



Aalto-yliopisto  
Perustieteiden  
korkeakoulu

# Kokonaislukuoptimointimalli kuljetuskaluston ajojärjestelyn suunnittelun tukena (valmiin työn esittely)

*Walter Rehn*

*17.03.2021*

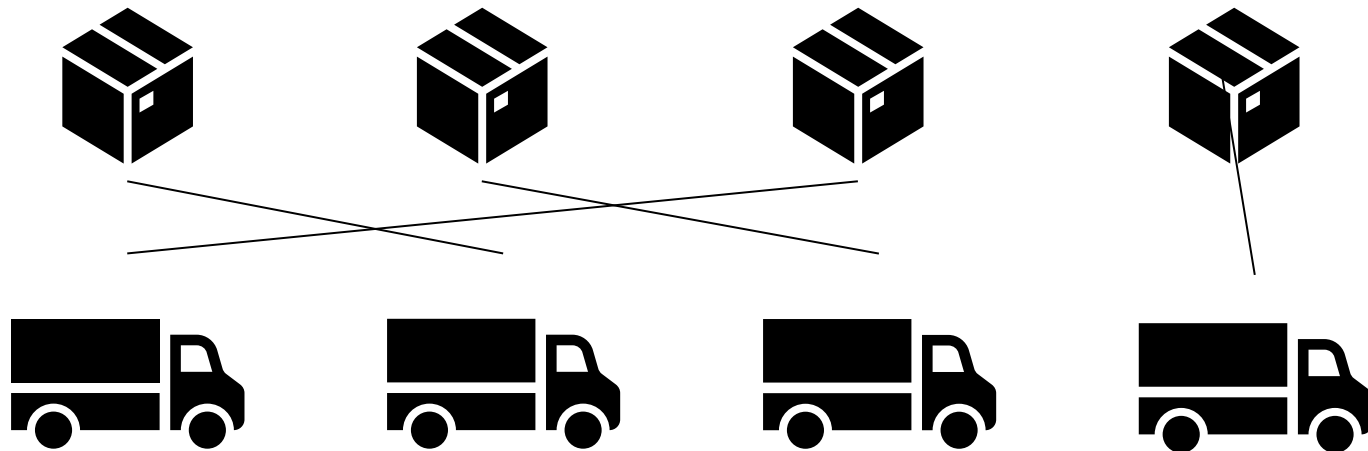
Ohjaaja: *Kai Virtanen*

Valvoja: *Kai Virtanen*

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

# Tausta

- Ajojärjestely = Suunnitelma, joka aikataulun lisäksi määrittää mikä kuorma-auto kuljettaa minkäkin lastin
- Ajoneuvolaivue = Useamman kuorma-auton muodostama kokonaisuus



- Lastien ja kuorma-autojen ominaisuuksista johtuen ajojärjestelyllä on merkitystä laivueen polttoainekulutukseen

# Työn tavoite

- Polttoainekustannukset minimoivan ajojärjestelyn tuottava optimointimalli
- Mallia tulisi voida käyttää apuna, kun esimerkiksi
  - tehdään tarjous toimeksiannon toteuttamisesta
  - halutaan arvioida itselle aiheutuvia polttoainekuluja

# Työssä kehitetty kokonaislukuoptimointimalli

$$\min. \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^n x_{ij} c_j(m_i) d_i$$

$$s. e. \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^n x_{ij} = n$$

$$t_{lim} \geq \sum_{i=1}^n x_{ij} t_i, \forall i, j$$

$$x_{ij} \in \{0,1\}, \forall i, j$$

$$x_{ij} m_{lim,j} \geq$$

Aikarajoitus tekee ongelmasta kiinnostavan: Ilman rajoitusta ongelman ratkaisu on triviaalisti se, jossa jokainen lastin kuljettaa lastin massalla polttoainetehokkain kuorma-auto

## Parametrit

- $c_j$  = Ajoneuvon j kuorman massasta riippuva polttoaineen kulutus
- $t_i$  = Lastin i kuljetuksen vaatima aika
- $t_{lim}$  = Toimeksiannon aikaraja
- $d_i$  = Matka, jonka lasti i on kuljetettava
- $n$  = Kuljetettavien lastien määrä
- $k$  = Kuljetusajoneuvojen määrä
- $m_i$  = Lastin i massa
- $m_{lim,j}$  = Ajoneuvo j:n maksimihyötykuorma

## Muuttujat

Binäärimuuttuja, joka on 1, jos ajoneuvo j kuljettaa lastin i ja muutoin 0

# Optimoitumallin parametrusointi

- Lastien parametrit (massa, matka ja aika) määriteltiin satunnaisesti siten, että kaikki yhteen toimeksiantoon kuuluvat lastit eivät olisi aivan samanlaisia.
- Kuorma-autojen parametrit (keskikulutus ja kantavuus) määriteltiin eri aineistojen perusteella
- Mallin testaamiseen valittiin viiden kuorma-auton laivue
  - A. Konttikuorma-auto
  - B. Tavanomainen kuorma-auto
  - C. Yhdistelmä
  - D. Kylmäkuorma-auto
  - E. Maastokuorma-auto



[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bunzl\\_lorry.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bunzl_lorry.jpg)



<https://raskassarja.fi/yhdistelmien-enimmaispuiteudeksi-345-metria/>



[https://www.reservilainen.fi/uutiset/puolustusvoimile\\_54\\_uutta\\_maastokuorma-autoa](https://www.reservilainen.fi/uutiset/puolustusvoimile_54_uutta_maastokuorma-autoa)

# Optimointimallin Excel-toteutus

Toteutettiin Microsoft Excelissä ja ratkaistiin sen Solver-lisäosalla

**Solver Parameters**

Set Objective:

To:  Max  Min  Value Of:

By Changing Variable Cells:

Subject to the Constraints:

- Add
- Change
- Delete
- Reset All
- Load/Save
- Load/Save

Make Unconstrained Variables Non-Negative

Select a Solving Method:  Options

Solving Method

Select the GRG Nonlinear engine for Solver Problems that are smooth nonlinear. Select the LP Simplex engine for linear Solver Problems, and select the Evolutionary engine for Solver problems that are non-smooth.

Help Solve Close

Kuvalähde: Walter Rehn

# Esimerkkejä optimaalisista ajojärjestelyistä

	Kuljettaa					PA (l)
Lasti	A	B	C	D	E	
1	0	1	0	0	0	27.3
2	0	1	0	0	0	18.3
3	0	0	1	0	0	108.0
4	0	1	0	0	0	65.5
5	0	1	0	0	0	113.5
Summa Aika (h)	0	25	9	0	0	
Summa PA (l)	0.0	224.5	108.0	0.0	0.0	
					Summa PA (l)	332.5

Taulukko 5: Ensimmäisen esimerkin optimaalinen ajojärjestely. Solussa oleva "1" tarkoittaa, että kyseisen solun rivin osoittaman lastin kuljettaa solun sarakkeen osoittama kuorma-auto.

	Kuljettaa					PA (l)
Lasti	A	B	C	D	E	
1	0	0	0	1	0	29.3
2	1	0	0	0	0	19.4
3	0	0	1	0	0	106.5
4	0	0	0	1	0	70.4
5	0	1	0	0	0	113.5
Summa Aika (h)	2	12	9	11	0	
Summa PA (l)	19.4	113.5	106.5	99.7	0.0	
					Summa PA (l)	339.1

Taulukko 7: Ensimmäisen aikarajoitetun esimerkin optimaalinen ratkaisu. Solussa oleva "1" tarkoittaa, että kyseisen solun rivin osoittaman lastin kuljettaa solun sarakkeen osoittama kuorma-auto.

# Epävarmuuden huomiointi polttoaineenkulutuksen arvioinnissa 1/2

- Reaalimaailman olosuhteiden muutoksista johtuen ajomatkat, ajat ja keskikulutukset vaihtelevat
- Tarkasteltiin erästä tapaa huomioida vaihtelu
  - Varmuusprosentti: Vaihtelun mitta
- Varmuusprosentin mukainen raja-arvo parametreille
  - Esimerkiksi 70% varmuus: Valitaan parametrin jakaumasta raja-arvo, joka on 70% todennäköisyydellä suurempi kuin toteutuva arvo



# Epävarmuuden huomiointi polttoaineenkulutuksen arvioinnissa 2/2

- Varmuusprosentin kasvattaminen kasvatti kulutetun polttoaineen määrää
- Optimaalinen ajojärjestely muuttui, kun varmuusprosenttia muutettiin, koska varmuuden lisäys
  - kasvatti lastien kuljetusaikaa
  - toimeksiannon kokonaisaikaa

Varmuus	50%	60%	70%	80%	90%
Polttoaine (l)	767.8	819.7	882.8	957.2	1059.3
Aika (h)	11	11.6	9.9	10.5	11.3

Taulukko 18: Eri varmuuksilla optimoitujen ajojärjestelyiden vertailu.

# Eri varmuusprosentteilla tuotettujen ajojärjestelyiden vertailu

- Simuloitiin 10 sarjaa keskkulutuksen, aikojen ja ajomatkojen arvoja
  - Arvot parametrien vaihtelua kuvaavista jakaumista
- Säästöt polttoaineenkulutuksessa pieniä eri ajojärjestelyiden välillä – kokonaisajoissa suuria eroja

	1		2		3		4		5	
Varmuus	PA	Aika	PA	Aika	PA	Aika	PA	Aika	PA	Aika
50%	751.76	10.0	851.46	12.7	712.91	12.5	802.99	11.0	745.99	11.0
60%	751.76	10.0	851.46	12.7	712.91	12.5	802.99	11.0	745.99	11.0
70%	754.87	9.6	846.38	10.5	713.45	9.6	809.41	10.9	751.03	9.4
80%	736.13	9.6	832.59	10.1	713.86	9.6	844.13	10.9	808.39	9.4
90%	736.13	9.6	832.59	10.1	713.86	9.6	844.13	10.9	808.39	9.4
	6		7		8		9		10	
Varmuus	PA	Aika	PA	Aika	PA	Aika	PA	Aika	PA	Aika
50%	743.51	10.4	746.88	11.4	737.63	11.9	708.30	12.7	745.48	12.7
60%	743.51	10.4	746.88	11.4	737.63	11.9	708.30	12.7	745.48	12.7
70%	748.51	9.5	748.74	11.4	737.18	10.5	713.66	10.7	755.91	10.3
80%	732.51	9.5	743.41	9.2	782.95	10.2	744.05	10.7	753.44	10.3
90%	732.51	9.5	743.41	9.2	782.95	10.2	744.05	10.7	753.44	10.3

# Päätulokset ja johtopäätökset

- Ajojärjestyksellä pieni vaikutus polttoaineenkulutukseen
- Kokonaisajat lyhenivät merkittävästi tiukennettaessa aikarajoitusta
- Mallin käyttökelpoisuuden varmistaminen:  
Parametrisointi oikean, reaailimaailmasta kerätty datan pohjalta
- Kehitettyä mallia voidaan hyödyntää ajojärjestelyiden suunnittelun tuessa

# Lähteet

- [1] CommercialMotor. Mercedes atego. The Commercial Motor Archive, pages 24–29, 2001. [Verkkosivu]. Viitattu 22.12.2020. Saatavissa: <http://archive.commercialmotor.com/article/22nd-march-2001/24/1-1>
- [2] N.M. Jovičić, G.B Bošković, G.V. Vujić, G.R Jovičić, M.Z. Despotović, D.M. Milovanović, ja D.R. Gordić. Route optimization to increase energy efficiency and reduce fuel consumption of communal vehicles. Thermal Science, 14(suppl.): 67–78, 2010.
- [3] Logistiikan Maailma. Maantiekuljetus, 2020. [Verkkosivu]. Viitattu 22.12.2020. Saatavissa: <https://www.logistiikanmaailma.fi/kuljetus/maantiekuljetus/>
- [4] N.O. Nylund, K. Erkkilä, ja C. Söderström. Euro 3 kuorma-autokaluston polttoaineen kulutus ja pakokaasupäästöt. Tutkimusselostus, VTT Prosessit, Espoo, 2005. Viitattu 3.12.2020. Saatavissa: [http://www.heikaikkitoimii.fi/files/1036/HD-energia\\_RAKETRUCKVuosirap2004.pdf](http://www.heikaikkitoimii.fi/files/1036/HD-energia_RAKETRUCKVuosirap2004.pdf)
- [5] J.-P. Rodrigue, C. Comtois, ja B. Slack. The geography of transport systems. Taylor & Francis, London, England, 4th edition, 2016
- [6] P. Toth ja D. Vigo. The vehicle routing problem. Society for Industrial and Applied Mathematics, USA, 1st edition, 2002