

Mat-2.4177 Operaatiotutkimuksen projektityöseminaari

# Vapaapäivien optimointi

## Projektisuunnitelma

25.2.2014

Asiakas: Computational Intelligence Oy

Projektiryhmä:

Teemu Kinnunen (projektipäällikkö)

Ilari Vähä-Pietilä

Lotta Martikainen

Santtu Klemetilä

# Sisällys

- 1. Tausta ..... 3
- 2. Tavoitteet ..... 3
- 3. Toimenpiteet ..... 4
- 4. Aikataulu..... 5
- 5. Resurssit..... 6
- 6. Riskit ..... 6
- 7. Lähteet..... 8

# 1. Tausta

Tässä projektisuunnitelmassa käydään lyhyesti läpi työvuorojen optimointia koskevan harjoitustyön tausta, tavoitteet, toimenpiteet, aikataulu, resurssit sekä näihin liittyvät riskitekijät. Työ tehdään Aalto-yliopiston kurssilla Mat-2.4177 Operaatiotutkimuksen projektityöseminaari. Suunnitelma toimii pohjana projektityölle, jonka neljän hengen opiskelijaryhmä toteuttaa kevätlukukauden 2014 aikana yhteistyössä CI Computational Intelligence Oy:n kanssa.

CI Computational Intelligence Oy on yksi Suomen johtavista laskennallisen älykkyyden ja optimoinnin asiantuntijayrityksistä. Yritys on kehittänyt ratkaisuja muun muassa työvuorojen optimoinnin saralla ja toivoo projektityön tuovan yrityksen kehitystyöhön tuoreita näkökulmia ja oivalluksia. Yrityksen puolesta aiheenasettajana ja projektiryhmän yhteyshenkilönä toimii toimitusjohtaja Cimmo Nurmi.

Työvuorojen optimointi on tullut yhä tarpeellisemmaksi viimeisten vuosikymmenten aikana. Kenties merkittävimmät syyt tähän ovat tietokoneiden laskentatehon kasvaminen sekä matemaattisten menetelmien huomattava kehittyminen, minkä ansiosta tietokoneet pystyvät nykyään ratkaisemaan laajojakin tehtäviä kohtuullisessa ajassa. Toisaalta työvuorosuunnittelun vaatimukset ja rajoitteet monimutkaistuvat jatkuvasti, jolloin manuaalinen suunnittelutyö vie yhä enemmän aikaa. (Kyngäs, 2011) Työvoiman hallinnan optimointi mahdollistaa yrityksissä keskimäärin noin 10 prosentin tuottavuuden lisääntymisen. Optimoitujen ratkaisujen on todettu myös lisäävän työtyytyväisyyttä ja vähentävän näin sairauspoissaoloja. (Computational Intelligence, 2014)

Tutkimusta on tehty vastaamaan erityisesti bussi-, juna- ja lentoliikenteen, sairaaloiden, tehtaiden ja terveydenhuollon tarpeisiin. Menetelminä käytetään muun muassa matemaattisia optimointialgoritmeja, heuristisia menetelmiä, geneettisiä algoritmeja, monitavoiteoptimointia, rajoiteoptimointia ja erilaisia hybridialgoritmeja. Valittava menetelmä riippuu luonnollisesti pitkälti ratkaistavasta ongelmasta. (Ernst et al, 2004; Naveh et al, 2007; Tower, 2007; Vander Berghe, 2002)

Projektin aikana tavoitellaan tarkoituksenmukaisimman tavan löytämistä työvuorolistojen vapaapäivien optimointiin annettujen kovien ja pehmeiden rajoitteiden vallitessa. Kovat rajoitteet määrittävät ehdottomat säännöt, kuten päivittäisen työntekijöiden minimimäärän ja työjakson maksimipituuden, jotka ratkaisun tulee täyttää. Ratkaisu pyrkii myös minimoimaan pehmeät rajoitteet kuten yksittäiset työ- ja vapaapäivät.

Itse mallin rakentamisen ja soveltamisen lisäksi harjoitustyön lomassa on tarkoitus kerryttää lisäkokemusta myös projektien suunnittelusta, toteutuksesta ja raportoinnista.

## 2. Tavoitteet

Projektin tavoitteena on kehittää algoritmi vapaapäivien suunnitteluun. Ongelmana on vapaapäivien jakaminen suunnittelun kannalta samankaltaisille työntekijöille siten, että kovat rajoitteet toteutuvat ja pehmeistä rajoitteista aiheutuvat sakkopisteet minimoituvat. Pehmeiden

rajoitteiden sakot ovat ennalta määriteltyjä, joten minkäänlaista arvofunktiotyyppistä ei tarvitse enää suorittaa.

Optimoinnin kohteena ovat aluksi 30 työntekijän vapaapäivät neljälle viikolle. Tavoitteena on todennäköisesti kuitenkin tehdä sellainen ratkaisu, jota on mahdollista laajentaa tarpeen mukaan n:lle työntekijälle. Alla on kuvattu annetut kovat ja pehmeät rajoitteet, sekä näihin liittyvät CI Computational Intelligencelta saadun alkuoletukset.

Toteutettavat kovat rajoitteet ovat:

- Työntekijöitä pitää joka päivä olla vähintään määritellyn päiväkohtaisen vähimmäismäärän verran. Alkuoletuksena ma-to=22, pe=25, la=15 ja su=12
- Ylimääräisten työntekijöiden määrä ei saa poiketa yli 50 prosenttia päivien välillä. Aluksi tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että 10 päivänä on yksi ylimääräinen työntekijä ja 18 päivänä ei yhtään.
- Työntekijät eivät saa työskennellä yli k päivää yhtäjaksoisesti, alkuoletuksena 6
- Jotkut työntekijät eivät työskentele viikonloppuisin, alkuoletuksena 6 työntekijää

ja tavoiteltavat pehmeät rajoitteet ovat:

- Yksittäisiä vapaapäiviä pitää välttää (1 sakkopiste)
- Yksittäisiä työpäiviä pitää välttää (2 sakkopistettä)
- Liian pitkiä vapaita pitää välttää (3 sakkopistettä jokaisesta m vapaapäivän jälkeisestä vapaapäivästä, alkuoletuksena m=2)
- Vapaiden viikonloppujen määrää tulee tasapainottaa (1 sakkopiste, jos 0 tai 3 vapaata viikonloppua, ja 2 sakkopistettä, jos 4 vapaata viikonloppua)

Tarkoituksena on kehittää ongelmalle ratkaisualgoritmi, jolla saavutetaan käypä ja hyvä ratkaisu kohtuullisella laskennalla.

Lisäksi on usein otettava huomioon aikataulujen mahdolliset muutokset: työntekijät voivat sairastua, laitteet voivat rikkoutua, joku tai jokin voi olla myöhässä tai jotain muuta odottamatonta voi sattua. Tämän vuoksi aikatauluja optimoitaessa on otettava huomioon myös epävarmuustekijät, koska muuten alun perin hyvä suunnitelma voi muuttua erittäinkin huonoksi pienen muutoksen osuessa kohdalle. Tavoitteena on, että osana ongelman ratkaisua vastaamme myös haasteisiin koskien epävarmuustekijöiltä suojautumista (robustness) sekä häiriöstä palautumista.

## 3. Toimenpiteet

### Tutustuminen ongelmaan

Ensimmäinen lähestymisyrittäminen ongelman ratkaisemiseen on puhtaasti paperilla laskeminen. Ryhmä tekee myös Excel-laskurin, jonka avulla ratkaisun pyörittely käsin on helpompaa. Manuaalisesti ratkaistaessa koetetaan löytää erilaisia lainalaisuuksia, jotka olisivat ratkaisun kannalta optimaalisia, joiden avulla algoritmia voitaisiin lähteä kehittämään.

### Formulointi

Tämän jälkeen ongelma formuloidaan matemaattisesti. Formulointi toimii pohjana ongelman implementoinnissa CPLEX-ohjelmistolla. Huomiota tulee kiinnittää erityisesti rajoitusehtojen tarkoituksenmukaiseen formulointiin, jolloin saavutetaan hyviä tuloksia ratkaistaessa ongelmaa.

## **Ratkaiseminen**

Seuraava vaihe on ongelmanratkaisun implementointi CPLEX-ohjelmistolla. CPLEX on helppo ja nopeahko väline MILP-tehtävien ratkaisuun, joka sopii hyvin tämänkaltaisen spesifin tehtävän nopeaan määrittelyyn. Alkuperäisessä ongelmassamme työntekijät ovat suhteelliset geneerisiä kuten myös muut muuttujat, joten tehokkaampaa ohjelmistoa ei tarvita. Koneen tuottamasta optimiratkaisusta voidaan arvioida jonkinlaisia johdonmukaisuuksia tavoitteiden täyttämisen välillä, mikä johdattaa meitä lähemmäs ongelman ratkaisun periaatteita.

## **Ongelman laajentaminen**

Ratkaisu toteutetaan ensin alkuperäiselle ongelmalle. Ongelmaa laajennetaan sitä mukaa kun edellinen työvaihe on suoritettu onnistuneesti loppuun. Ohjeet tähän saadaan CI Computational Intelligencelta.

# **4. Aikataulu**

## **Aloitukset (17.1.-9.2.)**

Kurssi alkoi 17.1. aiheiden esittelyllä. Tämän jälkeen muodostettiin ryhmät ja valittiin projektipäälliköt. Aloitustapaamisen jälkeen ryhmä tutustuu ongelmaan, ja pohtii itsenäisesti mahdollisia ratkaisutapoja. Aiheenasettaja otetaan yhteyttä ensimmäisen kerran 27.1. Skype-puhelun avulla. Hän kertoo ongelman taustasta ja mitä ryhmän oletetaan saavuttavan. Ongelmaa aletaan ratkaista ensin käsin ja sen jälkeen Exceliä apuna käyttäen.

## **Kirjallisuuskatsaus (10.2.-1.3.)**

Ongelmaan tutustumisen jälkeen aletaan tehdä kirjallisuuskatsausta. Jokaiselle ryhmän jäsenelle jaetaan suurin piirtein saman verran materiaalia tutustuttavaksi. Näin saadaan monia erilaisia näkökulmia työvuorojen optimointiin liittyviin menetelmiin.

## **Alkuperäisen ongelman ratkaiseminen ja tulosten analysointi (22.2.-7.3.)**

Ongelma formuloidaan matemaattisesti. Tämän jälkeen ongelma syötetään CPLEX:iin ja yritetään luoda mahdollisimman tehokas ratkaisutapa. Tämä mahdollistaa suurempien ja/tai enemmän rajoituksia sisältävien tehtävien ratkaisemisen myöhemmin. Kun ongelma on saatu ratkaistua, analysoidaan tuloksia, ja mietitään, voisiko ratkaisua vielä parantaa joillain keinoilla.

## **Haastavampien ongelmien käsittely (8.3.-19.4.)**

Ongelmaa voidaan muuttaa haastavammaksi monella eri tavalla. Yksi mahdollinen tapa on ongelman koon kasvattaminen. Toinen mahdollinen tapa on uusien rajoitusten lisääminen. Ongelmaan voitaisiin lisätä uusia kovia ja pehmeitä rajoitteita tai lisätä päivien määrä, jolloin tietyillä työntekijöillä tulee olla vapaata. Ongelmaa voitaisiin myös laajentaa käsittämään työntekijöiden työvuorot vapaapäivien lisäksi. Lisäksi voitaisiin lisätä esimerkiksi eri osaamisryhmiä työntekijöille tai työntekijöiden toiveita vapaapäivistä ja työpäivistä. Kolmas mahdollinen tapa syventää ongelman käsittelyä on useiden tavoitteiden huomioonottaminen. Alkuperäisessä ratkaisussa pyritään tekemään mahdollisimman tehokas suunnitelma, jossa rikottujen pehmeiden rajoitteiden määrä minimoituu. Ongelmaan voitaisiin kuitenkin saada tosielämässä paremmin toimiva ratkaisu, jos rikottujen pehmeiden rajoitteiden määrän annettaisiin kasvaa hieman, jotta ratkaisusta saataisiin robustimpi.

Kun alkuperäinen ongelma on saatu ratkaistua, aiheenasettajalta kysytään, millä tavoin sitä aletaan muokata. Ryhmä formuloi ja ratkaisee mahdollisesti useamman erilaisen ongelman riippuen ratkaisemiseen kuluvasta ajasta. Väliraporttiin mennessä (4.4.) tuotetaan jonkinlaisia tuloksia myös enemmän todellisuutta vastaavista tapauksista.

## Tulosten analysointi (12.4.-16.5.)

Kun laajennettuihin ongelmiin on saatu ratkaisuja, niitä aletaan analysoida. Ryhmä pohtii, missä olisi parannettavaa ja kuinka hyvin asetetut tavoitteet on saavutettu. Samalla seurataan kuhunkin ongelmaan liittyvää laskenta-aikaa kehitetyillä menetelmillä. Menetelmien jatkosoveltamisen kannalta olisi tärkeä saada laskenta-ajat mahdollisimman pieniksi ilman ratkaisujen laadun kärsimistä. Analysoinnin yhteydessä kirjoitetaan myös loppuraporttia. Raportti tehdään valmiiksi hyvissä ajoin ennen loppuraporttien esittelyä 16.5..

## 5. Resurssit

Ryhmämme koostuu neljästä opiskelijasta, joiden kurssiin allokoitujen työtuntien tulee täyttää viiden opintopisteen vaatimukset (projektipäälliköllä seitsemän). Lisäksi neuvoa-antavina henkilöresursseina ovat aiheenasettaja Cimmo Nurmi sekä systeemianalyysilaboratorion professori Ahti Salo. Muina resursseina ryhmällä on käytettävissä Aalto-yliopiston tarjoamat laitteistot ja ohjelmistot (esim. Excel, CPLEX) sekä ryhmäläisten henkilökohtaiset laitteistot.

Työmäärää seurataan siten, että ryhmän jäsenten työmäärä saadaan tasattua ja että projekti saadaan toteutettua sille suunnitellussa laajuudessa. Työmäärää tasataan myös aikaulottuvuudessa, jotta erityisesti määräaikojen lähestyessä ei kohdata liian suuria työpaineita. Työmäärän jakautumisesta on vastuussa etupäässä ryhmän projektipäällikkö.

## 6. Riskit

Riskien arvioiminen on tärkeä osa projektin toteutuksen suunnittelua. Alla olevassa taulukossa käydään lyhyesti läpi riskitekijät, niiden todennäköisyys, vaikutus sekä ehkäisevät toimenpiteet.

Riski	Todennäköisyys	Vaikutus	Ehkäisevät toimet
Aikataulusta myöhästyminen, esim. jos joku sairastuu tai lopettaa kurssin kesken	Kohtalainen (15%-30%)	Työn kuormittavuus muille voi kasvaa, voi myös vaikuttaa ryhmähenkeen negatiivisesti	Sairastumista ei voida ennaltaehkäistä. Jaetaan kurssin työmäärä tasaisesti, pidetään yllä hyvää ryhmähenkeä ja reagoidaan nopeasti mahdollisten haasteiden ilmetessä
Osaamisen puute	Kohtalainen (15%-20%)	Työkalujen opetteleminen voi viedä liikaa aikaa, työn laadun heikkeneminen	Tehdään projektia osissa siten, että seuraavaan vaiheeseen siirrytään, kun edellinen on onnistuneesti suoritettu
Työn liiallinen kuormittavuus	Kohtalainen (15%-25%)	Työhön käytetty tuntimäärä ylittää merkittävästi saatavien opintopisteiden asettama vaatimus	Tehdään projektia osissa siten, että seuraavaan vaiheeseen siirrytään, kun edellinen on onnistuneesti suoritettu

Riittämätön viestintä	Kohtalainen (15%-30%)	Työn toteutus ei vastaa toimeksiantajan tavoitteita, ryhmän sisäinen työskentelyn tehottomuus	Säännölliset tapaamiset projektiryhmän kanssa, säännöllinen yhteydenpito toimeksiantajaan ja vastuuprofessoriin
Tuotokseen jää bugi tai looginen virhe	Kohtalainen (15%-25%)	Työn laadun heikkeneminen	Testaus ja huolellisuus
Epäonnistumiset projektin hallinnassa	Matala (5%-15%)	Päällekkäinen työ, projektin myöhästyminen ym.	Säännölliset tapaamiset, työtiedostojen ja tekstitiedostojen jakaminen Google Drivessa
Työn tietojen menettäminen esim. kovalevyn hajoamisen seurauksena	Matala (3%-5%)	Lisätyötä, jos jotain työvaiheita joudutaan tekemään uudestaan	Tallennamme tiedostot useaan paikkaan ja editoimme tekstitiedostoja Google Drivessa
CPLEX ei alustana sovi hyvin implementoinnille	Matala (5%-7%)	Työn laadun heikkeneminen	Harkitaan alustan vaihtamista, jos implementoinnin alkuvaiheessa tämä tuntuu järkevältä
Datan virheellisyys	Matala (3%-5%)	Työn laadun heikkeneminen	Ei ehkäiseviä toimia

## 7. Lähteet

- CI Computational Intelligence. 2014. *Työvoiman hallinnan optimointi (white paper)*. Saatavissa: <http://www.computationalintelligence.fi/TyovoimanHallinnanOptimointi.pdf> (sähköinen) Viitattu 25.2.2014
- Ernst, T., Jiang, H., Krishnamoorthy, M. and Sier, D. 2004. *Staff scheduling and rostering: A review of applications, methods and models*. Eur Journal of Oper Res 153:3–27
- Ernst AT, Jiang H, Krishnamoorthy M et al. 2004. *An annotated bibliography of personnel scheduling and rostering*. Ann Oper Res 127:21-144
- Kyngäs, Jari. 2011. *Solving challenging real-world scheduling problems*. Väitöskirja. Turku Centre for Computer Science. Saatavissa: <http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/72127/D140%20doria.pdf?sequence=1> (sähköinen) Viitattu 25.2.2014
- Naveh, Y., Richter, Y., Altshuler, Y., Gresh, D. L. & Connors, D. P. 2007. *Workforce optimization: Identification and assignment of professional workers using constraint programming*. IBM Journal of Res and Dev; May-Jul 2007; 52, ¾; ProQuest pg 263.
- Tower, P. 2007. *An analysis of robust workforce scheduling models for a nurse rostering problem*. Thesis, Department of Air Force, Air Force Institute of Technology, Wright-Patterson Air Force Base, Ohio
- Vanden Berghe, G. 2002. *An Advanced Model and Novel Meta-heuristic Solution Methods to Personnel Scheduling in Healthcare*. PhD Thesis, School of Computer Science and Information Technology, University of Nottingham