

RISTIKKORAKENTEIDEN TOPOLOGIAN OPTIMOINTI

Kristo Mela

Teknisen suunnittelun laitos
Tampereen teknillinen yliopisto
kristo.mela@tut.fi

SISÄLTÖ

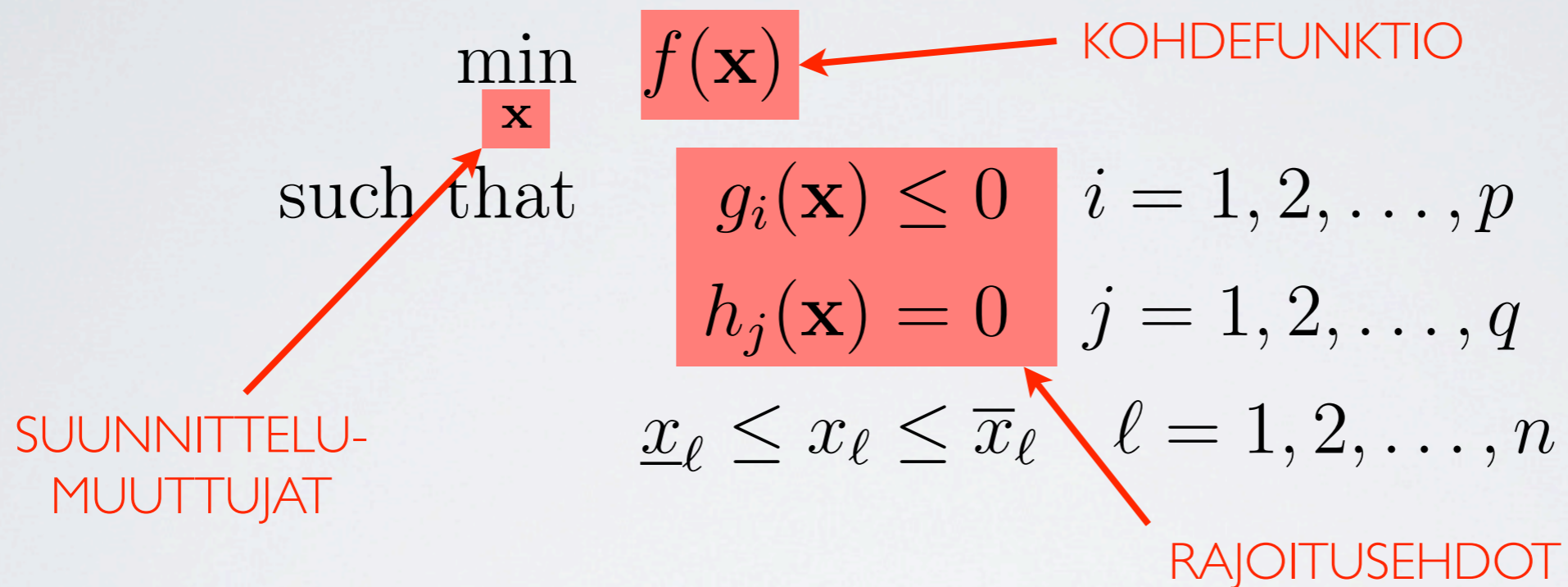
- Ristikoiden optimointi
- Topologian optimoinnin idea
- Implementointi
- Topologian optimointi
TTY:llä
- Kattoristikon optimointi



RAKENTEIDEN ANALYSOINNISTA OPTIMOINTIIN

- Suunnitteluprosessi voidaan osittain automatisoida kytkemällä rakenneanalyysi *matemaattisen optimointiteorian* menetelmiin.
- Tavoitteena edullisempi rakenne lyhyemmässä ajassa.
- Optimointitehtävän kolme komponenttia:
 1. Kohdefunktio (paino, kustannukset)
 2. Rajoitusehdot (lujuus, jäykkyys, stabiilisuus)
 3. Suunnittelumuuttujat

YLEINEN FORMULOINTI



PAINON MINIMOINTI

min A_i

such that

$$V(\mathbf{x}) = \sum_{i=1}^{n_E} L_i A_i$$

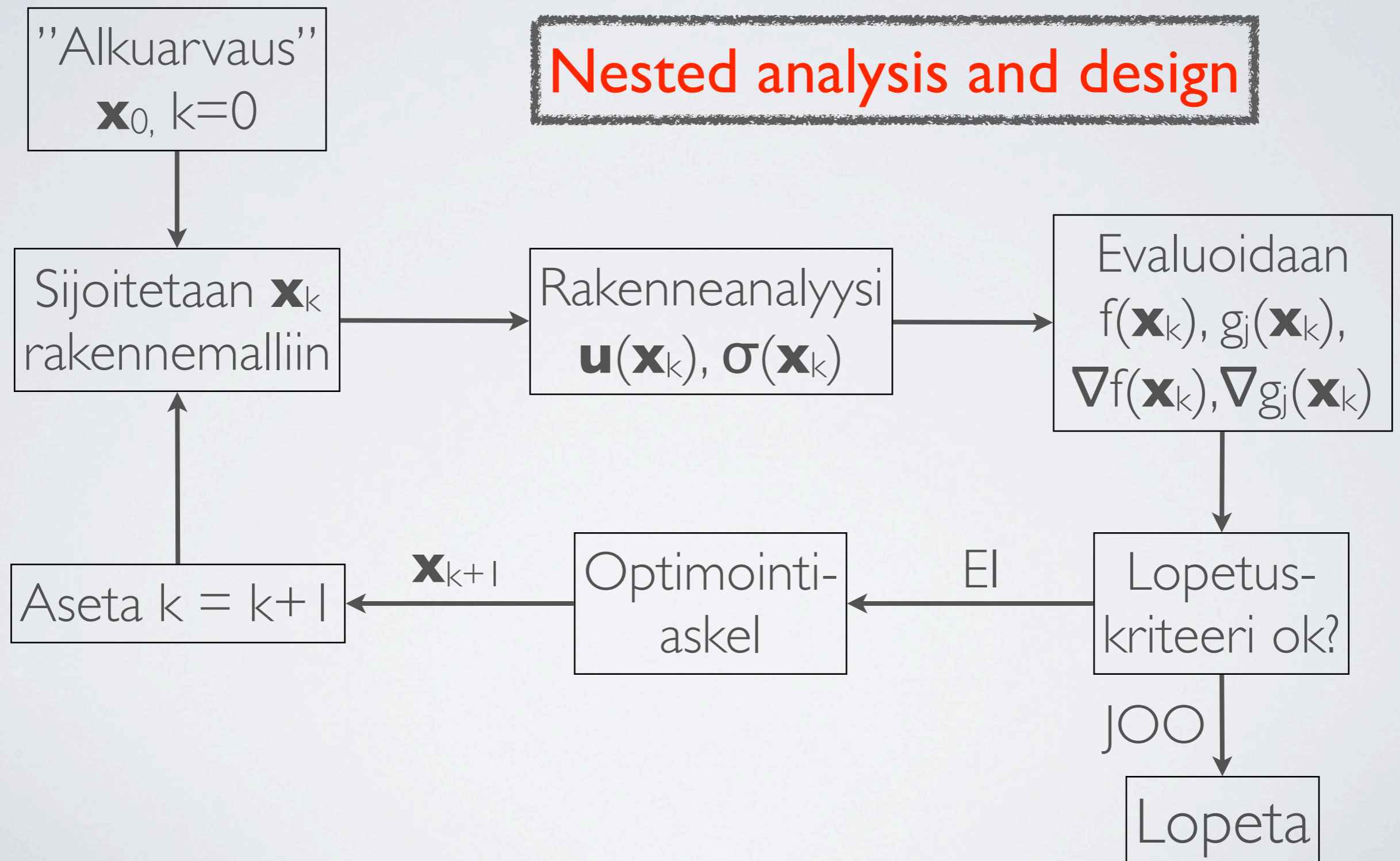
MATERIAALI-TILAVUUS

$$\underline{\sigma}_i \leq \sigma_{ij}(\mathbf{x}) \leq \bar{\sigma}_i, \quad \text{if } A_i > 0$$
$$0 \leq A_i \leq \bar{A}_i, \quad i = 1, 2, \dots, n_E$$

MUUTTUJINA
POIKKIPINTA-ALAT

JÄNNITYSRAJOITUKSET

OPTIMOINTIPROSESSI



VAIHTOEHTOINEN FORMULOINTI

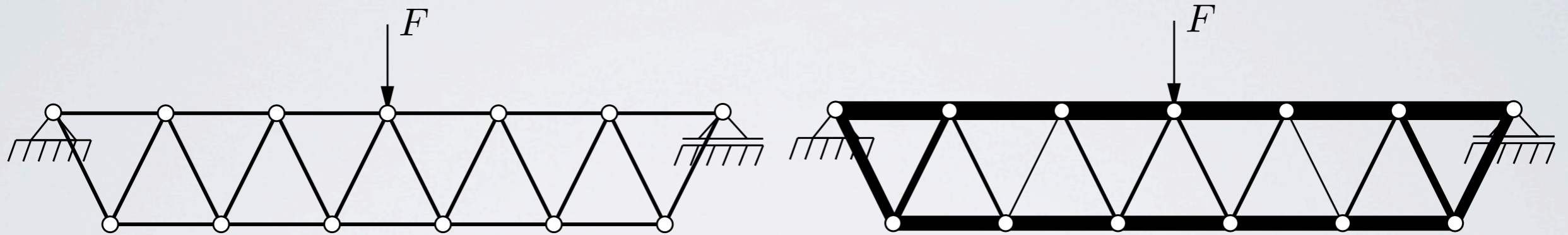
$$\begin{aligned} & \min_{\mathbf{x}, \mathbf{u}, \boldsymbol{\sigma}} f(\mathbf{x}) \\ \text{such that} & \quad \mathbf{K}(\mathbf{x})\mathbf{u} = \mathbf{p} \\ & \quad \boldsymbol{\sigma} = \mathbf{S}\mathbf{u} \\ & \quad \underline{\boldsymbol{\sigma}} \leq \boldsymbol{\sigma} \leq \bar{\boldsymbol{\sigma}} \\ & \quad \underline{\mathbf{u}} \leq \mathbf{u} \leq \bar{\mathbf{u}} \\ & \quad \underline{\mathbf{x}} \leq \mathbf{x} \leq \bar{\mathbf{x}} \end{aligned}$$

- Siirtymät ja jännitykset optimointimuuttujina
- Tasapainoyhtälöt ja jännitysten laskenta rajoitusehtoina

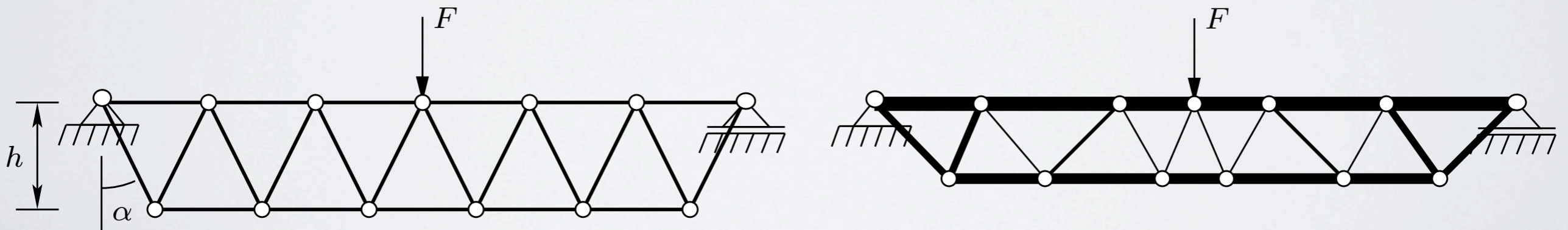
Simultaneous
analysis and design

RISTIKOIDEN OPTIMOINTI

Mitoitus



Geometria



RISTIKOIDEN OPTIMOINTI

Suunnittelija päättää:

- Solmujen paikat ja sauvojen kytkennät

Optimoinnilla selvitetään:

- Sauvojen profiilit

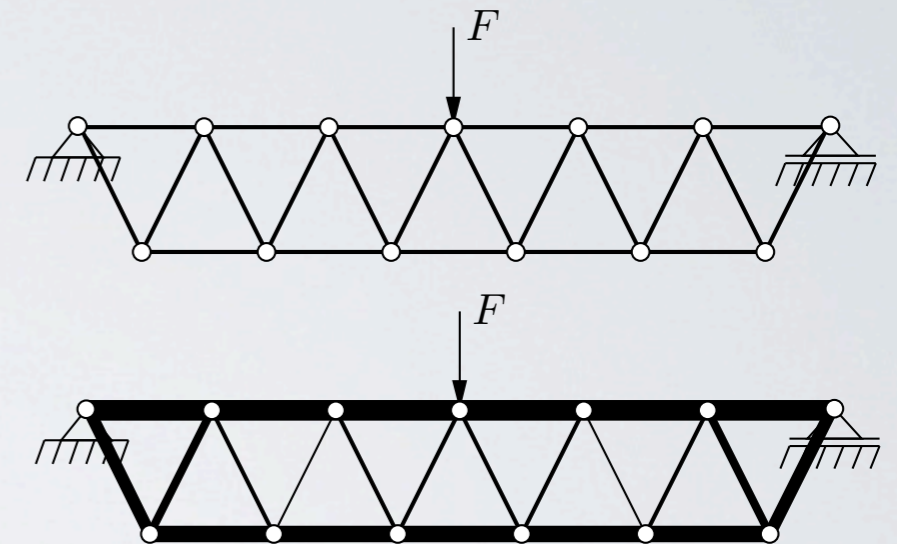
Suunnittelija päättää:

- Sauvojen kytkennät

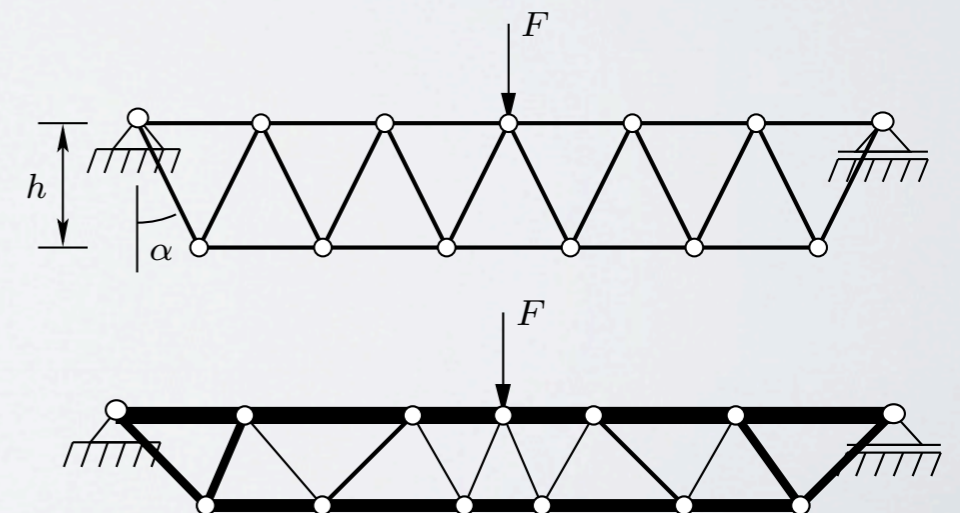
Optimoinnilla selvitetään:

- Solmujen paikat ja sauvojen profiilit

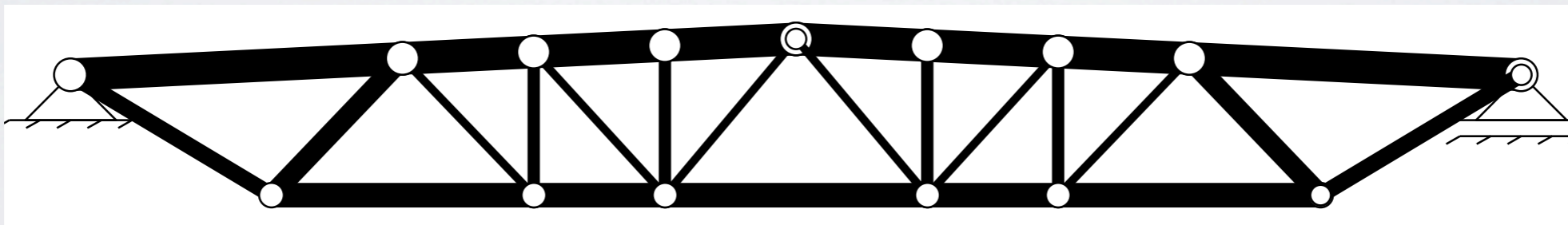
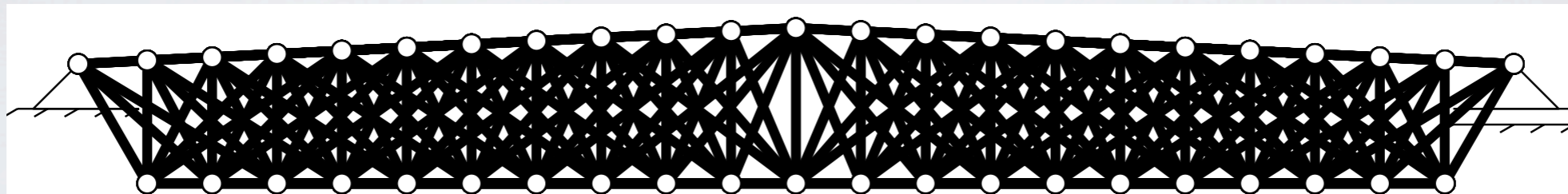
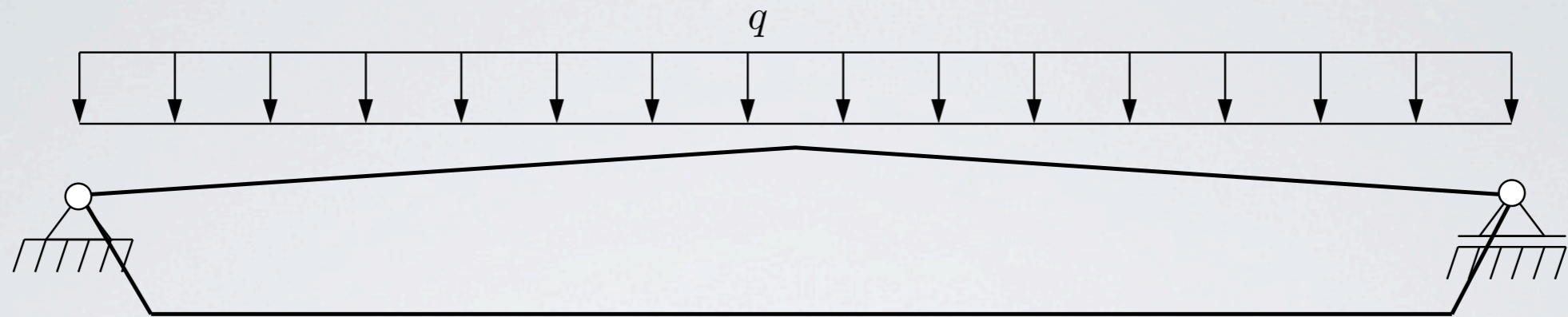
Mitoitus



Geometria

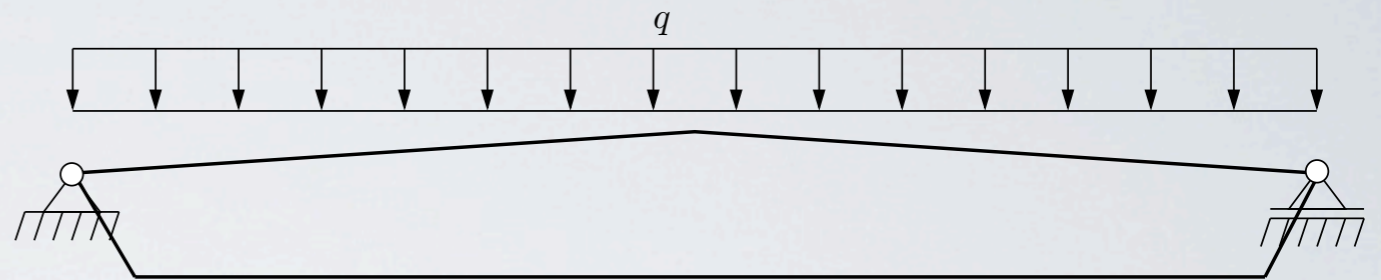


TOPOLOGIAN OPTIMOINTI

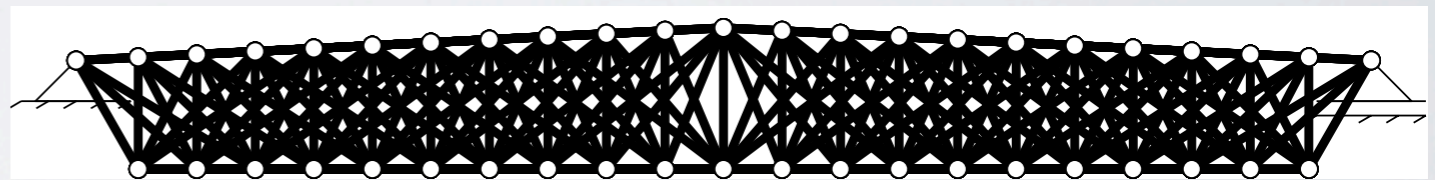


TOPOLOGIAN OPTIMOINTI

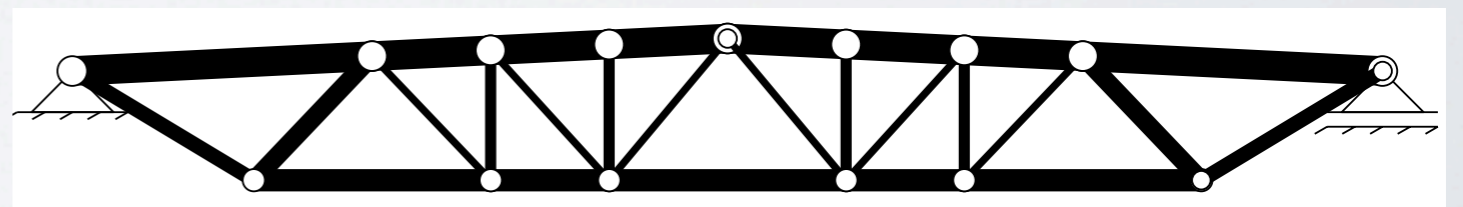
Suunnittelualue



Perusrakenne



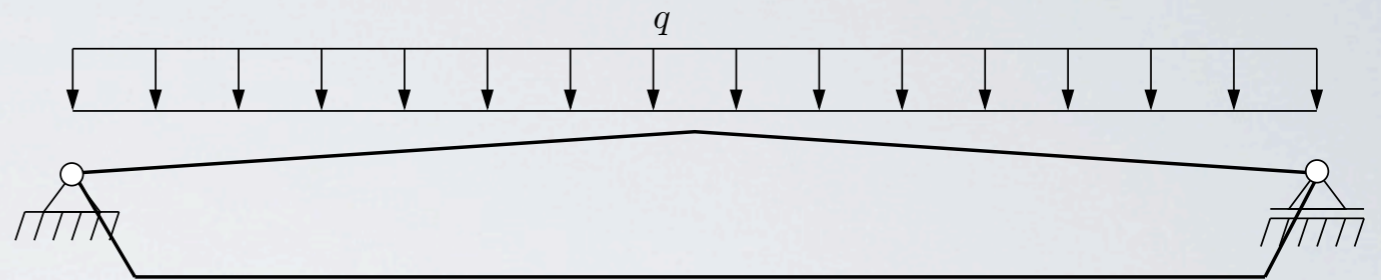
Optimiratkaisu



TOPOLOGIAN OPTIMOINTI

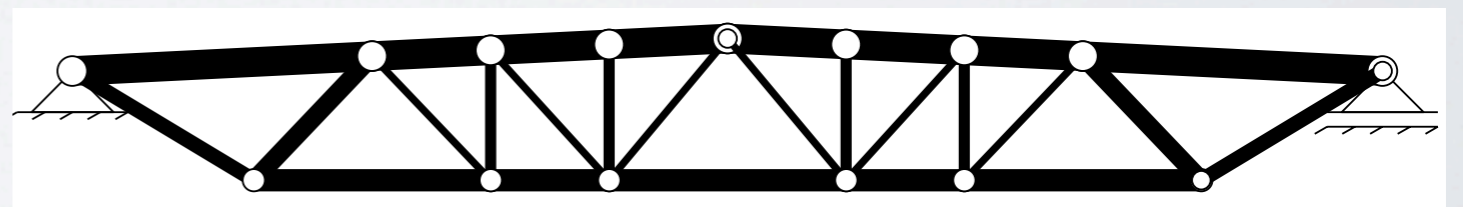
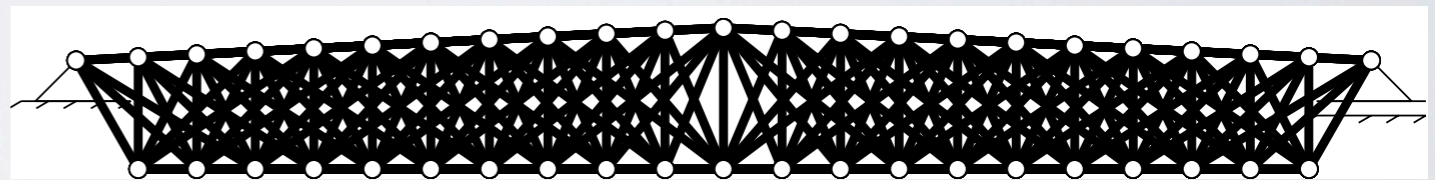
Suunnittelija päättää:

- Suunnittelualueen ja perusrakenteen



Optimoinnilla selvitetään:

- Sauvojen kytkennät ja profiilit

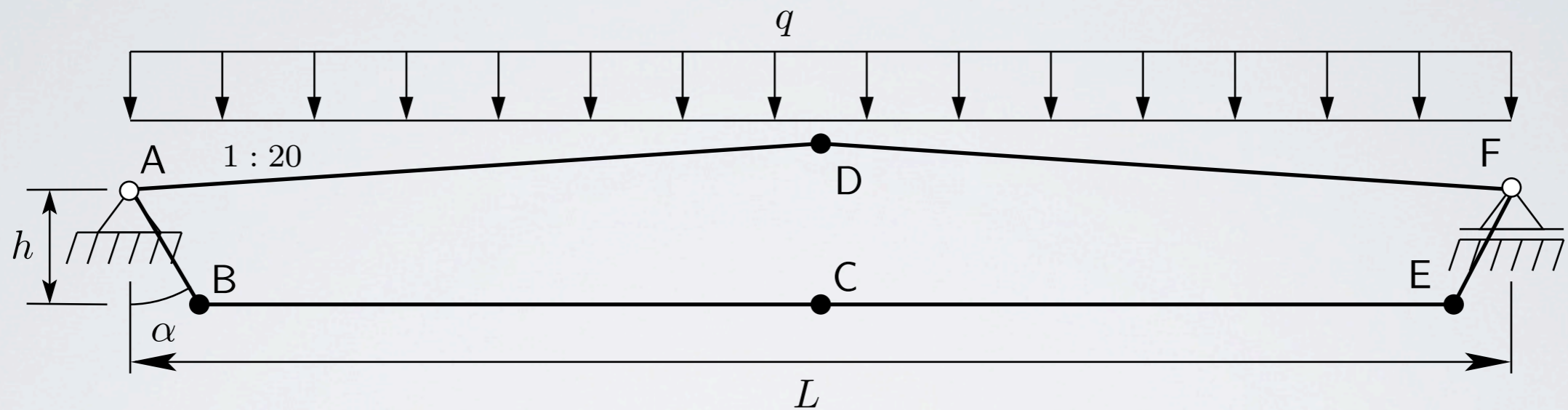


TOPOLOGIAN OPTIMOINTI TTY:LLÄ

- Aloitus vuonna 2009
- Keskiössä tehtävän
formulointi suunnittelijan
kannalta mielekkäällä tavalla.
- Formuloinnilla vältetään
teoreettiset ongelmat.
- Tuloksena käyttökelpoinen
ristikoiden topologian
optimoinnin ohjelma.

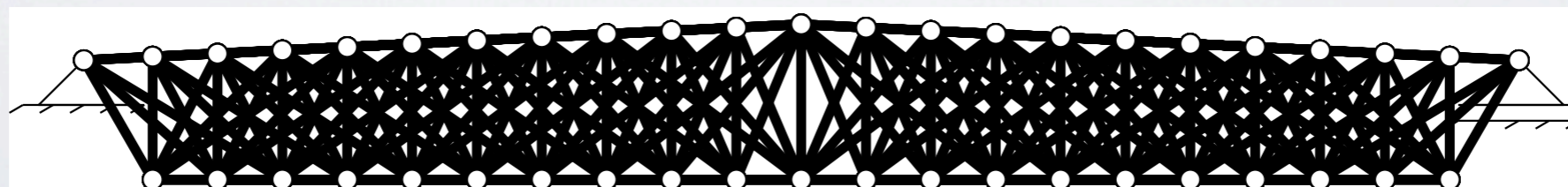
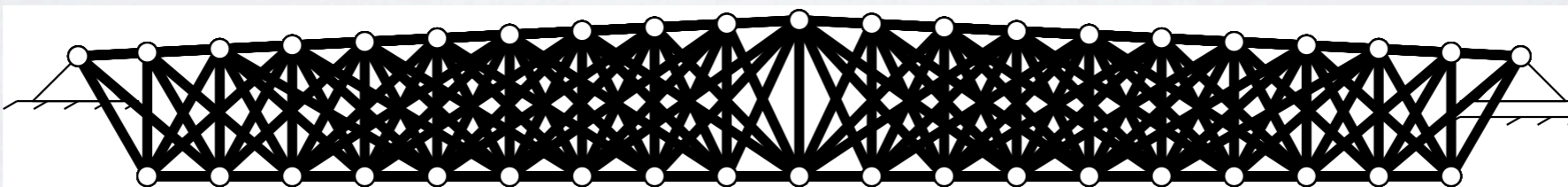
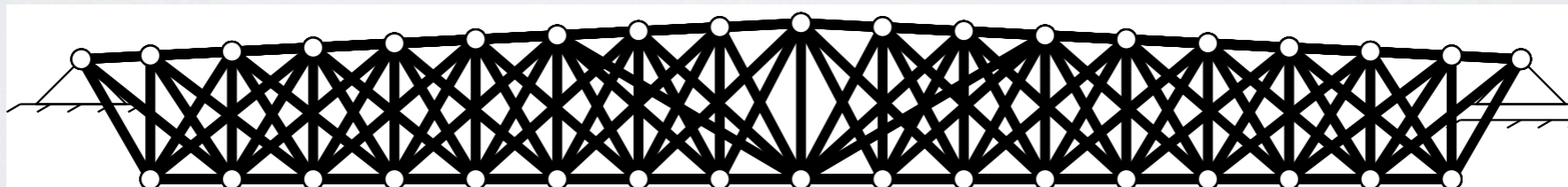
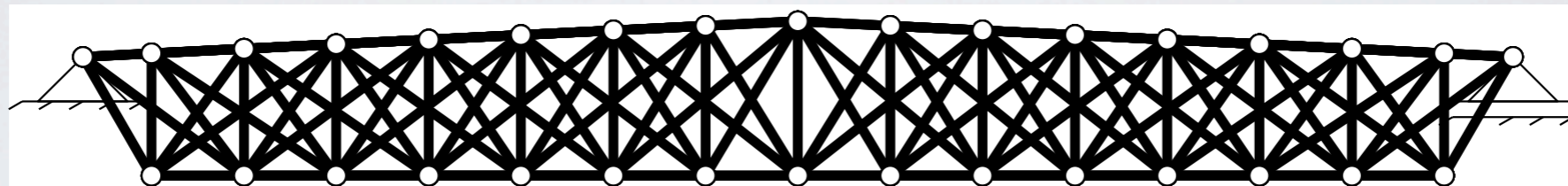
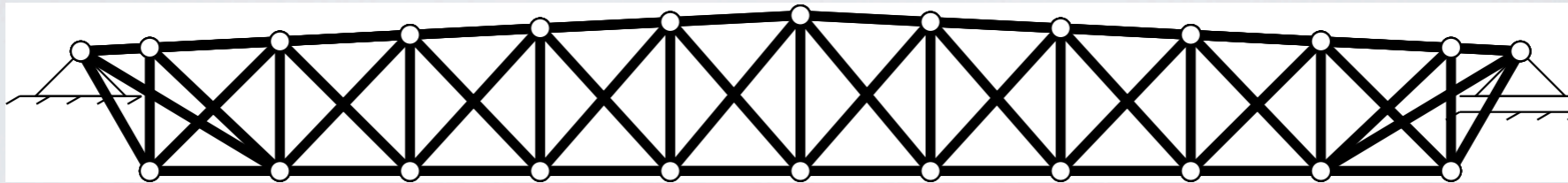


KATTORISTIKON TOPOLOGIAN OPTIMOINTI



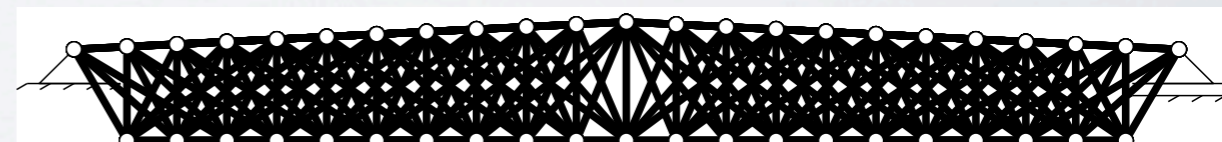
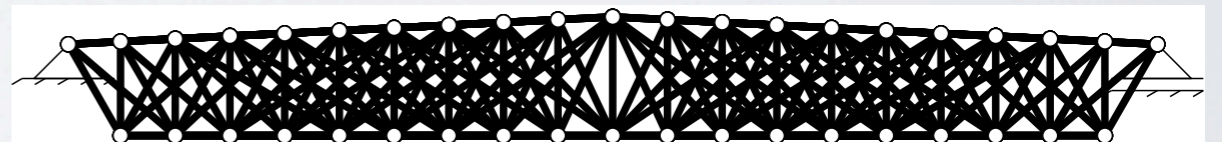
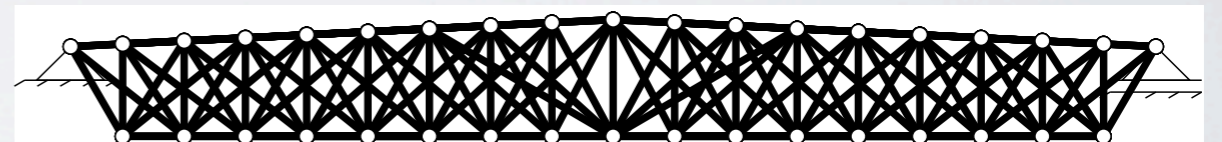
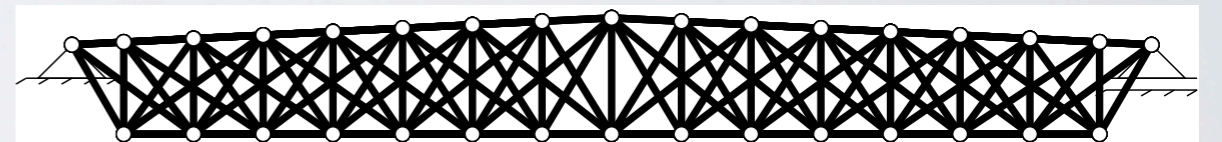
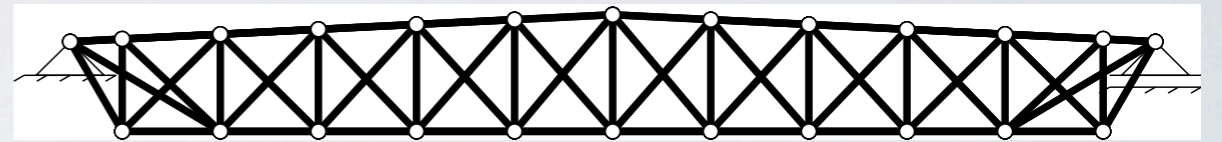
- Jänneväli $L = 24$ m
- Korkeus $h = 2$ m, kulma $\alpha = 30^\circ$
- Suunnittelalueena suorakaide ABEFD
- Minimimoidaan kustannukset ja paino eri perusrakenteilla

KATTORISTIKKO: PERUSRAKENTEET



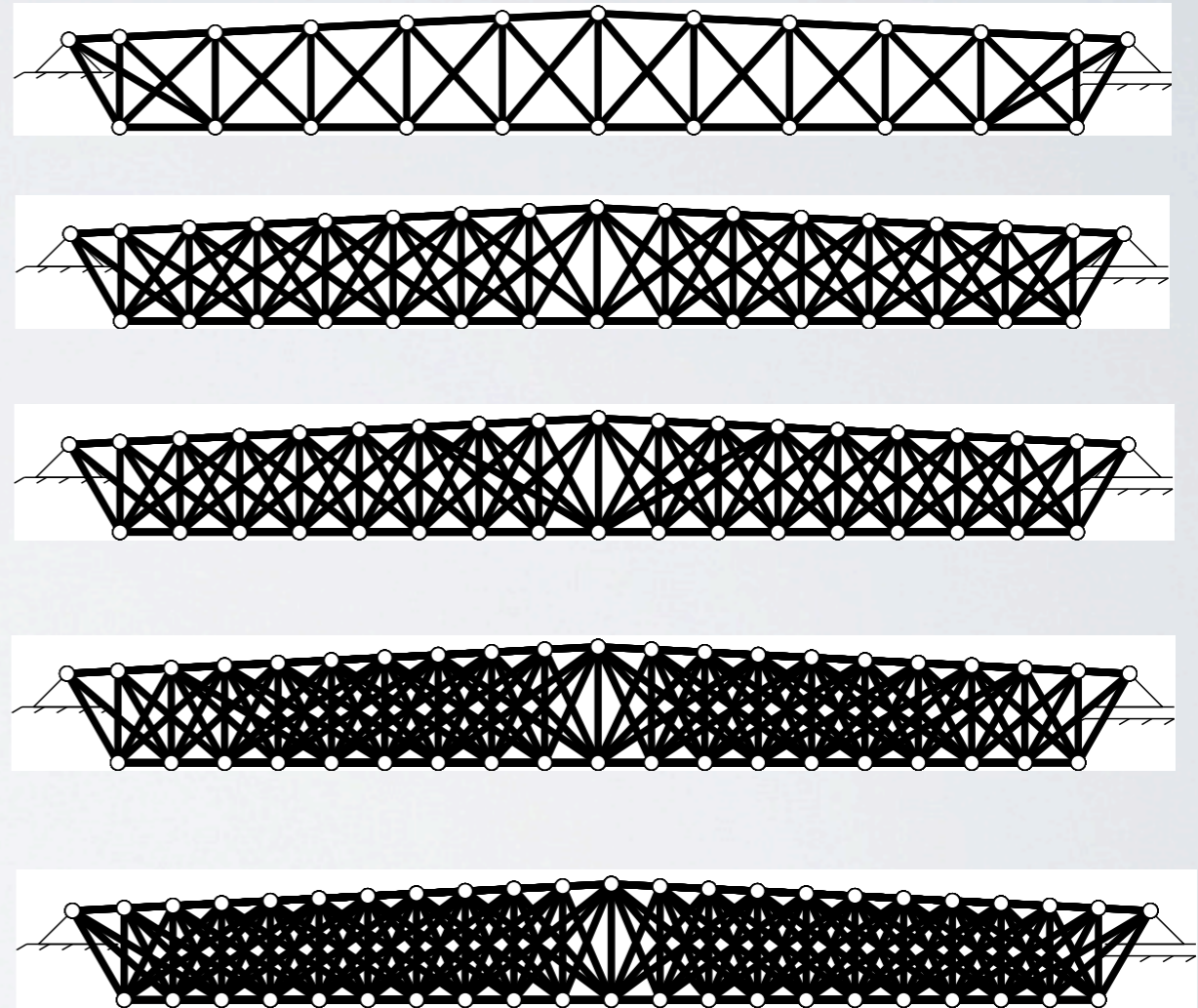
KATTORISTIKKO: OPTIMOINTI

- Valittavissa 40 neliöputkiprofiilia
- Paarresauvat samaa profiilia
- Symmetrinen ratkaisu
- Kustannusten laskenta perustuu Haapion (2012) kehittämään malliin.

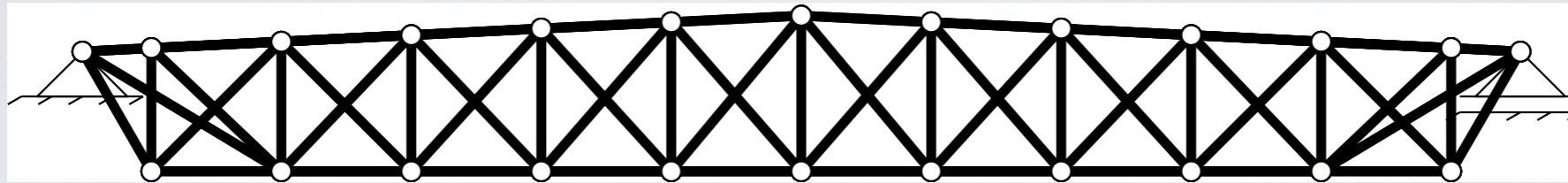


KATTORISTIKKO: LASKENTA

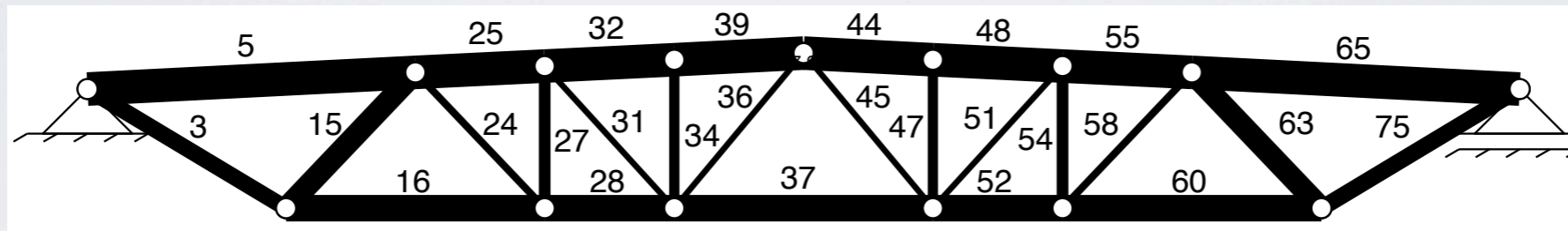
- Optimointiohjelmisto: Gurobi 5.0.
- Käytössä pöytäkone (32 GB keskusmuistia, 8 laskentayksikköä)
- Kullekin tehtävälle 6 tai 8 tuntia laskenta-aikaa.



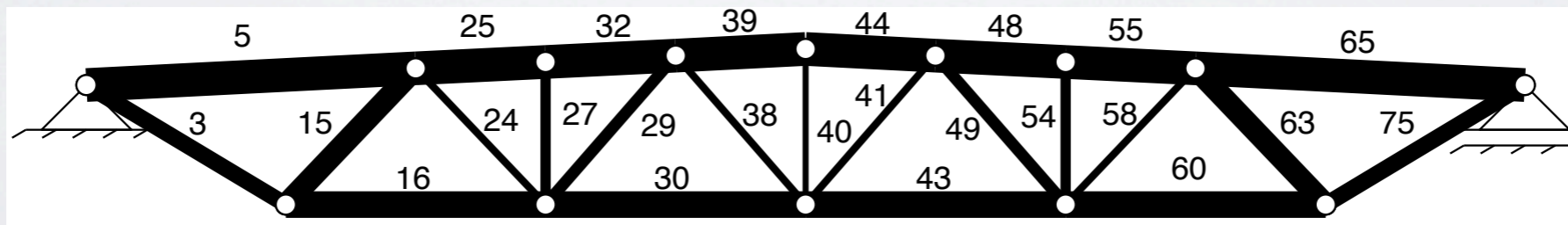
KATTORISTIKKO:TULOKSET



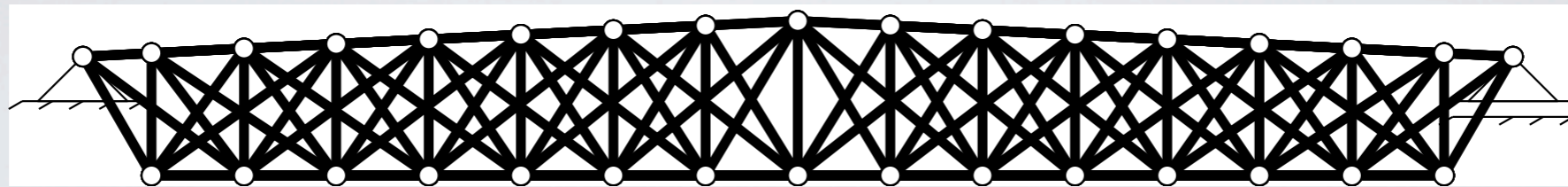
Minimipaino: 1034.89 kg (kustannukset 1227.92 €)



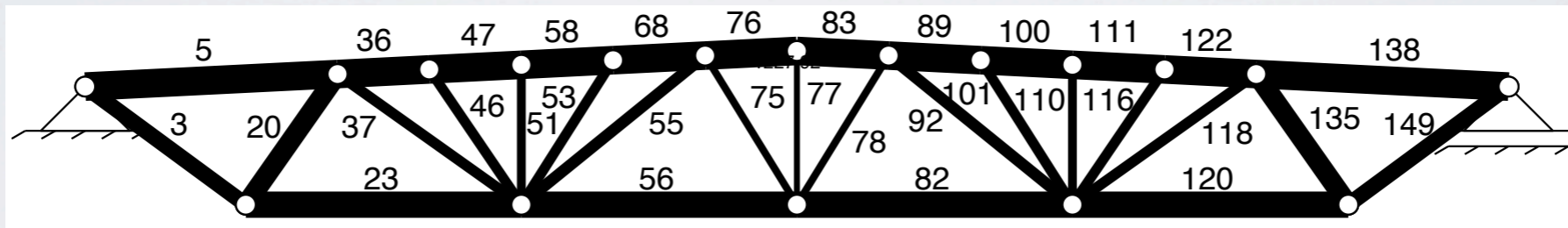
Minimikustannukset: 1225.23 € (paino 1041.80 kg)



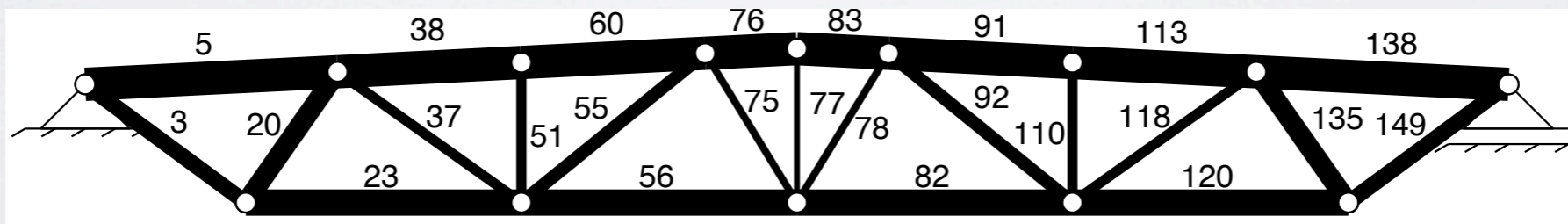
KATTORISTIKKO:TULOKSET



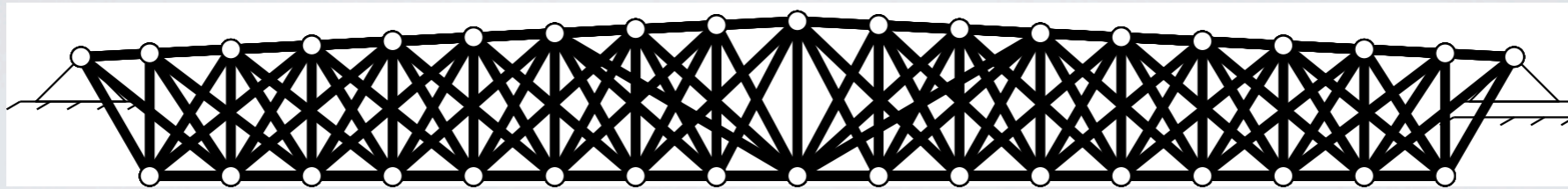
Minimipaino: 1037.68 kg (kustannukset 1281.16 €)



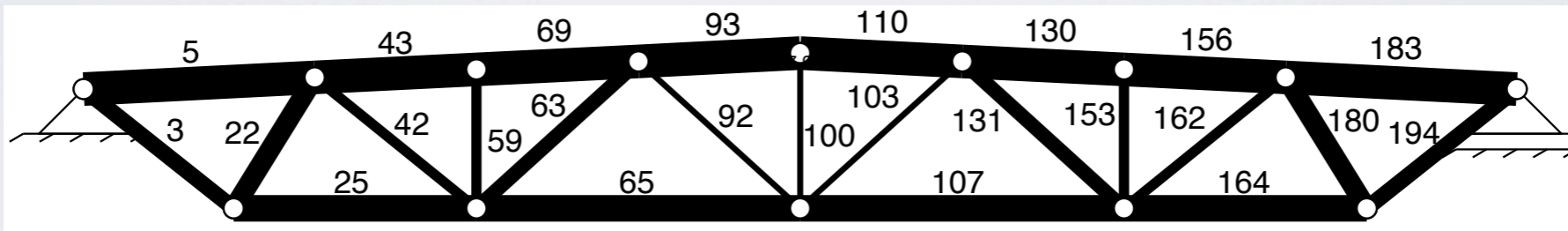
Minimikustannukset: 1248.82 € (paino 1064.35 kg)



KATTORISTIKKO:TULOKSET

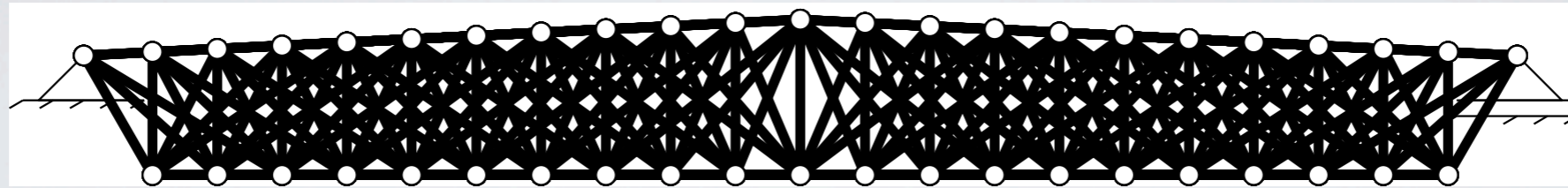


Minimipaino: 1061.15 kg (kustannukset 1243.13 €)

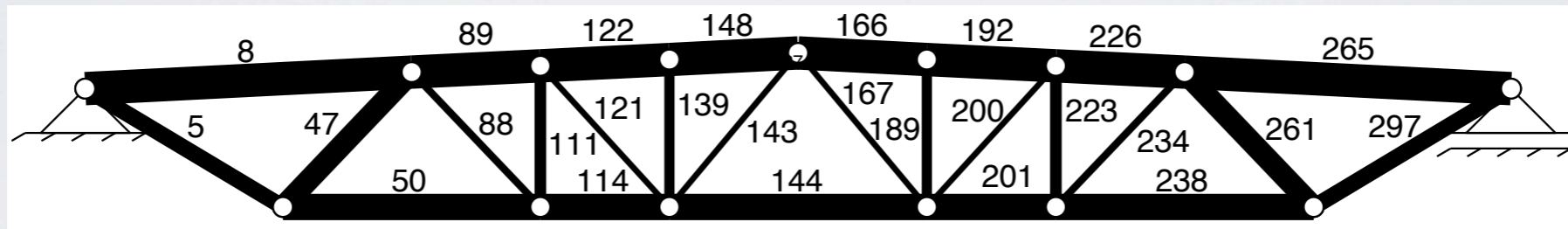


Minimipainorakenne on myös halvin!

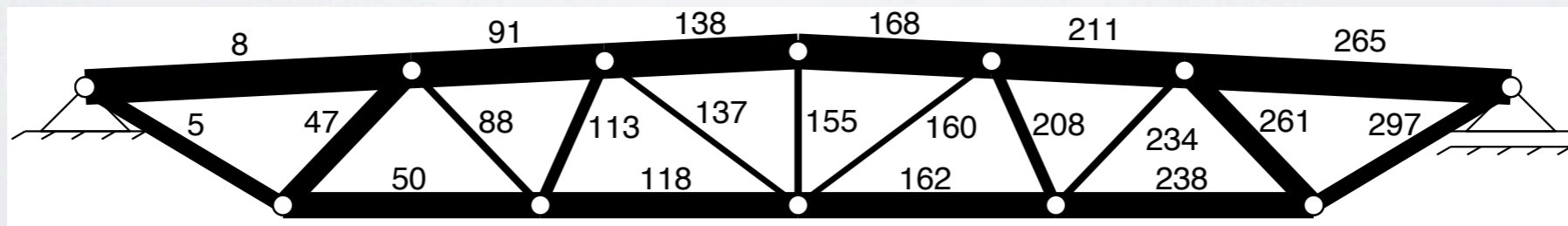
KATTORISTIKKO:TULOKSET



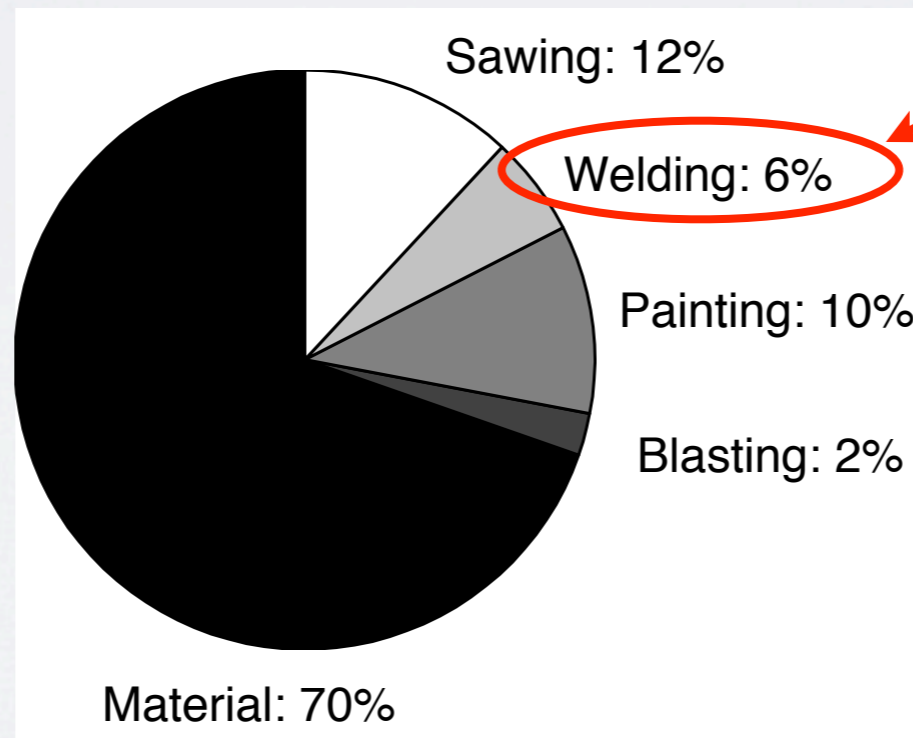
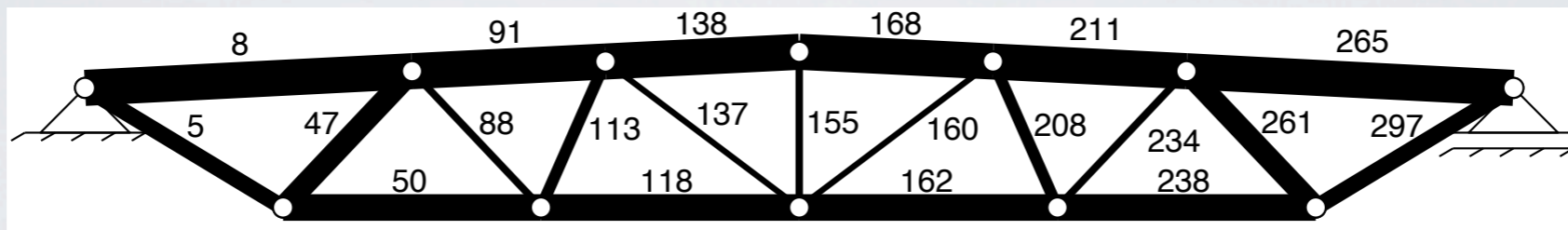
Minimipaino: 1034.89 kg (kustannukset 227.92 €)



Minimikustannukset: 202.29 € (paino 1046.82 kg)



KATTORISTIKKO: KUSTANNUSRAKENNE



Liian pieni?

YHTEENVETO

- Optimoinnin avulla suunnittelutyö automatisoituu tehokkaasti.
- Ristikoiden optimointi: mitoitus, geometria ja topologia
- Topologian optimointi antaa suunnittelijalle mahdollisuuden löytää tehokkain sauvoittelu sekä kokonaan uusia konsepteja.
- Optimoinnin käyttöönotto:
 1. Teoria ja menetelmät
 2. Algoritmipakettien hankinta
 3. Optimointimenetelmien liittäminen analyysiohjelmaan