



Aalto-yliopisto  
Perustieteiden  
korkeakoulu

# Optimization of Duties in Railway Traffic

(valmiin työn esittely)

*Teemu Kinnunen*

*03.03.2014*

Ohjaaja: *Mikko Alanko*

Valvoja: *Harri Ehtamo*

Työn saa tallentaa ja julkistaa Aalto-yliopiston avoimilla verkkosivuilla. Muilta osin kaikki oikeudet pidätetään.

# Tausta

- Junaliikenteen optimointiongelmat suuria ja monimutkaisia
- Työvuorojen suunnittelu on yksi tärkeimmistä
  - Vuorot luodaan yhdistelemällä tehtäviä
  - Erilaisia tehtävätyyppejä
    - Ajaminen, pakettimatka, vaihtotyöt, kävely
- Työvuoroihin liittyy useita rajoitteita

# Tausta

- Perinteisesti työvuorot tehty käsin
  - Työn laatu riippui tekijästä
- Vaatimukset kasvavat koko ajan
  - Tehokkuus, täsmällisyys, työtyytyväisyys
- Tarve automatisoinnille
- Suunnitteluohjelmistoja operaattoreille
  - Hyviä ratkaisuja aiempaa nopeammin
  - Suunnittelijoiden roolin muutos
    - Keskittyminen ratkaisujen hiomiseen

# Tavoitteet

- Suomalaisen rautatieoperaattorin työvuorojen suunnitteluprosessin kuvaaminen
- Ulkomaisten ratkaisutapojen esittely
  - Kirjallisuuskatsaus
- Työvuorojen optimointi suunnitteluohjelmistolla
  - Ohjelmiston parametrien vaikutuksien testaus

# Työvuorojen suunnittelu

- Työvuorojen muodostaminen siten, että ne sisältävät kaikki tehtävät, jotka ajajien tulee suorittaa
1. Pohjatietojen kerääminen
    - Datan virheiden korjaaminen
    - Tietojen hankkiminen ajoissa suunnitteluajataulun mukaan
  2. Työvuorojen muodostaminen
    - Kustannustehokkuus
    - Hyväksyttävyyys
    - Rajoitusten noudattaminen

# Työvuorojen rajoitukset

- Osa yksinkertaisia
  - Minimipituus 4 tuntia, lähiliikenteessä 7 tuntia
  - Maksimipituus 10 tuntia, jos ei lepoa
  - Vähintään 12 min tauko lasketaan elpymisajaksi
- Muita rajoituksia
  - Lepoja sisältävät työvuorot
  - Ruokataukojen pituudet
  - Ajoajan pituus
  - Elpymisajan osuus työvuoron kestosta
  - Lisärajoituksia, jos työvuorossa työtä välillä 02:00-05:00

# Ongelman formulointi

- Perustuu Fischetti et al. (2004)
- $i = [1, 2, \dots, D]$  työvuoroja,  $j = [1, 2, \dots, T]$  tehtäviä
- $x_i$ : valitaanko vuoro  $i$ ,  $c_i$ : vuoron  $i$  kustannus
- $a_{ji}$ : onko tehtävä  $j$  työvuorossa  $i$

$$\min \sum_{i=1}^D c_i x_i$$

s.e.

$$\sum_{i=1}^D a_{ji} x_i \geq 1 \quad \forall j$$

$$x_i \in \{0, 1\} \quad \forall i, a_{ji} \in \{0, 1\} \quad \forall i, j$$

# Kirjallisuuskatsaus

- Mallinnetaan yleensä joukon peittämisongelmana (*set covering problem*)
- Esitetyn tapaiset kohdefunktio ja rajoitusehdot
- Lisäksi usein koko suunnitelmaan liittyviä rajoitteita
- Ongelma on NP-kova (Kwan 2011)
- Ratkaisemiseen käytetään sarakkeiden generointia (*column generation*) ja erilaisia heuristiikkoja



# Suunnitteluohjelmisto

- Työvuorojen optimoinnissa käytössä suunnitteluohjelmiston ratkaisin
  - Muodostaa ensin työvuorot, sitten työvuorojen valinta
  - Ratkaisuun kaikki kandidaattitehtävät
  - Minimoi konfliktit ja kokonaistyöajan
- Ratkaisua pyritään parantamaan optimointiparametreja säätämällä
  - Muutetaan tärkeimpien parametrien arvoja

# Oikeaan dataan perustuvat ongelmat

- Pieni ongelma
  - 4 lähiliikennelinjaa
  - 13 ajoa, ratkaisuaajat 1-2 tuntia
- Suuri ongelma
  - Koko lähiliikenne
  - 6 ajoa, ratkaisuaajat 6-10 tuntia

RI	9630	9263	9264	9311	*	9355	9356	9669			
C	HKI	KE	HKI	KE	HKI	KE	HKI	RI			
HKI	9619	9644			*	9357	9358				
C	RI	HKI	LPVHKLPVHKI			KE	HKI				
HKI				69111		9347		9407	9408	9451	9452
C	LPVHKLPVHKLPVHKLPVHKI	ILR	ILR	ILR	ILR	KE	HKI	KE	HKI	KE	HKI

# Säädettävät parametrit

- MinEff : minimi (%) tehokkaalle työajalle työvuorossa
- MinDur: työvuoron minimipituus
- Ptrip: sallitaanko pakettimatkat
- Duty EC: kustannus/työvuoro
- CCWH EC: kustannus/työtunti
  
- Isossa ongelmassa lisäksi:
  - Max RSC: kuinka monta kertaa kuljettaja voi vaihtaa kalustoa
  - Max PNB: maksimi (%) elpymisajalle työvuorossa

# Tulokset

- Pieni ongelma:
  - Pakettimatkojen lisäämisen vaikutus vaihteli
  - MinEff: paras arvo 0.45
  - MinDur kannatti pudottaa pienimpään sallittuun, 7:00
  - Duty EC ja CCWH EC muuttamisista ei hyötyä
- Suuri ongelma:
  - Max RSC:n pienentäminen alle 3 huononsi ratkaisua
  - Max PNB:n hyvä tapa rajoittaa kokoa, paras arvo 0.35
  - MinEff:n arvolla 0.4 paremmat tulokset kuin 0.45:llä

# Yhteenveto ja pohdintaa

- Ratkaisuihin ehkä parempia ilman kokorajoitusta
    - Vuorojen määrän lisääminen ei aina parantanut ratkaisua
  - Joitakin selvästi huonoja parametrien arvoja löydettiin
  - Ei selvästi parhaita arvoja
    - Vaihtelevat ongelman mukaan
  - Jatkotestausta tarvitaan
  - Parametreille välit, joilla hyviä tuloksia useimmissa tapauksissa
-

# Lähteet

- Fischetti, M., Kroon, L.G., Timmer, G., Vromans, M.J.C.M. & Abbink, E.J.W. 2004, "Reinventing Crew Scheduling at Netherlands Railways", *Interfaces*, vol. 35, no. 5, pp. 393-401.
- Kwan, R.S.K. 2011, "Case studies of successful train crew scheduling optimisation", *Journal of Scheduling*, vol. 14, no. 5, pp. 423-434.