

# INFORS

Suomen Operaatiotutkimusseuran jäsenlehti

1/2006

- Operaatiotutkimus ja laskennallinen tiede-

---



**FORS**

Suomen Operaatiotutkimusseura ry

Finnish Operations Research Society

**Suomen  
Operaatiotutkimusseura ry:n  
jäsenlehti**

**N:o 1 - 2006**

Suomen Operaatiotutkimusseura ry  
PL 702, 00101 Helsinki  
<http://www.optimointi.fi/>

**Vastaava päätoimittaja,  
seuran puheenjohtaja:**

Risto Lahdelma  
Turun Yliopisto  
Informaatioteknologian laitos  
Datacity  
Lemminkäisenkatu 14-18 A  
20520 Turku  
Puh. (02) 333 8784  
Fax (02) 333 8600

**Toimittaja, seuran sihteeri:**

Janne Karelaiti  
Teknillinen korkeakoulu  
Systeemanalyysin laboratorio  
PL 1100  
02015 TKK  
Puh. (09) 451 3052

**Jäsenmaksun suuruus:**

25 euroa / vuosi  
jatko-opiskelijat 20 euroa/vuosi  
perusopiskelijat 0 euroa / vuosi

**Mainoshinnat:**

Sivu 100 euroa  
Sivu / 2 eri numeroa 150 euroa

**SISÄLTÖ**

<i>Puheenjohtajan palsta .....</i>	<i>3</i>
<i>Monitavoitteinen optimointi kantavien rakenteiden suunnittelussa .....</i>	<i>5</i>
<i>Turun yliopiston Algoritmiikkalaboratorio esittäytyy .....</i>	<i>11</i>
<i>Logistiikkajärjestelmien mallintaminen – käytännön sovelluksia.....</i>	<i>13</i>
<i>Valmistusjärjestelmien mallinnus ja simulointi arvoverkossa.....</i>	<i>16</i>
<i>Mitä operaatiotutkimus ja laskennallinen tiede voisivat oppia toisiltaan? .....</i>	<i>19</i>
<i>Fiksua päätöksentekoa vai supertietokoneita?.....</i>	<i>19</i>
<i>Mitä on laskennallinen tiede?.....</i>	<i>20</i>
<i>Laskennallisen tieteen merkitys kasvussa .....</i>	<i>21</i>
<i>Simulaatioita päätöksenteon tueksi</i>	<i>22</i>
<i>Opinnäytteet.....</i>	<i>23</i>
<i>Tulevia tapahtumia .....</i>	<i>29</i>

## PUHEENJOHTAJAN PALSTA

**Risto Lahdelma**

*risto.lahdelma@it.utu.fi*

*Tutkijoita on kahdenlaisia.*

*Niitä jotka soveltavat dikotomioita kaikkeen ja niitä jotka eivät sovelle.*

Seuramme tarkoituksena on ”kehittää ja edistää operaatiotutkimusta ja sen soveltamista, levittää tietoisuutta operaatiotutkimuksesta, sekä toimia siitä kiinnostuneiden henkilöiden yhdysseuraksi”. Tuoreena seuran puheenjohtajana huomaan mieltäväni mitä kaikkea operaatiotutkimus pitääkään tänä päivänä sisällään. Ala on toisen maailmansodan aikaisesta ”*operaatioiden tutkimuksesta*” laajentunut siviilipuolelle ja joka suuntaan, niin sovelluskohteiden kuin menetelmienkin osalta. Operaatiotutkimuksen menetelmiä voidaan soveltaa monella eri tasolla matalan tason ohjaus- ja säätötehtävistä aina pitkän aikavälin strategisiin suunnittelu- ja päätöksentekomalleihin. Yleisesti voisi määritellä että kysymys on erilaisten toimintojen tai järjestelmien rationaalisesta tarkastelusta käyttäen hyväksi erilaisia estimointi-, mallinnus-, simulointi-, ja optimointimenetelmiä. Käytännössä näitä menetelmiä sovelletaan useimmiten tietokoneavusteisesti, eli siinä mielessä operaatiotutkimusta voidaan pitää laskennallisena tieteenä (kts Juha Haatajan artikkeli jäljempänä).

*Jos ainoa työvälineesi on vasara,  
koko maailma näyttää naulalta.*

Silti operaatiotutkija ei saisi olla tuntemiansa menetelmien vanki, vaan hänen pitää pystyä tarkastelemaan ratkaistavaa ongelmaa laajemmin, ja osata löytää sopivin ratkaisutapa. Vaarana on, että rupeaa automaattisesti ratkomaan jokaista vastaan tulevaa ongelmaa suosikkimenetelmällään, riippumatta siitä kuinka hyvin se siihen soveltuu. Joskus voi löytää yksinkertaisen ratkaisun intuitiolla tai analyttisen tarkastelun perusteella. Joskus ei ole edes selvää mikä on varsinainen ongelma. Ollaan ehkä ratkaisemassa peräti väärää ongelmaa. Suosikkimääritelmäni operaatiotutkimukselle onkin ”**rationaalinen lähestymistapa ongelmanratkaisuun**”.

*On vain kaksi tapaa harrastaa operaatiotutkimusta,  
nimittäin oikea ja väärä.*

Operaatiotutkijalle onkin tärkeää että hän oppii ymmärtämään sovellusalaa niin hyvin, että tavallinen rationaalinen ajattelu, ”maalaisjärki” tulee avuksi ratkaisutavan valinnassa ja tulosten verifioinnissa. Anekdootti kertoo liikennesuunnittelijasta, joka muodosti funktion sille kuinka onnettomuusriski riippuu ajonopeudesta, derivoi, asetti derivaatan nolaksi ja päätyi tulokseen että kannattaa ajaa mahdollisimman nopeasti. Toisaalta, mallien ja optimoinnin avulla voi myös löytää intuition vastaisia oikeita ratkaisuja. Esimerkiksi verotuksen keventäminen lisääkin valtion verotuloja jos sen seurauksena yleinen toimeliaisuus ja tulotaso kasvavat enemmän (Lafferin käyrä).

Paitsi avoin mieli, operaatiotutkijaa auttaa myös se, että hän tuntee erilaisia menetelmiä ja ymmärtää niiden tarjoamat mahdollisuudet ja rajoitukset. Tässä on ongelmana se, että menetelmien kirjo on jatkuvasti kasvamassa, ja yhden henkilön on vaikea hallita sovellusalojen ohella suuri joukko erilaisia menetelmiä. Kokemuksesta on tietysti hyötyä, mutta operaatiotutkijan on myös oltava valmis oppimaan uutta ja kehittämään uudenlaisia malleja ja menetelmiä.

***Pysyvää on vain muutos.***

Viimeaikaisen kehityksen mukaisesti ollaan yhteiskunnan, kaupan ja teollisuuden eri aloilla siirtymässä regulaatiosta markkinalähtöisiin malleihin. Tämä on tuonut operaatiotutkimukseen useita rinnakkaisia muutostrendejä:

- yksitavoitteisuudesta monitavoitteiseen
- deterministisyydestä epävarman, epätarkan, puuttuvan tai ristiriitaisen tiedon käsittelyyn erilaisilla stokastisilla ja sumeilla tekniikoilla
- resurssiohjauksesta markkinaohjaukseen (primaali vs. duaalimallit)
- yhden toimijan järjestelmistä usean toimijan peliteoreettisiin malleihin

***Matemaatikoita on kolmenlaisia.***

***Niitä jotka osaavat laskea ja niitä jotka eivät osaa.***

Seuramme toiminta jatkuu toimintasuunnitelman mukaisesti kokousten ja seminaarien muodossa. Uusien jäsenten hankintaa päätettiin tehostaa poistamalla jäsenmaksu perusopiskelijoilta. Aika näyttää lisääntyvätkö jäsenmaksutulomme tämän johdosta. Pyydänkin seuran jäseniä markkinoimaan seuramme jäsenyyttä ja sen tilaisuuksia lähipiirissään, sekä runsaslukuisena osallistumaan toimintaamme.

Kevään iltapäiväseminaarissa (24.5 Otaniemessä) teemana on ”Operaatiotutkimus metsä-alalla”. Tervetuloa!

# MONITAVOITTEINEN OPTIMOINTI KANTAVIEN RAKENTEIDEN SUUNNITTELUSSA

## Juhani Koski

Tampereen teknillinen yliopisto, Konetekniikan osasto

*juhani.koski@tut.fi*

*Tutkimustyötä Tampereen teknillisen yliopiston Teknillisen mekaniikan ja optimoinnin laitoksella 1970-luvulta lähtien*

## Taustatietoja

Teknillisen mekaniikan laitos on periaatteessa toiminut Tampereen teknillisessä korkeakoulussa (TTKK) sen alkuajoista eli 1960-luvun puolivälistä alkaen. Sen tehtävänä on ollut opettaa ja tutkia mekaniikkaa ja lujuusoppia kone- ja rakennustekniikan osastoilla. Laitoksen nimi on hieman vaihdellut, ja elokuussa 2002 sen nimeen liitettiin sana optimointi kuvaamaan jo pitkään jatkunutta kantavien rakenteiden optimointitutkimusta. Tämä onkin painopisteala laitoksella, jossa myös opetetaan ja tutkitaan koko lujuusopin laajaa kenttää.

Paitsi laitoksen, myös korkeakoulun (TTKK) nimi muuttui Tampereen teknilliseksi yliopistoksi (TTY). Tämä tapahtui vuoden 2003 alusta ja sen jälkeen olemme siis olleet Tampereen teknillisen yliopiston Teknillisen mekaniikan ja optimoinnin laitos, jonka esimiehenä toimin. Kun laitoksen nimeen liitettiin sana optimointi, aloitettiin samalla myös kaikille koulutusohjelmille tarkoitettu operaatiotutkimuksen ja optimoivan suunnittelun (design optimization) opetus. Periaatteessa siis laitoksella on valmius monialaiseen optimointiin tekniikan eri osa-alueilla ja laajemminkin sen ulkopuolella, mutta toistaiseksi tutkimus on keskittynyt teknillisen mekaniikan sovelluksiin.

## Alkutaival

Teknillisellä mekaniikalla tarkoitetaan sitä mekaniikan osaa, joka liittyy teknisiin sovellutuksiin. Kyseinen tieteenala käsittelee kappaleen liikettä tai deformatumista erilaisten voimien vaikutuksesta. Lujuusoppi, jossa matemaattisten mallien avulla tutkitaan kantavien rakenteiden jäykkyyttä ja lujuutta tai värähtelyä, edustaa käytännön sovellutusten kannalta ehkä teknillisen mekaniikan keskeisintä aluetta. Sen teoria on pitkälle kehittyntä ja yleisyytensä ansiosta sovellettavissa hyvin monipuolisiin kohteisiin. Myös analysoitavien rakenteiden koko voi

vaihdella mikrosirusta suuriin avaruusasemiin, tavallisimpien kohteiden ollessa ajoneuvoja, laivoja, lentokoneita, dieselmoottoireita, rakennuksia ja siltoja sekä erilaisia teollisuuden komponentteja. Tietokoneiden ansiosta nykyään on mahdollista ratkaista numeerisesti hyvinkin suuria, esimerkiksi miljoonan primäärituntemattoman analysointiongelmia, kohtuullisessa ajassa elementtimenetelmän (Finite Element Method) avulla.

Kantavien rakenteiden optimoinnin (Structural optimization) voidaan katsoa alkaneen jo 1700-luvulla, jolloin matemaatikko J. L. Lagrange (1736 – 1813) ja eräät muut sovelsivat variaatiolaskentaa lujuustekniseen suunnitteluun. Erityisesti lentokoneenrakennuksessa, missä keveän rakenteen merkitys korostuu äärimmilleen, on optimoivia suunnittelumenetelmiä käytetty vuosikymmeniä. Varsinaiseksi suuren mittakaavan tieteenalaksi kantavien rakenteiden optimointi kasvoi 1970-luvulla, jolloin tietokonelaskenta ja elementtimenetelmä tekivät mahdolliseksi useiden tuotesuunnittelussa esiintyvien optimointiongelmien ratkaisemisen. Kymmenisen vuotta myöhemmin syntyi myös ensimmäinen pelkästään kantavien rakenteiden optimointiin tarkoitettu tieteellinen aikakauslehti ”Structural Optimization” (Springer-Verlag), jonka toiminta on alusta lähtien ollut aktiivista ja kansainvälistä sekä jatkuvasti yhä monipuolisempaa.

Kantavien rakenteiden optimointitutkimus alkoi Tampereen teknillisessä korkeakoulussa vuonna 1976, jolloin toimin lujuusopin assistenttina ja aloittelin lisensiaattityötäni. Erikoisesti minua kiinnosti monitavoitteinen ongelmanasettelu, joka luonnostaan syntyy rakennesuunnittelussa. Pyrittäessä keveään rakenteeseen sen jäykkyys, joka yleensä haluttaisiin maksimoida, pienenee aiheuttaen suuria siirtymiä ja stabiiliusongelmia. Keskenään ristiriitaiset ja erimitalliset kriteerit, paino ja joustavuus, ovat luontevia minimoitavia mitä erilaisimmissa sovellutuksissa. Löysin muistaakseni yhden lyhyen saksankielisen julkaisun, jossa tällaista oli yritetty, ja päätin selvittää asioita omatoimisesti. Keskeistä oli ongelman huolellinen formulointi, johon ei löytynyt esikuvaa. Erityisesti käytännön suunnittelun kannalta sopivien kriteerien (kohdefunktioiden) valinta oli ongelmallista, vaikka niiden tuli painoon ja joustavuuteen liittyäkin. Ensimmäinen, ristikon monitavoiteoptimointia käsittelevä julkaisu (Truss optimization with vector criterion) julkaistiinkin melkoisen itsekritiikin hidastamana vasta vuonna 1979. Se ilmestyi TTKK:n lähinnä väitöskirjoja sisältävässä julkaisusarjassa järjestysnumerolla 6 (!) ja kuuluu siihen muutaman julkaisun joukkoon, jotka aiheesta nyt tunnetaan ennen 1980-lukua.

Tämän pelinavauksen jälkeen jatkoin tutkimustyötäni yhdessä matemaatikko *Risto Silvennoisen* kanssa koko 1980-luvun. Tavoitteemme oli generoida Pareto-optimeja ristikkotehtäville analyyttisesti ja numeerisesti eri tekniikoilla. Väitöskirjassani (Bicriterion optimum design method for elastic trusses, 1984) esitin lujuusopin ongelmiin erityisesti tarkoitettun interaktiivisen

suunnittelumenetelmän, jossa päästiin lopulliseen optimirakenteeseen pienemmällä määrällä Pareto-optimeja. Teollisia sovellutuksia edusti keskinopean dieselmoottorin keraamisen männänpään muodon optimointi, jossa materiaalitulavuutta ja Weibullin jakautumaan perustuvaa vaurioitumistodennäköisyyttä minimoitiin. Yhdessä vastaväittäjäni, puolalaisen professori Osyczkan ja saksalaisen professori Eschenauerin kanssa julkaisimme myös monitavoitteisen optimoinnin erilaisia, lähinnä teollisia sovellutuksia käsittelevän kirjan (Multicriteria Design Optimization, Springer, 1990).

## **Kansainvälinen optimoinnin tiedeyhdistys ISSMO**

International Society for Structural and Multidisciplinary Optimization (ISSMO) on kansainvälinen tieteellinen yhdistys, jonka tarkoituksena on edistää ja tukea lujuusopillisesti ja monifysikaalisesti rakenteiden optimointiin keskittyvien alojen tutkimusta ja tietojen välitystä sekä koota alasta kiinnostuneet henkilöt ja yhteisöt yhdistyksen piiriin. Yhdistyksen perusti ryhmä ”NATO Advanced Study Institute: Optimization of Large Structural Systems”-kokouksen osanottajia Berchtesgadenissa Saksassa lokakuussa 1991. Kokous äänesti johtokunnan, joka luonnosteli yhdistyksen tavoitteet ja järjestäytymisen yhdistykseksi. Nimi muutettiin vuonna 1993 ISSMOksi. Yhdistyksen ensimmäinen virallinen kokous ”The 5th Symposium on Multidisciplinary Analysis and Optimization” pidettiin yhteistyössä ilmailualan järjestöjen AIAA (American Institute of Aeronautics and Astronautics), NASA sekä US Air Force kanssa Panama Cityssä Floridassa syyskuussa 1994. Jäsenet vauhdittivat yhdistyksen perustamista aktiivisella osallistumisella kokoukseen, osallistujia kirjattiin ennätysmäiset 370 henkeä. Yleinen kokous vahvisti yhdistyksen johtokunnan ja hyväksyi perustamiskirjan. Tuolloin yhdeksi yhdistyksen tavoitteeksi kirjattiin koota yhteen lujuusopillisesti ja monifysikaalisesti rakenteiden optimointiin keskittyvien alojen tutkijat ja soveltajat järjestämällä yhdistyksen jäsenille korkeatasoisia tieteellisiä konferensseja kohtuullisin kustannuksin.

Nykyään yhdistykseen kuuluu noin 500 jäsentä 35:stä eri maasta. Yhdistys järjestää korkeatasoisen kansainvälisen konferenssin World Congress of Structural and Multidisciplinary Optimization (WCSMO) normaalisti joka toinen vuosi. Ensimmäinen konferenssi WCSMO-1 pidettiin Goslarissa Saksassa vuonna 1995 ja viimeisin WCSMO-6 Rio de Janeirossa Brasiliassa vuonna 2005. Lisäksi Springer-Verlag Heidelberg julkaisee aiemmin mainittua yhdistyksen tieteellistä lehteä Structural and Multidisciplinary Optimization noin neljä kertaa vuodessa. Kuluvana vuonna on menossa lehden 31. nide. Yksityishenkilö tai yhdistys voi liittyä ISSMON jäseneksi yhdistyksen järjestämissä tilaisuuksissa tai [www-sivuilla esitettyjen ohjeiden mukaan](http://www.sivuilla.esitettyjen.ohjeiden.mukaan). Tarkempia tietoja yhdistyksestä ja sen toiminnasta saa ISSMON [www-sivuilta](http://www.sivuilla)

(<http://www.issmo.org>). Olen itse ollut yhdistyksen toiminnassa mukana lähinnä Structural Optimization -lehden välityksellä toimien sen asiantuntijaneuvoston jäsenenä lehden perustamisesta alkaen. Edellä mainittuihin alkupään konferensseihin osallistuin laitokseltamme yksinäisenä tutkijana, mutta uusien nuorten optimointitutkijoiden myötä laitos on osallistunut yhä runsaslukuisemmin alan tieteellisiin tapahtumiin. Vasta 1980-luvulla alkoi konferensseihin ja tieteellisiin aikakauslehtiin ilmaantua merkittävämmiin monitavoitteista optimointia käsitteleviä tutkimuksia. Seuraavalla vuosikymmenellä niitä oli jo runsaasti, ja nykypäivänä ne edustavat yhtä suorastaan klassista tutkimushaaraa kantavien rakenteiden optimoinnissa, joka luonnollisesti sisältää paljon muutakin.

## Tutkimusryhmä muodostuu

Yhdeksänkymmentäluvun alkuun mennessä oli kahden hengen tutkimusryhmämme tuottanut erilaisia monitavoiteoptimointiin ja lujuusoppiin liittyviä tieteellisiä julkaisuja ja perustanut Kantavien rakenteiden optimointi-nimisen opintojakson silloiseen TTKK:n koulutusohjelmaan. Lisäksi laitoksellamme oli tehty kolme diplomityötä tästä aiheesta. Opetuksen käynnistyttyä aloimme saada assistentteja, joilla oli taidolliset valmiudet tehdä tutkimustyötä optimoinnin alueella.

TkT *Petri Kere*, joka on nyt laitoksellamme dosenttina, on tehnyt väitöskirjansa ja useita julkaisuja komposiittirakenteiden monivavoitteisesta optimoinnista. Hänen tutkimuksensa tavoitteena on kehittää tehokas laskentaympäristö komposiittikuorirakenteiden monitavoitteiseen optimointiin hajautetussa grid-laskentaympäristössä. Elmer-ratkaisijaan kehitetään ja liitetään tehokkaita lineaaristen ja epälineaaristen yhtälösystemien ratkaisijoita. Suunnitteluympäristö koostuu Elmer-ratkaisijan lisäksi tutkimuksessa kehitettävästä optimointimoduulista, jonka avulla optimointiprosessin etenemistä kontrolloidaan ja suunnitteluavaruuden pisteitä vastaavia laskentatehtäviä lähetetään ratkaistavaksi gridiin. Optimointimoduuliin liitettävät kohde- ja rajoitusfunktiot sisältävät rakenteiden tyypillisiä suunnittelukriteerejä: keveys, jäykkyys, jännitysvenymätila murtokriittisillä alueilla, mittapysyvyys lämpö- ja kosteuskuormien alaisena, rakenteen käyttäytyminen tasapainopolun epälineaarilla alueella sekä värähtelyominaisuudet. Laskenta-alustana toimii NorduGrid, johon kuuluu noin 53 Linux-klusteria ja yhteensä noin 5500 prosessoria. Sekä heurististen hakualgoritmien että stokastisten populaatioon perustuvien algoritmien toimivuutta ja suorituskykyä hajautetussa grid-laskentaympäristössä tutkitaan ja vertaillaan.

Keren väitöskirja julkaistiin vuonna 2002, ja vuotta myöhemmin TkT *Markus Aho* väitteli myös komposiittien optimoinnista. Jälkimmäiseen työhön perustuen minimoitiin diplomityönä uuden



Airbus-jättikoneen spoilerien painoa. Molemmat väitöskirjat käyttävät monitavoitteista optimointia hyväkseen.

Samanaikaisesti Ahon kanssa julkaistiin *Timo Turkkilan* väitöskirja palkkirakenteiden topologian optimoinnista. Tässä työssä minimoitavien kriteereiden määrä vaihteli yhdestä (skalaarioptimointi) neljään käsittäen rakenteen massan sekä useita solmusiirtymiä. Tällä hetkellä Aho ja Turkkila työskentelevät Nokia Mobile Phones-yhtiön tutkimus- ja tuotekehitysosastolla Tampereella ja Kere Patenti- ja rekisterihallituksessa Helsingissä.

Nuorempaa tutkijapolvea edustavat yliassistentti TkL *Jussi Jalkanen* ja assistentti, DI *Juha Mäkipelto*, jotka ovat työssään jo edenneet lähelle väitöskirjaa. Jalkasen tutkimus käsittelee käytännön kannalta tärkeiden putkipalkkikehien diskreettiä optimointia. Hän on soveltanut omaan ongelmaansa erilaisia heuristisia optimointialgoritmeja, kuten geneettinen ja parveilualgoritmi sekä tabuhaku ja simuloitu jäädytys. Ristiriitaisia kriteereitä ovat kustannus, jonka muodostuminen on myös osa tutkimusta, sekä rakenteen jäykkyyteen, stabiiliuteen ja ominaisvärähtelyyn liittyvät suuret. Lisäksi hän on vertaillut algoritmien keskinäistä paremmuutta käyttäen arvioinnin pohjana konvergointia ja funktioiden määritysten lukumäärää. Mäkipelto puolestaan kehittää optimointialgoritmia muodon optimointitehtävän ratkaisemiseksi. Hän soveltaa tarkkaa geometrian kuvausta ja p-hierarkisia elementtejä, joiden muotofunktioavaruutta rikastetaan. Optimointiongelma formuloidaan tässäkin työssä monitavoitteisena.

Laitoksen toinen keskeinen tutkimusalue, epälineaarinen elementtimenetelmä, yhdistyy DI *Sami Holopaisen* tutkimustyössä optimointiin. Tässä yhteydessä korostuu mahdollisimman tarkan ja taloudellisen herkkyyksianalyysin kehittäminen. Lisäksi DI *Timo Saksala*, jonka väitöskirja-aihe on kiven rikkoutumismekanismi kallioporauksessa, on julkaissut raportin, joka selvittää Pareto-optimien ja Nashin tasopainopisteiden välisiä relaatioita ristikon optimoinnissa.

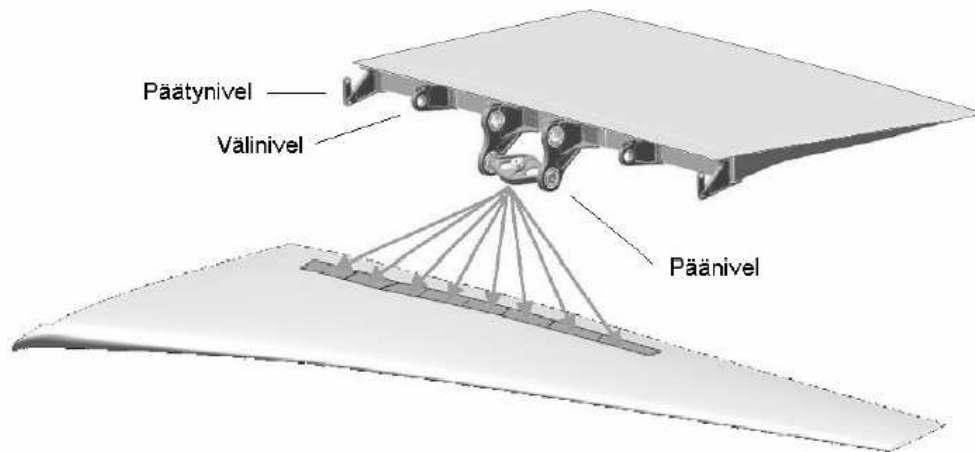
## **Tutkimuksen linjaus tästä eteenpäin**

Teknillisen mekaniikan ja optimoinnin laitos on mukana Helsingin kauppakorkeakoulun professorin *Kaisa Miettisen* johtamassa monitavoitteista optimointia ja päätöksentekoa käsittelevässä TEKES-projektissa, johon osallistuvat Helsingin kauppakorkeakoulun ja Tampereen teknillisen yliopiston lisäksi myös Jyväskylän ja Kuopion yliopistot sekä Teknillinen korkeakoulu. Oma aiheemme tässä projektissa on diskreetti monitavoitteinen optimointi.

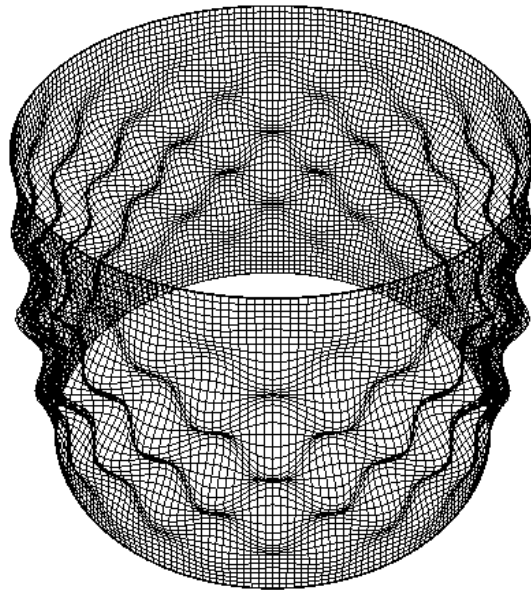
Kahden ensimmäisen vuosikymmenen aikana tarkasteltiin ongelmia, joissa suunnittelumuuttujat (design or decision variables) oletettiin jatkuviksi. Yhä ilmeisemmäksi 1990-luvulla alkoi käydä, että useimmat rakennesuunnittelun optimointiongelmat sisältävät myös diskreettejä muuttujia.

Tällaisia ovat esimerkiksi levynpaksuudet, standardiprofiilien koot, pulttien ja tukien lukumäärä, joista kaksi viimeksi mainittua ovat kokonaislukumuuttujia. Sekalukuoptimointia on optimoinnissa tutkittu pitkään, mutta sen erityispiirteitä ei ole kunnolla hyödynnetty monitavoitteisessa optimoinnissa. Jalkasen tutkimuksen rinnalla on kehitteillä algoritmi, jolla saadaan generoitua kaikki ongelman Pareto-optimiit sekalukutehtävälle. Tähän tarkoitukseen osana kyseistä TEKES-projektia tekn. yo. *Kristo Mela* tekee diplomityönään algoritmia, joka soveltaa intervallilaskentaa. Samalla pyritään selvittämään, kuinka suuria tehtäviä tällaisella tarkalla menetelmällä pystytään ratkaisemaan. Työ valmistuu keväällä 2006.

Tässä on kuvattu lyhyesti ja pääpiirteittäin laitoksemme optimointitutkimusta, jossa monitavoitteinen päätöksenteko on keskeisellä sijalla. Yhtä Pareto-optimia haettaessa täytyy tavallisesti ratkaista numeerisesti yksi tai useampi skalaaritehtävä. Siinä yhteydessä joudutaan tekemään tavallisesti useita rakenneanalyyssejä sekä gradienttilaskentoja elementtimenetelmällä. Tämä tulee raalisen kokoisessa suunnitteluongelmassa helposti kalliiksi tai jopa ylivoimaiseksi. Vaikka perimmäisenä tavoitteena onkin interaktiivinen päätöksentekoalgoritmi, tutkimus suuntautuu lähiaikoina luultavimmin juuri Pareto-optimien generoinnin tehostamiseen lujousteknisissä ongelmissa.



**Kuva 1.** Airbus A380–matkustajakoneen siipi ja spoileri, jonka suunnittelussa on sovellettu monitavoitteista optimointia.



**Kuva 2. Elementtimenetelmään perustuvalla Elmer-ohjelmistolla lasketun komposiittirakenteisen sylinterikuoren eräs lommahdusmuoto sekä laskentamalliin liittyvä elementtiverkko.**

## **TURUN YLIOPISTON ALGORITMIKKALABORATORIO ESITTÄYTYY**

### **Risto Lahdelma**

Turun yliopisto, Informaatiotekniikan laitos

*risto.lahdelma@it.utu.fi*

Algoritmiikkalaboratorio on yksi TUCS:n (Turku Center for Computer Science) 17 tutkimuslaboratoriosta. Algoritmiikkalaboratorio koostuu pääasiassa Turun yliopiston Informaatioteknologian (IT) laitoksen tietojenkäsittelytieteen ja tietotekniikan tutkijoista. Laboratoriossa toimii 4 professoria, 4 vanhempaa tutkijaa ja n. 15 tohtoriopiskelijaa. Laboratorioita johtavat Prof. Olli Nevalainen (teolliset algoritmit, data-analyysi) ja Prof. Risto Lahdelma (teolliset algoritmit, sulautetut järjestelmät).

Laboratorion tutkimuskohteena on tehokkaiden, erityisesti teollisiin sovelluksiin sopivien algoritmien kehittäminen ja analysointi, unohtamatta teoreettista algoritmitutkimusta. Erilaisia käytännön ongelmia lähestytään esimerkiksi simulointi-, estimointi- ja optimointimenetelmin. Viime aikoina tutkimus on suuntautunut myös kehittyneiden ohjelmistotekniikan menetelmien ja

reaaliaikaisen tietokonegrafiikan alalle. Laboratorion tutkimusaiheet voidaan jaotella seuraavasti:

- Teolliset algoritmit – Kehitetään algoritmeja eri sovellusaloille, esimerkiksi piirilevyvalmistukseen ja energiantuotantoon. Ongelmat voivat olla hyvin eri tasoisia, alkaen korkean tason strategisista päätöksenteon tukimalleista, operatiivisiin tuotannosuunnittelun optimointimalleihin ja sulautettuihin tuotannon ohjaus- ja säätöjärjestelmiin. Näitä tehtäviä voidaan ratkoa esimerkiksi lineaarisen ja sekalukuoptimoinnin menetelmillä, 0/1-tehtävinä, rajoite- ja logiikkaohjelmoinnin avulla, erikoisalgoritmeilla, erilaisilla heuristisilla menetelmillä, sekä monitavoitteisen optimoinnin avulla. Viime aikoina on keskitytty erityisesti stokastisten tehtävien formulointiin ja ratkaisemiseen.
- Data-analyysi ja signaalinkäsittely – Tutkimusryhmä toimii yhteistyössä useiden muiden tutkimusyksiköiden kanssa, mukaanlukien Turun Biotekniikan keskus, Biolääketieteen laitos ja Työterveyslaitos. Ryhmä on kehittänyt esim. lääketieteellisten kuvien ja spektrometrian analyysimenetelmiä, sekä tutkinut tautien aiheutumista geenitasolla.
- Tiedon louhinta – Tutkimusryhmä on kehittänyt algoritmeja, joilla voidaan löytää toistuvia hahmoja kvantitatiivista tietoa sisältävistä relaatiokannoista ja diskretoida kvantitatiivisia määrittelyjoukkoja. Algoritmit on yleistetty myös sumeille arvoille.
- Rinnakkaislaskenta – Viimeksi on tutkittu reititysongelmien ratkaisemista jaetun muistin rinnakkaismallilla.
- Oliopohjaiset ohjelmistotekniikat – Ryhmä tutkii ohjelmistojen laadun parantamista oliopohjaisilla mekanismeilla, joilla voidaan taata objektien eheys (konsistenttisuus).
- Tietokonepelit ja grafiikka – Ryhmä on tutkinut mm. tietoverkon aiheuttamia rajoituksia monen pelaajan peleihin, sekä reaaliaikaista päätöksentekoa pelien tekoälyssä. Tietokonegrafiikan alalla on kehitetty mm. varjojen nopeaa reaaliaikaista generointia.
- Merkkijonoalgoritmit – Ryhmä on kehittänyt nopeita algoritmeja pisimmän yhteisen alimerkkijonon löytämiseksi, mikä on tärkeä osatehtävä monissa sovelluksissa.

Vuonna 2005 laboratoriossa on valmistunut kolme väitöskirjaa

- Joonas Lehtinen. Coding of Wavelet-Transformed Images.
- Jukka Arvo. Efficient Algorithms for Hardware-Accelerated Shadow Computation.

- Mika Hirvikorpi. On the Tactical Level Production Planning in Flexible Manufacturing Systems.

#### Lisätietoja

- Turun yliopisto: [www.utu.fi](http://www.utu.fi)
- Informaatioteknologian laitos: [www.it.utu.fi](http://www.it.utu.fi)
- Algoritmiikka-laboratorio: [www.tucs.fi/research/labs/alg.php](http://www.tucs.fi/research/labs/alg.php)
- TUCS: [www.tucs.fi](http://www.tucs.fi)

## **LOGISTIIKKAJÄRJESTELMIEN MALLINTAMINEN – KÄYTÄNNÖN SOVELLUKSIA**

### **Ville Hyvönen**

EP-Logistics

*ville.hyvonen@ep-logistics.fi*

Pääasiallinen motiivi logistiikkajärjestelmien käytännön mallinnushankkeissa on lähes aina halu parantaa toiminnan taloudellista tulosta. Taloudellisen tuloksen parantamiseen löytyy yleensä lukuisia vaihtoehtoisia keinoja. Taloudellista tulosta voidaan parantaa esimerkiksi lisäämällä tuotanto- ja myyntivolyymia, kehittämällä toiminnan kustannustehokkuutta tai parantamalla järjestelmän suorituskykyä investoinneilla tai ohjausta kehittämällä.

Useiden vaihtoehtoisten kehitystapojen todellisten kokonaisvaikutusten arvioiminen etukäteen varsinkin monimutkaisissa järjestelmissä on vaikea tehtävä. Koska erilaisten muutosten kokeileminen todellisella järjestelmällä on useimmiten varsin kallista, hidasta ja riskialtista - epäonnistunut kokeilu saattaa aiheuttaa suuriakin tappioita – jää käytännössä ainoaksi vaihtoehdoksi arvioida erilaisten muutosten vaikutuksia todellista järjestelmää kuvaavilla malleilla. Mallit voivat olla esimerkiksi fyysisiä malleja, ns. sosiaalisia malleja kuten erilaiset yrityspelit tai matemaattisia malleja. Käytännössä logistiikkajärjestelmien, kuten tilaus-toimitusverkostojen, tuotantolaitosten tai materiaalinkäsittelyjärjestelmien mallintamisessa käytetään lähes pelkästään erilaisia matemaattisia malleja.

Erityyppiset matemaattiset mallit soveltuvat erityyppisten käytännön ongelmien ratkaisemiseen. Logistiikkajärjestelmien mallinnusongelmat voidaan jakaa karkeasti neljään tyyppiin sen mukaan ovatko ne luonteeltaan staattisia vai dynaamisia ja deterministisiä vai stokastisia.

Mallinnusmenetelmän valinnan kannalta merkittävin tekijä on dynamiikan merkitys mallinnettavassa järjestelmässä. Luonteeltaan staattisia mallinnusongelmia ovat esimerkiksi erilaiset kuljetus- ja varastoverkoston taloudelliset optimointiongelmat, logistiikkapalveluntarjoajien kustannusvertailut tai erityyppisten tuotteiden jakeluteiden valintaongelmat. Todellisuudessa järjestelmän dynamiikalla on merkitystä myös edellä kuvatuissa mallinnusongelmissa, mutta sen vaikutus kokonaisuuteen on useimmiten niin pieni, että riittävän tarkkaan lopputulokseen päästään staattisia mallinnusmenetelmiä käyttäen. Mallinnusongelmia, joissa järjestelmän dynaamisella käyttäytymisellä on usein kriittinen merkitys, ovat esimerkiksi tilaus-toimitusverkoston suorituskyky- tai palvelutasotarkastelut, tuotanto- ja varastointijärjestelmien tarkastelut tai materiaalinkäsittelyjärjestelmien suorituskyvyn arvioinnit.

Luonteeltaan staattisten ongelmien ratkaisemisessa käytetään erilaisia analyyttisiä optimointimenetelmiä tai laskentamalleja. Dynaamisten logistiikkajärjestelmien mallintamisessa taas dynaaminen simulointi on käytännössä ainoa keino saada kohtuullisella työmäärällä todellista järjestelmää riittävän tarkasti kuvaavia tuloksia.

Analyyttisiä optimointimalleja käytetään yleensä erilaisten logististen verkostojen optimoinnissa. Käsitteen ”optimaalinen logistiikkaverkosto” voidaan katsoa kattavan sekä verkoston optimaalisen rakenteen - pisteet ja reitit - että verkoston optimaalisen käytön. Verkoston rakenteen optimointiin annetun kriteerin tai kriteerien pohjalta on olemassa lukuisia toimivia menetelmiä. Verkoston käytön optimointi sen sijaan on huomattavasti hankalampaa; rakenteeltaan optimaalista verkostoa ei käytännössä aina voida optimaalisesti hyödyntää.

Analyyttisten optimointimenetelmien käyttämisessä on joitakin merkittäviä etuja. Analyttiset menetelmät antavat määriteltyyn ongelmaan optimiratkaisun, ne voidaan usein toteuttaa yleisillä ja suhteellisen edullisilla työkaluilla ja tehokkailla algoritmeilla laskenta on suhteellisen nopeaa. Analyttisillä menetelmillä on kuitenkin heikkouksia, jotka rajoittavat tehokkaasti niiden soveltuvuutta käytännön ongelmien ratkaisemiseen. Analyttisesti ratkeavan mallin laatiminen todellisesta järjestelmästä käytettävissä olevan ajan ja budjetin puitteissa on usein mahdotonta, dynamiikan huomiointi on vaikeaa tai mahdotonta ja epälineaaristen ilmiöiden mallintaminen saattaa olla vaikeaa. Lisäksi maallikon on usein vaikea ymmärtää analyyttisten mallien toimintaa. Tällöin mallien validointi voi olla vaikeaa.

Käytännössä analyyttisten menetelmien sovellusalue onkin suhteellisen rajallinen. EP-Logisticsilla analyyttisiä laskenta- ja optimointimalleja on käytetty esimerkiksi Koneen Euroopan toimitusverkoston mallinnuksessa sekä Keskon ja Onnisen tuotteiden jakelutieanalyysissä.

Luonteeltaan dynaamisten logistiikkajärjestelmien mallinnuksessa käytetyin menetelmä on tapahtumapohjainen simulointi. Simuloinnin käyttöä puoltavat monet tärkeät seikat. Malleissa voidaan huomioida järjestelmän dynamiikka tarkalla tasolla, monimutkaisten stokastisten järjestelmien tutkiminen on suhteellisen helppoa, jonotuksen ja priorisointisääntöjen vaikutukset voidaan ottaa huomioon ja vaihtoehtoisten järjestelmien vertailu on helppoa. Lisäksi simulointimallit ovat usein havainnollisia ja suhteellisen intuitiivisia, mikä helpottaa validointia ja parantaa tulosten uskottavuutta.

Myös simuloinnin käytössä on joitakin merkittäviä heikkouksia. Simuloinnin tulokset ovat aina vain estimaatteja todellisista tapahtumista, heuristisena menetelmänä simulointi ei myöskään optimoi eikä etsi vastauksia. Tällöin simulointiajoja tarvitaan usein paljon ja tulosten laatu pitkälti on simulointiajojen suunnittelijan osaamisen varassa.

Simuloinnin vahvimpia käytännön sovellusalueita ovat esimerkiksi toimitusverkostojen suorituskykyanalyysit, tuotantojärjestelmien tarkastelut ja operatiivisen toiminnansuunnittelun työkalut. EP-Logisticsilla simulointia on käytetty esimerkiksi Nokian globaalien toimitusverkoston mallinnuksessa, Matkahuollon Kampin terminaalin ohjausjärjestelmässä sekä lukuisten tuotanto- ja materiaalinkäsittelyjärjestelmien mallinnuksessa.

Tietyn tyyppisissä mallinnushankkeissa on perusteltua käyttää analyttisen optimointimallin ja simuloinnin yhdistelmää, jolloin päästään yhdistämään kummankin menetelmän parhaat puolet. Esimerkiksi logistiikkaverkoston mallinnuksessa voidaan ensin laskea analyttisin menetelmin kustannustekijöiden valossa optimaalinen verkoston rakenne. Analyttisesti optimoidun verkoston suorituskyky todellisessa dynaamisessa ympäristössä voidaan sitten testata dynaamisen simuloinnin avulla. Tällöin voidaan selvittää miten ja millaisilla varastotasoilla ja ohjausperiaatteilla optimoitu verkosto selviytyy esimerkiksi todellisista kysynnän vaihteluista, tuotannon kapasiteettirajoituksista tai toimitusaikavaatimuksista. Tällaista yhdistelmäratkaisua on käytetty muun muassa Borealis Polymersin Euroopan toimitusverkoston mallinnuksessa.

Yleisesti ottaen voidaan todeta, että lähestulkoon kaikkiin käytännön logistiikan mallinnusongelmiin löytyy sopiva mallinnusmenetelmä, mutta yhtä kaikilla osa-alueilla tehokkaasti toimivaa menetelmää ei ole. Käytännön logistiikan mallinnushankkeissa suurena haasteena on usein löytää aikataulun ja budjetin rajoissa riittävän hyvän tuloksen antava mallinnusmenetelmä. Mallintajan on osattava hyvin nopeasti määritellä mallinnuksen tavoitteet ja tutkimusongelma sekä valita oikea mallinnusmenetelmä ja yksityiskohtaisuuden taso. Käytännön mallinnushankkeissa mallintajan kokemus ja mallinnettavan järjestelmän tuntemus ovatkin usein koko mallinnushankkeen onnistumisen kannalta kriittisiä tekijöitä.

# VALMISTUSJÄRJESTELMIEN MALLINNUS JA SIMULOINTI ARVOVERKOSSA

Juhani Heilala

VTT

*juhani.heilala@vtt.fi*

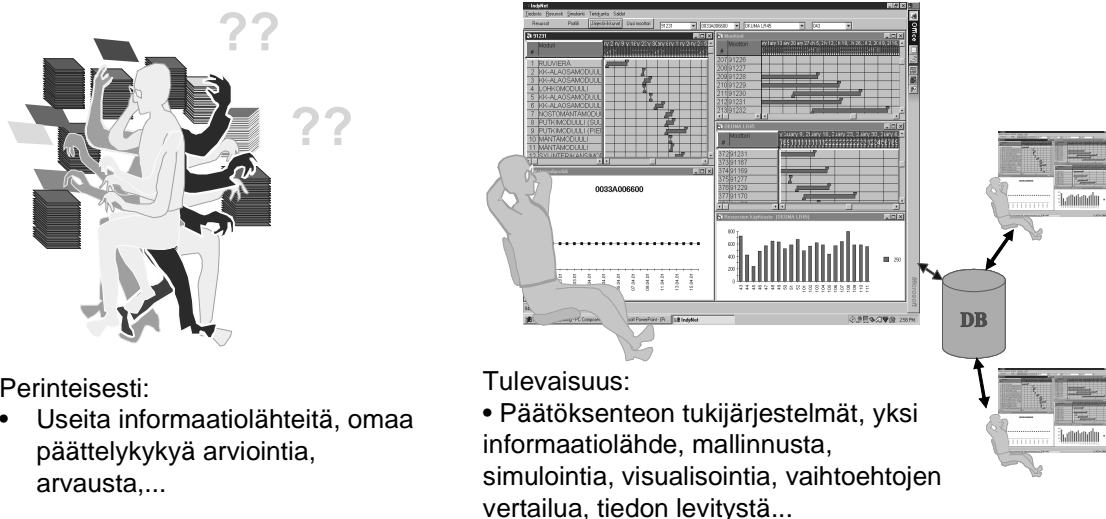
Jari Montonen

VTT

*jari.montonen@vtt.fi*

Kappaletavaratuotannon tuotantojärjestelmien simulointi, tehdassimulointi, on perinteisesti ollut työväline järjestelmäsuunnitteluun, keino varmistaa järjestelmän toimivuus. Yksittäisen tuotantoyksikön simulointimallinnus on Suomessa jo rutiininomaista toimintaa, mutta jokainen simulointimallinnus on kuitenkin edelleen erillinen projekti. Tapahtumapohjaista simulointia voidaan hyödyntää myös tuotantoverkoston hallinnassa, tuotantokapasiteetin suunnittelussa ja asiakastilauksien ajoituksessa. Erityisesti asiakasohjautuvan tuotannon hallinta on monimutkaista, jokainen uusi tilaus voi olla erilainen ja kuormittaa tuotantoresursseja epätasaisesti, lisäksi verkottunut toimintapa lisää haasteita. Syntyy dynaamisia pullonkauloja, joiden sijainti riippuu tuotannossa olevista tilauksista sekä resurssien statuksesta.

## Vaihtoehtojen vertailua



**Kuva 1. Tuotannon operatiivinen simulointi auttaa tuotannon päätöksenteossa.**

Kehittyneet operatiivisen simuloinnin järjestelmät (kuva 1.) ovat mallinnusorientoituneita päätöksenteon tukijärjestelmiä, joissa simulointi tai laskenta on integroitu graafisen käyttöliittymän taakse. Tällainen interaktiivinen tietokonepohjainen järjestelmä hyödyntää mm.



tuotantojärjestelmän mallia, tuotannon ja tuoterakenteiden monimutkaisia riippuvuussuhteita, tilaustietoja sekä käyttäjien antamia parametreja analysoitaessa tuotannon tulevia tilanteita. Päätöksenteossa hyödynnetään tuotantoyksiköiden ja tilauksien visualisointia tulevassa simuloidussa ajassa pohjautuen annettuihin lähtötietoihin. Tuotantopäälliköillä ja muilla tuotannosta vastaavilla henkilöillä on mahdollisuus vertailla vaihtoehtojen vaikutusta, tunnistaa ongelmat, suunnitella ja testata korjaavia toimenpiteitä etukäteen. Järjestelmät eivät yleensä anna automaattisesti ratkaisua vaan auttavat käyttäjiä etsimään ratkaisuja näyttämällä vaihtoehtojen vaikutukset, ratkaisun haussa voidaan hyödyntää myös optimointimenetelmiä.

Tällaisen työkalun käyttö ei rajoitu vain operatiiviseen simulointiin, myös luonteeltaan strategiset analyysit ovat mahdollisia. Investointeja voidaan arvioida lisäämällä malliin kuormitusryhmiä (FMS), jolloin voidaan tutkia investointien vaikutuksia käyttäen kuormitustietona historiatietoa tai kuvitteellista tilauskantaa. Mallin avulla voidaan tutkia myös henkilöstöresurssien lisäämistä ja vuorojärjestelyitä; minne tarvitaan lisää operaattoreita tai minkälaisia osaajia tarvitaan lisää. Tulevaisuuden tuotantomixejä ja volyymin muutoksen vaikutuksia voidaan myös arvioida. Lisäksi malli tuo työkalun make or buy -päätöksiin, alihankinnan ohjaukseen sekä investointitarpeiden määrityksiin.

Järjestelmän kehittämisen ja hyödyntämisen perusehto on, että olemassa olevat tuotanto-, tilaus- ja toimitusprosessit tunnetaan riittävän tarkasti. Tietokoneavusteisen järjestelmän rakentaminen ja tehokas hyödyntäminen pakottaa vakioimaan toimintatapoja ja prosesseja. On muistettava että tuloksien tarkkuus riippuu annetuista lähtöarvoista. Jokainen tällaisen järjestelmän uusi implementointi on kehitysprojekti, joka vaatii resursseja kehittäjiltä ja loppukäyttäjältä. Alkuvaiheissa määrittely vaatii loppukäyttäjän resursseja ja etenkin testausvaiheessa tarvitaan tulevien käyttäjien panosta. Testaamista ei saa aliarvioida, järjestelmän toiminnan on oltava luotettavaa ja tulosten riittävän tarkkoja. Simulointimallinnuksen haaste on kehittää menetelmiä loppukäyttäjälle simulointimallin muutoksiin ja ylläpitoon. Joustavalla mallinnuksella (geneerinen simulointimalli, komponenttipohjainen simulointi, parametrinen mallinnus), voi käyttäjä itse helposti muuttaa mallia ilman erityistä simulointiasiantuntijaa. Simulointimallinnuksen toinen haaste on määrittellä käyttöliittymä tiedon selailuun. Perinteisten simulointiohjelmiston tarjoama käyttöliittymä vaatii erikoisosaamista eikä kaikkien käyttäjien ole järkevää käyttää simulointiohjelmiston omaa käyttöliittymää. Eri käyttäjillä on erilaiset tarpeet ja vain riittävän helppokäyttöinen käyttöliittymä palvelee kaikkien käyttäjien tarpeita. Haasteena on myös luotettavan tiedonsiirron kehittäminen tuotannonsuunnittelun tietojärjestelmästä toiseen, erityisesti jos arvoverkossa on eri yrityksiä. Operatiivisessa simuloinnissa tiedot on siirrettävä muista tuotannon tietojärjestelmistä automaattisesti simulointimalliin.

Tekniikkaa ja menetelmiä tuotantotoiminnan operatiiviseen simulointiin on olemassa, mutta todelliset laajat, verkottuneet toteutukset ovat edelleen harvinaisia, eikä niitä ole raportoitu. Valmista ohjelmistoa ei vielä voi ostaa kaupan hyllyltä ja sovelluskohtaisen räätälöinnin osuus on merkittävä kustannus. Tietojärjestelmien integroinnin haasteet, mukautuvien simulointisovellutuksien ja helppokäyttöisen käyttöliittymän toteuttamisen hankaluus on vaikeuttanut teknologian leviämistä. Operatiivisen simuloinnin esimerkkejä on myös Suomessa toteutettu, tutkimuslaitokset, VTT, teknilliset korkeakoulut ja muutamat yritykset ovat tehneet kehitystyötä. Kirjoittajan tuntemat ratkaisut ovat toisistaan poikkeavia, vaikka kehitystyön haasteet ovat samanlaisia; mallinnus, oli kyseessä optimointi tai simulointi; luotettava tiedonsiirto järjestelmästä toiseen sekä helppokäyttöinen käyttöliittymä tulosten selailuun. Globaali kilpailu ja verkottuminen pakottavat yrityksiä muuttamaan toimintatapojaan ja operaatioiden suunnittelu simulointia, mallinnusta ja optimointia hyödyntäen tulee laajenemaan.

Artikkeli pohjautuu kirjoittajan omiin aikaisempiin kokemuksiin ja havaintoihin teollisuuden kanssa toteutetuista tavoitetutkimushankkeista sekä aihepiiriin tutkimuksiin muualla viimeisen kymmenen vuoden ajalta. VTT:n aikaisempia julkisia referenssiprojekteja on toteutettu eri TEKES teknologiaohjelmissa:

- INDY 1997-1999, Integroitu dynaaminen verkostosimulointimalli operatiivisen toiminnan hallintaan (MALLITEHDAS KONSEPTI)  
[http://www.tekes.fi/julkaisut/Mallitehdaskonseptin\\_kehittaminen.pdf](http://www.tekes.fi/julkaisut/Mallitehdaskonseptin_kehittaminen.pdf). sivu 53-
- INDYNET 2000-2001, Integroidun dynaamisen asiakasohjautuvan tuotantoverkoston hallinta operatiivisen simuloinnin avulla (RASKO), <http://www.tekes.fi/julkaisut/Rasko.pdf>, sivu 113-
- INEL 1 & 2, 2000-2002, Integroitu dynaaminen elektroniikkatuotannon ja alihankinnan ohjaus ja resurssien suunnittelu (ETX, Kyvykäs tuotanto)  
[http://www.tekes.fi/julkaisut/ETX\\_Final.pdf](http://www.tekes.fi/julkaisut/ETX_Final.pdf), sivu 284-

Hankkeessa MS2Value jatketaan kehitystyötä. "**Modeling and Simulation of Manufacturing Systems for Value Networks" - MS2Value. <http://www.pe.tut.fi/MS2Value/index.html>**

## **MITÄ OPERAATIOTUTKIMUS JA LASKENNALLINEN TIEDE VOISIVAT OPPIA TOISILTAAN?**

**Juha Haataja**

Johtaja, tieteen tietotekniikan keskus CSC

*juha.haataja@csc.fi*

### **Fiksua päätöksentekoa vai supertietokoneita?**

Operaatiotutkimuksessa pyritään parantamaan mahdollisuuksia rationaaliseen päätöksentekoon. Reaalimaailman epävarmuus tunnustetaan, ja mallit pyritään pitämään mahdollisimman yksinkertaisina.

Laskennallisessa tieteessä korostuu tietotekniikan ja menetelmäosaamisen hyödyntäminen tieteen ongelmien ratkaisemiseksi. Apuna käytetään muun muassa supertietokoneita ja pitkälle kehitettyjä tieteellisiä mallinnusohjelmistoja.

Ovatko operaatiotutkimus ja laskennallinen tiede perustavalla tavalla erilaisia tutkimusalueita? Tai olisiko niillä enemmän yhteistä kuin ensi silmäyksellä voisi arvatakaan?

Laskennallinen tiede liitetään usein fyysikaalisen reaalimaailman simulointiin tietokoneessa. Tyypillisiä sovelluskohteita löytyy kosmologiasta, nanotieteestä ja biotieteistä, missä kokeellista tutkimusta voidaan tehostaa tietokonemallinnuksella. Tavoitteena on ymmärtää tutkittavaa ilmiötä, ei niinkään päätöksenteko mallien pohjalta.

Mutta yhä useammin simulaatioita halutaan käyttää apuna päätöksenteossa. Tällöin operaatiotutkimuksesta ja laskennallisesta tieteestä löytyy paljon yhteistä. Esimerkiksi liikennesimulaatioihin voidaan tarvita superkoneita ja kehittyneimpiä laskennallisia menetelmiä. Simulaatioiden tulosten käyttö päätöksenteossa puolestaan edellyttää ymmärrystä päättäjien tarpeista ja päätöksenteon edellytyksistä.

Operaatiotutkimus ja laskennallinen tiede käyttävät kummatkin apunaan tietotekniikkaa. Ohjelmankehitykseen liittyvä osaaminen sekä taito käyttää tietotekniikkaa älykkäästi ongelmanratkaisussa on merkittävä kilpailuvaltti kummankin alueen tutkimuksessa. Mahdollisuudet tietotekniikan hyödyntämiseen kasvavat koko ajan, mutta niin kasvavat myös haasteet.

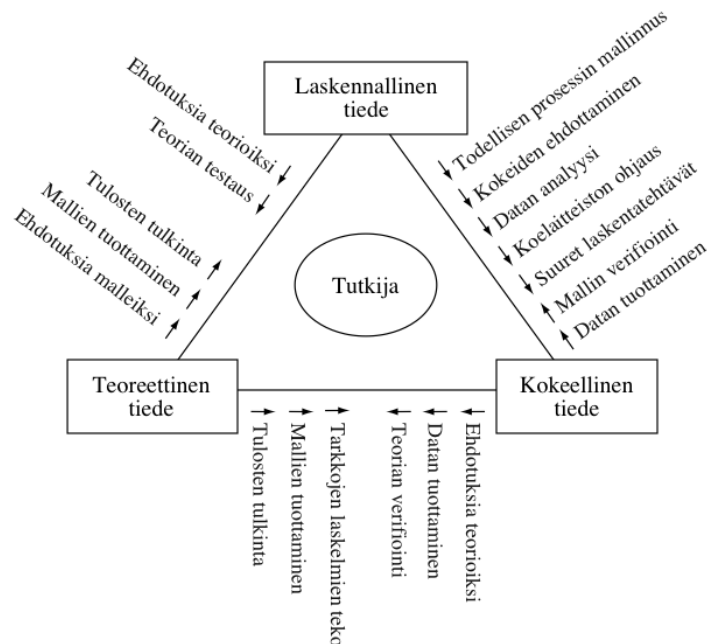
## Mitä on laskennallinen tiede?

Laskennallinen tiede (computational science) voidaan määritellä usealla eri tavalla. Ensinnäkin laskennallinen tiede voidaan nähdä kolmantena tutkimusmenetelmä kokeellisen ja teoreettisen rinnalla (kuva 1). Menetelmien välillä on runsaasti kytkentöjä liittyen esimerkiksi mallien luomiseen ja mittaustulosten tulkintaan.

Toisaalta laskennallinen tiede voidaan määritellä menetelmäosaamisen näkökulmasta. Tällöin voidaan nähdä, että laskennallinen tiede sisältää kolme eri osa-aluetta:

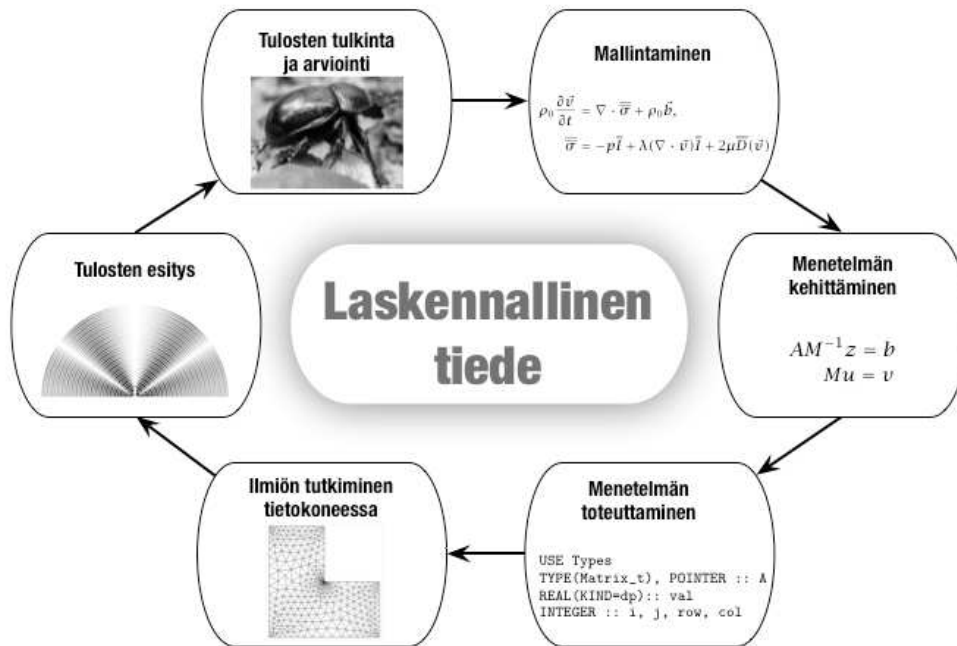
1. algoritmit sekä mallinnus- ja simulointiohjelmistot
2. tietotekniikkaan liittyvät tieteet
3. tietotekninen infrastruktuuri

Kohdassa 1 rajoitutaan niihin algoritmeihin ja ohjelmistoihin, joilla ratkaistaan luonnontieteiden, insinööritieteiden, yhteiskuntatieteiden ja humanististen tieteiden tutkimusongelmia. Kohdassa 2 kehitetään välineitä laskennallisesti haastavien ongelmien ratkaisemiseen, kuten esimerkiksi ohjelmistoja, simulointimenetelmiä ja datan käsittelyn välineistöä. Kohta 3 eli tietotekniikan infrastruktuuri tukee ongelmanratkaisua tieteessä ja tuotekehityksessä sekä edistää tietotekniikkaan liittyvien tieteiden kehittymistä.



**Kuva 1: Laskennallinen, teoreettinen ja kokeellinen tutkimusmenetelmä.**

Laskennallisen tieteen voi määritellä myös yksittäisen tutkimusprobleeman näkökulmasta. Tällöin laskennallinen tiede kuvataan iteratiivisena prosessina, joka alkaa tutkittavan ilmiön mallintamisesta ja joka päättyy tulosten tulkintaan ja arviointiin (kuva 2).



**Kuva 2: Laskennallinen tiede iteratiivisen prosessina.**

## Laskennallisen tieteen merkitys kasvussa

Yhdysvalloissa uskotaan laskennallisen tieteen nousevan lähivuosina avainasemaan tutkimuksen ja yritysmailman kilpailutekijänä [1]. Tutkimuksesta tulee yhä poikkitieteellisempää. Suurimpia läpimurtoja odotetaan tieteen ja tekniikan eri alueiden yhdistämisestä [1,2]. Haasteisiin vastaaminen edellyttää pitkäjänteistä yhteistyötä ja määrätietoista osaamisen siirtämistä eri alueiden välillä.

Euroopassa on havaittu [3], että tuottavuus on jäämässä jälkeen kilpailijoista. Tietotekniikkaa ja tietoliikennetekniikkaa ei osata hyödyntää riittävän tehokkaasti. Tutkimus ja tuotekehitys globalisoituu, eikä Eurooppa ole pystynyt vastaamaan muiden alueiden haasteisiin. Lisäksi innovaatiojärjestelmä on lukkiintunut perinteisiin sektoreihin ja erityisesti palveluihin liittyvää tutkimukseen ja tuotekehitykseen investoidaan liian vähän.

Sekä Yhdysvalloissa [1,2] että Englannissa [4] on todettu tärkeäksi kehittää laskennallisen tieteen osaamisen saatavuutta, jotta tutkimuksen haasteisiin voidaan vastata. Samanlaisia tarpeita on havaittavissa myös Suomessa, vaikka meillä on jo useiden vuosien ajan kehitetty menetelmäosaamista. Tästä huolimatta laskennallinen tiede on aliarvostettua, ja osaamisen puute voi rapauttaa kilpailukyvyä sekä tieteessä että talouselämässä.

## Simulaatioita päätöksenteon tueksi

Laskennallisen tieteen osaaminen jää usein piiloon. Luotu laskentamenetelmä on piilossa teollisuuden suunnittelujärjestelmän sisuksissa, eikä käyttäjä edes tiedä millaiseen menetelmään simulaatio perustuu (esimerkiksi paperikoneen prosessit tai kännyköiden tukiasemaverkoston suunnittelu).

Laskennallinen tiede on usein sovellettavissa moniin kohteisiin. Monifysikaaliseen mallintamiseen kehitetyn työkalun lopullinen käyttäjä voi olla yhtä lailla Nokian insinööri, joka simuloi uuden kännykän akustisia ominaisuuksia, kuin jäätikkötutkija, joka on kiinnostunut Etelämantereen jääpeitteen kohtalosta.

Yksittäinen simulaatio ei kuitenkaan päättäjälle riitä. Tarvitaan välineitä, joilla päättäjät voivat vertailla eri skenaarioita ja mielellään myös erilaisten mallien tuloksia keskenään. Tässä vaiheessa operaatiotutkijoiden ja laskennallisen tieteen osaajat tarvitsevat toisiaan.

Haasteet ovat suuria. Voidaanko esimerkiksi ilmaston lämpenemiseen liittyvissä kysymyksissä edes päästä rationaaliseen päätöksentekoon? Tai miten voidaan arvioida bioteknologian tai nanoskaalan laitteiden mahdollisia haittoja ympäristölle ja ihmisten terveydelle?

Operaatiotutkimusta ja laskennallista tiedettä yhdistävät myös ohjelmankehityksen haasteet. Ei riitä, että malli ja laskentamenetelmä ovat olemassa, ne täytyy myös toteuttaa, ja mielellään myös riittävän selkeän ja tehokkaan käyttöliittymän sisällä. Tällöin tarvitaan yhteistyötä myös tietotekniikan osaajien kanssa.

Sekä operaatiotutkimuksen että laskennallisen tieteen avulla on mahdollista tähdätä radikaaleihin innovaatioihin, joilla on mahdollista olennaisesti parantaa ymmärrystä kohdealueesta. Suurena haasteena on käyttää täysimittaisesti hyväksi tietotekniikan ja menetelmäosaamisen mahdollisuuksia [5]. Jos yhdistämisessä onnistutaan, voidaan Suomen kilpailukykyä parantaa kaikilla kansantalouden sektoreilla perustutkimuksesta tuotannon prosesseihin.

## Viitteet

[1] "Computational Science: Ensuring America's Competitiveness", President's Information Technology Advisory Committee (PITAC), [http://www.nitrd.gov/pitac/reports/20050609\\_computational/computational.pdf](http://www.nitrd.gov/pitac/reports/20050609_computational/computational.pdf)

[2] Department of Energy, "Office of Science Strategic Plan", [http://www.science.doe.gov/sub/Mission/Mission\\_Strategic.htm](http://www.science.doe.gov/sub/Mission/Mission_Strategic.htm)

[3] "Creating an Innovative Europe", Aho Group Report, <http://europa.eu.int/invest-in-research/research06.htm>

[4] "International Review of Research Using HPC in the UK", <http://www.epsrc.ac.uk/CMSWeb/Downloads/Other/HPCInternationalReviewReport.pdf>

[5] "Tulevaisuuden elinvoimainen Suomi", Tietoyhteiskuntaneuvoston raportti hallitukselle, <http://www.valtioneuvosto.fi/tiedostot/pdf/fi/100058.pdf>

## **OPINNÄYTTEET**

### **Diplomityö: A Model for Value-based Pricing of Industrial Services**

#### **Henri Hytönen (Teknillinen korkeakoulu)**

Työn valvoja: Prof. Harri Ehtamo (TKK)

Työn ohjaaja: DI Toni Jarimo

Valmistavan teollisuuden alueella painopiste on jo jonkin aikaa ollut siirtymässä puhtaasti tuotelähtöisestä ajattelutavasta kohti palvelukeskeisempää ajattelutapaa. Tavoitteena palvelukeskeisemmässä lähestymistavassa on tarjota kokonaisuuksia, jotka paremmin tukevat asiakkaan arvontuotantoa ja joissa tärkeintä ei ole fyysisten laitteiden omistaminen, vaan kokonaisuuden aikaansaamat hyödyt asiakkaalle. Huolimatta siitä, että uusia palvelukonsepteja pyritään luomaan asiakaslähtöisesti, palveluiden hinnoittelumenetelmät, joiden avulla asiakkaalle tuotettu hyöty lopulta jaetaan tuottaja- ja asiakasapuolen kesken, ovat edelleen valtaosin vain tuottajanäkökulmaan keskittyviä menetelmiä.

Systeemianalyysin laboratoriossa tarkastetussa diplomityössään tekn. yo. Henri Hytönen pyrkii tarjoamaan hinnoitteluongelmaan uusia ratkaisuja. VTT Tuotteet ja tuotanto -yksikön Tuotantotalouden ryhmässä tehdyssä työssä Hytönen on tutkinut teollisten palveluiden hinnoittelua ja kehittänyt mallin, jonka avulla teollisuuspalveluiden hinnoittelussa voidaan ottaa huomioon palvelun avulla asiakkaalle tuotettu arvo. Työssä tarkastellaan lisäksi teollisten palveluiden erityispiirteitä tuotteisiin ja kuluttajapalveluihin verrattuna ja selvitetään kirjallisuudessa ja käytössä olevien hinnoittelumallien soveltuvuutta palveluiden hinnoitteluun.

Diplomityön mukaan palveluita leimaa tuotteisiin verrattuna prosessimaisuus sekä suuremmat epävarmuudet palvelun toimittamisessa. Tästä syystä palvelut poikkeavat luonteeltaan tuotteista ja tuotteille kehitetyt hinnoittelumenetelmät eivät välttämättä sellaisenaan sovi teollisten palveluiden hinnoitteluun. Useimmat käytössä olevat hinnoittelumenetelmät voidaan jakaa kustannus-, kilpailu- ja arvoperusteisiin menetelmiin hinnoittelun lähtökohdasta riippuen.

Kustannusperusteisessa hinnoittelussa tuotteen tai palvelun hinta määräytyy sen tuottamisesta aiheutuneiden kustannusten perusteella. Kilpailuperusteinen hinnoittelu taas perustuu vallitsevaan markkinahintaan ja vastaavien korvaavien tuotteiden hintoihin. Arvoperusteisen hinnoittelun lähtökohta on arvio asiakkaan palvelusta saamasta arvosta.

Henri Hytönen kuvaa diplomityössä muodostetussa mallissa asiakkaan tuotantoprosessia jatkuva-aikaisena satunnaisprosessina, jota palvelulla pyritään tukemaan. Tuotantoprosessissa saattaa olla sekä jatkuvia epävarmuuksia että satunnaisia hyppyjä esimerkiksi laitteiden vikaantumisista tai yllättävistä ulkoisista olosuhteista johtuen. Mallissa pyritään arvioimaan palvelun vaikutukset tuotantoprosessin tuottoihin tai kustannuksiin sekä palvelun toimittamiseen liittyvät epävarmuudet. Palvelun arvo asiakkaalle saadaan vertaamalla asiakkaan tuotantoprosessistaan saamaa kassavirran odotusarvoa palvelun kanssa ja ilman sitä. Työssä annetaan hinnoitteluesimerkkinä kiinteähintaisen kunnossapitopalvelun ja logistiikkapalvelun arvon määrittäminen.

Muodostettu arvopohjainen hinnoittelumalli kertoo asiakkaan palvelusta saaman hyödyn rahallisen arvon. Se ei siten suoraan määritä palvelun lopullista hintaa, vaan antaa ylärajan palvelun hinnalle, jonka rationaalinen asiakas olisi palvelusta valmis maksamaan. Kehitettyä mallia voidaan käyttää tukena hinnoittelupäätöksenteossa palvelun lopullista hintaa määritettäessä ja uusien palveluiden kaupallista potentiaalia arvioitaessa. Mallista on myös apua palvelun hyötyjen argumentoinnissa asiakkaille, pystyttäessä paremmin osoittamaan tarjotun palvelun hyödyt mahdollisiin kilpailijoiden vaihtoehtoihin verrattuna. Siten työn tuloksia ja hinnoittelumenetelmiä voidaan käyttää apuna kehitettäessä palveluita, jotka paremmin hyödyttävät molempia osapuolia.

## **Diplomityö: Monitavoitteinen päätösanalyysi ja visualisointi sijainti-allokaatio-ongelmien ratkaisussa**

**Emilia Suomalainen (Teknillinen korkeakoulu)**

Työn valvoja: Prof. Ahti Salo (TKK)

Työn ohjaaja: Ulrich Bartling, Dr. Angi Voss

Sijainti-allokaatio-ongelmissa tehtävänä on sijoittaa optimaalinen lukumäärä palvelupisteitä tarkasteltavalle alueelle sekä jakaa alueen asiakkaat näihin palvelupisteisiin. Palvelupisteiden sijoittelun tavoitteena voi olla esimerkiksi niiden tuottaman voiton tai saavutetun asiakaspeiton maksimointi. Optimointitehtävä sisältää usein myös erilaisia budjetti- ym. rajoituksia. Emilia Suomalaisen diplomityö ”Monitavoitteinen päätösanalyysi ja visualisointi sijainti-allokaatio-ongelmien ratkaisussa” käsittelee kyseiseen optimointitehtävyyppiin liittyviä visualisointi- ja



päätöksenteko-ongelmia. Analyysin painopisteenä ovat erityisesti sijaintiongelmat vähittäiskaupassa. Diplomityö on tehty Fraunhofer Institut AIS:n maantieteellisen päätöksenteon tukemiseen painottuvalle SPADE-osastolle Sankt Augustinissa, Saksassa.

Sijaintiongelmissa on usein lukuisia mahdollisia skenaarioita, jotka vastaavat esimerkiksi erityyppisiä budjettirajoitteita, kustannusfunktioita tai markkina-analyysyjä. Kun tavoitteena on löytää mahdollisimman moneen tilanteeseen soveltuva robusti vaihtoehto, on välttämätöntä pystyä vertaamaan erilaisille skenaarioille tuotettuja sijainti-allokaatoratkaisuja. Suomalaisen diplomityössä määritellään erityisesti vähittäiskaupan sijaintiongelmiin soveltuvia päätöskriteerejä, joilla erilaisten sijainti-allokaatiovaihtoehtojen toimivuutta voidaan verrata. Ehdotettujen kriteerien joukossa on sekä rahallisia että asiakasvirtojen ja palveluverkon ominaisuuksia luonnehtivia attribuutteja. Työssä tarkasteltavan sijaintialueen oletetaan koostuvan pienemmistä osa-alueista, esimerkiksi tietyn kaupungin postinumeroalueista. Tehtävälle tuotetuilla sijainti-allokaatoratkaisuilla onkin siksi maantieteellinen ulottuvuus: ratkaisujen ominaisuudet vaihtelevat osa-alueesta toiseen. Osa-alueiden huomioon ottaminen mahdollistaa ratkaisujen maantieteellisen ulottuvuuden käsittelyn, mutta vaikeuttaa osin päätöksentekoa lisäämällä myös tarkasteltavien muuttujien määrää.

Sijaintivaihtoehtojen visualisointi on usein päätöksenteon tuen kannalta tärkeää. Sopivien visualisointimenetelmien löytäminen on Suomalaisen diplomityön toinen painopiste. Palvelupisteiden sijaintien ja asiakasvirtojen visualisoinnin lisäksi määriteltyjen päätöskriteerien tarkastelu on tärkeää valittaessa sopivaa sijainti-allokaatoratkaisua. Yksi apuväline ovat paikkatietojärjestelmät, joita voidaan käyttää hyödyksi visualisoidessa sijaintiongelmiin maantieteellisiä ominaisuuksia. Työssä kuitenkin todetaan, etteivät paikkatietojärjestelmien sisältämät työkalut ole aina riittäviä, kun tehtävä on verrata samanaikaisesti lukuisia sijainti-allokaatoratkaisuja. Tilastotieteen ja tiedon louhinnan menetelmät voivat tässä tilanteessa osoittautua hyödyllisiksi: visualisointiongelman ratkaisuksi esitetään mm. vaihtoehtojoukon tilastollisten ominaisuuksien tarkastelua yksittäisten ratkaisujen tutkimisen sijasta. Toinen ehdotus on jakaa ratkaisujoukko esimerkiksi ryhmittelyanalyysin avulla osajoukkoihin, joiden ominaisuuksia voidaan sitten helpommin verrata. Tämän lisäksi pääkomponenttianalyysin käyttö voisi helpottaa visualisointia vähentämällä tarkasteltavien muuttujien määrää.

Diplomityössä käsitelty sijainti-allokaatio-ongelma on joiltakin ominaisuuksiltaan yksityiskohtaisempi ja realistisempi kuin tarkastellut sijaintiongelmat yleensä: esimerkiksi kaikkien palvelupisteiden ei oleteta olevan samantyyppisiä, tuotettuja palveluita voi olla useita ja tarkasteltava sijaintialue voi muodostua pienemmistä osa-alueista. Optimointiongelman

yksinkertaistamiseksi oletetaan tavallisesti, että kaikki palvelupisteet ovat identtisiä ja että tuotettuja palveluita on vain yksi. Useiden palvelujen salliminen mahdollistaa esimerkiksi palvelupisteiden samanaikaisesti harjoittaman huollon ja myynnin mallintamisen. Sijaintialueen jakaminen pienempiin osa-alueisiin mahdollistaa erityisten ominaisuuksien ja rajoitusten määrittelyn jokaiselle osa-alueelle; esimerkiksi ostovoima ja kysynnän määrä voidaan siten mallintaa yksityiskohtaisemmin.

Emilia Suomalaisen diplomityössä määritellään joukko päätöskriteereitä vähittäiskaupan sijainti-allokaatio-ongelmille sekä esitellään visualisointitapoja, joita voidaan käyttää ongelmaan liittyvän päätöksenteon tukemisessa. Visualisointimetodit ovat kuitenkin riittämättömiä, kun tavoitteena on verrata kymmeniä, tai jopa satoja, sijainti-allokaatoratkaisuja. Erilaisia tilastotieteen ja tiedon louhinnan menetelmiä voidaan kuitenkin käyttää tällöin avuksi ratkaisujoukon yksinkertaistamisessa. Työssä kuitenkin todetaan, että tälläkin lähestymistavalla on puutteensa: tilastotieteen monimuuttujamenetelmien käyttö vaatii yleensä suhteellisen suuren määrän tarkasteltavia muuttujia, eli tässä tapauksessa sijainti-allokaatoratkaisuja. Ongelmaksi jääkin, kuinka visualisoida ratkaisujoukko, joka on liian pieni esimerkiksi ryhmittelyanalyysin kannalta, mutta toisaalta liian suuri, jotta kaikki ratkaisut voitaisiin esittää samanaikaisesti tietokoneen ruudulla. Kaiken kaikkiaan diplomityössä esitetyt menetelmät ovat askel eteenpäin ratkaistaessa sijaintiongelmia, joita löytyy vähittäiskaupan lisäksi lukuisilta teollisuuden, kaupan ja julkisen vallan osa-alueilta.

## **Diplomityö: Foresight in a Research and Technology Organisation**

### **Antti Pirttimäki (Teknillinen korkeakoulu)**

Työn valvoja: Prof. Ahti Salo (TKK)

Työn ohjaaja: DI Petri Kalliokoski

Nopeutuvat tuotesykliä, monimutkaistuva ja monipuolistuva teknologinen kehitys ja tutkimus- ja kehitystoiminnan pitkät aikajänteet pakottavat ennakoimaan tulevaisuuden kehityspolkuja oikeiden valintojen tekemiseksi. Teollisuudessa tuotekehitysprosessi hallitaan usein erittäin hyvin, kun puolestaan toimintamallit uusien liiketoimintamahdollisuuksien tunnistamiseksi ja tuoteideoiden luomiseksi saattavat olla hyvinkin puutteellisia. Tähän ns. innovaatioprosessin alkupäähän tarvitaankin uusia työkaluja. Haasteeksi nousee, miten pitkän aikajänteen tutkimustoiminta ja yritysten lyhyemmän aikajänteen teknologiatarpeet saadaan kohtaamaan. Ennakoimalla tulevaisuuden tarpeita tutkimukseen ja teknologian kehitykseen keskittyvä organisaatio voi

kiinnittyä lähemmin teollisuuden innovaatioprosessiin ja samalla varautua siihen, että lähitulevaisuudessa tarvittavaa teknologiaa osataan lähteä kehittämään hyvissä ajoin.

Teknillisen korkeakoulun Systeemianalyysin laboratoriossa tarkastetussa diplomityössä tekn.yo Antti Pirttimäki on selvittänyt taustoja siihen, miten VTT:n kaltainen tutkimusorganisaatio voi hyödyntää ennakointia omassa toiminnassaan ja minkälaisia ennakointipalveluja se voisi tarjota teollisuudelle. VTT Tuotteet ja tuotanto -yksikön tuotantotalouden tutkimusryhmässä tehdyssä työssä Pirttimäki on keskittynyt erityisesti yritysten tarpeiden tunnistamiseen ja niihin vastaamiseen. Tyypillisesti ennakointihankkeissa keskitytään lähinnä teknologian tai yhteiskunnan ja markkinoiden kehityksen ennakointiin. Diplomityössä esitetään, että tämän lisäksi erityisen hedelmällistä saattaisi olla tarkastella samassa yhteydessä erityisesti tulevaisuuden sovelluksia yhdistämällä ennakointityöhön vaikutteita tuote- ja palvelukonseptien kehittämisen menetelmistä ja näin ennakoida tulevaisuuden innovaatioita.

Diplomityön mukaan tutkimuslaitoksen oman toiminnan kannalta ennakointi liittyy erityisesti sen strategiaproessiin, jossa määritellään tutkimustoiminnan painoalueet. Ennakointia voidaan hyödyntää strategian suunnittelussa ja sen toimeenpanossa. Strategisen suunnittelun yhteydessä tulisi ennakoinnissa pyrkiä priorisoimaan tutkimusalueet tarkastelemalla laaja-alaisesti niin markkinoiden, yhteiskunnan kuin teknologioidenkin kehitystä. Strategian toimeenpanovaiheessa ennakointi liittyy valittujen painoalueiden toiminnan suunnitteluun esimerkiksi teknologiatiekarttojen muodossa, tutkijoiden tiedon kartuttamiseen, verkostojen rakentamiseen ja luovuuden edistämiseen uudenlaisten ratkaisujen löytämiseksi.

Teollisuuden tarvitsemaa teknologiaan liittyvää tulevaisuustietoa on laajasti saatavilla. Ennakointihankkeita toteutetaan Suomessa niin kansallisella, alueellisella kuin teollisuuden tasollakin. Ongelmaksi nousee kuitenkin tiedon jalostaminen yksittäisen yrityksen tarpeisiin, sillä hankkeissa, joihin osallistuu useita yrityksiä, usein pystytään tuottamaan vain yleisluontoista tietoa. Diplomityön mukaan yrityksissä on kolmenlaisia tarpeita ennakoinnille: Tarvitaan taustatietoa yhteiskunnan ja toimialan trendeistä, työkaluja yrityksen strategisten valintojen ja suunnittelun toteuttamiseen sekä innovaatiotoiminnan katalyytiksi.

Diplomityön mukaan yritysten tarpeita voidaan parhaiten palvella innovaatioiden ennakointiin keskittyvällä palvelulla, jonka kohderyhmänä ovat tutkimus- ja kehitystoiminnan johto ja insinöörit yrityksissä sekä tutkimuslaitoksen tutkijat. Innovaatioiden ennakoinnilla pyritään tukemaan yrityksen tutkimus- ja tuotekehitystoimintaa ja kehittämään ideoita uusiksi tuotteiksi, palveluiksi ja liiketoimintamalleiksi. Innovaatioiden ennakointiin keskittyvät hankkeet voidaan kohdistaa yksittäisille yrityksille, arvoketjun eri sidosryhmille tai sosioekonomisten ongelmien

ympärille monipuoliselle osallistujajoukolle.

## **Diplomityö: Construction of Demand Scenarios in Paper Industry**

### **Hannele Lehtinen (Teknillinen korkeakoulu)**

Työn valvoja: Prof. Ahti Salo (TKK)

Työn ohjaaja: FM Kari Paavonen

Paperiteollisuuden toimintaympäristö muuttuu jatkuvasti monimutkaisemmaksi ja vaikeammin ennustettavaksi, mutta yritysten täytyy sopeutua muutoksiin kannattavuuden säilyttämiseksi. Kapasiteetin muutokset toteutuvat melko pitkän ajan kuluttua, ja niinpä pitkän aikavälin markkinakehityksen ennakkointia tarvitaan uusien tuotantomahdollisuuksien arvioinnissa. Liiketoiminnan optimointia voidaan käyttää tuotantostrategian suunnittelun tukena voiton maksimoimiseksi, ja tämä vaatii oletuksia tuotteiden kysynnästä.

Tekn.yo. Hannele Lehtisen diplomityön tavoitteena on ollut rakentaa kirjallisuuteen perustuva paperituotteiden kysynnän arviointiprosessin kuvaus ja verrata sitä suomalaisen metsäteollisuusyrityksen nykykäytäntöihin. Prosessi alkaa maailmanlaajuisten makrotason kehitysmahdollisuuksien havainnoinnista ja päättyy markkina-, kilpailija- ja loppukäyttöarviointien kautta kvantitatiivisiin kysyntäarvioihin. Prosessia voidaan hyödyntää myös käänteisesti, esimerkiksi keräyspaperin tarjonnan arvioinnissa. Tulevaisuuden epävarmuudet estävät tarkkojen kysyntäennusteiden tekemisen, joten prosessissa hyödynnetään skenaariotyöskentelyä. Yrityksen nykykäytäntöjä on selvitetty haastatteleamalla organisaation useiden osien ammattilaisia ja tekemällä kaksi tapaustutkimusta.

Työssä on havaittu, että kaikki vaihtoehtoisen prosessikuvauksen vaiheet ovat löydettävissä yrityksestä jossain muodossa, mutta toimintoja ei ole määritelty selkeästi prosessiksi, mikä synnyttää informaatiokatkoja joidenkin vaiheiden välille. Se voi myös aiheuttaa päällekkäistä työskentelyä. Skenaariotyöskentelyä käytetään yrityksessä laajalti, mutta sitä ei ole täysin omaksuttu kaikilla tasoilla. Työssä on valittu ja kehitetty joillekin yksittäisille prosessin vaiheille vaihtoehtoisia menettelytapoja, mutta niiden testaaminen ei ole kuulunut työn tavoitteisiin.

## TULEVIA TAPAHTUMIA

HUHTIKUU 2006

**24.4. FORS:n vuosikokous**

Finnair

<http://www.optimointi.fi/>

**30.4.-2.5. INFORMS Prachice Conference 2006: Applying Science to the Art of Business**

Miami, FL, USA

<http://www.informs.org/Conf/Practice06>

TOUKOKUU 2005

**8.-10.5. CORS / Optimization Days 2006**

Montreal

<http://www.crt.umontreal.ca/scrojopt2006/>

**15.-17.5. Int. Conf. on Information Systems, Logistics and Supply Chain IL S06**

Lyon, France

<http://www.ic-ils.org/>

**17.-20.5. 5<sup>th</sup> Int. Conf. on OR: Simulation and Optimization in Business and Industry**

Tallinn, Estonia

<http://majandus.ttu.ee/SOBI/>

**24.5. FORS-iltapäivä**

TKK, Tietotekniikkatalo

<http://www.optimointi.fi/>

KESÄKUU 2006

**5.-7.6. The Second Workshop on Algorithmic Techniques for Data Mining 2006**

Ben-Gurion University of the Negev, Beer-Sheva, Israel

<http://www.ise.gbu.ac.il/atdm2006/>

**19.-23.6. MCDM 2006 Conference**

Chania, Greece

<http://www.dpem.tuc.gr/fel/mcdm2006/>

HEINÄKUU 2006

**2.-5.7. EURO XXI, 21<sup>st</sup> European Conference on OR 2006**

Reykjavik, Iceland

<http://www.euro2006.org/>

**23.-28.7. Annual Meeting of EURO Working Group on OR Applied to Health Services**

Wroclaw University of Technology, Poland

<http://www.ioz.pwr.wroc.pl/konferencje/orahs>

ELOKUU 2006

**18.8.-2.9. EURO Summer Institute: Optimization challenges in engineering: Methods, software and applications**

Lutherstadt Wittenberg, Germany

<http://wwwopt.mathematik.tu-darmstadt.de/events/esi2006/>

SYYSKUU 2006

**7.-9.9. The 1<sup>st</sup> European Conference on Science, Art and Technology in the Service of Man**

Helsingin yliopisto

<http://www.sat2006.com/>

**6.-8.9. Operations Research 2006**

Karlsruhe, Germany

<http://www.or2006.de/>

**27.-29.9. 11<sup>th</sup> Int. Conf. on OR KOI2006**

Pula, Croatia

<http://www.efpu.hr/koi06>

Lisää tapahtumia:

<http://www2.informs.org/Conf/>

<http://www.ifors.org>

<http://www.euro-online.org/display.php?page=calendar>