

Teknologinen kehitys taloustieteen tutkimuskohteena

TUOMAS SAARENHEIMO

Tässä yhteydessä ei liene tarpeen paneutua teknologisen kehityksen roolin ja merkityksen syvälliseen pohtimiseen. Riittänee, kun todetaan, että sen merkitys länsimaisen ihmisen materiaalisen hyvinvoinnin kasvussa on — ainakin viimeisen sadan vuoden aikana — ollut keskeinen. Pidän konservatiivisena arviota, jonka mukaan teknologisen kehityksen, ja siihen liittyen ihmisten teknologisen osaamisen eli tietotaidon karttuminen ansiota on kolme neljänestä teollisuusmaiden kansantuotteen kasvusta viimeisen sadan vuoden aikana.

Tämä on lähtökohta lectiolleni, jossa pyrin arvioimaan, miksi teknologisen kehityksen keskeinen taloudellinen merkitys ei ole samassa mitassa heijastunut alan painoarvoon taloustieteellisen tutkimuksen piirissä. Taloustiede on perinteisesti uhrannut ja uhraa edelleen paljon vaivaa resurssien allokaation tutkimiseen. On tarkasteltu, miten talouden tuotantoresurssit ohjautuvat tehokkaaseen käyttöön, joko annetulla ajanhetkellä, tai yli ajan olennaisesti muuttumattomassa taloudellisessa ympäristössä. Valtaosa talousteoreettisesta analyysistä ylipäätään suoritetaan mallikehikoissa, joiden olennainen piirre on taloudellisen ympäristön muuttumattomuus. Teknologisen kehityksen tutkimus on myöhäsyn-tyinen ja — ainakin viime vuosiin saakka — elinvoimaltaan vähäinen sivujuonne kaukana tutkimuksen valtavirrasta.

Kuitenkin kaikki tulonjakoon, tuotantoresurssien hetkellisen allokaation tehokkuuteen tai hinnoitteluun liittyvät kysymykset ovat hyvinvoin-

tivaikutuksiltaan kertaluokkaa vähäisemmät kuin teknologinen kehitys. Miksi teknologisen kehityksen tutkimus ei houkuttele taloustieteilijöitä? Mahdollisia selityksiä on nähdäkseni kolme.

Ensimmäinen tulkinta on, että teknologista edistystä ei ole koettu tärkeäksi ilmiöksi. Näin on voinut olla vielä *Malthusin* ja *Ricardon* aikaan, mutta tällä vuosisadalla tämä selitys ei ymmärtääkseni voi päteä. Vähintäänkin sotien jälkeisen ajan, *Abramowitzin* empiiristen tulosten ja kasvu-kirjanpidon synnyn jälkeen taloustieteilijät ovat olleet tietoisia teknologisen kehityksen merkityksestä hyvinvoinnille.

Toinen mahdollinen selitys teknologian taloustieteen niukkaan olemassaoloon on, että teknologista kehitystä ei ole mielletty taloudelliseksi ilmiöksi. Tämä selitys pääsee jo lähemmäksi totuutta. Karikatyyrinen kuva teknologisen kehityksen moottorista on joukko työilleen täysin omistautuneita, hiukan eksentrisiä tiedemiehiä ja keksijöitä, jotka tuottavat keksintöjä. Näille pellepelottomille toiminnan motiivi ei ole raha, vaan jonkinlainen sisäinen halu etsiä vastauksia ja ratkaista ongelmia. Mikäli tämä olisi osuva kuvaus teknologisesta kehityksestä, ei taloustieteellä olisi ilmiössä paljon tutkittavaa.

Se muoto, jossa teknologinen kehitys neoklassisen kasvuteorian syntyessä 50-luvulla esittäytyi makrotaloustieteeseen, oli jokseenkin tuollainen. Neoklassisessa kasvuteoriassa teknologia kuvattiin taloudellisen toiminnan ulkopuolelta tulevana, eksogeenisena panoksena. Se tuli, teorian kehittäjän *Robert Solowin* sanoin, kuin "manna

taivaasta".

Jos teknologinen kehitys on joskus ollut pyyteettömien tiedemiesten monopoli, se ei ollut sitä enää Solowin aikaan, ja vielä vähemmän se on sitä nyt. 50-luvulta lähtien empiirinen tutkimus on tarjonnut vakuuttavaa näyttöä siitä, että teknologinen kehitys on leimallisesti ja ensisijaisesti taloudellinen ilmiö. Merkittävin osa tutkimus- ja kehitystyöstä tehdään kaupallisissa yrityksissä tai yhteistyössä niiden kanssa. Resursien suuntautuminen määräytyy ensisijaisesti kaupallisen hyödynnettävyyden perusteella — teknologinen kiinnostavuus on toisarvoinen.

Todellinen syy siihen, että neoklassinen kasvuteoria mallitti teknologisen kehityksen ulkoa tulevana, taloudellisista insentiiveistä riippumattomana ilmiönä ei ollut se, että tämä olisi kuvastanut taloustieteilijöiden aitoa käsitystä talouden toiminnasta. Todellinen syy oli, että se taloudellinen kehikko, jolla taloustieteilijät olivat 50-luvulla tottuneet ajattelemaan, ja se välinevarasto, joka heillä oli hallussaan, eivät soveltuneet teknologisen kehityksen kuvaamiseen. Taloustieteen työkalupakki rakentui oletuksille täydellisestä kilpailusta, laskevista skaalatuotoista ja rajakustannushinnoittelusta. Tämä välineistö hallittiin ja sitä käytettiin. Valitettavasti se oli täysin väärä välineistö teknologisen kehityksen analysointiin. Kuten myöhemmin tulee esille, täydellinen kilpailu ja innovaatiotoiminta eivät sovi samaan kehikkoon. Taloustieteen kyky analysoida epätäydellistä kilpailua, esimerkiksi monopolistista kilpailua, oli 50-luvulla heikko. Kävi siksi niin kuin usein käy: välineet ohjasivat paitsi tutkimuksen suuntautumista, myös ajattelua. Se, mitä ei osattu formalisoida, unohdettiin. Teknologia mallinnettiin ja haluttiin ymmärtää eksogeenisena, taloudesta riippumattomana ilmiönä.

Tässä kuvauksessa kiteytyy kolmas ja nähdäkseni pohjimmainen selitys teknologian taloustieteellisen tutkimuksen vähäisyyteen: teknologisen kehityksen mallintaminen on vaikeaa. 50-luvulla se oli vaikeaa, koska taloustieteen välineistö oli kehittymätön. Tuohon aikaan verrattuna välineistö on kehittynyt ratkaisevasti, mutta teknologisen

kehityksen taloustieteellinen analyysi on edelleen vaikeaa. Ongelma ei ole enää mallintaminen — mallinrakentamisen tekniikka ja sen soveltaminen teknologiseen kehitykseen on nykyään helppoa. Nyt ongelma on se, että ymmärrys siitä, mitä teknologisessa kehityksessä oikeastaan pitäisi tutkia, ei ole paljoa parantunut neljässäkymmenessä vuodessa.

Taloustieteessä englanninkielinen termi "stylized facts" — kömpelösti suomentaen "tyyliteltyt faktat" — tarkoittaa luetteloa jonkun tutkimusalan tärkeimmistä, alan ilmiöitä parhaiten luonnehtivista empiirisistä lainalaisuuksista. Jos pitäisi kerätä teknologisen innovaation tyyliteltyt faktat, lista jäisi lyhyeksi eikä olisi erityisen informatiivinen. Lähinnä tiedetään, että teknologiaa on hyvin monenlaista. Teknologinen innovaatio voi olla uusi tuote tai prosessi, mutta se voi yhtä hyvin liittyä tuotannon tai jakelun tehokampaan järjestelyyn tai esimerkiksi parannukseen innovaatioiden tuotantoprosessissa käytettävissä välineissä tai metodeissa. Teknologinen innovaatio voi olla selkeästi identifioitavissa ja sen omistussuhteet helposti määriteltävissä: esimerkiksi uusi antibiootti on kiistattomasti määriteltävissä sen molekyyliarakenteen perusteella. Toisaalta tärkeäkin innovaatio voi toteutettuna olla luonteeltaan triviaali, jolloin omistusoikeuden vahvistaminen siihen on mahdotonta. Esimerkki tällaisesta on vaikkapa kuljetusalalla tavaroiden pakkaaminen standardoituihin kontteihin.

Teknologinen kehitys voi koostua selkeän diskreeteistä askelistä: tyhjiöputkesta transistoriin, transistorista mikrosiruun. Toisaalta se voi koostua jatkuvasti kertyvästä sarjasta pieniä parannuksia, kuten auton korin aerodynamiikan kehitys tai mikrosiruun pakattujen transistorien määrän tasainen kasvu muutamasta sadasta miljooniin. Teknologinen innovaatio voi luonteeltaan lähestyä determinististä, kuten mikropiirin kehittyminen tasaisesti yhä hienorakenteisemmiksi, tai se voi olla tulosta käytännöllisesti katsoen satunnaisista kokeiluista, kuten eräiden suprajohdettavien materiaalien synty. Teknologiaa voi syntyä

autotallissa, kuten ensimmäinen mikrosiru, tai sen tuottaminen voi vaatia kymmeniä tai satoja miljardeja maksavan ylikansallisen tutkimusprojektin, kuten fuusioreaktorin kehittäminen.

Teknologisen innovaation monimuotoisuus ei rajoitu luetellun kaltaisiin teknisiin ominaisuuksiin. Taloustieteellisen analyysin kannalta yhtä lailla keskeisiä ovat innovaation taloudelliset ominaisuudet ja sen soveltamiseen liittyvä logistiikka. Taloudellisilla ominaisuuksilla tarkoitan sitä, missä määrin innovoija saa teknologiasta koituvan hyödyn itselleen ja mikä osuus hyödystä vuotaa kilpailijoille. Jos uusi tuote on helposti plagioitavissa, on motiivi sen tuottamiseen olennaisesti vähäisempi kuin jos tuotteen voi suojata pitävällä patentilla. Soveltamisen logistiikkaan taas liittyvät standardointi ja mahdolliset verkostovaikutukset. Tietokoneteollisuudessa, kuten informaatioteollisuudessa yleensä standardien merkitys on keskeinen, eikä niiden innovaatiotoimintaa voi ymmärtää huomioimatta standardien kehitystä. Lääketeollisuudessa puolestaan on vaikea keksiä, mitä standardit ylipäättään voisivat tarkoittaa. Verkostovaikutukset liittyvät läheisesti standardeihin. Niillä tarkoitetaan hyödykkeitä, joiden käyttökelpoisuus vaatii riittävän suuren käyttäjäpohjan. Klassinen esimerkki tällaisesta on puhelin, mutta yhtä hyvin malliksi kelpaa neste-kaasuauto tai tietokoneen käyttöjärjestelmät. Ensin mainituissa kattavaa polttoaineverkostoa ei synny ellei käyttäjiä ole tarpeeksi, jälkimmäisessä taas sovellusohjelmien kehittäminen lähtee käyntiin vasta kun käyttäjien määrä ylittää kriittisen tason.

Kaikki nämä teknologiset ja taloudelliset ominaisuudet määräävät, miten innovaatiotoiminta markkinoilla järjestyy ja toisaalta, miten se tehokkaimmin olisi järjestettävissä. Samoin niistä riippuu, minkälaisella teoreettisella mallilla tarkastelun kohteena olevaa ilmiötä kulloinkin kannattaa analysoida. On siksi selvää, että jos teknologisen kehityksen kattava teoria joskus syntyy, siitä ei tule kompakti. Jos alaa ei haluta trivialisoida keskittymällä yhteen tai edes muutama tyypiteltyyn innovaation malliin, tutkimuskentästä tulee väistämättä sirpaleinen. Edellä

lueteltuja teknologista innovaatiota luokittelevia ulottuvuuksia on tosin vain muutama — korkeintaan kymmenen — mutta niitä yhdistellessä kombinatoriikka takaa, että relevantteja tapauksia on käytännössä loppumattomiin. Kysymykset on ratkaistava tapauskohtaisesti.

Miksi tapausten runsaus ja tutkimusalan monimuotoisuus sitten karkottaa taloustieteilijöitä? Taloustiede on ammentanut matematiikasta ja fysiikasta muutakin kuin analyysivälineistönsä. Yhteistä on myös näiden tieteenalojen mieltymys elegantteihin, niukoille aksioomille rakentuviin selkeisiin teoriarakennelmiin. Muotiin nousevat taloustieteelliset teoriat ovat idealtaan yksinkertaisia ja tuloksiltaan vahvoja, kuten rationaalisten odotusten teoria. Tällaista estetiikkaa kaipaaville teknologisen innovaation taloustiede ei tule tarjoamaan elämyksiä. Alan tutkimukselle ei löydy kiistämättömiä aksioomia eikä se juuri ole kyennyt tuottamaan yleispäteviä doktriineja. Briljantteja, laajalti sovellettavia teoreemoja ei ole odotettavissa jatkossakaan. Vaikka teknologian tutkimuksen renessanssista on aivan viime vuosina näkynyt merkkejä, käsitykseni on, että varsinaista muotialaa siitä ei tule jatkossakaan muodostumaan.

Totesin äsken, ettei teknologisen kehityksen tutkimus ole juurikaan kyennyt tuottamaan yleispäteviä tuloksia. Aivan toivoton tilanne ei kuitenkaan ole. On yksi tulos, joka on olennaisesti riippumaton mallin oletuksista ja tutkittavasta innovaatiotoiminnan tyypistä, tulos, joka tuli esille jo edellä: täydellinen kilpailu ja teknologisen kehitys eivät sovi yhteen. Täydellisen kilpailulliset markkinat eivät kykene tuottamaan innovaatioita. Tuloksen logiikka on yksinkertainen. Täydellisen kilpailullisilla markkinoilla vallitsee rajakustannushinnoittelu. Toisin sanoen tuotteen hinta kattaa viimeisen tuotetun kappaleen tuottamisesta syntyvät muuttuvat kustannukset. Teknologian investointi taas on luonteeltaan "sunk cost" — kertaluonteinen kustannus, joka ei näy rajakustannuksissa. Jos tuotteet hinnoitellaan rajakustannuksien mukaan, hinta ei määritelmän mukaan kata teknologian investointeja. Niihin käytetyt rahat

ovat innovoijan näkökulmasta hukkaan heitettyjä. Siksi teknologiainvestoinnit edellyttävät rajakustannuksista poikkeavaa hinnoittelua, eli poikkeamaa täydellisestä kilpailusta. Yritys investoi teknologiaan vain, jos se voi näin saavuttaa markkinavoimaa ja riittävästi puhdasta voittoa kattaakseen investoinnista aiheutuneet kustannukset. Eli kuten *Schumpeter* kiteytti viisikymmentä vuotta sitten: "In this respect, perfect competition is not only impossible, but inferior, and has no title to being set up as a model of ideal efficiency".

Tämä tulos on taloustieteelle epämiellyttävä. Läntinen talousdoktriini rakentuu näkemykselle, jonka mukaan kilpailu on hyvä — mitä enemmän, sen parempi. Ensimmäisen hyvinvointiteoreeman mukaan täydellinen kilpailu ja siitä seuraava rajakustannushinnoittelu johtaa kullakin ajanhetkellä talouden resurssien optimaaliseen allokaatioon. Ensimmäinen hyvinvointiteoreema puhuu kuitenkin vain hetkellisestä tehokkuudesta. Se ei takaa allokaation tehokkuutta yli ajan. Edellä mainitun tuloksen valossa on selvää, että teknologisen kehityksen ylläpitäminen edellyttää pysyvää poikkeamaa täydellisestä kilpailusta. Se, kuinka suuri poikkeama vaaditaan ja mihin suuntaan, riippuu teknologian luonteesta ja on määriteltävä tapauskohtaisesti.

Epätäydellinen kilpailu on se tema, joka nivoo yhteen väitöskirjani sisältämät tutkimukset.

Kukin niistä tarkastelee toimialan markkinarakenteen ja kilpailutilanteen luonteen vaikutuksia teknologisen innovaation määrään ja laatuun. Toinen yhdistävä tekijä on peliteoreettinen analyysikehikko. Tutkimusten kysymyksenasettelu koskettelee alueita, joita on aiemmin tutkittu vähän tai ei lainkaan. Ensimmäinen tutkimus tarkastelee kilpailun vaikutusta riskinottoon yritysten innovaatiotoiminnassa. Toinen tutkimus analysoi, miten yritysten halukkuus patentoida ja lisensoida innovaationsa riippuu kilpailun luonteesta. Viimeisessä tutkimuksessa tarkastellaan, miten toimialan kattava tutkimus- ja kehitysyhteisliittymä vaikuttaa toimialan teknologiainvestointien tasoon.

Mikään väitöskirjani tutkimuksista ei pyri olemaan tyhjentävä kuvaus käsitellystä ilmiöstä. Tulokset perustuvat joukkoon oletuksia, jotka ovat realistisia vain tietyntyyppisten innovaatioiden kohdalla. Toisenlaisista oletuksista lähtemällä saataisiin toisenlaisia tuloksia. Tämä on luonteenomaista kaikelle taloustieteelle, mutta erityisen tyyppillistä se on teknologisen innovaation tutkimukselle, jossa vapaudet oletuksia valitessa ovat runsaat.

Väitöskirjani myötä teknologisen innovaation tutkimus ei etene jättiläisaskelin. Haluan kuitenkin ajatella, että se nytkähtää eteenpäin muuttaman tuuman. Ja suhteutettuna alan tärkeyteen, se ei ole aivan vähän sekään.