

# INFORS

Suomen Operaatiotutkimusseuran jäsenlehti

2/99

- Opinnäytetöitä -

---



**FORS**

Suomen Operaatiotutkimusseura ry

Finnish Operations Research Society

**Suomen  
Operaatiotutkimusseura ry:n  
jäsenlehti**

**N:o 2 - 1999**

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

**Vastaava päätoimittaja,  
seuran puheenjohtaja:**

Ahti Salo  
Teknillinen korkeakoulu  
Systeemianalyysin laboratorio  
PL 1100  
02015 TKK  
Puh. (09) 451 3055, 040 540 9916  
Fax (09) 451 3096  
E-mail: [ahti.salo@hut.fi](mailto:ahti.salo@hut.fi)

**Toimituspäällikkö,  
seuran sihteeri:**

Janica Ylikarjula  
Teknillinen korkeakoulu  
Systeemianalyysin laboratorio  
PL 1100  
02015 TKK  
Puh. (09) 451 3060  
Fax (09) 451 3096  
E-mail: [janica.ylikarjula@hut.fi](mailto:janica.ylikarjula@hut.fi)

**Jäsenmaksun suuruus:**

100 mk / vuosi  
perusopiskelijat 50 mk / vuosi

**Mainoshinnat:**

Sivu 500 mk  
Sivu / 2 eri numeroa 800 mk

**Pankkiyhteys:**

Leonia 800014-70360372

**Painopaikka:**

Picaset Oy

SISÄLTÖ

Puheenjohtajan palsta Ahti Salo	3
Sihteerin palsta Janica Ylikarjula	3
Vaalikokouskutsu	4
FORS-päivä 1999	5
Salkunhallinnan mallintaminen vapailla sähkömarkkinoilla Tuomas Pyykkönen	6
Vehicle Routing Problem Olli Bräysy	10
Opinnäytetyöt	18
Tapahtumakalenteri	27

**PUHEENJOHTAJAN PALSTA**

*Ahti Salo*

Tämän vuoden FORS-päivän aiheena on riskien kvantitatiivinen arviointi ja erityisesti hyödykeriskien hallinta. Aihe on erinomaisen ajankohtainen, sillä alunperin finanssi- ja rahoitusmaailmasta käyttöönotetut tarkastelutavat ovat osoittautuneet hedelmällisiksi myös monissa muissa yhteyksissä: esimerkiksi reaaliopitot ovat saaneet lukuisia sovelluksia niin kiinteistöjen arvonnäärityksessä kuin tutkimus- ja kehityshankkeiden valinnassakin. Samalla aihepiiri jatkaa luontevasti viime kevään FORS-iltapäivän tematiikkaa, jonka esitykset valottivat riskien hallintaa eri sovellusalueilla.

FORS perustettiin vuonna 1973, näin se on jo varttunut kaikin puolin aikuiseksi, varhaiset oppivuodet ovat takana. Näiden vuosien dokumentoimiseksi Eero Larmola on tehnyt ansiokasta taustatyötä, ja pyrkimyksenä on, että tämä työ historiikin rakentamiseksi jatkuu edelleen. Tavoitteena on, että ensi kevään loppuun mennessä meillä on seuran varhaisvaiheista kooste, joka osaltaan auttaa ymmärtämään operaatiotutkimuksen lähtökohtia Suomessa.

FORS-päivän yhteydessä nimetään myös vuoden FORS-henkilö. Nimityksen tehtävänä on antaa tunnustusta henkilölle, joka on tavalla tai toisella ansioitunut operaatiotutkijana, joko menetelmien kehittäjänä tai soveltajana, tai alan tunnettuuden lisääjänä. Toivoisimmekin jäseniltä ehdotuksia siitä, kenelle tämä tunnustus voitaisiin tänä vuonna antaa.

Joka tapauksessa toivomme runsasta osanottoa FORS-päivälle, jossa ajankohtaista aihetta käsittelevät alan johtavat asiantuntijat sekä yritys-elämästä että korkeakouluista. Uskomme, että päivästä tulee antoisa ja se tarjoaa monia tilaisuuksia rakentavalle keskustelulle.

Syysterveisin,  
Ahti

## SIHTEERIN PALSTA

### *Janica Ylikarjula*

Syysterveiset kaikille Suomen Operaatiotutkimusseuran jäsenille! Harvinaisen lämmin ja kaunis kesä on takanapäin ja syksy on jo pitkällä, mistä on osoituksena uuden INFORS-numeron ilmestyminen. Itse en päässyt nauttimaan Suomen kesästä, sillä vietin sen Wienin lähellä sijaitsevassa IIASA-tutkimusinstituutissa osallistuen nuorten tutkijoiden kesäohjelmaan.

Tässä numerossa on keskitytty opinnäytetöihin. Niiden avulla halutaan antaa sekä yritysmaailmassa että akateemisessa ympäristössä työskenteleville jonkinlainen kuva siitä, millaisia opinnäytetöitä OR:n alalla tänä päivänä tehdään. Tällä kertaa mukana on lyhyiden kuvausten lisäksi myös pari pidempää kirjoitusta. DI Tuomas Pyykkönen käsittelee salkunhallinnan mallintamista sähkömarkkinoilla, joka on varsin ajankohtainen aihe. Lisäksi KTL Olli Bräysy on kirjoittanut lyhennelmän lisensiatintyöstään, jossa tutkitaan yhtä OR-kentän perusongelmista: vehicle routing problem. Jatkossakin tiivistelmät yms. OR-kenttään kuuluvista opinnäytetöistä ovat enemmän kuin tervetulleita puhumattakaan muista alueeseemme liittyvistä yleistä mielenkiintoa herättävistä kirjoituksista.

Janica Ylikarjula

## VAALIKOKOUS

### 17.11.1999

Kokouskutsu                      Vaalikokous 1999

Aika:                                Keskiviikko 17.11.1999 kello 18.00

Paikka:                            Nokia, Valimotie 9, kokoushuone Sky (6. krs)

Esityslista

1. Kokouksen avaus
2. Kokouksen puheenjohtajan ja sihteerin valinta
3. Kokouksen pöytäkirjantarkistajien ja ääntenlaskijoiden valinta
4. Kokouksen laillisuuden ja päätösvaltaisuuden toteaminen
5. Esityslistan hyväksyminen

6. Toimintasuunnitelman vahvistaminen vuodelle 2000
7. Jäsenmaksun määrääminen ja talousarvion vahvistaminen vuodelle 2000
8. Johtokunnan puheenjohtajan, taloudenhoitajan ja johtokunnan neljän muun jäsenen sekä heidän varajäsentensä valinta
9. Kahden tilintarkastaja ja varatilintarkastajan valinta
10. Muut mahdollisesti esille tulevat asiat
11. Kokouksen päättäminen

Tervetuloa!

Helsingissä 25.10.1999

Ahti Salo  
Puheenjohtaja

TkT, dos. Markku Verkama alustaa aiheesta Tietoliikenteen tulevaisuus. Kahvitarjoilun järjestämiseksi pyydetään ennakoilmoittautumisia viimeistään 12.11.1999 seuran sihteerille Janica Ylikarjula, Systemianalyysin laboratorio, TKK, PL 1100, 02015 TKK, puh (09) 4513060, fax (09) 4513096, sähköposti janica.ylikarjula@hut.fi

Kulkuyhteydet keskustasta: Lähijunat L ja E (Valimon asema) ja bussi 14 ("Valimotie"-pysäkki Pitäjänmäentien varrella).

<p><b>FORS-PÄIVÄ 1999:</b>  <b>HAASTEENA RISKIEN HALLINTA</b>  <b>25.11.1999</b>  <i>Kutsu</i></p>
--

**Torstai 25. marraskuuta 1999 klo 9.00 - 17.00**  
**Radisson SAS, Runeberginkatu 2, Helsinki**

Alustava ohjelma

9.15	-	9.45	Ilmoittautuminen ja kahvi
9.45	-	10.00	Suomen Operaatiotutkimusseuran pj., prof. Ahti Salo Avaussanat
10.00	-	10.45	Prof. Hannu Kahra, Oulun yliopisto Riski käsitteenä ja sen merkitykset
10.45	-	11.30	Sami Oja, Fortum Oil & Gas Oy, riskienhallintapäällikkö Riskien hallinta öljymarkkinoilla
11.30	-	13.00	Lounas
13.00	-	13.45	TkT, dos. Urho Pulkkinen, VTT Automaatio, erikoistutkija Riskit ja verkottunut alihankinta

13.45	-	14.30	TkT Jussi Keppo, Columbia University Kiinteäbudjetillisten sopimusten hinnoittelu
14.30	-	15.00	Kahvi
15.00	-	15.45	TkT Osmo Jauri, Vakuutusyhtiö Garantia Jakaumapohjainen riskin arviointi optioiden mallintamisessa
15.45	-	16.30	Petri Viertiö, Vakuutusyhtiö Varma-Sampo, riskienhallintapäällikkö Korkorakenteen mallinnus Value at Risk (VaR) analyysissä
16.30			Vuoden OR-henkilön nimeäminen

Ilmoittautumiset 15.11.1999 mennessä seuran sihteerille Janica Ylikarjula, Systeemianalyysin laboratorio, TKK, PL 1100, 02015 TKK, puh (09) 4513060, fax (09) 4513096, sähköposti janica.ylikarjula@hut.fi

Jäseniltä ja jatko-opiskelijoilta tilaisuuden hinta on 500 mk, johon sisältyy lounas ja kahvit. Seuraan kuuluvat perusopiskelijat voivat osallistua tilaisuuteen ilmaiseksi (ilman lounasta) tai 315 mk:lla (lounaan kanssa). Seuran ulkopuolisilta hinta on 900 mk.

Tervetuloa!

# SALKUNHALLINNAN MALLINTAMINEN VAPAILLA SÄHKÖMARKKINOILLA

*Tuomas Pyykkönen*

Tekn. yo. Tuomas Pyykkönen, Teknillinen korkeakoulu, Systeemianalyysin laboratorio  
Diplomityö: Salkunhallinnan mallintaminen vapailla sähkömarkkinoilla  
Työn ohjaaja: Johtaja, TkT Jukka Ruusunen, Fortum

## 1 Vapailla sähkömarkkinoilla salkunhallinta energiayhtiön elinehto

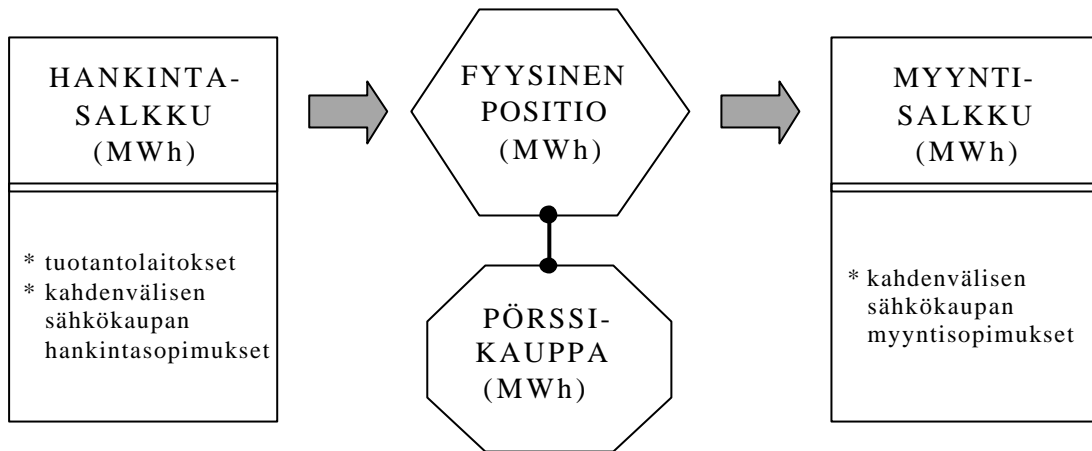
Vapailla sähkömarkkinoilla energia yhtiö tarvitsee salkunhallintaa sähkökaupan tuottoon liittyvän epävarmuuden suuruuden selvittämiseksi ja pitämiseksi energiayhtiön riskipolitiikan sallimissa rajoissa. Tuoton epävarmuus johtuu siitä, että vapailla sähkömarkkinoilla jokainen toimija maksimoi omaa tuottoaan riskipolitiikkansa puitteissa. Epävarmuus sähkön markkinahinnasta ja muista markkinoiden epävarmoista tekijöistä näkyy suoraan epävarmuutena tuoton suuruudesta. Tuottoon liittyvän epävarmuuden suuruus onkin tuoton odotusarvoa tärkeämpi tieto salkun- ja riskienhallinnassa. Tuottoon liittyvä epävarmuus ei kuitenkaan separoidu hankintalähde- ja myyntisopimuskohtaisesti, joten tuottoa pitää tarkastella koko salkun laajuudella.

Energiayhtiön kokonaissalkku koostuu kaikista hankintalähteistä, fyysiseen toimitukseen johtavista myyntisopimuksista ja finanssiosopimuksista. Salkunhallinnalla vaikutetaan salkun koostumukseen ja arvoon, joka määräytyy kokonaistuoton perusteella.

Diplomityössä kehitetyt mallit antavat hankintalähteiden optimaalisen käyttötavan ja myyntisopimusten ennustetun käyttötavan vapailla sähkömarkkinoilla. Tarkasteltavan energiayhtiön oletetaan toimivan likvideillä markkinoilla. Sekä energiayhtiön että sen myyntisopimusten käyttäjien oletetaan käyttäytyvän riskineutraalisti. Mallien antama käyttötapa perustuu käytöstä aiheutuvan tuoton odotusarvon maksimointiin. Tuotto riippuu hankinta- ja myyntisopimusten käytöstä käyttäjankohdan sähkön markkinahinnalla ja energiayhtiön omien tuotantolaitoksien käyttökustannuksista, jotka voivat myös riippua sähkön markkinahinnasta. Marginaalinen tuotto määritellään markkinahinnan ja hankintalähteen tai myyntisopimuksen käyttökustannuksen erotuksena. Tuoton odotusarvoa approksimoidaan käytettävissä olevia ennustettuja markkinahintaskenaarioita pitkin lasketulla tuoton odotusarvolla. Markkinahintaennusteen tekeminen on vaikeaa Pohjois maisilla vesivoimavalttaisilla markkinoilla vesivoimavaroaltaiden tulovirtaamien suurten epävarmuuksien vuoksi.

Diplomityössä tehtyjen mallien avulla lasketaan energiayhtiön kokonaishankinnan ja myynnin perusteella

määräytyvä energiataase eli fyysinen positio (kuva 1). Positio ilmoittaa kuinka paljon energiayhtiö on myymässä tai ostamassa energiaa sähköpörssistä markkinahinnalla. Kaikkien hankintalähteiden ja myyntisopimusten yhteenlaskettu kokonais tuotto antaa energiayhtiön finanssipoition eli kokonais myyntikatteen.



Kuva 1: Fyysisen position muodostuminen

Fyysinen ja tähän liittyvä finanssipoitio lasketaan kaikissa skenaarioissa, jolloin saadaan informaatiota positioiden ja markkinahinnan välisestä riippuvuudesta jakaumamuodossa ja esimerkiksi Value-at-Risk-tunnusluku voidaan laskea koko salkun laajuudella. Tätä informaatiota käytetään ensisijaisesti salkunhallinnassa tehtävien analysointien ja riskienhallintapäätösten tukena. Informaatiota käytetään myös myyntisopimusten hinnoittelussa, tuotantolaitosten revisiosuunnittelussa, budjetoinnissa ja investointipäätöksissä.

## 2 Tehdyt mallit

Klassisia talusteorian menetelmiä on yritetty soveltaa myös fyysisen energiamääräisen puolen analysointiin sähköenergiamarkkinoilla. Saadut tulokset eivät välttämättä ole sovellettavissa suoraan energiajärjestelmiin, koska markkinahintaa ohjaa pääasiassa tuotannon ja kulutuksen välinen dynamiikka. Seurauksena markkinahinta ja johdannais hinnat eivät ole analyttisesti kytkettyjä toisiinsa sähkön varastointikustannuksen, korkokantojen tai valuuttakurssien avulla. Sähkön johdannaismarkkinat ovat rahamarkkinoiden tapaisia ja fyysiseen toimitukseen johtavat markkinat kulutushyödykemarkkinoiden tapaisia. Sähkö on kuitenkin poikkeuksellinen kulutushyödyke, koska sitä ei kyetä taloudellisesti varastoimaan suuria määriä.

Vapailla sähkömarkkinoilla esiintyvää salkunhallintaongelmaa ei voida ratkaista suoraan muille markkinoille kehitettyjä teorioita käyttäen. Ongelman ratkaisemisessa joudutaan käyttämään menetelmiä lähes kaikilta operaatio-tutkimuksen osa-alueilta. Tarvittavien lähtötietojen, kuten esimerkiksi hinta- ja kulutusennusteiden, tekemisessä tarvitaan todennäköisyysteoriaa, stokastisia prosesseja ja tilastollisia malleja. Markkinoiden toiminnan kuvaamiseen tarvitaan peli- ja päätösteoreettisia malleja. Tuotantolaitosten optimaalisen käyttötavan laskemisessa tarvitaan dynaamista optimointia, lineaarista ja epälineaarista rajoittamatonta ja rajoitettua optimointia sekä päätösteoriaa. Ratkaistava tehtävä on epävarmojen lähtötietojen seurauksena stokastinen optimointitehtävä.

Diplomityössä käsitellyt myyntisopimusten perustyyppejä ovat kiinteäkäyttömääräinen sopimus, loppukulutussopimus, rajoittamaton volyymisopimus ja rajoitettu volyymisopimus. Volyymiksi määritellään tietyllä aikavälillä käytetty energiamäärä. Rajoittamaton volyymisopimus voidaan mieltää sarjaksi aikaperiodikohtaisia optioita. Sähköpörssissä noteeratut finanssi- eli johdannais sopimukset voidaan fyysistä positiota laskettaessa usein ottaa huomioon markkinahinnasta riippumattomiksi kiinteäkäyttömääräisinä sopimuksina, vaikka johdannais sopimuksiin ei välttämättä liitykään sähkön fyysistä toimitusta. Diplomityössä käsitellyt hankintalähteitä ovat hankintasopimukset, pakko tuotanto, lauhdevoima ja vesivoima. Hankintasopimukset on jaoteltu samoihin perustyyppeihin kuin myyntisopimukset. Pakko tuotannoksi mielle tähän vastapainevoima laitokset ja ydinvoima laitokset.

Muodostettujen optimointitehtävien ratkaisemisessa käytetään relaksoitua Lagrangen kerroin menetelmää, dynaamista optimointia ja vesivoiman kohdalla vesiarvomenetelmää, joka on SDDP-menetelmän (Stochastic Dual Dynamic Programming) yksiallasvariaatio.

### 3 Kustannusten minimoinnista tuoton maksimointiin

Ennen markkinoiden vapauttamista energiayhtiöiden tavoitteena oli yleensä hankintakustannusten minimointi siten, että ennustettu myyntisopimusten kokonaiskäyttö eli kuorma pystyttiin kattamaan. Vapaille markkinoilla "ilmaisten" hankintalähteiden, kuten tyypillisesti vesivoiman, marginaalinen käyttö alentaa kustannuksia markkinahinnalla, koska näiden hankintalähteiden käyttö on vaihtoehto pörssikaupalle, joka on siis uusi hankintalähde. Kokonaiskustannusten minimointitehtävän optimi ratkaisu yhtyy tuoton maksimointitehtävän ratkaisuun, jos pörssikauppa on rajoittamaton ja markkinahinta on riippumaton pörssikaupan määrästä. Tällöin pörssikauppa voidaan mieltää taseyhtälön kuormapuolen slack -muuttujaksi. Sijoittamalla taseyhtälöstä ratkaistu pörssikauppa tehtävän kohdefunktion, ainoa hankintalähteitä ja myyntisopimuksia sitova ehto voidaan poistaa ja tehtävä separoituu.

Kustannusten minimointi- ja tuoton maksimointitehtävien ratkaisujen yhtyminen ei ole sattumaa, vaan on suora seuraus tehdyistä oletuksista. Likvideillä markkinoilla, jossa spot-kauppaa ei ole rajoitettu, markkinahinta antaa suoraan taseyhtälöön liittyvän optimaalisen Lagrangen kertoimen, joka aikaisemmin jouduttiin hakemaan ratkaisemalla alkuperäinen kokonaiskustannusten minimointitehtävä sen duaali tehtävän kautta. Hankintalähteiden optimaalista käyttöä ei kannata ratkaista suoraan tehtävästä kokonaiskustannusten minimointitehtävästä, vaan tehtävä kannattaa laskentakapasiteetin säästämiseksi separoida laitoskohtaisesti ja ratkaista käyttäen diplomityössä esitettyjä, tuoton maksimointiin perustuvia menetelmiä.

### 4 Kehitettävää riittää vielä

Diplomityössä esitettyä lähestymistapaa salkunhallintaan on helppo muuttaa ja laajentaa, koska jokainen hankintalähde ja myyntisopimus käsitellään erikseen. Täten tietyille hankintalähteille tai myyntisopimukselle tehdyn mallin muuttaminen tai vaihtaminen ei vaikuta muiden mallien toimintaan. Uudentyyppisen hankintalähteen tai myyntisopimuksen käytön mallintamiseen voidaan valita vapaasti niiden ratkaisemiseen parhaiten sopivat menetelmät.

Myyntisopimusten perustyyppit ovat standardimuotoisia sopimuksia, joten standardista poikkeavat sopimukset vaativat mallien räätälöintiä sopimuskohtaisesti. Energia-yhtiön asiakkaan oletetaan käyttävän energiayhtiön myyntisopimusta siten, että sopimuksen käytöstä seuraava asiakkaan tuoton odotusarvo maksimoidaan. Kaikki energiayhtiön asiakkaat eivät kuitenkaan käytä sopimuksiaan maksimoiden tuottoa. Tällöin energiayhtiön saama tuotto sopimuksen käytöstä on suurempi kuin jos asiakas käyttäisi sopimustaan tuottoaan maksimoiden. Tämä johtuu siitä, että tuotto on määritelty suhteessa markkinahintaan, joten energiayhtiön saama tuotto on asiakkaan tuoton vastaluku. Tehtyihin malleihin voidaan sisällyttää marginaaliseen tuoton määrittelyyn lisäparametri varjohinnan tapaisesti kuvaamaan asiakkaan markkinatietoisuutta tai reaktioherkkyyttä.

Toinen vaihtoehto on luopua asiakkaan riskineutraalisuusoletuksesta ja arvioida asiakkaan tuoton hyötyfunktio ja maksimoida asiakkaan tuotosta saatavaa hyötyä. Asiakkaan hyötyfunktion selvittäminen on kuitenkin vaikeaa eikä asiakas välttämättä edes maksimoi omaa hyötyään. Hankintalähteiden optimaalisen käytön antaviin malleihin voidaan vastaavasti sisällyttää energiayhtiön oma hyötyfunktio saatavalle kokonaistuotolle. Hyötyfunktion laskeminen pitäisi olla energiayhtiölle itselleen mahdollista sen valitseman riskipolitiikan perusteella. Tällöin muodostuva optimointitehtävä ei kuitenkaan ole enää hankintalähdekohtaisesti separoituva, jolloin sen ratkaiseminen vaatii erittäin paljon laskentakapasiteettia. Tehtävän separoituvuus voidaan säilyttää käyttämällä hankintalähdekohtaisia hyötyfunktioita.

Tuoton odotusarvon maksimoinnin antamaa ratkaisua approksimoidaan vesivoimaa lukuunottamatta skenaariokohtaisesti optimoitujen ratkaisujen odotusarvolla laskentakapasiteetin tarpeen pienentämiseksi. Tällöin siis ei tehdä stokastista dynaamista optimointia, mitä tehtävän tarkka ratkaiseminen edellyttää. Approksimoinnin seurauksena saatava ratkaisu poikkeaa käytännössä aina tehtävän tarkasta ratkaisusta. Approksimatiivisen tehtävän ratkaisun antaman informaation arvo salkunhallinnalle on sitä suurempi mitä edustavammin käytetyt skenaariot kuvaavat markkinahinnan mahdollista kehitystä ja mitä useampia erilaisia skenaarioita käytetään. Vesivoiman kohdalla käytetty vesiarvomenetelmä käyttää vesiarvotaulua muodostaessaan tietoa kaikista skenaarioista yhden ajan suhteen tehtävän iteraation aikana, joten menetelmä huomioi lähtötietojen epävarmuuden ja dynamiikan paremmin kuin muut käytetyt menetelmät. Yhtenä tärkeimpänä mallien yleisenä kehityskohteenä on siirtyä käyttämään stokastista dynaamista optimointia siten, että tarvittava laskentakapasiteetti ei kasva liian suureksi salkunhallinnan asettamiin vaatimuksiin nähden.



# VEHICLE ROUTING PROBLEM

*Olli Bräysy*

KTL Olli Bräysy, Department of Mathematics and Statistics, University of Vaasa, P.O. Box 700, FIN-65101 Vaasa, Finland. Email: d74302@uwasa.fi.

Lisensiaatintyö: A New Algorithm for the Vehicle Routing Problem with Time Windows Based on the Hybridization of a Genetic Algorithm and Route Construction Heuristics

Ohjaaja: Professori Ilkka Virtanen, Menetelmätieteiden laitos, Vaasan yliopisto

**The purpose of the paper is to present a new method for solving the vehicle routing problem with time windows (VRPTW). VRPTW can be described as the problem of designing least cost routes from one depot to a set of geographically scattered points (cities, stores, warehouses, schools, customers etc). The routes must be designed in such a way that each point is visited only once by exactly one vehicle within a given time interval; all routes start and end at the depot, and the total demands of all points on one particular route must not exceed the capacity of the vehicle. A new hybrid genetic algorithm is presented to obtain feasible solutions. The proposed algorithm was built on top of Galib – the genetic algorithm library of Wall (1995). Results are reported for the standard 100 node data sets of Solomon (1987). The findings indicate that, in general, the proposed procedure outperforms other genetic algorithms, and that the results are in most cases close to the best ones published. In addition, it was examined whether the quality of initial solutions has some significance for the quality of the final solutions in our genetic algorithm. The results indicate that only minor emphasis should be put on creating good initial solutions.**

## 1. INTRODUCTION

A typical vehicle routing problem (VRP) can be described as the problem of designing least cost routes from one depot to a set of geographically scattered points (cities, stores, warehouses, schools, customers etc). The routes must be designed in such a way that each point is visited only once by exactly one vehicle, all routes start and end at the depot, and the total demands of all points on one particular route must not exceed the capacity of the vehicle.

Vehicle routing problems are all around us in the sense that many consumer products such as soft drinks, beer, bread, snack foods, gasoline and pharmaceuticals are delivered to retail outlets by a fleet of trucks whose operation fits the vehicle routing model. In practice, the VRP has been recognized as one of the great success stories of operations research and it has been studied widely since the late fifties. Public services can also take advantage in improving their logistics chain. Organizing garbage collection, or town cleaning, takes an ever increasing part of the budget of local authorities.

Besides being one of the most important problems of operations research in practical terms, the VRP is also one of the most difficult problems to solve. It is quite close to one of the most famous combinatorial optimization problems, the Traveling Salesperson Problem (TSP), where only one person has to visit all the customers. The TSP is an NP-hard problem. It is believed that one may never find a technique that will guarantee optimal solutions to large instances in reasonable time for such problems. The VRP is even more complicated. Even for small fleet sizes and a moderate number of transportation requests, the planning task is highly complex.

The vehicle routing problem with time windows (VRPTW) is a generalization of the VRP involving the added complexity that every customer should be served within a given time window. Furthermore, the objective evolves to minimizing a combination of both distances travelled and the total duration of routes. Additional complexities encountered in the VRPTW are length of route constraint arising from depot time windows and cost of waiting time, which is incurred when a vehicle arrives too early at a customer location.

The remainder of this paper is organized as follows. The second section describes the designed algorithm in detail. First general principles of genetic algorithms are described. Second, coding technique, scaling and selection scheme are presented. Third, the crossover and mutation operators are depicted. The experimental analysis is provided in Chapter 3. First Solomon's problems and parameter values used in the tests are described. The chapter ends with a comparison and an analysis of the performance of different genetic algorithms. Finally, Chapter 4 concludes the paper.

## **2. THE PROBLEM SOLVING METHODOLOGY**

### **2.1. Creation of the initial population**

The implementation of a genetic algorithm<sup>1</sup> begins with a population of individuals. This first population is often created randomly. However, it is reasonable to assume that seeding GA with a good initial solution leads to better results. In order to clarify the significance of the initial population, four different heuristics producing solutions of different quality were used to create individuals of the first population. The first one is a random heuristic that selects and inserts customers to routes in a totally random manner. This is repeated until all customers are routed. The second method is the nearest neighbor heuristic of Solomon (1987), which always inserts a customer into the route that is closest to the previously inserted customer in terms of a specified measure. Two different criteria for selecting the first customer of the route were used, namely random selection, which is denoted by random NN and is closest to the depot, which is denoted by NN. The third method is the well-known insertion heuristic I1 of Solomon (1987). The main idea of the algorithm is to insert customer between two already inserted consecutive customers in the route. The inserted customer in each phase is the one that least increases the tour length and time.

Finally, we used the tabu search of Taillard et al. (1997) to produce initial solutions of very good quality. The method creates at first twenty different solutions using Solomon's heuristic with different parameter settings. Then these solutions are improved and stored in an adaptive memory. The solutions are divided into subproblems formed by dividing the problem's geographical region into sectors and the tabu search is used to direct a local search that replaces segments of customers between and within routes in some particular sector. The routes of the best subsolution found in each sector are reordered with Solomon's method and a new feasible solution is formed by uniting the sectors. Several different sectors are created randomly and in the end the routes of the best solution found are optimized locally using local post-optimization procedure.

### **2.2. Representation and selection**

A solution is represented by a set of feasible routes, an individual being implicitly encoded as a chromosome formed of multiple segments. A chromosome segment (sequence of genes) represents a feasible route referring to a sequence of customers to be visited by a vehicle.

---

<sup>1</sup> For details, see for example Goldberg (1989).

The selection process consists of choosing two individuals (parent solutions) within the population for mating purposes. We used so called tournament selector. It uses the roulette wheel method to select two individuals and then picks the one with the better score. By roulette wheel method we mean a selector that picks an individual based on the magnitude of the fitness score relative to the rest of the population. The better the score, the more likely that an individual will be selected.

#### 2.4. Scaling mechanism

We created scheme of our own, weighted scaling, for calculating fitness values of individuals. It is calculated as follows. For a given individual  $I$

$$(2.1) \quad f_i = \alpha \frac{r_i}{r_m} + \beta \frac{d_i}{d_m} + \gamma \frac{w_i}{w_m},$$

where

$\alpha, \beta, \gamma$  = parameters whose values are determined in the experimental tests,

$r_i$  = the number of routes in individual  $i$ ,

$r_m$  = the number of routes in the best individual in the population,

$d_i$  = the total distance of routes in individual  $i$ ,

$d_m$  = total distances of the routes in the best population member,

$w_i$  = the waiting time of individual  $i$ ,

$w_m$  = the waiting time in the best individual in the population.

The parameters  $\alpha$ ,  $\beta$  and  $\gamma$  determine how much emphasis should be put on the number of routes, total distance and waiting time respectively, when evaluating the individuals. The proposed fitness expression indicates that better solutions include fewer routes, smaller total traveled distance and shorter total waiting time.

#### 2.5. Recombination

*Rearrangement-based crossover.* This operator is based on identifying the common customers in the routes of two parents. The routes of the first parent are examined in predefined order and a route which is closest to customers of the considered route in the second parent is selected. It is reasonable to assume that if these two routes have some common customers, these customers should be on the same route also in the offspring. So the first route of the offspring is created by at first inserting these common customers into it in the order they are in the second parent. After that, the average distance between customers of the selected route in parent two and the customers of all the other routes of the second parent is calculated, and the customers on routes closer than average are considered to be inserted into the newly formed route of the offspring with Solomon's insertion heuristics. When no possible insertions are possible, the second route is selected from parent one and the process is repeated.

*Insertion-based crossover.* This operator is based on the usage of a priori knowledge about an expected solution. It is reasonable to assume that the customers that need rescheduling are those with long waiting time (vehicle arrives too early) and those whose distance from the preceding or following neighbor is long. This crossover operator goes through all the routes in parent one and removes the customers with long waiting time and long distance to their neighbors. In addition, some customers are selected randomly to be removed, to create diversity. These removed customers are then replaced by Solomon's heuristic by considering the customers in near routes of the second parent that are not serviced by any routes of the offspring for insertion. The removing-reinsertion procedure is repeated ten times and the best individual found is selected as first offspring. The second offspring is created by swapping the parents.

*Segment-based crossover.* The basic principle of this recombination operator is to remove segments of consecutive customers from routes and replace them with customers of other near routes using Solomon's insertion heuristics. The method considers all routes of the first parent, selects randomly the starting point and length of the segment in each route, removes the customers within the segment and tries to replace

them with some other customers from the nearest routes that are not yet serviced by any routes of the offspring. The second offspring is obtained by swapping the parents. The sequence in which routes in the parent one are examined is determined randomly. The length of the segment was restricted to the interval  $2/6$ , which was derived experimentally.

## 2.6. Mutation

The mutation operators are aimed at eliminating routes having only a few customers and at evolving routes by reordering the customers. In mutation, changes are made to only one individual at a time, selected randomly among the offsprings.

*Insertion-based mutation.* This operator was designed to eliminate routes with only a few customers. At first it calculates the number of customers on each route and identifies the shortest and second shortest routes (in terms of clients). The second shortest route is selected with 30% probability and the shortest with 70% probability respectively. Then attempts are made to insert the customers from the selected route into all the other routes with Solomon's heuristic.

*Rearrangement-based mutation.* This operator is designed by Berger et al. (1998). It is used in our algorithm each time a new best solution is found to locally optimize the solution. The purpose of this method is to rearrange the customers on each route with NN so that the distance between each consecutive pair of customers is minimal.

*Distance-based mutation.* Also this operator is designed by Berger et al. (1998) and it is used to locally optimize the best solutions. The aim of this method is to identify customers that are probably on the wrong routes and to reinsert them into their correct routes. The operator removes customers that are too far from the others on a route and tries to insert them with Solomon's heuristic into the route whose geographical centroid is closest to the examined client. In this method we calculate average distance from a node to its successor, then we remove nodes that are farther than that average.

## 3. COMPUTATIONAL COMPARISON OF THE PROCEDURES

### 3.1. Problem data and parameter values

To analyze the performance of our algorithm, it was run on a set of 56 VRPTW problems in six data sets denoted R1, C1, RC1, R2, C2 and RC2, developed by Solomon (1987). The problems vary in fleet size, vehicle capacity, travel time of vehicles, spatial and temporal distribution of customers, time window density, time window width, percentage of time constrained customers and customers' service times.

The results were obtained using the following settings:

The initial population is created with a 0.3 NN; 0.7 random NN heuristic. The number of generations is 300. The population size is set to 30. The mutation and crossover rates are both equal to 0.6. Hence, 60% of the individuals are mated by segment-based crossover. The remaining individuals are copied without any modifications. Finally, 60% of the offsprings are modified by 1/3 mutation operators. Insertion-based mutation is applied always and if a new best solution is found, rearrangement- and distance-based mutations are applied 50% of the time with 70% and 30% probabilities respectively. Generation replacement with elitism is applied, meaning that the best solution ever computed from a previous generation is automatically replicated and inserted as a member of the next generation, before the reproduction process even starts. The computer used is a Sun Ultra Enterprise 450 (300 Mhz) and the method is coded in C++.

### 3.2. Computational results

In comparison of different initial solutions, it was found that quite remarkable differences in final solutions are

obtained with different initial solutions. However, when taking into account the huge differences in qualities of initial solutions, it was concluded that only minor emphasis should be given to the method that creates the initial population. The amount of diversity in the population seemed to be a more important factor in explaining the differences in the results found. Distinctly the best results were obtained by initializing the first population with the tabu search of Taillard et al. (1997). Even if this strategy produces the best results, it is not reasonable to use it here because it consumes a lot more time than other approaches and because it prevents our genetic algorithm from contributing to results. The explanation for not finding any improvements is that tabu search uses the same kind of improvement operator as we do in segment-based crossover. So from the viewpoint of our segment-based operator, the routes are already optimal.

The best solutions (if tabu search is not considered) were obtained by creating 30% of the individuals with deterministic NN and 70% with random NN, implying that the best strategy is to create a diverse population that also has some individuals with better fitness scores. If all the individuals are identical, the results got worse, and on the other hand, if too many of the individuals are created randomly, the results also deteriorated. In comparison of different crossover operators it was found that insertion- and segment-based crossovers are clearly better than rearrangement-based operator, although they consume more time. Segment-based crossover seemed to be more robust and faster than insertion-based, especially when taking into account that very good results were obtained already after no more than 50 generations with it.

Table 1 compares best solutions found with different genetic algorithms and best published results. The best published results are obtained with seven different methods (mostly tabu searches), which implies that most of the algorithms developed so far for VRPTW lack robustness. GENSAT seems to be superior compared with other genetic algorithms, although one must remember that it uses the genetic algorithm only to create initial solutions. Most of the improvements in GENSAT are performed with simulated annealing and tabu search. In addition one must note that the results of GENSAT are created with 8 different methods and that the feasibility of its solutions is not checked. So only GIDEON, BERGER, GENEROUS and our hybrid algorithm can be regarded as genuine genetic algorithms.

When analyzing the results, one must be aware of the fact that all the methods contain random components, i.e., the results of two consecutive runs are never the same in practice. Thus the number of computational runs affects the quality of the results. The more runs the more likely it is to find a new best solution. For example BERGER's results were obtained with several dozens of runs, whereas our algorithm was run only five times. A hierarchical objective function is typically associated with all the methods. That is, the number of routes is first minimized and, for the same number of routes, the total distance is minimized. An exception is found in GENEROUS, where the second objective is to minimize the total duration of all routes.

**Table 1.** Comparison between best solutions found with different genetic algorithms and best solutions reported. To facilitate the comparison, an average result for each problem group was calculated.

PROBLEM SET	BEST PUBL.	GIDEON	GENSAT	BERGER	GENEROUS	OUR GA
	Veh/ Dist	Veh/ Dist	Veh/ Dist	Veh/ Dist	Veh/ Dist	Veh/ Dist
R1	11.9/ 1199.2	12.8/ 1300.3	12.3/ 1225.2	12.6/1261.6	12.6/ 1296.8	12.6/ 1272.3
C1	10.0/ 827.5	10.0/ 892.1	10.0/ 830.3	10.0/ 834.6	10.0/ 838.0	10.0/ 857.6
RC1	11.5/ 1366.4	12.5/ 1474.1	12.0/ 1391.1	12.1/ 1441.4	12.1/ 1446.2	12.1/ 1417.1
R2	2.7/ 946.5	3.2/ 1124.7	3.0/ 988.2	3.1/ 1030.0	3.0/ 1117.7	3.1/ 1053.6
C2	3.0/ 589.9	3.0/ 749.1	3.0/ 640.9	3.0/ 594.3	3.0/ 590.0	3.0/ 624.3
RC2	3.4/ 1087.1	3.4/ 1411.1	3.4/ 1173.4	3.5/ 1284.3	3.4/ 1360.6	3.4/ 1256.8

The research teams of the methods in the table are:

GIDEON: Thangiah (1994), GENSAT: Thangiah et al. (1994), BERGER: Berger et al. (1998), GENEROUS: Potvin et al. (1996), OUR GA : Bräysy (1999).

The time consumption of different methods is always very difficult to compare due to the different hardware and software used. In Table 3 the software is not a problem, since all the genetic algorithms are coded in C-language. GIDEON is clearly the fastest, requiring only 127 seconds on Solbourne 5/802 on the average. The second fastest is GENSAT, which is quite surprising, considering its good performance. It consumes 8 minutes on NeXT 68040 25 Mhz on the average (for one method. The running time of all 8 algorithms of GENSAT is over an hour). BERGER requires 1-10 minutes with Sun SPARC 10, depending on the problem. GENEROUS needs about 25 minutes with the same computer, Sun SPARC 10. Finally our algorithm needs about 17 minutes with Sun Ultra Enterprise 450 (300 Mhz) for 300 generations on the average. However one must note that our results did not improve in practice at all after generation 50.

Generally, the results obtained with genetic algorithms are not competitive with the best published. When comparing only genuine genetic algorithms, it can be seen that our algorithm is best in problem groups RC1 and RC2, which are closest to real-life problems. In practical problems the customers are only seldom randomly distributed or only within restricted clusters. In other problem groups, BERGER appears to be the best, although the number of vehicles is equal in most cases and the differences in distances are less than 30 units compared with our best results. However, when comparing the average performance of our method and BERGER, it was found that our algorithm is clearly better, although one must note that BERGER consumes less time.

#### 4. SUMMARY AND CONCLUSIONS

The purpose of this study was to create a new hybrid genetic algorithm for solving vehicle routing problems with time windows. The proposed algorithm was built on top of the Galib (Wall 1995) and the computational testing of the proposed method was carried out with 56 test problems of Solomon (1987). The paper is based on the licentiate thesis of Bräysy (1999) and on the study by Berger et al. (1998).

In our opinion, the most crucial thing in genetic algorithms from the viewpoint of getting good final solutions is what kind of recombination and mutation operators are used. In this study these operators are applied directly to feasible solutions and they utilize well-known heuristics to drive the search process. The so called segment-based crossover, reminiscent of the local search procedure of Taillard et al. (1997) was found to perform best. It selects randomly segments, removes customers within them and tries to replace the removed customers with some other customers from the nearest routes. The mutation operators were designed mainly to reduce the number of routes and reorder the customers within the routes.

To test the significance of the initial solution, four different procedures were used (tabu search of Taillard et al. (1997), Solomon's insertion and nearest neighbor heuristics and random procedure). It was concluded that the best strategy is to create a diverse initial population that also contains individuals with better fitness scores. In addition, it was found that even if there are huge differences in the quality (in terms of number of vehicles and total distance) of initial solutions, different strategies rapidly converge. Therefore one can conclude that it is not important of how good quality the initial solutions are and that it is not reasonable to put much effort into creating good initial solutions.

In the end, the best results obtained with our algorithm were compared with the best results obtained by other genetic algorithms and with the best published results. Generally it can be concluded that the results obtained with our algorithm are not competitive with the best published results, although the differences are not overwhelming. It was concluded that our method generally produces better outcomes than other genetic algorithms developed so far for vehicle routing problem with time windows.

Future work will explore the introduction of new features especially into crossover and mutation operators. For example several local searches will be combined together, thus producing a new local search that considers various different kind of moves. In our opinion, the main problem of most heuristics and local searches is that they use greedy strategy that considers only the current situation in determining the best move. However, the only thing that matters is the quality of the final solution. Therefore some kind of "thinking in advance", reminiscent of chess computers will be introduced to improvement procedures. Finally the contribution of problem-specific knowledge will be examined more thoroughly. For example the approach where the algorithm determines which operators and parameter settings are used according to problem characteristics will be examined.

#### References

Berger, J. M. Salois & R. Begin (1998). *A Hybrid Genetic Algorithm for the Vehicle Routing Problem with Time Windows*. Presented at the AI 98 12<sup>th</sup> Canadian Conference on Artificial Intelligence, June 1998,

Vancouver, Canada.

- Bräysy, O. (1999). A hybrid genetic algorithm for the vehicle routing problem with time windows. Licentiate thesis. 80 p. Unpublished. Vaasa University Library.
- Bräysy, O (1999). A new algorithm for the vehicle routing problem with time windows based on the hybridization of a genetic algorithm and route construction heuristics. *Vaasan yliopiston julkaisuja. Tutkimuksia* 227, 33p.
- Goldberg, D. (1989). *Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning*. New York: Addison Wesley Publishing Company Inc.
- Potvin, J-Y & S. Bengio (1996). The vehicle routing problem with time windows part II: genetic search. *Journal on Computing* 8:2, 165-172.
- Solomon, M. M. (1987). Algorithms for the vehicle routing and scheduling problems with time window constraints. *Operations Research* 35:2, 254-265.
- Taillard, E., P. Badeau, M. Gendreau, F. Guertin & J.Y. Potvin (1997). A tabu search heuristic for the vehicle routing problem with soft time windows. *Transportation Science* 31:2, 170-186.
- Thangiah, S. (1994). *Vehicle Routing with Time Windows Using Genetic Algorithms* [online]. Slippery Rock, U.S.A.: Slippery Rock University [cited 6.5.1998]. Available from Internet: <URL:ftp://brutus.cpsc.sru.edu/pub/papers/Gideon.ps.Z>.
- Thangiah, S., I. Osman & T. Sun (1994). *Hybrid Genetic Algorithm, Simulated Annealing and Tabu Search Methods for Vehicle Routing Problems with Time Windows* [online]. Canterbury: University of Kent [cited 6.5.1998]. Available from Internet: <URL:ftp://brutus.cpsc.sru.edu/pub/papers/GenSAT.ps.z>.
- Wall, M. (1995). *Galib – A Genetic Algorithms Library, version 2.4* [online]. Cambridge, U.S.A.: Massachusetts Institute of Technology [cited 10.8.1998]. Available from World Wide Web: <URL:http://lancet.mit.edu/galib-2.4/>.

# OPINNÄYTETYÖT

## *koonnut Janica Ylikarjula*

### **Sairaaloiden toiminnan mittaaminen. Tuottavuus, tehokkuus sekä tutkimuksen ja koulutuksen kustannukset suomalaisissa sairaaloissa.**

TkT Miika Linna, Systeemianalyysin laboratorio, Teknillinen korkeakoulu  
STAKES

Väitöskirjatyö: Measuring Hospital Performance: the Productivity, Efficiency and Costs of Teaching and Research in Finnish Hospitals

Työn ohjaaja: Tutkimuspäällikkö, dosentti Unto Häkkinen, STAKES

Vuonan 1993 voimaan tulleen valtiosuudistuksen yhtenä keskeisenä tavoitteena oli edistää toimintojen taloudellisuutta ja tehokkuutta lisäämällä kuntien kustannusvastausta. Kunnat toimivat erikoissairaanhoidon palvelujen ostajina ja ennen kaikkea niiden maksajina. Kunnat ja muut rahoittajat voivat arvioida sairaanhoidon toimintaa tehokkuuden ja tuottavuuden perusteella. Kuntien ohella myös sairaanhoitopiirit ja sairaalat tarvitsevat päätöksenteon tueksi tietoa sairaaloiden tehokkuudesta, tuottavuudesta sekä tuottavuuden kehityksestä.

Tutkimuksessa tarkastellaan sairaaloiden kustannustehokkuutta, sen osatekijöitä sekä tuottavuuden ja tehokkuuden kehitystä parametrisilla ja ei-parametrisilla menetelmillä. Lisäksi arvioidaan menetelmien sopivuutta sairaaloiden tuottavuuden ja tehokkuuden mittaamisessa, sekä vertaillaan eri menetelmillä saatuja tuloksia.

Tutkimuksen aineisto kerättiin vuosilta 1988-1994. Tutkimus kohdistui somaattisia erikoissairaanhoidon palveluja tuottaviin sairaaloihin. Mukana olivat yliopistosairaalat, keskussairaalat sekä muut kunnalliset erikoissairaanhoidon palveluja tuottavat sairaalat. Tutkimukseen ei otettu mukaan erikoislääkärijohtoisia terveyskeskussairaloita, yksityisiä sairaaloita, sotilassairaloita, mielisairaloita eikä yleissairaaloiden psykiatria yksiköitä.

Tutkimus ja koulutus aiheuttavat merkittäviä epäsuoria kustannuksia sairaaloille. Tulosten mukaan opetuksen ja tutkimuksen yliopistosairaloille aiheuttamat lisäkustannukset olivat vuonna 1994 noin 11 % sairaaloiden käyttömenoista. Tuottavuus- ja tehokkuusanalyysissä onkin välttämätöntä ottaa huomioon tutkimuksen ja koulutuksen suoritteet sairaaloiden tuotoksina.

Sairaaloiden tehokkuudessa ja kustannustehokkuudessa oli merkittäviä eroja sekä parametrisilla että ei-parametrisilla menetelmillä mitattuna. Parametristen ja ei-parametristen menetelmien antamien tehokkuuslukujen välillä havaittiin selvä yhteys. Erikoistuminen, yliopistosairaalastatus ja sairaalan koko selittivät eri menetelmien antamien tehokkuuslukujen välisiä eroja. Kustannustehottomuus oli vuonna 1994 n. 9-16 %, mikä merkitsee 1.0-1.5 miljardin markan säästöpotentiaalia.

Noin puolet kustannustehottomuudesta johtui allokatiivisesta tehottomuudesta eli tuotantopanosten epätaloudellisesta käytöstä. Lääkäreiden työvoimaa käytettiin liian vähän suhteessa muiden ammattiryhmien työn käyttöön. Lisäksi yliopistosairaloissa käytettiin liikaa pääoma- ja materiaalivaroja työvoimaan nähden. Tutkimuksessa ei voitu osoittaa merkittäviä skaalaetuja tai -haittoja sairaalapalveluiden tuotannossa.

Sairaaloiden tuottavuus parantui tutkimusajanjakson aikana selvästi Malmqvist-indeksillä mitattuna. Tuottavuuden tärkein osatekijä oli teknologinen muutos eli tuotantomahdollisuuksien kehittyminen. Vuoden 1993 valtiosuudistuksella näytti olevan positiivinen vaikutus tuottavuuteen, mutta mahdollisesti myös 1990-luvun lama tehosti sairaaloiden toimintaa. Kustannustehokkuus lisääntyi myös parametrisilla menetelmillä mitattuna. Kustannustehokkuutta selitti merkittävästi potilasta kohden syntyneiden hoitajaksojen lukumäärän kasvu.

Tutkimuksen johtopäätöksenä on, että nykyisillä tuottavuus- ja tehokkuusmittauksen menetelmillä ja käytettävissä olevilla aineistoilla voidaan sairaaloiden tuottavuutta ja tehokkuutta mitata melko luotettavasti.

Vaikka yksittäisiin sairaalakohtaisiin tuottavuus- ja tehokkuuslukuihin sisältyy aineistosta sekä satunnaisvaihtelusta aiheutuvaa epävarmuutta, voidaan tässä tutkimuksessa käytettyjä menetelmiä käyttää keskimääräisen tuottavuuden ja tehokkuuden arviointiin. Tulosten tarkkuus riittää terveyspoliittiseen päätöksentekoon, mutta tuotosten mittaamista on kehitettävä edelleen ennen kuin menetelmiä voidaan luotettavasti käyttää kuntalaskutuksen tai sairaalan johtamisen apuvälineinä.



## Reliability methods in nuclear power plant ageing management

TkT Kaisa Simola, Teknillinen korkeakoulu, Systeemianalyysin laboratorio  
 VTT Automaatio, Teollisuusautomaatio  
 Väitöskirjatyö: Reliability methods in nuclear power plant ageing management  
 Työn ohjaaja: Erikoistutkija, TkT Urho Pulkkinen, VTT Automaatio

The aim of nuclear power plant ageing management is to maintain an adequate safety level throughout the lifetime of the plant. In ageing studies, the reliability of components, systems and structures is evaluated taking into account the possible time-dependent degradation. The phases of ageing analyses are generally the identification of critical components, identification and evaluation of ageing effects, and development of mitigation methods.

The thesis focuses on the use of reliability methods and analyses of plant-specific operating experience in nuclear power plant ageing studies. The presented applications and method development have been related to nuclear power plants, but many of the approaches can also be applied outside the nuclear industry. The thesis consists of a summary and seven publications. The summary provides an overview of ageing management and discusses the role of reliability methods in ageing analyses. In the publications, practical applications and method development are described in more detail.

The application areas at component and system level are motor-operated valves and protection automation systems, for which experience-based ageing analyses have been demonstrated. Furthermore, Bayesian ageing models for repairable components have been developed, and the management of ageing by improving maintenance practices is discussed. Recommendations for improvement of plant information management in order to facilitate ageing analyses are also given. The evaluation and mitigation of ageing effects on structural components is addressed by promoting the use of probabilistic modelling of crack growth, and developing models for evaluation of the reliability of inspection results.

## Terästehtaan raaka-aineen käytön suunnittelu säästää rahaa ja ympäristöä

Tekn. yo. Jussi Ikäheimo  
 Diplomityö: Adaptive raw material optimization system for a steel plant  
 Työn ohjaaja: Tutkimusprofessori Risto Lahdelma, VTT

Teräsvalmistaja Outokumpu Polarit Oy:lle on tehty uudentyypinen raaka-aineen käytön optimointijärjestelmä. Järjestelmän odotetaan alentavan teräksen tuotanto-kustannuksia. Järjestelmä saattaa auttaa tehdasta ruostumattoman teräksen alhaisesta hinnasta johtuvissa tuottavuusvaikeuksissa. Järjestelmää voitaneen käyttää myös raaka-aineiden oston suunnittelussa.

Tehdas käyttää suureksi osaksi raaka-aineenaan teräsromua. Järjestelmän käyttöönotto parantaa täten ympäristöystävällisen tuotannon kilpailukykyä. Mikäli vastaavia järjestelmiä otetaan maailmalla enemmän käyttöön, romun käyttö teräksen raaka-aineena nousee nykyisestä 40 prosentista.

Teräsromu jaetaan tehtaalla useisiin luokkiin. Ongelmana on, miten paljon kunkin luokan romua käytetään kunkin teräserän valmistamiseen. Väärä valinta johtaa korkeisiin kustannuksiin tai jopa koko erän hylkäämiseen. Järjestelmä hyödyntää tehtaan valmiiksi keräämiä tietoja romuluokkien ominaisuuksien selvittämisessä ja sopivien romun käyttömäärien löytämisessä. Se pyrkii löytämään sellaiset käyttömäärät, että tuotantokustannukset tehtaan terässulatolla minimoituvat. Nykyään käyttömääristä päättävät kokeneet terässulaton mestarit sekä huomattavasti yksinkertaisempi laskentajärjestelmä.

Järjestelmän antavat alustavat tulokset vaikuttavat lupaavilta. Sen romunkäyttöehdotus muistuttaa toteutunutta käyttöpolitiikkaa. Kustannussäästöjen määrää voi tarkemmin arvioida vasta sitten, kun järjestelmä on tehtaalla käytössä.

Suunnittelujärjestelmän tekeminen kuuluu osana laajempaan AMRO-hankeeseen, jonka tarkoitus on tehdä vastaavia järjestelmiä muillekin suomalaisille metallinvalmistajille. Hankkeesta vastaavat yhteistyössä Teknillisen korkeakoulun Systeemianalyysin laboratorio ja Valtion teknillinen tutkimuskeskus. Vastaavanlainen hieman

yksinkertaisempi järjestelmä on jo otettu käyttöön Kuusakoski Oy:n alumiinitehtaalla Heinolassa.

Ongelmaa, jonka järjestelmä pyrkii ratkaisemaan, on tutkittu jo parikymmentä vuotta. Optimointijärjestelmiä on otettu käyttöön muun muassa Kiinassa ja USA:ssa. Näille arvioidut säästöt vaihtelevat kymmenistä satoihin markkoihin terästonnilta. Yhtä tarkasti ongelmaan pureutuvaa järjestelmää ei kuitenkaan löydetty.

## **Laatua internet-palveluihin käyttövarmuustarkastelulla**

Tekn. yo. Seppo Kauppinen

Diplomityö: Internet-palvelutuotannon mallintaminen - käyttövarmuustarkastelu ja riskien arviointi

Työn ohjaaja: Professori Ahti Salo, Systeemianalyysin laboratorio, TKK ja DI Seppo Noppari,

Teknillisen korkeakoulun Systeemianalyysin laboratorioon tehdyssä Seppo Kauppisen diplomityössä "Internet-palvelutuotannon mallintaminen - käyttövarmuustarkastelu ja riskien arviointi" on selvitetty riskianalyysin ja muiden käyttövarmuustarkastelun menetelmien käyttöä internet-palvelutuotannon yhteydessä. Käyttövarmuustarkastelun avulla voidaan järjestelmä suunnitella niin, että sen käytettävyys, luotettavuus, tietoturva ja ylläpidettävyys ovat riittävän korkealla tasolla. Tämä näkyy myös loppukäyttäjän kokemassa palvelun laadussa.

Diplomityössä esitetään muutamia yleisiä malleja, joilla internet-palvelutuotantolaitteistoa voidaan mallintaa ja analysoida. Yleisten rakennemallien lisäksi on käytetty mm. vikapuu- ja luotettavuuslohkokaavioita. Näitä malleja voidaan käyttää sekä uusien tuotantojärjestelmien suunnittelussa että vanhojen analysoinnissa.

Käyttövarmuustarkastelun käyttöä selvitetään diplomityössä tarkemmin yhden sen osa-alueen, käyttövarmuuden luomisprosessin, avulla. Sen tärkeimmät vaiheet käydään läpi esitettyihin internet-palvelutuotannon malleihin perustuen. Kullekin käyttövarmuuden attribuutille (käytettävyys, luotettavuus, tietojen luottamuksellisuus, tietojen yhteneväisyys, turvallisuus ja ylläpidettävyys) määritellään tällöin tavoitetaso. Analyysivaiheessa todetaan, onko tavoitetaso saavutettu, vai tarvitaanko järjestelmään muutoksia.

Riskianalyysi on yksi käyttövarmuustarkastelun menetelmistä. Se koostuu riskien tunnistamisesta ja niiden luokittelusta. Tässä diplomityössä luokittelussa on käytetty ns. ALARP-periaatetta. Siinä riskit luokitellaan neljään ryhmään, kriittinen, merkittävä, pienehkö ja merkityksetön. Kriittisiksi tulkittujen riskien vaikutus pyritään ehkäisemään.

Koska internet-palvelutuotannon laitteistot ovat useimmiten kaupallisia vakiotuotteita, eikä niiden käytettävyys-, luotettavuus- ym. arvoista useinkaan ole tietoja valmistajan toimesta julkistettu, ainoa keino on kerätä järjestelmällisesti tietoja tuotantojärjestelmästä. Vaikka tämä voidaan osittain automatisoida, voi kertyvä aineisto sisältää monia erilaisia virhetyyppejä. Tämän diplomityön kokeellisessa osuudessa selvitetään yhden käyttövarmuuden attribuutin, käytettävyden, mittausta ja siinä esiintyviä ongelmia.

Diplomityössä esiteltyjä menetelmiä ja sen tuloksia voidaan käyttää internet-palvelutuotannon järjestelmien suunnittelussa ja yleisessä tuotannosuunnittelussa.

## Uusi WWW-sovellus päätöksenteon avuksi

Tekn. yo. Jyri Mustajoki, Teknillinen korkeakoulu, Systeemianalyysin laboratorio  
Diplomityö: Web-HIPRE - A Multiattribute Decision Support System on the Internet  
Työn ohjaaja: Professori Raimo P. Hämäläinen, Systeemianalyysin laboratorio, TKK

Web-HIPRE on uusi päätöksentekoa helpottava Java-tietokoneohjelma. Java-ohjelmointikieli mahdollistaa ohjelman käyttämisen Internetin välityksellä, jolloin ohjelman ajamiseen tarvitaan ainoastaan Internet-yhteys ja Javaa tukeva WWW-selain, esimerkiksi Netscape tai Internet Explorer. Web-HIPRE on ensimmäinen Internetissä toimiva päätöksenteon tukijärjestelmä.

Päätöksentekoon liittyvissä ongelmissa päätöksentekijällä on usein joukko vaihtoehtoja, sekä kriteereitä, joiden perusteella hän pyrkii valitsemaan parhaan vaihtoehdon. Yksinkertainen esimerkki päätöksenteon ongelmasta on kännykän ostaminen. Ostajalla on usein muutamia mahdollisia vaihtoehtoja, ja ostopäätökseen vaikuttaa eri tekijöitä, kuten hinta, puheajan pituus, paino, ulkonäkö, jne. Kännyköiden ominaisuuksia vertailemalla ostaja pyrkii valitsemaan itselleen sopivimman puhelimen.

Jos valintaan vaikuttaa useita eri kriteereitä, voi näiden kaikkien vertailu samanaikaisesti olla vaikeaa päätöksentekijälle. Web-HIPRE tarjoaa analyttisen lähestymistavan, jossa päätöksentekijä voi järjestelmällisesti jäsentää ongelmansa hajottamalla sen pienempiin osakokonaisuuksiin, joita on yleensä helpompi käsitellä. Päätöksentekijä voi vertailla yksittäisiä kriteereitä keskenään sillä perusteella, kuinka tärkeitä ne ovat hänen kannaltaan. Graafisen käyttöliittymän avulla on vertailut mahdollista suorittaa visuaalisesti, mikä saattaa helpottaa kriteerien tärkeyksien määrittämistä. Vertailujen pohjalta voidaan vaihtoehdoille laskea näiden paremmuutta ilmaisevat kokonaisarvot, joiden perusteella paras vaihtoehto saadaan selville.

Web-HIPRE:n avulla voidaan tukea myös ryhmäpätöksentekoa. Tällöin ryhmän jäsenet analysoivat ongelman ensin itsenäisesti, jonka jälkeen yksittäiset mielipiteet voidaan yhdistää. Yksittäisiä ryhmän jäsenten tekemiä analyyseja voidaan käyttää myös mielipiteiden selvittämiseksi ryhmän muille jäsenille. Koska Web-HIPRE toimii Internetin välityksellä, ei ryhmän jäsenten tarvitse olla läsnä samassa paikassa, vaan he voivat sijaita jopa vastakkaisilla puolilla maapalloa. Tukemalla ryhmäpätöksentekoa Internetin välityksellä saatetaan säästää huomattavia rahasummia, esimerkiksi matka- ja kokouskustannuksissa.

Web-HIPRE löytyy WWW-osoitteesta <http://www.hipre.hut.fi>. Ohjelma on vapaasti käytettävissä ei-kaupallisiin tarkoituksiin.

## Esselte tehostaa ennustein

Tekn. yo. Tommi Pastinen, Teknillinen korkeakoulu, Systeemianalyysin laboratorio  
Diplomityö: Materiaalinhallinnan ja myynnin ennustejärjestelmä  
Työn ohjaaja: Kimmo Käyhkö

Toimistotarvikeyritys Esselte teetti ennustejärjestelmän tehostamaan liiketoimintaansa. Asiakas haluaa tilaamansa tuotteen nopeasti, halvalla ja helposti; Ennusteitaan kehittämällä Esselte aikoo jatkossa vastata markkinoiden vaatimuksiin joustavasti.

### *Erilaiset ennusteet yhdistetään*

Tyypillisesti organisaatiossa tehdään ennusteita moniin eri tarpeisiin. Markkinointiosasto asettaa myyntitavoitteet, tuotannosuunnittelijat ennustavat kapasiteettitarvetta, ja yrityksen budjetti on laadittava etukäteen. Tarkin ennuste syntyy, kun kaikki tarvittavat pohjatiedot saadaan päättäjille oikeaan aikaan ja ymmärrettävässä muodossa. Lisäksi on syytä koota tiedot yhteen viimeisteltyjä päätöksiä varten.

Suuret tietomäärät hallitaan tietoa suodattamalla ja graafisen esitysmuodon avulla. Koska ennusteet perustuvat osin päättäjien subjektiiviseen näkemykseen, on tiedon muokkaamiseen rakennettu tehokkaat työkalut. Merkityksettömimmille tuotteille ennuste voidaan jättää ohjelmiston laadittavaksi.

### *Hyötyjä haetaan asiakkaalle*

Tarkoilla ennusteilla varastojen hyödyntäminen, kuljetuskapasiteetti ja toimitusten täsmällisyys maksimoidaan. Mikäli varastoissa tai tuotantokapasiteetissa havaitaan lyhyellä aikavälillä ylijäämää, kuluttajat voivat nauttia erikoistarjouksista. Pitkän tähtäimen suunnittelulla vaikutetaan myös tuotevalikoimaan; Kukaan ei halua myydä vanhentuneita tuotteita.

## **Eloptioner räddar elbolag från konkurs**

Tekn. yo. Tomas Qvickström, Teknillinen korkeakoulu, Systeemianalyysin laboratorio  
Diplomityö: Sähköoptioiden hinnoittelu rakenteellisen mallin avulla  
Työn ohjaaja: Johtaja, TkT Jukka Ruusunen, Fortum

Vanliga värderingsmetoder för optioner lämpar sig inte för elmarknaden. Nya metoder krävs för att bestämma priset på eloptioner.

Elmarknaden har de senaste åren avreglerats i Norden. Detta har inneburit att konsumenterna inte längre behöver köpa sin elektricitet från det lokala elbolaget, utan fri konkurrens råder på elmarknaden. Elektricitet kan numera köpas och säljas på liknande sätt som aktier på en gemensam nordisk elbörs. Den fria marknaden utsätter konsumenterna och producenterna för en risk om elpriset stiger eller sjunker drastiskt. För att kunna gardera sig mot framtida variationer i elpriset och kunna hävda sig i en ökande priskonkurrens måste man kunna hantera denna risk. Annars ligger det nära till hands att mindre elbolag går i konkurs om de inte längre kan sälja sin elektricitet till ett pris som täcker produktionskostnaderna.

Optioner är ett sätt att gardera sig mot framtida prisvariationer. En option innebär en rätt att köpa eller sälja en vara vid en viss tidpunkt i framtiden till ett på förhand överenskommet pris. Optionen innebär inget tvång, utan optionens innehavare utnyttjar optionen endast om det lönar sig för honom. Den som utfärdar optionen utsätter sig därmed för en risk. För att kompensera detta betalar optionens köpare en premie för optionen. Att räkna ut premien för en option är komplicerat. Det har forskats mycket inom det här området och det finns färdiga modeller för att beräkna värdet på olika typer av optioner. Problemet är att dessa modeller inte lämpar sig så bra för elmarknaden eftersom det görs antaganden som inte är relevanta för elektricitet.

En stor del av elektriciteten i Norden produceras med hjälp av vattenkraft. Under ett torrt år med lite nederbörd är den totala produktionskapaciteten mindre än under år med normal mängd nederbörd. Detta leder till att priset på elektricitet blir högre under torra år. Genom att använda sig av historiska data för tillgången på vattenkraft är det möjligt att räkna ut hur mycket elpriset kan förväntas variera i framtiden. Med hjälp av detta får man ett mått på osäkerheten i det framtida elpriset, vilket gör det möjligt att räkna ut värdet på eloptioner. Detta sätt att räkna ut värdet på eloptioner lämpar sig bättre för riskhantering än tillbudstående modeller.

Mer information: Tomas Qvickström, tel. 040-5469864

## **GSM-verkon vianetsintään kehitetty uusi menetelmä**

Tekn. yo. Sauli Samila, Teknillinen korkeakoulu, Systeemianalyysin laboratorio

Diplomityö: GSM-verkon monitorointi ja diagnostiikka  
Työn ohjaaja: DI Jari Vormisto

Soneralla on kehitty uusi menetelmä GSM-verkon liikennemittaustietojen seurantaan. Menetelmä etsii käyttäjän kokeman laadun heikkenemistä ilmaisevia merkkejä liikennemittaustiedoista ja välittää havainnot verkon valvojalle.

Menetelmällä saavutetut tulokset ovat vertailukohteita paremmat. Sillä pystytään löytämään laitevikoja, joita ei ole aiemmin havaittu. Lisäksi aiheettomien hälytysten määrä on pystytty vähentämään.

GSM-verkossa ilmenevien laitevikojen nopea korjaaminen parantaa palvelun laatua. Myös käyttökatkoksi aiheuttamia menetyksiä GSM-operaattorille voidaan vähentää.

Kehitetty menetelmä käyttää vikojen löytämiseen sumeaa logiikkaa. Menetelmä seuraa tunneittain GSM-verkon liikennemittauksia. Se päättää sumeiden sääntöjen avulla toimivatko GSM-verkon tukiasemat normaalisti.

Menetelmän kehittäminen on osa Soneran NeuroFMS projektia. Projektin tavoite on tuoda markkinoille vikadiagnostiikkajärjestelmä GSM-verkkoon.

Lisätietoja: Systemisuunnittelija Sauli Samila, puh: 040-7002001

## **Metallien kierrätystä tehostetaan matematiikan ja simuloinnin avulla**

Tekn. yo. Ranta Jukka Juuso Antero

Diplomityö: Simulaattori Kuusakoski Oy:n Heinolan tehtaan alumiiniseosten valmistuksen optimointijärjestelmien testaamiseen

Työn ohjaaja: Tutkimusprofessori Risto Lahdelma, VTT

Teknillisessä korkeakoulussa on käynnissä projekti jossa tutkitaan miten metalliromu saataisiin tehokkaammin takaisin käyttöön. Projektin yhteydessä on kehitetty simulaattori, jolla voidaan testata erilaisia tapoja ohjata alumiinin valmistusta. Alumiinitehtaan toimintaa matkiva simulaattori on tietokoneelle tehty ohjelma. Se on vastaavanlainen kuin tietokoneen kilpa-autopelit, jotka ovat oikeita autoja matkivia ohjelmia. Simulaattoriin on kuvattu tehtaan toiminta matemaattisena mallina. Erilaiset oikealla tehtaalla tehtävät toimenpiteet on siis esitetty laskutoimituksina.

Simulaattorille kerrotaan millaista ohjaustapaa käytetään ja tuloksena saadaan kertyneet kustannukset ja epäonnistuneiden tuotteiden määrä. Kokeilemalla erilaisia ohjaustapoja voidaan vertailla mikä niistä olisi paras ottaa tehtaalle käyttöön. Tällainen testaaminen on hyvin halpaa ja nopeaa. Tehtaan normaalia toimintaa ei tarvitse häiritä muuttamalla siellä käytettäviä ohjausjärjestelmiä ja tuotantosuunnitelmia. Simulaattorilla voidaan käydä läpi useiden viikkojen tuotanto-ohjelmat muutamissa tunneissa. Vertailun helpottamiseksi simulaattorissa voidaan laittaa kaikki erilaiset ohjaustavat ohjaamaan samaa tuotantotilannetta.

Simulaattori edustaa Monte Carlo-simulointia. Siinä arvotaan satunnaisia numeroita kuvaamaan tapahtumia joiden lopputulosta ei voida ennustaa. Kyseinen menettely on tarpeen koska romumetallin käytön ongelmana on epätasainen laatu. Koskaan ei voi olla täysin varma lopputuotteen ominaisuuksista. Koska simulaattori käyttää arvottuja numeroita eivät sen tulokset ole tarkkoja ennusteita siitä mitä yksittäiselle tuotantoerälle käy. Pitemmällä aikavälillä tulokset kuitenkin keskimäärin vastaavat todellisuutta.

Metallit ovat kierrätyksen tärkein osa-alue ja muodostavat kolmanneksen kaikesta kierrätetystä materiaalista. Metallien ahkera kierrätys johtuu osittain sen helppoudesta. Ruostumista lukuunottamatta metalli ei juurikaan muutu käyttöaikanaan. Sen saa siis suhteellisen vaivattomasti sulatettua ja valettua uutta käyttöä varten.

Kehitetty simulaattori esittää Kuusakoski Oy:n Heinolan tehdasta. Kuusakoski Oy:n lisäksi romumetallin käyttöä raaka-aineena tutkivaa AMRO-projektia rahoittavat suuret suomalaiset teräs- ja kuparitehtaat ja TEKES. Varsinainen työ tehdään Teknillisen korkeakoulun Systeemianalyysin laboratoriossa ja VTT Energiolla.

## **Kostnadsredovisning vid Ålands Penningautomatförening - analys, utvärdering och förslag.**

Carl Lindman, Institutionen för Informationssystem, Åbo Akademi

Avhandlingen granskar konstruktivt PAF:s policy i kostnadsuppföljningen och ger en detaljerad modell för ABC-kalkyler inom PAF.

## **A Model for Competitor Analysis in the European Coated One Side (C1S) Paper Sector**

Maria Standertskjöld-Nordenstam, Institutionen för Informationssystem, Åbo Akademi

Ämnesområdet är analys och uppföljning av centrala konkurrenter med ett speciellt fokus på strategiska lösningar och allianser inom marknaden för specialpapper. Avhandlingen tar fram en egen generisk modell för konkurrentanalys.

# TAPAHTUMAKALENTERI

## *Konferenssit Kongressit Seminaarit Workshopit*

Ks. myös tapahtumakalenterit:  
<http://www.informs.org/Conf/Conf.html>  
<http://www.ifors.org>  
[http://www.ulb.ac.be/euro/euro\\_welcome.html](http://www.ulb.ac.be/euro/euro_welcome.html)

e-mail: ws2000@pom.bwl.univie.ac.at

### MARRASKUU

**7.-10.11. INFORMS**, Philadelphia, PA, USA  
<http://www.informs.org/Conf/Philadelphia99>

**28.-30.11. Conference on Computational Intelligence for Financial Engineering (CIFER)**, New York, USA  
<http://www.iafe.org/conferen/cifer99/>

### VUOSI 2000

#### TAMMIKUU

**5.-7.1. 7th INFORMS Computing Society Conference on Computing and Optimization Tools for the New Millennium**, Cancun, Mexico  
<http://www-bus.colorado.edu/Faculty/Laguna/cancun2000.html>

**5.-7.1. Sixth International Symposium on Artificial Intelligence and Mathematics**, For Lauderdale, USA  
<http://rutcor.rutgers.edu/~amai/>

#### MAALISKUU

**4.-18.3. EURO Winter Institute (EWI) XVIII**, Lac Noir, Switzerland  
<http://www.ulb.ac.be/euro/bulletin/id%73-4.html>

**5.-8.3. INFORMS Telecommunications Conference**, Boca Raton, USA  
<http://www.crt.umontreal.ca/GERAD/boca2000/>

**28.-30.3. The Eleventh Young Operational Research Conference**, Cambridge, UK  
[http://www.orsoc.org.uk/conf/index\\_f.html](http://www.orsoc.org.uk/conf/index_f.html)

#### TOUKOKUU

**7.-10.5. INFORMS Spring 2000 Meeting**, Salt Lake City, USA  
<http://www.informs.org/Conf/SaltLake2000/>

**24.-26.5. Seventh Viennese Workshop on Optimal Control, Dynamic Games and Nonlinear Dynamics: Theory and Applications in Economics and ORMS**, Vienna, Austria  
<http://venus.bwl.univie.ac.at/bwl/prod/EVENTS/ws2000/>

**28.5.-1.6. Second International Workshop on Scientific Computing and Applications**, Alberta, Canada  
<http://vega.math.ualberta.ca/~pminev/SciComp2000/>

#### KESÄKUU

**18.-21.6. INFORMS/KORS**, Seoul, Korea  
 Information and Knowledge Management in the 21st century  
<http://informs.scu.edu/seoul/default.htm>

#### HEINÄKUU

**3.-7.7. INFORMS Group Decision and Negotiation Section, GDN 2000**, Glasgow, Scotland  
<http://www.cbe.wvu.edu/gdn/GDN2000.html>

**5.-7.7. APORS '2000 The Fifth Conference of the Association of Asian-Pacific Operations Research Societies within IFORS on Operations Research in the Millenium**, Singapore  
<http://www.comp.nus.edu.sg/~phuakh/apors.html>  
 e-mail: cgwong@cyberway.com.sg

**16.-19.7. EURO XVII, 17th European Conference on Operational Research**, Budapest, Hungary  
[http://www.ulb.ac.be/euro/euro\\_welcome.html](http://www.ulb.ac.be/euro/euro_welcome.html)

#### ELOKUU

**3.-8.8. Conference and Workshop on Random Utility Theory and Probabilistic Measurement Theory**, Duke University, USA  
<http://www.fuqua.duke.edu/ru2000/>

**7.-11.8. 17th International Symposium of Mathematical Programming**, Atlanta, USA  
<http://www.isye.gatech.edu/ismp2000/>

#### SYYSKUU

**12.-14.9. Annual conference, OR 42, of UK Operational Research Society (ORS)**, Swansea, UK  
 Tel. 0121 233 9300, Fax 0121 233 0321.  
[http://www.orsoc.org.uk/conf/index\\_f.html](http://www.orsoc.org.uk/conf/index_f.html)  
 e-mail: barrett@orsoc.org.uk

#### INFORMS 2000: A New Look for Conferences

Beginning in the Fall of the year 2000, INFORMS is planning to change the structure of its conference offerings. This change reflects an evolution of INFORMS conferences over the past twenty years as well as inputs from many members over the past two years. The major points of this change are as follows: INFORMS will offer one major General Conference per year, similar in format to the current conference, but enhanced in its offerings other special interest conferences, mostly organized and run by INFORMS subdivisions a new annual listener-based "Practice Oriented" conference, with fewer parallel tracks, more invited speakers, and more emphasis on practice issues in operations research and the management sciences. The General Conference will welcome participation by all members, including researchers, practitioners and members of all subdivisions. It is intended to be "the" place to be for anyone with an interest in operations research/ management science every year. The Practice Conference is for anyone interested in practice, including members of the academic community.