

Säätötekniikan laboratorio
Prosessi- ja ympäristötekniikan osasto

Tekniikan pedagogiikka - Perusteita

Juha Jaako

Raportti B No 48, Marraskuu 2003

Oulun yliopisto
Prosessi- ja ympäristötekniikan osasto
Säätötekniikan laboratorio
Raportti B No 48, Marraskuu 2003

Tekniikan pedagogiikka - Perusteita
Juha Jaako, tekn.toht. & yliassistentti

Tiivistelmä

Jatkuvasti muuttuva koulutuksen kenttä aiheuttaa aina muutoksia koulutuksen toteutukseen; muutokset tulevat aina kuitenkin viiveellä. Syvällekäyvät muutokset ovat aina paradigmanmuutoksia, jotka ovat vaikeita, koska kyseiseen muutokseen liittyy vanhan ajattelun hylkääminen ja uuden omaksuminen.

Tässä raportissa on tarkasteltu tekniikan pedagogiikkaa (kuinka tulisi opettaa) yliopistopedagogiikan lähtökohdista. Aluksi tarkastellaan tekniikan koulutusjärjestelmää historiallisesta näkökulmasta. Seuraavaksi tarkastellaan tekniikkaa tieteenä ja tämän tiedekäsityksen vaikutusta koulutukseen. Tekniikka ei ole tieteenä mitenkään yhtenäinen ja tämän raportin tarkastelu lähteekin liikkeelle prosessiteknisestä tarkastelusta.

Nykyinen yliopistokoulutuksen ajatus tekniikasta sovellettuna luonnontieteenä on ongelmallinen historiallisessa, pedagogisessa ja kompetensseja tuottavassa mielessä. Opintohallinnollisesti tämä ajatus on kuitenkin jossakin määrin perusteltavissa.

Raportin lopussa on uutta opetuksellista paradigmaa hahmoteltu.

Hakusanat: yliopistopedagogiikka, tekniikan pedagogiikka, pedagogiset perusteet

ISBN 951-42-7212-9
ISSN 1238-9404
Oulun yliopistopaino
Oulu 2003

Oulun yliopisto
Säätötekniikan laboratorio
PL 4300
FIN-90014 Oulun yliopisto

Sisältö

1 Johdanto	1
2 Tarkastelukohde.....	4
3 Tekniikan opetus Suomessa.....	7
4 Tekniikka tieteenä.....	10
4.1 Artefaktit.....	11
4.2 Tieteiden välisiä suhteita	16
4.3 Esimerkkiartefakti	23
5 Uutta paradigmaa etsimässä.....	26
6 Uusi paradigma.....	33
7 Yhteenveto	37
8 Viitteet	38

I Johdanto

*When people agree with me
I always feel that I must be wrong.*
Oscar Wilde

Tämä raportti kuuluu kirjoittajan koordinoimaan kirjoitusprojektiin *Tekniikan pedagogiikka*, jonka tarkoituksena on kirjoittaa yleisesitys tekniikan alan korkeakouluopetuksen pedagogiikasta. Sarjan kirjoittamisen alkusysäyksenä voi pitää keskustelua *KT Asko Karjalaisen* kanssa. Sarjassa ovat tähän mennessä ilmestyneet seuraavat julkaisut¹:

Tekniikan opetuksen paradigmanmuutoksista:

- Jaako J (2003) *Tekniikan pedagogiikka – Perusteita*. Oulun yliopisto, Sääätötekniikan laboratorio, Raportti B No 48, Marraskuu 2003. 39 s., ISBN 951-42-7212-9. (tämä raportti)
- Jaako J & Lindfors J (2001) *Uusia tuulia sääätötekniikan opetuksessa*. Automaatio 2001 Seminaaripäivät, 4.-6.9.2001, Helsinki, Messukeskus. In: Yliniemi L (toim.) *Automaatio verkostuvassa maailmassa*, SAS Julkaisusarja nro 24, ss. 43-48. Suomen automaatioseura ry. ISBN 952-5183-16-5.
- Jaako J & Nelo S (2001) *Prosessi- ja ympäristötekniikan opetuksen tulevaisuuden haasteita*. Oulun yliopisto, Sääätötekniikan laboratorio, Raportti B No 27, Tammikuu 2001. 25 s., ISBN 951-42-5889-4.

Tekniikan opetusmenetelmistä:

- Jaako J (2000) *Sääätötekniikan laboratorion opetuskokeiluja I – Portfoliomuotoisen kurssin toteutus ja tulokset*. Oulun yliopisto, Sääätötekniikan laboratorio, Raportti B No 13, Helmikuu 2000. 28 s. ISBN 951-42-5544-5.
- Jaako J (2000) *Sääätötekniikan laboratorion opetuskokeiluja II - Apuopettaja opettajan apuna*. Oulun yliopisto, Sääätötekniikan laboratorio, Raportti B No 17, Elokuu 2000. 22 s., ISBN 951-42-5742-1.

Tekniikan yliopisto-opettajien koulutuksesta:

- Jaako J (2003) *Sääätötekniikan laboratorion opetuskokeiluja III – Opettajien perehdyttämiskoulutus*. Oulun yliopisto, Sääätötekniikan laboratorio, Raportti B No 40, Helmikuu 2003. 20 s. ISBN 951-42-6955-1.

Tekniikan yliopisto-opetuksen laadusta ja pedagogisesta johtajuudesta:

- Heikkinen E-P & Jaako J (2003) *Koulutuksen laatuysikköhakemus ja pedagoginen johtajuus*. Oulun yliopisto, Sääätötekniikan laboratorio, Raportti B No 46. Elokuu 2003. 31 s. ISBN 951-42-7091-6.

¹ Sääätötekniikan laboratorion raporttisarjan B julkaisut löytyvät osoitteesta: http://ntsai.oulu.fi/docs/templates/basic_wide.php3?page_id=153 – 28.10.2003 pdf-muodossa.

- Heikkinen E-P, Jaako J, Karjalainen A & Nelo S (2002) *Prosessi- ja ympäristötekniikan osaston opetuksen itsearviointiraportti 2002 - Esitys koulutuksen laatuysiköksi*. Prosessi- ja ympäristötekniikan osasto, Oulun yliopisto. 09.10.2002. 12 s. TAI SIVUT 192-208 JULKAISUSTA: Parpala A & Seppälä H (toim.) (2003) *Yliopistokoulutuksen laatuysiköt 2004-2006*. Korkeakoulujen arviointineuvoston julkaisuja 5:2003. ISBN 951-37-3906-6
- Jaako J & Heikkinen E-P (2003) *Prosessi- ja ympäristötekniikan osasto – koulutuksen laatuysikkö*. Vuoriteollisuus – Bergshanteringen 1/2003. s. 32
- Jaako J, Nelo S & Sillanpää M (2003) *Prosessi- ja ympäristötekniikan osasto Oulussa: Monialaosaajia ja pitkiä tutkimuslinjoja*. Kemia-Kemi, Vol. 30 (2003) 7. s. 38-39.
- Nelo S, Heikkinen E, Jaako J & Dahl O (2003) *Prosessi- ja ympäristötekniikan osasto – koulutuksen laatuysikkö*. Peda-forumin kevätpäivät, 19.-20.5.2003 Jyväskylä, Agora. (poster)

Tekniikan jatkokoulutuksesta:

- Jaako J (2003) *Tekniikan pedagogiikka – Väitöskirjat ja tutkijakoulutus prosessi- ja ympäristötekniikan osastolla*. Oulun yliopisto, Sääntötekniikan laboratorio, Raportti B No 47. Syyskuu 2003. 65 s. ISBN 951-42-7137-8

Seuraavassa tarkastelen tekniikan pedagogisia perusteita lyhyen raportin muodossa. Tekniikan pedagogiikasta ei ole juurikaan kirjoitettu¹ ja suurin osa tarjolla olevista teksteistä lähtee liikkeelle tekniikasta sovellettuna luonnontieteenä²; tämä ei kuitenkaan ole tämän raportin lähtökohta.

En aloita tätä raporttia muinaisista roomalaisista vaan lapsuudestani, jota elin kuusikymmenluvulla. Lapsena minua kiinnostivat kovasti erilaiset lelut; leluilla leikkiminen ei minua kuitenkaan kiinnostanut vaan se, miten lelut – nämä leikin artefaktit³ – toimivat. Hajoitin kaikki mekaaniset lelut nähdäkseni, miten ne oikein toimivatkaan. Olin syyttää metsäpalon, koska halusin nähdä miten nopeasti ja mihin suuntaan palo leviää kuivassa ruohikossa. Myöhemmin

¹ Merkittävänä poikkeuksena Wankat & Oreovicz (1993) *Teaching Engineering*. Tekniikan alan didaktista kirjallisuutta on vaikea löytää, koska didaktikot sotkevat tekniikan opetuksen luonnontieteiden opetukseen; syyt on esitetty myöhemmin tässä raportissa.

² Tieteenfilosofiaan ajatus tekniikasta sovellettuna luonnontieteenä on tullut ilmeisesti Baconilta: ”Gardner (1994) shows how Francis Bacon already defended the thesis that technology should be applied science and that we find this opinion time and again in later literature. It is then suggested that there is a more or less straightforward path from scientific knowledge to the technological product. This opinion for some time functioned as a paradigm for the philosophy of technology.” (de Vries 1996)

³ Artefakti on luonnonesineen vastakohta; artefakti on ihmiskäteen työtä ja tietoisien (intentionaalisen) toiminnan tulosta, toisin kuin luonnonesineet, jotka ovat sattumanvaraisten luonnonvoimien aikaansaannosta. Tässä raportissa käsitellään ensisijaisesti teknisiä artefakteja, joita nykymaailma on aivan täynnä.

artefact, artifact: artificial product, something made by human beings (Hornby 1974, 43)

insinööriksi valmistuttuani huomasin, että monen insinöörin lapsuuteen liittyy tämääntapaista puuhailua.

Valmistuin diplomi-insinööriksi vuonna 1984 prosessitekniikan osastosta Oulun yliopistosta ja väittelin vuonna 1996 tekniikan tohtoriksi. Väitöskirjani (Jaako 1996) sisältöä en tässä yhteydessä yritäkään selittää, koska sen selittäminen vaatii enemmän sivuja kuin väitöskirjassa itsessään on. Riittänee, kun mainitsen, että pedagogiikkaa siinä ei ainakaan käsitelty.

Jo ennen tieteen kisällinäytettä olin ollut yliopisto-opettajana. Tekniikan yliopisto-opetuksen problematiikka alkoi tulla akuutiksi aiheeksi kymmenisen vuotta sitten; *rupesin vakavasti epäilemään oman opetustyöni perusteita ja tekniikan opetuksen perusteita erityisesti.*

Vuodesta 1994 lähtien aloin tutkia opettamisen ja oppimisen isoa ongelmaa; ensin käytännössä ja myöhemmin pedagogisen ja kasvatustieteellisen koulutuksen antaman tuen avulla. En siis ensin antanut muiden opettaa minua, miten opettaminen tapahtuu, vaan muodostin ensin kuvan opettamisesta työtä käytännössä tehden, jonka jälkeen hankin itselleni pedagogisen koulutuksen. Alussa oli siis teesi, sitten *antiteesi* ja tuloksena oli mielestäni aika hyvä *synteesi*.

Raportti pohjautuu työhön, jota olen tehnyt vuodesta 1976 prosessi- ja ympäristötekniikan osastossa ensin opiskelijana sekä myöhemmin tutkijana ja yliopisto-opettajana; työrupeama on kestänyt - pieniä katkoksia lukuun ottamatta - jo 26 vuotta. Monitieteinen koulutustausta ja tutkimustyön tekeminen ovat johtaneet tien pois reduktionistisesta ajattelusta kohden holistista ajattelua.¹

Suuret kiitokset *TkL Sirpa Nelolle* käsikirjoituksen lukemisesta ja kommentista. Keskustelut työtovereiden kanssa ovat vaikuttaneet tähän raporttiin; erityisesti kiitän seuraavia henkilöitä: *DI Aila Auvinen, TkL Eetu-Pekka Heikkinen, TkL Jyrki Heino, TkL Jukka Hiltunen, DI Seppo Honkanen, TkT Juha Lindfors, TkT Esa Muurinen, TkL Tapio Tirri ja DI Kalervo Ukkola*. Viitisentoista vuotta sitten eli 1980-luvun lopulla kävin *professori Eino Tunkelon* kanssa keskusteluja tekniikka-tekniologia-problematiikasta, joka oli yhtenä alkusysäyksenä tälle tutkimustyölle; myöhästyneet kiitokset *Eikalle*.

Tekstin kirjoittamisessa olen käyttänyt ohjenuorana Horatiuksen sanoja: *Quamquam ridentem dicere verum quid vetat?* (Sermones, I, I, 24).

Disclaimer: *If anyone disagrees with anything I say,
I am quite prepared to not only retract it,
but also to deny under oath I ever said it.*

T. Lehrer

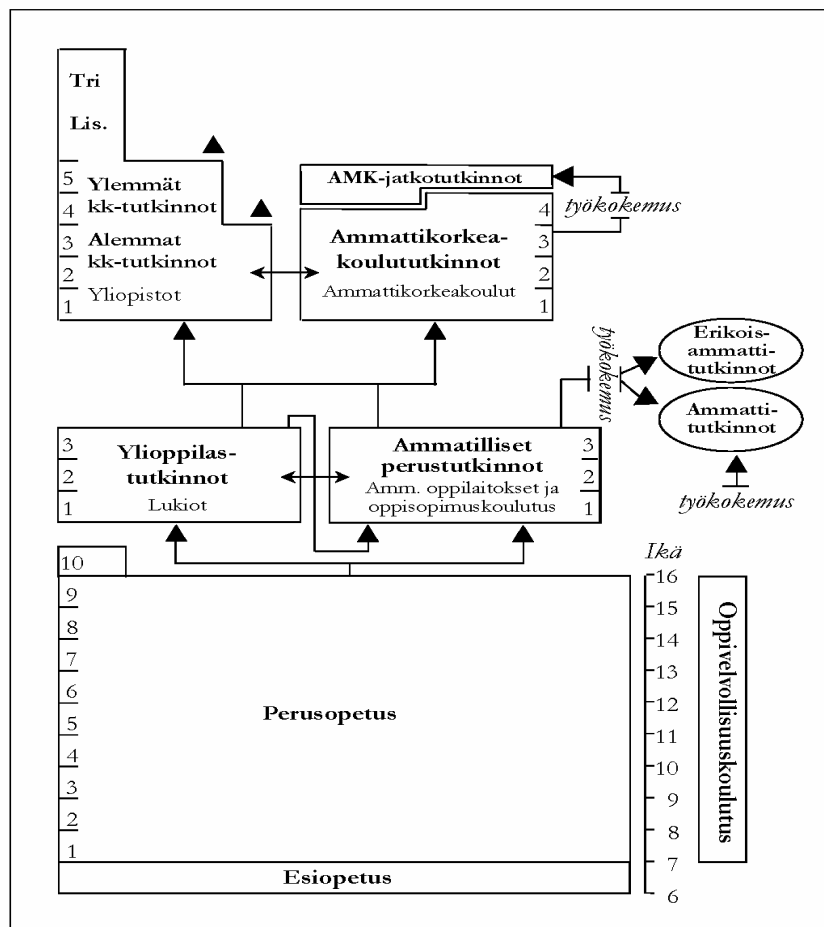
¹ Reduktionistisen ajattelun vastakohta on holistinen eli kokonaisvaltainen näkemys, jonka mukaan kaikki liittyy kaikkeen ja kokonaisuus on suurempi kuin osien summa. (holistinen: kokonaisvaltainen, kokonaisuutta korostava)

2 Tarkastelukohde

You see things that are and say, "why?"
But I dream things that never were and say, "why not?"
George Bernard Shaw

Suomen koulutusjärjestelmä voidaan esittää seuraavan kuvan avulla.

KOULUTUSJÄRJESTELMÄ



Kuva 1. Suomen koulutusjärjestelmä¹

¹ Opetusministeriö, koulutus, Suomen koulutusjärjestelmä,
<http://www.minedu.fi/opm/koulutus/koulutusjarjestelmakaavio.pdf> - 01.10.2003

Koulutusjärjestelmä koostuu monitasoisesta rakenteesta, jossa viime aikojen suurin muutos on ollut ammattikorkeakoulujen (AMK) syntyminen ja amk-jatkotutkintojen mukaantulo koulutusjärjestelmään. Yliopistojen ja ammattikorkeakoulujen kesken ei tutkintojen vastaavuudesta ole päästy kovin selvään yhteisymmärrykseen; tekniikan alalla tällainen ymmärrys on kuitenkin olemassa ja aiheeseen palataan myöhemmin.

Tämä raportti keskittyy yliopistoissa annettuun tekniikan opetukseen eli tarkasteltavana on kuvan 1 vasen yläkulma; jatkotutkinnot eivät kuitenkaan sisälly tähän tarkasteluun¹. Tarkastelukohteen valinta on mielekäs pedagogisen tarkastelun kannalta, koska vain yliopistoissa kaikki tekniikan tasot (laitetaso, suunnittelutaso ja tiedetaso²) ovat mukana. Erityisesti on syytä huomata, että tekniikan alan opetusta laitetaso yläpuolella ei anneta esiopetuksessa, perusopetuksessa eikä lukioissa.

Korkeakoulutasoista tekniikan opetusta annetaan Suomessa ammattikorkeakouluissa ja yliopistoissa. Tekniikan alan formaali yliopistotasoinen opetus on kuitenkin hyvin nuorta; ensimmäinen tekniikan alan yliopisto *École Polytechnique* perustettiin Ranskaan vuonna 1794 (Chafy 1997). Tätä ennen tekniikan alan opetus tapahtui pääasiassa ammattikuntalaitostyyppisessä koulutusjärjestelmässä, jossa tieto ja osaaminen siirtyivät sukupolvelta toiselle. Tekniikan saavutukset yliopistolaitoksen ulkopuolella olivat kuitenkin huomattavia: keksittiin kello ja tuulimylly, rakennettiin goottilaiset katedraalit, kirjanpainatus irtokirjasimin innovoitiin, tehokkaat kastelujärjestelmät ja vedenjakelujärjestelmät olivat käytössä jo vanhalla ajalla, metallurgia ja metallien valmistus sekä kemiantekniikan perusprosessit (käyminen, säilöntämenetelmät, kuumennus, uutto ja tislauk) kehitettiin jo varhaisessa vaiheessa. Tässä yhteydessä on erityisesti huomattava, että tämä kehitys tapahtui huomattavasti ennen luonnontieteiden syntyä; tarkemmin sanottuna *tuhansia vuosia* ennen.

Yliopistolaitos ei kuitenkaan ollut 1800-luvulla valmis tunnustamaan tekniikkaa tieteen joukossa vaan esim. Saksassa jouduttiin perustamaan erilliset teknilliset yliopistot³, *Technische Hochschulen*. Tämä malli siirtyi myös Ruotsiin ja *Kungliga Tekniska högskolan* perustettiin vuonna 1827⁴. Suomen ensimmäinen tekniikan alan yliopisto *Teknillinen korkeakoulu* perustettiin 1908, joka perustettiin vuonna 1879 aloittaneen *Polyteknillisen opiston* jatka-

¹ Tekniikan jatko-opiskelun problematiikka on pohdittu toisaalla (Jaako 2003).

² Käsitteet määritellään myöhemmin tekstissä.

³ Myös Yhdysvalloissa kehitys oli samanlainen (kursivointi kirjoittajan): "Although aspects of Enlightenment science – including the ideas of Descartes, Newton, Copernicus, Galileo, and Kepler – crept into the curriculums of traditional institutions such as Harvard beginning in the early eighteenth century, *technological university level institutions did not appear for another 100 years*. Finally, in the early nineteenth century, *Rensselaer Polytechnic Institute* and *West Point* were founded. At first, these schools were regarded as less prestigious than their classical counterparts." (Chafy 1997)

⁴ Kungliga Tekniska högskolan, <http://www.kth.se/om/> - 01.10.2003

jaksi; Polyteknillinen opisto taas pohjautui vuonna 1849 perustettuun *Teknilliseen reaalikouluun*. Yliopistotasoinen tekniikan opetus alkoi Suomessa siis vuonna 1908 ja tämä opetus on tällä hetkellä noin sadan vuoden ikäinen.

Suomessakaan eivät yliopistot hyväksyneet tekniikkaa yliopistojen yhteyteen ja niinpä edelleen perustettiin *Tampereen teknillinen yliopisto* vuonna 1965 (itsenäinen yliopisto vuodesta 1972¹) ja *Lappeenrannan teknillinen yliopisto* vuonna 1969. Tätä ennen kuitenkin luotiin vuonna 1958 perustetun Oulun yliopiston yhteyteen teknillinen tiedekunta, jossa esimerkiksi prosessi- ja ympäristötekniikan osasto aloitti toimintansa vuonna 1961 aluksi teollisuus-insinööriosaston nimellä (Parpala & Seppälä 2003).

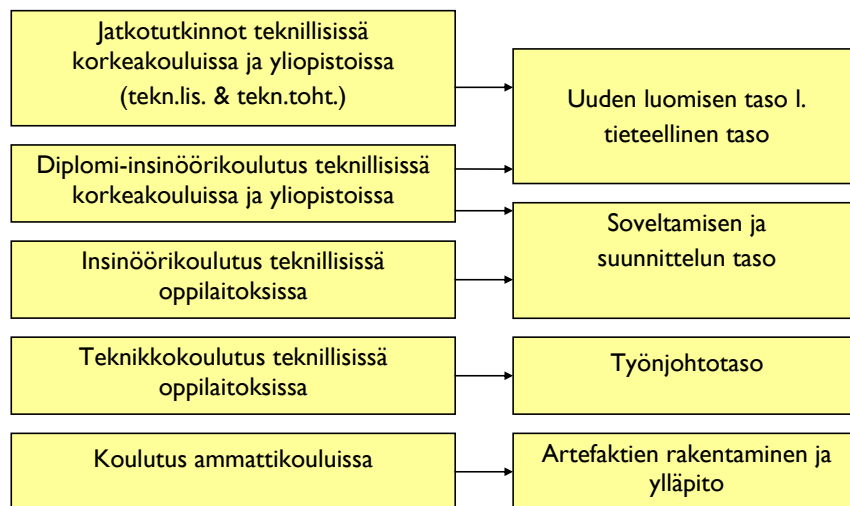
¹ Tampereen teknillinen yliopisto,
<http://www.tut.fi/public/index.cfm?MainSel=6&Sel=2006&Show=1887&NoSel=1&Siteid=0> – 01.10.2003

3 Tekniikan opetus Suomessa

*When you choose the lesser of two evils,
always remember that it is still an evil.*

Max Lerner

Tekniikan alan koulutus Suomessa oli ennen viimeisintä, ammattikorkeakoulujen syntyyn johtanutta myllerrystä seuraavan kuvan mukainen.



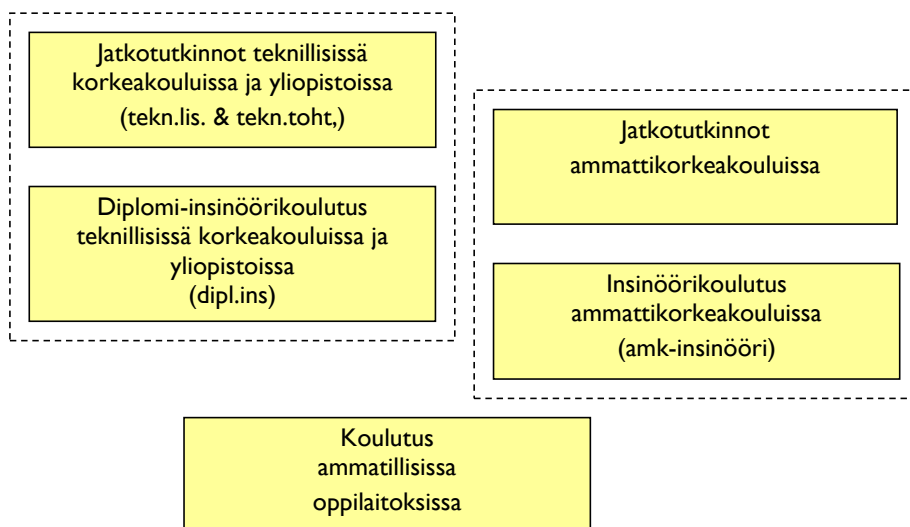
Kuva 2. Tekniikan koulutusjärjestelmä ennen ammattikorkeakouluja

Koulutusjärjestelmässä näkyy sääty-yhteiskunnan jäänteitä, mutta järjestelmä oli toimiva hyvin pitkään. *Järjestelmän tutkinnot tuottivat hyvin selkeitä kompetensseja*; sekä koulutusjärjestelmän sisällä että yrityselämässä oltiin hyvin selvillä valmistuneiden osaamistasoista. Tekniikan alalla tilanne olisi ilmeisesti vieläkin kuvan 1 mukainen, mutta ammattikorkeakoulujen tulo¹ Suomeen muutti rakenteen ja nyt vuonna 2003 voidaan sanoa, että uusi rakenne ei ole vielääkään selkiytynyt. Ammattikorkeakoulu-uudistuksen taustalla oli saksalainen *Fachhochschule*-ajatus. Ammattikorkeakoulujen syntyhistoriaa Suomessa kuvannee seuraava lainaus (Rauhala 2000):

¹ Ammattikorkeakouluajatus ei ole uusi: Pekka Ahosen johtama teknillisen opetuksen komitea esitti jo 1970-luvun alussa teknillisten oppilaitosten muuttamista insinööri-korkeakouluiksi.

”Ammattikorkeakoulujen synty ajoittui aikaan, jolloin Suomen talouselämä eli lamavuosia ja koki samalla merkittävää rakennemuutosta, jolle oli erityisesti ominaista tieto- ja tietoliikennetekniikan nousu erääksi maan viennin kivijalaksi. Tietointensiiviset työelämän organisaatiot edellyttivät myös uudenlaista johtamistapaa, jota voi kutsua tietojohdantamiseksi (knowledge management). Se poikkeaa merkittävästi perinteisestä tayloristiseen työnjakoon pohjautuvasta hierarkkisesta johtamismallista, jossa viisaus asuu ylhäällä organisaatiossa ja alempana on tarkoitus vain toimia annettujen ohjeiden mukaan.”

Käytännön toimenpiteenä lakkautettiin teknikkokoulutus ja pyrittiin luomaan ns. korkeakoulutuksen dualimalli, joka voidaan esittää seuraavasti.



Kuva 3. Tekniikan koulutusjärjestelmän dualimalli

Dualimalli ei ole, kuten jo mainittiin, löytänyt vielä muotoaan. Yliopistoissa ja osin yrityksissäkin¹ on tästä syystä suhtauduttu epäillen ammattikorkeakoulujen koulutuksen tieteelliseen tasoon ja yliopistoissa ei hyväksytä ammattikorkeakoulututkintoa alemmaksi kandidaattitutkinnoksi, joka on laajudeltaan 120 opintoviikkoa (ov).

Tekniikan alalla tilanne on toinen. Diplomi-insinööritutkinnon laajuus on 180 ov ja esimerkiksi Oulun yliopiston teknillisessä tiedekunnassa amk-insi-

¹ Yritysten konservatiivisuus ei tietysti ole suomalainen ilmiö. Kirjoittajalla oli mahdollisuus keskustella vuonna 1996 Riian teknillisen korkeakoulun dekaanin *Jānis Grundspenkis*in kanssa koulutusuudistuksista. Latviassa muutettiin vanha neuvostoaikainen tekniikan alan tutkintojärjestelmä länsimaiseksi *bachelor & master* –tasoiseksi tutkinnoiksi. Latvialaiset yritykset suhtautuivat uusiin tutkintoihin huomattavan epäluuloisesti; kyse oli tietysti siitä, että *tuottavatko uudet tutkinnot tarpeellisia kompetensseja*.

nööritutkinnosta pyritään hyväksilukemaan noin 60 ov ja, mikäli ammattikorkeakoulututkinto on täsmälleen samalta alalta, jopa 80 ov¹. Täten amk-insinööritutkinnon täydentäminen diplomi-insinööritutkinnoksi vie aikaa vain 2-2,5 vuotta eli 100-120 ov. Hyväksilukemismäärä voi tuntua pieneltä, mutta esimerkiksi kauppätieteiden alalla ja lääketieteen alalla amk-tutkinnosta saa hyväksiluettua vain 10-20 ov. Tilanteeseen törmää tradenomi, joka haluaa siirtyä opiskelemaan kauppakorkeakouluun ja sairaanhoitaja, joka haluaa koulutautua lääkäriksi; edellisiä opintoja ei juurikaan hyväksilueta. Duaalimallissa siis ainakin *teknisen alan yliopistot tunnustavat edelleen suomalaisen insinööritutkinnon korkean tason*; muilla aloilla tilanne on toinen.

¹ Tiedot prosessi- ja ympäristötekniikan osaston osastoneuvoston pöytäkirjoista.

4 Tekniikka tieteenä

*There is something fascinating about science.
One gets such wholesale returns of conjecture
out of such a trifling investment of fact.*
Mark Twain

Tekniikkaa tieteenä määriteltäessä ensimmäiseksi ongelmaksi tulee alan käsitteiden sekavuus, johon ovat syypäitä sekä tekniikan edustajat – koska he eivät ole käsitteitä selkeästi määritelleet – että muiden tieteenalojen edustajat, jotka ovat ottaneet analyysiensä kohteeksi asian, jota he eivät tarkasti ottaen oikein ymmärrä. Tarjolla on jopa seuraaventyypisiä määritelmiä¹:

”Koska eräitä perusmäärittelyksiä on kuitenkin syytä tehdä, viivähdetään hetki teknologia-käsitteen äärellä. Kuten Ilkka Niiniluoto artikkelissaan ”Tekniikan filosofia” kirjoittaa, kirjaimellisesti ’teknologia’ tarkoittaa tekniikan logosta eli oppia tekniikasta. Näin voidaan tehdä ero suomen kielessä useinmiten synonyymisesti esiintyvien ’teknologian’ ja ’tekniikan’ välille. Alustavasti tekniikka viittaa pelkkiin artefakteihin, jonkin päämäärän saavuttamiseksi tuotettuihin välineisiin. Teknologia puolestaan on laajempi sommitelma, joka on erottamattomasti kulttuuristen, taloudellisten ja poliittisten suhteidensa määrittämä. Teknologiaan voidaan tarpeen mukaan sisällyttää työn ja toiminnan välineet, näitä koskevat tiedot, taidot ja menetelmät sekä organisaatiot, joissa teknologioihin liittyvä toiminta tapahtuu.”

Edellinen esitys voi olla relevantti tekniikan ulkopuolella, mutta ei tekniikan sisällä, koska se päinvastainen kuin mitä tekniikassa itsessään määritellään.

Kuten edessä olevasta lainauksesta käy ilmi, käsiteseikaannus juontaa juurensa sanojen *tekniikka* ja *teknologia* ympärille. Sanakirjamääritelmän mukaan teknologia on *oppi, joka käsittelee työtapoja, -koneita ja -välineitä, joita käytetään luonnosta saatujen aineiden jalostamiseen*. Lyhyesti sanottuna *teknologia on oppi raaka-aineiden jalostamisesta*. Englannin kielen sana *technology* määritellään seuraavasti (Hornby 1974):

technology: study, mastery and utilization of manufacturing and industrial methods; systematic application of knowledge to practical tasks in industry.

Tämä määritelmä vastaa edellä esitettyä suomenkielistä määrittelyä. Nykyisin englannin kielessä käytetään sanaa *technology* myös merkityksessä, joka vastaa suomen kielen *tekniikka*-sanaa. Sekaannus on valmis.

Muoti-ilmiöksi on tullut käyttää teknologia-sanaa tekniikka-sanan synonyyminä suomenkin kielessä, jonka seurauksena usein ei oikein tiedä mistä puhutaan, *aidasta vai aidan seipästä*; puhutaan jopa koulutusteknologiasta. Yleensä insinöörikoulutuksen saaneet käyttävät teknologia-sanaa hyvin vastenmieli-

¹ http://www.netn.fi/101/netn_101_kirjat3.html - 01.10.2003

sesti ja mielellään tekniikka-sanaa; puhutaan prosessitekniikasta (ei prosessiteknologiasta), sähkötekniikasta (ei sähköteknologiasta), konetekniikasta (ei koneteknologiasta), tietotekniikasta (ei tietoteknologiasta) ja arkkitehtuurista (ei arkkitehtuuriteknologiasta); niin tässäkin tapauksessa; raportin nimi on *Tekniikan pedagogiikka - Perusteita* eikä *Teknologian pedagogiikka - Perusteita*. Puhuttaessa tekniikasta tieteenä pitäisi käyttää *tekniikka-sanaa*, jos haluaa, että insinöörit ymmärtävät käytetyn sanaston.

Tekniikka¹ määritellään usein joko laajasti tai suppeasti. Laajasti tekniikka ymmärretään minä tahansa kykynä tai taitona, esimerkkinä vaikkapa viulunsoiton tekniikka. Suppeamman määritelmän mukaan *tekniikalla tarkoitetaan artefaktien (älyn tai taidon tuottamien esineiden) suunnittelua, käyttöä ja näiden artefaktien ilmiömaailman tutkimista*. Usein tekniikka määritellään luonnontieteiden soveltamiseksi käytännön päämäärien saavuttamiseksi; tämä määritelmä ei kuitenkaan ole käyttökelpoinen kuten myöhemmin esitetään.

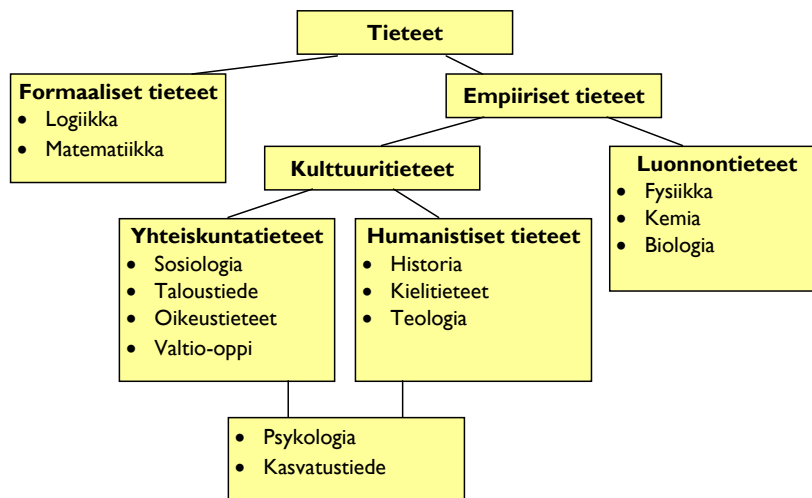
Usein väitetään myös, että tekniikka ei täytä tieteen määritelmää. Näkemyksestä on ollut omat korkeakoulupoliittiset seurauksensa, joita on kuvattu edellisessä luvussa. Tekniikan kehittyessä tieteenä niin pitkälle, että yliopistotasaisen koulutuksen tarve tuli sekä akuutiksi että ajankohtaiseksi, vanhat yliopistot eivät hyväksyneet teknisiä tieteitä saman katon alle vaan piti perustaa erilliset teknilliset korkeakoulut, jotta ”tieteen” puhtaus voitiin säilyttää. Tämän perinteen, jota voisi luonnehtia *tieteelliseksi rasismiksi*, pohjalta Suomeenkin on syntynyt Teknillinen korkeakoulu, Tampereen teknillinen korkeakoulu ja Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu. Perinne on kuitenkin Suomessa jo murtunut ja Oulun yliopistossa toimii *teknillinen tiedekunta* ja Åbo Akademiassa Turussa *kemisk-tekniska fakulteten*. Lisäksi Vaasan, Jyväskylän, Turun ja Kuopion yliopistot haluavat kouluttaa diplomi-insinöörejä (Estola 2002); hyljeksitystä tieteestä onkin yhtäkkiä tullut muodikasta.

Edellä esitetyt määrittely-yritykset eivät kovinkaan paljon selkeytä tilannetta. Frederick Ferré (1998) *käsittelee tekniikkaa älyn käytännöllisinä implementaatioina*, joka on tämän raportin kannalta hyvä lähtökohta.

4.1 Artefaktit

Tekniikan asemointi tieteiden järjestelmään tuottaa tekniikan ulkopuolisille ihmisille vaikeuksia. Kasvatustieteen peruskirjallisuudesta löydämme seuraavan esityksen tieteiden järjestelmästä:

¹ Kreikan sana *tekhne* (~taito).



Kuva 4. Tieteiden järjestelmä Hirsjärvi & Huttusen (1995) mukaan.

Huomattavaa on, että tekniikka ja lääketiede on jätetty luokittelun ulkopuolelle; tekniikkaa ei tarkasti ottaen voi edes määritellä kuvan 4 mukaisella jaotelmalla, koska tekniikka ei ole formaali tiede eikä empiirinen tiede. Hirsjärvi & Huttusen (1995, 96) mukaan tieteiden luokituksessa on keskeisenä jakoperusteena se, *mihin tutkimuksen huomio kohdistuu* ja tämän ohella se, *mistä näkökulmasta tuota kohdetta tarkastellaan*. Nyt voimme määritellä tekniikan tutkimuksen kohteen seuraavasti: tekniikassa tutkimuksen huomio kohdistuu artefakteihin, ihmisen tekemiin keinotekoisiiin luomuksiin; lääketieteessä tutkimuksen huomio kohdistuu itse ihmiseen ja hänen terveyteensä.

Tutkimuksen kohteen tarkastelutapa on monessa tieteessä etukäteen koulukunnittain määritelty; on olemassa erilaisia tutkimuksen paradigmoja. Paradigmaerot aiheuttavat helposti oppiriitoja, joita tekniikassa ei juuri ole tai ainakin ne ovat hyvin lyhytkestoisia, josta hyvä esimerkki on sumean logiikan tulo säätötekniikan tutkimuksen piiriin. Syy oppiriitojen poissaoloon on, että tekniikassa tutkimuksen mielenkiinto kohdistuu hyödyllisen, tarpeellisen ja käyttökelpoisen tuottamiseen ja jos käytetty tutkimusmenetelmä ei pure tutkimusongelmaan, ei auta muuta kuin etsiä toinen, tehokkaampi tutkimusmenetelmä¹. Tekniikan tutkimuksen paradigma¹ on tietynlainen paradigmatto-

¹ Tästä syystä tekniikan alan tutkijat ja insinöörit kokevat muiden tieteiden oppiristiriidat ja väittelyt siitä, että onko jokin tutkimus tiedettä vai ei lähinnä *tarpeettomana ajan tuhlauksena*. Tekniikassa tutkimustulosten merkittävyys ja tutkijan kompetenssi määräytyvät tutkimustulosten hyödynnettävyyden kautta; käytetyllä tutkimusmenetelmällä ja sen soveltamisella, vaikka ne mielenkiintoisia ovatkin, on arvoa vain sitä kautta, että sen avulla voidaan tarkasteltavasta ilmiöstä saada relevanttia tietoa. Metodologinen epämääräisyys ei ole kovin suuri synti; tulosten sovellettamattomuus taas on.

muus; voidaan sanoa, että tutkimusongelma valitsee tutkimusmenetelmän eikä päinvastoin². Tämä paradigmatteisuus näkyy myös diplomi-insinöörien koulutusohjelmissa; niistä saa hakemalla hakea tutkimuksen tekemiseen tai tutkimusmenetelmälliseen osaamiseen liittyviä opintojaksoja.

Tämän raportin tarpeita varten tarvitaan seuraavia määrittelyjä:

- *Tekniikka on käytännöllinen tiede*, jossa tutkimuksen arvo määräytyy sovellettavuuden kautta.
- Tekniikan tutkimus³ on ensisijaisesti käytännön ongelmien (artefakteihin liittyvien) ratkaisemista.
- Tekniikan tutkimuksen tarkoitus on tuottaa entistä parempia artefakteja ja parempaa ymmärrystä artefakteihin liittyvistä ilmiöistä.
- Tekniikan tutkimuksessa tutkimushypoteesi muotoillaan usein ratkaistavana ongelmana.
- Tekniikka tutkii artefakteja pääsääntöisesti niiden toimintaympäristössä. *Tekniikassa ei olla kiinnostuneita ilmiöstä sinänsä vaan aina ilmiöstä jossakin*; tässä on merkittävin ero luonnontieteisiin. (ks. taulukko I)
- Tekniikassa on erittäin vaikea erottaa toisistaan perustutkimus, soveltava tutkimus ja tuotekehitys pääasiassa siksi, että käytännöllisessä tieteessä kysymys on jossakin määrin irrelevantti.

¹ **paradigma:** tutkijayhteisössä omaksutut perususkomukset, arvostukset ja periaatteet. Paradigma-käsitteestä enemmän viitteissä (Kuhn 1962; Niiniluoto 1983). Paradigma eli viitekehys omaksutaan koulutuksen yhteydessä usein ilman tietoisuutta sen luonteesta tai sen vaihtoehdoista.

² Lukijan on syytä tutustua seuraavaan tekstiin: Eloranta E (1998) *Mallintaminen – nykyaikainen tapa tutkia*. Tekniikan akateemiset 5/98, ss. 26-27.

³ Tekniikan tutkimus ei ole hypoteettis-deduktiivista (luonnontieteellisen tutkimustradition mukaista) vaan tutkimusongelma formuloidaan usein kysymyksen muotoon. Tekniikan alan tutkimustulokset, esim. väitöskirjat, *esitetään* usein kuitenkin niin, että ne ovat luonnontieteellisen tutkimustradition mukaisia. Toimintatapa voitaneen palauttaa edellä esitettyyn tieteelliseen rasismiin.

Tekniikka voidaan edelleen jakaa kolmeen tasoon:

- Tekniikka tieteenä
 - Toiminnan perusteiden (suunnittelu, tuotekehitys, tutkimusmenetelmät, ...) tutkiminen.
 - Artefaktien suunnittelu (esim. mahdollisimman eristyskykyisen ikkunan suunnittelu)
 - Uusien artefaktien ja olemassa olevien artefaktien kehittäminen¹
 - Uusien artefaktien keksiminen ja luominen²
- Tekniikka toimintana (ja suunnitteluna)
 - Artefaktien sovellutussuunnittelu
 - Kontakti- ja systeemiartefaktien fyysinen konstruointi (esim. talon rakennuttaminen)
 - Systeemiartefaktien käyttö, ylläpito ja konfigurointi
- Tekniikka artefakteina³
 - *Kontaktiartefaktit*: kännykkä, auto, tietokone, haarukka, pusero, huulipuna, tietokoneohjelmistojen käyttöliittymät, ...
 - *Systeemiartefaktit*: tietoliikenneverkot, viemäriverkot, sähköverkot, teollisuuslaitokset, suunnittelujärjestelmät, tietokoneohjelmistot, ...

Rajanveto *tekniikka tieteenä* vs. *tekniikka toimintana* on jossain määrin mieltävaltainen mutta jaottelulla on koulutushistoriallinen pohjansa: *tekniikka tieteenä* = yliopistot ja teknilliset korkeakoulut, *tekniikka toimintana* = ammattikorkeakoulut ja ammatilliset oppilaitokset. Tekniikka voidaan määritellä edelleen tieteeksi, jossa yhteys artefakteihin määrittelee tieteen tekniseksi tieteeksi⁴. Jos yhteys häviää, tieteenala lakkaa olemasta tekninen tiede; säätötekniikka voi supistua matematiikan osa-alueeksi, biotekniikasta tulee yhteyden hävitessä biokemiaa tai biologiaa.

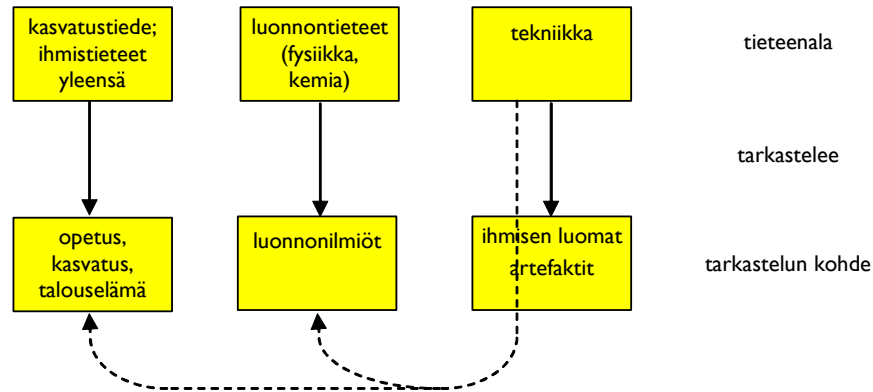
Ottamalla huomioon edellä esitetyt näkökohdat voidaan tieteiden järjestelmä alustavasti esittää seuraavan kuvan muodossa.

¹ Useat systeemiartefaktit (teollisuuslaitokset, sähköverkot) ovat perusluonteeltaan dynaamisia ja alati muotoaan muuttavia.

² Thomas Alva Edison kuvaa tekniikan tutkimusmetodeja seuraavasti: *Työ on 5-prosenttisesti inspiraatiota ja 95-prosenttisesti perspiraatiota*. Edison oli ensisijaisesti insinööri ei luonnontieteilijä.

³ Tätä tasoa maallikko kutsuu tekniikaksi, koska on fyysisesti nähtävissä ja koettavissa. Tätä tasoa voi, jos niin halutaan, kutsua myös *teknologiaksi*.

⁴ Tieteenala tekniikassa määrytyy tutkittavien artefaktien mukaan. Klassinen jaottelu on seuraava: (artefakti → tieteenala): koneet ja laitteet → konetekniikka; rakenteet → rakentamistekniikka; tuotantoprosessit → prosessitekniikka; sähköä käyttävät artefaktit → sähkötekniikka



Kuva 5. Tieteenalojen tarkastelun kohde¹

Tekniikan kannalta tarkasteltuna luonnonilmiöt ja myös ihmisen toimintaan liittyvät ilmiöt ovat kiinnostavia vain, jos ilmiöt liittyvät tarkasteltaviin artefakteihin. Esimerkiksi tuuli-ilmiönä (meteorologia) on muuttunut kiinnostavaksi uudelleen² siinä vaiheessa, kun on ruvettu valmistamaan tuulikäyttöisiä sähkövoimaloita; ihmisen tapa hahmottaa ympäristöään (psykologia) on muuttunut mielenkiintoiseksi vasta, kun on tullut tarve suunnitella käyttäjäystävällisiä kännyköitä ja automaatiojärjestelmien käyttöliittymiä.

Arkkitehtuuri muodostaa – teollisen muotoilun ohella – tekniikassa oman, erikoislaatuisen alueensa. Arkkitehtuuri on helpoin ajatella seuraavasti: ajatellaan jana, jonka toisessa päässä ovat tekniset artefaktit ja toisessa päässä taideartefaktit (taideteokset, musiikki). Arkkitehtuuri sijoittuu tälle janalle johonkin teknisten ja taideartefaktien välimaastoon. Teknisissä kontaktiartefakteissa muotoilu on usein kuitenkin keskeinen ominaisuus; ajatellaanpa vaikka tavallisia kulutuselektronikan tuotteita kuten kännyköitä ja kotistereita, joissa tekninen toteutus ja toiminnallisuus usein uhrataan muotoilun alttarille. Teollisissa teknisissä artefakteissa kuten teollisuuslaitoksissa (esim. integroidussa sellu- ja paperitehtaassa tai terästehtaassa) artefaktin taideominaisuuksiin ei yleensä kiinnitetä huomiota ja maallikko kokeekin nämä artefaktit yksikäsitteisesti ”rumina”.

Tätä raporttia varten voimme määritellä tieteiden järjestelmän tutkimuksen kohteen (ISOLLA) perusteella seuraavasti:

¹ Kullakin teknisellä tieteenalalla tarkasteltavien ja tutkittavien artefaktien sisältö ja muoto määrittelevät kyseisen koulutusohjelman (arkkitehtuuri, sähkötekniikka, kone-tekniikka) sisällön.

² Tietysti purjelaivojen aikakaudella tuuli muodosti hyvin keskeisen ilmiön.

Tieteet tutkivat ihmisen muodostamia käsiterakenteita – KÄSITERAKENTEET

- matematiikka¹, oikeustiede, filosofia, teologia, tietojenkäsittelytiede, ...

Tutkivat ihmistä ja hänen toimintaansa (ihmistieteet) - IHMINEN

- lääketiede, hoitotiede, psykologia, sosiologia, kasvatustiede, kauppatieteet, historia, kielitieteet, ...

Tutkivat luontoa ja sen ilmiötä (luonnontieteet) - LUONTO

- kemia, fysiikka, biologia, biokemia, geologia, ...

Tutkivat ihmisen tekemiä teknisiä artefakteja (tekniset tieteet) – ARTEFAKTIT

- Tekniikka - tieteistä vanhin²

4.2 Tieteiden välisiä suhteita

Tekniikka tieteenä on tieteistä ehdottomasti vanhin; mahdollisesti teologiaa voidaan pitää vielä vanhempana tieteenä. Jo tuhansia vuosia sitten pystyttiin konstruoimaan merkittäviä artefakteja ja systeemiartefakteja, esimerkiksi pyramideja, kastelujärjestelmiä, merikelpoisia laivoja, vesi- ja viemärijärjestelmiä, metallituotteita kuten koruja ja aseita sekä olutta ja viiniä. Näitä artefakteja voi pitää pelkästään insinööritaidon tuotteina, mutta taustalla on ollut hyvin syvälinen ymmärrys materiaaleista ja niiden ominaisuuksista kuten kestävydestä, virtaavien aineiden ominaisuuksista, epäpuhtauksista ja niiden haitallisista vaikutuksista, dynaamisista ja staattisista kuormista sekä tuotteiden prosessoinnista. *Miten tämä tietous on tuona aikana on saavutettu?* Ilmeisesti takana on ollut kokeellista tutkimusta tai tuotekehitystä, jota tavallisesti kutsutaan *yrityksen ja erehdyksen menetelmäksi*.

Tekniikasta on myöhemmin eronnut joitakin nykyisin keskeisinä pidettäviä tieteitä kuten fysiikka ja kemia; osaksi myös matematiikka. Tekniikka suhdetta muihin tieteisiin voi parhaiten havainnollistaa diplomi-insinöörikoulutuksen yleisen rakenteen avulla, joka on myöhemmin esitettävän *TSL-paradigman* mukainen.

¹ *Matematiikka ei ole luonnontiede*, joka selviää nopeasti mietittäessä, mikä on matematiikan tutkimuskohde.

² Kirjallisuutta lukiessa törmää jatkuvasti tilanteisiin, joissa jokin tiede väittää olevansa vanhin. Yleensä väitteet palautuvat siihen, minkä kukin tieteenala määrittellään tieteenksi.

- Perusopinnot
 - Teknisestä alasta riippuen kukin alla mainittu tieteenala on mukana erilaisella osuudella. Esim. matematiikan eri osa-alueet ovat eri tavalla edustettuina.
 - Tieteenalat: matematiikka, fysiikka, kemia, taloustieteet, kielet, työtiede, tietojenkäsittelytiede, ... (eri tekniikan aloilla eri tavalla edustettuina)
 - Perusopintoihin liittyvän opetuksen voi antaa kyseiseen tieteenalaan liittyvä koulutusyksikkö, esim. fysiikan laitos.
- Oman alan osaaminen
 - Pohjautuu perusopintojen osaamiselle, jonka päälle rakennetaan oman alan (esim. prosessitekniikka) osaaminen.
- Syventyminen oman tieteenalan osa-alueelle
 - Syventyminen esim. kemialliseen prosessitekniikkaan.
 - Tekninen pro gradu eli diplomityö.

Diplomi-insinöörikoulutus edellä esitetyllä tavalla on pitkällisen tradition tulosta. Koulutusajatus perustuu siihen, että ensin opetetaan ilmiöt (esim. reaktio) ja sen jälkeen ilmiöiden ilmentymät (esim. reaktori). Koulutuksessa on kuitenkin jouduttu muna-kana-dilemmaan. Ilmiöt eivät jäsenny opiskelijoiden maailmassa artefaktiyhteyden puuttuessa¹.

Seurauksena on *opetuksellista tyhjäkäyntiä*; ensin opetetaan ilmiöt ja sen jälkeen samat ilmiöt uudelleen artefaktiyhteydessään: virtausdynamiikan opettaja joutuu aloittamaan kurssinsa osittaisdifferentiaaliyhtälöiden opettamisella, vaikka opiskelijat juuri ovat käyneet differentiaaliyhtälöiden kurssin; teknillisen termodynamiikan opettaja joutuu aloittamaan kurssinsa fysikaalisen kemian kurssina, vaikka opinto-ohjelmassa on jo ollut fysikaalisen kemian kurssi; prosessien mallituskurssin opettaja joutuu käymään läpi eräitä matemaattisia muunnostekniikoita, joita opiskelijat juuri edellisenä vuonna opiskelivat matematiikan kurssilla.

Suomalaisessa teknisessä yliopisto-opetuksessa näkyy edelleen selvästi ajattelu tekniikasta luonnontieteiden soveltamisena. Tämä on niin syvälle iskostunut, että ajatus esitetään usein ollenkaan ajattelematta todellisuutta; esim. seuraavasti (Heiskanen 2002):

”On vain muutama perusilmiö ns. luonnonlaki, kuten aineen häviämättömyyden laki ja termodynamiikan II pääsääntö, sekä hieman suurempi joukko niistä johdettuja periaatteita, kuten esimerkiksi Ohmin, Fickin ja Faradayn lait; näiden perusilmiöiden ymmärtäminen on tekniikan hyväksikäytön kivijalka.”

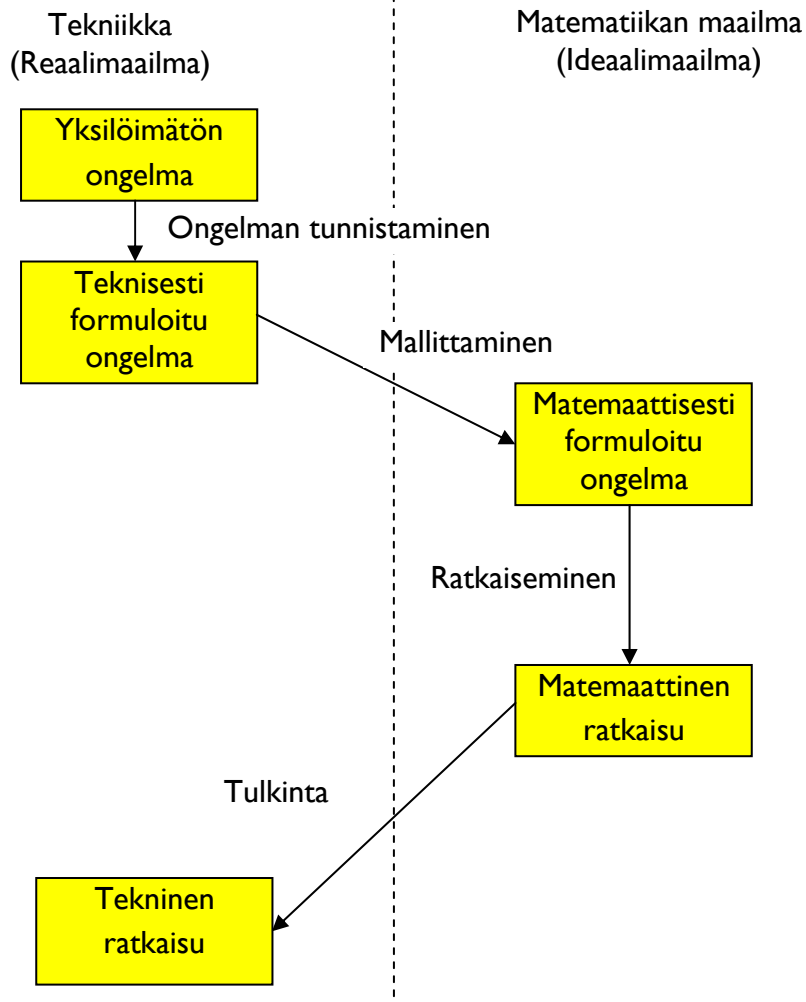
¹ Kasvatustieteen slangia käyttäkseni; *opetus ei noudata konstruktivistisen oppimiskäsitteksen periaatteita*. Konstruktioita yritetään rakentaa tyhjän päälle.

Voidaan olla Heiskasen kanssa samaa mieltä siitä, että *perusilmiöiden ymmärtäminen on tekniikassa keskeistä*; ilmiöiden ymmärtäminen ei kuitenkaan luo vielä ensimmäistäkään teknistä artefaktia kuten biotekniikan tutkijat ovat viime vuosina niin katkerasti havainneet tutkiessaan puhdasta idealisoitua ilmiömaailmaa.

Tekniikan suhdetta muihin tieteisiin leimaa muiden tieteiden käyttö työkaluina ja eräänlaisina aputieteinä. Tämä ei kuitenkaan tarkoita sitä, että tekniikka suhtautuisi jotenkin alentuvasti muihin tieteisiin vaan pikemminkin päinvastoin. Tekniikka tarvitsee omassa toiminnassaan muiden tieteenalojen tutkimustuloksia ja tutkimusmenetelmiä; tekniikka ei kuitenkaan voi sitoutua jonkin muun tieteenalan tiedekäsitykseen edellä kerrotuista syistä. Muissa tieteissä tekniikan kiinnostus kohdistuu kyseisten tieteiden tutkimustuloksiin ja ensisijaisesti niiden hyödynnettävyyteen. Voidaan todeta, että muut tieteet tarjoavat työkaluja teknisten ongelmien ratkaisuun. Tekniikalla on erityissuhde matematiikkaan, mutta matematiikkakin on vain yksi työkalu tekniikan ongelmien ratkaisussa. Suhdetta voi havainnollistaa seuraavasti:

- Tekniset tutkimusongelmat ovat usein niin laajoja, ettei niitä yritetäkään ratkaista kokonaisina vaan ongelmat palastellaan osaongelmiksi.
- Mikäli mahdollista, niin osaongelma formuloidaan matemaattiseen muotoon. Formulointi on pääsääntöisesti puutteellista, joka johtuu tarkasteltavien ilmiöiden puutteellisesta ymmärtämisestä. Ongelman ratkaisun oikeellisuutta tulee tarkastella tästä viitekehystä.
- Matemaattiseen muotoon formuloitu ongelma ratkaistaan matematiikan keinoin. Matematiikka tässä ei insinööriä kiinnosta *an sich* vaan matematiikkaa käytetään ratkaisun tuottavana työkaluna.
- Matemaattisesti ratkaistu ongelma on vielä tulkittava eli sen merkitys todellisessa tilanteessa arvioitava. Matemaattisesti oikea ratkaisu ei vielä tarkoita, että ratkaisulla olisi mitään käytännön merkitystä.

Jos piirrämme edellä esitetyn kuvan muotoon, saamme havainnollisen esityksen aiheesta:



Kuva 6. Ongelmanratkaisu tekniikassa matematiikkaa työkaluna käyttäen

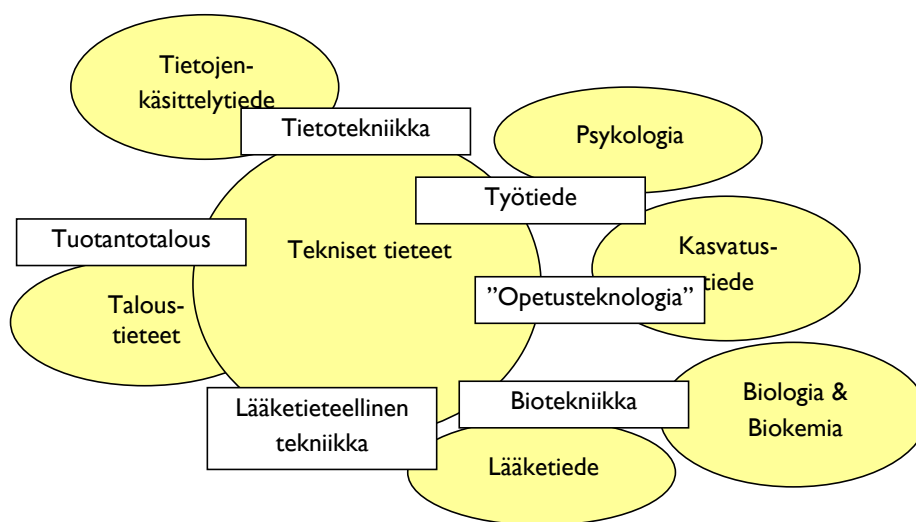
Tekniikan ongelmanratkaisun tarkastelu havainnollistaa tarkasti sen, *ettei tekniikka suinkaan ole eksakti tiede*. Tekniikka voidaan myös esittää tieteenä, joka keskittyy ongelmien ratkaisemiseen. Kuvassa 6 on esitetty tilanne, jossa tekninen ongelma ratkaistaan käyttämällä matematiikkaa työkaluna. Ongelmat tekniikassa esittäytyvät usein hyvin epämääräisinä asioina; ensimmäinen tehtävä on *ongelman tunnistaminen* ja sen muotoilu tekniseksi ongelmaksi. Mikäli työkaluna on matematiikka, niin seuraavana on edessä *kvalitatiivinen muunnos*, jota yleensä sanotaan mallittamiseksi. Mallittamisen tuloksena käsissämme on matemaattinen ongelma, joka voidaan ratkaista matemaattisesti.

Matemaattisen ongelman ratkaisu ei välttämättä vielä auta kokonaisuongelman ratkaisussa. Edellisissä vaiheissa tehdyn virheen vuoksi voidaan joutua palaamaan takaisin teknisesti formuloituun ongelmaan. Matemaattisen ongelman

ratkaisu on vielä tulkittava reaali maailman puolelle; tämä on myös *kvalitatiivinen muunnos*. Lopulta saadaan ratkaisu alkuperäiseen ongelmaan.

Edellä esitetystä ratkaisusta kriittisin vaihe on mallittaminen; jos kahdelle toisistaan tietämättömälle ryhmälle annetaan tehtäväksi saman monimutkaisen ongelman mallittaminen, niin lopputuloksena on kaksi erilaista formulointia. *Näin ei olisi, jos kvalitatiiviset muunnokset olisivat eksakteja.*

Perusteknisten tieteiden rajapinnoille on viime aikoina tieteiden integraation¹ kautta syntynyt joitakin teknisiä tieteitä, joista muutamia on kuvattu seuraavassa kuvassa. Taloustieteet ovat osaksi sisäänrakennettuja tekniikkaan; kaikkien artefaktien tekemiseen tarvitaan resursseja, joista tärkein on *raha*.



Kuva 7. Rajapintatieteet tekniikassa

Näiden rajapintatieteiden *tapa tehdä tiedettä* voi muistuttaa toisen tieteenalan tapaa, mutta tekniseksi tieteeksi sen tekee edellä mainittu yhteys artefakteihin. Tekniikka voidaan ymmärtää myös tieteeksi, joka tiettyjen taloudellisten, inhimillisten, lainsäädännöllisten, psykologisten, luonnontieteellisten ja biologisten rajoitusten puitteissa luo artefakteja; tavallaan *hakee artefaktin muodon ratkaisemalla rajoitetun optimoinnin ongelman*.

¹ Tieteiden integroitumisen taustalla voidaan nähdä tietynlainen *epistemologis-ontologinen muutos* todellisuuden käsittämisessä. Tämä muutos aiheuttaa jossakin määrin tieteiden välisten, osin keinotekkoisten, rajojen katoamista ja uudelleen määrittelyä.

Epistemologia: Tietoteoria; filosofian erityisala, jonka kohteena on tiedon alkuperän ja luonteen selvittäminen. **Ontologia:** Filosofian osa-alue, jonka kohteena on todellisuuden perimmäisen luonteen erittelemine. Käsitteellinen muutos liittyy usein muutoksiin siinä, millaisia olioita oletetaan olemassa olevaksi. *Määritelmät (Hakkarainen et al. 1999, 272 & 274).*

Tieteen ulkopuolella ja osin tieteen sisälläkin on tapana niputtaa tekniset tieteet ja luonnontieteet samaan nippuun *ja jopa ymmärretään tekniikka luonnontieteiden soveltamiseksi käytännön päämäärien saavuttamiseksi*. Kuten edellisestä esityksestä käy hyvin ilmi, tällainen ajattelu ei ole kovin hyvin perusteltua. Tekniikan ja luonnontieteiden välillä on eräitä merkittäviä eroja, jotka Sparkes (1993) on esittänyt; tässä esitän ne Harrisonin (1994) esittämässä muodossa alkukielellä.

Taulukko I. *Some differences between science and technology*

SCIENCE:	TECHNOLOGY (ENGINEERING):
Goal: The pursuit of knowledge and understanding for its own sake	Goal: The creation of successful artefacts and systems to meet people's wants and needs
<i>Key scientific processes</i>	<i>Corresponding technology processes</i>
Discovery (mainly by controlled experimentation)	Design, invention, production
<u>Analysis</u> , generalisation and the creation of theories	<u>Analysis and synthesis</u> of designs
<u>Reductionism</u> , involving the isolation and definition of distinct concepts ¹	<u>Holism</u> , involving the integration of many competing demands, theories, data and ideas
Making virtually <u>value-free</u> statements	Activities always <u>value-laden</u>
The <u>search for, and theorising about causes</u> (e.g. gravity, electromagnetism)	The <u>search for, and theorising about, new processes</u> (e.g. control, information, circuit theories)
Pursuit of <u>accuracy in modelling</u>	Pursuit of <u>sufficient accuracy in modelling</u> to achieve success ²
Drawing <u>correct conclusions</u> based on <u>good theories and accurate data</u>	Taking <u>good decisions</u> based on <u>incomplete data and approximate models</u>
Experimental and logical skills	Design, construction, testing, planning, quality assurance, problem-solving, decision-making, interpersonal and communication skills
Using predictions that turn out to be incorrect to falsify or improve the theories or data on which they were based	Trying to ensure, by subsequent action, that even <u>poor decisions turn out to be successful</u>

¹ Klassinen luonnontieteellinen koe pyrkii eristämään yksittäiset muuttujat ulkoisista "häiriötekijöistä" puhtaassa muodossa havainnoitavaan kausaaliasetelmaan. Tekniikassa tämä ei ole kovin järkevää, koska nämä "häiriötekijät" ovat osa tarkasteltavaa systeemiä.

² Tähän väliin pieni kasku, jonka minulle kertoi vastaväittäjäni, latvialainen professori *Jānis Grundspenkis*: Muinaisessa Neuvostoliitossa oli eräs professori, joka vaikutti Kiovassa. Professori oli ottanut elämäntehtäväkseen erään kemiallisen prosessin mahdollisimman tarkan mallittamisen. Kymmenen vuoden rankan työputken jälkeen prosessimalli oli valmis. Ainoa ongelma oli vain, että kahta vuotta aikaisemmin koko teollisuuslaitos oli lopettanut toimintansa ja mallia ei enää kukaan tarvinnut eikä ole tarvittu sen jälkeenkään.

Taulukkoa lukiessaan lukijan on syytä kiinnittää huomionsa alleviivattujen sanoihin ja niiden indikoimiin eroihin taulukon sarakkeissa; tekniikka ei suinkaan ole luonnontieteiden käytännön soveltamista vaan jotakin ihan muuta. Tekniikka tieteenä elää ja toimii *reaalimaailmassa*, jossa teorit on vietävä käytäntöön tai heitettävä roskeen, keskenään ristiriitaisista vaatimuksista pitää tehdä toimiva kokonaisuus, aikaa ja rahaa tutkimuksen tekemiseen on rajoitusti, päätöksenteko ja mallit perustuvat epämääräiseen ja epäluotettavaan tietoon ja jossa ihmisten omat rajoitukset ovat arkipäivää. Lyhyesti Harrisonia (1994, 238) siteeraten: *Science is about building up knowledge; technology is about getting things made.*

4.3 Esimerkkiartefakti

Esimerkkiä käyttämällä voidaan havainnollistaa edellä esitetty ajatusrakennelma. Jotta tarkastelu olisi tekninen, tulee artefaktinkin olla todellinen. Oteetaan esimerkiksi eksoterminen panosreaktori prosessiteknikan alueelta (Luyben 1990, 58):

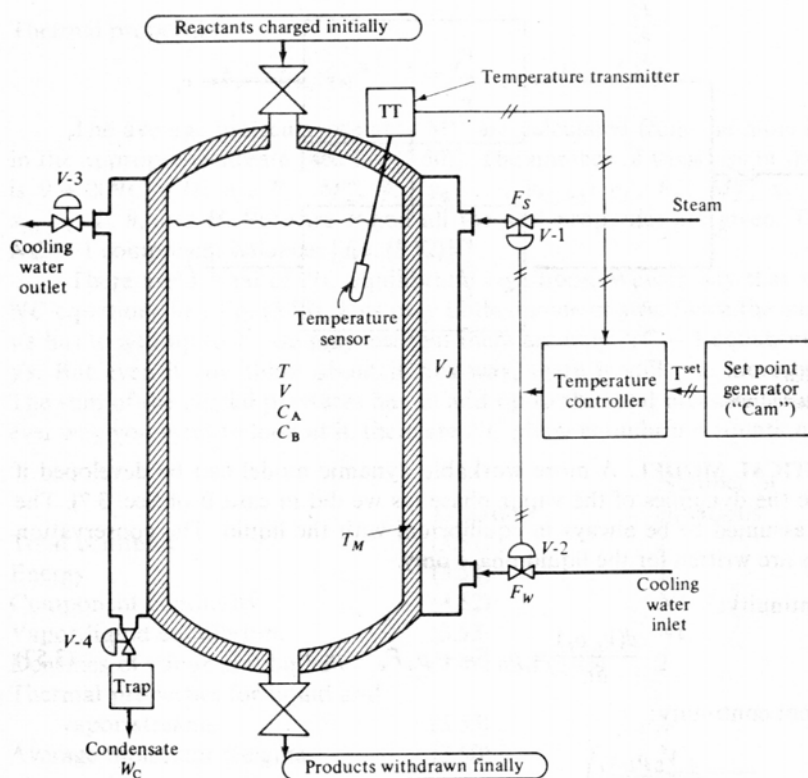


FIGURE 3.9
Batch reactor.

Kuva 8. Panosreaktori

Panosreaktori¹ on hyvä esimerkki, koska se on monimutkainen teknillinen artefakti. Luonnontieteilijän, vaikkapa kemistin, mielenkiinto ja helposti tutki-
muskohteeksi muodostuva asia on reaktorissa tapahtuva reaktio²; luonnontieteilijä pyrkii tieteenalansa mukaisesti redusoimaan. Tekniikan alan edustajan – tässä tapauksessa prosessi-insinöörin – mielenkiinto kohdistuu reaktoriin, joka on kokonaisuus ja edellyttää holistista näkökulmaa. Panosreaktorissa vaikuttavat ilmiöt ovat hyvin monipuolisia ja monimutkaisia ja tässä tilanteessa ilmiöitä tulee tutkia ja tarkastella artefaktiyhteydessään eikä pelkästään redusoituina ilmiöinä laboratoriossa.

Artefaktiyhteydessä ilmiöiden tarkastelu on aina jossakin määrin puutteellista, koska reaali maailma ei ole sama kuin luonnontieteiden ideaalimaailma³. Tekniikassa joudutaan usein tästä syystä tunnustamaan, että useista ilmiöistä, esim. masuunin lämmönsiirrosta, ei ole olemassa tarkkaa tietoa; on olemassa vain sellaista tietoa, jonka avulla masuunia voidaan käyttää⁴.

Esitetyn panosreaktorin tutkimusta, suunnittelua, toteutusta ja käyttöä varten prosessi-insinööri tarvitsee runsaasti koulutusta. Hänen on ymmärrettävä reaktoriin liittyvä fysikaalis-kemiallis-tekninen ilmiömaailma, hallittava artefaktin suunnittelu⁵ automaatiojärjestelmien, hallittava toteutusprojekti henkilösuhteineen, artefaktin käyttö ja ylläpito sekä jatkokehitys. Lisäksi kaikki pitäisi tehdä kustannustehokkaasti. Lyhyesti voidaan todeta prosessi-insinöörin olevan tässä tilanteessa kemisti, fyysikko, matemaatikko, ekonomi, psykologi, jne.; *lyhyesti sanottuna insinööri*.

Kuvan 8 artefakti on yksi prosessitekniikan artefakteista. Muita tämän alan artefakteja ovat mm. keittimet, kuljettimet, paperikoneet, lämpövoimalaitokset, lämmönjakelujärjestelmät, jne. Kutsutaan tätä laajempaa artefaktien joukkoa prosessitekniikan artefaktijoukoksi. Tarkasteltaessa tähän artefaktijoukkoon liittyvää ilmiömaailmaan, voidaan tätä kautta suunnitella kyseisen alan koulutusohjelma; *suunnitelma alan insinöörin kouluttamiseksi (Opinto-opas 2002-2004)*.

Eri tekniikan tasoilla näitä artefakteja käsitellään eri tavalla. Ammatillisesta oppilaitoksesta valmistuvan prosessinohitajan ei tarvitse syvällisesti ymmärtää

¹ Toinen hyvä esimerkki teknisestä artefaktista on kännykkä, jonka maallikko helposti mieltää itsenäiseksi artefaktiksi. Todellisuudessa kännykkä on vain päätelaite (systemi artefaktin itsenäiseltä näyttävä osa), joka on pieni osanen laajasta tietoliikenneverkosta; kännykällähän ei itsessään tee mitään.

² Pelkän reaktion tarkastelu voi olla vain 10 % koko reaktoriproblematiikasta.

³ Ideaalimaailman keksiminen on kuitenkin eräs tieteen suurimpia innovaatioita; kiitos kuulunee *Platonille*.

⁴ Tekniikan alan ammattilaisten ulkopuolella ollaan usein hämmästyneitä siitä, että teknisen artefaktin ilmiömaailma saattaa olla hyvinkin heikosti tunnettu. Tämä ei tekniikassa välttämättä ole mikään ongelma; *riittää kun artefaktin ilmiömaailma pystytään hallitsemaan*; eihän auton ajajankaan tarvitse tietää miten auto toimii.

⁵ Suunnitteluprosessin ja suunnittelun keskeisyys on merkittävin tekniikan muista tieteistä erottava seikka. (de Vries 1996, 11)

artefaktin ilmiömaailmaa vaan hänelle riittää toiminnallinen ymmärrys, joka taas riittää laitteen käyttöön. Amk-tasolta valmistuvan insinöörin koulutus tähtää toiminnallisen tason yläpuolelle eli konfiguraatiotason toimintaan; amk-insinööri pystyy muuttamaan olemassa olevan artefaktin toimintaa. Uusien artefaktien luomien ja ilmiömaailman syvälinen ymmärrys vie meidät jo yliopistotason koulutukseen. Samanlainen koulutusrakenne on nähtävissä kaikilla tekniikan tasoilla esim. rakentamistekniikassa.

5 Uutta paradigmaa etsimässä

*For every complex problem,
there is a solution that is simple, neat, and wrong.*
Henry Louis Mencken

Palataan aluksi *tekniikka sovellettuna luonnontieteenä (TSL)* –paradigmaan. Raportin alussa todettiin, että ajatus on todennäköisesti peräisin Francis Baconilta. Tieteessä ajatuksilla on tapana elää usein pelkästään sen perusteella, että ajatuksen alkuperäinen esittäjä oli jollakin alueella huomattava tiedemies. Usein kuitenkin unohdetaan, että kyseinen henkilö ei ollut mikään yleisnero vaan esittämänsä ajatuksen alalla mahdollisesti jopa diletantti¹.

Baconilta peräisin olevaa paradigmaa vastaan esitetään jatkuvasti kritiikkiä. Kirjallisuudessa esitetään jopa käsityksiä, joissa *tekniikka edeltää luonnontieteitä* (de Vries 1996). Historialliselta kannalta näin onkin, koska useimmat luonnontieteet ovat syntyneet suhteellisen myöhään². Seuraavassa muutamien luonnontieteiden syntyhistoriaa:

Kemia: Kemian taustalla on keskeisesti alkemistien toiminta keskiajalla. Vasta 1700-luvun lopulla (Lavoisier) ja erityisesti 1800-luvun alussa (Avogadro, Joule) kemia muuttui systemaattiseksi tieteeksi³.

Orgaaninen kemia: Ajatuksen orgaanisesta kemiasta esitti ruotsalainen kemisti Jöns Jakob Berzelius (1779-1848) noin 1810. Vuonna 1827 Berzelius kirjoitti yleiskatsauksen orgaanisesta kemiasta.

Fysiikka: Fysiikan synty voidaan liittää Isaac Newtoniin⁴ (1643-1727) mutta vasta 1800-luvulla fysiikka kehittyi nykyisen kaltaiseksi tieteeksi. Klassinen fysiikka (ennen 1900-lukua) jakaa fysiikan ilmiöiden mukaan mekaniikkaan, lämpöoppiin, äänioppiin, valo-oppiin, sekä sähkö- ja magnetismioppiin⁵. Moderni

¹ Kouluesimerkki tästä on koko keskiajan vallinnut käsitys Aristoteleen oppien oikeellisuudesta. Vuosisatoihin kukaan ei vaivautunut tarkistamaan edes yksinkertaisimpien asioiden paikkaansapitävyyttä. Samanlainen halvaannuttava vaikutus tieteen kehitykseen on ollut Sigmund Freudin ajatusrakennelmissa pitäytyminen; tästä seurauksena on kasvatusalalla vallinnut huonosti perusteltu vanhempien syyllistäminen jälkeläistensä ongelmista.

² Tekniikan ja luonnontieteiden välinen problematiikka on laaja historiallisessa mielessä; ks. esim. (Dorn & McClellan 1999).

³ Ks. esim. <http://dbhs.wvusd.k12.ca.us/Chem-History/Classic-Papers-Menu.html> - 06.10.2003

⁴ Ks. esim. <http://www-gap.dcs.st-and.ac.uk/~history/Mathematicians/Newton.html> - 06.10.2003

⁵ Fysikoille usein tuottaa vaikeuksia ymmärtää, että tekniikassa ollaan kiinnostuneita fysiikan tutkimustuloksista ja fysiikan osa-alueista *vain, jos ne jollakin tavalla liittyvät tek-*

fysiikka syntyi Albert Einsteinin suhteellisuusteorian ja kvanttimekaniikan myötä noin sata vuotta sitten.

Voidaan lyhyesti sanoa, että ns. *kovat luonnontieteet syntyivät 1800-luvulla teollisen vallankumouksen jälkeen*. Teollinen vallankumous sijoitetaan yleensä 1700-luvulle, jolloin syntyi kaksi merkittävää teknistä innovaatiota: höyrykoneen keksi noin vuonna 1705 englantilainen *Thomas Newcomen* (1663 - 1729) kairospumppujen voimalähteeksi ja *James Hargreaves* (n. 1720-1778) kehitti 1764 käsinpyörítettävän kehrukoneen eli *Kehruujennyn*. Hargreavesin kuollessa Kehruujennyjä oli käytössä yli 20 000.

Teolliseen vallankumoukseen liittyvä koneiden ja laitteiden sekä ilmiömaailman tuntemuksen tarve ilmeisesti oli keskeisenä synnä siihen, että luonnontieteet kehittyivät niin voimakkaasti 1800-luvulla. Jostakinhan tutkimusrahoitukseen tuolloinkin täytyi rahat löytyä; *Louis Pasteur*inkin, jota pidetään mikrobiologian isänä, suurin tutkimustulos eli *pastörinti* syntyi puhtaasti tilaustutkimuksen tuloksena 1860-luvulla Ranskan viiniteollisuuden rahoittamana.

Tässä raportissa voisi tätä aihetta käsitellä pitemmältikin, mutta riittänee, kun lyhyesti toteaa, että *TSL-paradigma ei ole historiallisessa katsannossa paikansa pitävä*. Seuraavaksi voidaan tarkastella, onko TSL-paradigma koulutuksellisesti mielekäs, vaikka se ei historiallisesti sitä olekaan.

Eräät koulutushistorialliset syyt ovat keskeisiä syitä siihen, että tekniikkaa opetetaan ikään kuin se olisi sovellettua luonnontiedettä (de Vries 1996). Pari esimerkkiä aiheesta:

Oulun yliopiston syntyaikoina ei haluttu panostaa, ilmeisesti kustannussyistä, tekniikan opetukseen kovinkaan paljon. Ratkaisuksi muodostettiin kaksivaiheinen koulutus: aluksi suoritettiin luonnontieteiden kandidaatti –tutkinto filosofisessa tiedekunnassa ja vasta tämä jälkeen siirryttiin opiskelemaan teknilliseen tiedekuntaan. Pedagogisena ajatuksena, jos sellaista tästä voi ollenkaan löytää, oli TSL-paradigma. Kirjoittajan aloittaessa opinnot teknillisessä tiedekunnassa vuonna 1976 opiskelemaan tultiin teknilliseen tiedekuntaan, mutta kaksi ensimmäistä vuotta opiskeltiin edelleen kemiaa, fysiikkaa ja matematiikkaa luonnontieteellisessä tiedekunnassa. Huomionarvoista tässä on se, että alkuaikojen poikkeusratkaisusta olikin tullut standardiratkaisu; ratkaisun toimivuudelle ei oltu juuri ajatuksia uhrattu. Vielä nykyisessäkin koulutusohjelmassa (Opinto-opas 2002-2004) ajatus tekniikasta sovellettuna luonnontieteenä näkyy selkeästi. Omasta opiskelujastani muistan, että kaksi ensimmäistä opiskeluvuotta olivat erityisen vaikeita, koska asiat opetettiin luonnontieteellisen ajatusmaail-

nisiin artefakteihin. Kirjoittajan edustama tekniikan tieteenala on kiinnostunut pääasiassa lämpöopista ja jossakin määrin mekaniikasta. Muut klassisen fysiikan alueet eivät ole erityisemmin mielenkiintoisia. Moderni fysiikka ei ole kirjoittajan tieteenalalla juurikaan hyödyllinen. Nykyfysiikka hypoteettisine luomuksineen (esim. alkuräjähdyksen) alkaa olla jo aika kaukana tekniikan artefaktimaailmasta ja myöskin omasta tutkimuskohteestaan; seurauksena on ollut muutamia meheviä tieteellisiä skandaaleja fysiikassa viime vuosina.

man lähtökohdista reduktionistisesti¹ ja ilman artefaktiyhteyttä. Lyhyesti sanottuna kyse ei ollut tekniikan opetuksesta ja myöhemmissä opinnoissa kognitiivinen muutos luonnontieteilijästä insinööriksi vaati runsaasti aikaa.

Luonnontieteiden opetus peruskoulussa näyttää ainakin lehtitietojen (Kankaala 2001) perusteella yhä perustuvan tekniikan kannalta huonosti toimivaan ratkaisuun; kemia, fysiikka ja matematiikka (ja myös biologia) opetetaan erillisinä aineina. Luonnontieteiden opetus nykymuodossaan on hyvin abstraktia (de Vries 1996), jossa oppilaiden on hyvin vaikea yhdistää opetettua tietoa aineista heidän jokapäiväiseen elämäänsä. Ratkaisuna tähän ongelmaan käytetään seuraavanlaista lähestymistapaa (de Vries 1994, 1996): *Science education for many years used to be a rather abstract subject where it was difficult for pupils to recognize the relationship between the knowledge that was taught in science lessons with their daily life. This relationship is found mainly through the technological products they find all around them and therefore a trend emerged in science education to show how scientific knowledge was applied in technological products². When one considers the course material that resulted, one can easily recognize the "technology is applied science" paradigm.* Kirjoittaja on itsekin ollut tämän tyyppisen opetustoiminnan kohteena. Huomionarvoista tässä on se, että luonnontieteiden opetuksen havainnollistamiseen käytetty opetuksellinen ratkaisu on ymmärretty todellisuuden mallina.

Voidaan lyhyesti todeta, että TSL-paradigma on opetuksen käytännön toteuttamisen kannalta jossakin määrin perusteltavissa mutta tapa johtaa helposti opiskelijoiden kognitiivisiin ongelmiin, koska opetus ei ole konstruktivistisesti mielekäs.

Opiskelijoiden keskuudessa vanhan paradigman ongelmat ovat selkeästi koettuja (esim. Vesikukka 2002, Pajarre 2002) mutta tämäntyyppisissä tutkimuksissa on oletettu, että paradigma sinänsä on oikea; ongelmat aiheutuvat vain sen huonosta toteutuksesta. Vähemmälle huomiolle on jäänyt se, että paradigma sinänsä on väärä ja aiheuttaa tätä kautta jatkuvasti ongelmia, jotka eivät poistu opinto- ja hallinnollisin toimin.

Yliopistoista valmistuvat diplomi-insinöörit menevät hyvin monenlaisiin tehtäviin. Ensimmäiset työtehtävät ovat usein tutkimus tai tuotekehitystehtäviä yliopistoissa, teollisuuslaitoksissa tai tutkimuslaitoksissa. Työvuosien karttuessa voidaan sijoittuminen työtehtäviin luokitella seuraavasti.

Teollisuus. Insinööri- ja taustaisia henkilöitä on teollisuudessa monenlaisissa tehtävissä: tutkijoina teollisuuden tutkimusyksiköissä, tuotantoinsinööreinä, myynti-insinööreinä, eri tasoissa johtajina, asiantuntijoina ja suunnittelijoina.

¹ Jos alkuperäinen koulutustausta on luonnontieteellinen, niin irtautuminen reduktionistisesta ajattelusta holistiseen ajatteluun tuottaa suuria vaikeuksia. Kyseessä on käsitteellisen muutoksen ongelma (Hakkarainen et al. 1999, 94-95).

² Ajatusmalli näyttäytyy usein lehdissä: kuulentojen toteutuminen ja ihmisen käyminen kuussa on esitetty luonnontieteiden riemuvoittona. Todellisuudessa kyse on ollut insinööriosaamisen riemuvoitosta.

Julkinen sektori. Valtiot ja kunnat tarvitsevat erilaisiin teknisiin suunnittelu-, johto- ja käyttötehtäviin insinöörejä, esim. rakennusalan asiantuntijoita. Tällä sektorilla korostuu viranomaistoiminta.

Opetus ja julkinen tutkimus. Opetussektori (yliopistot, ammattikorkeakoulut ja ammatilliset oppilaitokset) tarvitsee suuria määriä erilaisia opettajia. Korkeakouluissa tehtävä tutkimustyö on volyymiltaan suurta ja kasvavat tohtorikoulutusvaatimukset tekniikan alalla lisäävät tätä tarvetta.

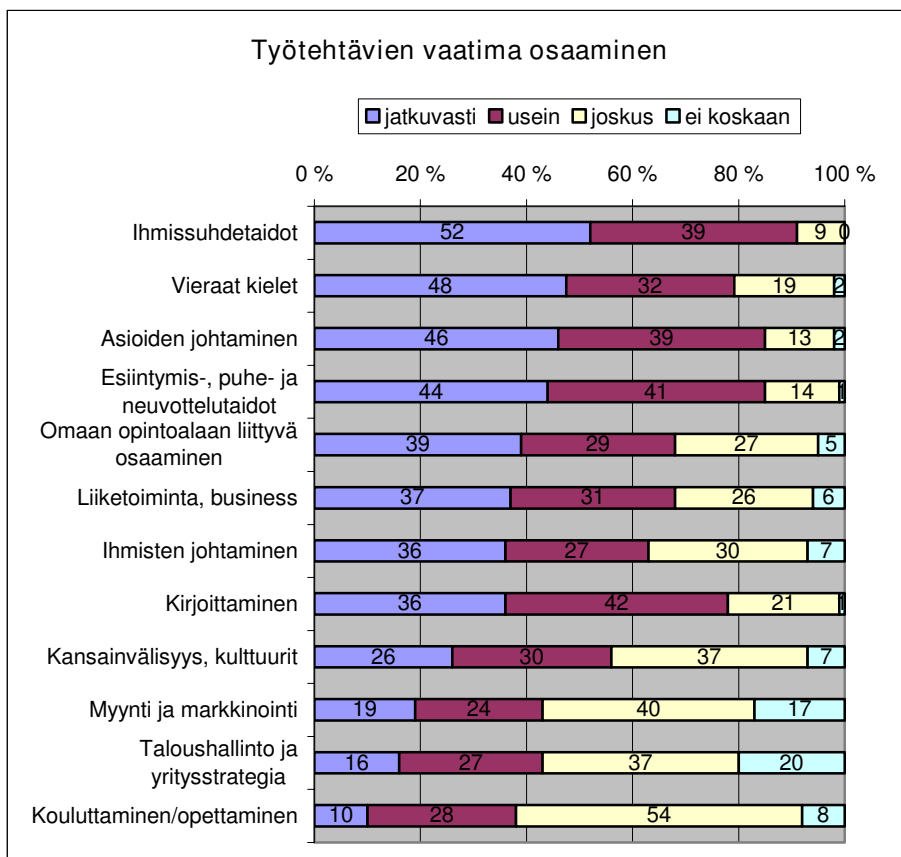
Kullakin sektorilla on omat, toisistaan poikkeavat, osaamisprofiilinsa. Tarkastellaan näistä profiileista kansainvälisen teollisuusyrityksen insinöörin profiilia.

Koulutuksen tarkoitus kaikilla tasoilla on tuottaa kompetensseja joko seuraavaa kouluastetta tai työelämää varten. Teollisuuden palveluksessa olevan diplomi-insinöörin osaamisprofiilin voisi kuvata Storaenson Oulun tehtaiden tehtaanjohtajan Juha Vanhaisen sanoin seuraavasti (Raudaskoski 2002):

”Insinöörin perusosaamiseen kuuluu kyky yhdistää luonnontieteitä, tekniikkaa ja taloutta. Vahvan teknisen osaamisen lisäksi kielitaito, sosiaaliset kyvyt, kriittinen analysointi ja uuden luominen, laaja-alaisuus, kokonaisuuksien ymmärtäminen, johtamistaito sekä erilaisten kulttuurien ymmärtäminen ja tunteminen. Riskinotto-, paineensieto- ja päätöksentekokykyä vaaditaan niinkään. Itse asiassa tekniset taidot jäävät nykyvaatimuksissa vähemmistöön.”

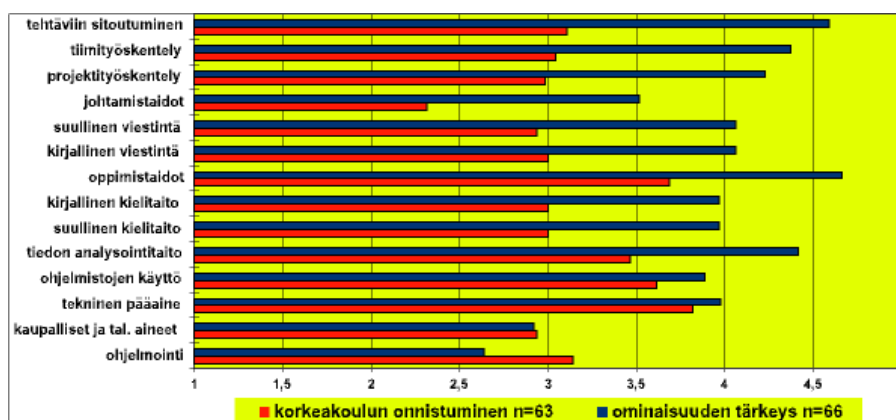
Myös tekniikan akateemisten järjestö TEK¹ on selvittänyt yliopistokoulutuksen saaneen tekniikan osaajan osaamisvaatimuksia. Osaamisvaatimukset voidaan esittää seuraavasti (Keski-Heikkilä 2002, 8):

¹ <http://www.tek.fi/> - 06.10.2003



Kuva 9. Teollisuusinsinöörin profiili

TEKin teettämä tutkimus osaksi toistaa Vanhaisen esittämiä ajatuksia. Kuvan 9 taitojen luettelo kuvaa nykyaikaisen insinöörin osaamista, jossa *tekniikan alan osaaminen on vain yksi osaamisalue muiden joukossa*. Jos mielessään kuvittelee pyramidien rakennusprojekteja muinaisessa Egyptissä, niin osaamisprofiili on kaikesti ollut ihan sama kuin nykyisin. TEK on myös tehnyt vuonna 1996 selvityksen aiheen tiimoilta; selvityksessä tarkastellaan työpaikan saannin kannalta tärkeitä ominaisuuksia.



Kuva 10. Työpaikan saannin kannalta tärkeät ominaisuudet¹

Diplomi-insinöörien kouluttajat onnistuivat parhaiten seuraavien ominaisuuksien kohdalla (Jaako & Nelo 2002): *tekninen pääaine, oppimistaidot, ohjelmistojen käyttö, tiedon analysointitaito ja ohjelmointi*. Huonoiten onnistuttiin seuraavissa osioissa: *tehtäviin sitoutuminen, tiimityöskentely, projektityöskentely, johtamistaidot ja suullinen viestintä*. Mitä seurauksia edellä esitetyllä on opetuksen kannalta? Selvästikään opetuksen painopisteet eivät aivan vastaa työelämän tarpeita. Tekninen pääaine, jossa ajatuksellinen sitoutuminen luonnontieteisiin näkyy selkeimmin, opetetaan parhaiten.

Työelämän kompetensseja on pohtinut myös nyt jo eläkkeellä oleva Teknillisen korkeakoulun rehtori Paavo Uronen seuraavasti (Uronen 2002):

”Diplomi-insinöörinkoulutus on monien uusien vaatimusten ja haasteiden edessä ja julkinen keskustelu on nostanut esiin lähinnä vaatimukset opiskeluajan lyhentämisestä ja yliopisto-opintojen aloittamisen varhentamisesta valintajärjestelmiä kehittämällä. Kieltämättä nämä ovat ongelmakohtia. Itse pidän huomattavasti tärkeämpänä diplomi-insinöörien opintojen rakenteellista ja sisällöllistä kehittämistä. Harkinnan arvoista olisi myös klassiseen teollisuusalaalähtöiseen ajatteluun perustuvien koulutusohjelmien arviointi; tarvitaanko niitä edelleen vai voisiko lähteä geneerisistä tekniikoista tai funktionaalista tarpeista rakentamaan uusia ohjelmia.”

Uronen ei tarkemmin spesifioi näitä geneerisiä tekniikoita ta funktionaalisia tarpeita. Uronen on kuitenkin omassa kirjoituksessaan kiinni edelleen *TSL-paradigmassa*²:

”Sisällöllisistä tarpeista lähtökohtana täytyy olla edelleen vankka matemaattis-luonnontieteellinen perusta; siitä ei pidä tinkiä. Koulutusohjelmien sisällön

¹ Huomionarvoista on, ettei korkeakoululaitos suoranaisesti epäonnistu missään osiossa.

² Kirjoittajankin ajattelu oli vielä vastikään samassa jamassa, ks. esim. (Nelo et al. 2003)

rakentamisessa pitää pyrkiä laaja-alaisempaan ja analyyttisempään näkemykseen. Kestävä kehitys, arvoketjut, teknologian vaikutukset ja arviointi ovat tärkeitä. Talouteen, johtamiseen ja humanistis-yhteiskunnallisiin aiheisiin liittyviä opintoja sekä vuorovaikutustaitoja pitää voida ainakin valinnaisina sisällyttää nykyistä enemmän diplomi-insinööritutkintoon.

Sekä työnantajien että koulutusorganisaatioiden puolella on selkeästi tiedotettu nykyisen diplomi-insinöörikoulutuksen puutteet. Voidaankin todeta, että *työelämäkompetenssien tuottamisen kannalta TSL-paradigma ei ole täysin toimiva*¹, koska se johtaa *suppeaan käsitykseen insinööriydestä*.

Voidaan lyhyesti todeta, että *TSL-paradigma* on useallakin tavalla ongelmallinen; se ei vastaa *historiallista todellisuutta*, se ei ole *pedagogisesti mielekäs* (vaikkakin koulutuksen organisoinnin kannalta usein järkevää) eikä tuota tarvittavia kompetensseja. De Vries (1996) pohtii tekniikan alan opetusta tekstissään *Technology Education: Beyond the "Technology is Applied Science" Paradigm*. Hän kiinnittää erityisesti huomiota usein unohdettuun asiaan: tekniikka ei ole tieteenalana mitenkään yhtenäinen ja eri tekniikan alueilla liittyvät muihin tieteisiin ovat joko hyvin voimakkaita tai hyvin heikkoja. Tekniikan erityispiirteitä ovat mm. laadun käsite, suunnitteluprosessin keskeisyys ja innovatiivisuus. Luonnontieteellisen tiedon rooleja tekniikassa on Layton (1993) kuvannut seuraavasti:

Layton has indicated the various roles science can play for technology:

As a cathedral of fundamental research, from which experimental and quantitative methods for investigation and mathematical modeling can be drawn.

As a quarry, from which scientists can pick out items they think they can use.

And as a company store, in which more dedicated "products" are provided for technologists.

Laytonin kuvaus vastaa aika selkeästi kirjoittajan käsitystä tekniikan ja luonnontieteiden suhteesta.

¹ Tulevaisuuden kompetensseista ovat kirjoittaneet esim. (Yrjänheikki & Takala 2001)

6 Uusi paradigma

*Do not condemn the judgement of another
because it differs from your own.
You may both be wrong.*
Dandemis

De Vries (1996) on sitä mieltä, että siirtyminen *TSL-paradigmasta* kohti uutta tekniikan opetuksen paradigmaa on vaikeaa. Samassa yhteydessä de Vries (*ibid.*) muistuttaa, että nykyajan tekniikkaa ei - ainakaan yliopistotasolla - voi myöskään opettaa siten, etteivät luonnontieteet muodosta mitään osaa opetuskokonaisuudesta. Ratkaisu tekniikan pedagogiseen ongelmaan löytynee jostakin välimaastosta. Hyvin pitkään esim. Oulun yliopistossa on pohdittu ammattiaineiden siirtämistä mahdollisimman aikaiseen opiskeluvaiheeseen ja täten ainakin osaksi siirryttäisiin *tekniikka ensin, luonnontieteellinen ilmiömaailma jälkeensä* -ajatteluun. On olemassa voimakasta evidenssiä siitä, että tämä luonnontieteellinen ilmiömaailma tulisi opettaa artefaktiyhteydessään eli juuri niissä yhteyksissä, jossa ne opetusohjelmassa ovat. Ajatuksen, ainakin jollakin tasolla, esittää myös Heiskanen (2002):

”Opetuksen houkuttelevuuden, kaksivaiheisen tutkinnon¹ ja mm. kesätyöpaikkojen saannin vuoksi opettajat suunnittelevat ja opiskelijat haluavat ammattiaineita tutkinnon aikaisempiin vaiheisiin. Jälleen tässä on kysyttävä: ”Miten tasapaino hoidetaan?” Matematiikan, fysiikan, kemian, termodynamiikan ym. perusaineiden osaaminen on välttämätöntä samoin kuin ammattiaineiden teoriaperusteiden osaaminen. Haaste on limittejä ne siten, että *uuden oppiminen rakentuu jo opitulle.*”

Lukija huomaa, että konstruktivistinen oppimiskäsitys alkaa hyvin voimakkaasti tunkeutua tekniikan yliopisto-opetuksen suunnitteluun. Vielä on kuitenkin matkaa siihen, että koulutusta suunniteltaisiin työelämäkompetenssien ehdoilla. Heiskanen (*ibid.*) jatkaa edelleen tekniikan opetuksesta:

”Olemme itse todenneet, että ongelman ratkaisukyky ja uuden osaamisen luomisen kyky on saavutettavissa alan perusilmiöiden ja -prosessien tuntemuksen, matematiikan, fysiikan ja kemian taitojen hallinnan ja ymmärtämisen avulla. Tässä meidän on oivallettava, että *ongelman ratkaisukyky tulee opettaa vähitellen ja sitä pitää harjoitella paljon.*”

Tekniikan opetuksen tulevaisuudesta Heiskanen (*ibid.*) toteaa seuraavaa:

¹ ks. esim. Huttunen (2003)

² Tekniikan yliopisto-opetukseen alkaa yhä enemmän tulla ominaisuuksia Deweyn *Learning by Doing* -ajattelusta.

”Hyvin palvellutta diplomi-insinöörikoulutusta on uudistettava vastaamaan tulevien vuosikymmenten haasteita. Suunta ei voi pelkästään olla kohti erilaisten oppiaineiden lisäämistä vaan *kohti yhteisesti mietittyä mallia, jossa opetetaan johdonmukainen tapa ajatella ja toimia*. Tavoitteena on tehdä se yhteistyössä teollisuuden kanssa. Perusasioille tulee varata riittävästi aikaa kypsyä ymmärrykseksi opettamalla ne nousujohteisesti riittävän monta kertaa.”

Luonnontieteellinen ilmiömaailma ja sen ymmärtäminen on keskeinen nykyaikaisen tekniikan kannalta, mutta *on syytä kysyä, pitääkö insinöörin koulutuksen lähteä luonnontieteilijän peruskoulutuksesta*.

*Mistä suunnasta pitäisi etsiä uutta tekniikan pedagogiikan paradigmaa?*¹ Yliopisto-opetukseen liittyvät ongelmat eivät ole pelkästään tekniikan ongelmia vaan esim. lääketieteen puolella problematiikka on ollut sama; lääketiede on kuitenkin ratkaisussaan paljon tekniikkaa pidemmällä. Jorma Enkenberg (1999) kirjoittaa seuraavaa (kursivointi ja poistot kirjoittajan):

Helsingin Sanomien kuukausiliitteen toukokuun 1999 numerossa professori *Jorma Palo* pohtii kysymystä, kuinka tulla lääkäriksi. Artikkelissaan Palo kuvaa muutosta, joka lääkäreiden koulutuksen pedagogiikassa on tapahtunut muutaman viime vuoden aikana Helsingin yliopistossa. Yliopisto-opettajasta on tullut mentori ja tutori, luento-opetus on poistunut lähes kokonaan, opiskelu tapahtuu ryhmissä ja *oppiminen ankkuroidaan aitoon, realistiseen ongelmaan*.

Lääkäreiden koulutuksessa tapahtunut *muutos kertoo jostain syvemmällä olevasta, yliopiston toimintaa koskevasta probleemasta*. Opetuksen laatu on muodostunut probleemaksi. Koulutus ei tuota sellaista osaamista, jota työelämä odottaa. Monimutkaistuva maailma edellyttää asiantuntijoilta syvällistä osaamista, taitoa ratkoa eteen tulevia ongelmia sekä kykyä kehittyä jatkuvasti työssään. Yliopistoissa normaalisti toteutettavat opetussuunnitelmat eivät näytä edistävän riittävässä määrin taitavan käyttäytymisen kehittymistä opiskelijoissa. *Opintoviikot eivät muutu laaduksi. Mutta mitä voisi olla tämä uusi laatua tuottava pedagogiikka?*

Tähän saakka *korkeakoulupedagoginen kehitystyö on yrittänyt ottaa mallia niistä pedagogista ideoista ja kokeiluista, joita yleisivistävässä opetuksessa ja ammattikorkeakoulussa on syntynyt*. Sen seurauksena opetusta on monimuotoistettu ja siirretty soveltamaan ns. aktiivisia työtapoja. Vain harvoin on kajottu opetuksen

¹ Yliopisto-opetuksen tiedepohjaisuus ja sen vaikutus vastaavaan opetukseen jää usein miten tiedostamatta. Vastikään ilmestynyt *Yliopisto- ja korkeakouluopettajan käsikirja* (Lindblom-Yläne & Nevgi 2002) ei lähde, niin kuin olettaa sopii, liikkeelle tiedepohjalta vaan tarkastelu on perinteinen. Kirjoittajat (*ibid.*) toteavat, että *”mielectämme yliopisto- ja korkeakouluopettajilta on puuttunut suomalainen yliopisto-oppimisen käsikirja”*; kirjaan tutustumisen ja painotusten tutkailun jälkeen voi todeta, että tällainen kirja puuttuu yhä edelleen. Sama tiedepohjaisuuden puute näkyy esim. julkaisussa *”Opettajan opas onnistuneeseen opettamiseen”* (Virtanen & Knuutila 2001).

rakennetekijöihin¹. Monet ovat esittäneet opetusteknologian ja yliopiston virtuaalistamisen ratkaisuna yliopistotason opetuksen ongelmiin.

Lääkärien koulutuksessa on valittu toinen tie. *Opetukseen on palautettu ryhmä- ja ongelmakeskeisyys* vastakohtana esim. opetusteknologian korostamalle yksilokeskeisyydelle. Oppimistehtävien ja opiskelumuotojen kautta pyritään ennakoidaan tulevaa. Opiskelu on osallistumista; opettajan ja muiden opiskelijoiden kanssa yhdessä tapahtuvaa ongelmien muotoilua ja niiden ratkaisemista. Se on kulttuuria kurssien suorittamisen sijasta.

Yliopiston olisi löydettävä itsensä uudelleen muutamalla opetustaan ja työs-kentelytapaansa. Yliopistotason insinöörikoulutuksessa ratkaisua ollaan hake-massa suunnittelemalla tapahtuvan oppimisen sekä kognitiivisen oppipoikakoulutuk-sen kautta. Lakitieteellisissä tiedekunnissa tapausperustainen opetus on saa-massa jalansijaa.

Kaiken kaikkiaan yliopistot tarvitsevat opetusmalleja, jotka voivat välittää nykyistä opetusta paremmin opiskelijoilleen tieteenalan ammattilaisille ominaista taitavaa käyttäytymistä. Yliopistoista tulisi rakentaa uudelleen tiedeyhteisöjä, joissa jokainen jäsen on mukana tutkimuksessa, opetuksessa ja hallinnossa.

Enkenbergin (*ibid.*) tavoin voi kysyä, että mitä voisi olla tämä uusi laatua tuot-tava tekniikan pedagogiikka. Työelämäkompetensseja ajatellen pitäisi tekniik-kassakin siirtyä ryhmä- ja ongelmakeskeisyyteen, mutta opetusperinteen voi-ma on tässäkin huomattava ja mitä suurimmassa määrin hidastava seikka. En-kenberg myös korostaa yliopisto-opetuksen tiedepohjaisuutta, joka olisi mitä ilmeisimmin sopiva lähtökohta tekniikan yliopisto-opetukseen.

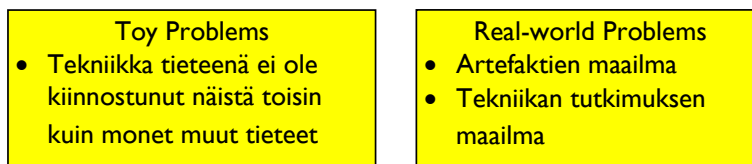
Lääketieteen ja yhä enenevässä määrin muidenkin tieteiden parissa on yli-opisto-opetuksen ongelmaa pyritty ratkaisemaan palaamalla takaisin mestari-kisälli-oppipoika järjestelmään, jossa *asiantuntijaksi kehittyminen edellyttää osal-listumista asiantuntijakulttuurien käytäntöihin koulutuksen alusta alkaen* (Brown et al. 1989). Tämän pohjalta oppimisen tutkimuksessa on viime vuosina koros-tettu aitojen, monimutkaisten ongelmien ratkaisemisen ja todellisiin asiantun-tijakäytäntöihin osallistumisen merkitystä². Tällaisten ongelmien käsittelyn välityksellä voidaan kytkeä käsiteltävät asiat oppilaitoksen ulkopuoliseen maa-ilmaan, joiden merkitys opiskelijoiden on helpompi ymmärtää. *Uuden tiedon omaksuminen niiden ongelmien yhteydessä³, joiden ratkaisemiseksi se on luotu ja joihin sitä voidaan soveltaa, auttaa välttämään sellaisten käyttökeltottomien tieto-*

¹ Rakennetekijöihin kajoaminen edellyttäisi, että yliopisto-opetus alettaisiin nähdä *pedagogisena toimintana*; nykyisellään opetus nähdään ensisijaisesti *opintohallinnollisena toimintana*; opetusmoduulilaatikkojen uudelleen järjestelynä. (ks. esim. Heikkinen & Jaako 2003).

² Yleensä tässä yhteydessä puhutaan *ongelmalähtöisestä oppimisesta* (problem based learning, PBL) (Hakkarainen et al. 1999, 217) ja ongelmalähtöisen oppimisen seitsemästä askeleesta.

³ Tässä raportissa tälle yhteydelle tekniikassa on määritelty käsite *artefaktiyhteys*.

rakenteiden syntyminen, joita ei jälkeenkään pystytä lainkaan uusissa tilanteissa käyttämään (Hakkarainen et al. 1999, 216). Tekniikassa näiden käyttökelvottomien ja keinotekkoisten ajatusrakenteiden syntyminen voi olla jopa huomattavan haitallista; poisoppiminen on huomattavasti hitaampaa kuin uuden oppiminen.



Kuva 11. Ideaalimaailma ja tosimaailma

Tekniikan yliopisto-opetuksessa opetuksen tukeutuminen ideaalimaailman käsitteisiin ja ratkaisumalleihin (ks. myös kuva 6) johtaa helposti edelläkin mainittuun *opetukselliseen tyhjäkäyntiin* ja moninkertaiseen opetukseen.

Raportti lienee hyvä päättää seuraavaan lainaukseen (Kankaala 2001), lisäykset kursivoitu:

”Pikkupojille ja tytöille kerrotaan luonnon ihmeistä: kuinka ikkunat jäätyvät kiemäisille kuvioille, miksi kuu loistaa taivaalla tai miksi taivas on punainen kevätiltana Koulussa tämä saa nimekseen ympäristöoppi. Myöhemmin ympäristöoppi eriytyy kemiaksi, fysiikaksi, biologiaksi ja maantiedoksi. Eri oppiaineilla alkaa olla erilaisia piirteitä. Maantiedossa paneudutaan tulivuorten ja maanjäristysten yhteyksiin. Kemiassa kerrotaan aineiden ominaisuuksista ja biologias-
sa pohditaan elämän jatkumisen reunaehtoja. Fysiikan kohtaloksi jää todeta **F = ma** tai **P = UI**.

Yksi uusi mahdollisuus ratkaista tämä opetuksellinen ongelma voisi olla uudenlainen luonnontieteiden opintokokonaisuus. Insinöörimäinen ja monitieteinen lähestymistapa, jossa ilmiöt opetetaan asiayhteydessään erillisyyden sijasta, hyvin konkreettisissa asioissa kytkettynä ilmiöiden fundamentaalien syiden ymmärtämiseen tarjoaisi aivan erinomaiset työkalut.”

On tietysti tärkeää, että jo luonnontieteidenkin puolella ymmärretään, että nykyparadigma opetuksen alalla ei palvele edes luonnontieteiden etua.

7 Yhteenveto

Communication with an engineer is only slightly more difficult than communication with the dead.

Lorren 'Rus' Stiles

Tekniikan yliopisto-opetus on tullut Suomessa tienhaaraan. Viimeisen kymmenen vuoden aikana varsinkin tietoliikennetekniikan kasvun takia alan koulutuspaikkoja on lisätty runsaasti. Vuonna 2001 alkanut tietoliikennetekniikan lama, tai oikeammin paluu normaalitilaan, on kuitenkin muuttanut tilannetta voimakkaasti; koulutuksen päättäjille on muistunut, että on olemassa muuta-kin tekniikkaa.

Tekniikan yliopisto-opetuksessa on huomattu, että rajoittavaksi tekijäksi koulutusmääriä lisättäessä tulee nopeasti opiskelijapula ja opettajapula¹; rahoituksen lisääminen ei tässä tilanteessa juurikaan vaikuta varsinkin, jos se suunnataan väärin.

Akuuttien koulutuksen ongelmien lisäksi tekniikka on törmännyt pedagogisiin ongelmiin. Kaksiportaisen tutkintorakenteen (tekniikan kandidaatti, diplomi-insinööri) tulo aiheuttaa myös huomattavia muutostarpeita. Lisäksi vallitseva paradigma *Tekniikasta sovellettuna luonnontieteenä* on mitä ilmeisimmin aikansa elänyt ja jopa toimintaa haittaava. Yleisemminkin voisi todeta, että perusopetuksen ajatus opetuksesta sovellettuna luonnontieteenä on myöskin aikansa elänyt (Kankaala 2001).

Tässä raportissa on hahmoteltu uutta koulutuksen paradigmaa, jonka lähtökohta on *tekniikka itsenäisenä tieteenä* –ajatus. Ajatuksen toteutus aiheuttaisi huomattavia muutoksia tekniikan yliopisto-opetukseen mutta lopputuloksena olisi todennäköisesti oppimisen ja kompetenssien tuottamisen kannalta parempi koulutus.

Opetuksen alalla näyttää tekniikan yliopisto-opetuksessakin olevan tapahtumassa paradigmanmuutos; vallankumous kuhnilaisessa (Kuhn 1970) mielessä.

¹ TKK:n rehtori Paavo Uronen (Ukkola 2003): ”Tämän enempää (2400-2600) diplomi-insinöörejä meillä ei mielestäni ole mahdollista kouluttaa. Ei riitä oppilaita, ei opettajia, ei tiloja, ei laboratorioita eikä muita resursseja. En usko, että teollisuuden nykyrakenteella ja nykykasvulla työmarkkinatkaan vetävät nykyistä enempää.”

8 Viitteet

- Brown A L & Palincsar A S (1989) *Guided, cooperative learning and individual knowledge acquisition*. Teoksessa Resnick L (toim.) *Knowing, learning, and instruction: Essays in honor of Robert Glaser* (s. 393-451). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Chafy R (1997) *Exploring the Intellectual Foundation of Technology Education: From Condorcet to Dewey*. *Journal of Technology Education*. Vol. 9 No. 1, Fall 1997.
- de Vries M J (1994) *Technology education in Western Europe*. In Layton D (ed.). *Innovations in science and technology education*, Vol. V. Paris: Unesco.
- de Vries M J (1996) *Technology Education: Beyond the "Technology is Applied Science" Paradigm*. *Journal of Technology Education*. Vol. 8 No. 1, Fall 1996.
- Dorn H & McClellan J E (1999) *Science and Technology in World History: An introduction*. Baltimore: The Johns Hopkins University Press. ISBN 0-8018-5869-0
- Enkenberg J (1999) *Yliopisto-opetus haasteiden edessä*. Sanansaattaja, Joensuun yliopiston tiedotuslehti.
http://sokl.joensuu.fi/aineistot/Kasvatustiede/Jorma_Enkenberg/Galleria/Sanansaattaja.html - 07.10.2003
- Estola K-P (2002) *Tekniikan alan korkeakoulutuksen kehitysnäkymät*. Selvitysmiehen raportti, Opetusministeriö 2002. ISBN 952-442-973-X
- Ferré F (1988) *Philosophy of Technology*. New Jersey: Prentice Hall.
- Gardner P L (1995) *The relationship between technology and science: Some historical and philosophical reflections*. Part 2. *International Journal of Technology and Design education* 5(1), ss. 1-33.
- Hakkarainen K, Lonka K & Lipponen L (1999) *Tutkiva oppiminen – Älykkään toiminnan rajat ja niiden ylittäminen*. Helsinki: WSOY. ISBN 951-0-23140-1
- Harrison M (1994) *Science and technology – partnership or divorce*. In Banks F (ed) (1994) *Teaching Technology*. London: Routledge. ISBN 0-415-10254-5.
- Heikkinen E-P & Jaako J (2003) *Koulutuksen laatuysikköhakemus ja pedagoginen johtajuus*. Oulun yliopisto, Sääätötekniikan laboratorio, Raportti B No 46, Elokuu 2003. 31 s., ISBN 951-42-7091-6
- Heiskanen (2002) *Korkeakouluopetus – haasteet nyt ja tulevaisuudessa*. Vuoriteollisuus – Bergshanteringen 2/2002. s. 23
- Hirsjärvi S & Huttunen J (1995) *Johdatus kasvatustieteeseen*. Juva: WSOY.
- Hornby A S (1974) *Oxford Advanced Learner's Dictionary of Current English*. Oxford University Press: Oxford. ISBN 0-19-431101-5
- Huttunen E (2003) *Towards a two-tier degree*. *Polysteekki* 4/2003.
- Jaako J & Nelo S (2001) *Prosessi- ja ympäristötekniikan opetuksen tulevaisuuden haasteita*. Oulun yliopisto, Sääätötekniikan laboratorio, Raportti B No 27, Tammikuu 2001. 25 s., ISBN 951-42-5889-4.
- Jaako J (1996) *The Extension of Multilevel Flow Modelling*, *Acta Univ. Oul. C* 87, 1996. ISBN 951-42-4277-7.
- Jaako J (2003) *Tekniikan pedagogiikka – Väitöskirjat ja tutkijakoulutus prosessi- ja ympäristötekniikan osastolla*. Oulun yliopisto, Sääätötekniikan laboratorio, Raportti B No 47. Syyskuu 2003. 65 s. ISBN 951-42-7137-8
<http://ntsat oulu.fi/Henkilokunta/jaako/Julkaisut/bno47.pdf> - 07.10.2003
- Kankaala K (2001) *Onko ongelma ongelmalähteettömyys?* *Arkhimedes*, Fysiikan ja matematiikan aikakauslehti 2/2001. (pääkirjoitus)
- Keski-Heikkilä S N (2002) *Osaamisen kehittäminen vaatii suunnittelua ja panostusta - Ammatillisen osaamisen tutkimus 2002*. Helsinki: Tekniikan akateemisten liitto TEK. ISBN 952-5005-65-8.

- Kuhn T S (1962) *The structure of scientific revolutions*. Chicago: University of Chicago Press.
- Kuhn T S (1970) *The structure of scientific revolutions*. Chicago: University of Chicago Press. 2nd Edition.
- Layton D (1993) *Technology's challenge to science education: Cathedral, quarry or company store?* Buckingham: Open University Press
- Lindblom-Ylänne S & Nevgi A (toim.) (2002) *Yliopisto- ja korkeakouluopettajan käsikirja*. Helsinki: WSOY. ISBN 951-0-26957-3
- Luyben W L (1990) *Process modeling, simulation, and control for chemical engineers*. 2nd Edition. New York: McGraw-Hill. ISBN 0-07-100793-8
- Nelo S, Heikkinen E, Jaako J & Dahl O (2003) *Prosessi- ja ympäristötekniikan osasto – koulutuksen laatuyskikkö*. Peda-forumin kevätpäivät, 19.-20.5.2003 Jyväskylä, Agora.
(<http://ntsat.oulu.fi/Henkilokunta/jaako/julkaisut/Pedafoorumifinal.pdf>) – 06.10.2003 (poster)
- Niiniluoto I (1983) *Tieteellinen päättely ja selittäminen*. Helsinki: Otava.
- Opinto-opas 2002-2004, Teknillinen tiedekunta, Oulun Yliopisto, ISSN 0782-9329.
<http://www.ttk.oulu.fi/opinto-opas/ttk.opinto-opas.2002-2004.pdf> - 03.10.2003
- Pajarre E (2002) *Teekkarista diplomi-insinööriksi – tanssia ruusuilla vai kivinen tie?* Peda-Forum 2/2002. s. 35-36
- Parpala A & Seppälä H (toim.) (2003) *Yliopistokoulutuksen laatuyskikkö 2004-2006*. Korkeakoulujen arviointineuvoston julkaisuja 5:2003. ISBN 951-37-3906-6, ss. 192-208.
http://www.kka.fi/pdf/julkaisut/KKA_503.pdf - 01.10.2003
- Raudaskoski A-M (2002) *Haussa monialaiset insinöörit*. Aktuumi 4/2002. s. 7
- Rauhala P (2000) *Korkeamman ammattisivistyksen historiaa. Kristillinen kasvatus verkossa*, 6/2000.
<http://www.evl.fi/kkh/to/kkk/kksv/20006/rauhala.htm> - 01.10.2003
- Sparkes J (1993) *Some differences between science and technology*, in McCormick R, Newey C & Sparkes (eds) *Technology for technology education*, Addison-Wesley Publishing Company.
- Ukkola J (2003) *Liian paljon koulutusta*. Suomen Kuvalehti 30/2003. s. 42-43.
- Uronen P (2002) *Diplomi-insinöörinkoulutusta on kehitettävä. Vuoriteollisuus – Bergshanteringen* 2/2002. s. 5 (pääkirjoitus)
- Vesikukka M (2002) *"Emmää matikkaa tullu tänne opiskelemaa, vaan tekniikkaa"* Sähkötekniikan osaston opiskelijoiden kokemuksia ensimmäisen lukukauden opinnoista. Haastatteluprojektin tuloksia. Uutisia opetuksen kehittämisestä Oulun yliopiston laitoksilla. Vol 15/2002. ISBN 951-42-6621-8
- Virtanen A & Knuuttila M (2001) *Opettajan opas onnistuneeseen opettamiseen*. Teknillinen korkeakoulu, Opetuksen ja opiskelun tuki. ISBN 951-22-5589-8.
<http://www.hut.fi/Yksikot/Opintotoimisto/Opetuki/kirjahylly/opeopas.pdf> - 08.10.2003
- Wankat P & Oreovicz F S (1993) *Teaching Engineering*. New York: McGraw-Hill.
- Yrjänheikki K & Takala M (2001) *Engineering Education Facing New Challenges in the Learning Society: Case Finland*. ASEE "21st Century Engineer" Nov, 2-3, 2001.
http://www.tek.fi/tek/futureng/asee_paperi.pdf - 06.10.2003

ISBN 951-42-7212-9

ISSN 1238-9404

Oulun yliopisto

Säätötekniikan laboratorio - Sarja B - <http://ntsat.oulu.fi/> [research] > [reports] > [series b]

Toimittaja: Leena Yliniemi – leena.yliniemi@oulu.fi

22. **Ikäheimonen J, Juuso E, Leiviskä K, Murtovaara S & Sutinen R** (2000) Keittoli-
peä- ja massa-analyysi sellun keitossa ja pesussa. Joulukuu 2000. 35 s. ISBN 951-42-5876-
2.
25. **Rahikka L & Juuso E** (2000) Sulfaattisellun eräkeittoprosessin jatkuvatoiminen analy-
sointi. Joulukuu 2000. 36 s. ISBN 951-42-5879-7.
26. **Pirttimaa M & Leiviskä K** (2000) Tilastollinen prosessinohjaus: Pastapainoprosessin
tehdaskokeet. Joulukuu 2000. ISBN 951-42-5884-3.
27. **Jaako J & Nelo S** (2001) Prosessi- ja ympäristötekniikan opetuksen tulevaisuuden haas-
teita. Tammikuu 2001. 25 s. ISBN 951-42-5889-4.
28. **Näsi J, Isokangas A & Juuso E** (2001) Klusterointi kuorimon puuhäviöiden mallintami-
nessa. Tammikuu 2001. ISBN 951-42-5894-0
29. **Mäki T & Juuso E** (2001) Lingvistinen yhtälöjärjestelmä lääkevalmisteiden rakeistuspro-
sessin dynaamisessa simuloinnissa. Tammikuu 2001. ISBN 951-42-5895-9
31. **Joensuu P** (2001) Vikadiagnostiikka sulatuksen laadun-ohjauksessa: Syherön syntyminen
ja siihen vaikuttavat tekijät. Tammikuu 2001. ISBN 951-42-5893-2
32. **Ikäheimonen J, Leiviskä K & Ruuska J** (2001) Jatketeiien tukkeentumisen mallintami-
nen neuroverkoilla. Helmikuu 2001. ISBN 951-42-5906-8
33. **Ikäheimonen J, Leiviskä K & Ruuska J** (2001) Sulkutangon asennon ja valunopeuden
käyttö jatketeiien tukkeentumisen ennustamisessa. Maaliskuu 2001. ISBN 951-42-5946-7
34. **Ruuska J & Leiviskä K** (2001) LD-KG-konvertterin lämpötilamalli. Toukokuu 2001.
ISBN 951-42-6411-8
35. **Ainali I, Juuso E & Sorsa A** (2001) Vesikemikaalien annostelutyökalun kehittäminen:
Flotaation perusteet, koejaksot ja mallinnus. Marraskuu 2001. ISBN 951-42-6589-0
36. **Näsi J & Sorsa A** (2002) Jatkuvatoimisen liuospuhdistuksen Pilot-prosessin mallinnus ja
prosessikehitys. Helmikuu 2002. ISBN 951-42-6626-9
37. **Ikäheimonen J & Leiviskä K** (2002) Syherödatan analysointi histogrammeja käyttäen.
Maaliskuu 2002. ISBN 951-42-6678-1
38. **Ikäheimonen J & Leiviskä K** (2002) Neuroverkot ja lingvistiset yhtälöt jatketeiien tuk-
keuman ennustuksessa. Huhtikuu 2002. ISBN 951-42-6700-1
39. **Posio J** (2002) Malliprediktiivinen säätö. Marraskuu 2002. ISBN 951-42-6887-3
40. **Jaako J** (2003) Säätötekniikan laboratorion opetuskokeiluja III - Opettajien perehdyttä-
miskoulutus. Helmikuu 2003. ISBN 951-42-6955-1
41. **Ruuska J, Peltonen J & Leiviskä K** (2003) LD-KG-konvertterin dynaaminen ohjaus.
Helmikuu 2003. ISBN 951-42-6956-X
42. **Ruuska J & Leiviskä K** (2003) LD-KG-konvertterin lämpötila- ja lisäainemallit. Helmi-
kuu 2003. ISBN 951-42-6957-8
44. **Näsi J & Niemelä P** (2003) Hydrometallurgisen prosessin tutkimuskohteita osa 2: Ra-
man analytiikan käyttömahdollisuudet. Huhtikuu 2003. ISBN 951-42-7041-X
46. **Heikkinen E-P & Jaako J** (2003) Koulutuksen laatuysikköhakemus ja pedagoginen joh-
tajuus. Elokuu 2003. ISBN 951-42-7091-6
47. **Jaako J** (2003) Tekniikan pedagogiikka - Väitöskirjat ja tutkijakoulutus prosessi- ja ympä-
ristötekniikan osastolla. Syyskuu 2003. ISBN 951-42-7137-8

Oulun yliopistopaino
Oulu 2003