

VELI VERRONEN

Tieteen kehityksen sisällöllinen ja kvantitatiivinen aspekti*

Seuraavassa tarkastellaan aina empiirisiä tieteitä (ellei toisin ole nimenomaisesti mainittu). Empiiristen tieteiden osalta puolestaan rajoitutaan lähinnä ns. kypsiin ('mature') tieteisiin.

Verronen, Veli, Tieteen kehityksen sisällöllinen ja kvantitatiivinen aspekti [How Does Growth Take Place in the Content and in the Quantity (or Size) of Empirical Science: A Confrontation of the two Aspects]. Kirjastotiede ja informatiikka, 2 (1) 3—10, 1983.

The author first considers how the development of science is steered by a constellation of certain values, norms or standards (for instance the accuracy, scope, simplicity of a given theory): if these values are ignored or if a fixed value is 'valued' while ignoring the others the progress of science is forestalled. Then, in the study of the growth of knowledge — this growth was regulated by the above mentioned value constellation — two aspects are discriminated: how does growth take place in the *quantity* of science on the one hand and in the *content* of science on the other. (In the former one is concerned with the size of science, in the latter with the nature and structure of the development of science.) The results reached in the study of the size of science entail that exponential growth of science as experienced over two hundred years cannot go on very long. Fed back in the study of the growth of the content of science this implies interesting perspectives, among others a dilemma which the author calls the paradox of the growth of knowledge (it is possible that in the future the actual development of science begins to 'confirm' the accumulation theory *even* if we suppose that in principle the revolution theory is true).

Address: Department of Mathematical Sciences, University of Tampere, PB 607, SF-33101 Tampere 10.

1. Kuvittele mielessäsi, että kansalainen ξ , maineikas tutkija arvostetulta alalta Ω , suostuu haastateltavaksi seuraavasta aiheesta: »Onko tutkimuksen saralla Ω tapahtunut tieteen edistymistä?» Kuvittele mielessäsi edelleen, että ξ professionaalin ylpeydellä — sellainen ylpeyshän ei toki kovin synnillistä lie — kertoo alallaan Ω pitkän aikaa edistytyn ja parast'aikaa edistyttävän lähes vailla

vertaa. Vielä edelleen mielessäsi kuvittele, että yhteenvedo ξ :n oppineesta, innoittuneesta (hänen poskensa hehkuvat) ja alan Ω täydellisistä hallintaa osoittavasta puheenvuorosta on tämä: Alalla Ω tieteen edistyminen on ollut loistavaa (esim. verrattuna aloihin $\alpha, \beta, \gamma, \dots$), sillä Ω :n teoria on

(i) niin monimutkainen, että sen avulla todellisuudesta saa tuskin mitään tolkkua (alaa Ω vihkiytyneiden kesken faktoista ja ilmiöistä puhutaankin itse asiassa suoraan ilman teoriaa, sillä teoria kompleksisuutensa vuoksi vain häiritsisi todellisuuden jäsentämistä);

(ii) niin suppea sovellutusalueeltaan, että

* Käsillä oleva kirjoitus liittyy tutkimusprojektiin, jota taloudellisesti ovat tukeneet H. Weijolan rahasto ja Suomen Akatemia. Haluan tässä yhteydessä mitä lämpimimmin kiittää Suomen Akatemiaa ja H. Weijolan rahastoa.

sillä tuskin on kosketuskohtia mihinkään muuhun todellisuuden pisteeseen kuin siihen, jonka yhteydessä se alunperin introdusoitiin;

(iii) niin epätäsmällinen seurauksiltaan ja sillä tavalla rakennettu (ja edistytvä), että sen seurausten täsmällisyyden aste heikkenee koko ajan erinomaista vauhtia niin, että jo nyt voidaan varmuudella sanoa — tässä kohdassa ξ näyttää erityisen ylpeältä —, että kohtapuoliin ainutkaan teorian seuraus ei pidä yhtä havaintojen kanssa;

(iv) niin hedelmätön, että sen avulla ei todellisuudesta ole paljastettu mitään, mitä ei olisi ennestään muutoinkin jo tunnettu (ei muisteta milloin viimeksi teorian avulla olisi ratkaistu jokin ongelma);

(v) niin sotkuinen, että se on ristiriidassa kutakuinkin kaiken muun tietämyksen (esim. luonnon peruslakien) kanssa — sen ehkäpä voidaan osoittaa olevan ristiriidassa itsensäkin kanssa! (tämän Ω -laisten onasteleman, varmaankin aivan piakkoin tapahtuvan tieteellisen läpimurron ξ meille riemuissaan uskaltautuu paljastamaan).

2. Jätämme narratiivimme tähän uskoen, että se, millä tolalla kertomuksemme kansalaisen ξ , alan Ω ja sen yhteisön, joka julisti ξ :n maineikkaaksi ja Ω :n arvostetuksi, asiat ovat, saa meidät huomaamaan

a) että olemme lähes — vai täysin? — asiaa tiedostamatta hyväksyneet joukon tiedettä ohjaavia arvoja (tai normeja), joiden funktion ymmärrämme — siltä usein näyttää — vasta kun niiden vastaisesti toimitaan,

b) että tiede edistyy, kehittyy ja kasvaa tuon arvokonstellaation säatelemänä,

c) että mainitun arvokonstellaation olemassaolo ja toiminta on kaikkea muuta kuin triviaali asia (ajattele ξ :n ja yhteisön kollektiivista harhaa ja tuon harhan seurauksia).

Siis — narratiivimme antiteesinä — tieteen edistyminen tapahtuu ainakin viiden arvona (tai normina) toimivan kriteerin muodostaman konstellaation ohjaamana: (i) teorian yksinkertaisuus; (ii) teorian sovellutusalue; teorian tulisi selittää paljon muutakin kuin vain ne ilmiöt, joiden yhteydessä se introdusoitiin; (iii) teorian täsmällisyys: teorian seurausten tulee olla hyvässä (ja ajan mukana paranevassa) sopusoinnussa havaintojen kanssa; (iv) teorian hedelmällisyys: ensinnäkin teorian tuottamat yllätykset (ennalta odottamattomat ongelmanratkaisut), toiseksi teorian ratkaisevien ongelmien määrä, kolmanneksi ratkaistujen ongelmien laatu; (v) teorian konsistenssi: teorian tulisi olla sopusoinnussa

muun tietämyksen kanssa (ja sen tulee olla sisäisesti ristiriidaton).

Tämän arvokonstellaation (i)—(v) voi poimia T. S. Kuhnilta¹, mutta korostettakoon, että nämä arvot ovat myös traditionaalisen tiedekonseptin 'arvostamia'. Kuhn antaa kuitenkin tälle arvokonstellaatiolle oman teorian puitteissa tietyn 'kuhnilaisen', traditionaalista poikkeavan funktion erityisesti teorioiden valintaa koskevissa tilanteissa l. tieteen kriisivaiheissa ja tieteellisissä vallankumouksissa². Kuhnin teoria on traditionaalisen käsityksen kanssa ristiriidassa erityisesti sen vuoksi, että Kuhnin mukaan teorioiden valinnalle ei voida periaatteessakaan kehittää neutraaleja arvotusmittoja³ eikä arvokonstellaatio anna valinta-algoritmia, sillä käytännössä sovellettuina arvot voivat (helposti) joutua keskinäiseen konfliktiin ja yksilöt voivat soveltaa niitä eri tavoin⁴.

On helppo nähdä kuinka arvokonstellaation kriteerit voivat helposti olla ristiriidassa keskenään toisaalta ja kuinka ne toisaalta yksipuolisesti sovellettuina voivat johtaa tieteen edistymisen pysähtymiseen. Esim. arvo (v), joka vaatii teorialta sopusointua muun tietämyksen kanssa, ja arvo (iii), joka vaatii teorialta täsmällisyyttä, voivat käytännössä helposti joutua ristiriitaan yllätyksellisyyden vaatimuksen (iv) kanssa, sillä uudet (suuret) löydöt eivät aina ole sopusoinnussa muun tietämyksen kanssa ja tuskin koskaan antavat alkuun täsmällisiä tuloksia. Näin ollen, jos arvojen (iii) ja (v) vaatimukset asetetaan riittävän korkealle (minkä tiedeyhteisö todella voi tehdä), mitään uutta ei ole mahdollista hyväksyä. Kriteerien (iii) ja (v) yksipuolinen soveltaminen siis jäädyttäisi tieteen ajan oloon vain vanhaa tietoa säilyttäväksi ja sitä tarkentavaksi. Tällöin meidän olisi todettava, että tieteen edistyminen on pysähtynyt (tai vähintään meidän olisi todettava, että tieteen edistymisen luonne on ratkaisevasti muuttunut verrattuna siihen, mitä tieteen historiasa tieteen edistyminen tähän saakka on ollut). Ratkaistujen ongelmien lukumäärä puolestaan ainoana kriteerinä (tieteen edistymisen määritelmänä) ohjaisi tutkimusta tuottamaan valttavan määrän tyhjänpäiväistä tietoa. Mitättömien ja tyhjänpäiväisten ratkaistujen ongelmien määrä kasvaisi (tärkeän ja olennaisen

1 Kuhn (1970) *passim* ja erit. ss. 185—186, 205—206, (1973), ss. 2—3. — Olemme hieman modifioineet Kuhnin arvokonstellaatiota.

2 Kuhn (1970) *passim*.

3 *Ibid. passim*, (1979), s. 416.

4 Ks. erit. Kuhn (1973).

kustannuksella), joten 'määritelmän' mukaan joutuisimme sanomaan tieteen tilaa edistyväksi vaikka varmuudella tietäisimme tieteen edistymisen pysähtyneen.

Nämä esimerkkimme osoittavat (käsitksemme mukaan yksinkertaisella ja kiistatottomalla tavalla), että mainitun arvokonstellation (tai sen laajennuksen) funktio tieteen edistämiseksi ei ole triviaali. Edelleen nämä esimerkit osoittavat kuinka arvosidonnaista tiede todella on, kuinka vaarallista arvosokeus tieteen edistymiselle olisi ja kuinka erinomaisen delikaatilla tavalla tiedeyhteisöt ovat osanneet arvokonstellaatiota soveltaa (vm:n seikan huomaamme siitä, että tie-teestä on tavallaan tullut edistymisen käsitteen 'paradigmaattinen' eksemplaari).

Vaikka tieteen edistymistä ohjaava arvokonstellaatio ei anna algoritmia teoriavalinnalle, niin siitä huolimatta tieteelliset kriisit monine kilpailevine teorioineen päättyvät — jos hyväksymme Kuhnin ajatukset — konsensusukseen (siis yksimieliseen teoriavalintaan). Konsensuksen 'ylläpitäjinä' toimivat (tietysti) tiedeyhteisöt, joilla on (ja tulee olla) ainoan ja viimeisen tuomarini asema tieteen tuloksia koskevissa riita-asioissa. Päädyimme siis vaikeasti 'selitettävään' asiaan: toisaalta tiedeyhteisöllä ei ole arvoalgoritmia, mutta kuitenkin nimenomaan konsensus on normaalitydettä karakterisoiva piirre.

Ennen kuin siirrymme käsittelemään tiedon kasvun problematiikkaa, saanemme sivumennen todeta, että se tieteen arvosidonnaisuus, joka yllä on tullut esille, ei varmaankaan tyydytä viimeisten parinkymmenen vuoden ajan ahkerasti ja laajasti liikkeellä olleita tieteen arvosidonnaisuuden apostoleita. Puuttumatta tähän problematiikkaan lähemmin haluaisin kuitenkin tuoda esille, että voisimme ajatella arvojen itse asiassa olevan tieteen sisällä; eikä vain tieteen yleensä, vaan ne kuuluvat kiinnitetyn 'paradigmaattisen' teorian 'paradigmaan' tietoa generoivina ja konstituovina tekijöinä yhtä oleellisesti kuin paradigman sisältämät lait, ontologia ja eksemplaarit⁵. — Kun tieteen kehityksen ja yhteiskunnallisten tai sosiaalisten tekijöiden

välisiä suhteita tutkitaan tai tuon suhteen luonne pyritään ratkaisemaan, työskentelyn fokus saattaisi käsitykseni mukaan olla juuri em. arvojoukko ja sen laajentaminen.

Siirrymme nyt tieteen tulosten ja tiedon kasvun tarkasteluun. Se, että seuraavassa tieteen tulosten joukkojen VOL muodostamisessa viitataan konsensusukseen, ei — kuten esityksemme kokonaiskontekstista käy ilmi — merkitse, että katsoisimme totuuden konsensus-teorian päteväksi. Kysymys totuuden luonteesta jätetään tässä yhteydessä kokonaan auki — todettakoon kuitenkin, että ainakin tämän esityksen kirjoittajan on vaikea mieltää millainen olisi sellainen tosi (mitä totuudella sitten tarkoitetaan) ja esitetty teoria, jonka osalta ei koskaan saavuteta konsensus-ta.

3. Muodostakoot tieteen⁶ tulosten konstituoimat joukot ajan suhteen (sopivasti) indeksoituina jonon

$$(1) \dots, VOL_{t_i}, VOL_{t_{i+1}}, \dots,$$

missä aina sellainen konsensus nauttiva tulos, joka kuuluu joukkoon VOL_{t_i} lasketaan kuuluvaksi jokaiseen joukkoon $VOL_{t_{j+k}}$, kun $k \geq 0$, riippumatta siitä sisällöllisestä teoreettisesta muutoksesta, joka tieteessä aikavälillä $[t_j, t_{j+k}]$ mahdollisesti on tapahtunut. Tieteen tulokset toteuttavat näin ollen (triviaalisti) määritelmän mukaan (tiedon kasautumis-) ehdon

$$(2) \dots \subseteq VOL_{t_i} \subseteq VOL_{t_{i+1}} \subseteq \dots$$

Ellei sekaannuksen vaaraa ole, käytämme tieteen tulosten joukosta merkintää VOL ilman indeksointia. Tiedon kasvun (tieteen kehityksen ja edistymisen) ongelman voimme fokusoida nyt joukkoihin VOL ja ehdon (2) tutkimukseen: erilaiset tieteen kehityksen aspektit (tietoteoreettiset, tieteenfilosofiset ja monenlaiset empiiriset) on metodisesti selventävää pyrkiä tavalla tai toisella kuvaamaan joukoissa VOL. — Tiedon kasvun tutkimus on eräs ripeästi laajentuva tieteenfilosofian alue, joka on siinä suhteessa mielenkiintoinen, että sen valloittamisessa tieteenfilosofinen ja metodologinen tutkimus toisaalta ja empiirinen tutkimus toisaalta harvinaisen hedelmällisellä tavalla voivat liittyä toisiinsa — tässä vain viitataan siihen multip-

⁵ Paradigma Kuhn-mielessä olisi näin määriteltyä järjestetty nelikko $P = [O, U, E, V]$, missä O on teoriaspesifinen ontologia, U on joukko lainmuotoisia väitteitä, E joukko onnistuneita tutkimussuoritteita l. eksemplareja ja V mainittu (tai lavennettu) arvojoukko. Paradigma P generoi puolestaan yksittäiset teorit, jotka kuuluvat samaan P-paradigmaattiseen teoriaperheeseen (Verronen (1978), (1979), ss. 238—319 passim; ks. ja vrt. Kuhn (1970) passim ja erit. ss. 174—210).

⁶ Korostamme vielä kerran, että rajoitumme empiiriisiin tieteesiin ellei nimenomaisesti toisin ole mainittu. Empiirisistäkin tieteistä tarkastelumme kohteena ovat lähinnä ns. kypsät ('mature') tieteet. — Se, millä tavalla em. rajoituksesta vapautetaan, on oma tutkimusongelmansa.

peliosmoosiin, joka parhaillaan on jo tapahtumassa tieteenfilosofian ja sanokaamme vaikkapa vain historiatieteen, sosiologian, psykologian, taloustieteen sekä kirjastotieteen ja informatiikan muodostamassa konstellaatiossa⁷ (sellaiset alueet kuin korkeakoulupedagogiikka ja tieteen administraation tutkimus ovat 'tulossa').

Tiedon kasvun tutkimuksessa voidaan erottaa kvantitatiivinen aspekti ja sisällöllinen aspekti. Kvantitatiivisessa tarkastelussa tutkitaan esim. sitä, noudattaako tiedon kasvu ehdossa (2) määrällisesti jotain kasvulakia ja sitä, kuinka tulosten kvaliteetti (laatuso) suhtautuu määrään. Sisällöllisessä lähestymistavassa puolestaan ongelmana on esim. se, onko tieto 'todella' kasautuvaa (kasautumisehto (2) seuraa määritelmästä eikä vastaa tiedon sisällöllistä kasautumista koskevaan ongelmaan), se, onko tieteen edistymisellä jokin 'määrätty maali' ja se, ovatko tieteelliset teoriat tavalla tai toisella 'yhteiskunnallisesti muotomääräytyneitä'.⁸ (Sisällöllisessä lähestymistavassa siis ei tutkita yksityisten teorioiden 'sisältöjä', joita tosin käytetään yleissilmäyksellisyyteen pyrkivän tieteen kehityksen sisällöllisen tutkimuksen esimerkkiaineistona.) Kvantitatiivinen ja sisällöllinen aspekti voidaan luontevasti yhdistää, jolloin saadaan esim. johdetuksi eräänlainen 'futurologinen' tiedon kasvun paradoksi (ks. jäljempäksi). — Tarkastelemme seuraavassa ensiksi tieteen kvantitatiivista kehitystä ja sen tutkimuksessa saatuja tuloksia.

4. Olkoon tieteellisten tulosten joukon VOL osajoukko GOOD merkittävien tulosten joukko, jonka osajoukko TOP puolestaan olkoon tieteellisten huipputulosten muodostama, sekä kuvatkoot vol, good ja top vastavassa järjestyksessä joukkoihin VOL, GOOD ja TOP⁹ kuuluvien tieteellisten tulosten määrää. Noudattaako tiedon (triviaali) kasautumisehto

$$(2) \dots \subseteq \text{VOL}_{t_i} \subseteq \text{VOL}_{t_{i+1}} \subseteq \dots$$

jotain tiettyä kasvufunktiota, vai onko — käyttäkseni hoettujen sloganien ydinsanaa

⁷ Ks. vain esim. Cohen (1974), (1976), Kuhn (1967), (1980) historiatieteen osalta, Friedrichs (1970), Merton (1973) sosiologian osalta, Fisch (1977) psykologian osalta, Rescher (1978) taloustieteellisen lähestymistavan osalta sekä esim. käsillä olevan aikakauslehden vuoden 1981 n:o 1(1) kirjastotieteen ja informatiikan osalta

⁸ Vm. ongelman osalta ks. esim. Pietilä (1981).

⁹ Olemme edellä todenneet, että joukkojen indeksointi ajan suhteen jätetään pois, jos sekaannuksen vaaraa ei ole: tässä sitä ei ole.

— 'informaatoräjähdyks' niin raju ja diffuusi, ettei siitä saa analyttistä käsitystä. Voidaan-ko määritelmän mukaisen trivialiteetin

$$(3) \text{TOP} \subseteq \text{GOOD} \subseteq \text{VOL}$$

tapauksessa sanoa jotain top:n, good:n ja vol:n funktionaalisista riippuvuussuhteista? Nämä probleemit ovat tavanomaisia, tiettyjen funktioiden olemassaoloa koskevia tieteellisiä kysymyksenasetteluja — eivätkä spekulatiivisia, 'filosofisia' ns. iäisyyskysymyksiä — ja tällaisten funktionaalisten kysymysten ratkaiseminen edellyttää, että löydetään perustellut ja hyvät tiedon kasvun indikaattorit. Mitkä indikaattorit — millä perusteilla — siis olisivat hyviä kuvaamaan (abstraktin asian) tiedon ja myös koko tiedeinstituution kasvua? — Tarkastelemme seuraavassa sektiossa D.J. de Solla Pricen ja N. Rescherin näiden ongelmien yhteydessä esittämiä tuloksia ja hypoteeseja.¹⁰ (Tiivistetyn esityksen aikaansaamiseksi seuraavassa sektiossa lähdeviitaukset jätetään pääosin tekemättä: seuraavan 5. sektorin osalta ks. Price (1961), (1969), (1971), (1978) ja Rescher (1978); ks. myös Merton (1973) ss. 286—324).

5. Mertonin paradoksiksi kutsumme seuraavassa erästä Robert K. Mertonin merkillepanoa, jonka formuloimme seuraavaan muotoon: mitä laajempi avoimen julkaisun avulla taattu tietopääoman yhteisomistus tiedeyhteisössä vallitsee, sitä suurempi on pääoman osaseen kohdistuvan intellektuaalisen yksityisomistuksen suoja. Juuri Mertonin paradoksista oikeastaan 'seuraa', että onnistuneen tutkimusprosessin päätepiste on julkaisu ja että kullakin tieteenalalla syntyy konsensus (jälleen 'konsensus!') siitä millainen on hyvä artikkeli hyvässä aikakauslehdessä. Edellä esitetty indikaattori-ongelma siis ratkeaa: tieteen tulosten kokonaisvolymin kasvua voidaan tutkia tarkastelemalla tieteellisen aikakauslehden kehitystä tai vielä tarkemmin seuraamalla yksittäisten julkaisujen määrää ja sirontaa erilaisin menetelmin. (Jos

¹⁰ Huomattakoon, että emme ota kantaa tämän alan tutkimuksen prioriteettikysymyksiin erit. de Solla Pricea edeltävän työn osalta, vaikka mainita voi amerikkalaisen Henry Brooks Adamsin (1838—1918) (ks. Rescher (1978), ss. 54—55). Rescherin tuntema aikaisin eksponentiaalista tieteen kasvua koskevan havainnon antisipointi on lordi Kelvinin vuodelta 1901 (*ibid.*, s. 54, n. 1), Rescher mainitsee myös Engelsin tiedon kasvutavan pohtijana (*ibid.*, s. 54, n. 1:n jatko s. 55, ks. myös ss. 123—131). — Rescherin omaa monografiaa on pidettävä lähinnä systematisoivana ja myös tieteenfilosofisena (sekä siis 'empiiriseltä' kannalta sekundääri-lähteenä). Rescherin esityksellä on selkeyden ansiot.

yllä sanotun hyväksyy — niin kuin mielestäni on pakko hyväksyä —, huomaa kuinka erinomaisen hyvällä perustalla voidaan yhteistyötä tulevaisuudessa tehdä tieteenfilosofian sekä kirjastotieteen ja informatiikan ('tiedon kasvun tieteen') välillä.)

Tiedeinstitution kokonaiskasvusta puhuttaessa voidaan indikaattoreina yllä mainittujen lisäksi käyttää esim. työvoiman ja rahallisen panostuksen kuvaajia. Trendit sinänsä ja eräiden variaabelien välillä havaittavat riippuvuudet ovat hämmästyttävän vakaita eikä niillä juurikaan ole vertaa muilla yhteiskuntatieteellisillä aloilla.

Tutkittaessa v. 1665 ns. tieteen suuren valankumouksen kontekstissa syntyneen tieteellisen aikakauslehden, erään tiedon kasvun indikaattorin, kehitystä on voitu osoittaa mm. seuraavaa. Reilusti yli viimeisten 200 vuoden ajan aikakauslehtien määrä on kasvanut vakaan eksponentiaalisesti kaksinkertaistumisperiodin ollessa n. 15 vuotta. Tilanne on se, että v. 1665 lähdettiin yhdestä lehdestä ja yli 200 vuotta siten alkoi tasainen eksponentiaalinen kasvu, jonka seurauksena (jos kehitys jatkuu entisenä) on vuoteen 2000 mennessä päädytty 1 000 000 journaliin. (Aikakauslehden lisääntyminen on siis lähes käsittämättömän huikeavauhtista; en kuitenkaan ryhdy tässä tarjoilemaan niitä eloisia mielikuvia, joilla de Solla Price herättelee lukijoitaan tajuamaan, kuinka vakavasta asiasta on kysymys.) Ankakauslehtien määrän saavutettua informaatiottribuution kannalta krusiaaliselta vaikuttavan 300:n rajan vuoden 1830 paikkeilla syntyy abstraktilehti, jota ilman tutkijat eivät olisi enää voineet seurata aikaansa eikä tiede jatkaa eksponentiaalista edistymistään. Abstraktilehden kasvuvauhti myös on ollut eksponentiaalinen. Abstraktilehden kasvun saapuminen 300:n rajan pintaan puolestaan houkuttelee tieteeseen uuden informaation distribuution välineen, nimittäin elektronisen kirjastopalvelun tieteen eksponentiaalisen edistymisen ylläpitämiseksi. — Jatkamatta enempää niiden ponnistusten kuvaamista, joita eksponentiaalisen kasvun säilyttämiseksi on tarvittu, voi todeta, että emme elä poikkeuksellista informaatorijärjestyksen aikaa, sillä jos tiedon eskalaatio olisi nyt vähäisempää kuin mitä se todella on, niin siinä tapauksessa eläisimme epänormaalia

aikaa verrattuna aikaisempaan, monen sadan vuoden ajan yhtenäistä lakia noudattaneeseen kehityskaareen.

Tiedon kasvun mittaaminen esim. artikkelien lukumäärää indikaattorina käyttäen johtaa samaan tulokseen kuin mihin yllä päädyttiin: tieteellisen tiedon kasvuvauhti on eksponentiaalinen kaksinkertaistumisperiodin ollessa 10—15 vuotta.

Miten VOL:n, GOOD:n ja TOP:n määrät vol, good ja top suhtautuvat toisiinsa? Tutkimukset viittaavat siihen, että tieteessä merkittävyys suhtautuu kokonaistuotantoon samoin kuin on väitetty väestön eliitin suhteen olevan kokonaispopulaatioon (eli merkittäviä tuloksia olisi kokonaismäärästä neliöjuuri) ja että TOP lisääntyisi lineaarisesti vauhtia (mutta VOL:sta riippuen!); siis kaiken kaikkiaan tilanne olisi tämä:

(4) Tieteen tulosten kokonaismäärä vol kasvaa eksponentiaalisesti ajan funktiona kaksinkertaistumisperiodin ollessa 10—15 v.

(5) $good = \sqrt{vol}$

(6) $top = \ln(vol)$

Ehto (4) on varma. Ehdot (5) ja (6) ovat toki riidanalaisia, mutta jos kiista koskee vain lakien muotoa, ei ehtoihin (5) ja (6) liittyvä kontroverssi ole itse asiassa mielenkiintoisinta: olennaista on, onko ylipäätään olemassa sellaiset funktiot f ja g, että $good = f(vol)$ ja $top = g(vol)$. Jos f ja g ovat olemassa, niin tällöin merkittävien ja huipputulosten määrä riippuu kokonaistuotannosta, jolloin merkittävien ja huipputulosten määrän kasvattaminen tietyllä tavalla on mahdollista vain lisäämällä kokonaistuotantoa määrättyllä tavalla. Jos — esimerkin vuoksi — $\sqrt{\quad}$ -laki pitää paikkansa, niin hyvien tulosten määrän kasvattaminen viisinkertaiseksi edellyttäisi kokonaistuotannon kasvattamista 25-kertaiseksi. Kun otetaan huomioon, että tieteellisten aikakauslehtien, abstraktilehtien ja artikkelien määrien lisäksi myös esim. tutkijoiden ja tarvittavien finanssien määrät ovat kasvaneet eksponentiaalisesti, saadaan eri riippuvuuksien valossa vedettyä huolta aiheuttavia implikaatioita tulevaisuutta ajatellen: jos esim. huipputulosten määrän vaaditaan kasvavan entistä vauhtia ja jos top on vol:n funktio, joudutaan eräissä maissa ja eräillä aloilla panostamaan tieteeseen enemmän kuin mitä on bruttokansantuote — eikä tämä tilanne aivan mahdollottoman kaukana ole.

¹¹ Huomattakoon, että näin ollen käsillä olevassa kirjoituksessa rajoitutaan tiedon kasvun kvantitatiivisen aspektin osalta vain vuoden 1665 jälkeiseen aikaan (aikakauslehti syntyi v. 1665).

Juuri mainittu absurditeetti saa meidät kiinnittämään huomiota siihen, että tiedon kasvattaminen tapahtuu reaali maailmassa, jossa mikään eksponentiaalinen kasvu ei voi jatkua loputtomiin. Sen, että myös tieteen kasvuvauhti dhasitaisesti tulevaisuudessa laantuu, huomaa varsin konkreettisesti seuraavasta. Koska yksittäisen tutkijan kapasiteetti on äärellinen ja tutkijoiden keskimääräinen produktiivisuus ei ylitä tiettyä vakiota, on VOL:n eksponentiaalisen kasvun ylläpitämiseksi ilmeisesti myös tutkijoiden määrän oltava kasvutavaltaan eksponentiaalista. Tämä hypoteesi onkin osoittautunut paikkansapitäväksi, kuten edellä todettiin. Mutta jos VOL:n vaadittaisiin kasvavan entisellä huikealla tavalla, tämä pakottaisi funktionaalisesti tilanteen ajan oloon siihen, että tutkijoiden määrä ylittäisi maapallon kokonaispopulaation. Kun lisäksi eräiden tieteellistä lahjakkuutta koskevien tutkimusten mukaan vain ehkä alle 6—8 % voi tulla tutkijoiksi (tieteellinen lahjakkuus ei esim. ole kasvavan älyn funktio vaikkakin normaalia korkeampi minimiälykyys on tarpeen), voi päätellä, että tiedon kasvuvauhdin hidastumisen hetki ei ole kaukana; eräät tutkijat arvelevatkin, että olemme jo nyt käännealueella.

6. Tieteen kehityksen kvantitatiivista puolta tutkittaessa on siis voitu osoittaa, että triaali kasautumisehto

$$(2) \dots \subseteq \text{VOL}_{t_i} \subseteq \text{VOL}_{t_{i+1}} \subseteq \dots$$

voidaan tämentää: tiedon kasvu on yli 200 vuoden ajan ollut eksponentiaalista, mutta saapuu tulevaisuudessa saturoituvan vaiheeseen. Mutta tällaisessa kvantitatiivisessa tarkastelussa ei oteta mitään kantaa siihen, onko tieteen sisällöllinen kehitys todella kasautuvaa, ts. tarkastelematta jää, mitä joukkojen VOL 'sisällä' teoreettisella tasolla tapahtuu. Myöskään saturaatiota koskevassa väitteessä ei oteta kantaa siihen, olisiko joukoilla VOL_{t_i} periaatteellinen (joko ihmisen tietokyvystä tai luonnon rakenteesta johtuva) 'yläraja' VOL^* , jota ei voida ylittää vaikka reaaliset reunaehdot (finanssien ja työvoiman äärellinen määrä) poistettaisiin. — Tarkastelen lopuksi seuraavassa sektiossa johdattelevasti näitä ongelmia.

7. Tieteen sisällöllisen kehityksen kasautumisteorioilla tarkoitetaan niitä teorioita, joiden lähtökohtana on intuitiivinen käsitys tiedon pysyvyydestä ja kumuloidumisesta. — Formuloin seuraavassa kasautumisteorian versioista ensin sen, jota kutsun naiiviksi.

Sen jälkeen esitän vain aivan viitteenomaisesti kasautumisteorian positivistisen, subtiilin version.

Kasautumisteoreetikotkaan eivät esitä, että ehto (2) yllä olisi paikkansapitävä sisällön kannalta, sillä (2):ssa toki voi esiintyä tuloksia, joita on erehdytty pitämään pätevänä. (Tähän voi olla erilaisia syitä.) Kun nämä erehdykset poistetaan, saadaan joukot $\overline{\text{VOL}}_{t_i}$ jotka toteuttavat ehdon

$$(7) \dots \subseteq \overline{\text{VOL}}_{t_i} \subseteq \overline{\text{VOL}}_{t_{i+1}} \subseteq \dots$$

joka on juuri tiedon kasautumisteorian naiivioversio. Sen mukaan tieteessä saavutetut tulokset ovat pysyviä, jos vain tieteen metodia oikein on noudatettu: tieteen kehitys siis on totuuksien kasautumista.

Kasautumisteoria (7) on kuitenkin kestävä: tieteessä esiintyy toistuvasti tilanteita, joissa pitkään hyvin toimineen teorian T seuraukset alkavatkin selvästi olla epätosia ilman, että voitaisiin osoittaa tieteen metodia käytetyn virheellisesti. Onko teoriasta T siis luovuttava ja luovuttavako on myös kasautumisteoreettisesta ajattelutavasta? Positivistisen tieteenfilosofian pohjalta voidaan vastauksena tähän haasteeseen konstruoida kasautumisteoria

$$(8) \dots \subseteq \overline{\overline{\text{VOL}}}_{t_i} \subseteq \overline{\overline{\text{VOL}}}_{t_{i+1}} \subseteq \dots$$

missä joukot $\overline{\overline{\text{VOL}}}_{t_j}$ saadaan soveltamalla tiettyjä 'sopivia' periaatteita (esim. reduktion periaatetta) joukkojen $\overline{\text{VOL}}_{t_j}$ teorioihin siten, että edelliset teoriat jäävät myöhempien erikoistapauksiksi¹². — Monessa tapauksessa kasautumisteorian vastustajien kritiikin kohteena tuntuu olevan joko täysin intuitiivinen kasautumismalli tai teoria (7); tällainen kritiikki ei kuitenkaan voi osoittaa teoriaa (8) virheelliseksi, sillä (8):ssa kasautumismallin vastaiset historian esimerkit käännetään — silti näyttää — kumulatiivisen rakennelman voitoksi.

Tiedon kasvun revoluititeoriat ovat viime aikoina herättäneet suurta huomiota, mutta tällä traditiolla on itse asiassa ainakin 300-vuotinen historia¹³, joten esim. Kuhnin malli on ymmärrettävä intuitiivisen revoluititeorian erääksi spesifiseksi versioksi. Kuhnin

¹² Kasautumisteorian (8) yksityiskohtaisesta konstruomisesta ja konstruktion edellytyksistä ks. Verronen (1979), § 6 *passim*, (1980), ss. 305—307. Reduktionismista ks. Nagel (1949) sekä Kemeny ja Oppenheim (1956).

¹³ Ks. Cohen (1976).

mukaan ei ole ainoastaan niin, että (8) on virheellinen, vaan että ylipäättänsä kasautumisteorialle ei voida löytää kestävää muotoa. Tämä merkitsee, että tieteessä on 'aitoja' tieteellisiä vallankumouksia, joissa aikaisemmasta on luovuttava sellaisessa merkityksessä, että (8):aa tai muuta sen tapaista ehtoa ei voida (re-) konstruoida. Juuri murrosvaiheissa kirjoituksemme sekktion 2 arvokonstellatiolla on keskeinen rooli tieteen kehityksen (ja edistymisen¹⁴) suuntaajana. Tämä suunta ei kuitenkaan ole mitään kiinnitettyä totuuden maalia kohden Kuhnin teorian mukaan¹⁵, seikka, joka tuntuu erityisesti suututtavan Kuhnin kriitikoita.

Vaikka tässä yhteydessä ei voi tarkastella yksityiskohtaisesti tieteenfilosofista vastakkainasettelua kasautumismalli-revoluutiomalli, osoittanevat yllä esitetyt pikapiirrot, että kasautumismallista revolutiomalliin siirtymisen täytyy merkitä krusiaalista muutosta itse tieteen käsitteessä; lisäksi se ilmeisesti merkitsee muutosta siinä, miten analysoimme väitettä tiedon sisällöllisen kasvun periaatteellisesta rajallisuudesta/rajattomuudesta. (Voivatko tieteelliset vallankumoukset toistua yhä uudestaan ja uudestaan?) Puuttumatta lähemmin niihin argumentteihin, joilla tiedon sisällön kasvun periaatteellista rajallisuutta/rajattomuutta¹⁶ on puolustettu, voi todeta, että jos myönnämme suurten innovaatioiden voivan periaatteessa jatkua rajattomiin, saadaan johdettua eräänlainen tiedon kasvun 'paradoksi'. Tutkimusten mukaan nimittäin, kuten olemme nähneet, tiedon kasvu on ollut pitkään eksponentiaalista, joten saturaatiovaihe on edessä. Tällöin joka alalla tieteellisestä murroksesta toiseen kulkeminen saattaa 'maallisista' syistä (finanssit, työvoima jne.) johtuen tulla niin raskaaksi, että se ei enää onnistu, vaikka innovaation mahdollisuus periaatteessa olisi olemassa. Mutta tämä

¹⁴ Huomattakoon, että käsillä olevassa kirjoituksessa ei ole määritelty tieteen edistymisen käsitettä — näin on menetelty tarkoituksella. (Voisi kokeilla seuraavaakin ajatusta. Tieteen edistymisen käsitettä ei määriteltäisi, vaan tiede olisikin edistymisen paradigmaattinen eksemplaari, ts. se mikä on 'oikeata' tiedettä on juuri edistyvä.)

¹⁵ Kuhn (1970) *passim*, myös ss. 172—173.

¹⁶ Tiedon sisällöllisen kasvun rajattomuutta voidaan (toki) väittää sekä revolutioteorian että kasautumisteorian pohjalta. Mikäli tiedon kasvun rajattomuutta lähdetään puolustamaan kasautumisteorian pohjalta, saadaan kuitenkin huomattavasti erilainen kokonaisnäkemys tieteen edistymisen kvantitatiivisen ja sisällöllisen aspektin yhdistämisestä kuin on se, joka seuraa revolutioteoriasta.

merkitse, että reaali maailma (reaalinen tieteen kasvu) tulevaisuudessa vähitellen saattaa lakata¹⁷ 'tottelemasta' Kuhnin mallia tieteen kehityksestä: tiede ei enää edistyisi-kään kaavan normaalitiede/kriisi/vallankumous/uusi normaalitiede mukaisesti (koska vallankumouksia ei enää ole); sen sijaan tieteen kasvu rupeaisikin 'konfirmoimaan' kasautumisteoriaa — ja näin kävisi, jos kävisi, juuri niistä kvantitatiivisista, 'maallisista' syistä johtuen, joita yllä sektiossa 5 käsiteltiin ja jotka kääntävät tieteen kvantitatiivisen edistymisen saturoituvan vaiheeseen. Kuvattua asiantilaa kutsun tiedon kasvun paradoksiksi.

Lopuksi haluaisin vastata seuraavaan, mahdollisesti esitettävään kysymykseen: Miksi ruvata pohtimaan tiedon määrällisen kasvun luonnetta uudestaan, kun eräät sektiot 5 (ks. ylle) perusideat ovat olleet ainakin jossain muodossa tunnettuja kauan¹⁰ ja kun myös de Solla Pricen tuotannon alkupää on yli 20 vuoden takana? Eräs syy on se, että käsitykseni mukaan näiden tulosten 'futurologista' vakavuutta ei oteta riittävän vakavasti. Teoreettisesti tämä ei kuitenkaan ole syy, jota voisi sanoa merkittäväksi; merkittäväksi teoreettisesti osoittautuu kuitenkin seuraava huomio. Konteksti, jossa de Solla Price esitti ensimmäisiä tuloksiaan, oli voimakkaasti nykyisestä poikkeava, sillä tuolloin käsitykset tieteen edistymisen sisällöllisestä aspektista poikkesivat radikaalisti nykyisistä, koska tieteen sisällön kasautumisteoria (hieman myöhemmin jopa eräänlaisen naiivin, luonnon tiedollisen 'tyhjentämisen' teorian muodossa) antoi suvereenisti tahdin tieteen edistymistä koskevalle keskustelulle. Näkökulma tänään on toinen: Pricen tulokset voidaan konfrontoida kokonaan uuteen tietenteoreettiseen kehikseen, jossa ne saavat uuden merkityksen ja jossa ne ilmeisesti voivat generoida uusia, jännittäviä tutkimusongelmia. — Toivon voivani myöhemmässä yhteydessä palata yksityiskohtaisesti (tieteen suuri vallankumous esimerkkinä) tieteen sisällöllisen kehityksen ongelmiin, esim. siihen kuinka revolutioteorian pohjalta tieteen historian murroksellisuutta voidaan perustella ja siihen kuinka tieteen edistymisen viimekätisen maali-pisteen olemassaoloa oikeutetusti on mahdollista ainakin epäillä; samassa yhteydessä olisi tarkoitukseni palata tarkemmin myös

¹⁷ Tämä tietysti on mahdollista vain, jos tieteen kehitys meistä taaksepäin on ollut Kuhnin mallin mukaista.

kvantitatiivisen ja sisällöllisen aspektin suhteeseen ja tiedon kasvun paradoksiin¹⁶.

Kirjallisuus

- Cohen, I. B., »History and the Philosophy of Science», teoksessa SUPPE, F. (toim.), *The Structure of Scientific Theories*, University of Illinois Press, Urbana, ss. 308—360, 1974.
- Cohen, I. B., »The Eighteenth-Century Origins of the Concept of Scientific Revolution», *Journal of the History of Ideas* 37, 257—288, 1976.
- Fisch, R., »Psychology of Science», teoksessa SPIEGEL-RÖSING, I., ja PRICE, D. de SOLLA (toim.), *Science, Technology and Society. A Cross-Disciplinary Perspective*, SAGE Publications, London and Beverly Hills, 1977.
- Friedrichs, R. W., *A Sociology of Sociology*, The Free Press, New York, 1970.
- Kemeny, G. K., ja P. Oppenheim, »On Reduction», *Philosophical Studies* 168, 6—19, 1956.
- Kuhn, T. S., »The Turn to Recent Science», *Isis* 58, 409—419, 1967.
- Kuhn, T. S., *The Structure of Scientific Revolutions*, The University of Chicago Press, Chicago, 1970.
- Kuhn, T. S., *Objectivity, Value-Judgement, and Theory Choice*, The Franklin J. Machette Lecture, Furman University, 1973.
- Kuhn, T. S., »Metaphor in Science», teoksessa ORTONY, A. (toim.), *Metaphor and Thought*, Cambridge University Press, Cambridge, ss. 409—419, 1979.
- Kuhn, T. S., »The Halt and the Blind: Philosophy and History of Science», *The British Journal for the Philosophy of Science* 31, 181—192, 1980.
- Merton, R. K., *The Sociology of Science. Theoretical and Empirical Investigations*, The University of Chicago Press, Chicago and London, 1973.
- Nagel, E., »The Meaning of Reduction in the Natural Sciences», teoksessa STAUFFER, R. S. (toim.), *Science and Civilization*, University of Wisconsin Press, Madison, ss. 99—135, 1949.
- Pietilä, V., *Social Practice and the Development of Science*, Tampereen yliopiston Yhteiskuntatieteiden tutkimuslaitos, Sarja A: 54, Tampere, 1981.
- Price, D. J. de Solla, *Science since Babylon*, Yale University Press, New Haven and London, 1961.
- Price, D. J. de Solla, »Measuring the Size of Science», *Proceedings of the Israel Academy of Sciences and Humanities*, Vol. IV, No. 6, 98—111, 1969.
- Price, D. J. de Solla, *Little Science, Big Science*, Columbia University Press, New York and London, 1971.
- Price, D. J. de Solla, »Toward a Model for Science Indicators», teoksessa ELKANA, Y. et al. (toim.), *Toward a Metric of Science: The Advent of Science Indicators*, John Wiley & Sons, New York, ss. 69—95, 1978.
- Rescher, N., *Scientific Progress: A Philosophical Essay on the Economics of Research in Natural Science*, Basil Blackwell, Oxford, 1978.
- Verronen, V., Eräs ei-staattisen teoriakäsityksen tutkimuslinja, julkaisematon liseniaattitutkielma, Tampereen yliopisto, Tampere, 1979.
- Verronen, V., »Tiedon kasvu ja tiedeyhteisöjen luonne tieteenfilosofisena ongelmana», teoksessa SIIRILÄ, S. et al. (toim.), *Juhlakirja Tampereen yliopiston taloudellis-hallinnollisen tiedekunnan täyttävässä viisitoista vuotta (Acta Universitates Tamperensis ser A. Vol. 120)*, Tampereen yliopisto, Tampere, ss. 300—311, 1980.