

Suomen vihreä innovointi ollut laskussa

Suomi on ollut asukaslukuun suhteutettuna yksi maailman eniten innovoivia maita. Suomen T&K-panokset ovat kuitenkin laskeneet viimeisen kymmenen vuoden aikana.

Samalla kokonaispatentointi ja yllättäen myös ympäristöteknologioiden patentointi on laskenut. Ilmastonmuutoksen hillintään tähtäävissä teknologioissa Suomi on historiallisesti patentoinut paljon erityisesti bioenergiaan liittyviin teknologioihin.

Suomi on perinteisesti patentoinut paljon myös elektroniikka- ja tietoliikenneteknologioissa. Tätä osaamista on mahdollista hyödyntää myös muuttuvilla energiamarkkinoilla. Paras tieto teknologisen kehityksen mahdollisuuksista on kuitenkin yrityksillä itsellään.

Ensi sijassa on pidettävä huoli, että tutkimukselle ja kehitykselle otolliset yhteiskunnan rakenteet ja rahoitus ovat kunnossa.



Kimmo Ollikka

Erikoistutkija

kimmo.ollikka@vatt.fi

Johdanto

Ilmastomuutoksen torjumiseksi maiden on vähennettävä nopeasti kasvihuonekaasupäästöjään ja otettava käyttöön puhtaampaa teknologiaa. Energian tuotannossa päästöjen vähentäminen edellyttää uusiutuvien ja hiilivapaiden energiateknologioiden laajaa käyttöönottoa. Vihreiden teknologioiden kehityksen tarve on valtava. Muun muassa Acemoglu ym. (2016) osoittavat, että optimaalinen ilmastopolitiikka sekä hinnoittelee kasvihuonekaasupäästöt että tukee puhtaiden teknologioiden kehitystä.

Suomi on asukaslukuun suhteutettuna yksi eniten innovoivia maita maailmassa. Myös ympäristöteknologioiden patentoinnissa Suomi on ollut OECD-maiden kärkipäätä. Tutkimus ja kehitysmenojen (T&K-menojen) osuus bruttokansantuotteesta on ollut Suomessa korkea verrattuna muihin OECD-maihin.

Kun T&K-menojen osuus bruttokansantuotteesta on ollut nousussa useassa maassa, on niiden osuus BKT:sta Suomessa kuitenkin viime vuosina laskenut (Ali-Yrkkö ym. 2021). Samalla, kun T&K-menot ovat laskeneet, myös patentointi on kokonaisuudessaan vähentynyt.

Vaikka radikaalit innovaatiot ovat usein arvokkaimpia, uudet innovaatiot rakentuvat pitkälti aiemman tiedon päälle. Puhtaissa energiateknologioissa Suomi on historiallisista syistä vahva innovaattori esimerkiksi bioenergiaan liittyvissä teknologioissa, kun esimerkiksi Tanska on puolestaan vahva tuulivoimateknologioissa tai Saksa aurinkovoimassa.

Puhtaiden teknologioiden patentointi kasvoi voimakkaasti 1990-luvun jälkeen niin Suomessa kuin muissakin maissa. Nopean kasvun jälkeen ympäristöteknologioiden patentointi on kokonaispatentoinnin lailla kuitenkin hieman yllättäen vähentynyt Suomessa viimeisen kymmenen vuoden aikana.

Suomella on tavoite olla hiilineutraali vuoteen 2035 mennessä. Lisäksi Suomen tavoitteena on nostaa T&K-menot neljään prosenttiin bruttokansantuotteesta vuoteen 2030 mennessä. Nähtäväksi jää, miten nämä kaksi kunnianhimoista tavoitetta vaikuttavat puhtaiden teknologioiden innovointiin Suomessa tulevina vuosina ja kääntyykö vihreän patentoinnin laskeva trendi jälleen kasvuun.

Energiamarkkinat ovat murroksessa puhtaan, mutta sääriippuvaisen tuotannon osuuden kasvaessa. Sähkön tuotannon ja kulutuksen tasapainottaminen tulee olemaan yhä haastavampaa. Puhtaiden energiateknologioiden lisäksi jatkossa on yhä suurempi tarve älykkäille ratkaisuille, joilla voidaan hallita sään mukaan vaihtelevaa tuotantoa ja ohjata kulutusta.

Globaali vihreiden teknologioiden patentointi

Ympäristöteknologioiden maailmanlaajuinen patentointi on kasvanut voimakkaasti 1990-luvulta lähtien. Ympäristöteknologioiden patentoinnin kehitystä vuosina 1990–2019 on esitelty kuviossa 1. Kuviossa on laskettu niiden keksintöjen lukumäärät, jotka ovat hakeneet patenttisuojaa useammasta kuin yhdestä patenttitoimistosta ja siten useammalta markkina-alueelta (eli näiden keksintöjen patenttiperheen koko on kaksi tai enemmän).¹

Sitten vuoden 1990 erityisen paljon on kasvanut ilmastonmuutokseen hillintään liittyvien teknologioiden patentointi (CCMT, Climate Change Mitigation Technologies). Ilmastonmuutoksen hillintäteknologioissa erityisesti paljon patenteja on energian tuotantoon, siirtoon ja jakeluun liittyvissä teknologioissa sekä liikenneteknologioissa ja tavaroiden tuotannossa.

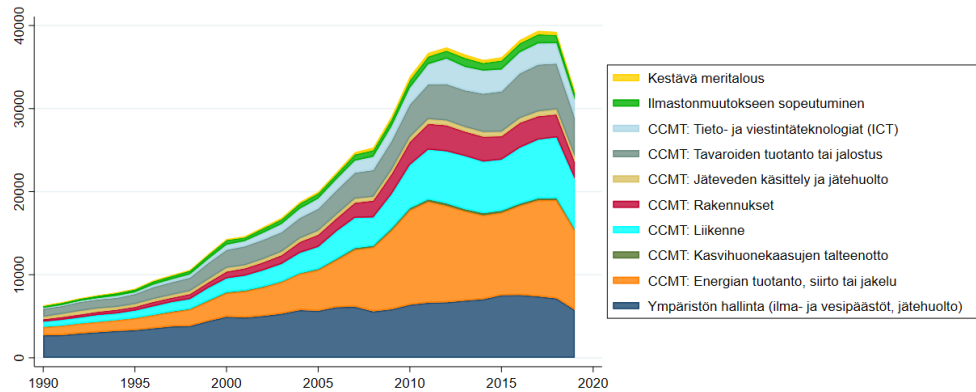
Toistaiseksi on suhteellisen vähän patentoitu ilmastonmuutokseen sopeutumiseen liittyviä keksintöjä. Perinteisempien vesi- tai ilmapäästöjen vähentämiseen tai jätehuoltoon liittyvien teknologioiden patentointi on myöskin kasvanut, mutta paljon tasaisemmin kuin ilmastonmuutoksen hillintäteknologioiden patentointi. Yllättäen patenttien määrä lähti laskuun vuoden 2010 jälkeen, mutta tämä kehitys on sittemmin hieman korjaantunut.²

Eniten patentoinnin lasku näkyy puhtaiden energiateknologioiden patentoinnissa. Kuviossa 2 on esitetty ilmastonmuutoksen hillintään liittyvien energiateknologioiden patentointi vuosilta 1990–2019.

Vuoden 2010 jälkeinen patentoinnin lasku kohdistui erityisesti uusiutuvien energiateknologioiden (tuuli- ja aurinkovoima) patentointiin. Vuoden 2015 jälkeinen kasvu puolestaan selittyy pitkälti energian varastointiteknologioiden (esim. akut) patentoinnin lisääntymisellä. Huomionarvoista on myös se, että toistaiseksi patentointi muun muassa vetyteknologioihin on ollut vielä suhteellisen vähäistä.

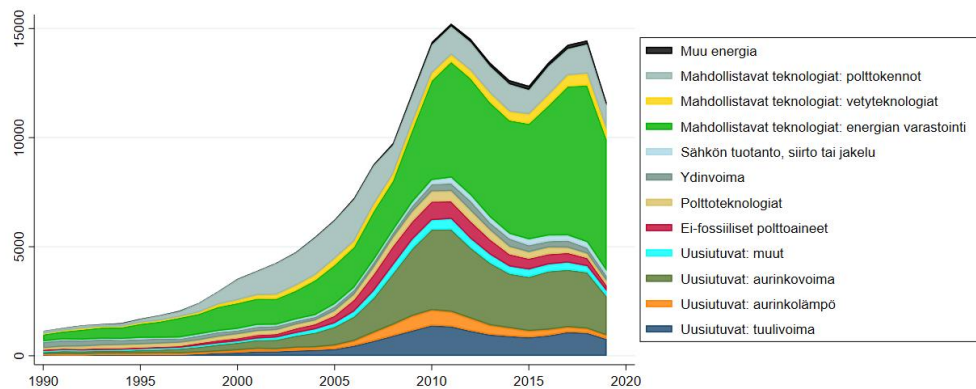
¹ Tässä kirjoituksessa esiteltävät patentointimäärät ovat keksintöjen määriä. Yhdellä keksinnöllä voi olla useita patenteja haettuna eri patenttitoimistoista (keksinnön patenttiperhe). Jos keksinnöllä on vain yksi patenttihakemus, on se todennäköisesti tehty keksinnön kotimaahan. Mitä useammasta maasta keksintö on hakenut patenttisuojaa, sitä arvokkaampi patentin voidaan katsoa olevan. Patentoinnin alttius ja prosessit vaihtelevat kuitenkin maittain. Jotta voidaan tarkastella patentointia yhtäältä mahdollisimman kattavasti mutta toisaalta vertailukelpoisesti (välttämällä esimerkiksi kotimaaharhaa), on tämän työn patentointimääristä poistettu keksinnöt, joilla on vain yksi patenttihakemus.

² Kuvion 1 viimeisen vuoden patenttimäärien notkahdus selittyy aineistoviipeellä.



Kuvio 1. Globaali ympäristöteknologioiden patentointi 1990–2019.

Keksinnöt, joilla patenttiperheen koko on kaksi tai enemmän. CCMT = ilmastomuutoksen hillintäteknologiat. Lähde: OECD, EPO/PATSTAT.³



Kuvio 2. Ilmastomuutoksen hillintään liittyvä energiateknologioiden patentointi 1990–2019.

Keksinnöt, joilla patenttiperheen koko on kaksi tai enemmän. Lähde: OECD, EPO/PATSTAT.

Uusiutuvien energiateknologioiden patentoinnin vähenemiselle ei ole toistaiseksi löydetty selkeää syytä. Popp ym. (2020) mukaan selityksiä saattaa löytyä energiamarkkinoiden käynnissä olevista mullistuksista. Sääriippuvaisen, tuuli- ja aurinkoenergialla tuotetun sähkön osuuden kasvaessa sähkön kysynnän ja tarjonnan tasapainottaminen tulee yhä haastavammaksi. Yksi muutos

³ PATSTAT on Euroopan patenttitoimiston (European Patent Office, EPO) ylläpitämä maailmanlaajuinen patenttietokanta. Tämän kirjoituksen patenttiedot ovat PATSTAT:in kevään 2022 versiosta. Vihreiden teknologioiden jaottelussa on käytetty OECD:n hierarkiaa ympäristöteknologioiden patenteille (<https://stats.oecd.org/>).

energiateknologioiden markkinoilla onkin erilaisten mahdollistavien energiaratkaisujen kuten varastointi- ja ICT-ratkaisujen merkityksen kasvu (Popp ym. 2020, Kangas ym. 2021). Samalla markkinoiden rakenne muuttuu uusien yrittäjien tullessa markkinoille. Uusia energiateknologioita kehittävät yritykset ovat aiempaa pienempiä, mikä voi vaikuttaa negatiivisesti muun muassa niiden tutkimus- ja kehitystoiminnan rahoitusmahdollisuuksiin ja siten myös patentointiin (Popp ym. 2020).⁴ Uudenlaisten teknologiaratkaisujen merkityksen kasvua energia-alalla osoittaa myös energian varastoinnin teknologioiden kuten akkujen patentoinnin lisääntyminen (Kuvio 2).

Teknologiamarkkinoilla näkyy myös maantieteellistä jakaantumista. Uusiutuvan energian tuotantoa tuettiin monessa maassa voimakkaasti 2000-luvun alkupuoliskolla. Esimerkiksi Saksa uudisti uusiutuvan energian syöttötariffijärjestelmänsä vuonna 2000 ja Saksassa oli kymmenisen vuoden ajan (2005–2014) eniten asennettua aurinkovoimakapasiteettia maailmassa.⁵ Aurinkovoiman tuotannon tukeminen on kuitenkin vuoden 2010 jälkeen vähentynyt niin Saksassa kuin monessa muussakin maassa, mikä näkyy myös patentoinnin kokonaismäärissä.

Kehitys on kuitenkin heijastellut markkinoiden muutosta ja on siten vaihdellut maittain. Japani, Yhdysvallat, Saksa, Korea ja Kiina ovat merkittävimmät maat ympäristötekniologioiden patentoinnissa. Aurinkovoimapatenttien määrä kasvoi 2000-luvun alussa kaikissa näissä maissa lukuun ottamatta Kiinaa. Vuoden 2010 jälkeen patentointi on kuitenkin laskenut Saksassa, Yhdysvalloissa ja Japanissa. Koreassa se on pysynyt vuoden 2010 tasolla, mutta Kiinassa aurinkovoiman patentointi on lisääntynyt voimakkaasti vuoden 2015 jälkeen. Patentoinnin lisäksi myös asennetun aurinkovoiman kapasiteetti on ollut huimassa kasvussa Kiinassa.⁶

Jos jotkin energiamarkkinoiden muutokset ovatkin viime vuosina näkyneet negatiivisesti uusiutuvien energiateknologioiden patentoinnissa, niin esimerkiksi energian akkuteknologioiden patentointi on ollut kasvussa kaikissa merkittävässä ympäristötekniologioiden innovoijamaissa.

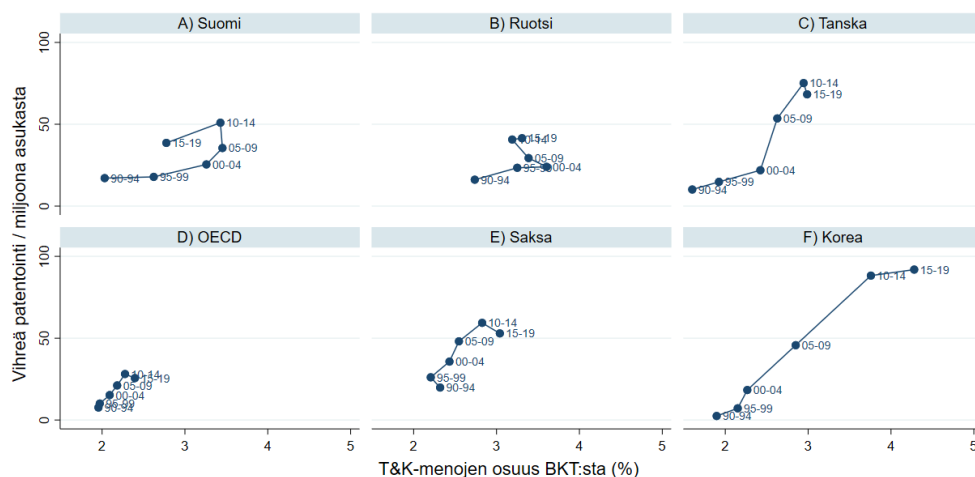
⁴ Popp ym. (2020) mukaan myös mm. liuskekaasun tarjonnan kasvu Yhdysvalloissa sekä CO₂-päästöjen hinnoittelun heikentyminen ja uusiutuvan energian tukien aleneminen erityisesti Yhdysvalloissa ja Euroopassa 2010-luvun taitteessa ovat vaikuttaneet puhtaiden energiaratkaisujen kehitykseen.

⁵ Saksan aurinkovoimakapasiteetti oli noin 0,1 GW:a vielä vuonna 2000, kun se vuonna 2015 oli 39 GW:a (IRENA 2023).

⁶ Kun asennettu aurinkovoimakapasiteetti Kiinassa oli alle 1 GW:a vuonna 2010, niin vuonna 2021 kapasiteetti oli yli 300 GW:a, joka oli eniten kaikista maailman maista (IRENA 2023).

Vihreiden teknologioiden patentointi Suomessa

Vaikka Suomi ei patenttien kokonaismäärässä yllä suurimpien maiden tasolle, on Suomi asukaslukuun suhteutettuna OECD-maiden kärkeä kokonaispatentoinnissa ja ympäristöteknologioiden patentoinnissa. Kuviossa 3 on esitetty vihreiden teknologioiden patentointi asukaslukuun suhteutettuna Suomessa ja eräissä muissa, paljon patentoivissa verrokkimaissa viiden vuoden jaksoissa ajalta 1990–2019. Samaan kuvioon on vaaka-akselilla esitetty T&K-menojen osuudet bruttokansantuotteesta. Mikäli T&K-menojen sijaan vaaka-akselille asetettaisiin kokonaispatentointi, olisivat kuvaajat hyvin samankaltaisia. T&K-menojen osuus BKT:sta ja kokonaispatentointi ovat ainakin näissä maissa kehittyneet osapuilleen samaan tahtiin.



Kuvio 3. T&K-menojen osuus BKT:sta (%) ja ympäristöteknologioiden (vihreä) patentointi miljoonaa asukasta kohden Suomessa ja eräissä verrokkimaissa.

Keksinnöt, joilla patenttiperheen koko on kaksi tai enemmän. Vuosikeskiarvot viiden vuoden jaksoilta ajalta 1990–2019. Lähde: OECD.

Sekä T&K-menojen osuus BKT:sta että vihreiden teknologioiden patentointi on monessa maassa ollut kasvussa 1990-luvulta lähtien. Esimerkiksi Koreassa ja myös Tanskassa kasvu on ollut huimaa. Suomi on kuitenkin omanlaisensa poikkeus. Kuvion 3 viimeisimmän viisivuotisjakson aikana (2014–2019) sekä asukaslukuun suhteutettu vihreä patentointi että T&K-menojen osuus BKT:sta (ja kokonaispatentointi) ovat laskeneet Suomessa. Toisaalta esimerkiksi Ruotsissa vihreiden teknologioiden patentointi ei ole laskenut, vaikka T&K-menojen osuus on laskenut vuosituhanteen vaihteen huipputasolta.

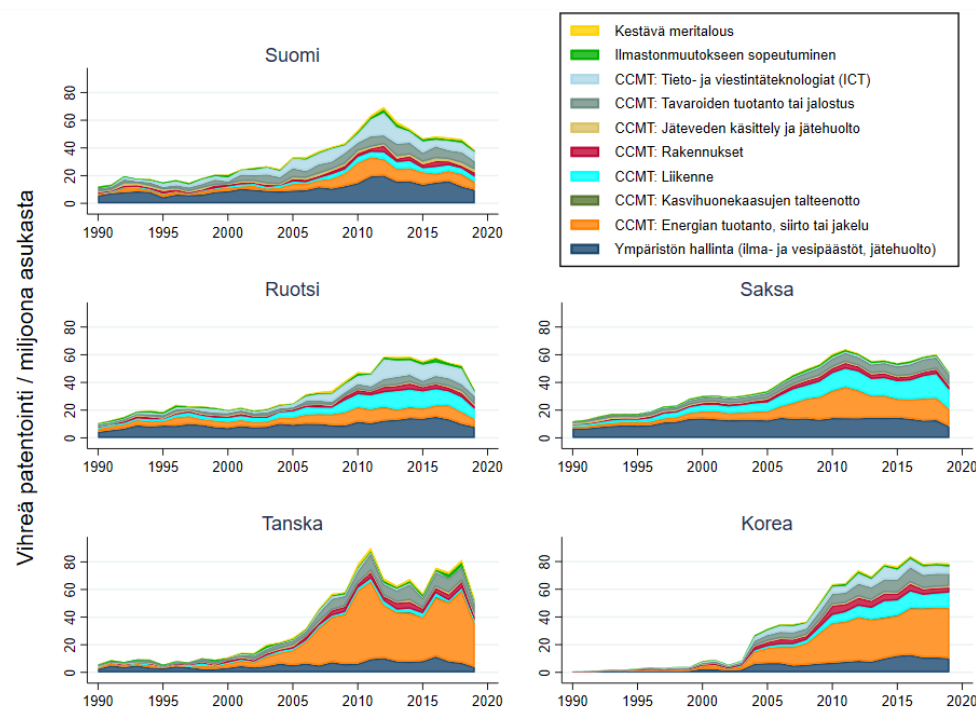
Ympäristötekniologioiden patentoinnin merkitys on monessa maassa kasvanut. Se näkyy vihreiden teknologioiden patentoinnin kasvuna suhteessa kokonaispatentointiin tai, kuten kuviossa 3, verrattuna T&K-menojen osuuteen BKT:sta. Tämä kehitys näkyy Suomen, Ruotsin tai Tanskan kuvaajissa vuoden 2000 jälkeen, jolloin vihreän patentoinnin määrä kasvoi voimakkaasti, vaikka T&K-menojen osuudet pysyivät suhteellisen samalla tasolla.

Suomi ja Ruotsi ovat olleet hyvin samankaltaisia maita vihreiden teknologioiden patentoinnissa. Kuviossa 4 tarkastellaan asukaslukuun suhteutettua vihreän teknologian patentoinnin kehitystä ja jakautumista eri teknologia-aloille vuosina 1990–2019 eri maissa. Ennen vuotta 2000 niin Suomessa kuin Ruotsissakin suurin osuus ympäristötekniologioiden patentoinnista kohdistui ilma- ja vesipäästöjen vähentämiseen sekä jätehuoltoon liittyviin teknologioihin. Globaalin trendin tavoin patentointi ilmastonmuutoksen hillintäteknologioihin on kasvanut voimakkaasti vuoden 2000 jälkeen.

Suomen ja Ruotsin välillä on kuitenkin kaksi selkeää eroa. Ensimmäkin, kuten jo todettu, vihreän patentoinnin määrä on Suomessa laskenut patentoinnin huippuvuosien jälkeen 2010-luvulla, kun taas Ruotsissa vihreän teknologian patentoinnin taso on pysynyt tasaisena 2000-luvun alun voimakkaan kasvun jälkeen. Toinen ero näkyy liikenteeseen liittyvien ilmastonmuutoksen hillintäteknologioiden patentoinnissa, jota on Ruotsissa paljon enemmän kuin Suomessa. Huomioitavaa on myös se, että vahva tietoliikennesektorin merkitys näkyy myös vihreässä patentoinnissa. Sekä Ruotsissa että Suomessa ilmastonmuutoksen hillintään liittyvien ICT-teknologioiden osuus patentoinnista on merkittävä. Nämä ovat suurimmaksi osaksi tietoliikenneverkkojen energiatehokkuutta parantavia patenteja.

Kun katsotaan suomalaista vihreää patentointia tarkemmin, niin verrattuna muihin OECD-maihin Suomessa patentoidaan edelleen suhteellisen paljon perinteisistä ympäristöteknologioista vesien päästöjä vähentäviin menetelmiin ja jätehuoltoteknologiaihin. Ilmastonmuutoksen hillinnässä suomalaiset patentoivat paljon bioenergiaan ja -polttoaineisiin liittyviin teknologioihin, mikä näkyy suhteellisen runsaana patentointina myös esimerkiksi vähäpäästöisissä polttoteknologioissa ja öljynjalostukseen liittyvissä teknologioissa.

Uusiutuvan energian patentoinnissa suomalaiset patentoivat suhteellisen vähän esimerkiksi tuuli- tai aurinkovoimaan, mutta Suomi on suhteellisen vahva patentoija maalämpöön, vesivoimaan tai mereen liittyvissä energiateknologioissa. Lisäksi teollisessa tuotannossa eritoten metallinjalostuksen ja kemianteollisuuden kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseen tähtääviä innovaatioita tehdään Suomessa muihin OECD-maihin verrattuna suhteellisen paljon. (Ollikka 2023.)



Kuvio 4. Ympäristötekniologioiden (vihreä) patentointi miljoonaa asukasta kohden Suomessa ja eräissä verrokkimaissa 1990–2019.

Keksinnöt, joilla patenttiperheen koko on kaksi tai enemmän. CCMT = ilmastomuutoksen hillintäteknologiat. Lähde: OECD, EPO/PATSTAT.

Tanska on selkeästi muista poikkeava maa vertailtaessa puhtaan teknologian patentointia. Sen lisäksi, että ympäristötekniologioiden patentoinnin suhde kokonaispatentointiin on tanskalaisilla Suomea suurempi, Tanskan vihreä patentointi on pitkälti keskittynyt puhtaisiin energiateknologioihin.

Selitys tälle on tuulivoima, jota on Tanskassa tuettu aina 1970-luvulta lähtien (Berg ym. 2020). Tanska on ollut yksi maailman johtavista maista tuulivoimatekniologioiden kehittäjänä, ja suurin osa Tanskan puhtaan energian patentoinnista on tuulivoimapatentteja.

Myös Saksassa on Ruotsin tapaan patentoitu paljon puhtaisiin liikenneteknologioihin. Uusiutuvien energiamuotojen tukipolitiikka heijastuu Saksan uusiutuvien energiatekniologioiden patentoinnissa, joka kasvoi 2000-luvun alussa, mutta on sittemmin vähentynyt vuoden 2010 jälkeen. Korean vihreän teknologian patentoinnin voimakasta kasvua 2000-luvulla selittää erityisesti energia-tekniologioista aurinkovoima- ja akkuteknologian patentointi. Samalla ilmastomuutoksen hillintäteknologioiden patentointi on Koreassa lisääntynyt lähes kaikilla muillakin ympäristötekniologian aloilla.

Johtopäätökset

Tutkimuksen ja tuotekehityksen rahoitus on korjattava

Suomi on asukaslukuun suhteutettuna yksi eniten patentoivista maista. Huolestuttavasti niin T&K-toiminnan rahoitus, kuin myös patentointi, sekä kokonaisuudessaan että ympäristöteknologioissa, on ollut laskusuunnassa siten 2010-luvun alun.

Suomi pyrkii hiilineutraaliksi vuoteen 2035 mennessä ja nostamaan T&K-menojen osuuden bruttokansantuotteesta neljään prosenttiin vuoteen 2030 mennessä. On toivottavaa, että molemmat tavoitteet toteutuvat ja toteutuessaan nämä tavoitteet nostavat myös vihreiden teknologioiden patentoinnin jälleen kasvuun Suomessa.

Sähkömarkkinoilla on kasvava kysyntä älykkäille ratkaisuille

Ilmastonmuutoksen hillinnässä Suomi on ollut vahva innovoija etenkin bioenergiaan liittyvissä innovaatioissa. Sähkömarkkinoilla ja energiasektorilla on kuitenkin yhä laajemmin kysyntää älykkäistä energiaratkaisuista, joilla voidaan hallita sään mukaan vaihtelevaa tuotantoa ja ohjata kulutusta. Vuoden 2022 lopussa Suomessa oli yhteensä 5677 MW:n edestä tuulivoimakapasiteettia, josta peräti 2430 MW:a rakennettiin vuoden 2022 aikana, ja tuulivoimaloiden määrä jatkaa kasvuaan (Suomen tuulivoimayhdistys 2023).

Tuulivoimatuotannon kasvun ja Olkiluodon kolmannen ydinvoimareaktorin valmistumisen myötä Suomessa ollaan pian tilanteessa, että tuulisina päivinä, jolloin kulutusta on vähän, sähköä tuotetaan yli oman tarpeen. Toisaalta sydäntalven tuulettomina pakkaspäivinä sähköstä saattaa tulla pula.

Yhtenä ratkaisuna sähkön tuotannon tasaamiseksi on esitetty niin sanottua vetytaloutta, jolloin tuulisina päivinä tuotettu sähkö voitaisiin kuluttaa vedyn valmistukseen, jota puolestaan hyödynnettäisiin teollisuuden energianlähteenä tai liikenteen polttoaineena. Toistaiseksi patentointi vetyteknologioihin ei kuitenkaan näyttäisi olevan erityisen voimakasta.

Teknologinen kehitys pohjautuu aiemmin tehtyihin innovaatioihin

Uusien teknologioiden kehitys nojaa usein aiemmin tehtyjen innovaatioiden varaan. Suomi on perinteisesti ollut vahva kehittämään muun muassa erilaisia elektroniikka- ja tietoliikenneteknologioita. Muuttuvilla energiamarkkinoilla riittää tulevaisuudessa rakoja sellaiselle älykkäille teknologiaratkaisuille, joita

suomalaiset yritykset ovat valmiina tukkimaan. Paras tieto teknologisen kehityksen mahdollisuuksista on yrityksillä itsellään.

Onkin ensi sijassa pidettävä huoli, että tutkimukselle ja kehitykselle otolliset yhteiskunnan rakenteet ja rahoitus ovat kunnossa (Takalo ja Toivanen 2018). Teknologisen kehityksen suunnan liiallinen ohjaaminen ei välttämättä tuo parasta mahdollista ratkaisua.

Lähteet ja viitteet

Acemoglu, D., Akcigit, U., Hanley, D., and Kerr, W., 2016. Transition to clean technology. *Journal of Political Economy* 124(1), 52-104.

Ali-Yrkkö, J., Deschryvere, M., Halme, K., Järvelin, A-M, Lehenkari, J., Pajarinen, M., Piirainen, K. ja Suominen, A., 2021. Yritysten t&k-toiminta ja t&k-investointien kasvattamisen edellytykset. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2021:50.

Berg, A., Lukkarinen, J., and Ollikka, K., 2020. 'Sticky' policies—Three country cases on long-term commitment and rooting of RE policy goals. *Energies* 13(6), 1351.

IRENA 2023. International Renewable Energy Agency (IRENA), IRENASTAT: <https://www.irena.org/Data/Downloads/IRENASTAT>. [30.1.2023]

Kangas, H.L., Ollikka, K., Ahola, J., Kim, Y., 2021. Digitalisation in wind and solar power technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 150, 111356.

Ollikka, K, 2023. Green innovations. Background Report for the Finnish Economic Policy Council Report 2022.

Popp, D., Pless, J., Haščič, I., and Johnstone, N., 2020. Innovation and entrepreneurship in the energy sector. National Bureau of Economic Research, NBER Working Paper 27145.

Suomen tuulivoimayhdistys, 2023. Tuulivoimalat Suomessa, toiminnassa olevat ja puretut voimalat. <https://tuulivoimayhdistys.fi/> [15.3.2023]

Takalo, T., and Toivanen, O., 2018. Economics of Finnish Innovation Policy. Report to the Economic Policy Council.