



Aalto-yliopisto  
Perustieteiden  
korkeakoulu

# Puutavaran sahauksen optimointi (valmiin työn esittely)

*Valtteri Vironmäki*

*20.3.2024*

*Ohjaaja: Jussi Leppinen*

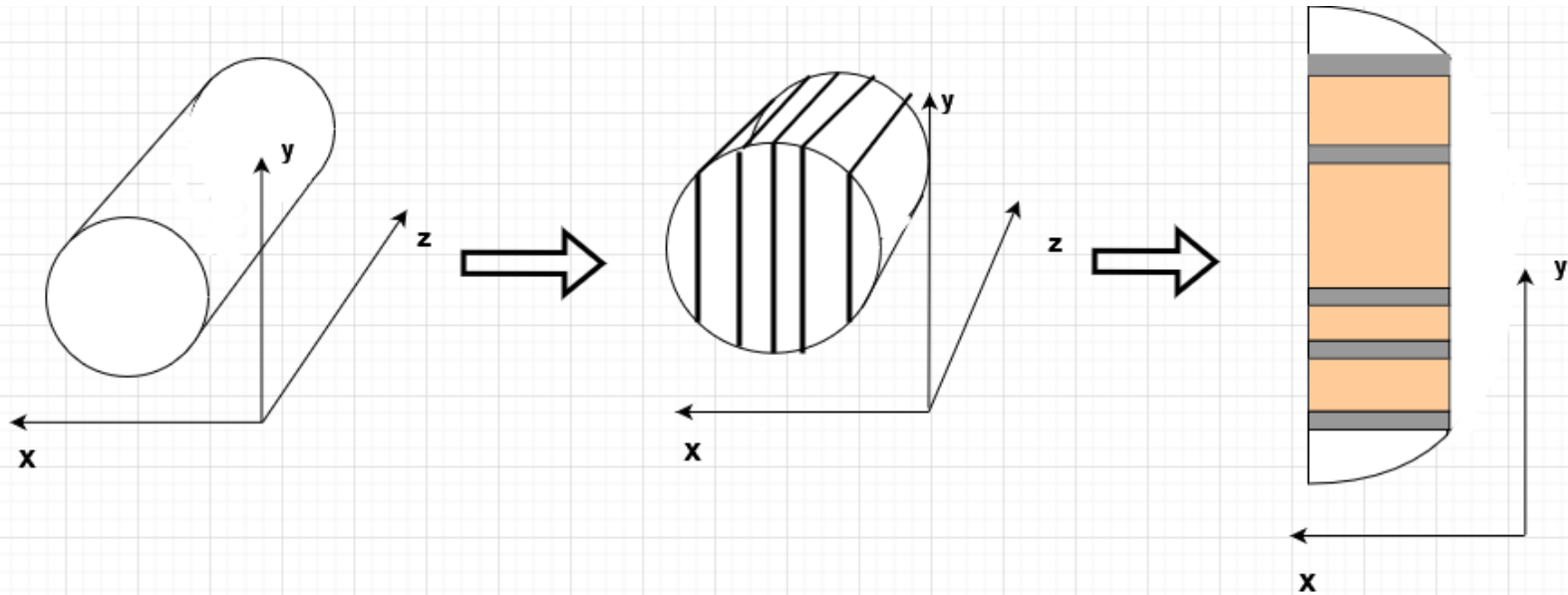
*Valvoja: Ahti Salo*

Kaikki oikeudet pidätetään.

# Tausta

- Sahausongelma:
  - Mikä on optimaalinen tapa sahata tukki puutavaratuotteiksi, kun:
    - Eri kokoisten ja laatuisten tuotteiden kysyntä ja hinta tiedetään
    - Raaka-aineen geometria ja laatu tunnetaan
- Työssä rakennettiin optimointimalli, joka antaa optimaalisen sahauksen
- Vertailtiin mallin toimintaa eri optimointitavoitteilla ja tuotteiden kysynnöillä

# ”Optimaalinen” sahaus tässä työssä



1. Alkuperäinen tukki

2. Tukin sahaaminen  
lankuiksi

3. Läpisahattu lankku  
puutavaraksi

- Tukit sahataan vakiopaksuiksi lankuiksi
- Työssä etsitään optimaalinen lankun sahaus puutavaraksi selkäreppu-ongelmana

# Selkärepputehtävä

- Optimointitehtävänä:

$$\begin{aligned} \max_x \quad & \sum_{i=1}^m c_i x_i \\ \text{s.t.} \quad & \sum_{i=1}^m a_i x_i \leq b \\ & x_i \in \mathbb{Z} \\ & x_i \geq 0 \end{aligned}$$

- Eri optimointitavoitteet tarkoittavat eri arvoja hintakertoimille  $c_i$
- Työssä vertailtiin kolmea tapausta: hintakerroin vastaa joko markkinahintaa, tuotteen leveyttä, tai päivittyvää dynaamista hintaa ( $c_i = \max(0, \text{markkinahinta} * (1 - \text{tuotettu}/\text{kysyntä}))$ )
- Tehtävä ratkaistaan Gilmoren ja Gomoryn algoritmeilla

# Simulaatio

---

## Algorithm 2 Simulaatio

---

Anna eri puutavaratuotteiden joukko  $I$ , sekä näiden leveydet  $a_i$   
Alusta jokaisen tuotteen arvo  $c_i$   
Alusta jokaisen tuotteen kysyntä  $d_i$   
Alusta jokaisen tuotteen tuotettu määrä  $p_i$ , alussa  $p_i = 0 \forall i \in I$   
Alusta käytettyjen tukkien määrä  $L = 0$   
**while**  $\exists i : d_i \geq p_i$  **do**  
    Sahataan  $r$ -säteinen tukki  $N$  lankuksi  
    **for** Jokaiselle lankulle  $n = 1, \dots, N$ : **do**  
        **if** Lankun leveys  $w_n > \min a_i$ , missä  $i = 1, \dots, m$  **then**  
            Sahataan lankku pienemmiksi kappaleiksi (alg. 1)  
        **end if**  
    **end for**  
     $L = L + 1$   
    Päivitetään  $p_i$   
    Jos käytössä on dynaaminen hinta, päivitetään  $c_i$   
    **if**  $p_i \geq d_i$  **then**  
         $c_i = 0$   
    **end if**  
**end while**

---

# Simulaation lähtöarvot

- Tukin säde  $r \sim \text{Tas}(150, 300)$  (mm)
- Hinnat, mitat, kysynnät:

Taulukko 1: Eri tuotteiden markkinahinnat ja mitat, jotka vastaavat likipitäen työn tekohetkellä voimassa olevia myymälähintoja sekä mittoja ([Kesko, 2024](#)).

	Tuote 1	Tuote 2	Tuote 3	Tuote 4	Tuote 5
Mitat (mm X mm)	21X48	48X48	48X73	48X125	48X150
Markkinahinta (€/m)	0.65	1.25	1.89	3.25	3.95
Hinta / leveys	0.03095	0.02604	0.02589	0.02600	0.02633

Taulukko 2: Vertailtavat tilauskirjat

Mitat (mm X mm)	Tilauskirja 1	Tilauskirja 2
21X48	500	125
48X48	370	270
48X73	320	350
48X125	270	410
48X150	225	500

# Tulokset, käytetty raaka-aine

Taulukko 3: Sahattujen tukkien lukumäärän keskiarvot ja keskihajonnat

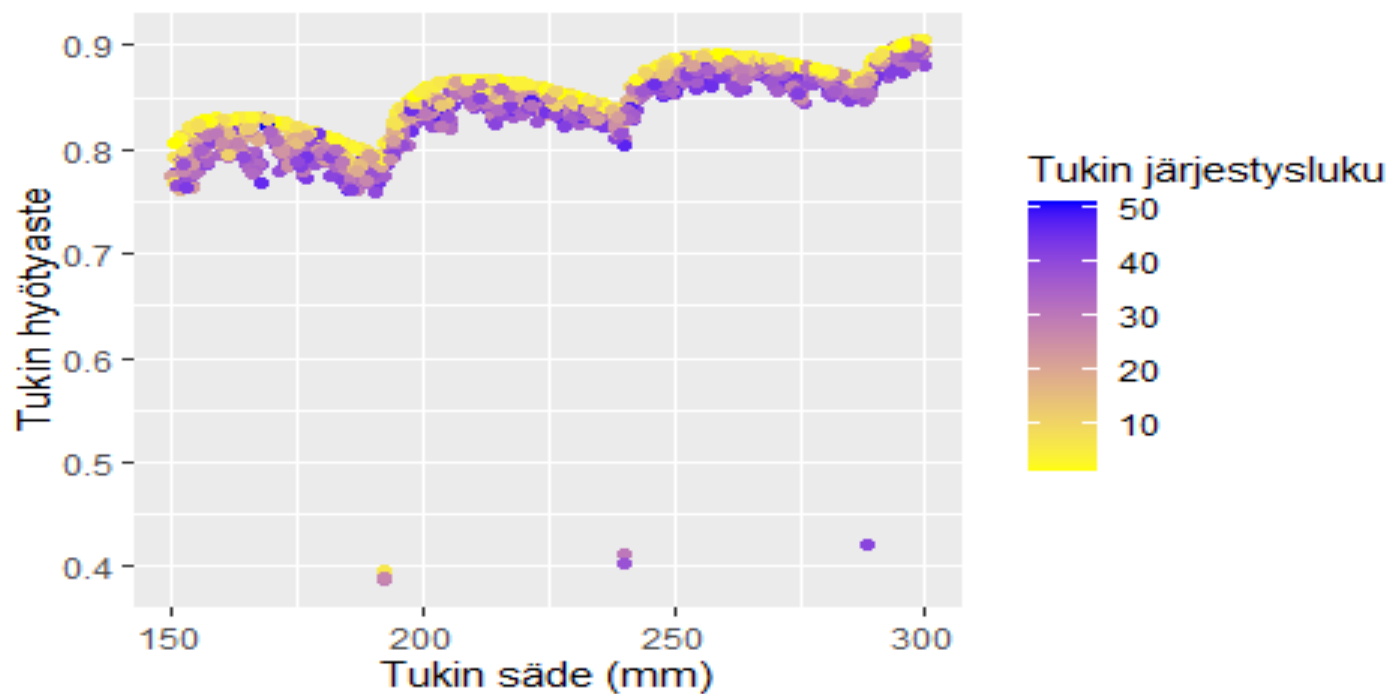
	Tavoite 1, tilauskirja 1	Tavoite 2, tilauskirja 1	Tavoite 3, tilauskirja 1	Tavoite 1, tilauskirja 2	Tavoite 2, tilauskirja 2	Tavoite 3, tilauskirja 2
Keskiarvo	43.584	42.998	42.7	60.721	62.007	59.425
Keskihajonta	2.601	2.710	2.677	3.288	3.2067	3.144

Taulukko 4: Raaka-ainekustannukset eri tavoitteilla ja tilauskirjoilla. Lisäksi esitetty tuotteista saatavan markkinahinnan sekä keskimääräisen raaka-ainekustannusten suhde

	Tavoite 1, tilauskirja 1	Tavoite 2, tilauskirja 1	Tavoite 3, tilauskirja 1	Tavoite 1, tilauskirja 2	Tavoite 2, tilauskirja 2	Tavoite 3, tilauskirja 2
Keskiarvo (€)	517.14	511.07	506.00	721.00	734.62	706.13
Keskihajonta (€)	9.06	8.44	9.93	10.01	10.63	10.50
Suhde	6.108	6.180	6.230	6.077	5.973	6.214

# Tulokset, hyötyaste

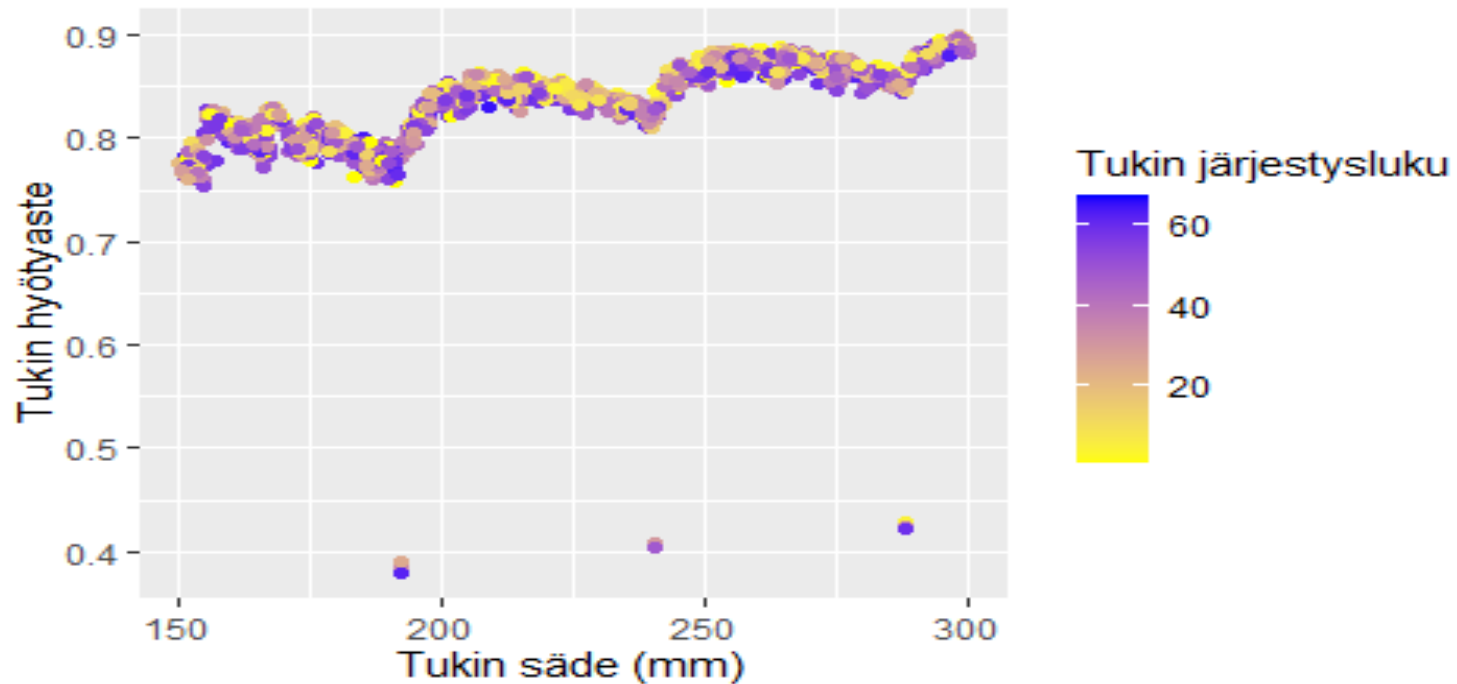
- Sahattujen tukkien hyötyaste, kun hintakertoimet vastaavat tuotteiden leveyksiä ja kysynnät tilauskirjaa 1





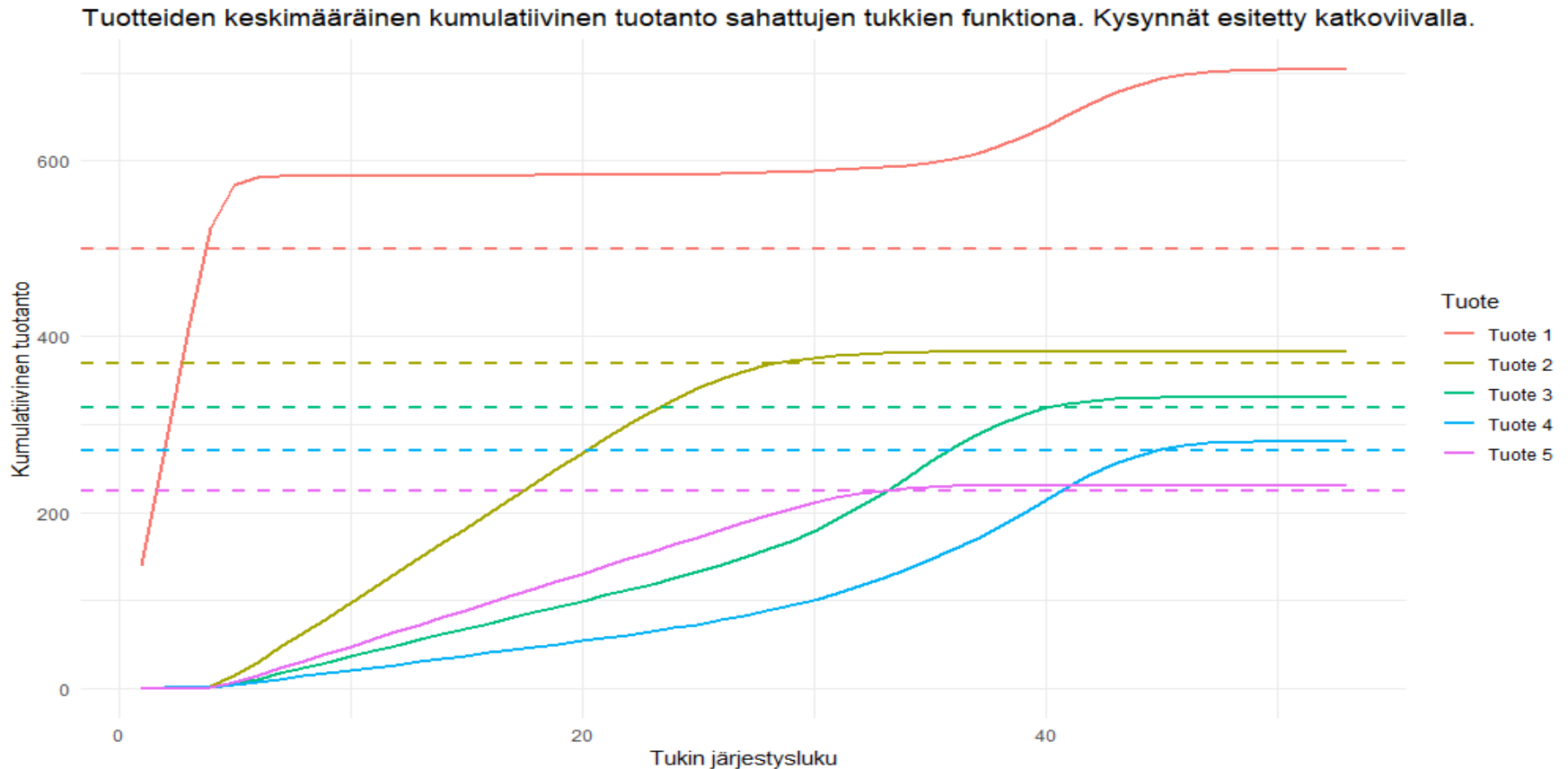
# Tulokset, hyötyaste

- Sahattujen tukkien hyötyaste, kun hintakertoimet vastaavat tuotteiden dynaamisia hintoja, ja kysynnät tilauskirjaa 2



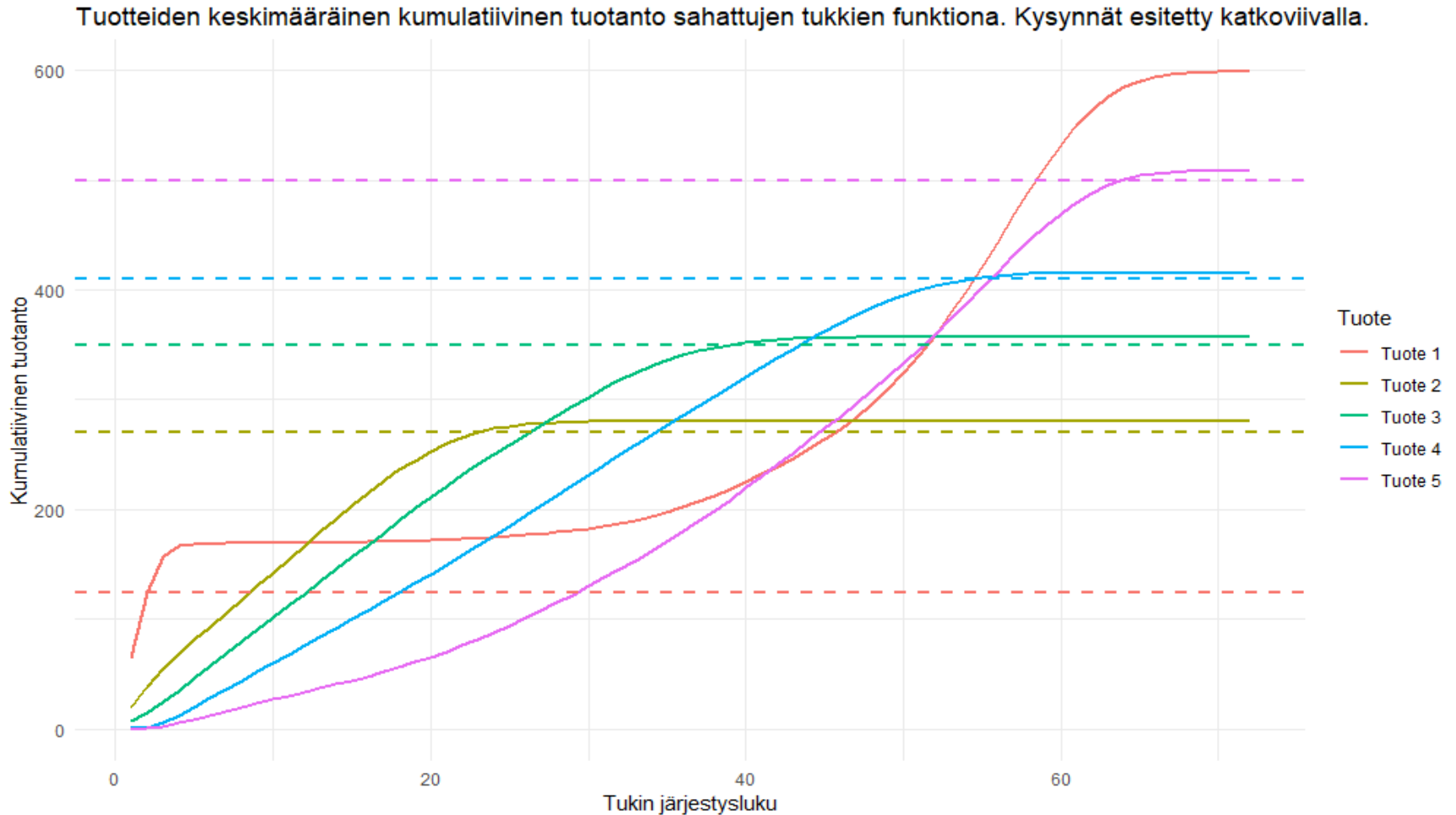
# Tulokset, tuotannon sujuvuus

- Hintakertoimet vastaavat markkinahintoja, kysynät tilauskirjaa 1



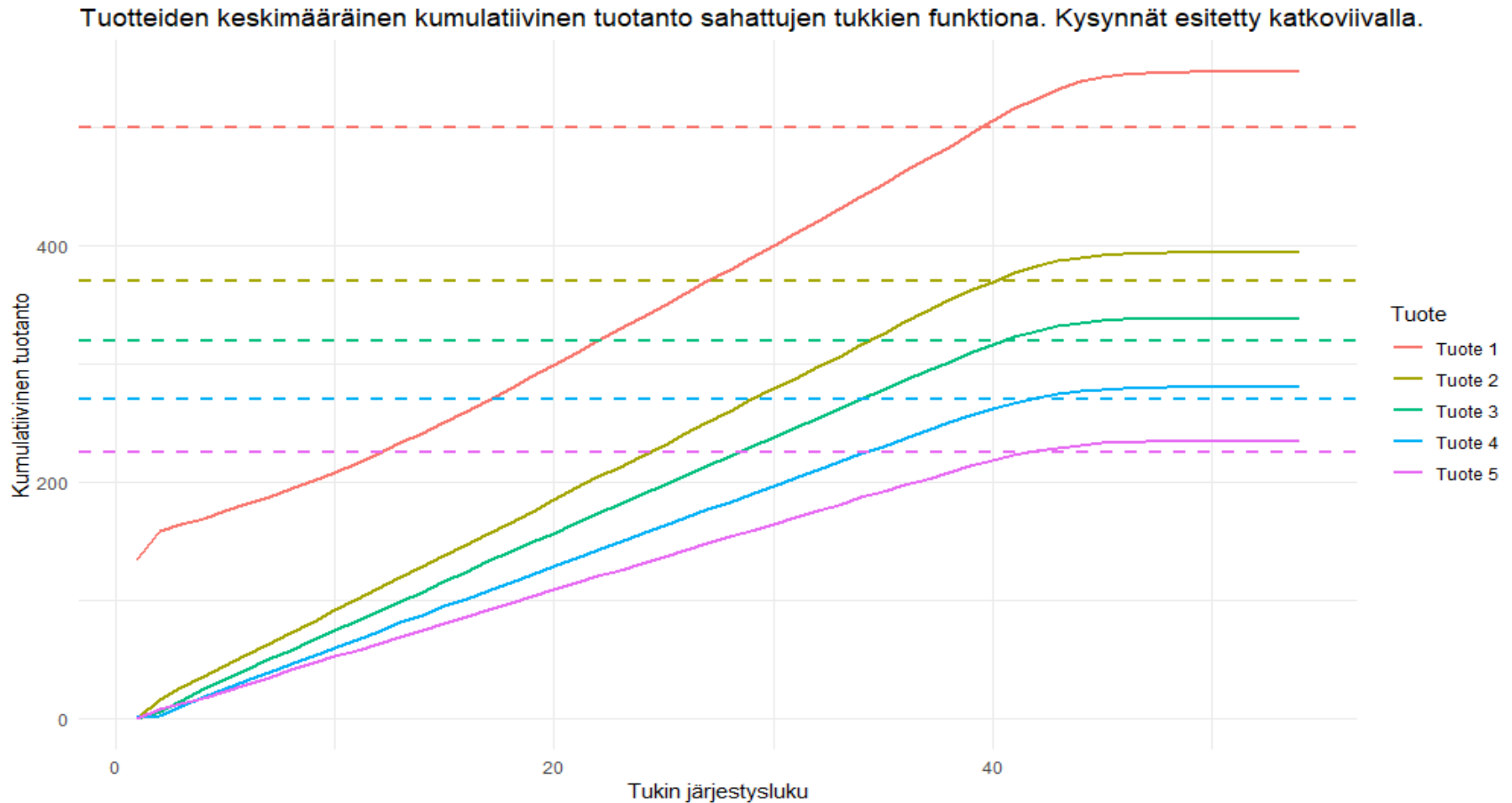
# Tulokset, tuotannon sujuvuus

- Hintakertoimet vastaavat leveyksiä ja kysynnät tilauskirjaa 2



# Tulokset, tuotannon sujuvuus

- Hintakertoimet vastaavat dynaamisia hintoja ja kysynät tilauskirjaa 1



# Johtopäätökset

- Päivittyvä hinta tehokkain materiaalikulutuksen sekä varaston tasapainon kannalta
- Yksinkertaistukset vaikuttavat yleispätevyyteen:
  - vakio lankun paksuus ja pieni tuotevalikoima
  - laatuselkkojen sivuuttaminen
  - tukkien geometria
- Mitä ei tutkittu
  - Tukkien lajittelun vaikutus tuotantoon
  - Eri tavat sahata lankut

# Lähteet

- G. Scheithauer, Introduction to Cutting and Packing Optimization, *International Series in Operations Research & Management Science*, Springer International Publishing, 2018
- C. Todoroki ja M. Rönnqvist, Dynamic Control of Timber Production at a Sawmill with Log Sawing Optimization, *Scandinavian Journal of Forest Research*, 17(1): 79-89, 2002
- J. Geerts, Mathematical solution for optimising the sawing pattern of a log given its dimensions and its defect core, *New Zealand Journal of Forestry Science*, 14(1): 124-134, 1984