Kartonkikituotannon materiaalihävikin minimointi stokastisella algoritmilla
(valmiin työn esittely)

Konsta Palmanto

12.06.2024

Ohjaaja: Leevi Olander

Valvoja: Ahti Salo

Aalto-yliopisto
Perustieteiden korkeakoulu

Työn tausta

- Työ liittyy trimmitysongelmaan, jossa suurista objekteista leikataan pienempiä yksiköitä (esim. kartonkirullista leikataan kartonkiarkkeja).
- Tavoitteena on asettaa pienet yksiköt suuriin objekteihin siten, että materiaalihävikki minimoituu.
- Trimmitysongelma on laskennallisesti haastava.
- Tämän työn sovelluksessa tuotanto asettaa ongelmalle epälineaarisia rajoitteita, minkä takia ongelma ei ole Wäscher et al. standardiongelmien mukainen.

Kartonkituotanto

Kartonkikone valmistaa jumborullat

Varastorullat trimmataan jumborullista

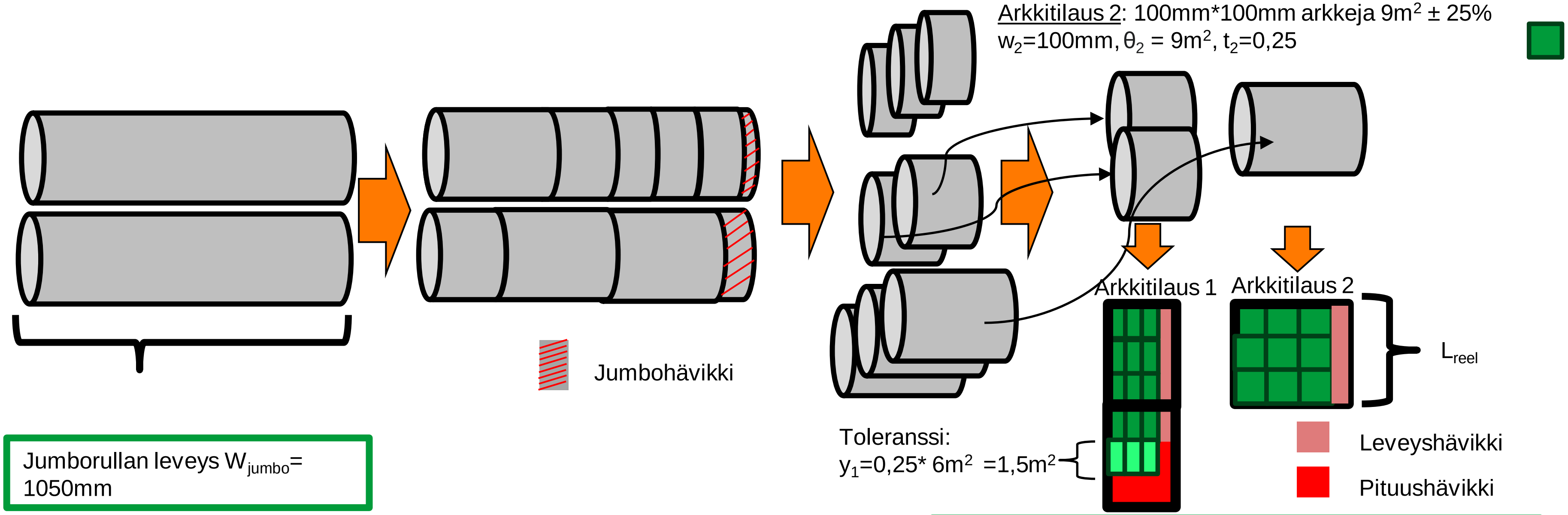
Varastorullaleveyksien joukko:
S ={150mm,200mm,350mm}
Varastorullajoukon koko n=3

Arkkitilaukset valmistetaan varastorullista arkkileikkureilla.

- Yksi tilaus käyttää vain yhden levyistä varastorullaa.
- Arkkeja voidaan leikata monta vierekkäin.

Arkkitilaus 1: 50mm*100mm arkkeja 6m^2 ± 25%
w_1=50mm, θ_1 = 6m^2, t_1=0,25

Arkkitilaus 2: 100mm*100mm arkkeja 9m^2 ± 25%
w_2=100mm, θ_2 = 9m^2, t_2=0,25



Jumborullan leveys W_{jumbo}= 1050mm

Varastorullan ja jumborullan pituus L_{reel} = 300mm
Arkkitilauksten käyttämät varastorullaleveydet:

- b_1=200mm, b_2=350mm

Vierekkäisten arkkien lukumäärä arkkileikkurilla:

- p_1=3, p_2=3

Kandityön sisältö

- Trimmitysongelman typologia, ratkaisumenetelmät ja sovellukset eri sektoreilla
- Ongelman formulointi
- Pääongelmassa käytettävä stokastinen algoritmi
- Arkkileikkurioptimointi
- Kartonkikoneoptimointi
- Optimointi esimerkkidatalle

Päätösmuuttujat ja parametrit

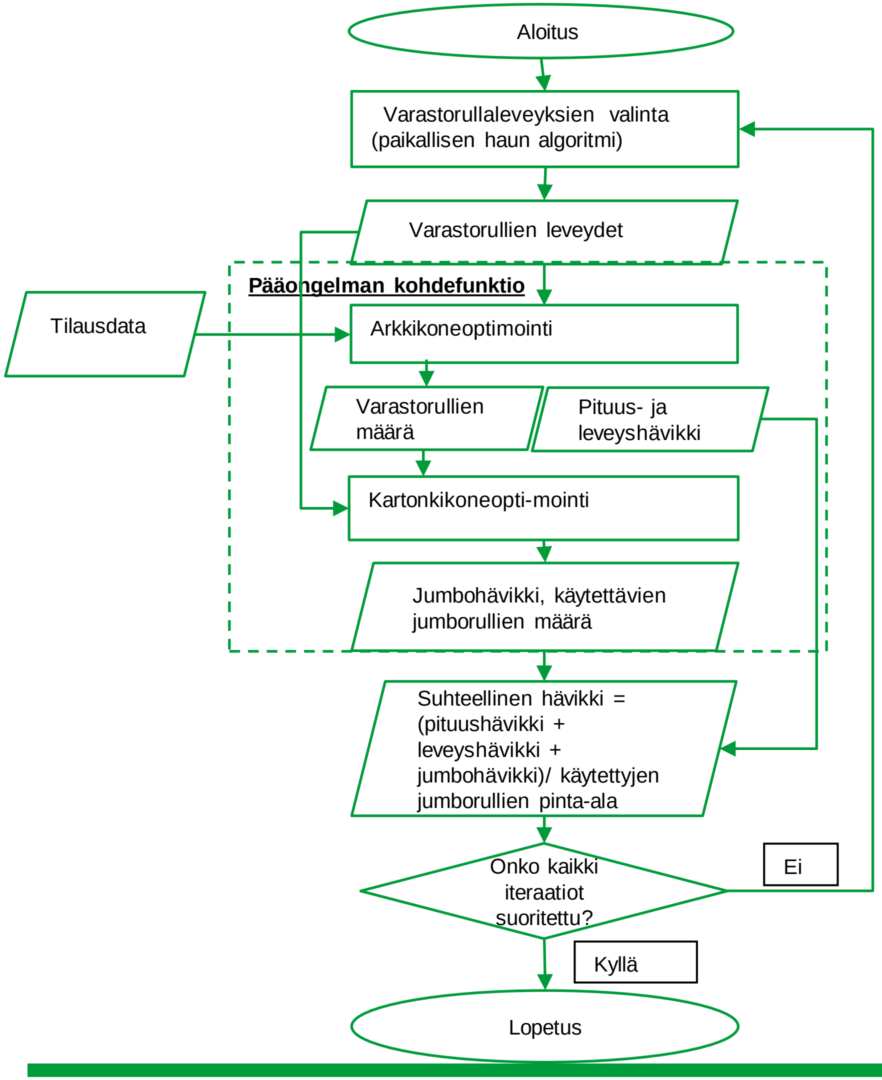
Päätösmuuttuja	Kuvaus
y_i	Pinta-alan toleranssi, joka käytetään arkkitilaukselle $i \in I$
A	Jumborullan leikkauskuviomatriisi, jossa a_{ij} on arkkitilauksen $i \in I$ varastorullien määrä leikkauskuviossa $j \in J$
x_j	Leikkauskuvion $j \in J$ tuotantomäärä
p_i	Vierekkäisten arkkien lukumäärä arkkikoneen leikkauskuviossa arkkitilauksella $i \in I$
n	Valittavien varastorullaleveyksien lukumäärä
$S = \{s_1, s_2, ..., s_n\}$	Valittavien varastorullaleveyksien joukko
$B = (b_1, b_2, ..., b_N)$	Valittujen varastorullien leveydet, jossa b_i on arkkitilaukselle $i \in I$ valittu varastorullan leveys
Parametri	**Kuvaus**
L_{Reel}	Varastorullan ja jumborullan pituus
W_{Jumbo}	Jumborullan leveys
$I = \{1, 2, ..., N\}$	Arkkitilausten joukko, missä N on arkkitilauksien lukumäärä
J	Mahdollisten leikkauskuvioiden joukko kartonkikoneella
θ_i	Arkkitilauksen $i \in I$ kokonaispinta-ala
w_i	Arkkitilauksen $i \in I$ arkin leveys
t_i	Arkkitilauksen $i \in I$ pinta-alan toleranssi, $t_i \in [0; 1]$
$S_{\min}$	Varastorullan minimileveys
$S_{\max}$	Varastorullan maksimileveys

Taulukko 1: Pääongelman päätösmuuttujien ja parametrien selitykset.

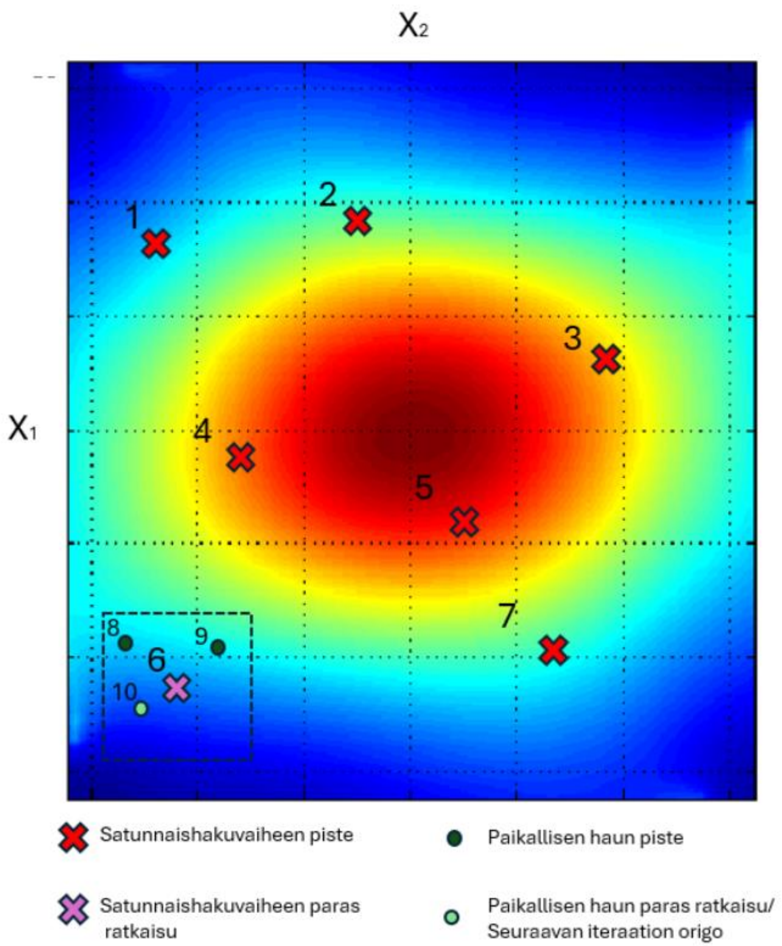
Pääongelma

- Millä varastorullaleveyksillä tuotannon suhteellinen hävikki minimoituu?
- Varastorullaportfoliossa olevien varastorullaleveyksien lukumäärä on vakio.
- Tuotannon kokonaispinta-ala on käytettävien jumborullien yhteenlaskettu pinta-ala.
- Suhteellinen hävikki lasketaan seuraavasti: (leveyshävikki+pituushävikki+jumbohävikki)/kokonaispinta-ala.
- Optimointitehtävä ratkaistaan stokastisella paikallisen haun algoritmilla.

Algoritmin toimintaperiaate



Stokastinen algoritmi



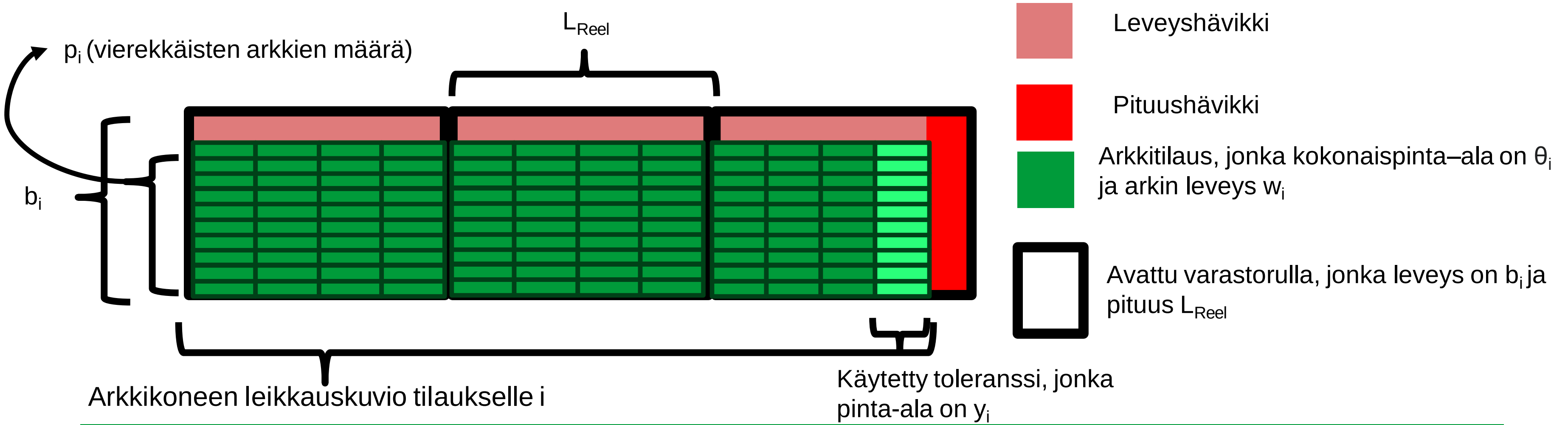
1. Ratkaisuavaruuden pisteitä testataan satunnaisesti
2. Optimia haetaan parhaiden ratkaisujen läheltä
3. Hakualueen säde kasvaa mikäli parempaa ratkaisua ei löydy

Arkkikoneoptimointi

- Arkkitilaus 1: Tilauksen kokonaispinta-ala: $\theta_1 = 20000\ m^2$, toleranssi: $t_1=0,05$, arkin leveys: $w_1=300mm$. Arkin pituutta ei huomioida, sillä yksittäisen arkin pituus on mitätön arkkikoneen leikkauskuvion pituuteen verrattuna.
- Arkkikoneen leikkauskuvio on tilaukselle tehtävä tuotantosuunnitelma arkkikoneella. Se määrittää, kuinka monta arkkia leikataan vierekkäin ja mikä on tuotettu pinta-ala.
- Toleranssi määrittää tilaukselle, kuinka monta prosenttia tuotettu kokonaispinta-ala saa poiketa tilatusta kokonaispinta-alasta.

Toimintaperiaate:

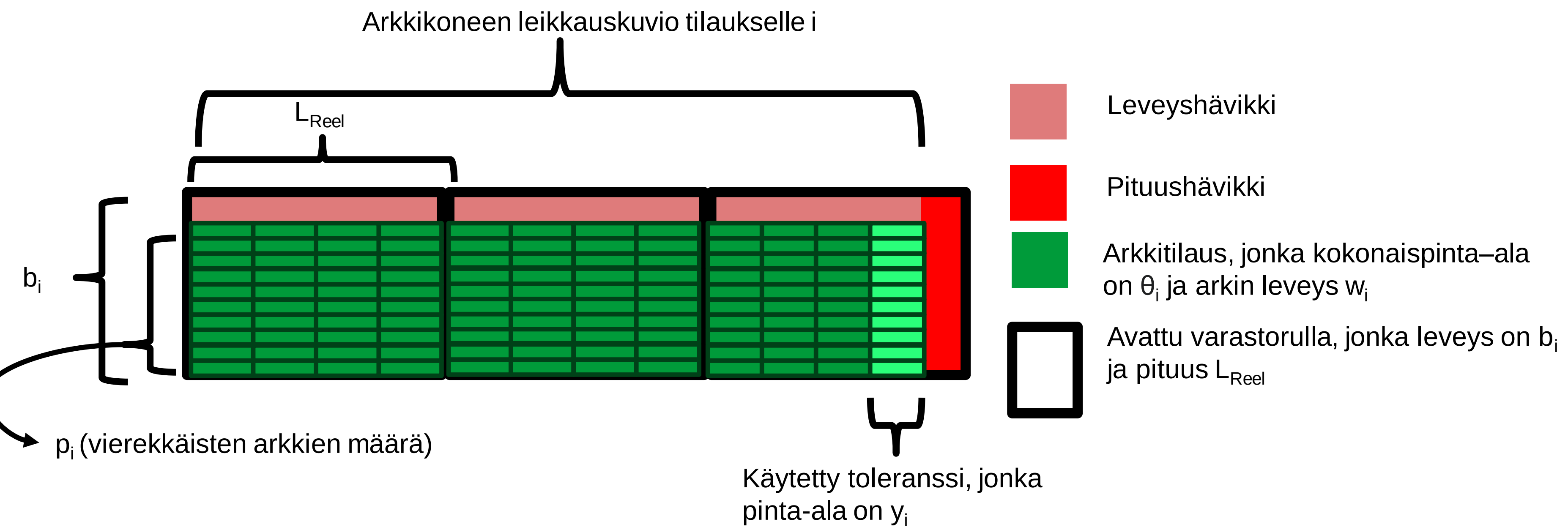
- Kuinka arkkitilaukset on asetettava varastorullille pituus- ja leveyshävikin minimoimiseksi?
- Tilaus asetetaan avatulle rullalle. Tilauksen pinta-alan pitää olla toleranssien ($\pm(t_1{*}\theta_1)=\pm\ 1000\ m^2$) sisällä.
- Kyseessä on 2-ulotteinen trimmitysongelma.
- Ongelma ratkaistaan heuristisella menetelmällä, joka hyödyntää toleransseja.



Arkkikoneoptimointi

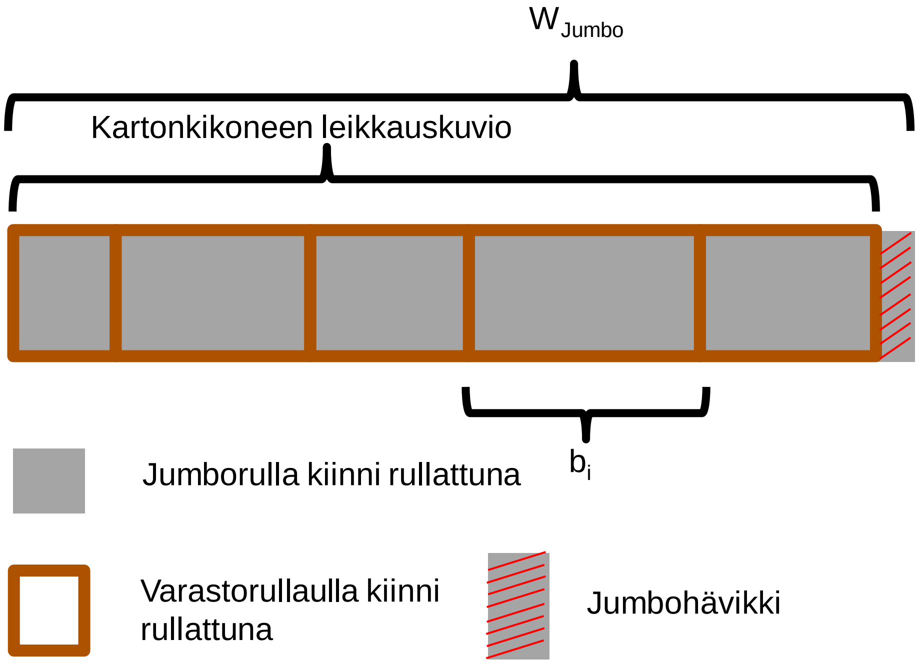
1. Valitse varastorullaleveys, joka minimoi leveyshävikin, kun arkkeja on mahdollisimman monta vierekkäin arkkikoneella.
2. Yritä poistaa tilauksen viimeinen rulla, mikäli toleranssi tämän sallii, muuten yritä täyttää viimeinen varastorulla maksimaalisesti.

- Tuloksena saadaan tarvittavien varastorullien lukumäärä sekä leveys- ja pituuushävikit.



Kartonkikoneoptimointi

- Kuinka varastorullat leikataan jumborullista niin, että hävikki minimoituu?
- Kyseessä on 1-uloitteinen trimmitysongelma.
- Jumborullan leveys on vakio.
- Jumborullan leikkauskuvio tarkoittaa yksittäisen jumborullan leikkaussuunnitelmaa, jossa määritellään, mitä leveyksiä ja kuinka monta kappaletta leikataan yhdestä jumborullasta.
- Ongelma ratkaistaan heuristisella first-fit-decreasing-algoritmilla.

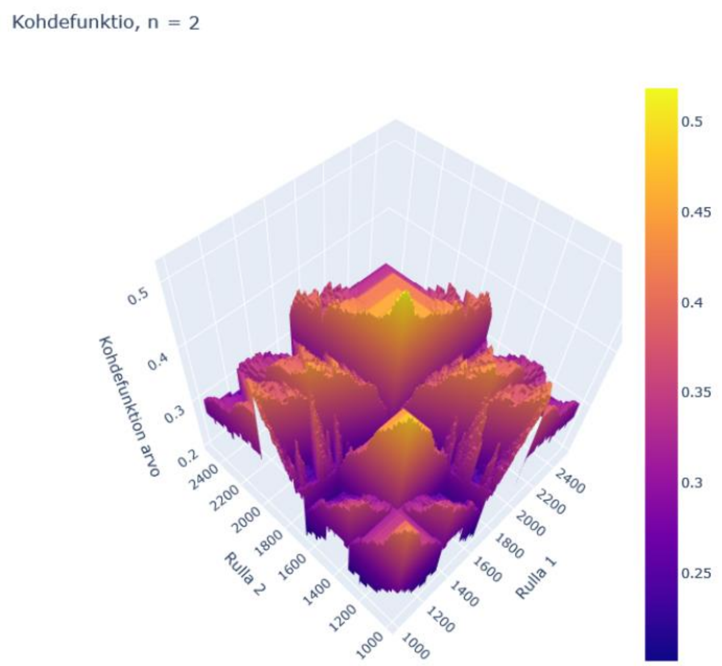


Optimoinnin parametrien arvot

Symboli	Kuvaus	Arvo
L_{Reel}	Varastorullan ja jumborullan pituus	5000m
W_{Jumbo}	Jumborullan leveys	5m
θ_i	Arkkitilauksen i kokonaispinta-ala	satunnaisluku tasajakaumasta $\sim \mathcal{U}(3333; 20000)$ (m^2)
w_i	Arkkitilauksen i arkin leveys	satunnaisluku tasajakaumasta $\sim \mathcal{U}(0,2; 0,7)$ (m)
t_i	Arkkitilauksen i toleranssi	satunnaisluku tasajakaumasta $\sim \mathcal{U}(0,02; 0,1)(\%)$
W_{min}	Varastorullan minimileveys	1m
W_{max}	Varastorullan maksimileveys	2.5m
N_{RS}	Satunnaishakuvaiheen hakupisteiden lukumäärä	50000
N_{LS}	Parhaiden ratkaisujen lukumäärä paikallisessa haussa	30
I_{max}	Paikallinsen haun iteraatioiden lukumäärä	200
N_{neigh}	Testattavien pisteiden lukumäärä yksittäisen ratkaisun ympärillä	100
r_{max}	Suurin eksponentti hakualueen säteessä	10

Taulukko 4: Optimoinnin parametrien arvot.

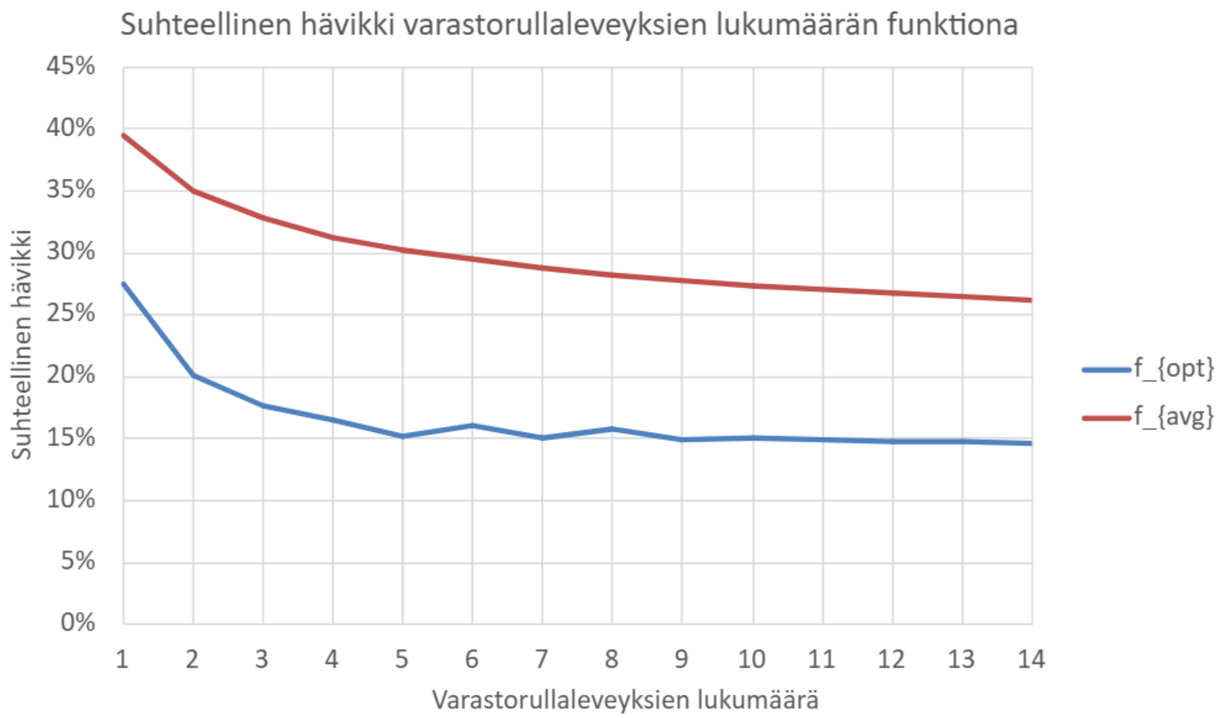
Tulokset esimerkkidatalle



Kuva 5: Ratkaisuavaruus kahden varastorullan tapauksessa.

Kahden varastorullan tapauksessa huomataan, että hävikki vaihtee paljon erilaisilla varastorullajoukoilla.

Tulokset esimerkkidatalle



Optimi tuotti merkittävän parannuksen verrattuna satunnaishakuvaiheen keskimääräiseen arvoon. Esimerkiksi neljäntoista varastorullan tapauksessa löydetyn optimin hävikki oli noin 14,6% ja keskimääräinen hävikki satunnaishakuvaiheessa noin 26,2%.

packing problems. European Journal of Operational Research, 183(3):1109–1130,
2007.

Lähteet

Trimmitysongelman typologia

- H. Dyckhoff. A typology of cutting and packing problems. European Journal of Operational Research, 44(2):145–159, 1990.
- G. Wäscher, H. Haußner, ja H. Schumann. An improved typology of cutting and packing problems. European Journal of Operational Research, 183(3):1109–1130, 2007.

Ratkaisumenetelmät:

- M. Abdel-Basset, L. Abdel-Fatah, ja A. K. Sangaiah. Metaheuristic algorithms: A comprehensive review. Computational Intelligence for Multimedia Big Data on the Cloud with Engineering Applications, pages 185–231, 2018.
- R. Andrade, E. G. Birgin, ja R. Morabito. Two-stage two-dimensional guillotine cutting stock problems with usable leftover. International Transactions in Operational Research, 23(1-2):121–145, 2016.
- M.-B. Aryanezhad, N. F. Hashemi, A. Makui, ja H. Javanshir. A simple approach to the two-dimensional guillotine cutting stock problem. Journal of Industrial Engineering International, 8:1–10, 2012.
- A. C. Cherri, M. N. Arenales, H. H. Yanasse, K. C. Poldi, ja A. C. G. Vianna. The one-dimensional cutting stock problem with usable leftovers–a survey. European Journal of Operational Research, 236(2):395–402, 2014.

Lähteet

- Ratkaisumenetelmät:
  - P. C. Gilmore ja R. E. Gomory. A linear programming approach to the cutting-stock problem. Operations Research, 9(6):849–859, 1961.
  - P. C. Gilmore ja R. E. Gomory. A linear programming approach to the cutting stock problem—part II. Operations Research, 11(6):863–888, 1963.
  - P. C. Gilmore ja R. E. Gomory. Multistage cutting stock problems of two and more dimensions. Operations Research, 13(1):94–120, 1965.
  - G. C. Onwubolu ja M. Mutingi. A genetic algorithm approach for the cutting stock problem. Journal of Intelligent Manufacturing, 14:209–218, 2003.
  - E. Silva, F. Alvelos, ja J. M. V. De Carvalho. An integer programming model for two-and three-stage two-dimensional cutting stock problems. European Journal of Operational Research, 205(3):699–708, 2010.

Sovellukset eri toimialoilla:

- J. Kallrath, S. Rebennack, J. Kallrath, ja R. Kusche. Solving real-world cutting stock-problems in the paper industry: Mathematical approaches, experience and challenges. European Journal of Operational Research, 238(1):374–389, 2014.
- K. H. Salem, E. Silva, J. F. Oliveira, ja M. A. Carravilla. Mathematical models for the two-dimensional variable-sized cutting stock problem in the home textile industry. European Journal of Operational Research, 306(2):549–566, 2023.
- D. Tanir, O. Ugurlu, A. Guler, ja U. Nuriyev. One-dimensional cutting stock problem with divisible items: A case study in steel industry. TWMS Journal of Applied and Engineering Mathematics, 9(3):473–484, 2019.

Lähteet

- First-fit-decreasing-algoritmi

  - P. Ongkunaruk. Asymptotic worst-case analyses for the open bin packing problem. PhD thesis, Virginia Tech, 2005.
  - B. Rieck. Basic analysis of bin-packing heuristics. arXiv preprint arXiv:2104.12235, 2021.
