

Itämeren rehevöityminen – onko mitään tehtävissä?

■ Heikki Pitkänen

Avoimen Itämeren kesäaikainen, erityisesti lisääntyneinä sinileväkukintoina ilmennyt rehevöityminen on jatkunut viime vuosiin saakka. Toisaalta Itämeren tilan kehityksessä on ollut havaittavissa myös positiivisia kehityssuuntia, jotka selittyvät kuormituksen vähenemisellä. Kaiken kaikkiaan on selvää, että nykyinenkin ravinnekuormitus on Itämeren luonnonolosuhteet ja sietokyky huomioon ottaen liian suurta.

Itämeri on matala, vähäsuolainen murtovesiallas, jossa veden teoreettinen viipymä on pitkä, jopa 25 vuotta. Se vastaanottaa jokien kautta valumavesiä pinta-alaansa (415 000 km²) verrattuna nelinkertaiselta valuma-alueelta. Jokivedet sekoittuvat Itämeressä kapeiden ja matalien Tanskan salmien kautta sisään virtaavaan Pohjanmeren veden kanssa. Suolaisen veden tulo Itämereen keskittyy paljolti ns. suolapulsseihin, joita on viime vuosikymmeninä tullut Itämereen vain harvoin.

Mikä tekee Itämerestä rehevöitymisherkän?

Itämeren pintakerroksen suolapitoisuus on huomattavan alhainen, esimerkiksi Suomen rannikoilla enimmillään vain noin 1/6 valtameren suolapitoisuudesta. Tämä johtuu siitä, että kevyt jokivesi ja raskas, suolainen valtamerivesi sekoittuvat toisiinsa Itämeressä vain osittain. Suolaisuuskerrostuneisuus onkin yksi keskeisistä Itämeren rehevyysoloja säätelevistä tekijöistä. Itämeren pääaltaassa ja myös Suomenlahden keski- ja länsiosassa noin 50–70 m:n syvyydellä sijaitseva suolaisuuden harppauskerros eli halokliini heikentää tehokkaasti hapek-

kaan pintaveden pääsyä syviin vesikerroksiin ja pohjan tuntumaan, jolloin happikato ja sisäinen ravinnekuormituksen kierre pääsevät kehittymään huomattavasti helpommin kuin jos veden sekoittumista estävä halokliini puuttuisi.

Itämeri siis kestää rehevöittävää ravinnekuormitusta huomattavasti huonommin kuin vastaavanlainen makeavesiallas tai toisaalta kerrostumaton valtameren lahti. Itämeren osa-altaiden välillä on kuitenkin tässä suhteessa merkittäviä eroja. Pohjoisen Itämeren Suomea ympäröivät lahdet, Suomenlahti ja Pohjanlahti, poikkeavat rehevöitymisherkkydeltään huomattavasti toisistaan. Vaikka Pohjanlahti on vesipinta-alaansa ja -tilavuuteensa nähden kevyemmin kuormitettu kuin Suomenlahti, kuormitus ei ole ainut syy, minkä vuoksi Pohjanlahden leväbiomassat ovat vain 20–50 % Suomenlahden vastaavista.

Luonnonoloista johtuva perussyöy on lahtien erilainen yhteys Itämeren pääaltaaseen: Suomenlahti on pääaltaan suora, kynnyksetön jatke, joka altistuu jatkuvasti syvän veden virtausten mukana pääaltaasta tuleville ravinteille. Pohjanlahti puolestaan on merenpohjan kynnysalueiden ja matalan Saaristomerren suojaama, jolloin Itämeren pääaltaan halokliinin alapuolinen suolainen ja ravinteikas vesi ei merkittävässä määrin pääse virtaamaan Pohjanlahdelle. Tämän vuoksi sekoittuminen on tehokasta, ja hapekas pintavesi pääsee säännöllisesti keväisin ja syksyisin uudistamaan pohjan happivarat. Pohjanlahdella ei ole havaittu laajoja happikato- tai sisäisen kuormituksen alueita, vaan merialueen pohjasedimentti kykenee sitomaan ja hautaamaan suuria fosforimääriä pysyvästi (Lehtoranta ym. 2008).

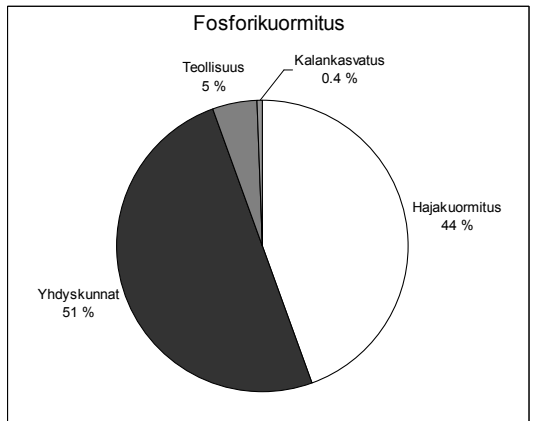
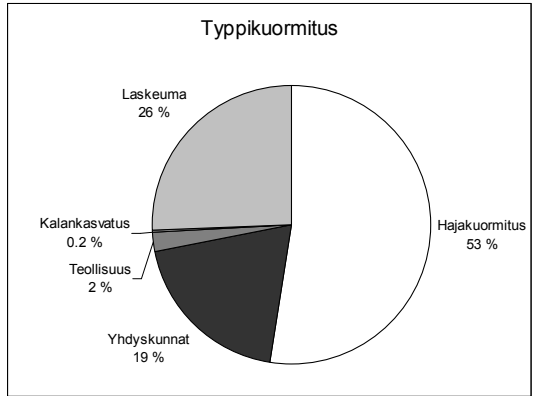
Ulkoiset ravinnekuormat

Luonnollisten fysikaalisten ja ilmastollisten olojen ohella Itämeren rehevöityminen riippuu kasvinravinteiden, typen ja fosforin, kuormituksesta. Ihmisen toiminta on merkittävästi lisännyt tätä kuormitusta luonnontilaan verrattuna. Itämereen päätyi vuonna 2000 jokivesien ja rannikon suorien päästölähteiden kuormana noin 1 milj. tonnia typpeä ja noin 35 000 tonnia fosforia (Bartnicki ym. 2002, HELCOM 2004). On arvioitu, että fosforikuorma Itämereen olisi noin 8-kertainen ja typpikuorma noin 4-kertainen esiteolliseen aikaan verrattuna (Larsson ym. 1985).

Itämeren ravinnekuorma on peräisin lähinnä maatalouden hajakuormituksesta (peltoviljely ja karjatalous) sekä yhdyskunnista (kuva 1). Hajakuormitus arvioidaan Itämeren valuma-alueen suurimmaksi typpikuormittajaksi, kun taas yhdyskunnat ja hajakuormitus ovat suurimmat fosforin lähteet. Noin 25 % typen kuormasta joutuu mereen laskeuman mukana. Laskeuman typpi on lähtöisin liikenteestä, maataloudesta ja teollisuudesta, ja se on osittain peräisin aina Keski-Euroopasta saakka. Noin puolet fosforikuormasta ja kolmannes typpikuormasta on lähtöisin lähes 40 milj. asukkaan maatalousvaltaisesta Puolasta. Vuonna 2000 Suomen osuus Itämereen joutuvassa jokien ja jätevesipäästöjen kokonaiskuormassa oli 12 % typpestä ja 9 % fosforista (HELCOM 2004).

Suomenlahti ja Riiianlahti ovat vesipintaalaansa suhteutettuna Itämeren voimakkaimmin kuormitettuja osa-altaita. Näin laskettuna niiden ravinnekuorma on sekä fosforin että typen osalta noin kaksinkertainen koko Itämeren vastaaviin kuormiin verrattuna. Pohjanlahti puolestaan on vähiten kuormitettu osa-allas: pinta-alaa kohti laskettu ravinnekuorma on 60–70 % koko Itämeren vastaavasta. Pohjanlahden pohjoisemman osa-altaan, Perämeren, kuorma on kuitenkin selvästi suurempi kuin eteläisemmän Selkämeren.

Koko Itämeren rannikon suurin yksittäinen ravinnekuormittaja on Suomenlahden itäpäässä sijaitseva Pietarin kaupunki, joka vuonna 2004 aiheutti noin 2 200 tonnin vuotuisen fosforikuorman (Pitkänen ym. 2007a). Tämä on



Kuva 1. Itämereen joutuvan ulkoisen ravinnekuormituksen jakautuminen alkuperänsä mukaan vuoden 2000 tietojen perusteella (HELCOM 2004, Seppo Knuutila/SYKE).

lähes 40 % Suomenlahden koko ulkoisesta fosforikuormasta. Kaupungissa parhaillaan toteutettavat puhdistusmenetelmien tehostamiset ja uudet viemärintijärjestelyt ovat jo pudottaneet kuormaa noin 600 tonnilla vuodessa, ja kuorma tulee lähivuosina vähenemään suunnitteen saman verran, kun kaupungin pohjoinen kokoomaviemäri valmistuu ja toistaiseksi vielä täysin käsittelemättömät noin 700 000 pietarilaisen jätevedet saadaan puhdistuksen piiriin.

Kesäaikainen rehevöityminen on jatkunut pohjoisella Itämerellä

Kokonaiskuva Itämeren rehevöitymisoloista on luonnontekijöiden ja ihmisen vaikutuksen

| Merialue/ vuosisjakso | 1979– 1983 | 1986– 1990 | 1991– 1996 | 1997– 2001 | 2001– 2005 |
|--------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Perämeri | 1–2 | 1–2 | 1–3 | 2–3 | 1–3 |
| Selkämeri | 1–2 | 1–2 | 1–3 | 2–3 | 2–3 |
| Saaristomeri | 1–2 | 1–2 | 2–4 | 2–5 | 2–6 |
| Läntinen Suomenlahti | 2–3 | 2–3 | 3–5 | 4–6 | 4–8 |
| Itäinen Suomenlahti | 3–5 | 3–5 | 4–6 | 5–8 | 4–8 |

Taulukko 1. Suomea ympäröivän Itämeren rehevyytilan yleiskehitys 5-vuotisjaksoina 1979–2005 rannikon merivyyhykkeellä ja ulkomerellä. Taulukon arvot ovat kasviplanktonin sisältämän a-klorofyllin pitoisuuden merialuekohtaisia vaihteluvälejä (mg/m³). (Pitkänen ym. 2007, SYKE:n ja Merentutkimuslaitoksen tietokannat.)

yhteistulos. Rehevöityneimpiä alueita ovat jokisuiden edustat ja muut välitöntä ravinnekuormitusta vastaanottavat rannikkovesialueet. Avomerialueista rehevöityneimpiä ovat Suomenlahti ja Riianlahti ja karuin puolestaan Pohjanlahden pohjoinen osa-allas, Perämeri. Myös Selkämeri on toistaiseksi pysynyt melko hyvässä tilassa. Pohjanlahden eteläisimmässä osassa, Saaristomerellä, rehevöitymisen aste vaihtelee. Suurin osa sisä- ja välisaaristosta on paikallisen, lähinnä maataloudesta peräisin olevan ravinnekuorman rehevöittämää, kun taas merialueen keski- ja pohjoisosassa rehevöitymisen aste ei juuri poikkeaa eteläisen Selkämeren pääosin hyvästä tilasta.

Itämeren rehevyysojen säännöllinen seuranta aloitettiin Suomea ympäröivillä merialueilla 1960-luvun loppupuolella. Kesäajan mittaus-ten mukaan pääosassa pohjoista Itämerästä on tapahtunut rehevöitymistä (Fleming-Lehtinen ym. 2008, taulukko 1). Erityisen selvää rehevöityminen on ollut Suomenlahdella, Saaristomerellä ja Itämeren pääaltaan pohjoisosassa, jossa kesäaikaiset leväpitoisuudet suunnilleen kaksinkertaistuivat 1970-luvulta 2000-luvun alkupuolelle. Selkämerellä vastaava kehitys on ollut huomattavasti maltillisempaa, eikä kesäajan rehevyysoissa ole merkittävää trendiä viimeisten kymmenen vuoden aikana. Avoimella Perämerellä rehevöitymiseen viittaava kehitys on ollut hyvin lievä.

Kesäkausia koskeva aineisto ei kuvaa koko kasvukauden kehitystä. Suuri osa vuotuisesta leväbiomassasta syntyy ns. kevät-kukinnas-

sa huhti–toukokuussa. Erittäin dynaamisen ja usein vain muutamia viikkoja kestävän kevät-kukinnan luotettava seuranta edellyttää tiheää näytteenottoa, eikä tietoja pitkäaikaismuutok-ista ole käytettävissä läheskään yhtä kattavas-ti kuin kesätilanteesta. Kehitystä voidaan kui-tenkin arvioida talvisten ravinnepitoisuuksien perusteella, koska ne pitkälti säätelevät seu-raavan kevään planktonlevätuotantoa. Näiden mukaan Suomenlahden ja Itämeren pääaltaan pohjoisosan kevään planktonituotanto olisi kas-vanut 1960-luvulta aina 1980-luvun jälkipuolis-kolle, mutta kasvu olisi tämän jälkeen taittunut. Hangon lähivesiltä, Tvärminnen edustan meri-alueella tiheästi seuratus kasviplanktonin klo-rofylliaineiston antama tulos on saman suuntai-nen: keväiset levämäärät ovat olleet 1980-luvun loppupuolella korkeampia kuin 1990-luvulla ja 2000-luvun alussa (Raateoja ym. 2005). Sen sijaan kesän planktonmäärät ovat tällä alueella, kuten myös Itämeren pääaltaan pohjoisosassa ja koko Suomenlahdella, samassa ajassa kak-sinkertaistuneet (Fleming-Lehtinen ym. 2008, taulukko 1).

Rehevöitymisen torjunta on mittakaavakysymys

Rannikkovesissämme on monia esimerkkejä siitä, kuinka vesiensuojelutoimet ja paikallisen kuormituksen vähentäminen ovat vaikuttaneet vesien tilaa parantavasti. Tällaisia alueita ovat esi-merkiksi Helsingin, Oulun ja Kotkan–Kymijoen edustojen vedet. Siirryttäessä kohti ulappamerta yhteys ravinnepäästöön ei enää ole välitön ja sisäisten säätelytekijöiden vaikutus kasvaa yhä merkittävämmäksi. Samalla viive kuormitus-muutosten ja niiden vaikutusten välillä pite-nee. Mitä suuremmasta ja pidemmän viipymän altaasta on kyse, sitä kauemmin menee ennen kuin vaikutukset näkyvät koko altaan tilassa.

Myös ekosysteemin säätely voi muuttua, mikä monimutkaistaa yhteyttä kuorman ja vesi-en tilan välillä. Kun kuormituksen ja rehevöity-misen seurauksena tietty kynnyisarvo esimerkik-ksi sisäisen ravinnekuorman säätelyssä ylitetään

ja systeemin tila muuttuu, ei ennalleen palautumiseen enää välttämättä riitä paluu muutosta edeltäneelle kuormitustasolle, vaan alkuperäisen tilan saavuttamiseksi on päästävä tätä alhaisempaan ulkoiseen kuormaan. Itämeressäkin on ilmeisesti tapahtunut tällaisia kynnyksarvojen ylityksiä ja säätelyn muutoksia, jotka osaltaan voivat selittää, miksi meren tila ei paranekaan odotetusti ulkoisen kuorman alentuessa.

Voimakkaasti lisääntynyt sisäinen kuormitus ylläpitää kierrettä, jossa fosfori kiertää veden ja sedimentin välillä, ja ravinteen nettopoistuma systeemistä on vähäistä. Fosforia poistuu kierrosta, kun sitä sitoutuu pohjasedimentissä rautayhdisteisiin. Näin näyttääkin tapahtuvan Pohjanlahdella (Lehtoranta ym. 2008). Sen sijaan rehevöityneellä Suomenlahdella pohjalle sedimentoituu planktonituotannossa syntyynyttä biomassaa siinä määrin, että rajoittuneissa sekoittumisoloissa orgaanisen aineksen hajotus tapahtuu epäedullisten prosessien kautta. Hajotus siirtyy tällöin käyttämään sulfaattia orgaanisen aineksen hapetuksessa ja syntyvä sulfidi sitoo raudan, jolloin pohjan fosforivarat alkavat vapautua (Lehtoranta ym. 2008).

Usein Itämeren vesiensuojelukeskustelussa fosforia ja typpeä käsitellään erillisinä kysymyksinä ikään kuin niiden kierrot ja rehevöitymisen säätely olisivat toisistaan riippumattomia. Kuitenkin fosforin ja typen kierrot liittyvät toisiinsa hyvin läheisesti (esim. Vahtera ym. 2007). Suurimmassa osassa Itämerta typen saatavuus säätelee kevään levätuotantoa, joka puolestaan muodostaa valtaosan pohjalle laskeutuvasta, happea kuluttavasta biomassasta. Mitä enemmän vedessä on typpeä, sitä suurempi on kevään levätuotanto sekä syvään veteen ja pohjalle vajoava orgaanisen aineksen määrä. Sitä suurempi on myös happikadon ja sisäisen ravinnekuormituksen riski. Päättyessään myöhemmin sekoittumisen seurauksena veden pintakerrokseen, sedimentistä vapautunut fosfori puolestaan aiheuttaa typen lisääntymistä, koska se luo kilpailuedun ilmakehän typpikaasua sitoville syanobakteereille eli sinileville. Juuri näiden levien massatuotannon havaitsemme kesäisinä leväkukintoina.

Mitä voidaan tehdä?

Ravinteiden poisto vähentää Itämeren rehevöitymistä aina jossain aika- ja tilalottuvuudessa. Kotimaisten ravinnepäästöjen leikkauksilla voidaan oleellisesti parantaa jokisuiden ja saaristovesien tilaa, mutta vaikutukset avoimen Suomenlahden ja Pohjanlahden tilaan jäävät marginaalisiksi puhumattakaan koko Itämerestä. Vastaavasti Pietarin jätevesien tehokas puhdistaminen pienentää Suomenlahden ravinnekuormaa niin merkittävästi, että viiden vuoden kuluttua puhdistustoimien toteuttamisesta sen voidaan arvioida näkyvän meren tilassa aina Saaristomerren eteläosissa saakka. Itämeren uuden suojeleohjelman (*Baltic Sea Action Plan*) mukaiset kuormitusleikkaukset tulevat toteutuessaan näkymään koko Itämeren tilassa, mutta pitkän viiptymän ja sisäisten ravinnekiertojen jarruttavan vaikutuksen takia vasta kymmenien vuosien kuluttua vähennyksistä (Wulff et al. 2007).

Viime aikoina on Itämeren piirissä käyty keskustelua myös eri tavoista nopeuttaa meren elpymistä kunnostusmenetelmin, esimerkiksi saattamalla mekaanisesti hapekasta vettä pohjan läheisyyteen sekä parantamalla näin syvän veden happioloja ja torjumalla sisäistä kuormitusta (Stigebrandt ja Gustafsson 2007). Tällaista menettelyä on käytetty Suomessa jo pitkään happiongelmiä kärsivien järvisyvänteiden kunnostuskeinona (Lappalainen 1994).

Meriympäristö jo pelkästään rannikko-olosuhteissa tuo kunnostustoimenpiteiden teknis-taloudelliselle toteuttamiselle huomattavia haasteita. Sisäisen kuormituksen torjunnassa meriympäristössä on järviin verrattuna ongelmana myös runsaana esiintyvän sulfaatin pelkistyminen, joka etenkin rehevöityneissä oloissa muuttaa pohjasedimentin raudan fosforia sitomattomaan muotoon. Itämerestä puuttuu toistaiseksi kokeisiin perustuva tutkimustieto sisäisen kuormituksen torjuntaan tähtäävien kunnostusmenetelmien ekologisista vaikutuksista – sekä toivotuista että mahdollisista haitoista – ja menetelmien teknis-taloudellisista toteutusmahdollisuuksista.

Riippumatta siitä missä määrin kunnostusmenetelmät osoittautuvat Itämeren tilan parantamisen kannalta teholtaan käyttökelpoisiksi ja kustannustehokkaiksi, ulkoista ravinnekuormaa tulee edelleen pienentää mahdollisimman tehokkaasti. Tällä tavoin torjutaan rehevöitymistä sekä suoraan että vähentämällä välillisesti sisäistä ravinnekuormitusta.

Yhteenveto

Itämeren rehevöityminen johtuu sen luonnonolosuhteisiin nähden liiallisesta, pitkään jatkuneesta typen ja fosforin kuormituksesta. Nykyinen ravinnekuorma Itämereen on arvioitu 4–8-kertaiseksi esiteolliseen aikaan verrattuna. Avoimen Itämeren kesäaikainen, erityisesti lisääntyneinä sinilevükukintoina ilmenevä rehevöityminen on jatkunut, vaikka ulkoinen ravinnekuorma on laskenut. Rehevöityminen ei kuitenkaan koske koko kasvukautta, sillä läntisellä Suomenlahdella kevään planktonituotanto näyttää olleen korkeimmillaan 1980-luvun loppupuolella. Talviset ravinnepitoisuudet viittaavat siihen, että sama pätee suurimpaan osaan pohjoista Itämerästä.

On kuitenkin selvää, että nykyinenkin ravinnekuormitus on meren olosuhteet ja vastaanottokyky huomioon ottaen aivan liian suurta. Ulkoisen kuorman merkittävät lisäleikkaukset parantaisivat suhteellisen nopeasti Suomenlahden ja Saaristomerän tilaa. Sen sijaan Itämeren pääaltaan tilan paraneminen vienee vuosikymmeniä, vaikka merkittäviä kuormitusleikkauksia kyettäisiin toteuttamaan nopeasti. Kunnostustoimien vaikuttavuus on toistaiseksi hyvin epävarmalla pohjalla, koska tutkimustietoa puuttuu eri menetelmien ekologisista vaikutuksista ja teknis-taloudellisista toteutusmahdollisuuksista.

Kirjallisuus

- Bartnicki, J., Gusev, A., Barrett, K., Simpson, D. 2002. Atmospheric supply of nitrogen, lead, cadmium, mercury, and lindane to the Baltic Sea in the period 1996–2002. Final report for Helsinki Commission by EMEP. (<http://projects.dnmi.no/~emep/helcom2002/index.html>).
- Fleming-Lehtinen, V., Laamanen, M., Kuosa, H., Haahti, H. & Olsson, R. 2008. Long-term Development of inorganic nutrients and chlorophyll-a in the open northern Baltic Sea. *Ambio* 37: 86–92.
- HELCOM 2004. The fourth Baltic Sea pollution load compilation (PLC-4). Baltic Sea Environment Proceedings, no 93, 188 s.
- Lappalainen, K. M. 1994. Positive changes in oxygen and nutrient contents in two Finnish lakes introduced by Mixox hypolimnetic oxygenation method. *Verh. Int. Ver. Limnol.* 25:2510–2513.
- Larsson, U., Elmgren, R. & Wulff, F. 1985. Eutrophication of the Baltic Sea – Causes and consequences. *Ambio* 14:9–14.
- Lehtoranta, J., Ekholm, P. & Pitkänen, H. 2008. Eutrophication-driven microbial processes can explain the regional variation in phosphorus concentrations between Baltic Sea sub-basins. *Journal of Marine Systems* (painossa).
- Pitkänen, H., Kiirikki, M., Savchuk, O., Räike, A., Korpinen, P. & Wulff, F. 2007a. Searching efficient protection strategies for the eutrophied Gulf of Finland: The combined use of 1D and 3D modelling in assessing long-term state scenarios with high spatial resolution. *Ambio* 36: 272–279.
- Pitkänen, H., Lehtoranta, J. & Peltonen, H. 2007b. The Gulf of Finland. Teoksessa Schiewer, U. (toim.), *Ecology of Baltic coastal waters*. Ecological Studies 197, p. 285–308. Springer-Verlag.
- Raateoja, M., Seppälä, J., Kuosa, H. and Myrberg, K. 2005. Recent changes in trophic state of the Baltic Sea along SW coast of Finland. *Ambio* 34:188–191.
- Stigebrandt, A. & Gustafsson, B. G. 2007. Improvement of Baltic proper water quality using large scale ecological engineering. *Ambio* 36:280–286.
- Vahtera, E., Conley, D. J., Gustafsson, B. G., Kuosa, H., Pitkänen, H., Savchuk, O. P., Tamminen, T., Wasmund, N., Viitasalo, M., Voss, M. and Wulff, F. 2007. Complex ecosystem dynamics enhance cyanobacterial bloom formation in the Baltic Sea. *Ambio* 36:186–194.
- Wulff, F., Savchuk, O. P., Sokolov, A. V., Humborg, C. and Mörtz, M. 2007. Assessing the past and the possible future of the Baltic. *Ambio* 36:243–249.

Kirjoittaja on maa- ja metsätaloustieteen tohtori ja johtava tutkija Suomen ympäristökeskuksessa. Artikkelin perustuu Tekniikan päivien esitelmään 16.1.2008.