

NÄKÖKULMIA TEKNIIKAN HISTORIAN TUTKIMUKSEEN

Kari Leppälä

Tekniikan historian tutkimuksessa käsitykset teknologian olemuksesta vaikuttavat enemmän tai vähemmän selkeästi ilmaistuina taustaoletuksina. Etsihän historian tutkimus merkkejä tekniikan ilmene-
mismuodoista ja vaikutuksista hyvinkin erilaisilla inhimillisen toiminnan alueilla. Tässä kirjoituksessa tarkastellaan teollisen teknologian aikana syntyneitä ja teknologiaa sivuavista käytännöistä nousseita teknologian luonnehdintoja ja tarkastelutapoja.

Sanaa ”tekniikka” käytetään tässä suppeam-
massa merkityksessä tarkoittamaan erityisiä, jollekin tekniikan alalle olennaisia käytäntö-
jä ja kohteita, kun taas sanaa ”teknologia”
käytetään laajemmassa yhteiskunnallisessa merkityksessä. Suomen kielessä sanoja ”tekniikka” ja ”teknologia” käytetään kuitenkin usein päällekkäin ja lähes synonyymeinä. Lisäksi on vakiintuneista ilmauksia, kuten ”tekniikan historia”.

Teollisella ajalla syntyneitä teknologian tarkastelutapoja löytyy muun muassa teollisen johtamisen, taloustieteen, sekä teknisen tutkimuksen ja insinöörityön alueilla. Nämä teolliselle ajalle tyypilliset lähestymistavat voisivat antaa välineitä ja näkökulmia myös tekniikan historian tutkimuksen käyttöön. On sekä yllättävää että myös ilmeistä, että niiden soveltaminen ei välttämättä rajoitu pelkästään teollisen ajan teknologioiden tutkimiseen.

TEKNOLOGIAN YLEISEN TIETEEN JÄLJILLÄ

Teollisen ajan teknologia syntyi intensiivisen kehityksen ja kasvun kautta samanaikaisesti luonnontieteiden läpimurron ja teollistumisen kanssa. Niinpä teknologia nähtiinkin usein luonnontieteiden seurauksena tai

sovelluksena, eikä tuo ajatus ole vielä kukaan erityisen poikkeuksellinen. 1900-luvun loppupuolella vakiintui varsin hedelmälliseksi osoittautunut näkemys teknologiasta erityisenä ja erillisenä ilmiönä. Tässä kirjoituksessa on omaksuttu erityisen ilmiön näkökulma. Vaikka sana ”ilmiö” voi vaikuttaa abstraktilta, tässä sillä on kuitenkin varsin konkreettinen sisältö. Teknologialle on eri aikakausina ja eri tutkijoiden toimesta esitetty erilaisia määritelmiä, joiden erittelyssä olisi oma mielenkiintonsa. Tässä on riittävää luonnehtia teknologian konkreettista puolta kokoelmaksi keinotekoisia laitteita ja materiaaleja, sekä joukoksi niiden tuottamiseen ja hyödyntämiseen liittyviä tietoja ja käytäntöjä. Yhteiskunnallisessa mielessä teknologiaan tulee lukea myös sen konkreettisten kantajien tuottamiseen, soveltamiseen ja hyödyntämiseen liittyvää laaja-alaisempaa toimintaa. On myös tarpeen liittää teknologian luonnehdintaan tavoitteellisuus. Se tähtää hyötyyn, jokapäiväisen elämän olosuhteiden järjestelyyn, ja jopa ihmisyyhteisöjen eloonjäämiseen.

Kun teknologia nähdään omanlaisenaan ja tieteestä erillisenä ilmiönä, siitä tulee myös tutkimuskohteena erityinen. On siis täysin luontevaa pohtia, liittyykö teknologiaan aivan erityinen tutkimustraditio tai metodiikka. Onko olemassa yleistä, tekniikan

alasta riippumatonta teknologian tiedettä? Ajatus teknologiasta erityisenä ilmiönä on tuottanut filosofisia pohdintoja. Tässä ohitamme sinänsä monipuolisesti dokumentoidun ja erilaisiin koulukuntiin jakautuvan tekniikan filosofian, ja tarkastelemme - teknologian tavoitteellista luonnetta mukaillen - käytäntöihin liittyviä lähestymistapoja.

Tekniikan käytäntöjen puolella uransa aloittanut ja tekniikan alan väitöskirjaopintoja suunnitteleva diplomi-insinööri tai maisteri saattaa edelleenkin päätyä teknologian ja sitä kuvaavan yleisen tieteen olemuksen pohdintaan. Kirjoittajan laatimat tekniikan alan tohtoriopiskelijoille suunnatut luennot¹ syntyivät tähän havaittuun kokonaisvaltaisen ymmärtämisen tarpeeseen, ja niiden eräs innoittaja oli amerikkalainen taloustieteilijä Herbert A. Simon. Hän nimittäin yritti löytää tai määritellä teknologiaa tutkivan yleisen tieteen. Kirjassaan ”The sciences of the artificial” Simon päätyi siihen tulokseen, että vaikka teknologian yleinen tiede olisi epäilemättä tarpeellinen, sellaista ei kuitenkaan ole kehittynyt.²

Yhtenäisen tieteen sijaan Simon kuvasi joukon tieteenaloja ja tarkastelutapoja, jotka ovat hyödyllisiä teknologian tutkimisen ja ymmärtämisen kannalta. Näin tutkijalle tarjoutuu runsaasti mahdollisia lähestymistapoja, olipa hän sitten ulkopuolinen tarkastelija, historian tutkija, tai aktiivinen tekniikan toimija. Seuraavassa kuvataan lyhyesti Simonin käyttämä näkökulmien mukainen jaottelu: Sen mukaan teknologiaan kytkeytyvien tieteiden metodinen tausta voi tulla yhtä hyvin luonnontieteiden kuin ihmis- tieteiden tai organisaatiotieteiden puolelta. Konkreettisesti mielessä teknologian sisältä ydintä lähinnä ovat sen tuottamat artefaktit: esineet, systeemit ja materiaalit, ja niiden kuvailu ja selittäminen. Toinen näkökulma on ihmisten toiminta: suunnittelun ja valmistuksen käytäntöjen kuvailu ja selittäminen. Eräänlaisella ulkokehällä, ympäröivään

yhteiskuntaan ja luontoon liittyen löytyvät sitten laaja-alaisimmat tutkimusnäkökulmat: esineiden ja systeemien valmistamisen, omaksumisen ja hyödyntämisen tutkiminen sekä niiden vaikutusten kuvailu, selittäminen ja ennakointi. Tällä laajimmalla tasolla teknologian omaksi tieteenksi saattaisivat soveltua systeemitieteet, ja niille on sellaista roolia soviteltukin. Systeemitieteisiin kiinnitetyt suuret toiveet, niin teknologian kuin talouselämän alueella ovat toistaiseksi jääneet lunastamatta.³

Edellä ensimmäisenä näkökulmana mainitut, artefakteja ja niiden ominaisuuksia ja valmistusta sekä niihin liittyviä fysikaalisia ilmiöitä kuvaavat tieteet ovat teknisiä tieteitä eli insinööritieteitä. Ne tulevat kyllä lähelle teknologian oman tieteen käsitettä – mutta sitä ne eivät ole, sillä ne eivät ole yleispäteviä. Ne ovat tekniikan alaan sidottuja, hyvin moninaisia ja pitkälle erilaistuneita.

TEKNISTEN TIETEIDEN LUONNE JA KUNNIA

Tekniikan haltuunotto ja hallinta tiedon kautta ei ole pelkästään teollisen ajan käytäntö. Siitä tavataan esimerkkejä jo antiikin ajalla. Voi mainita kreikkalaisten katapulttien tarkat mitoitusohjeet, roomalaisten akveduktien suunnittelusäännöt, niissä käytetyn hydraulisen laastin reseptit ja vedenjakosuutinten mitoitusstandardit.⁴ Keskiaikaisten metallurgien työtavat oli ohjeistettu. Galileo Galilei luonnosteli ensimmäisiä varsinaisia insinööritieteitä: hydrostaatiikkaa ja lujuusoppia. Insinöörikoulutuksen alkaessa muotoutua 1800-luvulla tekniset tieteet löysivät paikkansa opetusohjelmassa. Tekniset tieteet eli insinööritieteet ovat ilmeisesti jostain sellaista, mitä mielletään opetettavan teknisten alojen oppilaitoksissa. Tekniikkaan soveltuvaa matematiikkaa ja geometri-

aa, piirustusharjoituksia sekä tekniikan alan mukaisia insinööritieteitä, jotka on muotoiltu kemian ja fysiikan asettamien suuntaviivojen mukaan. Piirustustaitoon palaamme myöhemmin, sillä visuaalisuus on olennainen osa insinööritaitoa.

Teknisiin tieteisiin näyttää liittyvän arvoasetelma, niiden ajatellaan olevan vähemmän arvokkaita tai vaativia kuin muut tieteet, kuin jonkin fysiikan alueen yksinkertaistettua soveltamista. Lähemmin tarkasteltuna periaatteellisia eroja ei juurikaan löydy. Tieteellisten käytäntöjen osalta tekniset tieteet eivät poikkea merkittävästi muista tieteistä. Julkaisu- ja konferenssikäytännöt vastaavat yleisesti vallitsevia, ja metodiikka ja tiedon verifointimenetelmät seurailevat luonnontieteiden mallia. Tieteenutkija Derek de Solla Price löysi suurimmat erot viittauskäytännöissä: teknisten julkaisujen viittaukset ovat lokaalimpia, ne kohdistuvat usein samassa hankkeessa tai organisaatiossa työskentelevään tiimiin.⁵ Tämä vastannee teollisten yhteisöjen tutkimuksen tuottamia havaintoja teknisen tiedon karttumistavasta ja sosiaalisesta luonteesta. Tähän palataan myöhemmin.

Fysiikan kannalta teknisissä tieteissä ei ole mitään uutta tai mielenkiintoista. Se ei kuitenkaan merkitse käsitteellistä tai rakenteellista yksinkertaisuutta. Pikemminkin päinvastoin, teknisten tieteiden kohteet ovat monitieteellisiä ja niihin liittyy erilaisia fysikaalisia ilmiöitä, jotka voivat jopa olla huonosti ymmärrettyjä. Lisäksi fysiikassa ilmiöt kuvataan abstrakteina, ne ikään kuin tapahtuvat tyhjiössä. Tekniikassa ilmiöt tapahtuvat aina rajatussa tilassa ja erityisissä olosuhteissa.⁶ Näistä olosuhteista aiheutuviin rajoitusten liittäminen ilmiöitä kuvaaviin fysikaalisiin yhtälöihin on olennainen fysiikan soveltamiseen liittyvä monimutkaistuminen.

On myös olemassa teknisiä tieteitä, jotka ovat ajautuneet kauas fysikaalisesta esikuvastaan, tai kehittyneet jopa niistä

riippumatta. Esimerkiksi Maxwellin yhtälöt kuvaavat tyhjentävästi sähkömagneettisia ilmiöitä. Elektroniikassa ja sähkötekniikassa hyödynnetään kuitenkin itsenäisesti syntynyttä ja teknisten ongelmien ratkaisemiseen paremmin soveltuvaa piiriteoriaa. Myöhemmin huomattiin, että piiriteoria voitaisiin periaatteessa johtaa Maxwellin yhtälöistä. Tekniikassa esiintyy myös ilmiöitä, joita perinteiset luonnontieteet eivät ole juuri lainkaan käsitelleet, esimerkiksi turbulenssi, kitka, seosmateriaalien fysikaaliset ominaisuudet ja metallin työstön ilmiöt. Niitä varten on kehitetty erikoistuneita teorioita soveltamalla fysikaalisia periaatteita ja analyttisiä ja kokeellisia menetelmiä. Eräillä tekniikan aloilla mutkikkaiden ilmiöiden käsittely ei lainkaan onnistu fysikaalisten tieteiden menetelmillä, tai sitten nuo menetelmät täytyy muokata tietokoneella suoritettavaa likiarvolaskentaa varten.

Monet tekniikan alueet ovat vahvasti kokeellisia, hyvänä esimerkkinä aerodynaamikka ja lentokoneenrakennus. Walter Vincentin mukaan ei ole olemassa lentokoneen toiminnan teoriaa. On vain joukko osalueiden teorioita yhdistettynä kokeiden ja käytännön kokemusten kautta saavutettuun tietoon.⁷ Aivan ilmeisesti käytäntöjen ja kumuloituvan kokemuksen kautta kehittyvät tekniikan alat pitävät sisällään vahvoja historiallisia kerrostumia. Itse asiassa useimmat laajan mittakaavan teolliset alat ovat juuri sellaisia. Historiallinen näkökulma auttaa ymmärtämään niiden luonnetta, ja on ilmeisen hyödyllinen opetuksessa.⁸

Aivan oma lukunsa teknisten tieteiden joukossa ovat kemian eri haarat ja molekyylibiologia. Molekyylibiologia on erityisen kiinnostavaa, sillä se on luonnontieteen kehityksen eturintamassa, mutta samalla se on ehdottomasti fysiikkaa hyödyntävä tekninen tiede. Molekyylibiologiaan perustuvat uudet kehittyvät teknologiat haastavat vanhoja luokituksia. Tuntuisi oudolta puhua niiden kohdalla soveltavista tieteistä, vaikka

ne saavatkin tavoitteenasettelunsa sovelluksista, ja ovat aivan olennaisesti riippuvaisia spesifisistä tekniikoista. Myös lääketiede, joka on ollut pitkään käytäntöjen tiedettä, on siirtymässä eksaktien luonnontieteiden eturintamaan. Samalla siinä säilyy ja kehittyy käytännön näkökulma. Ehkä siinä tulisikin erottaa hoitotiede ja sen biologis-fysikaaliset kumppanuustieteet.

Voi olla hyödyllistä tarkastella teknisten tieteiden roolia myös tekniikan piirissä tehtävän tutkimuksen näkökulmasta. Usein tekniikan alan tutkimusraportti tai opinnäytetyö⁹ dokumentoi merkittävää insinöörityötä. Tällainen työ tapahtuu luonnollisesti ongelman alaan liittyvien insinööritieteiden puitteissa, ja tuloksena on usein eräänlainen laajennettu suunnittelu- tai testausraportti. Voidaan myös tutkia kriittisesti jonkun insinööritieteen soveltamista ja sen rajoituksia teknisten ongelmien ratkaisemisessa. Tai voidaan kehittää tai uudistaa fysikaalista insinööritiedettä. Mikä tahansa lähestymistapa opinnäytteessä onkin, tieteellisyden kriteeri on sama kuin tieteessä yleensä: millaisen uutuusarvon ja lisäyksen työ antaa vallitsevaan tietämykseen.

TIETO JA INSINÖÖRITAITO

Sekä historiallisesti että käytäntöjen tärkeän roolin takia on olennaista ja jopa ensisijaista nähdä teknologia tietona ja taitona. Insinöörin ammattityötä kuvaavien sanojen kohdalla suomen kielessä on saman tapainen tilanne kuin sanaparissa tekniikka - teknologia. Sanojen ”engineering” ja ”design” suomenkieliset vastineet ovat vakiintumattomia - nämä sanat käännetään usein sanaksi ”suunnittelu”, joka on toisaalta myös sanan ”planning” käänös. Termille ”engineering design”, joka tarkoittaa teknisen suunnittelun tekniikan termein määriteltyä lopputulosta, ei oikeastaan edes löydy suo-

menkielistä käännöstä. Nämä sanat ovat kuitenkin jo varsinkin spesifisiä. Insinöörien ammatillista osaamista kokonaisuudessaan kuvaa onnistuneesti sana ”insinööritaito”. Teollisena aikana siihen kuuluu kyky ymmärtää ja soveltaa oman alan teknisiä tieteitä ja käyttää suunnittelun työkaluja ja apuvälineitä. Yhtä olennaisia mutta vaikeammin kuvattavia ovat kyky luovaan työhön ja kyky hyödyntää ja kartuttaa alan taustatietoa. Seuraavassa tarkastellaan lähemmin tätä tietokomponenttia.

Sisällön näkökulmasta teknologian voi ajatella olevan keinotekoisesti luotuja kohteita, erilaisia käytäntöjä, sekä näitä kumpain koskevaa tietoa. Tieto esiintyy monessa muodossa. Se on koodattuna informaationa teksteissä, matemaattisissa kaavoissa, ohjelmistoissa ja kuvissa, mutta se on myös henkilökohtaista, ja se on yhteisöihin ja kulttuuriin sitoutunutta. Merkittävässä asemassa on myös hiljainen tieto.¹⁰ Sitä ei ole artikuloitu koodattuun tai puhuttuun muotoon, mutta se ohjaa toimintaa ja näkyy ihmisten ja yhteisöjen käyttäytymisessä. Aivan oma lunksa on tekniikan esineiden rakenteeseen ja ominaisuuksiin kasautunut tieto, jota voidaan tutkia ja hyödyntää vain vahvan taustatiedon varassa.¹¹ Alan koulutus ja käytännöissä kertynyt kokemus ovat niitä avaimia, joilla tällainen tieto voidaan purkaa esiin.

On tavallista ajatella, että teknisen kohteen, jonkin laitteen tai koneen rakenne ja ominaisuudet voidaan kuvata tyhjentävästi teknisissä dokumenteissa. Tämä pitää kuitenkin paikkansa vain rajoitetusti, esimerkiksi yksinkertaisten koneenosien mitoituspiirustusten kohdalla. Silloinkin voimme esittää varauksia. Miten kattavasti on dokumentoitu osiin käytettävän materiaalin tuottaminen? Ja miten on dokumentoitu se työstökone, jolla osat sitten aiotaan valmistaa - tai itse työstöprosessin kulku?

Monimutkaisten esineiden kohdalla (vaikkapa auton moottori tai älypuhelin) voimme perustellusti epäillä dokumentoin-

nin kattavuutta. Periaatteessa voitaisiin ajatella koottavan yhteen kaikki dokumentit, jotka kuvaavat laitteen ja sen tuottamisen kaikki yksityiskohdat. Tällainen dokumenttikokoelma olisi valtava ja jo laajuutensa takia hyödytön. Voisimme kutsua ilmiötä dokumentointiparadoksiksi. Teknisen tuotteen dokumentaatio kattaa vain mitättömän osan sen suunnitteluun ja valmistamiseen liittyvästä tiedosta.¹² Teknisen dokumentaation niukkuudesta ja riittämättömyydestä ei juuri ole raportoitu tutkimuskirjallisuudessa. Filosofi ja kirjailija Robert Pirsig on kiinnittänyt siihen huomiota kirjassaan ”Zen ja moottoripyörän kunnossapito”.¹³

Voisiko insinööriytyön visuaalinen luonne selittää omalta osaltaan tämän dokumentointiin liittyvän informaatiovajeen? Insinööriytyö kun on perinteisesti ollut vahvasti visuaalista,¹⁴ piirtäminen on ollut sekä koulutuksen että käytännön työn olennainen osa aina näihin päiviin asti. Näyttää kuitenkin siltä, että tekniikassa runsaasti käytetty visuaalinen materiaali selittää vain pienen osan dokumentaation kattavuusvajetta. Tämä käy selväksi, kun tarkastellaan insinööriytyön historiallista kehityskaarta. Renessanssiajan insinöörit ja arkkitehdit, joita voitaisiin pitää myös taiteilijoina, laativat kohteistaan kauniita ja taitavia piirroksia. Ne toimivat kuitenkin lähinnä suuntaa-antavina ohjeina käsityöläismestareille, jotka tuottivat niiden avulla rakennuksen tai laitteen varsinaisen teknisesti toimivan struktuurin.¹⁵ Toki rakenteiden toimivuutta testattiin myös pienoismallien avulla, mutta se johti helposti epäonnistumisiin, koska rakenteiden lujuuden skaalautumista ei ymmärretty.¹⁶ Suuntaa-antavan piirtämisen perinne jatkui aina 1700-luvulle asti. Teknisen koulutuksen vakiintuessa ja insinööritieteiden kehittyessä vastuu teknisen rakenteen toimivuudesta siirtyi vähitellen insinöörikunnalle. Piirtäminen säilyi kuitenkin sekä luovana työskentelyn tekniikkana, että teknisen tiedon kommunikoinnin välineenä.

Edellä pohdittu puuttuva tieto ei siirtynyt käsityöläisiltä yksittäisille insinööreille, vaan lukuisten tekniikan toimijoiden muodostamaan verkostoon. Se on vain osin dokumenteissa, mutta enimmäkseen henkilöiden ja ryhmien osaamisena, koneisiin ja työkaluihin sitoutuneena, ja osien ja materiaalien itsensä kantamaa. Miten sitten tuotesuunnittelija selviää tehtävästään? Ensinnäkin hän käyttää valmiita osia ja materiaaleja, joiden ominaisuudet hän tuntee pintapuolisesti, tai löytää ne suppeasti kuvattuna valmistajien luetteloista. Tuotetta ei myöskään tehdä puhtaalta pöydältä, vaan taustalla on aiempi tuotemalli, sukulaistuote tai kilpailijan tuote. Tuotetiimin jäsenenä suunnittelija saa käyttöönsä tiimin sosiaalisen tiedon, ja teollisen yhteiskunnan ja insinöörikunnan jäsenenä hän hyödyntää kulttuurista perimää. Hänellä on intuitiivinen käsitys, millaisia tämän kaltaisten tuotteiden tulisi olla. Dokumentoidun tiedon niukkuus ja vaikea saavutettavuus on siten ymmärrettävää. Oikeastaan se on ainoa tehokas tapa toimia.

Edellä kuvatusta epätäydellisyydestä huolimatta dokumentointi on keskeinen suunnittelun ja valmistuksen väline. Huomattava osa dokumenteista ei kuvaa teknisiä ominaisuuksia, vaan ne ovat tekniselle verkostolle suunnattuja kontrollidokumentteja, joilla ohjataan ja valvotaan suunnittelun ja valmistuksen prosesseja. Toinen kiinnostava dokumenttilaji ovat suunnittelua selittävät dokumentit. Ne eivät kerro, minkälainen kohde on, vaan sitä, miksi se on sellainen kuin on (design rationale). Myös tämä tieto tarvitaan osaamisen siirtämiseksi organisaation sisällä tai verkossa toimiville kumppaneille.

Teknisen tiedon luonne asettaa haasteita tekniikan sosiologeille ja historian tutkijoille. Missä määrin on mahdollista selittää kehityskulkuja ja teknologisia valintoja dokumenttiaineiston varassa? Entä miten pystytään lisäämään tähän prosessiin teknologian sisäisten prosessien ymmärrystä?

Omassa ajassamme se on vielä mahdollista, esimerkiksi osallistuvan havainnoinnin tekniikalla.¹⁷

TEKNOLOGIAN TUOTTAMAT INNOVAATIOT

Teollisen teknologian merkittävä ja lainomainen kehittyminen käynnistyy vasta sen hyödyntämisen alettua, eli kun siitä tulee innovaatio. Innovaatiot näyttävät leviävän ja muuttavan muotoaan lähes luonnonvoimaisesti. Niissä voidaan kuitenkin tunnistaa säännönmukaisuutta ja toistuvuutta.¹⁸ Tällainen näkökulma yhdistää innovaatiotutkimusta tekniikan historian ja taloushistorian tutkimukseen. Nykyaikainen innovaatiokäsitys on syntynyt osin Joseph Schumpeterin vaikutuksesta.¹⁹ Hän omaksui ajatuksen yritysten teknologisesta satsauksesta keskeisenä taloudellisen kasvun selittäjänä.²⁰ Schumpeterin luovan tuhon mallissa uuden teknologian synnyttämät innovaatiot vaikuttavat teolliseen struktuuriin nostamalla esiin uusia teollisuuden aloja ja tuhoamalla aloja, jotka eivät sopeudu muutokseen. Erityisesti uuden innovaation alkuvaiheessa toimintaa ei ohjaa niinkään rationaalinen päätöksenteko, vaan sijoittajien ja yrittäjien kaoottinen kilpailu. Schumpeterin 1900-luvun alussa esittämä ajatus on saanut uutta ajankohtaisuutta, kun taloustieteessä ollaan luopumassa niin sanotusta ”rationaalisen toimijan” mallista.

Yksittäisen tekniikan tasolla kehittyminen näkyy keskeisten teknisten parametrien muutoksina. Tällaisia parametreja ovat tehokkuus, hyötysuhde, toimintanopeus, teho-painosuhde ja kapasiteetti. Kehitys noudattaa tyypillisesti niin sanottua logistista S-käyrää. Se on aluksi kiihtyvää, kunnes parametrin arvo lähestyy fysiikan tai muun vahvan tekijän määräämää teoreettista rajaa. Ajankohtainen esimerkki on Led-lampun valotehokkuus. Sen fysikaalinen raja-arvo

valkoisella valolla on 400–500 lumenia/watti, kun massatuotannossa olevien lampujen valotehokkuus on nyt noin 100 lumenia/watti. Joskus teoreettista rajaa on vaikea tunnistaa. Informaatiotekniikan perustana olevissa mikropiireissä keskeinen kapasiteetin tunnusluku on yhdelle piisirulle mahdollisten transistorien määrä. Mikropiirien tuotantotekniikan vakiinnuttua 1960-luvun lopulla niiden ennustettiin saavuttavan suorituskykynsä rajat 1980-luvulla, mutta kehitys on jatkunut vakaana jo yli 50 vuotta.

Kun tietyn tekniikan kehittymistä rajoittavat useimmiten fysiikkaan palautuvat ehdot, innovaatioiden kehitys näyttää puolestaan seurailevan biologista ja ekologista analogiaa. Innovaation käynnistyttyä se alkaa yleistyä, kunnes se saavuttaa ekologisen lokeronsa kantokyvyn. Myös innovaatioiden kasvu noudattaa karkeasti ottaen logistista S-käyrää, kasvu on alussa kiihtyvää ja lopussa hidastuvaa. Ekologisen lokeron tunnistamien riippuu täysin innovaation tyypistä, eikä sitä aina ole helppoa määrittellä. Esimerkiksi kilpailevilla kaupallisilla tuotteilla ekologista lokeroa edustaa tuotteen mahdollinen markkinaosuus. Tekniikan sisäisillä innovaatioilla se voi taas olla käytön yleisyys suhteutettuna kaikkiin mahdollisiin käyttökohteisiin. Esimerkkejä ovat levyjarrut tai turvatyyny henkiloautoissa, taulutelevision yleistyminen tai älypuhelin osuus matkapuhelimista.

Teknologinen innovaatio ei välttämättä käynnisty välittömästi teknologian ilmaannuttua. Alussa voi esiintyä vuosia ja jopa vuosikymmeniä kestävä hidaskasvu. Varsinkin innovaatio voi käynnistyä vasta, kun teknologia on saavuttanut hyödynnettävyyden edellyttämän hallinnan ja taloudellisuuden tason. Innovaatio voi edellyttää tietynlaista infrastruktuuria, ja sen syntyminen taas vie oman aikansa.²¹ Teollisen dynamiikan tutkimus liittyy läheisesti innovaatiotutkimukseen. Innovaation alkaessa levitä syntyy valmistavaa ja hyödyntävää teollisuutta

ja palveluinfrastruktuuria. Teollinen dynamiikka ilmenee työntekijöiden määränä, tuotantovolyyminä ja teollisten yritysten lukumääränä ja liikevaihtona.²² Aiemmin mainittu schumpeteriläinen luova tuho on olennainen elementti teollisuusalojen dynamiikassa. Nokian matkapuhelintoiminnan kohtalo on siitä kipeä esimerkki.

Innovaatioiden diffuusion tutkimus tarkastelee innovaatioiden hyväksyntää ja käyttöönottoa sosiaalisesta näkökulmasta.²³ Myös diffuusio etenee ajassa, ja sen keskeinen viesti on, että innovaation eri kypsyysvaiheissa ovat liikkeellä erilaiset käyttäjäryhmät. Itse innovaation luonne voi muuttua hyvinkin paljon sen kypsyessä. Moni uusi tuote on kehityskaarensa alussa ylellisyyttä, ja muuttuu vähitellen jokapäiväiseksi massatuotteeksi.

Teknologian evoluutiomalli on yleistynyt taloudellis-sosiaalisen innovaatiokäsityksen myötä. Evoluutiomallin keskeinen luonnonvalinnan prosessi toteutuu sekä insinöörien laboratorioissa että innovaattoreiden testatessa ideoitaan kaupallisilla markkinoilla. Ajatus tekniikan lajien taksonomiasta ja tunnistusoppaasta Carl von Linnén esimerkin mukaan voisi olla looginen.

Teollisten alojen synty ja kehitysvaiheet hahmottavat teknologian sukuun suuret haarat: kemianteollisuus, konetekniikka, sähkötekniikka, ydintekniikka, elektroniikka ja informaatiotekniikka. Tarkempia erittelyjä voisi löytyä vaikka teknisten tieteiden oppikirjojen tai julkaisujen kirjastoluokitusten kautta. Teknisten tieteiden tarkoitus ei kuitenkaan ole sen kohteiden tunnistaminen, vaan hallinta ja soveltaminen. Siksi näkökulma ja soveltamistapa vaihtelevat soveltajan roolin mukaan. Tekniikan luokitusoppia etsivä ei löydäkään siististi haaroittuvaa sukupuuta vaan pikemminkin mutkikkaan verkoston.

TALOUDELLISET SYKLIT

Laajavaikutteiset teknologiat (general purpose technologies) vaikuttavat yhteiskuntaan kokonaisvaltaisesti ja muuttavat niiden luonteen perin pohjin. Tällaisten teknologioiden vaikutus ilmenee samankaltaisten innovaatioiden aaltolina. Koska innovaatiot vaikuttavat talouteen, taloustieteessä on tutkittu innovaatiocyklejä. Puhutaan pitkien syklien malleista erotuksena suhdannevaihteluiden tuottamiin lyhyisiin sykleihin. Syklimalleja on tutkittu paljon, niitä tunnetaan kymmenittäin.²⁴ Tunnetuimpia malleja ovat Kondratjevin syklit ja Tofflerin kolmen aallon teoria.

Venäläinen taloustieteilijä Nikolai Kondratjev esitteli pitkien syklien mallinsa vuonna 1928.²⁵ Hän perusteli mallinsa muun muassa innovaatiocyklien ja pitkien talouden suhdanteiden yhteensopivuudella. Kondratjevin syklien pituus oli alun perin 40–60 vuotta. Kirjallisuudessa näiden syklien tulkinat ja nimitykset vaihtelevat jonkin verran. Kondratjev ajoitti ensimmäisen syklinsä mekanisoidun tehdasteollisuuden syntyyn. Sitä seurasivat höyryvoiman vaihe, siirtyminen sähkön käyttöön ja petroke-mian sovellukset kemiassa ja liikenteessä. Toisen maailmansodan jälkeen teknologiset syklit näyttävät jossain määrin irtaantuneen talouden suhdanteista, ja syklit näyttävät pidenneen. Niinpä, tulkitsijasta riippuen, elämme ehkä vielä pitkittynyttä viidettä sykliä, elektroniikan ja informaatiotekniikan aikaa, ja kuudes eli materiaalitekniikan ja biotekniikan jakso on vasta käynnistymässä.

Kondratjevin mallin soveltamisessa on huomattava, että syklien teknologiat eivät välttämättä ole toisiaan korvaavia, vaan edellisen syklin teknologiat jatkavat vaikutustaan ja kehittymistään seuraavan syklin teknologioiden rinnalla. Mallin on myös puhtaasti empiirinen, mennyttä kehitystä jäsentävä ja selittävä. Sen ennustuskyvystä ei juuri voida puhua.

Amerikkalaisen 1960-luvulla vaikuttaneen futurologin Alvin Tofflerin kolmen aallon mallissa ihmiskunnan yhteiskunnallisen kehityksen katsotaan alkaneen kivikautta seuranneesta maanviljelyskaudesta, jota on seurannut teollinen kausi.²⁶ Tofflerin mukaan olemme siirtymässä jälkiteolliseen eli informaation aikakauteen. Tofflerin mallin suosiota ovat kannatelleet viime vuosikymmenten postmodernit aatevirtaukset. Historian ja teknologian loppua ennustava malli on kuitenkin menettänyt sisällöllistä uskottavuuttaan. Tekniikan kehitys näyttää edelleen nostavan esiin myös merkittäviä ja hyvin materiaalisia innovaatioita, joiden hyödyntäminen tapahtuu teollisen logiikan kautta. Eräs vasta elinkaarensa alkuvaiheessa oleva teknologia on molekyylibiologia, ja sen sovellukset muun muassa lääketieteessä ja uusiutuvia luonnonvaroja hyödyntävässä tuotantotekniikassa. Samoin epäorgaaninen materiaalfysiikka, joka toimii fysiikan ja insinööritieteiden rajapinnassa, näyttää olevan voimakkaasti kehittyvä ja tulevaisuutta muokkaava ala.

LOPUKSI

Edellä on kuvattu teollisella ajalla syntyneitä teknologian tarkastelutapoja ja pohdittu niiden hyödyllisyyttä tekniikan historian tutkimuksen palveluksessa. Kirjoituksen alkuosassa käsitellään tekniikan sisäistä, sen tuottamiseen liittyvää näkökulmaa. Siinä korostuu insinööritieteiden erityinen ja vaativa luonne, mutta samalla myös niiden riittä-mättömyys teollisen ajan tekniikoiden tuottamisen selittäjänä. Niiden rinnalle nousee tieto sen eri muodoissa. Sosiaalisesti, materiaalisesti ja yhteisöllisesti sitoutunut ja vajavaisesti koodattu tieto on merkittävä haaste historian tutkijoille.

Toinen esitelty tarkastelutapa on teknologian kehittymisen ja sen sosiaalisen hyväksymisen eli innovaatioiden diffuusion

näkökulma. Nämä näkökulmat liittyvät toisiinsa, sillä teknologian muuttuminen innovaatioksi tuottaa teollisuusalojen dynamiikkaa, ja kiihdyttää myös tekniikan kehityksen sisäisiä prosesseja. Innovaationäkökulma mahdollistaa siten kvalitatiivista tarkastelua.

Useampi historiaa jäsentävä näkökulma voi tuottaa rikkaampia kuvauksia ja aikasarjoja, joista voidaan tehdä jopa kvalitatiivisia johtopäätöksiä. Tällaisesta tutkimuksesta käytetään melko harvinaista mutta kuvaavaa nimitystä kliometria.²⁷

Tekniikan tohtori Kari Leppälä (s. 1949) on työskennellyt teollisuudessa, tutkijana ja itsenäisenä konsulttina. Nykyisin hän toimii tietokirjailijana.

¹ Kurssi "How to get a PhD" toteutettiin VTT:n ja Oulun yliopiston yhteistyönä vuosina 2005 - 2011. Leppälä 2011.

² Simon 1970.

³ Systeemitteoria on sekä matemaattinen formalismi että yleisempi ajattelun ja mallituksen kehikko. Sen matemaattinen versio pystyy käsittelemään suhteellisen suppeita teknisiä järjestelmiä. Hubka & Eder (1988) esittävät erään yleisen käsiteanalyytisen mallin, joka kuvaa teknologisen järjestelmän sen sosiaalis-teknisessä ympäristössä.

⁴ Landels 1980.

⁵ de Solla Price 1986.

⁶ Käsite "enclosure of infulence", vaikutustilavuus, tulee Walter Vincentin teoksesta.

⁷ Vincenti 1990.

⁸ Katko 2008, 18.

⁹ Tekniikan alan opinnäytetöiden ei tietenkään tarvitse rajautua teknisiin tieteisiin, vaan ne voivat kohdistua laajasti inhimillisen toiminnan tai tekniikan erilaisien vaikutusten tutkimiseen.

¹⁰ Hiljainen tieto omaksuttiin teollisuuden piirissä käsitteenä ja tiedollisena resurssina 1980-luvulla. Nonaka & Takeuchi 1995.

¹¹ Kaikkea artefaktiin imeytynyttä tietoa ei voida palauttaa. Esimerkiksi vanhan taotun miekan sisältämän tiedon tyhjentävä tulkinta edellyttäisi henkilöä, joka hallitsee muinaisen metallinvalmistuksen ja taonnan tekniikan. Toisaalta nykyaikainen metallianalyysi voisi ehkä paljastaa miekan taustasta tietoa, joka olisi uutta myös aikalaissepälle, esimerkiksi perusmetallin alkuperän.

¹² Ferguson (1993) korostaa insinööritöiden vaikeasti määriteltävää luonnetta ja siinä käsiteltävän informaation moniulotteisuutta. Kirjoittajan oma kosketus ongelmaan perustuu 30 vuoden kokemuk-

seen tuotekehitystyöstä ja väitöskirjatyöhön, jossa analysoitiin 59 teknologiaprojektissa laadittu ja hyödynnetty dokumentaatio. Leppälä 1995.

¹³ Pirsigin mukaan moottoripyörän moottorin dokumentaatio ei pysty lainkaan selittämään, miten moottori toimii, eikä se myöskään anna riittävää huollossa tarvittavaa tietoa. Tällainen ymmärrys pitää hankkia muilla keinoilla. Pirsig 1986.

¹⁴ Insinööriydestä visuaalisena taitona, Ferguson 1993.

¹⁵ Renessanssijän käsityöläismestareiden merkityksestä ja teknisen taidon korkeasta tasosta antiikissa, mm de Solla Price 1961 ja Ferguson 1993.

¹⁶ Kuuluisa esimerkki pienoismallien käytön ongelmasta on Vatikaanin Pietarinkirkon kupoli, joka on useaan kertaan ollut lähellä romahtaa.

¹⁷ Lähihistorian osallistuvan havainnoinnin kuvaus tietokoneiden suunnittelusta: Kidder 1984.

¹⁸ Innovaatioiden säännönmukaisuuden tutkiminen on kiinnostavaa sekä yritysten strategisen johtamisen että innovaatiopolitiikan kannalta.

¹⁹ Schumpeter 1939, 1961.

²⁰ Ajatus on saanut lisääntyvää kannatusta endogeenisen kasvun teorian muodossa. Sana "endogeeninen" viittaa innovaatioiden kehittymiseen teollisten alojen sisällä ja niiden toiminnan tuloksena. Aghion & Howitt 1998.

²¹ Ajankohtainen esimerkki on sähköautojen akkujen laatus- ja vaihtopisteiden tarve.

²² Yleensä teollisten yritysten määrä kasvaa voimakkaasti innovaation kasvuvaiheessa ja vähenee sen kypsässä vaiheessa. Utterback 1996.

²³ Rogers 1962.

²⁴ De Groot & Franses 2012.

²⁵ Kondratjev 1935. Myös Joseph Schumpeter kiinnitti huomiota Kondratjevin sykleihin, ja sai häneltä ilmeisesti vaikutteita luovan tuhon malliinsa.

²⁶ Toffler 1980.

²⁷ Termin nimen taustalla on antiikin Kreikan mytologiassa historian muusa Kleio. Kliometrisestä lähestymistavasta Freeman & Louçã 2002.

LÄHTEET

AGHION, Philippe & HOWITT, Peter. Endogenous Growth Theory. The MIT Press, Cambridge - London 1983.

DE SOLLA PRICE, Derek. Science Since Babylon. Yale University Press, New Haven, Conn., 1961.

DE SOLLA PRICE, Derek. Little science, big science...and beyond. Columbia University Press, New York, 1986.

HUBKA, Vladimir & EDER, W. Ernst.. Theory of

technical systems. Springer-Verlag, Berlin, 1988.

DE GROOT, Bert & FRANSES, P.hilip Hans. Common socio-economic cycle periods. Technological Forecasting & Social Change 79 (1), 59-68, 2012.

FERGUSON, Eugene S. Engineering and the Mind's Eye The MIT Press, Cambridge (Mass), 1993.

FREEMAN, Chris & LOUÇÃ, Francisco. As Time Goes by. From Industrial Revolutions to Information Revolution. Oxford University Press, Oxford 2002.

KATKO, Tapio. Tekniikan historia teknisten tieteidän näkökulmasta. Tekniikan Waiheita 4/2008.

KIDDER, Tracy: Koneen henki. Kirjayhtymä, Helsinki 1984.

KONDRATJEV, Nikolai. The major economic cycles Review of economics statistics, 18: 105-115 1935.

LANDELS, John G. Engineering in the ancient world Chatto & Windus, London, 1980.

LEPPÄLÄ, Kari. How to do Scientific Research on Engineering and Technology? Lecture handouts, 2011. http://www.infotech oulu.fi/GraduateSchool/Courses/2011/phd_mat/lecture_leppala_2011.pdf

LEPPÄLÄ, Kari. Inside a contract research laboratory. A study of concepts, methods and performance. VTT Publications 227. Technical Research Centre of Finland, Espoo 1995.

NONAKA, Ikuhiro & TAKEUCHI, Hirotaka. The Knowledge-Creating Company. How Japanese Companies Create the Dynamics of Innovation. Oxford University Press, New York 1995.

PIRSIG, Robert. Zen ja moottoripyörän kunnossapito: tutkimusmatka arvojen maailmaan. WSOY, Porvoo 1986.

ROGERS, Everett. Diffusion of innovations. Free Press, New York 1962.

SCHUMPETER, Joseph. Business Cycles. A Theoretical, Historical and Statistical Analysis of the Capitalist Process. McGraw-Hill, New York 1939.

SCHUMPETER, Joseph. The Theory of Economic Development. Harvard University Press, Cambridge 1961. (Theorie der wirtschaftlichen Entwicklung, 1911.)

SIMON, Herbert. The sciences of the artificial. The MIT Press, Cambridge, Mass, 1970.

TOFFLER, Alvin. The Third Wave. The Revolution That Will Change Our Lives. Collins, London 1980.

UTTERBACK, James. Mastering the Dynamics of Innovation. Harvard Business School Press, Boston 1996.

VINCENTI, Walter. What engineers know and how they know it. Analytical studies from aeronautical history. The Johns Hopkins University Press, Baltimore - London 1990.