen ja demonstroinnin määrärahatietojen pohjalta.

<sup>92</sup> *Mission Innovation Country Highlights, 6th MI Ministerial 2021*, [http://mission-innovation.net/wp-content/uploads/2021/05/MI\\_2021v0527.pdf](http://mission-innovation.net/wp-content/uploads/2021/05/MI_2021v0527.pdf)

16 prosenttia, mutta se tuotti asukasta kohti edelleen yli kaksinkertaisen määrän julkaisuja maailman keskiarvoon nähden.<sup>93</sup>

Suuntaus johtuu pääasiassa tieteellisten julkaisujen määrän kasvusta muilla aloilla sekä siitä, että korkean tulotason taloudet eivät enää näytä olevan valta-asemassa puhtaaseen energiaan ja innovointiin liittyvien aiheiden osalta.<sup>94</sup> EU oli kymmenen vuotta sitten johtavassa asemassa energiatutkimuksessa, mutta Kiinan energiatutkimustulosten määrän ja laadun valtava parantuminen on pudottanut EU:n toiselle sijalle. Kiinalaisten tutkijoiden energiaan liittyvät julkaisut ovat kaikkein siteeratuimpia (osuus 39 prosenttia).<sup>95</sup> EU:n tutkijat tekevät kuitenkin yhteistyötä ja julkaisevat puhtaaseen energiaan liittyvistä aiheista kansainvälisesti selvästi maailmanlaajuista keskiarvoa enemmän, ja julkisen ja yksityisen sektorin yhteistyö EU:ssa on tiiviimpää. Horisontti 2020 -puiteohjelma, Euroopan aluekehitysrahasto ja seitsemäs tutkimuksen ja innovoinnin puiteohjelma sijoittuivat maailman 20 parhaan tunnustetun puhtaan energian tutkimusta tukevan rahoitusjärjestelmän joukkoon vuosina 2016–2020.<sup>96</sup>

Kertomuksen edellisessä versiossa korostettiin tarvetta parantaa julkisen ja yksityisen puhtaan energian tutkimus- ja innovointitoiminnan seuranta- ja kilpailukykyä kvantitatiivista arviointia,<sup>97</sup> ja sittemmin sen tärkeys on korostunut entisestään. SET-suunnitelman uudelleentarkastelu ja kansallisten energia- ja ilmastosuunnitelmien suunniteltu ajantasaistaminen<sup>98</sup>, joka on määrä tehdä kesäkuuhun 2024 mennessä<sup>99</sup>, antavat yhdessä pontta puhtaan energian tutkimusta ja innovointia sekä kilpailukykyä koskevan vuoropuhelun vahvistamiselle EU:n ja sen jäsenvaltioiden välillä.

### 2.3 Puhtaan energian maailmanlaajuinen kilpailuympäristö

Kiireellinen maailmanlaajuinen tarve lähteä nopeuttamaan energiasiirtymää on johtanut siihen, että on kehitetty monia puhtaita energiaratkaisuja aina kapea-alaisista teknologioista globaalin teollisuuden ja kansainvälisten arvoketjujen ratkaisuihin. Uusiutuvan energian maailmanmarkkinoiden arvon arvioidaan olevan 24 biljoonaa euroa ja energiatehokkuuden maailmanmarkkinoiden 33 biljoonaa euroa vuoteen 2050 mennessä.<sup>100</sup>

<sup>93</sup> Euroopan komissio, tutkimuksen ja innovoinnin pääosasto, Provençal, S., Khayat, P., Campbell, D., *Publications as a measure of innovation performance in the clean energy sector: assessment of bibliometric indicators*, Euroopan unionin julkaisutoimisto, Luxemburg, 2022.

<sup>94</sup> Schneegans S., Straza, T., ja Lewis, J. (toimittajat), Unescon tieteellinen raportti: *the Race Against Time for Smarter Development*, UNESCO Publishing, Pariisi, 2021.

<sup>95</sup> Euroopan komissio, tutkimuksen ja innovoinnin pääosasto, *Science, Research and Innovation Performance of the EU 2022 report*, Euroopan unionin julkaisutoimisto, Luxemburg, 2022.

<sup>96</sup> Elsevier, *Pathways to Net Zero: The Impact of Clean Energy Research*, 2021. Saatavilla osoitteessa [https://www.elsevier.com/data/assets/pdf\\_file/0006/1214979/net-zero-2021.pdf](https://www.elsevier.com/data/assets/pdf_file/0006/1214979/net-zero-2021.pdf). Julkaisu lasketaan ilmastoneutraalin energian tutkimukseksi, jos se edistää tietämystä puhtaan energian tutkimuksesta ja innovoinnista sekä näyttää tietä kohti ilmastoneutraalia tulevaisuutta. Tiedot ovat peräisin Scopus-tietokannasta.

<sup>97</sup> Komission kertomus Euroopan parlamentille ja neuvostolle puhtaan energian teknologioiden kilpailukykyä edistymisestä (COM (2021) 952 final ja SWD(2021) 307 final).

<sup>98</sup> Lisätietoja kansallisista energia- ja ilmastosuunnitelmista: [https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-strategy/national-energy-and-climate-plans-necps\\_en](https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-strategy/national-energy-and-climate-plans-necps_en)

<sup>99</sup> EUVL L 328, 21.12.2018. Energiaunionin ja ilmastotoimien hallinnosta annetussa asetuksessa (EU) 2018/1999 säädetään kansallisten energia- ja ilmastosuunnitelmien säännöllisestä tarkistuksesta, jotta ne vastaavat viimeisimpiä politiikan kehityskulkuja. Kansallisten energia- ja ilmastosuunnitelmien luonnosten odotetaan valmistuvan kesäkuuhun 2023 mennessä.

<sup>100</sup> IRENA, *Global energy transformation: a roadmap to 2050*, Abu Dhabi, 2019.

EU:n johtoasema tieteessä, sen vahva teollinen perusta ja sen puhtaan energian alan kunnianhimoiset toimintapuitteet tarjoavat hyvät teknologiset lähtökohdat useiden puhtaiden energiateknologioiden odotettavissa olevaa markkinakehitystä silmällä pitäen. EU on säilyttänyt hyvän asemansa **kansainvälisesti suojattujen patenttien alalla** vuodesta 2014, mikä vahvistaa viime vuoden kertomuksessa<sup>101</sup> korostetun suuntauksen. Vain Japani on EU:ta edellä arvokkaissa keksinnöissä<sup>102</sup>, ja EU johtaa uusiutuvien energialähteiden alalla. Lisäksi sillä on yhdessä Japanin kanssa johtava asema energiatehokkuudessa, mikä johtuu pääasiassa EU:n erikoistumisesta rakennusmateriaaleihin ja -teknologiaan. EU:n patentointitiedot osoittavat myös sen johtoaseman uusiutuvien polttoaineiden alalla, akuissa ja sähköisessä liikkuvuudessa sekä hiilidioksidin talteenotto-, varastointi- ja hyödyntämisteknologioissa.

Useimmat uudet investoinnit puhtaaseen energiateknologiaan odotetaan tehtävän EU:n ulkopuolella, ja tarvittavilla raaka-aineilla käydään kansainvälistä kauppaa.<sup>103</sup> Tämän vuoksi EU:n vahva läsnäolo ja suorituskyky maailmanlaajuisissa arvoketuissa ja sen pääsy kolmansien maiden markkinoille ovat olennaisen tärkeitä. Kolmansien maiden hallitukset toteuttavat kuitenkin yhä enemmän toimenpiteitä (markkinoille pääsyn esteiden, paikallista sisältöä koskevien vaatimusten ja muiden syrjivien toimenpiteiden tai käytäntöjen käyttöönotto), jotka voivat vääristää **kansainvälisen kaupan ja investointien dynamiikkaa**. Toimenpiteet saattavat vaikuttaa kielteisesti EU:n työpaikkoihin, kasvuun ja veropohjaan sekä heikentää etuja, joita EU tavallisesti saisi alan ensimmäisenä toimijana. Ne aiheuttavat myös selkeän ”tartuntariskin”, koska ne voivat saada muut kolmannet maat toteuttamaan vastaavia toimenpiteitä, jotka aiheuttavat tehottomuutta kansainvälisissä toimitusketuissa ja vaikuttavat pitkällä aikavälillä kannustimiin investoida alaan. Tämä puolestaan lisää siirtymävaiheen kokonaiskustannuksia ja voisi heikentää kansalaisten jatkuvaa sitoutumista maailmanlaajuiseen hiilestä irtautumiseen.

Jatkuvaa ja edelleen kasvavaa huolta tunnetaan maailmanlaajuisesti myös valtion tukeman ja subventoidun teknologisen hallitsevan aseman vaikutuksista, suljetuista markkinoista; teollis- ja tekijänoikeuksia koskevien sääntöjen erilaisuudesta sekä alan innovaatio- ja kilpailupolitiikasta, erityisesti Kiinan ja muiden kolmansien maiden toteuttamasta politiikasta. Nykyinen geopoliittinen kriisi on vaikuttanut myös kilpailuun maailmanlaajuisilla puhtaan energian markkinoilla, ja jää nähtäväksi, mitkä ovat puhtaiden energiateknologioiden käyttöönoton nopeuttamiseksi eri maissa toteutettujen kansallisten toimenpiteiden (esimerkiksi Yhdysvaltojen inflaation alentamista koskeva laki<sup>104</sup>) mahdolliset kielteiset vaikutukset puhtaan energian alan maailmanlaajuiseen kilpailuympäristöön.

Näissä oloissa **kansainvälinen tutkimus - ja innovointiyhteistyö** ei ainoastaan nopeuta puhtaaseen energiaan siirtymistä vaan myös torjuu maailmanlaajuisten energiamarkkinoiden häiriöitä. EU:n ohjelmilla ja politiikalla, kuten Horisontti Eurooppa -puiteohjelmalla ja Erasmus+ -ohjelmalla, on jatkuvasti tuettu tutkimus- ja innovaatioyhteistyötä luotettujen maailmanlaajuisten kumppaneiden kanssa. Komission tiedonannossa tutkimusta ja

---

<sup>101</sup> Komission kertomus Euroopan parlamentille ja neuvostolle puhtaan energian teknologioiden kilpailukyvyyn edistymisestä (COM(2021) 952 final).

<sup>102</sup> Arvokkaat patenttiperheet (keksinnöt) ovat sellaisia, joista on hakemuksia useammassa kuin yhdessä virastossa (eli joille haetaan suojaa useammassa kuin yhdessä maassa tai useammalla kuin yhdellä markkina-alueella).

<sup>103</sup> Kansainvälinen energijärjestö, *Net Zero by 2050 - A Roadmap for the Global Energy Sector*, 2021.

<sup>104</sup> [FACT SHEET: The Inflation Reduction Act Supports Workers and Families | Valkoinen talo](#).

innovointia koskevasta globaalista lähestymistavasta<sup>105</sup> esitetään parannetut puitteet kansainvälisen yhteistyön kehittämiseksi. Komission tiedonannossa *EU:n ulkoinen energiastrategia*<sup>106</sup> esitetään tällaisen yhteistyön tehostamista ja kumppanuuksien kehittämistä, jotta voidaan tukea vihreää siirtymää sellaisilla keskeisillä aloilla kuin uusiutuva ja vähähiilinen vety sekä raaka-aineiden ja innovaatioiden saatavuus. Lisäksi komission tiedonannossa *Uusi eurooppalainen tutkimusalue tutkimusta ja innovointia varten*<sup>107</sup> kehoitetaan ajantasaistamaan ja kehittämään tietämyksen hyödyntämistä ohjaavia periaatteita. Teollis- ja tekijänoikeuksien älykästä käyttöä koskevien käytännönsäätöjen odotetaan valmistuvan vuoden 2022 loppuun mennessä.<sup>108</sup> Komissio edistää kansainvälistä yhteistyötä energia-alan innovaatioiden ja teknologian alalla jatkamalla toimintaansa *Mission Innovation* -aloitteen<sup>109</sup> ja puhtaan energian ministerikokouksen puitteissa. Lisäksi EU:n uudessa maailmanlaajuisessa yhteenliitettävyyttä koskevassa Global Gateway -strategiassa<sup>110</sup>, komission tiedonannossa *Kauppapolitiikan uudelleentarkastelu*<sup>111</sup> ja Etelä-Afrikan kanssa tehdyssä oikeudenmukaista energiasiirtymää koskevassa kansainvälisessä kumppanuudessa<sup>112</sup> korostetaan kansainvälisen yhteistyön ja kauppasuhteiden syventämisen merkitystä, jotta puhtaiden energiateknologioiden kilpailukykyä voidaan hyödyntää synergiassa EU:n sisämarkkinoiden avoimuuden ja houkuttelevuuden kanssa.

Kansainvälisen tutkimusyhteistyön, teknologian siirron, kauppapolitiikan ja energiadiplomatian on toimittava yhdessä, jotta voidaan varmistaa vääristymätön kauppa ja investoinnit teknologioihin, palveluihin ja raaka-aineisiin, joita tarvitaan siirtymään sekä EU:n sisällä että sen ulkopuolella. EU:n on myös hyödynnettävä laajemmin potentiaaliaan parantaa innovoinnin tasoa, jotta vältetään vaara, että sen riippuvuus muista suurista talouksista lisääntyy energiakäänteessä ja uudessa energijärjestelmässä tarvittavien tuontiteknologioiden osalta.

#### 2.4 Innovoinnin rahoitusympäristö EU:ssa<sup>113</sup>

**Ilmastoteknologiset ratkaisut**<sup>114</sup> edistävät EU:n kilpailukykyä ja teknologista itsenäisyyttä. Niillä sekä kehittyneiden tuotantotekniikoiden käyttöönotolla on ratkaiseva rooli hiilineutraaliuden saavuttamisessa vuoteen 2050 mennessä.<sup>115</sup>

<sup>105</sup> *Euroopan kansainvälistä yhteistyötä muuttuvassa maailmassa koskeva strategia* (COM(2021) 252 final).

<sup>106</sup> EU:n ulkoinen energiastrategia (JOIN(2022) 23 final).

<sup>107</sup> Uusi eurooppalainen tutkimusalue tutkimusta ja innovointia varten (COM(2020) 628 final).

<sup>108</sup> Horisontti Eurooppa -ohjelman tulosten hyödyntämisestä on jo saatavilla uusi opas osoitteessa <https://data.europa.eu/doi/10.2826/437645>

<sup>109</sup> <http://mission-innovation.net/> Viiden ensimmäisen menestyksekkään vuoden jälkeen lanseerattiin *Mission Innovation 2.0* ja joukko uusia missioita.

<sup>110</sup> Euroopan komission ja unionin ulkoasioiden ja turvallisuuspolitiikan korkean edustajan yhteinen tiedonanto Euroopan parlamentille, neuvostolle, Euroopan talous- ja sosiaalikomitealle, alueiden komitealle ja Euroopan investointipankille – *Global Gateway* (JOIN(2021) 30 final).

<sup>111</sup> *Kauppapolitiikan uudelleentarkastelu – Avoin, kestävä ja määrätietoinen kauppapolitiikka* (COM(2021) 66 final).

<sup>112</sup> Oikeudenmukaista energiasiirtymää koskeva kumppanuus Etelä-Afrikan kanssa (europa.eu).

<sup>113</sup> Tässä jaksossa esitetty analyysi perustuu PitchBookin tietoihin. PitchBookin ilmastoteknologian vertikaalissa on tällä hetkellä yksilöity yli 2 750 riskipääomayritystä (kun niitä vuoden 2021 CPR-raportin julkaisuhetkellä oli yli 2 250). Sen vuoksi vuosien 2020 ja 2021 CPR-raporttien historiallisia riskipääomasijoituksia koskevat luvut eivät ole suoraan vertailukelpoisia.

<sup>114</sup> PitchBookin ilmastoteknologian vertikaaliin on valittu 2 760 yritystä, jotka kehittävät ilmastonmuutoksen vaikutuksia lieventäviä tai niihin sopeutumista helpottavia teknologioita. Suurin osa vertikaalin yrityksistä keskittyy vähentämään lisääntyviä päästöjä hiilestä irtautumisen teknologioiden ja prosessien avulla. Tämän vertikaalin sovelluksiin kuuluvat

EU:n ilmastoteknologian ala on kuuden viime vuoden aikana houkutellut yhä enemmän riskipääomasijoituksia<sup>116</sup> eturivin innovaatioihin. Ilmastoteknologian kehittäminen valmiiksi voi kestää kauan, joten startup-yritysten on ratkaisevan tärkeää saada kaikkien rahoitusvaiheiden aikana huomattava määrä pääomaa. Lisäksi on erittäin tärkeää, että tutkimukseen ja innovointiin<sup>117</sup> investoidaan, valtiot vähentävät ilmastoteknologisten ratkaisujen kehittämisen riskejä ja yksityistä sektoria kannustetaan osallistumaan.

Maailmanlaajuisesti riskipääomasijoitukset **ilmastotoimiin** ovat osoittaneet vaikuttavaa sietokykyä pandemiaa vastaan, sillä vaikka investoinnit olivat jo vuonna 2020 korkealla tasolla (20,2 miljardia euroa), ne nousivat uusiin ennätyslukemiin vuonna 2021 (40,5 miljardia euroa, mikä merkitsee 100 prosentin lisäystä vuoteen 2020 verrattuna<sup>118</sup>). Tästä määrästä 6,2 miljardia euroa investoitiin vuonna 2021 EU:ssa toimiviin ilmastoteknologian startup- ja scaleup-yrityksiin, mikä on yli kaksi kertaa enemmän kuin vuonna 2020.<sup>119</sup> Summa muodostaa 15,4 prosenttia maailmanlaajuisista ilmastoteknologian riskipääomasijoituksista. Vuosi 2021 oli myös ensimmäinen vuosi, jolloin myöhemmän vaiheen investoinnit EU:n ilmastoteknologiaan olivat suuremmat kuin Kiinassa.<sup>120</sup> Alkuvaiheen investoinnit nousivat Yhdysvalloissa ja Kiinassa vuonna 2021 kaikkien aikojen korkeimmalle tasolle, mutta EU:ssa nousu oli vielä voimakkaampaa (Kaavio 6).

---

uusiutuvan energian tuotanto, pitkäaikainen energian varastointi, liikenteen sähköistäminen, maatalouden innovaatiot, teollisuusprosessien parantaminen ja kaivosteknologia.

<sup>115</sup> Tämä jakso laadittiin tiiviissä yhteistyössä Euroopan komission Clean Energy Technology Observatoryn kanssa (Georgakaki, A. ym., *Clean Energy Technology Observatory Overall Strategic Analysis of Clean Energy Technology in the European Union – 2022 Status Report*, Euroopan komissio, 2022, JRC131001).

<sup>116</sup> Riskipääomasopimukset määritellään alkuvaiheen sopimuksiksi (mukaan lukien siemenvaihetta edeltävä vaihe, kiihdytys-/haudutusvaihe, enkelirahoitusvaihe, siemenvaihe sekä A- ja B-sarja, jotka tapahtuvat viiden vuoden kuluessa yhtiön perustamispäivästä) ja myöhemmän vaiheen sopimuksiksi (yleensä kierrokset B-sarjasta Z+-sarjaan ja/tai sellaiset, jotka tapahtuvat yli viiden vuoden kuluttua yhtiön perustamispäivästä, julkistamattomat sarjat ja pääomasijoitusten kasvu/laajentuminen).

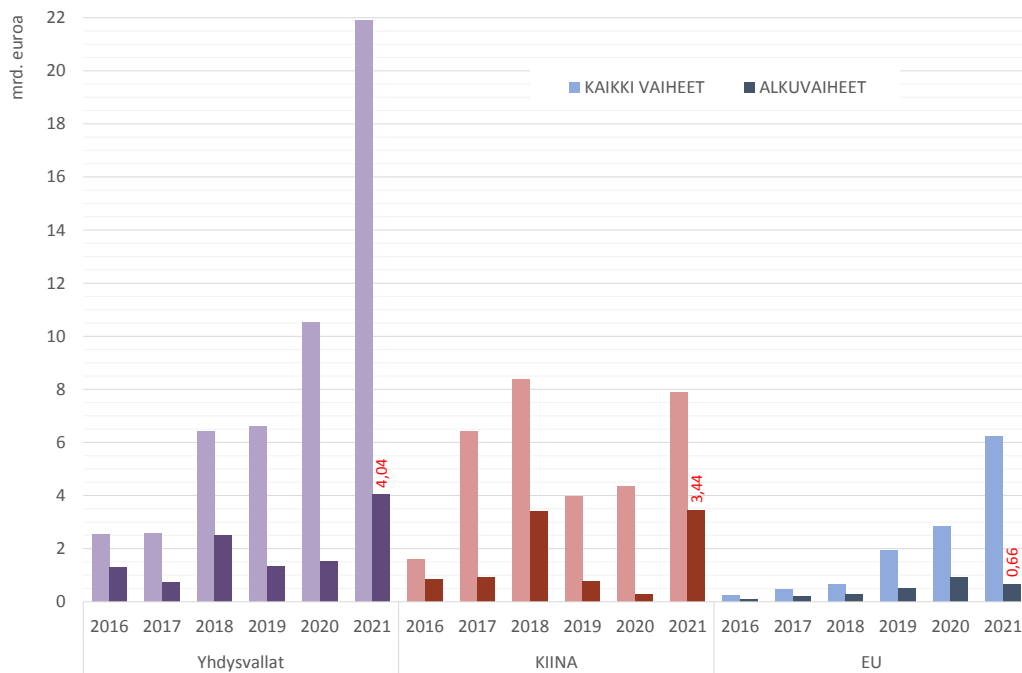
<sup>117</sup> Tästä on syntynyt käsite ”deep green start-up” eli startup-yritys, joka pyrkii vastaamaan ympäristöhaasteisiin huipputeknologian avulla (esimerkiksi ympäristöystävällinen akkujen valmistus ja sähkökäyttöiset ilma-alukset). Deep green sijaitsee ilmastoteknologian ja syväteknologian risteyskohdassa (viimeksi mainittu tarkoittaa tekniikassa, matematiikassa, fysiikassa ja lääketieteessä kehitettyjen tieteellisten keksintöjen soveltamista, ja siihen liittyy tyypillisesti pitkiä tutkimus- ja kehityssyklejä ja testaamattomia liiketoimintamalleja).

<sup>118</sup> Tämä on 5,2 prosenttia riskipääomarahoituksen kokonaisuudesta vuonna 2021 PitchBookin tietoihin perustuvan JRC:n laatiman selvityksen mukaan (vuonna 2020 osuus oli 4,6 prosenttia).

<sup>119</sup> Komission kertomus Euroopan parlamentille ja neuvostolle puhtaan energian teknologioiden kilpailukyvyyn edistymisestä (COM(2021) 952 final).

<sup>120</sup> Pelkästään ruotsalaiseen sähköajoneuvojen akkujen kehittäjään Northvoltiin tehdyt investoinnit ovat vaikuttaneet merkittävästi EU:n ilmastoteknologiayritysten riskipääomasijoitusten yleiseen kehitykseen viime vuosina. Kun yritys siirtyi myöhempiin investointivaiheisiin, alkuvaiheen investoinnit EU:n ilmastoteknologiayrityksiin vähenivät vuonna 2021, kun taas myöhemmän vaiheen investoinnit kasvoivat ja ylittivät ensimmäistä kertaa Kiinassa ilmoitetun tason.

Kaavio 6: Riskipääomasijoitukset ilmastoteknologian alalla toimiviin startup-yrityksiin ja scale-up-yrityksiin



Lähde: JRC:n analyysi PitchBookin tietojen perusteella.

**Energia-alan** osuus maailmanlaajuisista ilmastoteknologian riskipääomasijoituksista vuonna 2021 oli 22 prosenttia (puhtaan energian tuotannon<sup>121</sup> osuus oli 13,2 prosenttia ja sähköverkkoteknologian<sup>122</sup> 8,7 prosenttia). Energia-alan taso on lähes neljä kertaa korkeampi (x 3,8) kuin vuonna 2020<sup>123</sup>, ja vaikka se jää edelleen liikkumisen ja liikenteen alan (46 prosenttia) jälkeen, se on ensimmäistä kertaa ohittanut elintarvike- ja maankäyttöalan (19,6 prosenttia).

EU:ssa riskipääomasijoitukset energiayrityksiin vahvistivat edellisten neljän vuoden aikana tapahtuneen kestäväen kasvun (60 prosentin nousu vuoteen 2020 verrattuna). Tästä hyvästä suorituksesta huolimatta energiaan tehtyjen EU:n riskipääomasijoitusten suhteellinen osuus puolittui vuonna 2021. EU:ssa 10 prosenttia riskipääomasijoituksista suuntautuu energiayhtiöihin. Tässä unioni on kolmannella sijalla, kaukana Yhdysvalloista (62 prosenttia) ja Kiinasta (13,3 prosenttia), joissa molemmissa investoinnit olivat vuonna 2021 huomattavan suuria. Tämä johtui valtavista investoinneista puhtaaseen energiantuotantoon.

Vaikka riskipääomarahoituksen dynamiikka EU:ssa on ollut myönteistä ja unionin ilmastoteknologia houkuttelee riskipääomasijoittajia, rakenteelliset esteet ja yhteiskunnalliset

<sup>121</sup> Mukaan lukien aurinko-, tuuli- ja ydinenergia, energian talteenotto jätteestä sekä valtameri-, vesi- ja maalämpöenergia.

<sup>122</sup> Mukaan lukien pitkäaikainen energian varastointi, verkon hallinta, analytiikka, akkuteknologia, älyverkot ja puhtaan vedyn tuotanto.

<sup>123</sup> Investoinnit puhtaaseen energiantuotantoteknologiaan ovat tämän kasvun tärkein liikkeellepaneva voima. Ydinfuusioon Yhdysvalloissa ja tuulivoimaan Kiinassa tehtyjen merkittävien ja mittavien investointien ansiosta investoinnit ovat kasvaneet 2,4 kertaa niin nopeasti kuin investoinnit verkkoteknologioihin ja yleensä ilmastoteknologiaan liittyviin riskipääomasijoituksiin.

haasteet<sup>124</sup> jarruttavat edelleen EU:n ilmastoteknologiaan keskittyvien scaleup-yritysten kasvua muihin suuriin talouksiin verrattuna. EU:n kestäviä toimintoja koskeva luokitusjärjestelmä tarjoaa kuitenkin puitteet kestävien investointien helpottamiselle ja määrittelee ympäristön kannalta kestävät taloudelliset toiminnot. Lisäksi EU:n innovaatiopolitiikka on laajentunut vuosien mittaan, ja institutionaalinen toimintaympäristö on muuttunut sen myötä.<sup>125</sup>

Horisontti Eurooppa -puiteohjelman kolmas pilari "Innovatiivinen Eurooppa" on tarjonnut välineitä, joilla tuetaan startup-yrityksiä, scaleup-yrityksiä sekä pieniä ja keskisuuria yrityksiä (pk-yrityksiä). Tässä yhteydessä Euroopan innovaationeuvosto (EIC), jonka talousarvio on 10,1 miljardia euroa vuosina 2021–2027, on EU:n innovoinnin lippulaivaohjelma läpimurtoteknologioiden ja käänteentekevien innovaatioiden tunnistamiseksi, kehittämiseksi ja laajentamiseksi. Horisontti Eurooppa -ohjelmasta tuetaan myös Euroopan innovaatioekosysteemejä koskevaa aloitetta ja Euroopan innovaatio- ja teknologiainstituuttia (EIT). EIT InnoEnergy on rakentanut maailman suurimman kestävänsä energian innovaatioekosysteemin, ja se toimii myös tiennäyttäjänä EU:n irtautuessa hiilestä vuoteen 2050 mennessä kolmen teollisen arvoketjun (EU:n akkualan yhteenliittymä, *European Green Hydrogen Acceleration Centre* ja eurooppalainen aurinkoenergia-aloite) johtaessa siirtymää.

**EU:n rahoitusohjelmista** voidaan todeta, että innovaatorahasto on yksi maailman<sup>126</sup> suurimmista rahastoista puhtaiden innovatiivisten teknologioiden demonstrointia ja teollisen mittakaavan käyttöönottoa varten. InvestEU-ohjelma on tärkeä osa EU:n elpymissuunnitelmaa, jolla tuetaan pk-yritysten, midcap-yritysten ja muiden yritysten rahoituksen saantia ja saatavuutta. Koheesipolitiikka tarjoaa erityisesti pk-yrityksille suuria ja pitkäaikaisia investointeja innovointiin ja teollisuuden arvoketjuihin, jotta voidaan vauhdittaa uusiutuvien ja vähähiilisten teknologioiden ja liiketoimintamallien kehittämistä. Lisäksi Euroopan investointipankki (EIP) ja Euroopan investointirahasto (EIR) tukevat tehokkaasti EU:n kestävyystavoitteiden saavuttamiseksi tarvittavan syväteknologian kehittämistä. Muilla rahoitusohjelmilla, kuten modernisaatorahastolla ja ehdotetulla sosiaalisella ilmatorahastolla<sup>127</sup>, on tarkoitus siirtää ilmastoon liittyvistä politiikoista saatavia tuloja energiakäänteen tukemiseen.

Näiden ohjelmien ja muiden EU:n aloitteiden, kuten pääomamarkkinaunionin<sup>128</sup>, tavoitteena on saada yksityiset sijoittajat rahoittamaan entistä enemmän ilmastoteknologiaa ja ilmastoon liittyvää syväteknologiaa<sup>129</sup> hyödyntäviä startup-yrityksiä. Esimerkiksi Euroopan komission ja Breakthrough Energy -verkoston Catalyst-ohjelman<sup>130</sup> välinen urauurtava kumppanuus on

---

<sup>124</sup> Komission kertomus Euroopan parlamentille ja neuvostolle puhtaan energian alan kilpailukyvyyn edistymisestä (COM(2020) 953 final) ja *Uusi eurooppalainen innovaatio-ohjelma* (COM(2022) 332 final).

<sup>125</sup> *Uusi eurooppalainen innovaatio-ohjelma* (COM(2022) 332 final).

<sup>126</sup> Tukea 38 miljardia euroa vuosina 2020–2030 olettaen, että hiilen hinta on 75 euroa/tCO<sub>2</sub>.

<sup>127</sup> [https://ec.europa.eu/clima/eu-action/european-green-deal/delivering-european-green-deal/social-climate-fund\\_en](https://ec.europa.eu/clima/eu-action/european-green-deal/delivering-european-green-deal/social-climate-fund_en)

<sup>128</sup> [https://finance.ec.europa.eu/capital-markets-union-and-financial-markets/capital-markets-union\\_fi](https://finance.ec.europa.eu/capital-markets-union-and-financial-markets/capital-markets-union_fi)

<sup>129</sup> Syväteknologiaan keskittyvät startup-yritykset toimivat tieteellisen tiedon pohjalta, ja niille ovat tyypillisiä pitkät tutkimus- ja kehityssyklit ja testaamattomat liiketoimintamallit. Syvän ilmastoteknologian startup-yritykset ovat yrityksiä, jotka käyttävät huipputeknologiaa ympäristöhaasteisiin vastaamisessa.

<sup>130</sup> Komission ja Breakthrough Energy -verkoston Catalyst-ohjelman välinen kumppanuus (europa.eu); [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/fi/IP\\_21\\_2746](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/fi/IP_21_2746)

esimerkki siitä, miten voidaan lisätä investointeja kriittisiin ilmastoteknologioihin yhdistämällä julkisen ja yksityisen sektorin voimavarat.

Luomalla synergiaa EU:n ohjelmien ja välineiden välille ja lisäämällä EU:n paikallisten innovaatioekosysteemien välistä koheesiota voidaan auttaa EU:ta nousemaan maailmanlaajuisesti johtajaksi ilmastoteknologian alalla ja kuromaan näin umpeen EU:n ja muiden merkittävien talouksien välinen kasvukuilu hyödyntämällä unionin moninaisia kykyjä, aineetonta omaisuutta ja teollisia valmiuksia. Euroopan innovaatioiden tulostaulussa 2022<sup>131</sup> korostetaan yleiseurooppalaisen innovaatioekosysteemin perustamisen merkitystä. Komission vuoden 2022 tiedonanto *Uusi eurooppalainen innovaatio-ohjelma*<sup>132</sup> on jo askel eteenpäin, sillä sen tavoitteena on hyödyntää EU:n innovaatioekosysteemin vahvuuksia<sup>133</sup>.

## 2.5 Systemisen muutoksen vaikutukset

Vihreän ja digitaalisen siirtymän aikaansaamiseksi ja Euroopan vihreän kehityksen ohjelman ja 55-valmiuspaketin tavoitteiden saavuttamiseksi EU:n puhtaan energian alan on nopeutettava jo käynnissä olevaa ajattelutavan muutosta: on siirryttävä pois kapeasta alakohtaisesta ajattelusta ja vahvistettava horisontaalista yhteistyötä (esimerkiksi raaka-aineiden kriittinen rooli, energiajärjestelmän digitalisointi ja eri teknologioiden vuorovaikutus teollisuusprosesseissa, yksittäisissä rakennuksissa ja kaupungeissa). Esimerkkejä tästä systeemisestä muutoksesta ovat rakennuksiin liittyvät puhtaat energiateknologiat, energiajärjestelmän digitalisointi sekä energiayhteisöt ja alueellinen yhteistyö.

Rakennuksiin liittyvät puhtaat energiateknologiat: ilmasto- ja energiatavoitteiden saavuttamista helpotetaan pakollisilla katoille asennettavilla aurinkosähkölaitoksilla ja kaksinkertaistamalla nykyinen käyttäjäkohtaisten lämpöpumppujen<sup>134</sup> käyttöönotto. Näiden tavoitteiden saavuttaminen edellyttää myös, että rakennusala otetaan käyttöön suuri joukko uusia rakennuksia koskevia täydentäviä ratkaisuja, kuten tehokkaita eristysmenetelmiä ja ohjauksjärjestelmiä, mutta myös resurssitehokkaita toimenpiteitä. Tämän olisi kuljettava käsi kädessä perusparannusasteen nostamisen ja pitkälle menevien perusparannusten edistämisen kanssa. Paikalla tapahtuva energian varastointi (akut) on toinen tärkeä tekijä, jonka avulla voidaan lisätä lämpöpumppujen osuutta ja välttää sähköntuotannon ja sähkönsiirron tai -jakelun äärimmäisiä kuormitushuippuja. Tuotteiden saatavuuden lisäksi eri teknologioiden asennustaidot ja operatiiviset palvelut ovat ratkaisevan tärkeitä EU:n puhtaan energian aloille ja sen kilpailukyvyille.

Energiajärjestelmän digitalisointi: digitalisaatio laajenee eksponentiaalisesti: internet-liikenne on kolminkertaistunut pelkästään viiden viime vuoden aikana, ja noin 90 prosenttia maailman

<sup>131</sup> Euroopan komissio, Euroopan innovaatioiden tulostaulu 2022, vuosikertomus 2022.

<sup>132</sup> Uusi eurooppalainen innovaatio-ohjelma (COM(2022) 332 final).

<sup>133</sup> Tiedonannossa todetaan, että EU ryhtyy konkreettisiin toimenpiteisiin, joilla parannetaan EU:n startup- ja scaleup-yritysten mahdollisuuksia saada rahoitusta, parannetaan sääntöjä, jotta innovoijat voivat kokeilla uusia ideoita, autetaan luomaan ”alueellisia innovaatiolaaksoja”, houkutellaan ja säilytetään osaajia EU:ssa ja parannetaan innovointipoliittista päätöksentekoa selkeällä terminologialla, indikaattoreilla ja data-aineistolla sekä antamalla EU-maille toimintapoliittista tukea.

<sup>134</sup> *REPowerEU-suunnitelma* (COM(2022) 230 final).

nykyisestä datasta on luotu kahden viime vuoden aikana.<sup>135</sup> Energian hajauttaminen – sekä tuotantotasolla että miljoonien liitettyjen älylaitteiden, lämpöpumppujen ja sähköautojen avulla – muuttaa paikallista energiajärjestelmää. Saksan Hampuria koskeva arvio osoitti, että mahdolliset kustannussäästöt ovat huomattavat: investoimalla 2 miljoonaa euroa älykkääseen lataukseen kysyntähuippujen tasaamiseksi voidaan välttää 20 miljoonan euron investoinnit verkon vahvistamiseen, joka olisi tarpeen sähköajoneuvojen (9 prosenttia kaikista kaupungin ajoneuvoista) lataustarpeisiin vastaamiseksi.<sup>136</sup> Jos paikallisia energiantarpeita ei hallita älykkäästi, jakeluverkkojen kapasiteettirajoitukset voivat hidastaa siirtymistä puhtaaseen energiaan. Jotkin digitaaliset ratkaisut voivat kuitenkin lisätä energiankulutusta ja kasvihuonekaasupäästöjä, jos ei toteuteta asianmukaisia tehokkuustoimenpiteitä, kuten hukkalämmön talteenottoa datakeskuksista.

Energiayhteisöt ja alueellinen yhteistyö: vähintään kaksi miljoonaa Euroopan kansalaista on osallisena yli 8 400 energiayhteisössä, jotka ovat toteuttaneet yli 13 000 hanketta vuodesta 2000 lähtien.<sup>137</sup> Energiayhteisöt ovat tärkeitä puhtaiden energiateknologioiden ja -ratkaisujen koekenttiä ja sovellusalueita. Euroopan energiayhteisöjen uusiutuvan energian kapasiteetin arvioidaan tällä hetkellä olevan yhteensä vähintään 6,3 gigawattia (eli noin 1–2 prosenttia kansallisella tasolla asennetusta kapasiteetista). Aurinkosähkö muodostaa leijonanosan asennetusta kapasiteetista. Seuraavaksi eniten on maatuulivoimaa. Kehittämällä useampia puhtaita energiateknologioita koskevia osallistavia malleja erityisesti pienituloisia kotitalouksia varten voidaan edistää uusien energiayhteisöjen kehittymistä kaikkialla EU:ssa ja samalla torjua energiaköyhyyttä.

Horisontaalisten alojen välisen vuorovaikutuksen tehostaminen ja eri alojen keskinäisten riippuvuuksien huomioon ottaminen sekä jäsenvaltioiden että EU:n tasolla on ratkaisevan tärkeää, jotta voidaan nopeuttaa puhtaiden energiateknologioiden käyttöönottoa ja yleistymistä sekä vahvistaa EU:n kilpailukykyä maailmanlaajuisilla puhtaan energian markkinoilla.<sup>138</sup>

### 3. TÄRKEIMMÄT PUHTAAN ENERGIAN TEKNOLOGIAT JA RATKAISUT

Tässä jaksossa arvioidaan erilaisten energiantuotannon ja -varastoinnin sekä energiajärjestelmän integroinnin kannalta keskeisten puhtaiden energiateknologioiden ja -ratkaisujen kilpailukykyä. Siinä esitetään myös näkemyksiä siitä, miten teknologia ja markkinat kehittyvät Euroopan vihreän kehityksen ohjelman ja REPowerEU:n tavoitteiden saavuttamiseksi. Tässä jaksossa analysoidaan aurinkosähköä, tuulivoimaa, rakennussovelluksiin tarkoitettuja lämpöpumppuja, akkuja, vedyn tuotantoa elektrolyysin avulla, uusiutuvia polttoaineita ja digitaalista infrastruktuuria. Siinä esitetään myös

<sup>135</sup> Kansainvälinen energiajärjestö, *Digitalization and Energy*, 2017, <https://iea.blob.core.windows.net/assets/b1e6600c-4e40-4d9c-809d-1d1724c763d5/DigitalizationandEnergy3.pdf>

<sup>136</sup> Stromnetz Hamburg, *Elektromobilität – Netzausbaustrategie und Restriktionen im Hamburger Verteilnetz*, Hampuri, 2018, <https://www.hamburg.de/contentblob/10993526/1f90214d9b07e4de6323c078ff779d9d/data/d-anlage-13-pra%CC%88sentation-snh-20180504-energienetzbeirat-snh.pdf>

<sup>137</sup> Schwanitz, V. J., Wierling, A., Zeiss, J. P., von Beck, C., Koren, I. K., Marcroft, T., ja Dufner, S.: *The contribution of collective promoters to the energy transition in Europe - Preliminary estimates at European and country level from the COMETS inventory*, elokuu 2021, <https://doi.org/10.31235/osf.io/2ymuh>

<sup>138</sup> SAPEA (Science Advice for Policy by European Academies), *A systemic approach to the energy transition in Europe*, Berliini, 2021, <https://doi.org/10.26356/energytransition>

yleiskatsaus muihin tärkeisiin teknologioihin<sup>139</sup>. Tämä näyttöön perustuva, liitteessä I lueteltuihin indikaattoreihin pohjautuva analyysi tehtiin yhteisen tutkimuskeskuksen toteuttaman komission sisäisen puhtaan energiateknologian seurantakeskuksen (CETO) puitteissa. Yksityiskohtaiset teknologiakohtaiset raportit ovat saatavilla CETOn verkkosivuilla<sup>140</sup>.

### 3.1. Aurinkosähkö<sup>141</sup>

Aurinkosähkö on ollut maailman nopeimmin kasvava sähkötuotantoteknologia viime vuosikymmenen aikana. Aurinkosähköllä on keskeinen rooli kaikissa ilmastoneutraaliin energijärjestelmään siirtymistä koskevissa skenaarioissa<sup>142</sup>. Hiljattain annetun Euroopan aurinkoenergiastrategiaa koskevan tiedonannon<sup>143</sup> mukaan EU:ssa olisi asennettava noin 450 gigawattia uutta aurinkoenergianjärjestelmän vaihtovirtakapasiteettia vuosina 2021–2030. Kun otetaan huomioon nykyinen suuntaus asentaa tasavirtakapasiteettia verkkoliitännän käytön optimoimiseksi 1,25–1,3-kertaisesti vaihtovirtakapasiteettiin nähden<sup>144</sup>, aurinkoenergian nimellinen kokonaiskapasiteetti EU:ssa olisi näin ollen noin 720 gigawattipiikkiä. EU:n aurinkoenergiastrategiassa puututaan tärkeimpiin pullonkauloihin ja investointien esteisiin. Tämän tarkoituksena on nopeuttaa käyttöönottoa, varmistaa toimitusvarmuus ja maksimoida aurinkoenergian sosioekonomiset hyödyt koko arvoketjussa.<sup>145</sup> Komissio hyväksyi virallisesti lokakuussa 2022 EU:n aurinkosähköalan yhteenliittymän, joka on yksi EU:n aurinkoenergiastrategian konkreettisista aloitteista. Sen tavoitteena on lisätä innovatiivisten aurinkosähkötuotteiden ja -komponenttien valmistusteknologioiden käyttöä.<sup>146</sup>

Teknologia-analyysi: Piikennopohjaisten moduulien keskimääräinen hyötysuhde nousi 20,9 prosenttiin vuonna 2021, kun se vuonna 2011 oli 15,1 prosenttia.<sup>147</sup> Tämä johtuu siitä, että on alettu käyttää suurempia puolijohdekietkoja ja tehokkaampia aurinkokennoja, mukaan lukien monikytkentäkennot. Euroopalla on merkittävää asiantuntemusta ja johtoasema lupaavassa perovskiittitekniologiassa, jota varten useat EU:n yritykset, kuten

<sup>139</sup> Vesivoima, valtamerienergia, geoterminen energia, keskittävä aurinkovoima ja -lämpö, hiilidioksidin talteenotto, hyödyntäminen ja varastointi, bioenergia, ydinvoima.

<sup>140</sup> [https://setis.ec.europa.eu/publications/clean-energy-technology-observatory-ceto\\_en](https://setis.ec.europa.eu/publications/clean-energy-technology-observatory-ceto_en)

<sup>141</sup> CETOn näyttöön perustuva analyysi (Chatzipanagi, A. ym., *Clean Energy Technology Observatory: Photovoltaics in the European Union 2022 Status Report on Technology Development, Trends, Value Chains and Markets*, Euroopan komissio, 2022, doi: 10.2760/812610 JRC130720) ellei toisin mainita.

<sup>142</sup> Erityisesti sellaisissa skenaarioissa, joita ovat laatineet valtiosta riippumattomat järjestöt, kuten Greenpeace, Energy Watch Group, Bloomberg New Energy Finance, Kansainvälinen energijärjestö, Kansainvälinen uusiutuvan energian virasto sekä aurinkosähköalan järjestöt.

<sup>143</sup> *EU:n aurinkoenergiastrategia* (COM(2022) 221 final).

<sup>144</sup> Kougias I. ym., *The role of photovoltaics for the European Green Deal and the recovery plan*, 2021, (doi: [10.1016/j.rser.2021.111017](https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111017)). AC: vaihtovirta (alternating current); DC: tasavirta (direct current).

<sup>145</sup> EU:n aurinkoenergiastrategiassa ilmoitettuihin lippulaivahankkeisiin sisältyvät EU:n aurinkokattoaloite, komission lupamenettelypaketti, mukaan lukien lainsäädäntöehdotus, suositukset ja ohjeet, maalla tuotettavaa uusiutuvaa energiaa, muun muassa aurinkoenergiaa, koskeva EU:n laajamittainen osaamiskumppanuus ja EU:n aurinkosähköalan yhteenliittymä). EU:n aurinkokattoaloitteen mukaan kattoaurinkosähköjärjestelmien asentaminen olisi pakollista i) vuoteen 2026 mennessä kaikissa uusissa julkisissa ja kaupallisissa rakennuksissa, joiden hyötypinta-ala on yli 250 neliometriä; ii) vuoteen 2027 mennessä kaikissa olemassa olevissa julkisissa ja kaupallisissa rakennuksissa, joiden hyötypinta-ala on yli 250 neliometriä iii) vuoteen 2029 mennessä kaikissa uusissa asuinrakennuksissa. Näiden toimenpiteiden odotetaan yhdessä lisäävän merkittävästi investointeja aurinkosähkölaitteistoihin ja lisäävän aurinkosähkön tuotantokapasiteettia EU:ssa.

<sup>146</sup> [https://ec.europa.eu/info/news/commission-kicks-work-european-solar-photovoltaic-industry-alliance-2022-oct-11\\_en](https://ec.europa.eu/info/news/commission-kicks-work-european-solar-photovoltaic-industry-alliance-2022-oct-11_en)

<sup>147</sup> VDMA, *International Technology Roadmap for Photovoltaic (ITRPV)*, 2022.

Evolar (Ruotsi), Saule Technologies (Puola) ja Solaronix (Ranska), perustavat parhaillaan tuotantolinjoja.

EU:n aurinkoenergiastrategialla<sup>148</sup> pyritään kääntämään aurinkosähköteollisuuden julkisessa ja yksityisessä rahoituksessa havaittu laskusuuntaus.<sup>149</sup> EU on alalla kuitenkin edelleen vahva innovaattori, sillä julkaisujen ja patenttihakemusten määrä vuosina 2017–2019 oli huomattava. Saksa on yksinään maailman viidennellä sijalla aurinkosähköön liittyvien arvokkaiden keksintöjen patentoimisessa.

Arvoketjuanalyysi: Sekä tuotantotiedot että uudet investointihankkeet vahvistavat Aasian ja erityisesti Kiinan hallitsevan aseman aurinkosähkötuotannossa. Koko vuoden 2021 alussa ilmoitettu monikiteisen piin 80 000 tonnin–lisävalmistuskapasiteetti (lisäys vuonna 2020 olemassa olleeseen noin 650 000 tonnin kokonaiskapasiteettiin) sekä jo rakenteilla oleva 118 000 tonnin kapasiteetti rakennetaan Kiinaan.<sup>150</sup> Piiaurinkokennot, joita tuotetaan pääasiassa Kiinassa, muodostavat yli 95 prosenttia maailmanlaajuisesta tuotannosta. EU:lla on kuitenkin edelleen huomattava osuus aurinkosähkölaitteiden (50 prosenttia) ja invertterien (15 prosenttia) valmistussegmentistä.

Maailmanmarkkinoiden analyysi: Maailmanlaajuiset investoinnit uuteen aurinkosähköntuotantoon lisääntyivät 19 prosenttia vuonna 2021, ja niiden määrä kasvoi 205 miljardiin Yhdysvaltain dollariin (242,5 miljardia euroa<sup>151</sup>). Vuonna 2021 EU:n kauppataase tällä sektorilla kuitenkin heikkeni entisestään: unionin tuonti kasvoi, kun taas vienti pysyi vakaana ja oli 13 prosenttia maailmanlaajuisesta viennistä. Materiaalikustannusten nousu monilla teollisuudenaloilla vuosina 2021 ja 2022 johti kennojen ja moduulien tuotantokustannusten poikkeukselliseen ja ennennäkemättömään nousuun, mikä taittoi vuosikymmenen mittaisen kustannusten laskusuuntauksen. Aurinkosähkön kilpailukyky parani kuitenkin edelleen verrattuna uusiutumattomiin sähkönlähteisiin.<sup>152</sup> Näin ollen aurinkosähkö on yhä useammassa maassa edullisin tuotantolähde. Luonnonkatastrofeista, onnettomuuksista tai kansainvälisistä konflikteista johtuva fossiilisten polttoaineiden hintojen nousu voi vain vahvistaa tätä suuntausta.

Johtopäätöksenä voidaan todeta, että viimeisimmät saatavilla olevat tiedot vuosilta 2021 ja 2022 vahvistavat aiemmin havaitun suuntauksen.<sup>153</sup> EU on vahvistanut asemansa yhtenä suurimmista aurinkosähkön markkina-alueista ja vahvana innovoijana erityisesti kehittymässä olevissa aurinkosähköteknologioissa ja -sovelluksissa (kuten maatalousaurinkosähkössä, rakennuksiin integroidussa aurinkosähkössä ja kelluvissa

<sup>148</sup> Se pyrki erityisesti kehittämään seuraavan Horisontti Eurooppa -työohjelman puitteissa aurinkoenergian T&I-lippulaivahankkeen, perustamaan T&I-pilarin ehdotettuun EU:n aurinkosähköteollisuuden yhteenliittymään ja kehittämään eurooppalaisen tutkimusalueen puitteissa aurinkoenergiaa koskevan yhteisen T&I-ohjelman jäsenvaltioiden kanssa.

<sup>149</sup> Tuoreimmat luvut vuosilta 2018 ja 2019.

<sup>150</sup> Jäger-Waldau, Arnulf (2022), *Overview of the Global PV Industry*. Teoksessa Letcher, Trevor M. (toim.) *Comprehensive Renewable Energy*, 2. painos, osa 1, s. 130–143. Oxford: Elsevier. Doi. 10.1016/B978-0-12-819727-1.00054-6

<sup>151</sup> Vuoden 2021 keskimääräisen vaihtokurssin mukaan (1,1827 euroa = yksi Yhdysvaltain dollari). Ks. [https://www.ecb.europa.eu/stats/policy\\_and\\_exchange\\_rates/euro\\_reference\\_exchange\\_rates/html/eurofxref-graph-usd.en.html](https://www.ecb.europa.eu/stats/policy_and_exchange_rates/euro_reference_exchange_rates/html/eurofxref-graph-usd.en.html)

<sup>152</sup> Tämä johtuu siitä, että maakaasun, öljyn ja hiilen hinnat ovat nousseet paljon nopeammin samalla ajanjaksolla. Ks. <https://www.iea.org/reports/renewable-energy-market-update-may-2022>.

<sup>153</sup> Komission kertomus Euroopan parlamentille ja neuvostolle puhtaan energian teknologioiden kilpailukyvyen edistymisestä (COM(2021) 952 final).

aurinkosähkölaitoksissa). EU on kuitenkin erittäin riippuvainen useiden keskeisten komponenttien (kiekot, harkot, kennot ja moduulit) tuonnista Aasiasta, ja sillä on edelleen merkittävä asema ainoastaan tuotantolaitteiden ja invertterien valmistussegmenteissä (jotka kärsivät tällä hetkellä pullonkaulasta sirujen puutteen vuoksi<sup>154</sup>). Lisäongelmia aiheuttavat esimerkiksi hintatasoon liittyvät rajoitteet (erityisesti pienituloisille kotitalouksille ja pk-yrityksille) ja kohtuuttoman pitkät odotusajat (esimerkiksi koulutettujen aurinkosähköasentajien riittämättömän määrän vuoksi). Nämä lisäongelmat hankaloittavat aurinkosähköenergian laajaa käyttöönottoa jo nyt. EU:n aurinkoenergiastrategiassa ilmoitetut toimenpiteet ja lippulaivahankkeet tarjoavat tärkeimmät mahdollisuudet investoida aurinkoenergiaan ja kehittää aurinkoenergian tuotantokapasiteettia EU:ssa sekä monipuolistaa tuontia. Lisäksi jatkuva teknologinen edistys kohti tehokkaampia ja kestävämpiä kennojen suunnittelu- ja valmistusprosesseja on mahdollistanut sen, että aurinkosähkötologioiden kilpailukyky uusiutumattomiin energialähteisiin verrattuna paranee edelleen raaka-ainekustannusten noususta huolimatta. Nämä osatekijät vahvistavat liiketoimintaedellytyksiä sekä tuotannon että käyttöönoton lisäämiseksi EU:ssa, innovatiiviset sovellukset mukaan luettuina.

### 3.2. Merituulivoima ja maatuulivoima<sup>155</sup>

Tuulivoimalla on keskeinen asema EU:n ilmasto- ja energiapolitiikassa, koska tuulivoiman käyttöönoton nopeuttaminen on olennaisen tärkeää Euroopan vihreän kehityksen ohjelman, 55-valmiuspaketin ja REPowerEU:n tavoitteiden saavuttamiseksi. REPowerEU-suunnitelmassa kehoitetaan nopeuttamaan tuulivoimakapasiteetin asentamista, sillä vuoteen 2030 mennessä on tarkoitus asentaa 510 gigawattia tuulivoimaa.<sup>156</sup> Tämän odotetaan muodostavan 31 prosenttia EU:n asennetusta sähköntuotantokapasiteetista.<sup>157</sup>

EU on ollut tuulienergian tutkimuksen ja innovoinnin alalla maailmanlaajuisesti johtavassa asemassa vuodesta 2014, ja siihen liittyvien julkisten menojen määrä oli 883 miljoonaa euroa vuosina 2014–2021. Nykyisin 38 prosenttia kaikista innovointiyrityksistä on sijoittunut unioniin, ja unionissa on kaikkein eniten alan startup-yrityksiä ja innovoivia yhtiöitä. Tuulivoimaa asennettiin EU:ssa kuitenkin vain 11 gigawattia vuonna 2021 (10 gigawattia maatuulivoimaa, 1 gigawatti merituulivoimaa), ja näkymät vuodelle 2022 ovat edelleen jäljessä siitä, mitä REPowerEU:n tavoitteiden saavuttaminen edellyttäisi. Kiina on tällä hetkellä edelläkävijä tuulivoimaloiden asennuksissa kumulatiivisesti mitattuna, sillä sen kapasiteetti on 338 gigawattia. Tämä johtuu pääasiassa käyttöönoton kiihtymisestä vuonna 2021. Samana vuonna EU:ssa saavutettiin noin 190 gigawatin kumulatiivinen asennettu kapasiteetti.

<sup>154</sup> EU:n siruja koskeva tutkimusraportti. [European Chips Report | Sisämarkkinoiden, teollisuuden, yrittäjyyden ja pk-yritystoiminnan pääosasto \(europa.eu\)](#).

<sup>155</sup> CETOn näyttöön perustuva analyysi (Telsnig, T. ym., *Clean Energy Technology Observatory: Wind Energy in the European Union – 2022 Status Report on Technology Development, Trends, Value Chains and Markets*, Euroopan komissio, 2022, doi:10.2760/855840, JRC130582.) ellei toisin mainita.

<sup>156</sup> *Implementing the REPower EU Action plan: investment needs, hydrogen accelerator and achieving the bio-methane targets* (SWD(2022) 230 final). Saatavilla osoitteessa <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52022SC0230&from=EN>

<sup>157</sup> PRIMES-mallinnuksen mukaiset ennusteet REPowerEU:n puitteissa asennetusta nettokapasiteetista vuonna 2030 (SWD(2022) 230 final), kaavio 3: REPowerEU:n puitteissa asennettu nettokapasiteetti vuonna 2030 (GWe). Saatavilla osoitteessa <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52022SC0230&from=EN>

REPowerEU:n tavoitteiden saavuttamiseksi tuulivoiman käyttöönnoton nopeuttaminen on ratkaisevan tärkeää. Se edellyttää selkeitä investointiputkia ja poliittisten tavoitteiden muuntamista todelliseksi toteutuksiksi, mihin kuuluu myös tuulipuistojen lupamenettelyjen helpottamista koskevien sitoumusten toteutus käytännössä.

Teknologia-analyysi: Asennetun maatuulivoiman maailmanlaajuinen kapasiteetti oli 769 gigawattia vuonna 2021 eli lähes kolme kertaa suurempi kuin vuosikymmen aiemmin<sup>158</sup>, ja pelkästään vuonna 2021 asennettiin 72 gigawattia kapasiteettia. Vuosi 2021 oli ennätysellinen myös merituulivoiman osalta, sillä maailmanlaajuisesti asennettiin 21 gigawattia uutta kapasiteettia eli yli kolminkertainen määrä aikaisempaan vuoden 2020 ennätykseen verrattuna. Maailmanlaajuinen asennettu kokonaiskapasiteetti oli 55 gigawattia vuonna 2021.<sup>159</sup> Kiina johti maailmanlaajuisen asennetun kapasiteetin kasvua, sillä siellä vuonna 2021 asennetun maatuulivoiman kapasiteetti oli 30,6 gigawattia ja merituulivoiman kapasiteetti 16,9 gigawattia.

EU:n maatuulivoiman kokonaiskapasiteetti oli 173 gigawattia ja merituulivoiman kokonaiskapasiteetti noin 16 gigawattia vuoden 2021 lopussa. Tuulivoiman kokonaiskapasiteetti oli noin 14 prosenttia EU:n kokonaissähkönkulutuksesta. Maatuulivoiman vuotuinen kapasiteetin lisäys vuonna 2021 oli EU:ssa myös toiseksi suurin sitten vuoden 2010 (vuoden aikana otettiin käyttöön 10 gigawattia<sup>160</sup>). EU:ssa otettiin kuitenkin käyttöön vain 1 gigawattia merituulivoimaa vuonna 2021.<sup>161</sup> Teollisuuden toimijat korostavat, että lupamenettelyt ovat yksi tuulienergian jatkuvan ja laajamittaisen käyttöönnoton suurimmista pullonkauloista, koska ne aiheuttavat viivästyksiä ja vähentävät loppuun saatettujen hankkeiden määrää. Tämä puolestaan aiheuttaa paineita toimitusketjun kannattavuudelle. Komissio on tehnyt lainsäädäntöehdotuksia ja antanut ohjeistusta lupien myöntämisen nopeuttamiseksi osana REPowerEU-pakettia.

Arvoketjuanalyysi: Tuulivoimasektori on kehittynyt maailmanlaajuisesti teollisuudenalaksi, jolla on noin 800 valmistuslaitosta. Suurin osa näistä on Kiinassa (45 prosenttia) ja Euroopassa (31 prosenttia).<sup>162</sup> EU on säilyttänyt johtoaseman tuulivoimateknologian alan arvokkaissa patenteissa: sen osuus arvokkaista keksinnöistä oli 59 prosenttia vuosina 2017–2019. EU:n turbiinivalmistajat ovat edelleen edelläkävijöitä laadussa, teknologisessa kehityksessä ja investoinneissa tutkimukseen ja innovointiin. EU:n tuulivoimateollisuudella on myös hyvät valmiudet valmistaa komponentteja, jotka tuovat paljon lisäarvoa (esim. tornit, vaihteistot ja roottorin siivet) ja laitteita, joita voidaan käyttää myös muilla teollisuudenaloilla (esim. generaattorit, muuntajat ja ohjausjärjestelmät). EU:n merituulivoimaan liittyvän valmistuksen arvoketjussa komponentit hankitaan pääasiassa EU:ssa toimivilta valmistajilta. Maatuulivoiman osalta sen sijaan EU:n alkuperäiset laitevalmistajat hankkivat komponenttinsa useilta eri ulkomaisilta toimittajilta.

Monet generaattorien raaka-aineista tuodaan pääasiassa Kiinasta. Mahdolliset vaikeudet lisätä raaka-ainetuotantoa vuoteen 2030 ulottuvien tavoitteiden saavuttamiseksi voivat aiheuttaa haasteita EU:n tuulivoimateollisuudelle. Esteenä ovat myös resurssien hintojen nousu

<sup>158</sup> *Renewable Capacity Statistics 2022*, IRENA, Abu Dhabi, 2002.

<sup>159</sup> *Renewable Capacity Statistics 2022*, IRENA, Abu Dhabi, 2002.

<sup>160</sup> *Wind Energy in Europe: 2021 Statistics and the outlook for 2022–2026*, WindEurope, Belgia, 2022.

<sup>161</sup> *Wind Energy in Europe: 2021 Statistics and the outlook for 2022–2026*, WindEurope, Belgia, 2022.

<sup>162</sup> Seuraavina tulevat Intia (7 prosenttia), Brasilia (5 prosenttia) ja Pohjois-Amerikka (4,5 prosenttia). Ks. myös: WindEurope/Wood Mackenzie, *Wind energy and economic recovery in Europe*, Belgia, 2020.

vuonna 2021 ja tarjonnan epävarmuus. Teollisuus on myös nostanut esiin komposiittisiipien kierrätykseen liittyviä ympäristöongelmia. Sekä kansalliset että EU:n tuulivoiman tutkimusohjelmat keskittyvät siksi yhä enemmän kierrätettävyyteen.

Maailmanmarkkinoiden analyysi: EU:n kauppataase muun maailman kanssa on pysynyt viime vuosikymmenen aikana positiivisena 1,8–2,8 miljardin euron välillä. EU:n kauppataase Kiinan ja Intian kanssa on kuitenkin ollut negatiivinen vuodesta 2018 alkaen. Kiinalaiset alkuperäiset laitevalmistajat saavuttivat vuonna 2020 ensimmäistä kertaa suuremman maailmanlaajuisen markkinaosuuden kuin EU:n alkuperäiset laitevalmistajat. EU:n johtavilla markkinoilla on kuitenkin huomattava määrä eurooppalaisia valmistajia.<sup>163</sup>

Johtopäätöksenä voidaan todeta, että EU:n tuulivoimasektori on edelleen maailman kärjessä tutkimuksen ja innovoinnin sekä arvokkaiden patenttien alalla. Tämä johtuu sen käytettävissä olevasta valmistuskapasiteetista, työvoimasta ja osaamisesta. Toimialan on kuitenkin yli kaksinkertaistettava nykyinen vuotuinen kapasiteetin asennustahti EU:ssa, jotta vuoden 2030 tavoitteet voidaan saavuttaa.

Uusiutuvia energialähteitä koskevan direktiivin<sup>164</sup>, sen äskettäisen muutosehdotuksen<sup>165</sup> sekä komission vuonna 2022 antamien asiaa koskevien suosituksen ja ohjeiden<sup>166</sup> täytäntönnäpön odotetaan poistavan tärkeimmät lupiin liittyvät käyttöönoton esteet. Selkeä ennakoilmoitus jäsenvaltioiden tuulivoimalasuunnitelmista mahdollistaa myös tulevan kapasiteetin oikea-aikaisen valmistelun. Samanaikaisesti kierrätettävyyttä koskeva tutkimus ja innovointi vie alaa eteenpäin puuttamalla ympäristökysymyksiin ja toimitushäiriöihin, mikä parantaa EU:n tuulivoimasektorin kilpailukykyä.

### **3.3.Lämpöpumput rakennussovelluksiin**

EU:n tasolla lämpöpumppuja tuetaan yhä enemmän Euroopan vihreän kehityksen ohjelmassa, 55-valmiuspaketissa ja REPowerEU-suunnitelmassa<sup>167</sup>. REPowerEU-suunnitelmassa kehoitetaan kaksinkertaistamaan nykyinen käyttäjäkohtaisten lämpöpumppujen käyttöönotto, jolloin seuraavien viiden vuoden aikana otettaisiin käyttöön yhteensä 10 miljoonaa lämpöpumppua ja vuoteen 2030 mennessä 30 miljoonaa, minkä lisäksi EU:n tuotantokapasiteettia lisättäisiin vastaavasti. Siinä kehoitetaan myös nopeuttamaan suurten lämpöpumppujen käyttöönottoa kaukolämpö- ja -jäähdytysverkoissa. Sekä katolla sijaitsevien aurinkosähkölaitosten (ja aurinkolämpölaitosten) että lämpöpumppujen laajamittainen yhteiskäyttö, jossa älykkäät ohjaimet reagoivat verkkokuormitus- ja hintasignaaleihin, edistäisi osaltaan lämmityksen hiilidioksidipäästöjen vähenemistä ja vähentäisi verkkoon integroinnin haasteita.

Teknologia-analyysi: Rakennussovelluksiin tarkoitetut lämpöpumput ovat kaupallisesti saatavilla olevia tuotteita. Ne voidaan luokitella sen lähteen mukaan, josta ne ottavat

<sup>163</sup> WindEurope/Wood Mackenzie, *Wind energy and economic recovery in Europe*, 2020.

<sup>164</sup> EUVL L 328, 21.12.2018. Direktiivi (EU) 2018/2001, annettu 11 päivänä joulukuuta 2018, uusiutuvista lähteistä peräisin olevan energian käytön edistämisestä.

<sup>165</sup> Ehdotus Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiiviksi Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin (EU) 2018/2001, Euroopan parlamentin ja neuvoston asetuksen (EU) 2018/1999 ja Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin 98/70/EY muuttamisesta uusiutuvista lähteistä peräisin olevan energian käytön edistämiseksi sekä neuvoston direktiivin (EU) 2015/652 kumoamisesta (COM(2021) 557 final).

<sup>166</sup> Ohjeita jäsenvaltioille hyvistä käytännöistä uusiutuvaa energiaa koskevien hankkeiden lupamenettelyjen nopeuttamiseksi (SWD(2022) 0149 final).

<sup>167</sup> REPowerEU-suunnitelma (COM(2022) 230 final).

lämpöenergiaa (ilma, vesi tai maaperä), niiden käyttämän lämmönsiirtoaineen (ilma tai vesi), käyttötarkoituksen (tilan lämmitys tai jäähdytys, talousveden lämmitys) ja kohdemarkkinasegmenttien (liike- tai asuinrakennukset ja verkot) mukaan.

Lämpöpumppujen, joita käytetään pääasiassa tilojen ja saniteettivesien lämmitykseen, asennuskanta oli Euroopassa lähes 17 miljoonaa yksikköä vuoden 2021 lopussa, kun taas myynti oli 2,18 miljoonaa yksikköä vuonna 2021. Vuotuinen kasvu oli 17 prosenttia viiden viime vuoden aikana ja 20 prosenttia kolmen viime vuoden aikana.<sup>168</sup>

Käyttäjakohtaisiin lämpöpumppuihin liittyvää tutkimus- ja innovointitoimintaa ohjaa tehokkaampien, pienikokoisempien ja hiljaisempien yksiköiden kysyntä, laajemmat kantavuusalueet sisäilman lämpötilojen suhteen, digitalisointi optimaalisen energiaverkkoihin integroinnin varmistamiseksi sekä paikallinen energiantuotanto ja varastointi. Niitä ohjaavat myös kehittyvät EU:n säädökset, joilla pyritään parantamaan energiatehokkuutta ja vähentämään koko elinkaarenaikaisia ympäristövaikutuksia muun muassa materiaalien kierron ja sellaisten kylmäaineiden avulla, joilla on pieni ilmaston lämmityspotentiaali (GWP). Kaupallisia lämpöpumppuja koskevassa tutkimuksessa ja innovoinnissa käsitellään muun muassa lämmön ja jäähdytyksen samanaikaisen tuoton integrointia lämmön varastointiin.

EU:n tutkimus- ja innovaatioasema on vahva ja paranee koko ajan. Se on johtoasemassa rakennussovelluksiin tarkoitettujen pääasiassa lämmitykseen käytettävien lämpöpumppujen patenteissa. Vuosina 2017–2019 arvokkaita keksintöjä koskevista patenttihakemuksista 48 prosenttia tehtiin EU:ssa. Seuraavina olivat Japani (12 prosenttia), Yhdysvallat (8 prosenttia), Etelä-Korea (7 prosenttia) ja Kiina (5 prosenttia).<sup>169</sup> Horisontti 2020 -puiteohjelmasta myönnettiin vuosina 2014–2022 yhteensä 277 miljoonaa euroa rahoitusta rakennussovelluksiin tarkoitettuihin lämpöpumppuihin liittyviin hankkeisiin.

Arvoketjuanalyysi: Lämpöpumppujen valmistus-, asennus- ja huoltotoiminnan liikevaihto oli EU:ssa 41 miljardia euroa vuonna 2020, ja se on kasvanut keskimäärin 21 prosenttia vuodessa kolmen viime vuoden aikana. Välittömiä ja välillisiä työpaikkoja oli 318 800 vuonna 2020, mikä tarkoittaa keskimäärin 18 prosentin vuotuista kasvua kolmen viime vuoden aikana. Näihin tietoihin sisältyvät kaikentyyppiset lämpöpumput, myös jäähdytykseen ja/tai lämmitykseen käytettävät ilmalämpöpumput.<sup>170</sup>

Lämpöpumppujen tuotantoa varten ei tarvita kriittisiä raaka-aineita, mutta maailmanlaajuinen puute puolijohteista vaikuttaa niihin.

Maailmanmarkkinoiden analyysi: EU:ssa pääasiassa lämmitykseen käytettävien lämpöpumppujen arvoketju koostuu monista pk-yrityksistä ja muutamista suurista toimijoista. Tuotavien lämpöpumppujen osuus on kasvussa, ja kauppataseen alijäämä oli 390 miljoonaa euroa vuonna 2021, kun tase oli 5 vuotta aiemmin ollut 202 miljoonaa euroa ylijäämäinen.<sup>171</sup> Tuonti Kiinasta kaksinkertaistui vuonna 2021 ja oli 530 miljoonaa euroa.

<sup>168</sup> Euroopan lämpöpumppuyhdistys (EHPA), 2022, <https://www.ehpa.org/market-data/>

<sup>169</sup> Lyons, L. ym., *Clean Energy Technology Observatory, Heat Pumps in the European Union – 2022 Status Report on Technology Development, Trends, Value Chains and Markets*, Euroopan komissio, 2022, JRC130874.

<sup>170</sup> Perustuu EurObserv'ER:n tietoihin vuodelta 2020.

<sup>171</sup> COMEXT, koodi 841861.

Johtopäätöksenä voidaan todeta, että lämpöpumppujen käyttöönotto etenee jo nopeasti, mutta sitä on nopeutettava edelleen, jotta REPowerEU:n tavoitteet voidaan saavuttaa. EU:hun sijoittautuneiden toimittajien on lisättävä tuotantoaan, jotta ne voivat vastata EU:n kasvavaan lämpöpumppujen kysyntään. Jotkin toimialajärjestöt väittävät, että ilmastonlämmityspotentiaaliltaan suurten kylmäaineiden käytön pikaisempi lopettaminen jarruttaisi tuotannon lisäämistä tiettyjen sovellusten osalta, mutta F-kaasusetuksen<sup>172</sup> muuttamista koskevassa ehdotuksessa esitettyjen kieltomääräaikaisten tarkoituksena on antaa toimialalle riittävästi aikaa mukautua. Koulutettujen asentajien puute ja korkeat alkukustannukset voivat hidastaa käyttöönottoa EU:ssa.

Alan teollisuus peräänkuuluttaa ”lämpöpumppujen kiihdytysfoorumia”, joka kokoaisi yhteen komission, jäsenvaltiot ja itse toimialan. Foorumin tukena olisi selkeitä ja kestäviä poliittisia signaaleja, joilla lisättäisiin luottamusta pitkän aikavälin suunnitteluun, varmistettaisiin suotuisa sääntelykehys, alennettaisiin kustannuksia lisäämällä yhteistyötä sekä tutkimusta ja innovointia ja luotaisiin lämpöpumppuihin keskittyvä osaamissopimus. Osana REPowerEU-suunnitelmaa komissio tukee jäsenvaltioiden pyrkimyksiä yhdistää julkiset voimavaransa sellaisten mahdollisten Euroopan yhteistä etua koskevien tärkeiden hankkeiden (IPCEI) kautta, joissa keskitytään läpimurtoteknologioihin ja innovointiin lämpöpumppujen arvoketjussa. Lisäksi se tukee jäsenvaltioita osaamissopimukseen liittyvän laajamittaisen osaamiskumppanuuden perustamisessa.

### 3.4. Akut

Akuilla on ratkaiseva rooli Euroopan vihreän kehityksen ohjelman tavoitteiden saavuttamisessa ja REPowerEU-suunnitelman täytäntöönpanossa<sup>173</sup>, koska ne voivat vähentää riippuvuutta liikenteen polttoaineiden tuonnista, varmistaa uusiutuvista energialähteistä tuotetun sähkön maksimaalisen käytön ja vähentää pullonkauloja. EU:n teillä odotetaan vuoteen 2030 mennessä liikkuvan yli 50 miljoonaa sähköajoneuvoa<sup>174</sup> (joiden akkukapasiteetti on vähintään 1,5 terawattituntia), ja kiinteää akkukapasiteettia yli 80 gigawatin/160 gigawattitunnin edestä.<sup>175</sup> EU on vähitellen siirtymässä kohti päästöttömiä uusia autoja vuoteen 2035 mennessä. Tämä vastaa tavoitetta, jonka mukaan EU:n koko 270 miljoonan ajoneuvon autokannan olisi oltava päästötön (enimmäkseen sähkökäyttöinen) vuoteen 2050 mennessä. Sähköinen liikkuvuus on akkujen kysynnän tärkein kasvutekijä. Litiumioniakkujen odotetaan hallitsevan markkinoita pitkälle vuoden 2030 jälkeen, mutta sen rinnalla kehitetään muitakin teknologioita.

Teknologia-analyysi: Sirujen ja magnesiumin toimitushäiriöistä huolimatta akkuteknologian käyttöönotto EU:ssa on saavuttanut historiallisen korkean tason: vuonna 2021 myytiin 1,7 miljoonaa uutta sähköajoneuvoa, mikä on 18 prosenttia markkinoista (kun osuus oli 3 prosenttia vuonna 2019 ja 10,5 prosenttia vuonna 2020<sup>176</sup>) eli suurempi kuin Kiinan osuus

<sup>172</sup> Ehdotus Euroopan parlamentin ja neuvoston asetukseksi fluoratuista kasvihuonekaasuista, direktiivin (EU) 2019/1937 muuttamisesta ja asetuksen (EU) N:o 517/2014 kumoamisesta (COM(2022) 150 final).

<sup>173</sup> REPowerEU-suunnitelma (COM(2022) 230 final).

<sup>174</sup> *Policy scenarios for delivering the European Green Deal*, Euroopan komissio, 2021. Saatavilla osoitteessa [https://energy.ec.europa.eu/data-and-analysis/energy-modelling/policy-scenarios-delivering-european-green-deal\\_en](https://energy.ec.europa.eu/data-and-analysis/energy-modelling/policy-scenarios-delivering-european-green-deal_en)

<sup>175</sup> *Policy scenarios for delivering the European Green Deal*, Euroopan komissio, 2021. Saatavilla osoitteessa [https://energy.ec.europa.eu/data-and-analysis/energy-modelling/policy-scenarios-delivering-european-green-deal\\_en](https://energy.ec.europa.eu/data-and-analysis/energy-modelling/policy-scenarios-delivering-european-green-deal_en)

<sup>176</sup> Euroopan autonvalmistajien yhdistys (ACEA), helmikuu 2022, <https://www.acea.auto/fuel-pc/fuel-types-of-new-cars-battery-electric-9-1-hybrid-19-6-and-petrol-40-0-market-share-full-year-2021/>

(16 prosenttia). Sähköajoneuvojen myynti jäsenvaltioissa vaihteli Kyproksen 1,3 prosentista Ruotsin 45 prosenttiin. Myös EU:n kiinteiden akkujen markkinat kasvavat nopeasti, ja niiden ennustetaan saavuttavan 8 gigawatin/13,7 gigawattitunnin kapasiteetin vuoden 2022 loppuun mennessä.<sup>177</sup> Tätä on kuitenkin nopeutettava edelleen, jotta voidaan vähentää riippuvuutta kulutushuippujen aikana käytettävistä kaasuvoimaloista REPowerEU:n tavoitteiden mukaisesti.

Vuonna 2021 akkujen keskihinta laski 6 prosenttia eli maailmanmarkkinoilla noin 116 euroon kilowattituntia kohti<sup>178</sup> ja EU:n markkinoilla noin 150 euroon kilowattituntia kohti. Tämä on jatkoa pitkäaikaiselle suuntaukselle. Koska hinnat kuitenkin nousivat vuonna 2022 tarjontapuolen häiriöiden vuoksi, suunta on nyt kääntymässä (esimerkiksi keväällä 2022 litiumkarbonaatin hinta oli 974 prosenttia koholla vuoteen 2021 verrattuna<sup>179</sup>). Akustot ovat vuonna 2022 vähintään 15 prosenttia kalliimpia kuin vuonna 2021.<sup>180</sup> Verkkomittakaavan litiumionisovellusten järjestelmäkustannukset olivat noin 350 euroa kilowattituntia kohti vuonna 2021<sup>181</sup> ja kodin varastointijärjestelmien kustannukset noin kaksi kertaa tämän suuruiset.

Arvoketjuanalyysi: Lähes kaikesta EU:n vuoden 2021 litiumioniakkujen massatuotannosta vastasivat edelleen EU:hun (Unkariin ja Puolaan) sijoittautuneet aasialaiset valmistajat. Uusien gigatehtaiden rakentaminen merkitsee sitä, että EU:n (erityisesti Saksan ja Ruotsin) merkitys markkinoilla kasvaa vähitellen. Ruotsalainen Northvolt valmisti ensimmäisen 100-prosenttisesti kierrätetystä nikkelistä, mangaanista ja koboltista valmistetun akkukennonsa vuoden 2021 lopussa ja aloitti kaupalliset toimitukset vuonna 2022. Yhtiön mukaan sillä on käytössä erittäin tehokas kierrätysprosessi, jossa jopa 95 prosenttia akkumetalleista hyödynnetään.<sup>182</sup>

EU:n<sup>183</sup> asennetun tuotantokapasiteetin odotetaan olevan yli 75 gigawattituntia vuoden 2022 loppuun mennessä (vuoden 2021 puolivälissä se oli 44 gigawattituntia). Parhailtaan käynnissä olevat hankkeet osoittavat, että EU pystynee vastaamaan 69 prosenttiin akkujen kysynnästä vuoteen 2025 mennessä ja 89 prosenttiin vuoteen 2030 mennessä.<sup>184</sup> Tämä johtuu suurelta osin EU:n akkualan yhteenliittymän aloitteista.<sup>185</sup>

---

<sup>177</sup> *European Market Monitor on Energy Storage*, 6. painos (EMMES 6.0), <https://ease-storage.eu/publication/emmes-6-0-june-2022/>

<sup>178</sup> BNEF, *Battery Pack Prices Fall to an Average of \$132/kWh*, 30. marraskuuta 2021. Vaihtokurssi: 0,8826 euroa = yksi Yhdysvaltain dollari 30. marraskuuta 2021.

<sup>179</sup> *Energy Storage News, BloombergNEF predicts 30% annual growth for global energy storage market to 2030*, 4. huhtikuuta 2022.

<sup>180</sup> IEA, *Global EV outlook 2022*, 2022.

<sup>181</sup> Aurora Energy Researchin 21. huhtikuuta 2022 järjestämän verkkoseminaarin ”How high can battery costs get?” pohjalta.

<sup>182</sup> NorthVolt.com, ”Northvolt produces first fully recycled battery cell”, 12. marraskuuta 2021.

<sup>183</sup> Mukaan luettuna LG Chem (Puola): 32 GWh, Samsung SDI (Unkari): 20 GWh, Northvolt (Ruotsi): 16 GWh, SK Innovation (Unkari): 7,5 GWh ([Benchmark Minerals: Europe’s EV gigafactory capacity pipeline to grow 6-fold to 789.2 GWh to 2030 - Green Car Congress](#)). Muiden tuottajien, kuten SAFTIN, MES:n ja Leclanchén tuotantokapasiteetti on pienempi, mutta niiden tuotantomäärät ovat kasvussa.

<sup>184</sup> EIT InnoEnergy, *Contribution for High-Level ministerial meeting on batteries*, helmikuu 2022.

<sup>185</sup> [EU:n akkualan yhteenliittymä \(europa.eu\)](#).

Tuotantoketjun alkupään raaka-ainesegmentti on edelleen akkujen arvoketjun vähiten häiriöitä kestävä osa. Useista EU:n aloitteista huolimatta akkujen raaka-aineiden tarjontavaje kasvoi vuonna 2021.<sup>186</sup> Käytetyt akut lähetetään edelleen pääosin Aasiaan kierrätettäviksi.<sup>187</sup>

EU edistyy nopeasti litiumioniteknologian alalla (erityisesti parhaiten suoriutuvalla NMC-osa-alueella<sup>188</sup>), mutta se edistyy liian hitaasti runsaisiin raaka-aineisiin perustuvissa kiinteiden akkujen teknologioissa (esimerkiksi virtausakuissa ja natriumioniakuissa – jälkimmäisillä on myös paljon potentiaalia sähköajoneuvoteollisuudessa, kun otetaan huomioon muun muassa Kiinan kehitys). EU on myös hitaampi ottamaan käyttöön halvempaa litium(ioni)-rautafosfaattiteknologiaa (LFP), jota käytetään Aasiassa yhä enemmän ja joka ei ole niin riippuvainen kriittisistä raaka-aineista.

Maailmanmarkkinoiden analyysi: Kiinalla on hallussaan 80 prosenttia maailman litiumioniakkujen raaka-aineiden jalostuskapasiteetista, 77 prosenttia kennojen tuotantokapasiteetista ja 60 prosenttia akkukomponenttien valmistuskapasiteetista.<sup>189</sup> EU:n kauppavaje litiumioniakuissa kasvoi edelleen vuonna 2021 ja oli 5,3 miljardia euroa<sup>190</sup> (25 prosentin nousu vuoteen 2020 verrattuna). EU:n osuus koko maailman sähköajoneuvojen tuotannosta on noin 19 prosenttia<sup>191</sup>, mutta sen osuus tuotantoketjun alkupäästä on hyvin pieni (lukuun ottamatta koboltin jalostusta). Sähköbussien tuotanto ja käyttöönotto EU:ssa (vuoden 2021 lopussa käytössä oli 7 356 sähköbussia) on hyvin vähäistä verrattuna Kiinaan, jolla on yli 90 prosenttia maailman 670 000 sähköbussista.<sup>192</sup>

Johtopäätöksenä voidaan todeta, että EU kehittää yhä enemmän erittäin tarpeellisia teknologioita valmiuksia edullisempaan/pidempiaikaiseen varastointiin (esimerkiksi natriumioniakut, sinkkipohjaiset akut ja virtausakut). EU on vahvassa asemassa myös lopputuotteiden osalta (erityisesti sähköajoneuvojen tuotannossa ja käyttöönotossa, lukuun ottamatta sähköbussien segmenttiä). Se kuroo välimatkaa nopeasti umpeen myös litiumioniteknologiaan perustuvien kennojen valmistuksessa ja on matkalla lähes omavaraiseksi akkujen tuotannossa vuoteen 2030 mennessä. Unionin omien raaka-aineiden ja kehittyneiden materiaalien tuotannon puute on jatkuva ongelma meneillään olevista aloitteista huolimatta. EU pyrkii lisäämään ponnistelujaan vastatakseen näihin haasteisiin aina louhinnasta jalostukseen ja prosessoinnista kierrätykseen esimerkiksi Euroopan kriittisiä raaka-aineita koskevan ilmoitetun säädöksen avulla.

### 3.5. Uusiutuvan vedyn tuotanto veden elektrolyysillä

Uusiutuvalla vedyllä<sup>193</sup> on suuri potentiaali merkittävästi edesauttaa EU:n ilmasto- ja energiatarvoitteen saavuttamista. Sitä voidaan käyttää polttoaineena aloilla, joilla

<sup>186</sup> EIT InnoEnergy, *Contribution for High-Level ministerial meeting on batteries*, helmikuu 2022.

<sup>187</sup> EBA250, EU:n akkualan yhteenliittymän teollinen kehittämissuunnitelma, <https://www.eba250.com/>.

<sup>188</sup> NMC = nikkeli-mangaani-koboltti.

<sup>189</sup> Willuhn M., *National lithium-ion battery supply chains ranked*, PV Magazine, 16. syyskuuta 2020.

<sup>190</sup> COMEXTin vuoden 2022 tiedot.

<sup>191</sup> Perustuu Procomin EU:ta koskeviin vuoden 2021 tuotantotietoihin ja IEA:n tietoihin sähköajoneuvojen maailmanlaajuisesta myynnistä vuonna 2021.

<sup>192</sup> 2022 IEA EV Outlook.

<sup>193</sup> Euroopan komissio määrittelee uusiutuvan vedyn vedyksi, joka tuotetaan uusiutuvan sähkön avulla tai joka saadaan biomassasta, jolla saavutetaan 70 prosentin vähennys hiilidioksidipäästöissä (verrattuna fossiilisiin polttoaineisiin). Komissio on määritellyt vähähiilisen vedyn kynnsarvon 15. joulukuuta 2021 annetussa toimenpidepaketissa, jonka tarkoituksena on edistää vety- ja kaasumarkkinoiden irtautumista hiilestä (COM(2021) 803 final).

sähköistäminen on vaikeaa (esimerkiksi kaukoliikenne ja raskas rahtiliikenne), kemiallisena raaka-aineena (esimerkiksi lannoitteissa ja muissa kemikaaleissa) ja teollisuusprosesseissa (esimerkiksi teräksen tai sementin tuotannossa). Vety ja sen johdannaiset muodostavat ennusteiden mukaan 12 prosenttia maailman energialähteiden yhdistelmästä vuonna 2050.<sup>194</sup> Veden elektrolyysillä tuotettu uusiutuva vety muodostaa tällä hetkellä kuitenkin vain 0,1 prosenttia EU:n kokonaistuotannosta.

REPowerEU on edelleen vahvistanut vuoden 2020 vetystrategian<sup>195</sup> poliittisia tavoitteita asettamalla vuoteen 2030 ulottuvat tavoitteet uusiutuvan ja vähähiilisen vedyn osalta 10 miljoonaan tonniin EU:n tuotantoa ja 10 miljoonaan tonniin tuontia (osittain ammoniakkin muodossa). Euroopan vetypankin perustaminen nopeuttaa uusiutuvan vedyn tuotantoa ja käyttöä ja auttaa kehittämään tarvittavia infrastruktuureja koordinoitusti.<sup>196</sup>

Komissio ja EU:n johtavat elektrolyysilaitteiden valmistajat sitoutuivat nostamaan vetytuotannon tuotantokapasiteetin kymmenkertaiseksi eli 17,5 gigawattiin vuoteen 2025 mennessä.<sup>197</sup> Lisäksi jäsenvaltioiden kansallisissa elpymis- ja palautumissuunnitelmissa vetyteknologioihin osoitetaan noin 10,6 miljardia euroa, ja komissio hyväksyi vuonna 2022 (heinäkuussa ja syyskuussa) kaksi Euroopan yhteistä etua koskevaa tärkeää hanketta (IPCEI). Toisessa 15 jäsenvaltiota osallistuu 5,4 miljardin euron investointiin ja toisessa 13 jäsenvaltiota osallistuu 5,2 miljardin euron investointiin.

Teknologia-analyysi: Maailmanlaajuinen kapasiteetti vuonna 2020 oli 300 megawattia<sup>198</sup>, ja Euroopan (Yhdistynyt kuningaskunta ja EFTA-maat mukaan luettuina) osuus asennetusta kapasiteetista vuonna 2021 oli 135 megawattia. Protoninvaihtokalvojen (PEM) osuus Euroopan alueella käytössä olevasta asennetusta kapasiteetista on 55 prosenttia ja alkalielektrolyysilaitteiden 44 prosenttia (mukaan lukien EFTA-maat ja Yhdistynyt kuningaskunta).<sup>199</sup>

Sähkön tasoitettut kokonaiskustannukset ovat tärkein tekijä, joka vaikuttaa elektrolyysilaitteiden investointien taloudelliseen elinkelpoisuuteen, ja sähkön hinnannousu on edelleen yksi tärkeimmistä haasteista elektrolyysillä tuotettavan vedyn kilpailukykyisen tuotannon taloudelliselle elinkelpoisuudelle.

Uusiutuvien energialähteiden käyttöön perustuvan eurooppalaisen vedyntuotannon kustannukset vaihtelevat (vuoden 2020) mediaanista 6,8 euroa/kgH<sub>2</sub> (aurinkoenergiaan perustuva tuotanto) (vuoden 2020) mediaaniin 5,5 euroa/kgH<sub>2</sub> (tuulivoimaan perustuva tuotanto).<sup>200</sup> Elektrolyysilaitteiden kustannusten odotetaan korkean lämpötilan elektrolyysin myötä laskevan 2 130 eurosta kilowattia kohti (vuonna 2020) 520 euroon kilowattia kohti (vuonna 2030). Vuoden 2030 kustannustavoitteet protoninvaihtokalvojen osalta ovat 500 euroa kilowattia kohti ja alkalielektrolyysilaitteiden osalta 300 euroa kilowattia kohti.<sup>201</sup>

<sup>194</sup> IRENA, *Geopolitics of Energy Transformation: the Hydrogen Factor*, Abu Dhabi, 2022.

<sup>195</sup> *Vetystrategia ilmastoneutraalille Euroopalle* (COM(2020)301).

<sup>196</sup> Kuten ilmoitettiin unionin tilaa koskevassa vuoden 2022 puheessa 14. syyskuuta 2022. [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/fi/SPEECH\\_22\\_5493](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/fi/SPEECH_22_5493)

<sup>197</sup> Toukokuun 5. päivänä 2022 annettu yhteinen julkilausuma, <https://ec.europa.eu/documents/50014/>

<sup>198</sup> *Global Hydrogen Review*, IEA, 2021.

<sup>199</sup> *The Clean Hydrogen Monitor*, Hydrogen Europe, 2021.

<sup>200</sup> *The Clean Hydrogen Monitor*, Hydrogen Europe, 2021.

<sup>201</sup> *Strategic Research and Innovation Agenda 2021-2027*, puhdasta vetyä koskeva kumppanuus.

Arvoketjuanalyysi: Vesielektrolyysilaitteiden valmistuskapasiteetin arvioidaan olleen Euroopassa 2,5 gigawattia vuodessa vuonna 2021.<sup>202</sup> Maailmanlaajuisesti valmistuskapasiteetiksi arvioitiin noin 6–7 gigawattia vuodessa (noin kaksi kolmasosaa alkalilaitteilla ja yksi kolmasosa protoninvaihtokalvoilla sekä Euroopan että maailman markkinoilla).<sup>203</sup>

Valmistusmäärät ovat Euroopassa pienemmät kuin Kiinassa ja Yhdysvalloissa. On arvioitu, että kiinalaisilla yrityksillä on puolet maailman alkalielektrolyysiin perustuvasta valmistuskapasiteetista ja että yhdysvaltalaisilla yrityksillä on suurin osa maailman PEM-elektrolyysiin perustuvasta valmistuskapasiteetista. Eurooppa on johdossa valmistusyriyten lukumäärässä ja kiinteäoksidi-elektrolyysissä, mutta se on riippuvainen Kiinan, Venäjän ja Etelä-Afrikan kaltaisista maista tarvittavien kriittisten raaka-aineiden toimitusten osalta, ja se pystyy hankkimaan niistä vain 1–3 prosenttia omalta alueeltaan.<sup>204</sup>

Uusiutuvan vedyn tuotannon lisäämiseen liittyvä vedenkulutus (tällä hetkellä noin 17 l/kgH<sub>2</sub>) lisää makean veden varoihin kohdistuvaa kuormitusta. Sen vuoksi uusien elektrolyysilaitteiden sijaintipaikkojen olisi oltava vesiputedirektiivin<sup>205</sup> mukaisia, jotta voidaan suojautua myös veteen liittyviltä tuotannon pullonkauloilta.

Maailmanmarkkinoiden analyysi: Vain 0,2 prosenttia 8,4 miljoonan tonnin vuotuisesta (uusiutumattoman) vedyn kokonaiskysynnästä Euroopassa katetaan kansainvälisen kaupan avulla.<sup>206</sup> Vaikka vedyllä ei vielä juurikaan käydä kansainvälistä kauppaa, uusiutuvan vedyn tarjonta merkitsee EU:lle tulevaisuudessa huomattavia kaupankäyntimahdollisuuksia, kuten REPowerEU-suunnitelmassa todetaan.

Johtopäätöksenä voidaan todeta, että EU tarvitsee suurempia kokoonpanojärjestelmiä, enemmän automaatiota ja mittakaavaetuja, jotta se voisi kilpailla Kiinan kanssa alkaliteknologiassa.

EU:n elektrolyysilaitteiden arvoketjujen perustavanlaatuisia heikkouksia ovat tällä hetkellä korkeat sähkön hinnat ja riippuvuus muutamien toimittajiin keskittyneiden kriittisten raaka-aineiden tuonnista. Tarvitaan pitkän aikavälin yhteistyösopimuksia ja erityistutkimusta veden elektrolyysiin tällä hetkellä tarvittavien harvinaisten metallien ja muiden kriittisten raaka-aineiden vaihtoehdoista. Lisäksi pitkän aikavälin menestys riippuu kestävästä vesihuollosta ja riittävästä kierrätyskapasiteetista EU:ssa sekä kattavasta lähestymistavasta kysynnän ja tarjonnan aikaansaamiseksi. EU:n sääntely- ja rahoituskehyksistä saatava tuki sekä suuret investoinnit elvytysrahoituksen, IPCEI-hankkeiden, koheesiopolitiikan, Horisontti Eurooppa -ohjelman, puhtaan vedyn yhteisyrityksen<sup>207</sup> ja innovaatorahaston kautta ovat ratkaisevan tärkeitä EU:n uusiutuvaa vetyä tuottavan teollisuuden kilpailukyvyn kannalta.

---

<sup>202</sup> *Joint Declaration of the European Electrolyser Summit*, Bryssel, 5. toukokuuta 2022.

<sup>203</sup> BNEF, 2021. On syytä huomata, että eri lähteistä saadaan vaihtelevia arvioita vuotuisesta tuotantokapasiteetista.

<sup>204</sup> Dolci, F. ym., *Clean Energy Technology Observatory: Hydrogen Electrolysis – 2022 Status Report on Technology Development, Trends, Value Chains and Markets*, Euroopan komissio, 2022, JRC130683.

<sup>205</sup> EUVL L 327, 22.12.2000. Yhteisön vesipolitiikan puitteita koskeva Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2000/60/EY.

<sup>206</sup> Hydrogen Europe, Clean Hydrogen Europe, 2021. Vuosittaiseen vedyn kysyntään on laskettu mukaan Islanti, Norja, Sveitsi ja Yhdistynyt kuningaskunta.

<sup>207</sup> Puhtaan vedyn yhteisyritys on myöntänyt 150,5 miljoonaa euroa, Horisontti 2020 -ohjelmasta on myönnetty 130 miljoonaa euroa ja innovaatorahastosta on tuettu neljää hanketta 240 miljoonalla eurolla vuoden 2022 puoliväliin mennessä.

### 3.6. Uusiutuvat polttoaineet

Uusiutuvien polttoaineiden teknologiat voivat lyhyellä aikavälillä vähentää merkittävästi liikenteen hiilidioksidipäästöjä sekä auttaa varmistamaan energian toimitusvarmuuden ja monipuolisemman energiansaannin. REPowerEU-suunnitelmassa<sup>208</sup> todetaan erityisesti, että biometaanit<sup>209</sup> on avain EU:n kaasutoimitusten monipuolistamiseen, ja sen tuotantoa olisi lisättävä kaksinkertaiseksi EU:n vuoteen 2030 ulottuvaan tavoitteeseen nähden. Biometaanit asetetaan siten uusiutuvan energian painopisteiden kärkeen.

Lainsäädäntöehdotuksilla 55-valmiuspaketista<sup>210</sup> luotaisiin liikennealalla merkittävä uusiutuvan energian kysyntä vuonna 2030. Se ylittäisi selvästi ehdotuksessa tarkistetuksi RED II -direktiiviksi<sup>211</sup> asetetut tavoitteet, jotka koskevat kehittyneiden biopolttoaineiden ja muuta kuin biologista alkuperää olevien uusiutuvien polttoaineiden osuutta. Tämä johtuu liikenteelle asetetusta 13 prosentin kasvihuonekaasupäästöjen vähentämistavoitteesta (jota ei todennäköisesti saavuteta pelkästään sähköistämällä) ja tarkistetuissa ehdotuksissa taakanjakoasetukseksi<sup>212</sup> ja päästökauppadirektiiviksi<sup>213</sup> asetetuista korkeammista kasvihuonekaasujen vähentämistavoitteista, jotka ovat taakanjakoasetuksessa 40 prosenttia ja päästökauppadirektiivissä 61 prosenttia (jos niiden saavuttaminen vaatii liikennealalta yhtä suuria panostuksia). REPowerEU-suunnitelmassa ehdotetaan uusiutuvien polttoaineiden vaadittujen määrien lisäämistä edelleen. Kun tieliikenteen hiilestä irtautumisen odotetaan nojautuvan suurelta osin sähköön ja vetyyn,<sup>214</sup> RefuelEU Aviation ja FuelEU Maritime -aloitteissa sitä vastoin esitetään, että uusiutuvien polttoaineiden osuus EU:n lento- ja meriliikenteen polttoaineiden kokonaiskulutuksesta olisi 5 prosenttia ja 6,5 prosenttia.<sup>215, 216</sup>

Teknologia-analyysi: Kaupallisia väyliä kyllä on (esimerkiksi anaerobinen mädätys biometaaniksi, vetykäsitelty kasviöljy ja lignoselluloosapohjainen etanolin tuotanto), mutta asennettua kapasiteettia on vähän (0,43 miljoonaa tonnia vuodessa) ja suunniteltu tuotanto on vaatimatonta (1,85 miljoonaa tonnia vuodessa). Teollisissa ympäristöissä on demonstroitu erilaisia innovatiivisia teknologioita (esimerkiksi biomassan kaasutus polttoaineiksi Fischer-Tropsch-synteesin avulla, pyrolyysillä valmistettavat polttoaineet ja biometanolin tuotanto), jotka ovat valmiita yleiseen käyttöön. Useiden seuraavan sukupolven teknologioiden osalta saavutetaan koko ajan huomattavaa edistystä. EU keskittyy toimissaan kehittyneisiin

<sup>208</sup> REPowerEU-suunnitelma (COM(2022) 230 final).

<sup>209</sup> Etenkin, jos se on tuotettu orgaanisesta jätteestä ja jäämistä, sillä siten saadaan kehittyntä biopolttoainetta liikennealan käyttöön.

<sup>210</sup> Valmiina 55:een: Vuoden 2030 ilmastotavoitteesta totta matkalla kohti ilmastoneutraaliutta (COM(2021) 550 final).

<sup>211</sup> Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin (EU) 2018/2001, Euroopan parlamentin ja neuvoston asetuksen (EU) 2018/1999 ja Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin 98/70/EY muuttamisesta uusiutuvista lähteistä peräisin olevan energian käytön edistämiseksi sekä neuvoston direktiivin (EU) 2015/652 kumoamisesta (COM(2021) 557 final).

<sup>212</sup> Ehdotus Euroopan parlamentin ja neuvoston asetukseksi sitovista vuotuisista kasvihuonekaasupäästöjen vähennyksistä jäsenvaltioissa vuosina 2021–2030, joilla edistetään ilmastotoimia Pariisin sopimuksen sitoumusten täyttämiseksi, annetun asetuksen (EU) 2018/842 muuttamisesta (COM/2021/555 final).

<sup>213</sup> Ehdotus Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiiviksi kasvihuonekaasujen päästöoikeuksien kaupan järjestelmän toteuttamisesta unionissa annetun Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin 2003/87/EY, markkinavakaussuunnitelman perustamisesta unionin kasvihuonekaasupäästöjen kauppajärjestelmään ja sen toiminnasta annetun päätöksen (EU) 2015/1814 sekä asetuksen (EU) 2015/757 muuttamisesta (COM/2021/551 final).

<sup>214</sup> Alan tärkeimmät poliittiset veturit ovat hiilidioksidipäästöjä koskevat standardit ja vaihtoehtoisten polttoaineiden infrastruktuuria koskeva asetus (AFIR-asetus), jota ehdotetaan osana 55-valmiuspakettia.

<sup>215</sup> Vaikutustenarviointi, oheisasiakirja ehdotukseen Euroopan parlamentin ja neuvoston asetukseksi tasapuolisten toimintaedellytysten varmistamisesta kestäväälle lentoliikenteelle (SWD(2021) 633 final).

<sup>216</sup> Ehdotus asetukseksi uusiutuvien ja vähähiilisten polttoaineiden käytöstä meriliikenteessä (COM(2021) 562 final).

biopolttoaineisiin, jotka perustuvat pääasiassa kierrätyskelvottomaan jätteeseen ja jäämiin, ja rajoittaa tukeaan elintarvikkeisiin ja raaka-aineisiin perustuville biopolttoaineille.

Muita uusiutuvia synteettisiä polttoaineita (aurinkopolttoaineet, toisen sukupolven mikrobipolttoaineet ja mikrolevistä valmistetut polttoaineet) koskevat teknologiat ovat enimmäkseen vielä laboratorioasteella. Edes sähköpolttoaineiden osalta kehittyneimmät teknologiat eivät ole vielä markkinoilla, koska teknologisia haasteita on edelleen, elektroyysikustannukset ovat tällä hetkellä korkeita, muuntohäviöt ovat suuria (50 prosenttia) ja kuljetus- ja jakelukustannukset ovat korkeita<sup>217</sup>.

Arvoketjuanalyysi: Kehittyneiden biopolttoaineiden markkinoille saattamisen suurimpana haasteena on niiden kilpailukyky suhteessa nykyisiin tavanomaisiin biopolttoaineisiin, jotka on tuotettu ravintokasveista. Kehittyneiden biopolttoaineiden kustannusten arvioidaan olevan 1,5–3 kertaa suuremmat kuin perinteisten biopolttoaineiden, kuten biodieselin ja bioetanolin, markkinahinta (50–100 euroa megawattituntia kohti). Kehittyneiden biopolttoaineiden tuotantolaitoksilla on myös suuret pääomakustannukset (jopa 500 miljoonaa euroa yhtä laitosta kohti), ja ne ovat riippuvaisia kestävien biomassaraaka-aineiden saatavuudesta. Mahdollisuudet pienentää kustannuksia ovat huomattavat, sillä pääomakustannuksia voidaan vähentää 25–50 prosenttia ja raaka-ainekustannuksia 10–20 prosenttia erityisesti tutkimuksen ja innovoinnin, laajamittaisen käyttöönoton ja olemassa olevissa laitoksissa tapahtuvan yhteiskäsittelyn avulla.

Yksityisellä T&I-riskipääomalla rahoitettiin<sup>218</sup> biopolttoaineita keskimäärin 250 miljoonalla eurolla vuodessa vuosina 2010–2021. Yhdysvallat ja Kanada olivat hallitsevassa asemassa (vaikkakin ne määrittelevät biopolttoaineet eri tavoin), kun taas EU:n osuus on viiden viime vuoden aikana ollut vain 6 prosenttia. EU kuitenkin johtaa arvokkaissa patenteissa, joita sillä on kaksi kertaa niin paljon kuin Yhdysvalloilla. Kiinalla on eniten matalan innovaatioasteen patenteja, ja EU:n patenttihakemukset lisääntyvät Yhdysvalloissa ja Kiinassa.

Maailmanmarkkinoiden analyysi: EU:n osuus maailman biopolttainemarkkinoista on noin 7 prosenttia (eli noin 105 miljardia euroa vuonna 2020), ja se perustuu pääasiassa ensimmäisen sukupolven biodieseliin. Liikevaihto oli huipussaan 14,4 miljardia euroa vuonna 2018<sup>219</sup>, ja suurin osa siitä kertyi Ranskassa, Saksassa ja Espanjassa. Arvoketjussa luotiin EU:ssa suoraan ja välillisesti 250 000 työpaikkaa. EU:ssa on myös 29 prosenttia maailman innovaatioyrityksistä, ja eniten niitä on Yhdysvalloissa ja Japanissa.

Kehittyneiden biopolttoaineiden sektori on vasta syntymässä. Kaupallisten laitosten määrä on edelleen melko pieni, ja kansainvälinen kauppa on hyvin vähäistä. EU on maailman kärjessä käytössä olevien kaupallisten kehittyneiden biopolttoaineiden tuotantolaitosten määrässä,

---

<sup>217</sup> Sähköpolttoaineiden osalta 50 prosenttia. Nykyiset sähköpolttoainekustannukset ovat 7 euroa litralta, ja niiden odotetaan laskevan 1–3 euroon litralta vuoteen 2050 mennessä mittakaavaetujen, oppimisvaikutusten ja uusiutuvista energialähteistä tuotetun sähkön hinnan ennakoitun alenemisen vuoksi.

<sup>218</sup> Yksityisiä investointeja ovat riskipääoma, enkeli- ja siemenrahoitus sekä avustukset. Vuodesta 2010 lähtien 57 prosenttia investoinneista on tehty Yhdysvalloissa, 28 prosenttia Kanadassa ja vain 10 prosenttia koko EU:ssa (JRC:n vuoden 2022 CETO-raportti kehittyneistä biopolttoaineista).

<sup>219</sup> Kehittyneitä biopolttoaineita koskevan raportin mukaan Ranskan liikevaihto oli vuonna 2020 suurin (hieman yli 2 500 miljoonaa euroa), ja sen jälkeen tulivat Saksa ja Espanja (noin 1 500 miljoonaa euroa kumpikin) sekä Unkari, Romania ja Puola (hieman alle 1 000 miljoonaa euroa kukin) (ks. *Clean Energy Technology Observatory: Advanced biofuels in the European Union – 2022 Status Report on Technology Development, Trends, Value Chains and Markets*, JRC130727).

sillä 19 yhteensä 24:stä sijaitsee EU:ssa. Ruotsissa ja Suomessa niitä on eniten (yhteensä 12).<sup>220</sup>

Kaikilla biopolttoaineilla voidaan käydä kansainvälistä kauppaa. Kansainvälinen kauppa on biopolttoaineiden osalta vähäisempää kuin fossiilisten vastaavien osalta, ja kehittyneillä biopolttoaineilla sitä ei ole juuri lainkaan. EU:n biopolttoaineiden tuonti on kasvanut jatkuvasti vuodesta 2014. Sen biopolttoaineiden kaupan alijäämä oli vuonna 2021 yli 2 miljardia euroa, ja niitä tuotiin pääasiassa Argentiinasta, Kiinasta ja Malesiasta. Alankomaat ja Saksa ovat EU:n suurimpia tuottajia ja globaaleja biopolttoaineiden viejiä.

Yhteenvedon voidaan todeta, että vaikka uusiutuvien polttoaineiden asennettu ja suunniteltu tuotantokapasiteetti vuodelle 2030 on minimaalinen ja kestävästä raaka-aineesta valmistettavien kehittyneiden biopolttoaineiden mahdollisuudet EU:ssa ovat rajalliset, ala voi kuitenkin edistää 55-valmiuspaketin mukaisen kasvihuonekaasupäästöjen vähennystavoitteen saavuttamista ja paikata riittävällä tavalla liikenteen mahdollisia sähköistämistä. Joitakin teknisiä ja taloudellisia riskejä on vielä voitettava, jotta uusiutuvien polttoaineiden mahdollisuudet liikenteessä voidaan hyödyntää täysimääräisesti. Kaikkien uusiutuvien polttoaineiden ja erityisesti synteettisten polttoaineiden kustannukset ovat edelleen korkeat, koska ne perustuvat uusiutuvan energian ja vedyn hintoihin. Kehittyneet biopolttoaineet ovat kuitenkin riippuvaisia paikallisista kestävästä biomassavaroista ja lyhyistä toimitusketjuista, jotka luovat suuren määrän ammattitaitoa vaativia työpaikkoja, vähentävät energiaköyhyyttä ja edistävät teollisuuden kilpailukykyä. EU on selvä markkinajohtaja käytössä olevissa kaupallisissa kehittyneiden biopolttoaineiden tuotantolaitoksissa ja arvokkaissa innovaatioissa. EU:n yritykset ovat tällä hetkellä maailman kymmenen parhaan joukossa, mutta ne ovat vaarassa menettää teknologisen johtoasemansa yksityisen rahoituksen puutteen vuoksi. Sen vuoksi unionissa tuotetun energian lisäksi olisi otettava huomioon myös niiden taustalla olevien eurooppalaisten teknologioiden vientipotentiaali.

### 3.7. Energianhallinnan älykkäät teknologiat

EU:n ja jäsenvaltioiden päätöksenteossa on viime vuosina selvästi tunnustettu älykkäiden sähköverkkojen merkitys. EU:n energiajärjestelmän integrointia koskevassa vuoden 2020 strategiassa<sup>221</sup> todettiin älykkäiden verkkojen olevan tärkeitä EU:n energia- ja ilmastopoliittisten tavoitteiden saavuttamisessa. Älykkäiden sähköjärjestelmien käyttöönotto on yksi vuoden 2022 tarkistetussa Euroopan laajuisia energiainfrastruktuureja koskevassa asetuksessa<sup>222</sup> mainituista ensisijaisista aihealueista.<sup>223</sup> Jäsenvaltiot tunnustivat elpymis- ja palautumissuunnitelmissaan, että digitaaliset ratkaisut voivat auttaa luomaan älykkäämpiä sähköverkkoja.<sup>224</sup> Sähköistäminen ja älyverkkojen luominen etenevät, mutta

<sup>220</sup> Ruotsissa on kahdeksan laitosta, Suomessa neljä, Espanjassa ja Italiassa kummassakin kaksi ja Ranskassa ja Alankomaissa kummassakin yksi. EU:n ulkopuolisista maista Yhdysvalloissa on kaksi ja Kiinassa, Indonesiassa, Japanissa ja Norjassa kussakin yksi (JRC:n vuoden 2022 CETO-raportti kehittyneistä biopolttoaineista).

<sup>221</sup> *Käyttövoimaa ilmastoneutraalille taloudelle: EU:n energiajärjestelmän integrointistrategia* (COM (2020)299 final).

<sup>222</sup> EUVL L 152, 3.6.2022. Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EU) 2022/869, annettu 30 päivänä toukokuuta 2022, Euroopan laajuisen energiainfrastruktuurien suuntaviivoista, asetusten (EY) N:o 715/2009, (EU) 2019/942 ja (EU) 2019/943 ja direktiivien 2009/73/EY ja (EU) 2019/944 muuttamisesta ja asetuksen (EU) N:o 347/2013 kumoamisesta.

<sup>223</sup> Asetuksessa edellytetään, että älykkäitä verkkoja koskevilla hankkeilla edistetään vähintään kahta seuraavista kriteereistä: i) toimitusvarmuus ii) markkinoiden yhdentymisen iii) verkon varmuus, joustavuus ja toimitusten laatu ja iv) alojen älykkäät integrointi.

<sup>224</sup> Euroopan komissio, *Recovery and Resilience Scoreboard. Thematic Analysis: Digital public services*, joulukuu 2021.

sähköinfrastruktuurin vahvistamiseksi on tehtävä enemmän, jotta REPowerEU-suunnitelma voidaan panna täytäntöön. Haasteita ovat energiankulutuksen vähentäminen, tietojen jakaminen eri toimijoiden välillä, joustavuus, yhteentoimivuus ja teknologinen valmius. Energiajärjestelmän digitalisointia koskevassa EU:n toimintasuunnitelmassa<sup>225</sup> esitetään useita toimenpiteitä näiden esteiden poistamiseksi.

Koska älykkäitä energiateknologioita on paljon ja useita erilaisia, tässä jaksossa keskitytään arvioimaan teknologian ja markkinoiden kehitystä vain kolmen keskeisen teknologian osalta: i) kehittynyt mittausinfrastruktuuri ii) kotitalouksien energianhallintajärjestelmät ja iii) sähköajoneuvojen älykäs lataaminen.

i) Kehittynyt mittausinfrastruktuuri (AMI)

AMI-järjestelmät<sup>226</sup> tarjoavat sekä energiapalvelujen tarjoajille että kuluttajille monia etuja, kuten pienemmät sähkölaskut paremman kulutushallinnan ansiosta, paremmat mahdollisuudet tarkkailla verkkoa ja siten hallita käyttökeskeytyksiä, pienemmät verkon päivityskustannukset sähköhuippujen paremman hallinnan ansiosta ja parempi asiakashallinta kehittyneen asiakasinfrastruktuurin (eli älykkäiden sovellusten ja verkkoportaalien) ansiosta.<sup>227</sup>

Älykkäiden mittausjärjestelmien käyttöönotto edistyy EU:ssa, joskin sitä on edelleen nopeutettava. Vuonna 2020 vain 43 prosentilla kuluttajista oli älykäs sähkömittari (mikä vastaa noin 123:a miljoonaa yksikköä EU:ssa ja Yhdistyneessä kuningaskunnassa)<sup>228</sup>. Kehittyneen mittausinfrastruktuurin tarjoamat toiminnot vaihtelevat: useimmissa maissa ne tarjoavat mittariliittymän välityksellä yksityiskohtaisia kulutustietoja (esim. kulutustaso/päivämäärä/kellonaika) ja/tai kumulatiivisia kulutustietoja.

Kehittyneen mittausinfrastruktuurin täyden potentiaalin hyödyntäminen edellyttää tiiviimpää integrointia kotitalouksien energianhallintajärjestelmiin ja älylaitteisiin (mukaan lukien älykäs sähköajoneuvojen lataus) sekä uusiin energiapalveluihin.

ii) Kotitalouksien energianhallintajärjestelmä (HEMS)

Älylaitteiden yleistymisen<sup>229</sup> viittaa siihen, että kotitalouksien energianhallintajärjestelmistä voi tulla tietojen koostamisen, optimoinnin ja kolmansille osapuolille (esimerkiksi energianvälittäjille ja palveluntarjoajille) ulkoistamisen keskus. Komissio valmistelee parhaillaan älylaitteiden valmistajille suunnattuja menettelysääntöjä, joissa määritellään yhteentoimivuusvaatimukset ja laitteiden välistä tietojenvaihtoa koskevat periaatteet, kotien

<sup>225</sup> *Energiajärjestelmän digitalisointi – EU:n toimintasuunnitelma (COM (2022)552 final).*

<sup>226</sup> AMI-järjestelmät koostuvat eri osista. Älymittarit ovat niiden keskeinen osa, ja niitä täydentävät viestintäverkot ja tiedonhallintajärjestelmät.

<sup>227</sup> *Advanced Metering Infrastructure and Customer Systems, Results from the Smart Grid Investment Grant Program*, Yhdysvaltain energiaministeriön energiatoimituksista ja energiavarmuudesta vastaava virasto, [https://www.energy.gov/sites/prod/files/2016/12/f34/AMI%20Summary%20Report\\_09-26-16.pdf](https://www.energy.gov/sites/prod/files/2016/12/f34/AMI%20Summary%20Report_09-26-16.pdf)

<sup>228</sup> Viro, Espanja, Italia, Suomi ja Ruotsi: 90 %; Tanska, Ranska, Luxemburg, Malta, Alankomaat ja Slovenia: 70–90 %; Latvia ja Portugali: 50–70 %; Kreikka, Itävalta ja Yhdistynyt kuningaskunta: 20–50 % (Vitiello, S., Andreadou, N., Ardelean, M. ja Fulli, G., *Smart Metering Roll-Out in Europe: Where Do We Stand? Cost Benefit Analyses in the Clean Energy Package and Research Trends in the European Green Deal, Energies*, osa 15, 2340, 2022, <https://doi.org/10.3390/en15072340>)

<sup>229</sup> Esimerkkejä ovat älykkäät termostaatit, älypistokkeet, älykäs valaistus sekä hajautetut energialaitteet, kuten aurinkosähkö, ja sähköautot.

ja rakennusten automaatiojärjestelmät, sähköajoneuvojen latauslaitteet, aggregaattorit ja jakeluverkonhaltijat.<sup>230</sup>

Nykyiset kotitalouksien energianhallintaratkaisut vaihtelevat asiakkaan suoraan käyttämistä energianseurantasovelluksista yleishyödyllisten palvelujen parissa toimiville asiakkaille tarkoitettuihin valmiisiin ohjelmistoalustoihin, jotka voidaan myöhemmin ottaa käyttöön loppukäyttäjille. Perinteisten energia- ja/tai elektroniikkayritysten<sup>231</sup> lisäksi suuret ohjelmistoyritykset, kuten Google, Apple ja Cisco, tarjoavat nykyään kotitalouksien energianhallintajärjestelmiin liittyviä tuotteita<sup>232</sup>. Tämä suuntaus korostaa ohjelmistotekniikan kasvavaa roolia esineiden internetin (IoT) laitteissa.

Kotitalouksien energianhallintajärjestelmien kysynnän odotetaan kasvavan merkittävästi tulevina vuosina. Esimerkiksi Saksan markkinoiden, jotka ovat EU:n suurimmat kotitalouksien energianhallintajärjestelmien kansalliset markkinat, odotetaan kasvavan lähes 460 miljoonaan Yhdysvaltain dollariin (544 miljoonaan euroon<sup>233</sup>) vuoteen 2027 mennessä, ja Ranskan kotitalouksien energianhallintajärjestelmien markkinoiden yhdistetty vuotuinen kasvuvauhti (CAGR) saattaa olla 20,3 prosenttia vuosina 2021–2027.<sup>234</sup> Tämä heijastaa maailmanlaajuisia suuntauksia. Kotitalouksien energianhallintajärjestelmien maailmanlaajuisten markkinoiden arvon arvioitiin olevan 2,1 miljardia Yhdysvaltain dollaria vuonna 2021 (2,5 miljardia euroa<sup>235</sup>), ja se voi kasvaa 6 miljardiin Yhdysvaltain dollariin (7 miljardiin euroon<sup>236</sup>) vuoteen 2027 mennessä (CAGR oli 16,5 prosenttia vuosina 2022–2027).<sup>237</sup> Tässä vaiheessa on kuitenkin epäselvää, auttavatko kotitalouksien energianhallintajärjestelmät vain kuluttajia optimoimaan kulutuksensa ja mukavuutensa vai mahdollistavatko ne myös kysynnänohjauksen ja joustavuuden suuressa mittakaavassa.

### iii) Sähköajoneuvojen älykäs lataus

Sähköajoneuvojen älykäs lataus on avainasemassa maksimoitaessa sähköajoneuvojen, uusiutuvan energian tuotannon ja sähköverkon palvelujen välistä synergiaa. Sähköajoneuvojen käyttöönottovauhdin perusteella sähköajoneuvojen ei odoteta aiheuttavan sähkön kysyntäkriisiä lyhyellä tai keskipitkällä aikavälillä<sup>238</sup>, mutta ne voivat muuttaa

<sup>230</sup> [Support on the development of policy proposals for energy smart appliances | JRC Smart Electricity Systems and Interoperability \(europa.eu\)](#).

<sup>231</sup> Esimerkiksi Fortum (FI), ENEL X (IT), Bosch (DE), NIBE (SE) ja Schneider Electric (FR). Kotitalouksien energianhallintajärjestelmien toimittajat esiteltiin yksityiskohtaisesti komission vuoden 2021 kilpailukykyraportissa (SWD(2021) 307 final, [komission yksiköiden valmisteluasiakirja](#)).

<sup>232</sup> Googlen Home, Applen Siri ja Ciscon energianhallintapalvelu ovat esimerkkejä kotitalouksien energianhallintapalveluista.

<sup>233</sup> Tässä kappaleessa käytetään vuoden 2021 keskimääräistä vaihtokurssia: 1,1827 euroa = yksi Yhdysvaltain dollari. [https://www.ecb.europa.eu/stats/policy\\_and\\_exchange\\_rates/euro\\_reference\\_exchange\\_rates/html/eurofxref-graph-usd.en.html](https://www.ecb.europa.eu/stats/policy_and_exchange_rates/euro_reference_exchange_rates/html/eurofxref-graph-usd.en.html)

<sup>234</sup> Delta-EE, <https://www.delta-ee.com/research-services/home-energy-management/>

<sup>235</sup> Tässä kappaleessa käytetään vuoden 2021 keskimääräistä vaihtokurssia: 1,1827 euroa = yksi Yhdysvaltain dollari. [https://www.ecb.europa.eu/stats/policy\\_and\\_exchange\\_rates/euro\\_reference\\_exchange\\_rates/html/eurofxref-graph-usd.en.html](https://www.ecb.europa.eu/stats/policy_and_exchange_rates/euro_reference_exchange_rates/html/eurofxref-graph-usd.en.html)

<sup>236</sup> Tässä kappaleessa käytetään vuoden 2021 keskimääräistä vaihtokurssia: 1,1827 euroa = yksi Yhdysvaltain dollari. [https://www.ecb.europa.eu/stats/policy\\_and\\_exchange\\_rates/euro\\_reference\\_exchange\\_rates/html/eurofxref-graph-usd.en.html](https://www.ecb.europa.eu/stats/policy_and_exchange_rates/euro_reference_exchange_rates/html/eurofxref-graph-usd.en.html)

<sup>237</sup> IMARC-konserni: *Home Energy Management System Market Size and Share 2022–2027*, <https://www.imarcgroup.com/home-energy-management-systems-market?msclkid=5440b237b02f11ecae445030f049ab37>

<sup>238</sup> Jakeluverkon simulaatiot Saksassa osoittavat, että verkon päivitysvaatimukset ovat melko vähäisiä siihen saakka, kunnes noin 20 prosenttia koko ajoneuvokannasta on sähköautoja (VertgeWall, C.M. ym., *Modelling Of Location and*

kuormituskäyrää.<sup>239</sup> Älykkään sähköajoneuvolatauksen vaikutus voi olla suurempi alueilla, joilla sähköajoneuvoja on paljon ja verkkoinfrastruktuuri määrään nähden heikko. Älykkäillä sähköajoneuvojen lataustekniikoilla voidaan mahdollisesti tarjota tasehallintapalveluja verkkoon ja vähentää uusiutuvan energian tuotannon rajoittamisia, mikä vähentää verkon päivitystarvetta.

Älykäs lataus sisältää useita hinnoitteluvaihtoehtoja ja teknisiä latausvaihtoehtoja, ja se on saatavilla kolmessa muodossa: yksisuuntaisesti ajoneuvosta verkkoon (V1G), kaksisuuntaisesti ajoneuvosta verkkoon (V2G) ja ajoneuvosta kotiin tai rakennukseen (V2H-B). Sähköajoneuvojen älylatausjärjestelmien markkinoiden keskeisiä toimijoita ovat ABB (Ruotsi/Sveitsi), Bosch Automotive Service Solutions Inc. (Saksa), Schneider Electric (Ranska), GreenFlux ja Alfen N.V. (Alankomaat), Virta (Suomi) sekä Driivz ja Tesla (Yhdysvallat).

Maailmanlaajuiset sähköajoneuvojen älylatausjärjestelmien markkinat ovat selvässä kasvussa: niiden arvioitu arvo on 1,52 miljardia Yhdysvaltain dollaria (1,77 miljardia euroa<sup>240</sup>) vuonna 2020 ja yhdistetty vuotuinen kasvuvauhti (CAGR) 32,42 prosenttia vuosina 2021–2031<sup>241</sup>. Kehittyneemmistä V1G-ratkaisuista poiketen V2G- ja V2H-B-latausta ei kuitenkaan ole vielä saatettu markkinoille laajamittaisesti, vaikka pilottien ja demonstraatioiden määrä on kasvussa.

Älykkään latausinfrastruktuurin käyttöönotto laajassa mittakaavassa tuo mukanaan kaksi haastetta: ensinnäkin on vahvistettava latauspisteiden, sähköajoneuvojen ja jakeluverkon välisten viestintärajapintojen standardointia, ja toiseksi on vastattava raaka-aineiden kasvavaan kysyntään<sup>242</sup>.

AMI-järjestelmien, kotitalouksien energianhallintajärjestelmien ja sähköajoneuvojen älykkään latauksen odotetaan edistyvän edelleen. AMI-järjestelmien käyttöönotto on ollut alun perin suunniteltua hitaampaa. Jotta AMI-järjestelmien tarjoamia mahdollisuuksia voitaisiin hyödyntää kaikilta osin, ne olisi integroitava tiiviimmin kotitalouksien energianhallintajärjestelmiin ja älylaitteisiin. Älylaitteiden käytön lisääntymisen uskotaan johtavan kotitalouksien energianhallintajärjestelmien kysynnän merkittävään kasvuun. Myös sähköajoneuvojen älykkään latauksen maailmanlaajuisen markkinoiden odotetaan käynnistyvän, mutta ratkaistavana on vielä haasteita.

---

*Time Dependent Charging Profiles of Electric Vehicles Based on Historical User Behaviour*, CIRED 2021 - The 26th International Conference and Exhibition on Electricity Distribution, 2021).

<sup>239</sup> McKinsey&Company, McKinsey Center for future mobility, *The potential impact of electric vehicles on global energy systems*, 2018.

<sup>240</sup> Tässä kappaleessa käytetään vuoden 2021 keskimääräistä vaihtokurssia: 1,1827 euroa = yksi Yhdysvaltain dollari. [https://www.ecb.europa.eu/stats/policy\\_and\\_exchange\\_rates/euro\\_reference\\_exchange\\_rates/html/eurofxref-graph-usd.en.html](https://www.ecb.europa.eu/stats/policy_and_exchange_rates/euro_reference_exchange_rates/html/eurofxref-graph-usd.en.html)

<sup>241</sup> Transparency market research, *Smart EV Charger Market: 2021 – 2031*, 2021.

<sup>242</sup> Sähköajoneuvojen latausasemien kriittisten komponenttien (kotelot, kaapelit, liittimet, kaapelien eristys ja vaipat sekä taipuisat johtimet) valmistukseen käytettäviä raaka-aineita ovat muun muassa ruostumaton teräs, kupari, alumiini, polykarbonaatit, elastomeerit ja lämpömuovautuvat polyuretaanit. Pii ja germanium ovat elektronisten piirien ja piirilevyjen valmistuksen keskeisiä raaka-aineita.

### 3.8. Muita puhtaita energiateknologioita koskevat keskeiset havainnot

Edellä olevissa jaksoissa keskitytään vuonna 2021 analysoituihin puhtaisiin energiateknologioihin ja -ratkaisuihin.<sup>243</sup> Muita tässä jaksossa esitettyjä tärkeimpiä puhtaan energian ratkaisuja käsitellään oheisissa CETO-raporteissa<sup>244</sup>. Nämä teknologiat ovat eri kehitysvaiheissa ja kehittyvät eri yhteyksissä. Tämä tarkoittaa, että niillä on kullakin omat kilpailukykyyn liittyvät haasteensa ja mahdollisuutensa.

Esimerkiksivesivoimaa<sup>245</sup> on hyödynnetty merkittävästi kaikkialla EU:ssa. Asennettu kapasiteetti oli 151 gigawattia vuonna 2021, mikä on 6 gigawattia enemmän kuin vuonna 2011. Tämä vastaa noin 12:ta prosenttia EU:n sähkön nettotuotannosta. EU:n 44 gigawatin pumppuvoimalaitosteho vastaa EU:n lähes koko sähkön varastointikapasiteettia ja takaa sähköverkon ja veden varastointikapasiteetin joustavuuden. Laitoskannan ikääntyessä olemassa olevan vesivoimakapasiteetin kestävä kunnostaminen saa jatkuvasti lisää painoarvoa, samoin mahdollisuus tehdä vesivoimakannasta kestävämpi ilmasto- ja markkinamuutosten suhteen. EU on johtoasemassa tutkimuksen ja innovoinnin alalla, sillä sen hallussa on 33 prosenttia kaikista arvokkaista keksinnöistä maailmanlaajuisesti (2017–2019), ja 28 prosenttia kaikista innovatiivisista yrityksistä on sijoittunut unioniin. Maailmanlaajuisesti laajenevilla markkinoilla sen osuus vesivoiman kokonaisviennistä oli 50 prosenttia eli miljardi euroa vuosina 2019–2021. Vesivoiman tarjoamien mahdollisuuksien täysimääräinen hyödyntäminen edellyttää kuitenkin, että EU selviää uusien laitojen ja altaiden yhteiskunnalliseen hyväksyttävyyteen ja ympäristövaikutuksiin liittyvistä haasteista. Ilmastonmuutoksen vaikutukset vaikuttavat vesivoimaan myös Euroopassa monin eri tavoin, ja vesivoimaloiden altaat voivat osaltaan lieventää joitakin näistä vaikutuksista. On olennaisen tärkeää tunnustaa vesivoimaloiden monikäyttöisten altaiden lisähyödyt (energiantuotannon ohella) ja kannustaa kestävämpiin (eli ympäristövaikutuksiltaan pienempiin) vesivoimateknologioihin ja -toimenpiteisiin.

**Valtamerienergiaa**<sup>246</sup> käytetään yhä enemmän. Pitkällä aikavälillä valtamerienergia voi vastata jopa 10 prosenttiin EU:n energiantarpeesta, kun otetaan huomioon resurssien tarjoamat mahdollisuudet. Merellä tuotettavaa uusiutuvaa energiaa koskevassa EU:n vuoden 2020 strategiassa<sup>247</sup> ehdotettiin valtamerienergiaa koskevia erityistavoitteita, joiden mukaan pitkän aikavälin tavoitteena on vähintään 40 gigawatin kapasiteetti vuoteen 2050 mennessä. EU:n yritykset ovat johtavassa asemassa valtamerienergian alalla, ja useimmat yritykset pitävät pääpaikkaansa EU-maissa. Käyttöönotto EU:n sisällä ja sen ulkopuolella lisääntyy asennetulla kapasiteetilla mitattuna. Yksittäiset laitteet tuottavat sähköä verkkoon jo nyt pidempiä aikoja<sup>248</sup>. On kuitenkin tarpeen vähentää jatkuvasti kustannuksia ja varmistaa

<sup>243</sup> Komission kertomus Euroopan parlamentille ja neuvostolle puhtaan energian teknologioiden kilpailukyvyin edistymisestä (COM(2021) 952 final).

<sup>244</sup> [https://setis.ec.europa.eu/publications/clean-energy-technology-observatory-ceto\\_en](https://setis.ec.europa.eu/publications/clean-energy-technology-observatory-ceto_en)

<sup>245</sup> Quaranta, E. ym., *Clean Energy Technology Observatory, Hydropower and Pumped Hydropower Storage in the European Union – 2022 Status Report on Technology Development, Trends, Value Chains and Markets*, Euroopan komissio, 2022, JRC130587.

<sup>246</sup> Mukaan lukien aaltoenergian, vuorovesienergian, suolaisuuseroja hyödyntävän energian ja meren lämpöenergian muuntamisteknologiat.

<sup>247</sup> *EU:n strategia avomerellä tuotettavan uusiutuvan energian potentiaalın valjastamiseksi ilmastoneutraalin tulevaisuuden tarpeisiin* (COM(2020) 741 final).

<sup>248</sup> Meygen 1A -vuorovesienergiailaitos (UK) on ollut käytössä huhtikuusta 2018, Mutrikun aaltoenergiailaitos (ES) heinäkuusta 2011 ja Shetlannin vuorovesienergiailaitos vuodesta 2016.

ympäristökestävyys, jotta aalto- ja vuorovesienergiateknologiat voivat vakiinnuttaa asemansa sähkömarkkinoilla ja olla kilpailukykyisiä muihin uusiutuviin energialähteisiin nähden. Niiden laajamittaisen käyttöönoton mahdollistamiseksi tarvitaan myös testaukseen ja markkinoille saattamiseen kohdennettua lisärahoitusta.

**Geotermisen<sup>249</sup> energian** käyttö on lisääntynyt sekä voimalaitoksissa että kaukolämmityksessä ja -jäähdytyksessä, vaikkakin hitaammin kuin muiden puhtaiden energiateknologioiden. Vuonna 2021 Saksassa otettiin käyttöön kaksi uutta geotermistä voimalaitosta, joiden kapasiteetti oli 1 megawattia sähkötehoa ja 5 megawattia sähkötehoa.<sup>250</sup> Niiden ansiosta EU:n kokonaiskapasiteetti oli 0,877 gigawattia sähkötehoa, kun taas maailmanlaajuinen kokonaiskapasiteetti oli noin 14,4 gigawattia sähkötehoa. Vuonna 2021 asennetun geotermisen kaukolämmön ja -jäähdytyksen kokonaiskapasiteetti EU:ssa oli 2,2 gigawattia lämpötehoa, ja siihen sisältyi yli 262 järjestelmää. Kasvu on suurinta Ranskassa, Alankomaissa ja Puolassa. Tehostetuilla geotermisillä järjestelmillä (EGS) on edelleen useita innovaatiohaasteita, jotka edellyttävät lisätutkimusta ja -innovointia. Maalämpöenergiահankkeisiin tehtävien investointien riskin pienentäminen on ratkaisevan tärkeää geotermisen energian valtaviin mahdollisuuksiin hyödyntämiseksi. EU:ssa suurimmat haasteet liittyvät kustannustehokkuuteen ja ympäristönsuojelun tasoon.

**Keskittävällä aurinkoenergialla ja -lämmöllä<sup>251</sup>** voidaan edistää merkittävästi sähköntuotantoa paikoissa, joissa suora auringonsäteily on voimakasta, mutta toistaiseksi vain murto-osa sen potentiaalista on hyödynnetty. Vuonna 2021 maailmanlaajuinen asennettu kapasiteetti oli noin 6,5 gigawattia, ja 2,4 gigawattia oli asennettu EU:hun. EU:ssa on myös suuret markkinat teolliselle prosessilämmölle, jota voidaan osittain hyödyntää keskittävissä aurinkolämpöjärjestelmissä. Näiden sähkön ja prosessilämmön mahdollisuuksien tutkiminen taloudellisten ja muiden tukitoimien avulla auttaisi EU:ta vastaamaan paremmin kansainväliseen kilpailuun. Tämä on erityisen tärkeää, koska kiinalaiset organisaatiot ovat nousemassa kansainvälisiksi keskittävään aurinkosähköön liittyvien hankkeiden kehittäjiksi, kun EU:n yritykset ovat perinteisesti olleet alalla johtavassa asemassa. Keskittävän aurinkosähkön alalla on onnistuttu vähentämään kustannuksia huomattavasti, ja se on vakiinnuttamassa asemansa luotettavana vaihtoehtona. Eurooppalaisilla organisaatioilla on johtava asema tutkimuksessa ja teknologian kehittämisessä. EU:n tutkijat julkaisevat eniten tieteellisiä julkaisuja ja aikaansaavat arvokkaita patenteja, jotka lisäävät tehokkuutta ja vähentävät kustannuksia strategisen energiateknologiasuunnitelman (SET-suunnitelman) keskittävää aurinkosähköä koskevan täytäntöönpanosuunnitelman<sup>252</sup> mukaisesti. Tutkimuksella ja innovoinnilla on tässä keskeinen rooli, ja EU:n uudessa aurinkoenergiastrategiassa ilmoitettua konkreettista tukea tarjotaan edelleen EU:n tasolla.

**Hiilidioksidin talteenoton, hyödyntämisen ja varastoinnin (CCUS)** osalta on viime vuosina edistytty vauhdikkaammin, mutta EU:ssa toimii silti vain pieni määrä laitoksia.

---

<sup>249</sup> Bruhn, D. ym., *Clean Energy Technology Observatory: Deep Geothermal Energy in the European Union – 2022 Status Report on Technology Development, Trends, Value Chains and Markets*, Euroopan komissio, 2022, JRC130585.

<sup>250</sup> European Geothermal Energy Council, *2021 EGEN Geothermal Market Report*.

<sup>251</sup> Taylor, N. ym., *Clean Energy Technology Observatory: Concentrated Solar Power and Heat in the European Union – 2022 Status Report on Technology Development, Trends, Value Chains and Markets*, Euroopan komissio, 2022, doi: 10.2760/080204, JRC130811.

<sup>252</sup> [https://setis.ec.europa.eu/implementing-actions/csp-ste\\_en](https://setis.ec.europa.eu/implementing-actions/csp-ste_en)

Ranska, Saksa ja Alankomaat ovat edelläkävijöitä julkisissa ja yksityisissä T&I-investoinneissa, ja niillä on eniten patenteja hakevia yrityksiä. CCUS:n kehittämiseksi on edelleen joitakin esteitä, jotka liittyvät lähinnä sääntelyn täytäntöönpanoon<sup>253</sup>, taloudellisiin tekijöihin, riskeihin ja epävarmuustekijöihin sekä kansalaisten hyväksyntään. Innovaatorahastosta annettavan EU-tuen kohteena on 11 laajamittaista CCS- ja CCU-hanketta.

**Bioenergia**<sup>254</sup> muodostaa tällä hetkellä lähes 60 prosenttia<sup>255</sup> uusiutuvien energialähteiden tarjonnasta EU:ssa. Bioenergia on edelleen tärkeää useiden jäsenvaltioiden energiasektoreiden siirtymän kannalta, koska se auttaa vähentämään talouden hiilidioksidipäästöjä ja lisää samalla energiavarmuutta ja monipuolistamista. Biomassan ennustetun kasvun vuoksi EU:n on tärkeää varmistaa, että bioenergiaa hankitaan ja käytetään kestäväällä tavalla, ja välttää kielteiset vaikutukset biologiseen monimuotoisuuteen sekä hiilinieluihin ja -varastoihin. Uusiutuvia energialähteitä koskevan direktiivin tarkistusehdotuksessa esitetään bioenergiaa koskevat tiukemmat kestävyyskriteerit ja asetetaan jäsenvaltioille vaatimus soveltaa kaskadikäyttöperiaatetta tukiohjelmissaan. Varsinkin kestävästi tuotettu biometaan, joka perustuu orgaaniseen jätteeseen ja jäämiin, voi auttaa saavuttamaan REPowerEU:n tavoitteen vähentää EU:n riippuvuutta fossiilisista tuontipolttoaineista. Orgaanisen jätteen erilliskeräysvelvoite vuoteen 2024 mennessä on merkittävä mahdollisuus biokaasun kestäväälle tuotannolle tulevina vuosina. Bioenergia tarjoaa joustavaa sähköntuotantoa ja tasapainottaa sähköverkkoa. Lisäksi sillä on keskeinen rooli siinä mielessä, että se mahdollistaa vaihtelevien uusiutuvien energialähteiden, kuten tuuli- ja aurinkoenergian, suuren osuuden sähköverkoissa.

**Ydinvoimalla** tuotetaan noin neljäsosa EU:n sähköstä ja noin 40 prosenttia EU:n vähähiilisestä sähköstä.<sup>256</sup> EU:ssa oli 103 reaktoria (101 gigawattia sähkötehoa) vuonna 2022. Uusiutuvien energialähteiden ohella ydinvoima sisältyy EU:n pitkän aikavälin strategiseen suunnitelmaan ilmastonutraalista taloudesta vuoteen 2050 mennessä. REPowerEU-suunnitelmassa tunnustetaan myös ydinpohjaisen vedyn merkitys maakaasun korvaamisessa fossiilivapaalla vedyllä. Ydinvoiman mahdollinen vaikutus tulevaan vähähiilisten energialähteiden yhdistelmään nojautuu tutkimukseen ja innovointiin, joilla tavoitellaan yhä puhtaampia ja turvallisempia ydinteknologioita (sekä perinteisiä että kehittyneitä). Useat energiayhtiöt ja tutkimusorganisaatiot vähintään seitsemästä EU:n jäsenvaltiosta ovat osoittaneet kiinnostusta uusiin pienempiin ja modulaarisiiin ydinreaktoreihin (SMR)<sup>257</sup>, jotka liitetään hiilivapaan sähkön ja muun kuin sähköenergian tuotantoon, kuten teollisuus- ja kaukolämpöön ja vedyn tuotantoon. Asiasta kiinnostuneet alan toimijat ja valtiolliset toimijat EU:ssa edistävät prosessia kohti eurooppalaista teollisuusmallia pienempien ja modulaaristen ydinreaktoreiden käyttöönottamiseksi 2030-luvun alussa.

<sup>253</sup> Esimerkiksi Lontoon pöytäkirjan ratifiointi.

<sup>254</sup> Motola, V. ym., *Clean Energy Technology Observatory: Bioenergy in the European Union – 2022 Status Report on Technology Development, Trends, Value Chains and Markets*, Euroopan komissio, 2022, JRC130730.

<sup>255</sup> Tämä luku sisältää biopolttoaineet, joiden osuus on noin 7 prosenttia.

<sup>256</sup> World Nuclear Association, *Nuclear Power in the European Union*, taulukko "EU nuclear power", verkkosivulla vierailtu 14. lokakuuta 2022.

<sup>257</sup> Euroopan komissio, *Small Modular Reactors and Medical Applications of Nuclear technologies*, Euroopan unionin julkaisutoimisto, Luxemburg, 2022.

#### 4. PÄÄTELMÄT

Omien puhtaiden energiateknologioiden nopea kehittäminen ja käyttöönotto EU:ssa on avaintekijä kustannustehokkaiden, ilmastoystävällisten ja sosiaalisesti oikeudenmukaisten ratkaisujen löytämiseksi nykyiseen energiakriisiin.

Vastauksena ennennäkemättömän korkeisiin energianhintoihin EU on pikaisesti ehdottanut toimenpiteitä, joilla **suojellaan kuluttajia ja yrityksiä**, haavoittuvassa asemassa olevat kotitaloudet ja puhtaiden energiateknologioiden alan toimijat mukaan luettuina, samalla kun varmistetaan vuosiin 2030 ja 2050 ulottuvien ilmasto- ja energiatarvoitteiden saavuttaminen.

Samanaikaisesti EU:n olisi jatkettava pyrkimyksiään **vähentää riippuvuuttaan raaka-aineista ja monipuolistaa niiden hankintaa**, koska raaka-aineiden hintojen nousu vaikuttaa vakavasti puhtaiden energiateknologioiden kilpailukykyyn. Ilmoitetun Euroopan kriittisiä raaka-aineita koskevan säädöksen<sup>258</sup> tavoitteena on edistää näiden tavoitteiden saavuttamista. EU:n on myös **syvennettävä kansainvälistä yhteistyötä ja ratkaistava ammattitaitoisen työvoiman puute** eri puhtaiden energiateknologioiden lohkoilla varmistuen samalla tasa-arvoinen toimintaympäristö, jossa sukupuolet ovat tasapuolisesti edustettuina. Vuotta 2023 on ehdotettu Euroopan osaamisen teemavuodeksi, mikä on askel kohti ammattitaitoisten työntekijöiden määrän lisäämistä.

**Puhtaan energian tutkimukseen ja innovointiin sekä laajamittaiseen ja kohtuuhintaiseen käyttöönottoon tehtävien julkisten ja yksityisten investointien lisääminen** on ratkaisevan tärkeää. EU:n sääntely- ja rahoituskehysillä on tässä ratkaiseva rooli. EU:n rahoitusohjelmat, jäsenvaltioiden **tehostettu yhteistyö** ja **kansallisten tutkimus- ja innovointitoimien** jatkuva **seuranta** ovat yhdessä Euroopan uuden innovaatio-ohjelman täytäntöönpanon kanssa ratkaisevan tärkeitä, jotta voidaan suunnitella vaikuttava EU:n tutkimus- ja innovointiekosysteemi ja kuroa umpeen tutkimuksen ja innovoinnin sekä markkinoille saattamisen välinen kuilu ja siten vahvistaa EU:n kilpailukykyä.

Tässä kertomuksessa vahvistetaan<sup>259</sup>, että **EU on pysynyt eturintamassa puhtaan energian tutkimuksessa** ja että tutkimus- ja innovointi-investoinnit kasvavat jatkuvasti (vaikkakin ne ovat rahoituskriisiä edeltäneen tason alapuolella). Maailmanlaajuisesti EU on edelleen vihreiden keksintöjen ja arvokkaiden patenttien kärjessä, ja se on maailman suurin patentinhakija ilmaston ja ympäristön (23 prosenttia), energian (22 prosenttia) sekä liikenteen (28 prosenttia) aloilla. EU:n osuus koko maailman tieteellisistä julkaisuista on laskenut, mutta EU:n tutkijat tekevät yhteistyötä ja julkaisevat puhtaaseen energiaan liittyvistä aiheista kansainvälisesti selvästi maailmanlaajuisesta keskiarvoa useammin. Lisäksi julkisen ja yksityisen sektorin yhteistyö EU:ssa on tiiviimpää.

EU:n uusiutuvan energian alan liikevaihto ja bruttoarvonlisäys ovat kasvaneet vuodesta 2019, ja useimpien puhtaiden energiateknologioiden ja -ratkaisujen tuotanto EU:ssa kehittyi samaan suuntaan vuonna 2021. Vaikka EU:n kauppapase on pysynyt positiivisena useissa teknologioissa, kuten tuulivoimassa, sen kauppavaje on kasvanut joidenkin muiden

<sup>258</sup> Kuten Euroopan komission puheenjohtaja ilmoitti unionin tilaa koskevassa puheessaan 14. syyskuuta 2022. [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/fi/SPEECH\\_22\\_5493](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/fi/SPEECH_22_5493)

<sup>259</sup> Kuten edellisessä kertomuksessa: Komission kertomus Euroopan parlamentille ja neuvostolle puhtaan energian teknologioiden kilpailukykyyn edistymisestä (COM(2021) 952 final ja SWD(2021) 307 final).

teknologioiden, kuten lämpöpumppujen, biopolttoaineiden ja aurinkoenergian alalla. Tämä yleinen suuntaus johtuu osittain siitä, että tällaisten teknologioiden kysyntä EU:ssa kasvaa.

Yksittäisten puhtaiden energiateknologioiden osalta raportti osoittaa, että EU:n **tuulivoimasektori** on edelleen maailman kärjessä tutkimuksen ja innovoinnin sekä arvokkaiden patenttien alalla vuonna 2022 ja että sen kauppatase on edelleen positiivinen. Kilpailu on kuitenkin edelleen kovaa, ja tuulivoimateollisuuden on selviydyttävä nykyisestä epäsuotuisasta tilanteesta, joka johtuu myös harvinaisten maametallien kasvavasta maailmanlaajuisesta kysynnästä ja toimitusketjun häiriöistä. Alalla on kaksinkertaistettava nykyinen vuotuinen asennuskapasiteetti, jotta REPowerEU:n tavoitteet voidaan saavuttaa. EU on myös vahvistanut asemansa vuonna 2022 yhtenä suurimmista **aurinkosähkön** markkina-alueista ja vahvana innovoijana erityisesti kehittymässä olevissa aurinkosähkötöknologioissa. Arvoketjun näkökulmasta EU on edelleen jäljessä Aasiasta ja erittäin riippuvainen useista keskeisistä komponenteista. Innovatiiviset ratkaisut ja jatkuva teknologinen kehitys tarjoavat lisämahdollisuuksia käyttöönottoon EU:ssa.

EU on useiden teknologioiden osalta tienhaarassa. Useita haasteita on vielä ratkaistava, jotta teknologioita voidaan hyödyntää täysimääräisesti. **Lämpöpumppualan** on nopeutettava jo nyt nopeasti kasvavaa käyttöönottoa ja varmistettava järjestelmien kohtuuhintaisuus (erityisesti pienituloisten kotitalouksien ja pk-yritysten osalta), ja EU:ssa olevien toimittajien on lisättävä tuotantoaan säilyttääkseen markkinaosuutensa suhteessa kolmansiin maihin. **Akkujen tuotannon** osalta EU on saavuttamassa lähes omavaraisuuden vuoteen 2030 mennessä, mutta omien raaka-aineiden puute ja kehittyneiden materiaalien tuotantokapasiteetti ovat edelleen haasteita. Lisähuomiota on kiinnitettävä kierrätyskapasiteetin lisäämiseen ja teknologisten valmiuksien luomiseen edullisempaan/pitkäaikaisempaan varastointiin. **Elektrolyysin avulla tapahtuvan vedyntuotannon** osalta EU hyötyy vahvasta kokonaisvaltaisesta lähestymistavastaan kysynnän ja tarjonnan lisäämiseksi. EU:n asema arvoketjuissa vaihtelee (se esimerkiksi johtaa kiinteäoksidielektrolyysissä, mutta ei pysty kilpailemaan alkaliteknologiassa). Suurimpia haasteita ovat sähkön hinnan nousu ja riippuvuus kriittisistä raaka-aineista. EU on selvä markkinajohtaja käytössä olevissa kaupallisissa **uusiutuvien polttoaineiden** kaupallisissa tuotantolaitoksissa ja arvokkaissa innovaatioissa. Vaikka uusiutuvien polttoaineiden asennettu ja vuoden 2030 suunniteltu tuotanto on vähäistä, ne voivat edistää kaikkia 55-valmiuspaketin päästövähennystavoitteita, jos tiettyihin teknisiin ja taloudellisiin riskeihin puututaan. EU:n **digitaaliseen energiainfrastruktuuriin** liittyvä innovointi on avainasemassa varmistettaessa, että sähköverkko soveltuu tulevaan energijärjestelmään. Kotitalouksien energianhallintajärjestelmien ja ajoneuvojen älylatauksen kysyntä on kasvussa, ja sen odotetaan kasvavan edelleen. Älykkään mittausjärjestelmän käyttöönotto edistyy EU:ssa (joskin suunniteltua hitaammin).

Vaikka EU:n innovaatioekosysteemissä on havaittu lupaavia myönteisiä suuntauksia, tarvitaan lisätoimia, jotta voidaan puuttua rakenteellisiin esteisiin ja yhteiskunnallisiin haasteisiin, jotka jarruttavat EU:hun sijoittautuneiden ilmastoteknologian startup- ja scaleup-yritysten perustamista ja toiminnan laajentamista muihin suuriin talouksiin verrattuna. Hyödyntääkseen potentiaaliansa nousta maailmanlaajuiseksi johtajaksi ilmastoteknologian ja syväteknologian aloilla EU:n on hyödynnettävä moninaisia kykyjään, aineetonta omaisuuttaan ja teollisia valmiuksiaan ja saatava yksityiset sijoittajat osallistumaan aktiivisemmin ilmastoteknologian ja syvän ilmastoteknologian startup-yritysten rahoitukseen.

Komissio seuraa edelleen puhtaan energian alan edistymistä ja kehittää edelleen menetelmiään ja tiedonkeruutaan yhteistyössä jäsenvaltioiden ja sidosryhmien kanssa. Tässä yhteydessä komissio päivittää näyttöön perustuvia menetelmiään kilpailukykyyn edistymistä koskevan kertomuksen tulevia versioita varten. Näin tarjotaan tietoa poliittisen päätöksenteon tueksi ja autetaan tekemään EU:sta kilpailukykyinen, resurssitehokas, joustava, riippumaton ja ilmastoneutraali vuoteen 2050 mennessä.

## LIITE I: MENETELMÄKEHYS EU:N KILPAILUKYVYN ARVIOIMISEKSI<sup>260</sup>

Osa 1: EU:n puhtaan energian alan yleinen kilpailukyky	Osa 2: Puhtaat energiateknologiat ja -ratkaisut		
<b>Makrotaloudellinen analyysi (aggregoituna erikseen jokaista jäsenvaltiota ja puhdasta teknologiaa kohti)</b>	1. Teknologia-analyysi: nykytilanne ja näkymät	2. Energiateknologian arvoketjuanalyysi	3. Maailman-markkinoiden analyysi
<b>Viimeaikainen kehitys</b> - energian hinnat ja kustannukset: viimeaikainen kehitys - puhtaiden energiatekniologioiden kestävyys ja kiertoon liittyvät haasteet, EU:n puhtaan energian alan riippuvuus (kriittisistä) raaka-aineista ja vaikutukset EU:n kilpailukykyyn. - Covid-19:n vaikutus ja elpyminen - inhimillinen pääoma ja osaaminen	<b>Asennettu kapasiteetti, tuotanto</b> (nyt ja vuonna 2050)	<b>Liikevaihto</b>	<b>Kauppa (tuonti, vienti)</b>
<b>Tutkimuksen ja innovoinnin suuntaukset</b> - julkiset ja yksityiset T&I-investoinnit - patentointi ja arvokkaat patentit EU:ssa ja kussakin jäsenvaltiossa	<b>Sähkön kustannukset / tasoitettut kokonaistuotantokustannukset (LCOE)<sup>261</sup></b> (nyt ja vuonna 2050)	<b>Bruttoarvonlisäyksen kasvu</b> Vuotuinen muutos (%)	<b>Maailman markkinajohtajat verrattuna EU:n markkinajohtajiin</b> (markkinaosuus)
<b>Maailmanlaajuinen puhtaan energian kilpailuympäristö</b>	<b>Julkinen tutkimus- ja innovointirahoitus</b> (jäsenvaltiot ja EU)	<b>Toimitusketjuun kuuluvien yritysten lukumäärä, mukaan lukien EU:n markkinajohtajat</b>	<b>Resurssitehokkuus ja -riippuvuus<sup>262</sup></b>
<b>Innovoinnin rahoitusympäristö EU:ssa</b> (verrattuna suuriin talouksiin)	<b>Yksityinen T&amp;I-rahoitus</b>	<b>Työllisyys arvoketjun segmentillä</b>	
<b>Systeemisen muutoksen rooli puhtaan energian alalla</b> (esim. digitalisointi, rakennukset, energiayhteisöt ja alueellinen yhteistyö)	<b>Patentointisuuntaukset</b> (sis. arvokkaat patentit)	<b>Energiaintensiivisyys / työn tuottavuus</b>	
	<b>Tieteellisten julkaisujen taso</b>	<b>Yhteisön tuotanto</b> Vuotuisen tuotannon tunnusluvut	

<sup>260</sup> Arviointi tehtiin tiiviissä yhteistyössä Euroopan komission Clean Energy Technology Observatoryn kanssa: Liitteen osan 1 tiedot on esitetty julkaisussa Georgakaki, A. ym., *Clean Energy Technology Observatory Overall Strategic Analysis of Clean Energy Technology in the European Union – 2022 Status Report*, Euroopan komissio, 2022, JRC131001. Liitteen osaan 2 liittyvät yksittäiset teknologiaraportit ovat saatavilla osoitteessa [https://setis.ec.europa.eu/publications/clean-energy-technology-observatory-ceto\\_en](https://setis.ec.europa.eu/publications/clean-energy-technology-observatory-ceto_en)

<sup>261</sup> Ja varastoinnin tasoitettut kokonaiskustannukset (LCoS), jos ne ovat saatavilla.

<sup>262</sup> Arvoketjun segmentit, jotka ovat riippuvaisia kriittisistä raaka-aineista.