

# Röntgenkuva insinöörien maailmasta

Kalle Michelsen

**Henry Petroski: Ideasta tuotteeksi. Miten insinöörit keksivät suunnitelmallisesti. Suom. Kimmo Pietiläinen. Terra Cognita 1997, 259 s. Nid. 190,-**

Uuden teknologian luominen on mystinen prosessi, musta laatikko, jota tutkijat ovat jo vuosikymmeniä yrittäneet avata. Perinteinen "Pelle Peloton -teoria" on nykyään hylätty, ja tilalle ovat tulleet erilaiset prosessikuvaukset ja verkostoteoriat, joiden avulla selitetään keksimistä, innovaatioiden syntyä ja niiden leviämistä. Tutkimukset ovat osoittaneet, että tiede ja teknologia ovat läheisiä sukulaisia, mutta teknologia ei ole ainoastaan sovellettua tiedettä tai luonnontieteellisen tutkimuksen jatketta. Teknologian luomiseen tarvitaan tutkimusta, suunnittelua ja kehitystyötä sekä testaamista.

Teknologia on ehkä enemmän sidoksissa yhteiskuntaan, kulttuuriin ja sosiaalis-taloudellisiin rakenteisiin kuin perinteinen tieteellinen tutkimus. Toisaalta teknologia on myös aina sidoksissa paikkaan ja aikaan. Innovaattorit ovat paikallisen kulttuurin tuotteita, ja heidän luomansa tieto ja artefaktit heijastavat ympäristön arvoja ja tavoitteita. Ihmiset eivät tule toimeen ilman teknologiaa, mutta he kyllä selviävät jokapäiväisistä toimistaan ilman tieteellistä tietoa.

Teknologia ympäröi ihmistä ja täyttää ihmisen elinympäristön. Sen vaikutuspinta on kasvanut niin suureksi, ettei sitä enää juuri havaita. Teknologialla tarkoitetaan yleensä vain mediakynnyksen ylittävää huipputeknologiaa, johon kuuluvat tietokoneet, matkapuhelimet, lentokoneet, avaruussukkulat, Mars-luotaimet tai teho-osaston miljoonat mittarit ja monitorit. Sen sijaan työpöydän ylälaatikossa lojuvat paperiliittimet, teroitusta odottavat lyijykynät, jokien ja salmien yli kurottuvat sillat eivät piirry ihmisten mieliin teknologiana, vaan ne ovat osa materiaalista infrastruktuuria.

Teknologia ei kuitenkaan synny itsestään. Jokainen pienikin artefakti on ihmisen luoma ja ihmisen luomistyön tulos. Miten tämä prosessi tapahtuu. Sitä pohtii Henry Petroski teoksessaan Ideasta tuotteeksi. Petroski on kiinnostunut keksijöistä, heidän tavastaan ratkoa ongelmia, suunnittelusta ja suunnitteluun vaikuttavista voimista. Kirja on syntynyt 1990-luvun alkupuolella luontosarjasta, jonka Petroski piti Duke yliopistossa Yhdysvalloissa.

Petroski on kirjoittanut erinomaisen hyvän ja luettavan kirjan. Hän käsittelee pieniä ja vähäpätöiseltä tuntuja kysymyksiä, jotka kuitenkin kuvaavat huomattavasti suurempia ja moniulotteisempia ongelmia. Petroski osoittaa, kuinka paperiliittimen, lyijykynän ja vetokejūn suunnittelu on vaatinut massiivisen määrän inhimillistä ajatustyötä, mittauksia ja laskelmia, kokeita ja testejä. Suurin osa näistä on johtanut umpikujaan, josta jälleen on löytynyt joku tie ulos seuraavaan kehitysvaiheeseen. Petroskin kirjan ehkä suurin anti onkin siinä, että hän osoittaa, kuinka yksinkertaisen teknologian suunnittelu- ja kehitysprosessi on perusteiltaan varsin samanlainen kuin teknologisesti monimutkaisten lentokoneiden, pilvenpiirtäjien ja vesijärjestelmien suunnittelu. Insinöörien on tiedettävä, missä kulkevat materian rajat. Tai kuinka konstruktioista saadaan kestävä ja samalla taloudellisesti järkevä. Tai kuinka teknologinen artefakti sovitetaan ympäristöön niin, ettei synny ei-toivottuja seurauksia ja kerrannaisvaikutuksia.

## Täydellinen muoto

Jatkuva muutos on yksi teknologisen maailman keskeisiä ominaisuuksia. Markkinat tarjoavat kuluttajille uusia autoja lähes vuosittain ja tekstiiliteollisuuden muoti muuttuu jopa useita kertoja vuodessa. Yksi muoto on kuitenkin säilyttänyt kuosinsa tässä jatkuvien mallistusten maailmassa jo lähes vuosikymmeniä. Englantilainen Gem-yhtiö toi 1800-luvun lopulla markkinoille paperiliittimen, joka ei ole toistaiseksi kohdannut voittajaansa. Eräs englantilainen suunnittelija totesikin Gem-liittimestä seuraavaa: "Jos kohtalokkaasti puutteellisesta kulttuuristamme ei jäisi muuta jäljelle kuin vaatimaton paperiliitin, jonkin kaukaisen galaksin arkeologit voisivat ylistää meitä enemmän kuin ansaitsemmekaan."

Gem-liitin, joita löytyy varmaan jokaisen suomalaisen työpöydän laatikosta syntyi vuosikymmenien kehitystyön tuloksena. Ohuen metallilangan valmistaminen oli työlästä, sillä materiaalia ei saatu kestäväksi ja joustavaksi. Kun tämä metallurginen ongelma oli saatu ratkaistuksi, edessä oli vielä vaikeampi ongelma. Liittimelle oli löydettävä ideaalinen muoto. Sen oli pidettävä koossa paperipinoa ilman, että paperit vahingoittuivat tai liitin lipsi paikaltaan kohtalokkaan tärkeällä hetkellä. Toisaalta liittimen valmistuskustannukset oli painettava mahdollisimman pieneksi, koska tuotteesta ei kukaan ollut valmis maksamaan suuria summia. Näin Gem-liitin täytyi tehdä joustavaksi ja täydelliseksi, mutta sen valmistaminen ei saanut maksaa juuri mitään.

Monien mutkien jälkeen Gem-yhtiö toi markkinoille liittimen, joka täytti nämä vaatimukset. Kun innovaatio oli valmis, sen kamppaaminen markkinoilla oli äärimmäisen vaikeaa. Tästä huolimatta yrittäjä on jatkuvasti riittänyt, sillä myös Gem-liittimessä oli omat vikansa. Kriitikoiden mukaan se toimii vain yhdessä asennossa, ja sitä on joskus vaikea asentaa paikoilleen. Se ei aina pysy paikoillaan, ja se repii paperia. Liittimet eivät toimi paksussa paperinipussa ja se kasvattaa paperipinoa. Petroski kuvaakin mainiosti, kuinka keksijät ja insinöörit ovat yrittäneet löytää vielä optimaalisempaa muotoa paperiliittimelle. Patenteja on myönnetty, mutta mikään kilpailijoista ei ole osoittautunut Gem-liittimen veroiseksi.

## Mahdoton yhtälö

Galileo Galilei julkaisi vuonna 1638 teoksen Dialogi kahdesta uudesta tieteestä. Siinä Galileo pohti ulokepalkkien murtumista, mikä oli yksi renessanssijan rakentamisen suurimpia ongelmia. Galileo piti ulokepalkkia taivutettuna vipuna, joka murtui, koska palkkia alaspäin vetävä voima ylitti palkin materiaalin kestäkyvyn ja tasapainopisteen vastakkaisella puolella olevan painon. Galileo ei kuitenkaan pystynyt selittämään, mistä murtuminen johtui, sillä hän ei muistanut, että puulla ja kaikilla muilla materiaaleilla on luonteenomainen joustavuus. Tämän lisäksi materiaalin vastustava voima on verrannollinen palkin venymään, minkä pitää suurentua sen mukaan mitä kauemmaksi tukipistettä siirretään.

Galileon puutteellinen analyysi ei kuitenkaan tee Galileosta huonoa fyysikköä. Materiaalin äkillinen murtuminen on ongelma, jonka kanssa ovat kamppailleet myös modernin ajan laivanrakentajat ja lyijykynien valmistajat. Petroski kuvaa herkullisesti, kuinka vähäpätöiseltä tuntuva ongelma muuttuu suunnittelijan painajaiseksi ja kuluttajan harmistukseksi, kun lyijykynän lyjy lukuisista yrityksistä ja laskelmista huolimatta murtuu kesken parhaan työrupeaman.

Vaikka ongelmaa on pohdittu tuhansia tunteja, ja tuhansia testejä on tehty parempien kynien kehittämiseksi, lyjy murtuu edelleen arvaamatta ja yleensä väärään aikaan. Ongelmaa on lähes mahdoton poistaa, sillä kuluttajia, kirjoitustyytlejä ja kirjoittajien mielialoja on loputon määrä. Jos lyijykynästä tehtäisiin absoluuttisen kestävä, lyijystä ja sitä ympäröivästä suojavaipasta tulisi niin paksu, ettei kynällä voisi kirjoittaa. Jos puolestaan tehtäisiin kynä, joka tekisi tarkkaa ja täsmällistä jälkeä, kynän terästä tuli niin ohut, että se murtuisi pienemmästäkin painalluksesta.

Kuvaus lyijykynän suunnittelusta on erinomainen osoitus siitä, kuinka teknologinen "kehitys" on todellisuudessa pitkäkallinen prosessi, jolla ei ole ennalta määrättyä suuntaa eikä varmaa lopputulosta. Kuluttajien tarpeet, tuottajien taloudelliset reunaehdot ja materiaalien ominaisuudet muodostavat usein mahdottoman yhtälön, jota ei voida ennakoita eikä ennalta määrittää. Lyijykynä on siten teknologisesti varsin epäkelvo tuote, mutta kuluttajat ovat tottuneet sen teknologisiin "heikkouksiin", ja kynän markkina-asema on horjumaton. Kuinka yksinkertainen on yksinkertainen

Jokainen tietää, miten tuskallista on kiinnittää pitkävärtisten saappaiden tai monojen nauhat. Kiinnitysasento nostaa verenvainetta, hakaset taipuvat ja nauhat jäävät yleensä joko liian löysälle tai kengät puristavat nilkoista. Vielä vaikeampaa on varmaan kiinnittää korsettia tai liivejä, joiden kiinnityshakaset ovat selkäpuolella. Ongelman ratkaisemiseksi on keksitty vetokejū. Se on yksinkertainen ja nopea tapa kiinnittää kaksi vaatteen tai jalkineen osaa toisiinsa. Vetokejūn täytyy olla ehdottoman luotettava, ettei se avaudu juuri strategisesti tärkeällä hetkellä. Toisaalta vetokejūn täytyy olla tyylikkään huomaamaton, jottei se häiritse varsinaisen vaateen muotoa.

Vetoketju on tyypillinen teknologinen tuote, jolla on lähes loputtomat markkinat, ja jonka elinkaari on pitkä. Kuten Petroski hyvin osoittaa, tämä on aiheuttanut jatkuvia patenttikiistoja suunnittelijoiden välillä. Ensimmäinen vetoketjupatentti myönnettiin vuonna 1851 amerikkalaiselle Elias Howelle. Vaikka Howe sai vetoketjunsä toimimaan, tuote oli monilta osin puutteellinen. Vetoketju rikkoi kangasta, eikä ketjun mekanismi kestänyt pitkäaikaista venytystä ja kulutusta. Neljä vuosikymmentä myöhemmin amerikkalainen Whitcomb L. Judson sai nimiinsä vetoketjupatentin, joka oli suunniteltu erityisesti kenkien kiinnittämiseen. Judsonin konstruktio osoittautui niin hyväksi, että sen varaan voitiin perustaa jo tuotantoa. Judsonin osittain omistama Universal Fastner Company kehitti nopeasti myös vetoketjuja valmistavan koneen, minkä jälkeen tuotteen massavalmistus oli mahdollista.

Vaikka Judson teki kovasti työtä vetoketjunsä kehittämiseksi, teknologiset ongelmat seurasivat toisiaan. Vetoketju jumiutui juuri silloin, kun se oli kiireesti saatava auki, ja aukesi silloin, kun sen oli ehdottomasti pysyttävä kiinni. Epäonnistumiset ja puutteet avasivat markkinat uusille patenttihakemuksille. Ida Josephine Callon sai vuonna 1908 patentin "parannuksen tapaan, jolla liukuvaa kiinnitintä sovelletaan hameisiin". Lähes samaan aikaan Zürichissä asuvat Katherine Kuhn-Moss ja Henri Forster hakivat patentin uudelle vetoketjumallille. Judson vastasi haasteeseen palkkaamalla tuotekehittäjäksi Ruotsissa syntyneen Gideon Sundbackin, joka onnistuikin tekemään merkittäviä parannuksia Ccurity-kiinnittimen valmistuskoneisiin ja koko tuotantoprosessiin. Tästä huolimatta kova kilpailu ja C-curityn ongelmat ajoivat yhtiön lähes konkurssin partaalle.

Yhtiön vaikeuksista huolimatta Sundback uskoi vetoketjun tulevaisuuteen. Hän ryhtyi kehittämään täysin uutta, koukukontta mallia, josta tulikin läpimurtotuote 1920-luvulla. Se osoittautui erinomaisen luotettavaksi, ja uutta vetoketjua käytettiin mm. B. F. Goodrichin kehittämissä saappaissa. Goodrich keksi myös vetoketjulle uuden nimen "zipper", joka kotiutui nopeasti englannin kielen vakiosanaksi. Vaikka Sundbackin yritys kukoisti, kilpailu vetoketjumarkkinoista kiristyi edelleen. Saksalaiset toivat markkinoille muovista valmistetun vetoketjun, jonka tuotantokustannukset olivat merkittävästi alhaisemmat. Muovin käyttö avasi mahdollisuudet myös täysin uusien tuotelinjojen perustamiselle. Ranskalainen George de Mestral kehitti muovista valmistetun lukittavan teipin, jolla oli lukuisia erilaisia käyttökohteita. Amerikkalaiset kehittivät de Mestralin ajatuksen pohjalta 1970-luvulla ns. Flexigripin, jonka tunnetuin tuotesovellutus on edelleen markkinoilla oleva minigrip-pussi. Näin vetoketju oli saavuttanut uuden evoluutiopisteen. Koukkujen ja hakasten sijasta kuluttajilla oli nyt käytettävissään "hampaaton" vetoketju.

Yksinkertainen ja edullinen vetoketju on ideaalinen teknologinen tuote. Se ei aiheuta ympäristöongelmia, eikä se ole vaarallinen yksilön terveydelle. Mutta yksinkertaisuudessa ja edullisuudessa piilevät omat ongelmat. Vetoketjun valmistaminen on helppoa, mutta patenttioikeuksien valvominen on äärimmäisen vaikeaa ja kallista. Kiivaan kehitystyön tehneet yritykset ovatkin jääneet pahasti Kaukoidän piraattituottajien jalkoihin. Minigrip-pusseja ja vetoketjuja tehdään olemattomalla hinnalla halpatyövoiman maissa, mikä on romuttanut käytännössä amerikkalaisten ja eurooppalaisten yritysten toimintamahdollisuudet.

Muodon ja käytön ongelmat

Suomen korkea ympäristöverotus on onnistunut sulkemaan markkinat alumiinisilta virvoitusjuoma- ja oluttölkeiltä. Pulloja käytetään ja niitä kierrätetään tehokkaasti takaisin tuottajille. Harva suomalainen siten tietää, millainen ihmatarina sisältyy sopivasti kädessä pysyvään ja muodoiltaan raikkaan herkulliseen juomatölkkiin.

Tölkkin suunnittelu on todella hankalaa. Sisältönä on yleensä paineistettua juomaa, jonka täytyy pysyä purkissa kaikissa olosuhteissa. Toisaalta purkki täytyy saada helposti auki, mutta niin ettei paineistettu juoma roisku kuluttajan kasvoille ja vaatteille. Jos purkin avaamiseen tarvitaan ylimääräinen työkalu, sen täytyy olla yksinkertainen ja helposti mukana kuljetettava. Jos purkin avaaja puolestaan on kiinteä osa purkkia, se ei saa laukaista sisältöä sattumanvaraisesti tai vahingossa. Ja kaiken lisäksi. Alumiini on kallis materiaali, joten purkki on tehtävä mahdollisimman ohueksi, mutta silti absoluuttisen varmaksi.

Henry Petroski kuvaa loistavasti, kuinka insinöörit ovat painiskelleet virvoitusjuomatölkkin kanssa vuosikymmeniä. Aluksi purkit tehtiin teräksestä, sillä teräslevyt voidaan ohentaa äärimmäisen ohuiksi vaarantamatta silti purkin kestävyttä. Alumiini on kuitenkin selvästi edullisempi ja hygienisempi materiaali, ja sitä oli helpompi työstää. Mutta alumiinipurkin kestävydestä ei ollut mitään varmuutta.

Useiden kokeiden jälkeen päädyttiin rakenteeseen, jossa varsinainen purkki koostui yhdestä osasta. Kansi muovattiin erikseen, ja se sovitettiin tiukasti kiinni purkin runkoon. Avausmekanismiksi valittiin ns. kirkkoavain, jolla puhkaistiin purkin kanteen kaksi reikää. Toisesta juotiin ja toisesta virtasi purkkiin ilmaa ulosvirtaavan nesteen tilalle. Järjestelmä toimi varsin hyvin, mutta kirkkoavaimia hävisi ja tuskastuneet kuluttajat hajottivat purkkeja kivillä ja kotitekoisilla työkaluilla.

Tästä ongelmasta päästiin uudella konstruktiolla, joka toi purkin kantaan irrotettavan alumiinivaipan. Kun sen repäisi irti, purkki oli valmis käytettäväksi. Ongelmana olivat kuitenkin alumiinivaipat, joita alkoi näkyä luonnossa yhä enemmän. Terävasärmäiset vaipat repivät jalkoja uimarannoilla ja pistelivät selkään leirintäalueilla. Kun alumiini vielä on hajoamaton materiaali, kyseessä oli melkoinen ympäristöongelma. Joissakin maissa tilanne oli niin huono, että viranomaiset harkitsivat purkkien kieltämistä.

Kertomus alumiinipurkista on loistava esimerkki teknologian, ympäristön ja teknologian kehittäjien välisestä suhteesta. Nopeasti muuttuvat arvot ja odotukset luovat uusia ongelmia, joiden ratkaiseminen avaa innovaattoreille ja yrityksille uusia toimintamahdollisuuksia.

## Ongelmalliset järjestelmät

Henry Petroski on erinomainen mikrotason tutkija, joka pystyy avaamaan vaikeaselkoisia innovaatioita ja kuljettamaan lukijan teknologian syvimpään ytimeen. Mutta Petroski joutuu heikoille jaloille, kun hän ryhtyy kuvaamaan suuria teknologisia järjestelmiä. Teoksen viimeiset tapaustutkimukset käsittelevät telefaxin, laajarunkoisen lentokoneen, vesijärjestelmän ja pilvenpiirtäjien suunnittelua ja kehitystä.

Laajarunkoisessa lentokoneessa on yksistään yli neljä miljoonaa osaa ja tuhansia suunnittelukuvioita. Tämä lukumäärä moninkertaistuu, kun siirrytään pilvenpiirtäjiin ja televiestintäverkostoihin.

Suurten teknologisten järjestelmien kuvaaminen edellyttää sofistikoitua metodiiikkaa, johon Petroskin taidot eivät riitä. Thomas Hughesin, Carl Conditin tai Joel Tarrin tutkimuksiin verrattuna selvitys faksin, lentokoneen, vesijärjestelmän ja pilvenpiirtäjän kehityksestä jää aneemiseksi ja yksilutteiseksi. Yksittäisellä innovaattorilla on pieni tai olematon merkitys suurten järjestelmien kehittämisessä.

Päävastuussa ovat suuret yritykset, niiden tutkimus- ja kehityslaboratoriot, ja nykyään ylikansalliset tutkimusorganisaatiot ja -verkostot. Vaikka Petroski epäonnistuu järjestelmäkuvauksissa, hänen kirjansa on silti erinomainen tutkimusmatka teknologiseen maailmaan.

Matkaa auttaa Kimmo Pietiläisen elegantti ja rehevä käänös.

*Kirjoittaja on Suomen Akatemian tutkija.*