

Innovaatioita suuntaamalla vihreään kasvuun

Yksityisen innovaatiotoiminnan kääntäminen paremmin vihreää kasvua tukevaksi edellyttää suuntaavaa innovaatiopolitiikkaa.

Aghion, Boneva ym. (2022):
”Pariisin ilmastopimuksen tavoitteiden saavuttaminen edellyttää vallankumousta ilmastonmuutosta sivuavissa teknologioissa.”

Acemoglu (2023):
”Meidän täytyy ajatella uudelleen markkinoiden taikaa, mitä teknologiseen kehitykseen tulee.”

Satojen vuosien teollinen historia on suosinut ympäristöä rasittavia teknologioita. Markkinavaikutuksien ja polkuriippuvuuksien takia tällä hetkellä harjoitettavan innovaatiotoiminnan painotus on vääristynyt pääosin siksi, että markkinoilla muodostuvat hinnat eivät ole heijastelleet tuotannon kaikkia ulkoisvaikutuksia ja niihin liittyviä sosiaalisia kustannuksia.

Tässä muistiossa käsitellään suunnatun teknologisen kehityksen tutkimuskirjallisuutta siltä osin, kun se sivuaa vihreää siirtymää. Paino on innovaatiopolitiisilla implikaatioilla.

Päälöydöksenä on, että yksityisen innovaatiotoiminnan kääntäminen paremmin vihreää kasvua tukevaksi edellyttää selvästi suuntaavaa innovaatiopolitiikkaa ja että tämän politiikan tulee kytkeytyä sitä tukevaan muuhun ympäristöpolitiikkaan. Esimerkiksi hiilidioksidipäästöjen verotuksen tai päästökaupan myötä tapahtuvan ulkoisvaikutusten sisäistämisen ensisijainen tarkoitus on nostaa päästöintensiivisten tuotteiden ja palveluiden hintoja ja siten vähentää niiden kysyntää. Kirjallisuuden perusteella näyttää selvältä, että hintavaikutusten lisäksi päästökauppa ja päästöjen verotus lisäävät vähähiilisten ratkaisujen innovaatiotoimintaa, mikä entisestään voimistaa näiden politiikkatoimien tavoiteltua vaikutusta. Tästä huolimatta vaikuttaa siltä, että yksinomaan negatiivisten ympäristövaikutusten sisäistämisen kautta tulevat yksityiset kannustimet vihreälle innovaatiotoiminnalle eivät riitä, vaan lisäksi tarvitaan vihreään suuntaan ohjaavaa innovaatiopolitiikkaa.

Laajassa mielessä vihreän innovaatiopolitiikan vaikuttavuudessa on kyse maailmanlaajuisista elinkaarivaikutuksista ympäristöön. Kansallisesti on kyse myös yritysten ja toimialojen kilpailukyvystä vihreiden tuotteiden ja palveluiden tarjoajina. Sekä ympäristön että talouden, kotimaisten yritysten kilpailukyvyn, näkökulmasta näyttää houkuttelevalta olla mahdollisimman aikaisin vasta nousemassa olevilla teknologia-alueilla. Tosin, kuten tiedetään, keskeisten nousevien teknologioiden tunnistaminen etukäteen on vaikeaa, koska parhaat teknologiat seuloutuvat monien kokeilujen ja markkinavalikoitumisen myötä.

Kestävän kasvun ennakkointia – visio vihreän siirtymän jälkeisistä vaurauden ajureista
 (ForGrowth)

Rouvinen, Petri
Deschryvere, Matthias
Hyytinen, Ari
Maliranta, Mika

Tämä muistio on osa kevääseen 2024 jatkuvaa Business Finlandin, Laboren ja VTT:n hanketta ”Kestävän kasvun ennakkointia – visio vihreän siirtymän jälkeisistä vaurauden ajureista” (ForGrowth).

Muistion ovat kirjoittaneet **Petri Rouvinen** (VTT ja Etlä), **Matthias Deschryvere** (VTT), **Ari Hyytinen** (Hanken ja Helsinki GSE) ja **Mika Maliranta** (Labore). Kirjoittajat kiittävät hankkeen ohjausryhmää ja muita tutkijoita arvokkaista kommentteista.

Labore

VTT

Johdanto

Tämä muistio on kirjoitettu osana ForGrowth-hanketta. Hanke pyrkii hahmottelemaan reunaehdoja ja ominaisuuksia taloudelle ja yhteiskunnalle, jossa ihmisten ja ympäristön hyvinvointi ovat saavutettavissa yhtä aikaa. ForGrowth-hankkeen tavoitteena on luoda taustaa ja viitekehys tulevien vuosien ja vuosikymmenien yhteiskuntapoliittisille keskusteluille ja yhteiskunnallisille ja talouspoliittisille valinnoille.

Maailman kaksi johtavaa talouskasvun edellytyksiin erikoistunutta tutkijaa ovat todenneet, että ”Pariisin ilmastopoliittisten tavoitteiden saavuttaminen edellyttää vallankumousta ilmastomuutosta sivuavissa teknologioissa” (Aghion, Boneva ym., 2022, s. 1) ja että meidän ”täytyy ajatella uudelleen [yksityisten] markkinoiden taikaa, mitä teknologiseen kehitykseen tulee” (Acemoglu, 2023, alkaen keynote-esityksen kohdasta 1:10:55).

Satojen vuosien teollinen historia on suosinut ympäristöä rasittavia teknologioita; markkinavaikutuksien ja polkuriippuvuuksien takia tällä hetkellä harjoitettavan innovaatiotoiminnan painotus onkin vääristynyt. Syynä tähän on se, että hinnat eivät heijastele kaikkia niitä yhteiskunnallisia kustannuksia, joita tavarat ja palvelut aiheuttavat.

Tarkastelemme seuraavassa suunnatun teknologisen kehityksen ilmiötä vihreän siirtymän näkökulmasta ja teemme katsauksen aiheesta sivuvaan akateemiseen kirjallisuuteen.

Keskeinen tutkimuskirjallisuudesta kumpuava havainto on, että yksityisen innovaatiotoiminnan kääntäminen paremmin vihreää kasvua tukevaksi edellyttää selvästi suuntaavaa innovaatiopolitiikkaa – yksityisen markkinan ”näkyvät käsi” ei siis yksin riitä edes siinä (totuuden vastaisessa) tilanteessa, että markkinahinnat heijastelisivat täydellisesti päästöjä ja muita ympäristön kannalta haitallisia ulkoisvaikutuksia ja niiden kustannuksia.

Ylipäätään vihreän siirtymän toteutumiseen tarvitaan laaja kirjo politiikkatoimenpiteitä: päästöt ja muut ympäristön kannalta negatiiviset ulkoisvaikutukset täytyy saada hinnoiteltua, pakottavaa lainsäädäntöä täytyy käyttää karsimaan ympäristön kannalta huonoimpia vaihtoehtoja ja innovaatiotoiminnan kannustimissa haitallisten ympäristövaikutusten hillitsemistä tulee ylipainottaa.

Laaja näkökulma luontoon

Ajattelemme vihreää siirtymää laajassa mielessä – mukaan lukien biologisen monimuotoisuuden turvaamisen, maaperän köyhtymisen ja aavikoitumisen estämisen, fosfori- ja typpikerron hallinnan sekä merien suolapitoisuuden ja merenpinnan tason nousujen pysäyttämisen – mutta kansainvälisen tutkimuksen ohjaamana pääpaino pohdinnoissamme on ilmastomuutoksessa ja siinä erityisesti hiilidioksidipäästöissä.

Toteamme kuitenkin, että ympäristön eri ulottuvuuksia – mm. luontokatoa, päästöjä ja fyysisten materiaalien käyttöä – olisi syytä käsitellä yhdessä mm. siksi, että vain johonkin ulottuvuuden keskittyminen voi johtaa kokonaisuuden kannalta takaperosiin politiikka-johtopäätöksiin.

Taloustieteellisestä näkökulmasta luonto on tuotannollisten panosten (mm. kaivannaiset) ja moninaisten ekosysteemipalveluiden lähde – alkaen hengitysilma ja päätyen virkistävään luonnossa liikkumiseen. Valitettavasti luonto on myös paikka, johon voidaan kanoitoida päästöt, saasteet ja jätteet aiheuttajansa näkökulmasta kustannuksilla, jotka ovat niiden aiheuttajalle muita vaihtoehtoja alhaisempia (taloudellisessa mielessä tämä on

Satojen vuosien teollinen historia on suosinut ympäristöä rasittavia teknologioita.

Eri ympäristöulottuvuuksia tulisi analysoida yhdessä.

**Ympäristöhaittojen ve-
rotus tai hinnoittelu on
olennainen osa koko-
naisratkaisua.**

**Yksityisesti harjoitetta-
van vihreän innovaatio-
toiminnan taakkana on
kaksoismarkkinapuute.**

päästöjen ym. syntymisen selitys). Kyse on siis siitä, että luonnonvarojen ja ekosysteemi-
palveluiden alihinnoittelusta johtuen tuotteiden ja palveluiden tuotantokustannukset eivät
heijastele kokonaisvaltaisesti niiden tuotantoon käytettyjä voimavaroja.

Vihreä yhteiskunta- ja innovaatiopolitiikka

Taloustieteilijöiden näkökulmasta perusratkaisu vihreän siirtymän toteuttamiseksi on elin-
keino toiminnan luontoa sivuavien negatiivisten ulkoisvaikutusten sisäistäminen osaksi
markkinoilla vallitsevia hintoja. Koska esimerkiksi päästöille ei luontaisesti synny yksityisiä
markkinoita, sisäistäminen edellyttää julkisin toimin luotuja erillisiä markkinoita (tai pääs-
töjen verottamista).

Niinpä esimerkiksi ilmakehään päästetyn hiilidioksiditonin hinta tulisi heijastella sen glo-
baalien vaikutusten nettonykyarvoa ja kaikkien päästöjen aiheuttajien tulisi kohdata yksi
maailmanlaajuinen päästöhinta. Vaikka tähän ei ehkä päästä koskaan, se on tutkimuskir-
jallisuuden valossa hyvin perusteltu tavoitetilä.

Vihreän innovaatiotoiminnan markkinapuutteet

Tiedon ja ideoiden leviämiseen liittyvät positiiviset ulkoisvaikutukset ovat yksi keskeisin
perustelu innovaatiopolitiikalle. Innovaatiotoimintaan yleensäkin liittyvän tiedon leviämi-
sen lisäksi yksityisesti harjoitettava vihreä innovaatiotoiminta kohtaa ylimääräisen haas-
teen siltä osin, kun negatiivisiin ympäristövaikutuksiin liittyviä ulkoisvaikutuksia ei ole on-
nistuttu sisäistämään tai muutoin säätelemään. Niinpä OECD:n, Maailmanpankin ja YK:n
(2018) yhteisjulkaisu puhuukin vihreän innovaatiotoiminnan *kaksoismarkkinapuutteesta*,
johon vedoten suosituksena on poikkeuksellisen ohjaavat ja laaja-alaiset julkiset toimet.

Teollisen vallankumouksen ensimmäiset kaksi ja puoli sataa vuotta ovat olleet ympäristö-
arvoja huomioimattomien ”ruskeiden” innovaatioiden aikaa. Niinpä vihreät innovaatiot
lähtevät merkittävältä takamatkalta. Kumuloitunut tieto ja vakiintuneet käytännöt suosi-
vat nykyisiä elin- ja toimintatapojamme, jotka tiedämme ympäristön kannalta kestä-
mätömmiksi. Yksi vihreän innovaatiotoiminnan erityishaasteita on taistella tätä ”polkuriippu-
vuutta” vastaan.

Weber ja Rohrer (2012) esittävät innovaatiotoiminnan markkina-, järjestelmä- ja siir-
tymäpuutteita yhtenäisesti tarkastelevan viitekehyksen. Siirtymäpuutteet ovat yhtey-
dessä polkuriippuvuuksiin ja viittaavat tilanteisiin, jossa sosioekonominen järjestelmä on
juuttunut huonoon tasapainoon. Vaikka toinen tasapainotila olisi kaikkien osapuolten
kannalta parempi, siihen ei päästä ilman ulkopuolelta tulevaa sysäystä. Kyse on eräänlai-
sesta järjestelmätason koordinaatio-ongelmasta; yksittäisillä toimijoilla ei ole kannustinta
tavoitella muutosta, joka voi toteutua vain, jos riittävän suuri osa toimijoista tavoittelee
sitä jotakuinkin samanaikaisesti ja samaan muutokseen tähdäten. Tällaisessa tilanteessa
yksi mahdollinen ratkaisu on jonkinlainen missiolähtöinen innovaatiopolitiikka, jonka osin
tahaton sivuvaikutus on toimien koordinointi (ks. esimerkiksi Mazzucato ym. 2020; toi-
saalta mm. Bloom ym., 2019, tarkastelun mukaan näytöt missiolähtöisen politiikan tulok-
sellisuudesta ovat vähäisiä).

Nykyistä innovaatiopolitiikkaa eniten ohjaavan markkinapuuteajattelun ytimenä on tiedon
ulkoisvaikutuksista ja informaatioepätäydellisyyksistä kumpuava yksityisen innovaatiotoi-
minnan yhteiskunnallisesta näkökulmasta liian alhainen taso. Toissijaisesti nykyistä inno-
vaatiopolitiikkaa motivoiva järjestelmäpuuteajattelu painottaa puutteellista verkostoitu-
mista ja koordinaatiota sekä siten tiedon huonoa liikkuvuutta toimijoiden välillä. Vasta
nousussa oleva siirtymäpuuteajattelu (joka esiintyy yleensä haaste- tai missiolähtöisen
innovaatiopolitiikan nimellä) lähtee siitä, että ilman erityistoimia innovaatiotoiminta ei

suuntaudu yhteiskuntaa parhaiten palvelevalla tavalla sekä haastaa siten markkina- ja järjestelmäpuuteajattelun keskeisen ”markkinat tietävät parhaiten” taustaoletuksen.

Mitä vihreän innovaatiotoiminnan suuntautumisesta tiedetään?

Taloustieteellisen tarkastelun lähtökohtana on, että yksityiset markkinat ohjaavat innovaatioihin, joilla tähdätään suhteellisesti kalliin tuotannon tekijän vähäiseen käyttöön (Hicks, 1932; Hicksin esimerkissä korkeammat suhteelliset palkat johtavat ihmistyötä säästäviin laiteinvestointeihin), mistä seuraa johdettu, suuntautuva tai vääristynyt teknologinen kehitys. Koska biologisen monimuotoisuuden väheneminen ja kasvuhuonekaasujen synnyttäminen eivät ole olleet erikseen hinnoiteltuja panoksia ja tuotoksia, tähänastinen innovaatiotoiminta on käytännössä vääristynyt suuntaan, jossa näitä haittoja tuotetaan liikaa.

Lähinnä soveltuva teoreettinen viitekehys vihreän ja ruskean innovaatiotoiminnan vertailuun löytyy suuntautuvaa teknologista muutosta (*directed technological change*) käsittelevästä kirjallisuudesta, jolla on läheinen yhteys Schumpeteriläiseen eli uuteen-uuteen kasvuteoriaan.

Acemoglu ym. (2012) mallintavat likaisen (esim. fossiiliset polttoaineet) ja puhtaan (esim. uusiutuvat energiat) innovaatiotoiminnan vaikutuksia talouskasvuun. He osoittavat hintojen ja markkinakoon teknologista kehitystä ohjaavat vaikutukset. Heidän mallinsa mukaan innovaatiotoiminta kohdistuu suurempaan tai suhteellisesti kalliimpaan markkiinaan. Silloin, kun innovaatiot ovat toisiaan korvaavia, kuten fossiilisen ja uusiutuvan energian tapauksessa, markkinakokovaikutus dominoi. Niinpä, ilman korjaavia politiikka-toimia, yksityinen innovaatiotoiminta suuntautuu liiaksi ympäristötuhoja aiheuttavan likaisen teknologian kehittämiseen ja on mahdollista, että ilman julkista interventiota puhdas innovaatiotoiminta ei koskaan vilkastu riittävästi horjuttaakseen likaisen teknologian valta-asemaa. Koska innovaatiotoiminnan määrä on rajallinen ja koska likainen ja puhdas innovaatiotoiminta ovat toisiaan korvaavia, likaisen innovaatiotoiminnan suhteellisen osuuden kutistuminen toimii yhtenä puhtaan innovaatiotoiminnan julkisen tukemisen lisä-motivaationa. Popp ja Newell (2012) vahvistavat tämän empiirisesti tutkiessaan yhdysvaltalaisen yritysten t&k:ta ja patentointia: siirtymä kohti ympäristöystävällisempää innovaatiotoimintaa tapahtuu voittopuolisesti saman toimialan vähemmän ympäristöystävällistä innovaatiotoimintaa korvaamalla. Vihreillä innovaatioilla on siis suoran positiivisen vaikutuksen ohella epäsuora positiivinen vaikutus niiden syrjäyttäessä ruskeita innovaatioita.

Acemoglu ym. (2016) mallintavat teoreettisesti ja analysoivat empiirisesti Yhdysvaltojen energiansektoria. He havaitsivat, että optimaalinen yhteiskuntapolitiikka rakentuu ras-kaasti ja pitkäaikaisesti hiilidioksidipäästöveron (tai -markkinan) ja vähähiilisen innovaatiotoiminnan julkisiin tukiin. Heidän mukaansa noin 90 % kaikesta vähähiilisten teknologioiden tutkimus- ja kehitystoiminnasta tulisi olla julkisesti rahoitettua noin kahden vuosikymmenen ajan, jotta ne saavuttaisivat korkeahiiliset teknologian riittävän ripeästi.

Hémous (2016) lisää Acemoglu ym. (2012) viitekehukseen kehittyvät maat, joista muodostuu päästöparatiiseja. Poliitikassa tätä vaikutusta voi eliminoida esimerkiksi kehittyneiden maiden päästötulleilla. Hémousin mallin hengessä taloudelliset, eettiset, poliittiset ja ympäristölliset seikat tuovat kehittyville maille ylimääräisen motivaation levittää vihreitä innovaatioita kehittyviin maihin.

Aghion, Dechezleprêtre, ym. (2016) analysoivat autoteollisuuden likaista (esim. poltto-moottorit) ja puhdasta (esim. sähköautot) innovaatiotoimintaa 80 maassa usean vuosikymmenien ajalta. Fossiilisten polttoaineiden korkeat hinnat valmistajan päämarkkina-alueilla ruokkivat puhdasta innovaatiotoimintaa. Suoran markkinavaikutuksen ohella hii-len hinnoittelu toimii siis myös epäsuorasti innovaatiotoiminnan kautta ja vieläpä siten,

Business Finlandin rahoittamassa innovaatio- ja kasvututkimuksessa tavoitteena on löytää ratkaisuja Suomen talouden ja yhteiskunnan globaaleihin haasteisiin.

On mahdollista, että ilman julkista tukea vihreä innovaatiotoiminta ei koskaan vilkastu riittävästi syrjäyttääkseen ruskeat ratkaisut.

Vihreällä innovaatiotoiminnalla on runsaampia ja suuremmalta osin kotimaahan jääviä ulkoisvaikutuksia.

että puhdas leikkaa likaista. Vihreän innovaatiotoiminnan voimakkaammat kotimaiset läikkymisvaikutukset tekevät siitä poliittisesti houkuttelevan erityisesti Suomen kaltaisissa pienissä avotalouksissa.

Dechezlepretre ym. (2017) analysoivat miljoonaa autoteollisuuden ja sähkötuotannon patenttia ja havaitsivat, että puhtaat innovaatiot tuottavat keskimäärin 43 % enemmän ulkoisvaikutuksia kuin likaiset innovaatiot. Puhtaan teknologian ulkoisvaikutukset ovat myös taloudellisesti merkittävämpiä. Runsaampien ulkoisvaikutusten takia puhtaat innovaatiot ansaitsevat enemmän julkista tukea ja niillä on myös suurempi talouskasvua ja hyvinvointia lisäävä vaikutus.

Julkiset innovaatiopoliittiset interventiot ovat tähän asti painottuneet esikaupalliseen toimintaan. Grubb ym. (2021) viittaavat siihen, että vihreän siirtymän konteksteissa julkinen mielenkiinto ja tuki saattaa ulottua pisteeseen, jossa uusi ratkaisu on toteutettu teollisessa mittakaavassa tai jopa pisteeseen, jossa se on jo tullut vanhaan verrattuna kustannuskilpailukykyiseksi täydentävien innovaatioiden ja tekemällä oppimisen kautta.

Aghion, Boneva, ym. (2022) havaitsivat, että hiilidioksidipäästöjen verotus (tai hinnoittelu markkinamekanismin kautta) sekä t&k- ja riskipääomainvestoinnit selittävät suuren osan maiden välisistä eroista vihreässä patentointi-intensiteetissä. Aghion, Boneva, ym. (2022) tapaan Baranzini ym. (2017) painottavat eri ympäristöpolitiikkojen toisiaan täydentävää luonnetta ja yhteiskäytön tarvetta. Tchorzewska ym. (2022) havaitsivat, että ympäristöveroilla ja julkisilla tuilla on toisiaan vahvistava vaikutus.

Entä kilpailukykyvaikutukset?

Yksi ympäristöä sivuavan innovaatiokirjallisuuden keskeisistä käsitteistä on Porter-hypoteesi (Porter & van der Linde, 1995), jonka mukaan ympäristöregulaatio, ja markkinapohjaiset instrumentit erityisesti, lisää yritysten innovaatiotoimintaa ja mahdollisesti myös kilpailukykyä. Ajatus siitä, että kansallinen muita maita tiukempi regulaatio on mahdollista ja jopa "maksaa itsensä takaisin" kilpailukykyisempänä taloutena, on kutkuttava.

Porter-hypoteesista on kolme muotoa (Jaffe & Palmer, 1997):

- Heikko: Tiukka ympäristöregulaatio lisää innovaatiotoimintaa.
- Vahva: Tiukka ympäristöregulaatio lisää innovaatiotoimintaa ja parantaa kilpailukykyä.
- Kapea: Jotkut ympäristöregulaation tyypit lisäävät innovaatiotoimintaan.

Cohen ja Tubb (2018) tekevät 103 artikkelin ja yli 2 000 yksittäisen estimointituloksen meta-analyysin Porter-hypoteesia koskevasta kirjallisuudesta. Vaikka lähtöaineistona olevien aiempien tutkimusten havainnot vaihtelevat voimakkaasti ja yleisimmin tulos on "ei tilastollisesti merkitsevä", tulokset viittaavat vahvan Porter-hypoteesin voimassaoloon. Eli: tiukka ympäristöregulaatio näyttää lisäävän innovaatiotoimintaa ja kilpailukykyä.

Cohenin ja Tubbin (2018) havaitsema positiivinen yhteys on todennäköisempää maa kuin yritystasolla (mikä saattaa selittyä innovaatiotoiminnan ulkoisvaikutuksilla). Se liittyy todennäköisemmin joustavaa markkinapohjaiseen regulaatioon (esim. päästökauppaan) kun joustamattomiin määräyksiin (esim. myyntikieltoihin). Positiiviset vaikutukset tuleva usein viiveellä (mikä on intuitiivista, koska ne syntyvät innovaatiotoiminnan kautta).

Havainnot

Tutkimuskirjallisuus tukee näkemystä, että ympäristöpolitiikan tulee kulkea käsi kädessä vihreän innovaatiopolitiikan kanssa. Esimerkiksi hiilidioksidipäästöjen sisäistämisen ensisijainen tarkoitus on nostaa päästöintensiivisten tuotteiden ja palveluiden hintoja sekä siten vähentää niiden kysyntää; kirjallisuuden perusteella näyttää selvältä, että tämä lisäksi

Ympäristöpolitiikat ovat toisiaan täydentäviä.

Tiukka ympäristöregulaatio näyttää lisäävän sekä innovaatiotoimintaa että kilpailukykyä.

Innovaatiotoiminnalle olisi eduksi kannustimet ja markkinat, joissa suu-remmasta edistysaskeleesta seuraa myös suu-remmat taloudelliset tuotot.

vähähiilisten ratkaisujen innovaatiotoiminta lisääntyy, mikä entisestään voimistaa politiikan tavoiteltua vaikutusta. Silti vaikuttaa siltä, että yksinomaan päästöjen hinnoittelun kautta tuleva motivaatio vihreälle innovaatiotoiminnalle ei riitä, vaan lisäksi tarvitaan vihreään suuntaan ohjaavaa innovaatiopolitiikkaa.

Usein markkinapohjaiset ratkaisut ovat tehokkaita, jos niitä verrataan määrävään sääntelyyn. Käytännössä molemmilla on paikkansa ja niiden yhtäaikainen käyttö on tässä kontekstissa toivottavaa. Näin on mm. tilanteessa, jossa ympäristöhaittoja ei hinnoitella riittävästi ja jossa määrävä regulaatio onnistuu karsimaan ympäristön kannalta huonoimmat vaihtoehdot markkinoilta.

Innovaatiotoiminnan kannalta markkinapohjaiset ratkaisut ovat tärkeitä siksi, että lähinnä niihin liittyy kannustimet jatkuviin ja mahdollisimman suuriin parannuksiin; esimerkiksi yksi mahdollinen ja kenties todennäköinenkin kieltojen (tai luokittelun, kuten EU-taksonomian) seuraus on juuri ja juuri "aidan oikealla puolella" olevan ratkaisun suosiminen, mikä ei ole omiaan ruokkimaan ainakaan radikaalimpaa innovaatiotoimintaa.

Laajassa mielessä vihreän innovaatiopolitiikan vaikuttavuudessa on kyse globaaleista elinkaari-vaikutuksista ympäristöön. Kansallisesti on kyse myös yritysten ja toimialojen kilpailukyvyistä vihreiden tuotteiden ja palveluiden tarjoajina. Sekä ympäristön että talouden – kotimaisten yritysten kilpailukyvyyn – näkökulmasta näyttää houkuttelevalta olla mahdollisimman aikaisin vasta nousemassa olevilla teknologia-alueilla ja jatkaa sellaisia tukevalla laajalla politiikkavalikoimalla, kunnes uusi teknologia on itsessään hintakilpailukykyinen korvattavien aiempien ratkaisujen kanssa. Vihreän innovaatiotoiminnan voimakkaat havaitut polkuriippuvuudet viittaavat siihen, että uusien toimijoiden aktivoiminen ja runsas tuki yksittäisten innovaatioiden elinkaaren aikaisessa vaiheessa saattaisi olla erityisen kannattavaa. Pulmana tässä on nousevien teknologioiden tunnistaminen sekä politiikan instrumentointi siten, että yritysten välinen valikoituminen edelleen toimii ja teknologia-neutraliteetti täsmällisten ratkaisujen välillä säilyy.

Lähdeluettelo:

- Acemoglu, D. (2023). Distorted Innovation: Does the Market Get the Direction of Technology Right? *The Distinguished Lecture at the American Economic Association Meeting in New Orleans, 6 January 2023 at Hilton Riverside's Grand Ballroom*.
<https://www.aeaweb.org/webcasts/2023/aea-distinguished-lecture>
- Acemoglu, D., Aghion, P., Bursztyn, L., & Hémous, D. (2012). The Environment and Directed Technical Change. *American Economic Review*, 102(1), 131-166.
<https://doi.org/10.1257/aer.102.1.131>
- Acemoglu, D., Acigit, U., Hanley, D., & Kerr, W. (2016). Transition to Clean Technology. *Journal of Political Economy*, 124(1), 52-104. <https://doi.org/10.1086/684511>
- Aghion, P., Boneva, L., Breckenfelder, J., Laeven, L., Olovsson, C., Popov, A., & Rancoita, E. (2022). Financial Markets and Green Innovation. *European Central Bank Discussion Papers*, 2686. <https://www.ecb.europa.eu/pub/pdf/scpwps/ecb.wp2686~c5be9e9591.en.pdf>
- Aghion, P., Dechezleprêtre, A., Hémous, D., Martin, R., & Van Reenen, J. (2016). Carbon Taxes, Path Dependency, and Directed Technical Change: Evidence from the Auto Industry. *Journal of Political Economy*, 124(1), 1-51. <https://www.jstor.org/stable/26549857>

- Baranzini, A., van den Bergh, J. C. J. M., Carattini, S., Howarth, R. B., Padilla, E., & Roca, J. (2017). Carbon pricing in climate policy: seven reasons, complementary instruments, and political economy considerations. *WIREs Climate Change*, 8(4), e462. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/wcc.462>
- Bloom, N., Van Reenen, J., & Williams, H. (2019). A Toolkit of Policies to Promote Innovation. *Journal of Economic Perspectives*, 33(3), 163-184. <https://doi.org/10.1257/jep.33.3.163>
- Cohen, M. A., & Tubb, A. (2018). The Impact of Environmental Regulation on Firm and Country Competitiveness: A Meta-analysis of the Porter Hypothesis. *Journal of the Association of Environmental and Resource Economists*, 5(2), 371-399. <https://doi.org/10.1086/695613>
- Dechezlepretre, A., Martin, R., & Mohnen, M. (2017). Knowledge Spillovers from clean and dirty technologies. *Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment Working Papers*, 135. <https://ideas.repec.org/p/lsg/lsgwps/wp135.html>
- Grubb, M., Drummond, P., Poncia, A., McDowall, W., Popp, D., Samadi, S., Penasco, C., Gillingham, K. T., Smulders, S., Glachant, M., Hassall, G., Mizuno, E., Rubin, E. S., Dechezleprêtre, A., & Pavan, G. (2021). Induced innovation in energy technologies and systems: a review of evidence and potential implications for CO2 mitigation. *Environmental Research Letters*, 16(4), 043007. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abde07>
- Hémous, D. (2016). The dynamic impact of unilateral environmental policies. *Journal of International Economics*, 103, 80-95. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jinteco.2016.09.001>
- Hicks, J. (1932). *The Theory of Wages*. Macmillan. <https://books.google.fi/books?id=P-1AAAAIAAJ>
- Jaffe, A. B., & Palmer, K. (1997). Environmental Regulation and Innovation: A Panel Data Study. *The Review of Economics and Statistics*, 79(4), 610-619. <http://www.jstor.org/stable/2951413>
- Mazzucato, M., Kattel, R., & Ryan-Collins, J. (2020). Challenge-Driven Innovation Policy: Towards a New Policy Toolkit. *Journal of Industry, Competition and Trade*, 20(2), 421-437. <https://doi.org/10.1007/s10842-019-00329-w>
- OECD, The World Bank, & UN Environment. (2018). *Financing Climate Futures: Rethinking infrastructure*. OECD Publishing. <https://doi.org/https://doi.org/10.1787/9789264308114-en>
- Popp, D., & Newell, R. (2012). Where does energy R&D come from? Examining crowding out from energy R&D. *Energy Economics*, 34(4), 980-991. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.eneco.2011.07.001>
- Porter, M. E., & van der Linde, C. (1995). Toward a New Conception of the Environment-Competitiveness Relationship. *Journal of Economic Perspectives*, 9(4), 97-118. <https://doi.org/10.1257/jep.9.4.97>
- Tchorzewska, K. B., Garcia-Quevedo, J., & Martinez-Ros, E. (2022). The heterogeneous effects of environmental taxation on green technologies. *Research Policy*, 51(7), 104541. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.respol.2022.104541>
- Weber, K. M., & Rohrer, H. (2012). Legitimizing research, technology and innovation policies for transformative change: Combining insights from innovation systems and multi-level perspective in a comprehensive 'failures' framework. *Research Policy*, 41(6), 1037-1047. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2011.10.015>