

Pasteur ja transistori

Olemmeko siirtymässä käytön innoittaman perustutkimuksen aikakauteen?

Reijo Miettinen

Idea käytön innoittamasta perustutkimuksesta tieteen kehitykselle ominaisena muotona on hypoteesi, joka voidaan tulkita kahdella tavalla: Onko niin, että teknologia on kehitynyt viimeisen sadan vuoden aikana tieteen kehityksen olennaiseksi tekijäksi, minkä tuloksena uusi tutkimustyyppi on kehittymässä hallitsevaksi? Vai niinkö, että teoreettisten käsitteiden kehitykseen keskittynyt tieteen historia on laiminlyönyt tieteen ja tieteen ulkopuolisten käytäntöjen vuorovaikutuksen tutkimisen ja että tällainen vuorovaikutussuhde on ollut aina olemassa? Voiko akateemisen tiedeyhteisön haave puhtaasta tieteestä osoitautua aaveeksi?

Tutkijat ovat varsin yksimielisiä siitä, että tekniikkaa kehittivät 1800-luvun jälkipuolelta saakka erillään tieteestä käsityöläiset, keksijät ja koneenrakentajat. Sähköteollisuuden syntyyn perustuva toinen teollinen vallankumous muutti tilanteen. Tieteestä tuli olennainen teknologian kehityksen lähde ja elementti.

Teknologian tieteellistymisen varhaisia merkkipaaluja 1800-luvulla olivat mm. mikrobiteorian soveltaminen elintarviketeollisuudessa ja terveydenhuollossa sekä väriteollisuuden ja orgaanisen kemian kehityksen kiinteä yhteys Saksassa. Nopeasti kehittyvä sähkötekninen teollisuus alkoi palkata fyysikkoja tutkimuslaboratorioihinsa 1900-luvun alussa. Uuden roolinsa kautta tieteestä tuli myös sotilaallisen ja taloudellisen kehityksen tärkeä resurssi.

Toisen maailmansodan jälkeen syntyneen tiedepolitiikan ydinkysymykseksi tuli tieteellisen tutkimuksen ja teknisten innovaatioiden välinen suhde. Samalla kysymys tieteen ja teknologian keskinäisestä suhteesta nousi pohdinnan kohteeksi. Jotkut tutkijat esittivät, että tämä suhde kehittyi viime vuosisadalla symbioottiseksi. Saksalainen tutkijaryhmä kehitteli 1970- ja 1980-

lukujen taitteessa tieteen kehitystä koskevan mallin, nk. tieteen finalisaatioteorian (Shäfer 1983). Sen mukaan kypsälle tieteelle on ominaista vanhalle pohjalle kehitetyn yleisen teorian soveltaminen eri elämäntilanteille ja tätä kautta tuon teorian täydentyminen erityisteorioilla.

Omalla tavallaan tieteen ja teknologian lähenytymiskehitystä heijastavat tieteen tutkimuksessa viime aikoina käytetyt termit 'teknotiede' (Latour 1987) sekä 'tiedon tuotanto' (Gibbons & al. 1994). Kummassakaan ei enää haluta tehdä eroa tieteellisen ja teknologisen tutkimuksen tai tuotekehittelyn välillä. Itse en pidä tällaista puhetaapaa järkevänä. Se on totalisoivaa. Se puhuu kehityksestä koko yhteiskunnan tasolla eikä tarkastele tärkeitä eroja yhteiskunnan eri instituutioiden (esim. yliopisto, yritys, hallintovirasto) välillä. Siksi tiedon kehityksen olennainen mekanismi, erilaisuuteen perustuva dialogi ja vuorovaikutus jää vaille huomiotta.

Toisen maailmansodan jälkeistä tiede- ja teknologiapolitiikkaa hallitsi lineaarinen innovaatioketjuajattelu: katsottiin, että perustutkimuksen saavutukset sovelletun tutkimuksen kautta muodostivat edellytyksen teknologiselle kehitykselle. Tuon ajatuksen muotoili presidentti Rooseveltin toimeksiannosta tohtori Vannaver Bush, MIT:n professori ja Yhdysvaltojen toisen maailmansodan aikaisen kansallisen puolustus-tutkimuskomitean puheenjohtaja. Yhdysvaltojen tiedepolitiikan peruslinjan vuosikymmeniksi eteenpäin viitoittaneessa muistiossaan *Science, the Endless Frontier* Bush toteaa (1945, 19):

"Puhdas perustutkimus luo uutta tietoa. Se synnyttää tieteellisen pääoman. Se luo pääoman, josta tiedon käytännölliset sovellutukset voivat ammentaa. Uudet tuotteet ja prosessit perustuvat uusille periaatteille ja käsitteille, jotka puolestaan tutkimus tieteen puhtaimmissa valtakunnissa tuottaa."

Tämä näkemys hylättiin 1970-luvulla innovaatiotutkimuksessa yksinkertaistavana, ja alettiin korostaa tieteen, teknologian ja talouden jatkuvaan, monitahoista vuorovaikutusta.

Tiedepoliittisessa keskustelussa mm. Harvey Brooks ja Derek de Solla Price osoittivat kaksi mekanismia, joiden kautta teknologia vaikuttaa tieteen kehitykseen. Se vaikuttaa tieteen ongelmanasetteluihin: teknologioiden kehittelyn ja käytön ongelmat ovat tieteellisten ongelmien generaattori. Teknisten ongelmien ratkaisu edellyttää yhä useammin teknologioissa toimivien luonnon mekanismien ymmärtämistä. Toiseksi teknologian luomat instrumentit ja materiaalit ovat tärkeä tieteellisten läpimurtojen lähde: ajatellaanpa vaikka elektronimikroskooppia, radioastronomiaa tai tietokoneiden laskentapasiteetin kasvun merkitystä luonnon ja yhteiskunnan ilmiöiden mallintamiselle.

Uudelleenarvointi on haastanut myös pohtimaan internalistisen, tiedeyhteisöjen sisäiseen ongelmaratkaisuun perustuvan tieteen kehityskäsityksen perusteita, jonka historiallisina aineksina olivat modernin tieteen synty sekä fysiikan, kosmologian ja tähtitieteen kehitys.

Etsittäessä vaihtoehtoisia käsitteitä lineaariselle ja perustutkimuslähtöiselle tiede- ja teknologiapolitiikalle kehittelyn lähteenä ja aineistona ovat olleet kaksi nykyisen tieteen kasvun painopistealuetta, bio- ja informaatiotieteet. Kumpaakin on esitelty malleina tieteestä, jossa teoreettinen, ymmärryksemme rajoja laajentava tutkimus ja tietojen soveltaminen yhteiskunnallisten ongelmien ratkaisemisessa kietoutuvat toisiinsa. Paradigmaattisina esimerkkeinä tästä on käytetty Louis Pasteurin työtä biologian uudistajana ja transistorin keksimistä.

Pasteur, bioteknologia ja mikrobiologian synty

Pasteur sai kemistin koulutuksen Pariisiin École Normale de Supérieure:ssä. Hän tutki kymmenen vuotta viinihappokiteiden ja muiden orgaanisten aineiden optisia ominaisuuksia. Siirryttyään kemian professoriksi Lillen yliopistoon vuonna 1854 Pasteur alkoi tutkia käymisprosessia. Hän tutki mm. lilläläisen alkoholitehtailija Bigon alkoholin valmistusprosessin ongelmia ja analysoi tämän tehtaan käymistuotteita laboratoriossaan.

Tuohon aikaan kemistit pitivät käymisprosessia kemiallisena ilmiönä ja hiivaa kemiallisena aineena. Pasteur päätyi varsin pian biologiseen selitykseen: käymisen aiheuttavat pieneliöt, jotka

käyttävät yhdisteitä ravinteinaan ja tuottavat alkoholia, maitohappoa jne. Vääränlaiset pieneliöt aiheuttavat viinin, oluen ja maidonvalmistuksen virheet.

Pasteur kehitti nimeään kantavan lämpökäsittelyn tällaisten mikrobin tuhoamiseksi. Hän ei kuitenkaan pitänyt käymisprosesseissa, vaan eteni nopeasti soveltamaan mikrobiteoriaa uusien ongelmien tutkimiseen. Silkkiäistoukkien, kotieläinten ja ihmisten sairauksien tutkimus johti tautien aiheuttajien jäljittämiseen sekä ihmisen immunologisen järjestelmän tutkimiseen. Käytännöllisinä tuloksina olivat rokotteet, teollisten valmistusprosessien optimointi, sekä tautien ennaltaehkäisy hygienian uudelleenorganisoinnin kautta. Toisaalta Pasteurin työ vaikutti ratkaisevasti biokemian, bakteriologian ja immunologian syntyyn tieteenaloina.

Sosiologi Joseph Ben-David (1960) väittää, että Pasteuria edeltävät bakteereja koskevat olettamukset syntyivät paljolti erillään ajan kokeellisesta luonnontieteestä. Bakteriologian luomiseen osallistuneet henkilöt olivat praktikko-tutkijoita, jotka toimivat lääketieteellisen käytännön ja maatalouden terveydenhuollon ja hygienian piirissä. Poikkeuksena oli Pasteur, joka oli aikansa etevimpiä kemistejä.

Ben-David toteaa, että Pasteur toteutti tietoisensa ammatillisen roolin muutoksen siirtyessään teoreettisista ongelmista tutkimaan käymisen ja tautien aiheuttajan ongelmaa laboratorion ja tieteen antamin keinoin. Ben Davidin mielestä 'hybridirooli', toimiminen samanaikaisesti useassa yhteisössä ja toiminnassa, mahdollisti uuden teorian muotoilun. Pasteur itse määritteli yhteiskunnallisten ongelmien tieteellisen ratkaisemisen olennaiseksi osaksi työtään. Hän hylkäsi käsitteen soveltava tiede todeten: "On vain tiede ja tieteen soveltaminen yhteen liittyneinä niin kuin hedelmä on liittyneenä puuhun, josta se kasvaa" (Böhme & al. 1983, 193).

Harvardin yliopiston soveltavan fysiikan professori Harvey Brooks oli yksi Yhdysvaltain ja OECD:kin tiedepoliitiikan muotoilijoista 1960- ja 70-luvuilla. Hän arvosteli voimakkaasti lineaariseen innovaatioketjuun perustuvaa tiedepoliittista käsitteistöä, jonka perusta oli jako perustutkimukseen ja soveltavaan tutkimukseen. Brooks käytti esimerkkinään Pasteurin työtä perustellessaan, että sovelluksiin orientoitunut tutkimus voi olla teoreettista, ymmärrystämme laajentavaa. Ymmärryksen luomisen (tiedon tavoittelun) ja käytettävyyden tavoitteita tai motiiveita ei voida pitää toisiaan poissulkevinä kuten vallitsevassa tiedepoliittisessa kielenkäytössä oli

asian laita (Brooks 1967, 24):

”Soveltaviin tavoitteisiin suuntautunut tutkimus voi olla luonteeltaan mitä suurimmassa määrin perusteita luovaa siinä mielessä, että sillä on tärkeä vaikutus jonkin alan käsitteelliseen rakenteeseen tai ajattelutapaan. Lisäksi se, että tieto on luonteeltaan sovellettavaa, ei merkitse ettei se olisi myös perustavaa. Miltei kaikki Pasteurin työ, juurikassokerin fermanttaatiosta ja silkkiäistoukkien taudeista lampaiden pernaruttoon ja vesikauhun hoitoon koski varsin käytännöllisiä ongelmia. Silti se johti uusiin biologisiin periaatteisiin ja virheellisten tuhoamiseen, mikä johti kumouksen biologian käsitteellisessä rakenteessa.”

Brooks toteaaakin 1960-luvun lopun arvioissaan, että paras tiede on samanaikaisesti käytännöllistä ja tieteellisesti tärkeää. Hän kuitenkin lisää, että tämä ei ole (vielä) tavanomaista eikä sitä voi pitää normaali-dotuksena (*ibid*, 26).

Transistorin keksiminen ja puolijohdefysiikka

Transistori on se perusteknologinen innovaatio, johon informaatioteknologien kumous perustuu. Se on, käyttäksämme transistorin keksijöihin kuuluvan fyysikon William Shockleyn ilmausta, ”informaatioaikakauden hermosolu”. Transistoreista kootut mikroprosessorit loivat perustan tietojen- ja viestintäteknikan nopealla kehitykselle.

Transistorin keksimiseen johtanutta hanketta on pidetty tärkeänä myös siksi, että se edustaa tapaa, jolla merkittävät tekniset innovaatiot tulevaisuudessa yhä lisääntyvässä määrin tehdään. Niin sosiologi, tiede- ja teknologiapolitiikan tutkijat kuin taloustieteilijätkin ovat analysoineet transistorin kehittämistä sen osoittamiseksi, miten monitahoisesti taloudelliset, yhteiskunnalliset, tieteelliset ja tekniset tekijät kietoutuvat toisiinsa modernin teknologian kehittämisessä.

Transistorin kehittämiseen johtanut puolijohdeiden tutkimusohjelma käynnistyi Bell-laboratoriossa vuonna 1945. Kesällä 1948 esiteltiin ensimmäinen toimiva transistori, kärkitransistori ja vuonna 1951 edeltäjänsä käyttökelpoisempi ja tehokkaampi liitostransistori. Vuonna 1952 kolme keksintöihin ratkaisevasti vaikuttanutta fyysikkoa, John Bardeen, Walter Brattain ja William Shockley, saivat fysiikan Nobel-palkinnon. Puolijohdeilmiöön perustuva transistori

tarjoaa ratkaisevia etuja edeltäjänsä tyhjiöputkitriodiin verrattuna. Transistori on pienempi, kestävämpi ja vaatii paljon vähemmän energiaa kuin tyhjiöputkikomponentit.

Vuonna 1945 käynnistyneen transistorin kehityshankkeen tavoitteena oli puolijohdevalmistimien rakentaminen. Hankkeen perustana oli tutkan kehitystyö toisen maailmansodan aikana. Kohteesta heijastuvien lyhyiden radioaaltojen vastaanottamiseen kehitellyissä vahvistimissa käytettiin piitä. Tässä työssä mukana olleita siirtyi rauhan tultua Bellin laboratorioden palvelukseen.

A. H. Wilson esitti kvanttiteoriaan perustuvan selityksen puolijohdeiden johtavuudesta 1930-luvun alussa. William Shockley, Bell-yhtymän puolijohdetutkimusryhmän johtaja ennusti vuonna 1945 Wilsonin teoriaan nojautuen ”kenttävaikutuksen” olemassaolon ohuessa puolijohdekerrostumassa, kun se alistetaan sähkökentän vaikutukselle. Hän kuitenkin epäonnistui tämän vaikutuksen kokeellisessa tuottamisessa.

Shockley antoi laskelmansa kenttävaikutuksen suuruudesta fyysikko John Bardeenin tarkistettavaksi. Paneuduttuaan ongelmaan Bardeen kehitti hypoteesin puolijohdeiden pintatiloista, jotka estivät sähkökentän vaikutuksen puolijohdeeseen. Bardeen keskittyi seuraavan vuoden näiden pintatilojen tutkimukseen kollegansa Walter Brattainin kanssa, joka vastasi hypoteesin todentamiseen ja kehittelyyn liittyvien laitteiden ja kokeiden tekemisestä. Vuoden 1947 alussa Bardeen julkaisi *Physical Review* -lehdessä pintatiloja koskevan teoreettisen artikkelin ja myöhemmin samana vuonna Bardeen ja Brattain esittelivät Bellin laboratoriossa työvereilleen toimivan transistorin (*Riordan & Hoddeson* 1997).

Vuonna 1949 Shockley kirjoitti puolijohdefysiikan perusteoksen *Electrons and Holes in Semiconductors*. Siinä hän kehitteli teoreettisesti liitostransistorin periaatteen, ja sen perusteella rakensi ko. transistorin vuonna 1951. Shockley on kuvannut Bellin laboratorioden transistoriohjelman lähestymistapaa ”käytännöllisten ongelmien tieteellisten aspektien kunnioittamisen” periaatteeksi. Shockleyn perusajatuksena on: koska tavoitteeseen ei ollut suoraa tietä, oli turvaututtava teoreettiseen tutkimukseen kunnes edellytykset ratkaisulle löytyivät (1972, 65):

” ... mielestäni on selvää, että emme voi sanoa transistorin olevan tulos tunnettujen teorioiden soveltamisesta halutun käytännöllisen tavoitteen saavuttamiseksi. Emme voineet saavuttaa tuota tulosta suoraa tietä (...) käytännöllinen

ongelma salpasi tiemme. Toisaalta ei ole oikein sanoa, että transistori oli sattuma, joka tuli palkintona perustutkimuksen tekemisestä, sillä vaikka teimmekin pintatiloja koskevaa perustutkimusta, tämän tutkimuksen alkuperäinen motiivi oli vahvistinlaitteen valmistamisen idea ... Niin pian kun ilmaantui kokeellista tietoa, joka osoitti, että vahvistimen rakentamisen alkuperäiset vaikeudet olisivat voitettavissa, edettiin alkuperäisen tavoitteen toteuttamiseksi ...

Luulen, että transistorin tarina on hyvä esimerkki tutkimuksen perus- ja sovellusulottuvuuden vuorovaikutuksesta. Se havainnollistaa käsitystäni siitä, että on suhteellisen hyödytöntä pohtia, pitäisikö jotain nimenomaista tutkimusta kutsua perustutkimukseksi tai soveltavaksi tutkimukseksi, ja paljon tärkeämpää on arvioida, antaako tutkimus luonnosta sellaista tietoa, jolla on pysyvää arvoa. Jos se antaa, sillä on todennäköisesti sekä älyllistä arvoa tekijöilleen että taloudellista arvoa sen kautta, että se edistää teollista kehitystä.”

Transistorihanke oli esimerkki teknisen kehittämistyön tieteellistymisestä. Teoreettinen tutkimus tuli jäädäkseen suurten elektroniikkayritysten kehitystyön osaksi (*Gasiz* 1979). Puolijohteiden fysiikka vakiintui yliopistollisena oppiaineena ja transistorien miniatyroiinti synnytti uusia teoreettisia ja teknisiä tutkimusongelmia.

Vuoden 2000 fysiikan Nobel-palkinto jaettiin kolmen tutkijan (Zhores Alferov, Herbert Kroemer ja Jack Kilby) kesken puolijohteiden sekä integroidun piirin kehittämisestä; palkituista Jack Kilby työskenteli Texas Instruments-yhtiössä. Myös kemian Nobel-palkinto annettiin kolmelle tutkijalle sähköä johtavan polymeerin keksimisestä, joka mahdollistaa uudenlaisten puolijohteiden valmistamisen ja on avaus nanoteknologian kehittämiseen.

Käytännön innoittama perustutkimus tiedepolitiikan kategoriana

Amerikkalainen tiedepolitiikan tutkija Donald Stokes on teoksessaan *The Pasteur's Quadrant. Basic Science and Technological Innovation* (1997) pyrkinyt yleistämään mm. edellä kuvattuja Pasteurin ja viime vuosisadan fysiikan kokemuksia tiedepolitiikkaa palvelemaan muotoon. Hän esittää, että tieteellistä työtä ei voida määritellä yhden hallitsevan motiivin, esimerkiksi tiedonhalun tai uteliaisuuden perusteella.

Tieteellisen työn historiallinen ja empiirinen tutkimus on osoittanut, että tieteen tekemisen motiivit ovat moninaisia ja toisiinsa sekoituneita. Jokin motiivi voi olla hallitseva tutkimusprosessin tietyssä vaiheessa. Esimerkiksi käytäntölähtöisessä tutkimuksessa, kuten transistoriesimerkki osoitti, ongelmanratkaisun kannalta olennaisten ilmiöiden ymmärtäminen teoreettisen työn avulla nousee työn jossain vaiheessa etualalle. Itse asiassa siirtymät teorian ja käytännön ongelmanratkaisun – ilmiöiden hallinnan ja niiden teoreettisen ymmärtämisen ja mallintamisen välillä – on keskeinen tutkimustyötä eteen päin vievä jännite (*Saari & Miittinen* 2002).

Tiedepoliittisissa asiakirjoissa, esimerkiksi OECD:n Frascatin käsikirjassa, perustutkimus määritellään yhä tutkimukseksi, joka on vapaa kaikista sovellusintresseistä. Stokes toteaa samoin kuin Brooks pari vuosikymmentä aikaisemmin: teoreettinen ja käytännöllinen intressi eivät sulje toisiaan pois. Stokes muodostaa lineaariselle innovaatioketjulle vaihtoehdoisen viitekehityksen, tieteellisen tutkimuksen nelikentän. Siinä on kaksi ulottuvuutta, maailmaa koskevan perustietämyksemme lisääminen (tieteen teoreettinen tai episteeminen ulottuvuus) sekä se, ollaanko kiinnostuneita tiedon soveltamisesta yhteiskunnallisten ongelmien ratkaisussa.

Louis Pasteurin työ on paradigmaattinen esimerkki siitä, mitä Stokes kutsuu käytön innoittamaksi perustutkimukseksi. Tällainen kaksoisorientaatio oli ominaista myös Shockleyn ryhmälle (*Nelson* 1962, 581): ”Ryhmän tiedemiehiä motivoi toive sekä tieteellisestä edistyksestä että käytännöllisistä edistysaskeleista. Niinpä projektille oli ominaista tulosten ja motiivien kaksinaisuus.”

Stokes ei kiistä tiedeyhteisön sisäisestä ongelmanasettelusta lähtevän perustutkimuksen merkitystä. Stokes kuitenkin katsoo, että niin tiedepolitiikassa kuin yliopistojenkin toiminnassa olisi paneuduttava pohtimaan käytön innoittaman perustutkimuksen edellytyksiä ja dynamiikkaa. Hän näkee, samoin kuin Harvey Brooks aikoinaan, sen dynaamisimmin kehittyväksi tieteellisen tutkimuksen tyyppiä.

Stokes pitää tieteen vertaisarviointia välttämättömyytenä, mutta katsoo, että tieteen kasvava yhteiskunnallinen ja taloudellinen merkitys ja siihen käytettyjen resurssien määrä vaatii kehittämään dialogin muotoja tiedeyhteisöjen ulkopuolisten yhteiskunnallisten toimijoiden kanssa.

Itse asiassa kaikilla nk. soveltavilla tieteenaloilla, kuten maatalous- ja lääketieteessä on

KÄYTÖN HUOMIOIMINEN

		Ei	Kyllä
PYRKIMYS PERUS- YMMÄRRYKSEN LUOMISEEN	Kyllä	Puhdas perustutkimus (Bohr)	Käytön innostama perustutkimus (Pasteur)
	Ei		Puhdas soveltava tutkimus (Edison)

Tieteellisen tutkimuksen nelikenttämalli Stokesin mukaan (1997)

perinteisesti kehittynyt institutionaalisia muotoja tutkimuksen tulosten hyödyntämiseksi sekä käytännön ongelmien ja tieteellisen työn dialogin turvaamiseksi. Tällaisia yhteistyöinstituutiota tuntuu muodostuvan myös uusille tutkimusalueille, ajatellaanpa vaikkapa ympäristö- ja kaupunkitutkimusta, mikä osaltaan tukee Brooks ja Stokesin ounastelua tämän tutkimustyyppin merkityksen kasvusta.

Brooks ja Stokesin idea käytön innoittamasta perustutkimuksesta tieteen kehitykselle ominaisena muotona on historiallinen hypoteesi. Se voidaan tulkita kahdella tavalla: Joko niin, että teknologia on kehittynyt viimeisen sadan vuoden aikana tieteen kehityksen olennaiseksi tekijäksi, minkä tuloksena uusi tutkimustyyppi on kehittymässä hallitsevaksi, tai niin, että teoreettisten käsitteiden kehitykseen keskittynyt tieteen historia on laiminlyönyt tieteen ja ulkopuolisten käytäntöjen vuorovaikutuksen tutkimisen, vaikka tällainen vuorovaikutussuhde on ollut aina olemassa.

Käyttäksemme vuoden 2003 Tieteen päivien teemaotsikkona ('aaveet ja haaveet'), akateemisen tiedeyhteisön haave puhtaasta tieteestä voi osoittautua aaveeksi.

Käytännön innoittaman perustutkimuksen käsite haastaa pohtimaan uudella tavalla akateemisen tutkimuksen organisoinnin muotoja ja yhteistyösuhteita. Se edellyttää huomion kiinnittämistä tieteen sovellusten kaupallistamisen

ohella ja sijaan siihen, miten nämä sovellukset ja yhteistyö palvelevat eri yhteiskunnallisten toimijoiden ja myös loppukäyttäjien tarpeita. Ennustamisen sijaan tarvitaan jatkuvaa luovaa dialogia kehkeytyvien yhteiskunnallisten tarpeiden ja tieteen synnyttämien mahdollisuuksien välillä.

Vaatus yliopiston vuorovaikutuksesta ympäröivän yhteiskunnan kanssa on usein tulkittu yliopiston alistamiseksi liiketoiminnan logiikalle tai yksityiselle intressille. On puhuttu yritysyliopistosta (*Marginson & Considine* 2000) ja akateemisesta kapitalismista (*Slaughter & Leslie* 1997). Suomessa kuitenkin vain 6 % yliopiston rahoituksesta tulee tällä hetkellä yksityiseltä sektorilta. Sen sijaan kilpailtu julkisen sektorin rahoitus on kasvanut suoraan budjettirahoitukseen nähden voimakkaasti. Budjettirahoituksen osuus yliopistoille väheni vuoden 1991 67 %:sta 53 %:n vuonna 1998 (*Kaukonen & Nieminen* 2000). TEKESiltä, Suomen akatemialta ja ministeriöltä tulevan rahoituksen osuus yliopistojen kokonaisrahoituksesta vuonna 1998 oli 31 %. Kun tämän rahoituksen myöntämisen kriteeriksi on lisääntyvässä määrin liitetty yhteistyön suosiminen, voidaan sen käytössä kehittää Stokesin hahmottelemia yhteiskunnallisen dialogin, vuorovaikutuksen ja oppimisen muotoja. Tämä voi tapahtua tavalla, jossa teoreettisen työn pitkäjännitteisyydelle tehdään oikeutta ja luodaan edellytyksiä.

- Ben-David, J. (1960): "Roles and innovations in medicine". *The American Journal of Sociology* Vol LXV, 557-568.
- Brooks, H. (1967): "Applied research. Definitions, concepts and themes". Teoksessa *Applied science and technological progress. A report to the committee on science and astronautics*. U.S. House of representatives by the national Academy of science. Washington D.C., 21-55.
- Bush, V. (1945): *Science, the endless frontier. A report to the president*. Washington: United States Printing Office.
- Böhme, G. & Van Der Daele, W. & Krohn, W. (1983): "The scientification of technology. Teoksessa Schäfer, W. 1983. *Finalization in Science. The social orientation of scientific progress*. Boston Studies of Philosophy Vol. 77. Dordrecht: D. Reidel Publishing Company, 173-206.
- Gasiz, D. C. (1979): "Influence of technology on science: a comment on some experience at IBM research". *Research Policy*, 8, 244-259.
- Gibbons, M. (1984): "Is science industrially relevant? The interaction between science and technology". Teoksessa Gibbons, M. & Gummet, P. (toim.) *Science, technology and society today*. Manschester University Press.
- Gibbons, M. & Limoges, C. & Nowotny, H. & Schwartzman, S. & Scott, P. & Trow, M. (1994): *The new production of knowledge. The dynamics of science and research in contemporary societies*. London: Sage.
- Kaukonen, E. & Nieminen, M. (2000): *University resercah in transition?* Paper presented in the seminar of the Finnish Society for Science Strudies, Helsinki, 11th of November.
- Latour, B. (1983): "Give me a laboratory and I will raise the world". Teoksessa Knorr-Cetina & Mulkay (toim.), *Science observed*. London: Sage Publications.
- Latour, B. (1987): *Science in action. How to follow scientists and engineers through society*. Milton Keynes: Open University Press.
- Latour, B. (1988): *The Pasteurization of France*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press.
- Marginson, S. & Considine, M. (2000): *The Enterprise University. Power, Governance and Reinvention in Australia*. Cambridge, Mass.: Cambridge University Press.
- Miettinen, R. (2002): *National innovation system. Scientific concept or political rhetoric?* Helsinki: Edita.
- Mowery, D. (1983): "Innovation, market structure, and government policy in American semiconductor electronics industry: a survey". *Research Policy* 12, 183-197.
- Nelson, R. (1962): "The link between science and invention: the case of transistor." Teoksessa *The rate and direction of inventive activity: economic and social factors*. Princeton: National Bureau of Economic Research.
- Saari, E. & Miettinen R. (2001): "The dynamics of change in research work: constructing a new research area in a research group". *Science, Technology, Human Values*. Vol 26 (3), 300-321.
- Shockley, W. (1972): "The invention of the transistor: an example of creative failure methodology". *Solid State Devices*, 55-75.
- Schäfer, W. (1983): *Finalization in Science. The social orientation of scientific progress*. Boston Studies of Philosophy Vol. 77. Dordrecht: D. Reidel Publishing Company.
- Slaughter, Sheila, and Larry L. Leslie (1997): *Academic Capitalism. Politics, Policies, and the Entrepreneurial University*. The Johns Hopkins University Press.
- Stokes, D. (1997): *The Pasterier's quadrant. Basic Science and technological innovations*. Washington, D.C.:Brookings Institution Press.

Kirjoittaja on professori Helsingin yliopiston Kasvatustieteiden laitoksen Toiminnan teorian ja kehittävän työntutkimuksen yksikössä. Hän johtaa tutkimusryhmää, joka tutkii innovaatioita ja tutkimustyön organisointia.

Kirjoitus perustuu esitelmään Tieteen päivillä 8.–12.1.2003. Kirjoituksen laajempi versio sisältyy syksyllä ilmestyvään Tieteen päivien muutamien keskeisten teemojen ympärille keskittyvään kirjaan "Tiede ja muutos – aaveet ja haaveet" (Toim. Jan Rydman, julk. Tieteellisten seurain valtuuskunta).