

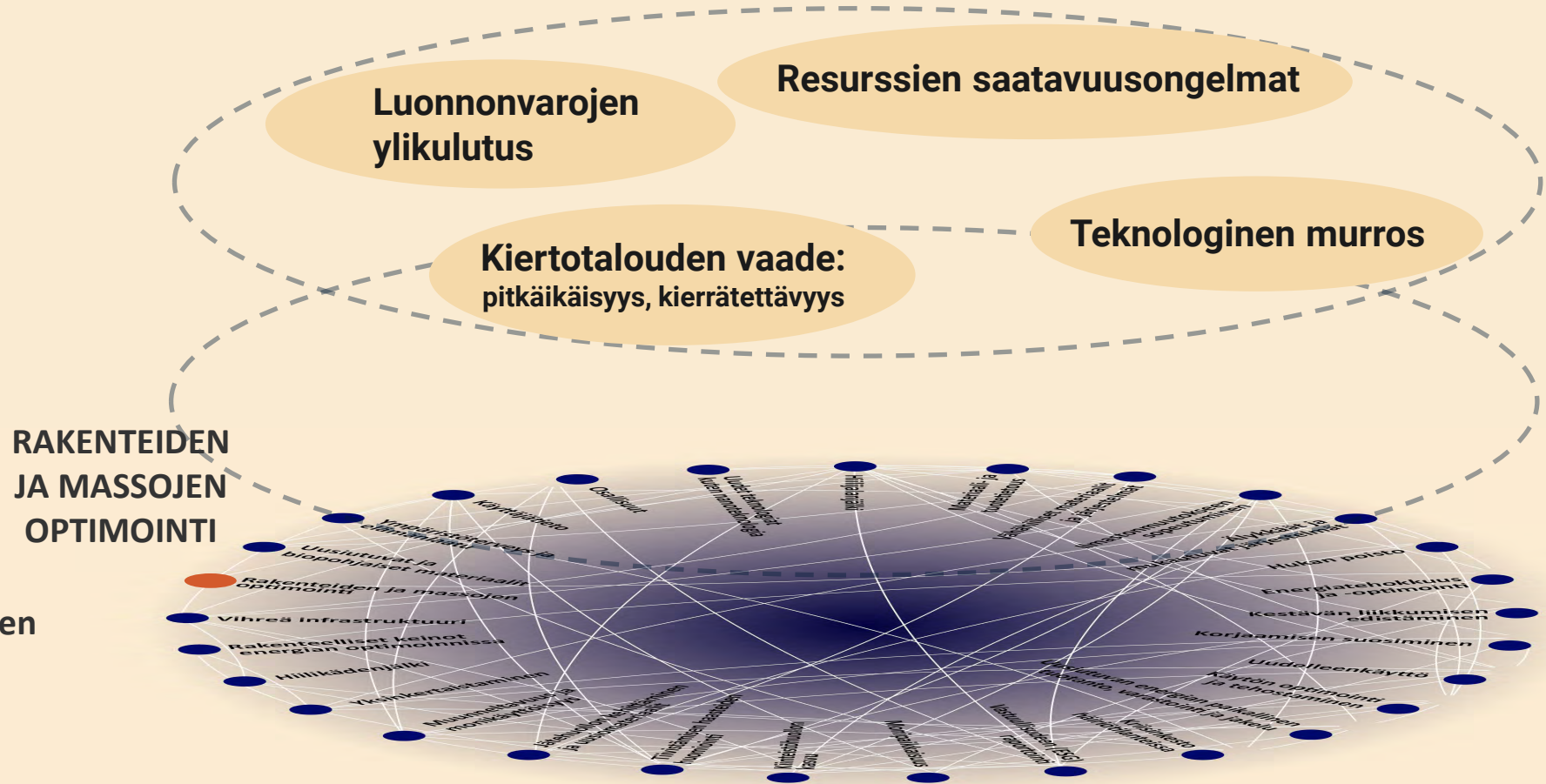
RTS
ILMIÖFESTARIT

ELINKAARILAADUKAS RAKENNETTU YMPÄRISTÖ ON

Materiaali- ja rakenneratkaisuiltaan resurssiviisas

Tutkimuspuheenvuoro:
TkT Kristo Mela, apulaisprofessori
Tampereen yliopisto

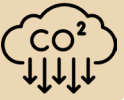
3 Uudenlaisten ratkaisujen kehittämistoiminta



Muutossuuntaan liittyviä ilmiötä



Materiaali- ja tuotetietoutta tarvitaan **resurssitehokkuuden** ja **kestävyyden** edistämiseksi.



Vähähiilisten materiaalien ja järjestelmien kehitys tulee tehdä **kokonaisvaikutukset** huomioiden: Samalla kun meidän pitäisi siirtyä vähähiilisiin materiaaleihin, niin vaadimme kuitenkin yhä enemmän rakenteilta ja suunnittelemme yhä monimutkaisempia rakenteita.



Hyvin **tunnetut, toimintavarmat** sekä **yksinkertaiset rakenneratkaisut ja järjestelmät**, kiinnostavat yhä laajemmin.



Hukan vähentäminen nähdään osana resursseja säästävää rakentamista.



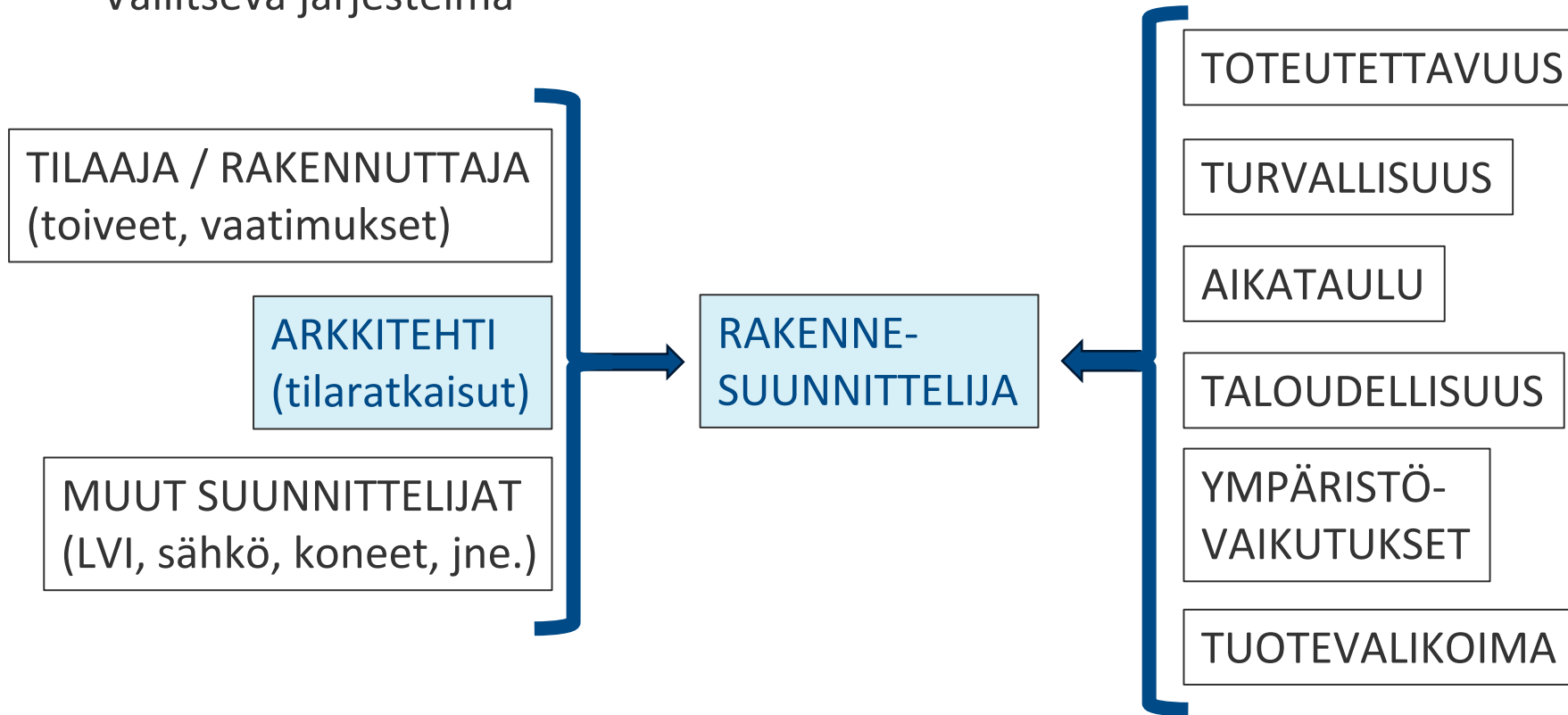
Näkyvissä on **luonnonmukaisten materiaalien** kehityksen aalto: biotaloudesta ratkaisuja rakentamiseen.



Resurssitehokkuuden edistämiseksi **rakenteiden ja massojen optimointi** on tarpeen.

Rakenteiden ja massojen optimointi

– Vallitseva järjestelmä



1. **Rakennesuunnittelijalla** ja **arkkitehdillä** on avaimet rakenteiden ja massojen optimointiin.

2. Lakien ja määräysten sekä hankkeen käytännön vaatimukset asettavat optimoinnin raamit.

3. Optimointi-mahdollisuudet ovat suunnittelijan osaamisen ja käytettävissä olevien työkalujen varassa.

Miksi suunnittelijan pitäisi pyrkiä parhaimpaansa?

Rakenteiden ja massojen optimointi

– Vallitseva järjestelmä

- Käytettävissä olevien resurssien (aika, raha, osaaminen) puitteissa tehdään
 - a) Toimiva rakenne
 - b) Kilpailijoita parempi rakenne
 - c) Paras mahdollinen rakenne
- Pyrkimys parempaan ja kohti parasta pitäisi olla insinöörillä sisäänrakennettu ominaisuus.
 - Näissä pyrkimyksissä voidaan käyttää kaikkia mahdollisia apuvälineitä
 - *Matemaattinen optimointiteoria* tarjoaa voimakkaan työkalun suunnittelu- ja kehitystyön tueksi.

Rakenteiden ja massojen optimointi

– Insinöörin näkökulma

- Optimointi tarkoittaa materiaalimenekin pienentämistä.
- Materiaalin määrään vaikuttavat
 - Rakennejärjestelmä
 - Rakenneosat ja niiden materiaalit
 - Detaljit (liitokset, varusteluosat)
- Suunnittelija tekee ratkaisunsa ammattitaitonsa ja tuntemiensa tuotevaihtoehtojen perusteella.
- Parempaa ratkaisua haetaan kokeilemalla eri vaihtoehtoja.



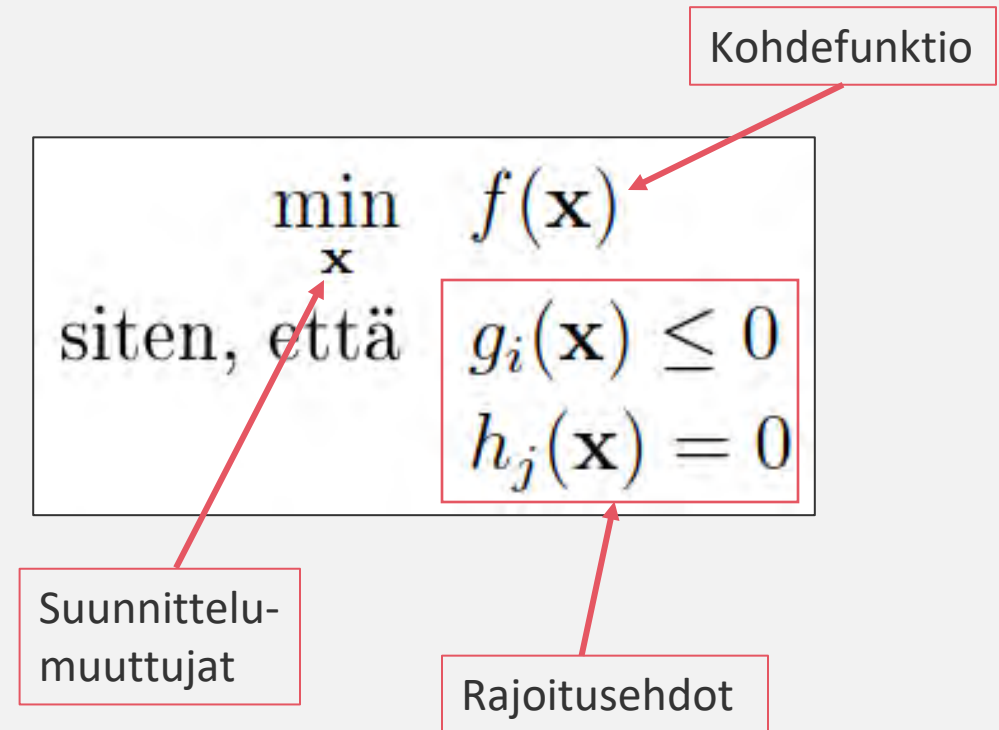
Kuva: Modern times (1936), United Artists

Mitä optimointi on ?

– Tutkijan näkökulma

- *Parhaan* ratkaisun *systemaattista* etsintää.
- Suunnittelutehtävä esitetään *matemaattisena optimointiongelmana*.
- Parasta ratkaisua etsitään ratkaisemalla formuloitu optimointitehtävä sopivien *algoritmien* avulla.
- Muutaman vaihtoehdon vertailu tai ratkaisun parantelu käsin *EI* ole optimointia.
- Optimointitehtävän formulointi määrittää täysin, miltä optimiratkaisu näyttää!

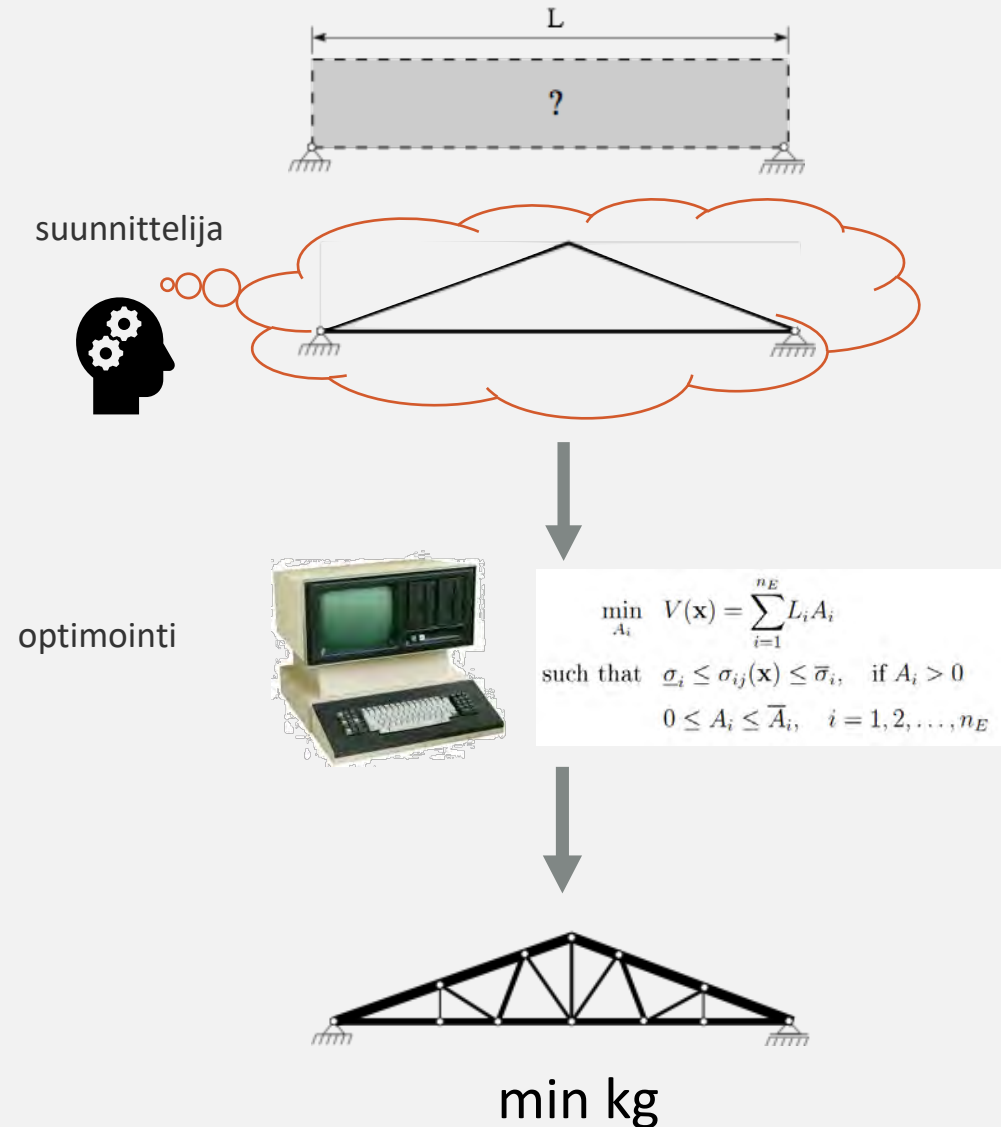
YLEINEN OPTIMOINTITEHTÄVÄ:



Optimoinnin hyödyt

- › Suunnitteluprosessi *automatisoituu*.
- › Lisää aikaa insinööryölle (luovuudelle), kun *rutinitehtäviin kuuluva aika vähenee*.
- › Monimutkainen tehtävä saadaan paketoitua *yhdeksi kokonaisuudeksi*.
- › Eri osapuolilta tulevat vaatimukset saadaan otettua samanaikaisesti huomioon.
- › Löydetään ratkaisuja intuition ulkopuolelta.

OPTIMOINTIPROSESSI:



Algoritmiavusteinen suunnittelu

– Optimoinnin tuki vai vaihtoehto?

- Ohjelmoidaan jokin suunnittelun osa-alue tietokoneelle käyttäjän määrittämän logiikan (algoritmin) mukaisesti.
- Rakenne parametrisoidaan, jolloin useiden eri vaihtoehtojen tutkiminen nopeutuu.
- Ei edellytä optimointia, mutta optimointia voidaan hyödyntää suunnitteluavaruuden tutkimisessa.
- Saatavilla on käyttökelpoisia visuaalisen ohjelmoinnin työkaluja, joissa on mm. vahvoja geometrian muokkaamisen operaatioita sekä valmiita linkkejä simulointi- ja mallinnusohjelmistoihin.

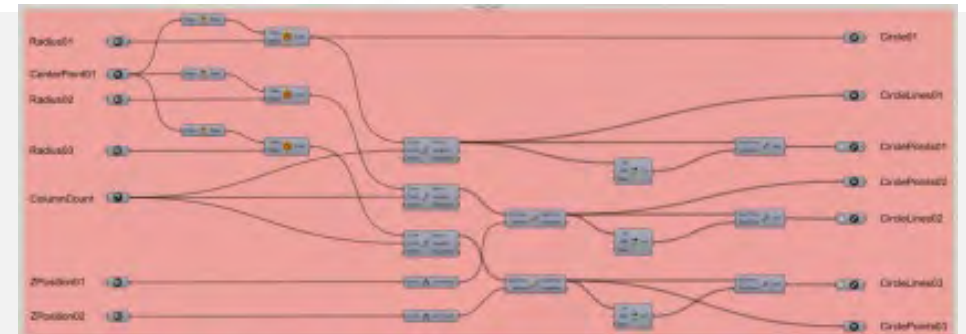
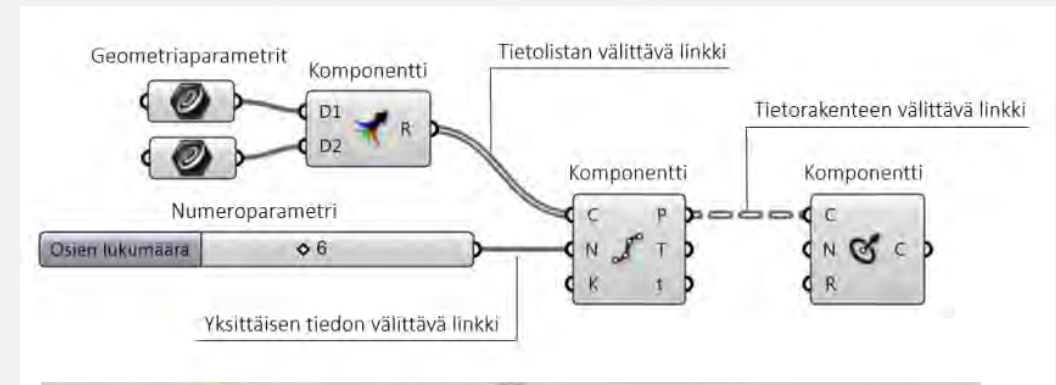
RHINOCEROS 3D



GRASSHOPPER



PYTHON



Kuvat: Karjalainen, P. (2018): *Kantavien rakenteiden algoritmiavusteisen rakennesuunnitteluprosessin kehittäminen*. Diplomityö, Tampereen teknillinen yliopisto.

Optimointi arkikäytössä

Jokainen
suunnittelutehtävä
on
optimointitehtävä

- Lähtökohta: jos rakenne voidaan analysoida, se voidaan myös optimoida.
- Optimoinnin moninaiset mahdollisuudet:
 - Tarjousvaiheen työkalu
 - Tuotekonfiguraattori
 - Koko rakenteen optimointi
 - Yksittäisen komponentin optimointi
 - Tuotannon ja logistiikan optimointi

Optimointi arkikäytössä

– Edellytykset

- **Optimointiteorian** osaaminen: kyky muodostaa ja ratkaista erilaisia optimointitehtäviä
- **Ohjelmointiosaaminen**: optimointialgoritmit on liitettävä suunnitteluohjelmistoihin, eri ohjelmat on saatava keskustelemaan keskenään
- **Suunnitteluprosessin järjestäminen optimoinnille**: mitä varhaisemmassa suunnittelun vaiheessa päästään soveltamaan optimointia, sitä suuremmat hyödyt on saavutettavissa

Avainvaatimus:

Suunnittelu, mallinnus ja simulointi/analysointi on saatava saumattomaan vuoropuheluun.

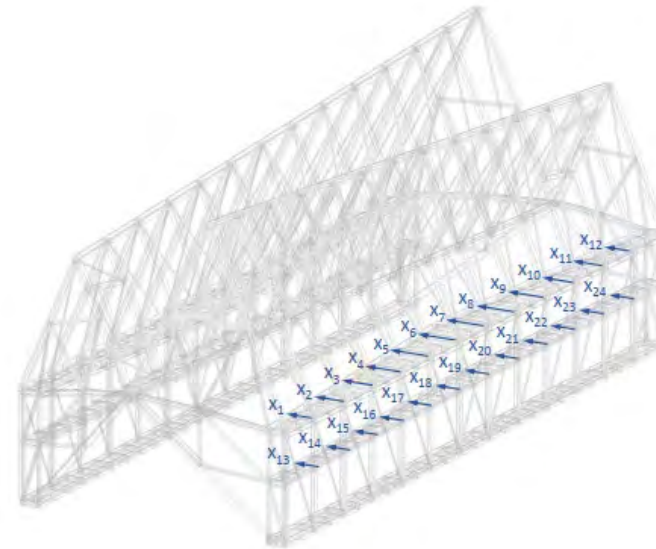
RAKENTEIDEN JA MASSOJEN OPTIMOINTI - ESIMERKKEJÄ



Kuva: Skidmore, Owings & Merrill LLP

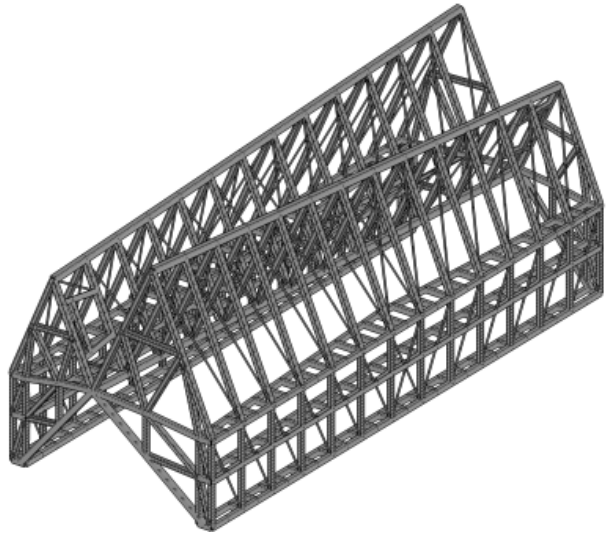
Teräsrungon optimointi*

- Minimoidaan Ghentissä, Belgiassa, sijaitsevan kauppahallin rungon teräsrakenteiden massaa.
- Suunnittelumuuttujiksi valitaan 13 sauvaryhmän poikkileikkaus sekä eräiden rakenteiden muotoa säätelevät mitat.
- Rajoitusehtoina ovat teräsrakenteiden suunnittelustandardin (EN 1993) murto- ja käyttöraja-arvot.



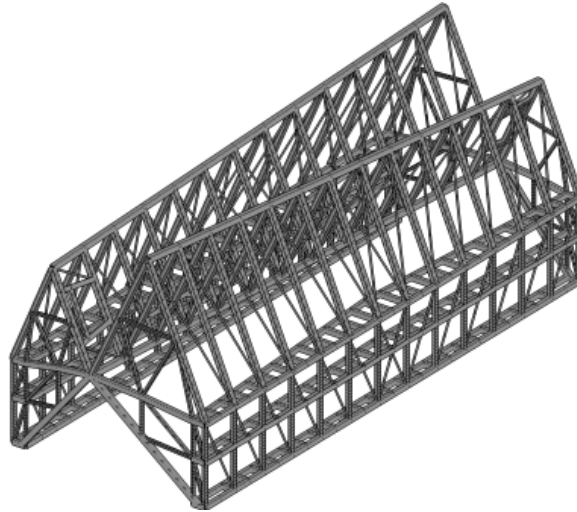
*Dillen, W. (2020). *Eurocode-compliant optimal design of steel structures*. Väitöskirja, KU Leuven, Belgia.

Teräsrungon optimointi*



Alkuperäinen rakenne

Massa: 226.6 tn

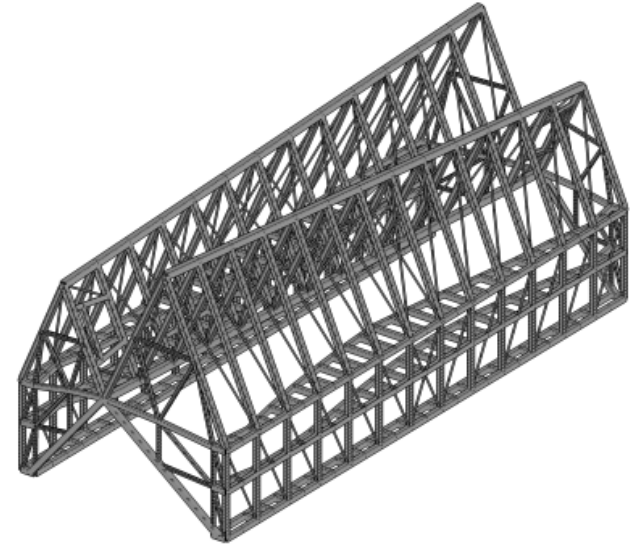


Optimoitu rakenne –

Menetelmä 1

Massa: 192.7 tn

Materiaalisäästö: 15%



Optimoitu rakenne –

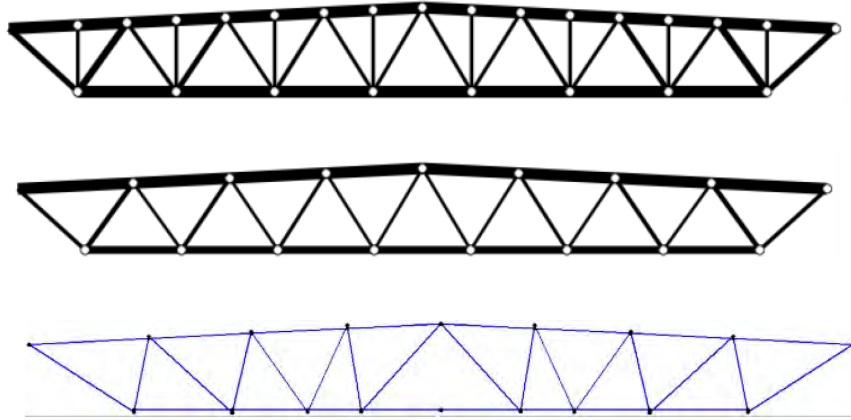
Menetelmä 2

Massa: 184.5 tn

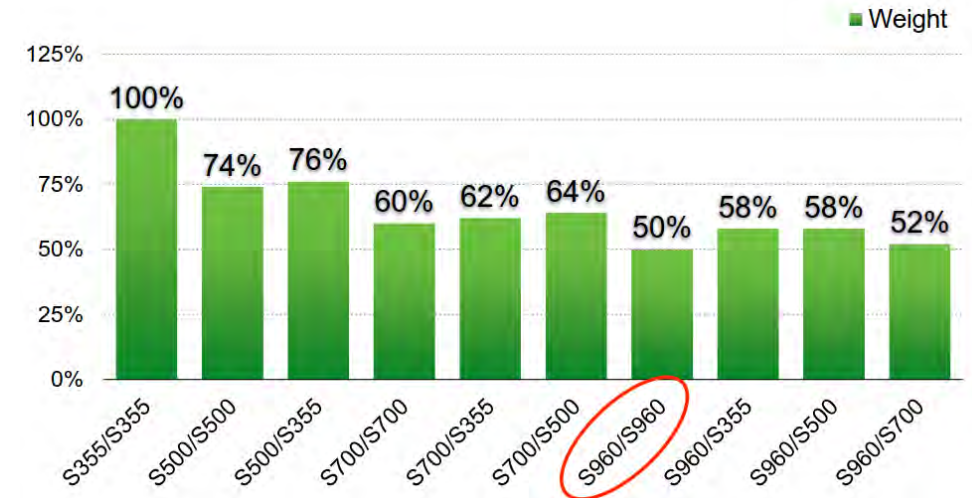
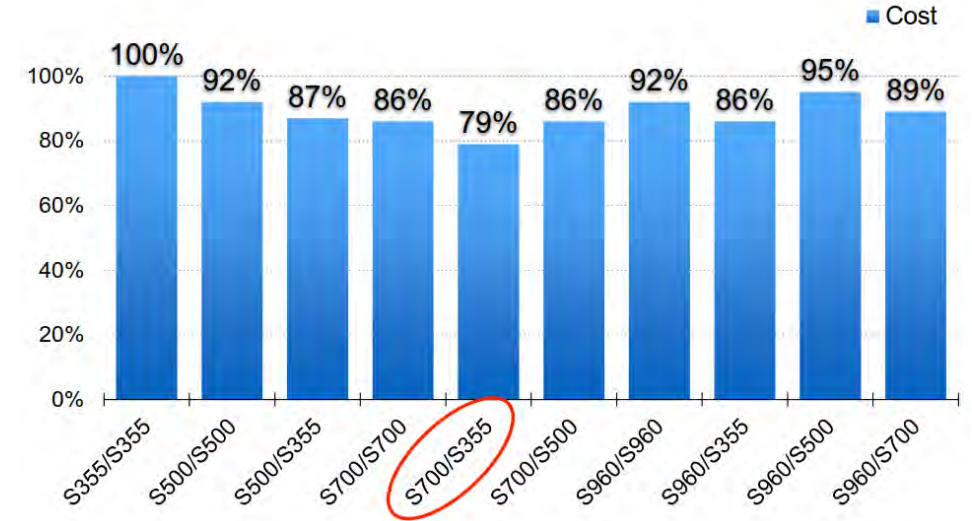
Materiaalisäästö: 19%

*Dillen, W. (2020). *Eurocode-compliant optimal design of steel structures*. Väitöskirja, KU Leuven, Belgia.

Korkealujuusteräs kattoristikoissa*



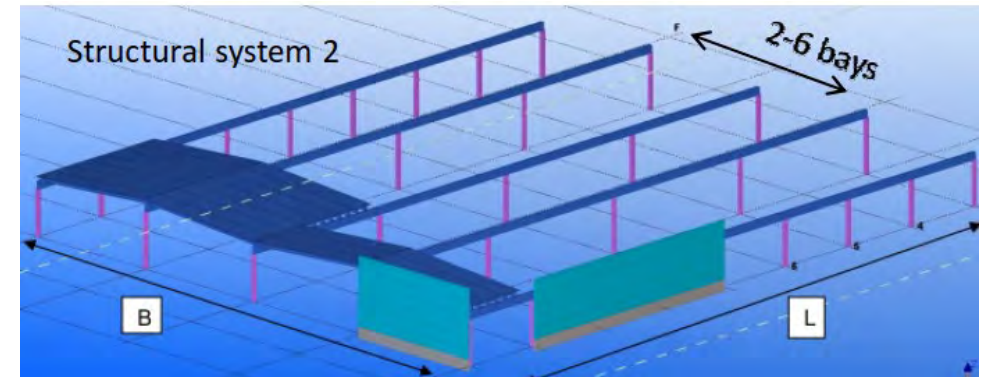
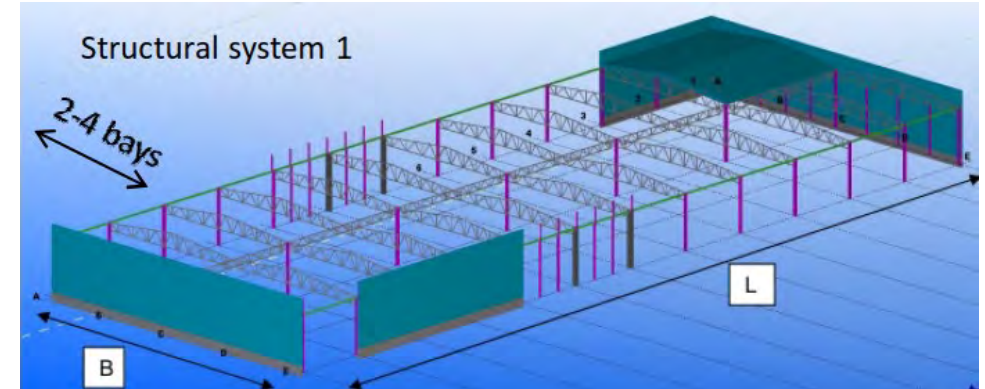
- Minimoidaan ristikon *painoa* ja *kokonaiskustannuksia*.
- Vaihdeltaan teräksen *lujuutta* paarteissa ja uumasauvoissa (S355, S500, S700, S960)
- Taloudellisin rakenne on *hybridi*, jossa käytetään eri materiaaleja.



*Tiainen T., Mela K., Jokinen T., ja Heinisuo M. *The effect of steel grade on weight and cost of Warren-type welded tubular trusses*. Structures and Buildings, 170:854–872, 2017.

Rakennuksen optimointi

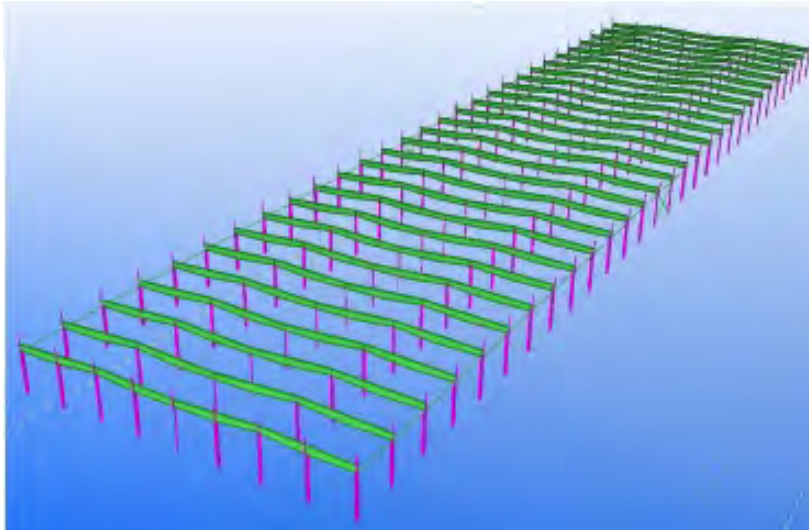
- Optimoidaan *samanaikaisesti*
 1. Rakentamiskustannukset
 2. Vuotuinen energiankulutus
 3. Hiilijalanjälki
 4. Asiakkaan toive vapaasta tilasta
- Kaksi rakennejärjestelmää, sisältävät teräs-, puu- ja betonirakenteita



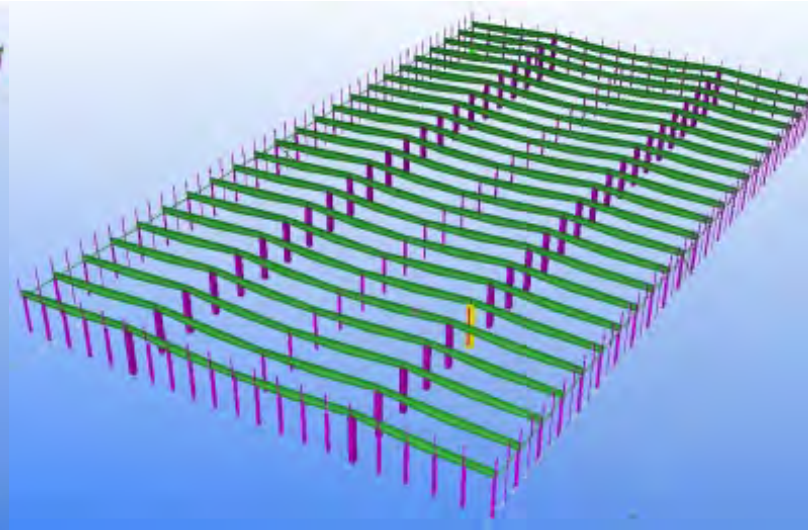
MORA-projekti (2010-2012, Rahoittaja: Tekes, Tekijät: Salminen M., Tiainen T., Mela K., Laasonen M., Heinisuo M.)

Rakennuksen optimointi

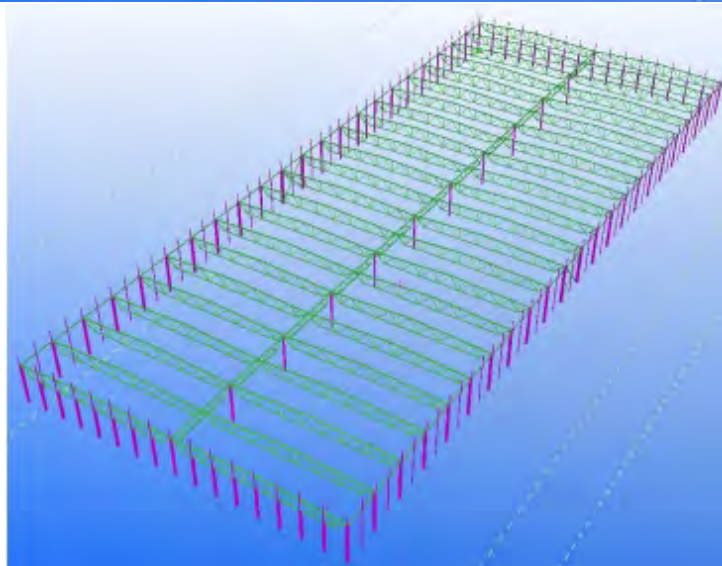
halvin



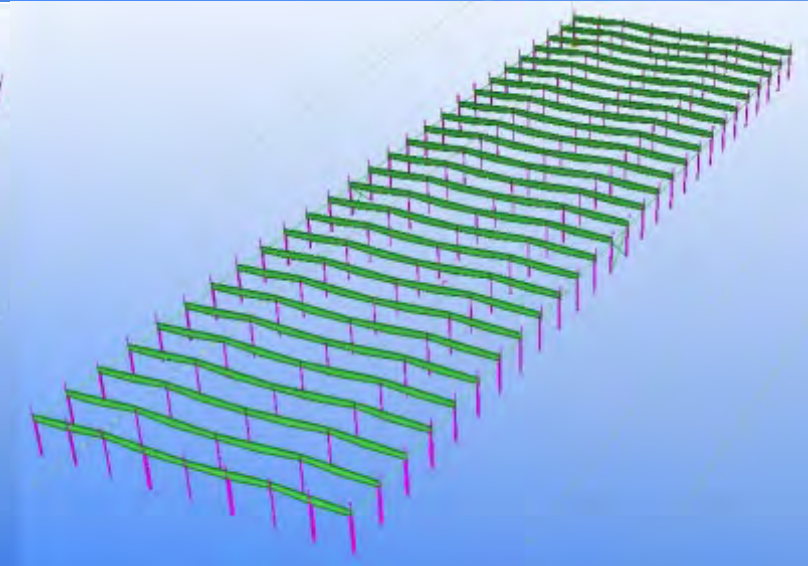
energian-
kulutuksen
minimi



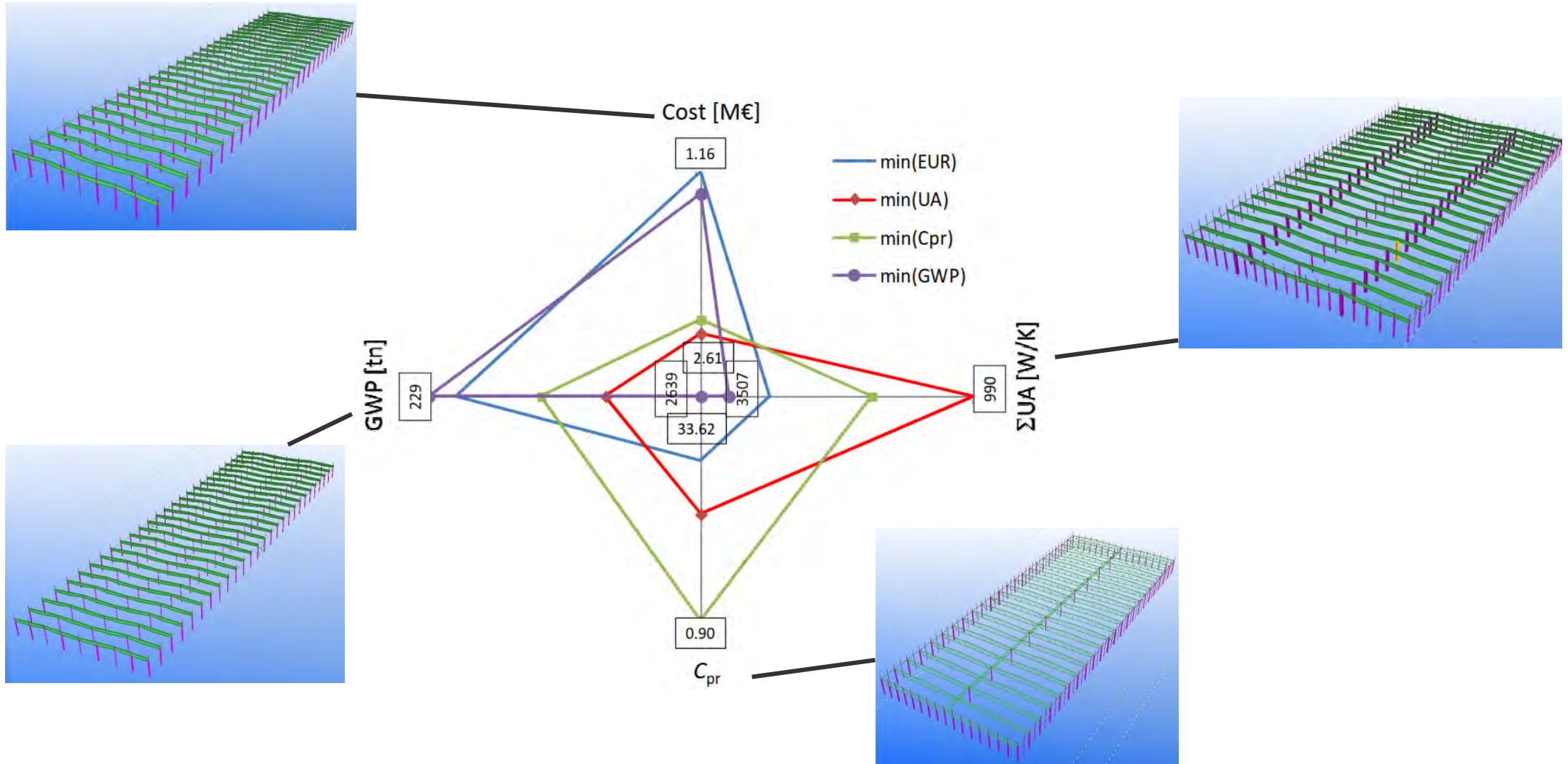
vapaa tila
maksimoitu



pienin
hiilijalanjälki

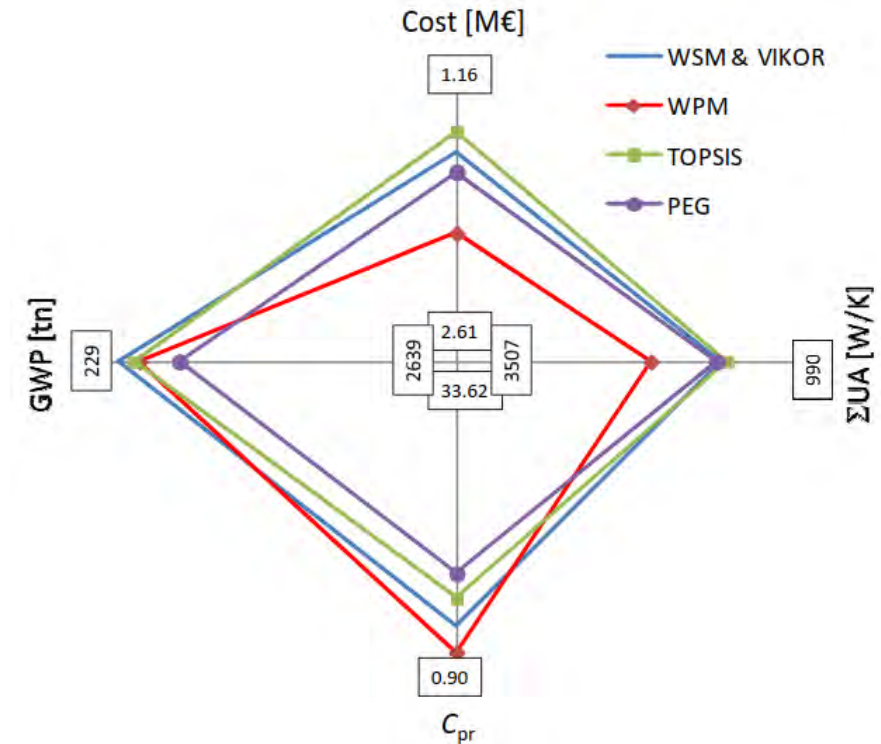


Rakennuksen optimointi



Rakennuksen optimointi

- Etsitään *kompromissia*, jossa eri kriteerejä painotetaan tasaisesti.
- Käytetään *monitavoitteisen päätöksenteon* menetelmiä.
- Lasketuista Pareto-optimeista seulotaan tasapainoiset ratkaisut.



Toimijat optimoinnissa

- **Rakennesuunnittelija:** etsii optimiratkaisun.
- **Arkkitehti:** tarjoaa rakennesuunnittelijalle optimoinnin raamit.
- **Rakennuttaja:** kytkee suunnittelijat ja optimoinnin hankekokonaisuuteen ja tarjoaa kannustimia optimoinnille.
- **Tuotevalmistajat:** soveltavat optimointia tuotekehityksessään ja tarjoavat optimointia mitoitus työkaluissaan
- **Ohjelmistokehittäjät:** toteuttavat optimointityökalut.

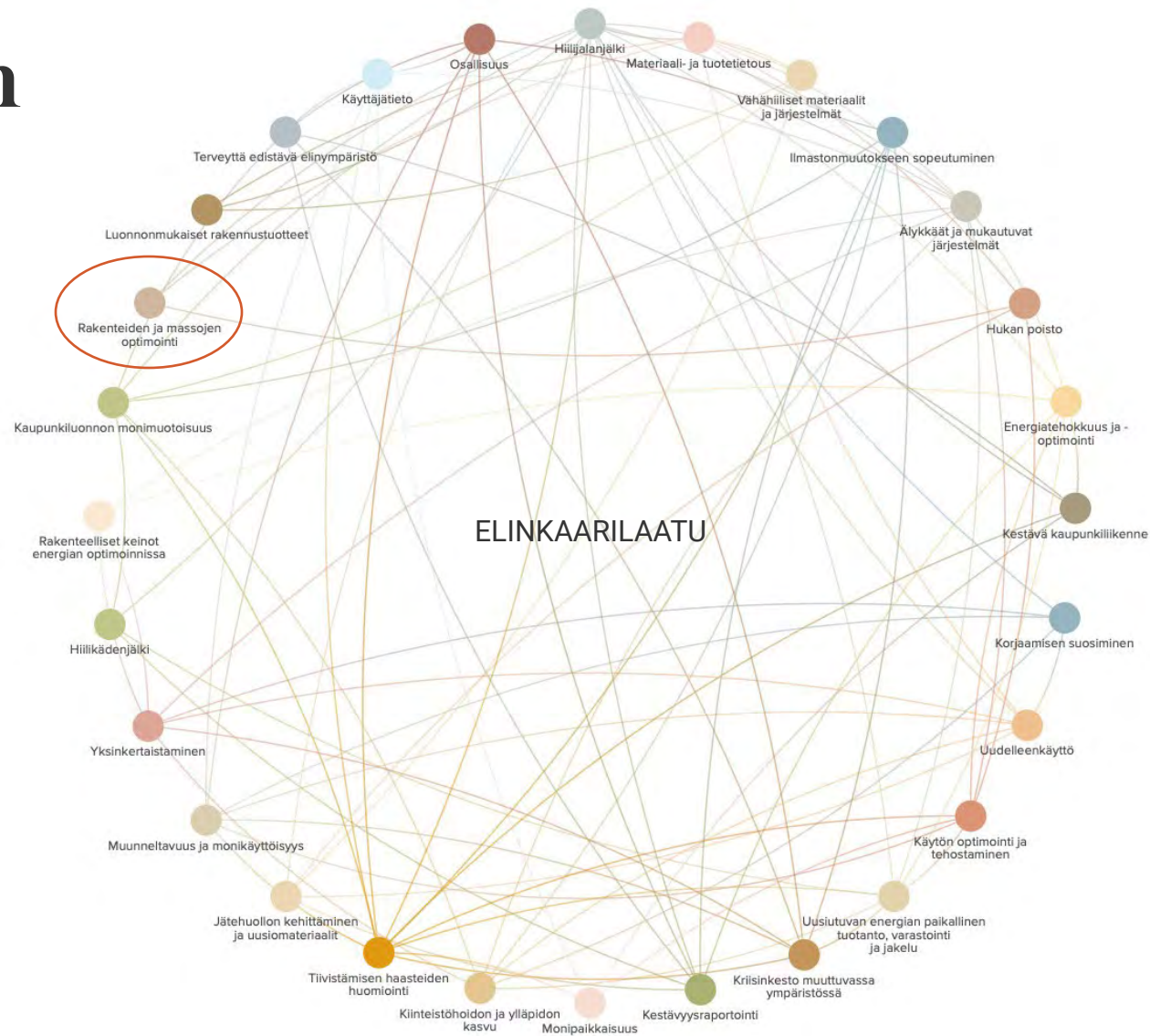
Optimointi ja muutosilmiöt

- **Hiilijalanjälki:** massan minimointi on pitkälti suoraan verrannollinen rungon hiilijalanjälkeen. Monitavoiteoptimointi valottaa hiilijalanjäljen minimoinnin suhdetta muihin kriteereihin.
- **Hukan poisto:** optimointitehtävään voidaan kytkeä materiaalihukkaa ja turhia työvaiheita vähentäviä ominaisuuksia.
- **Materiaali- ja tuotetietous:** optimointi mahdollistaa tehokkaat materiaali- ja tuotevertailut. Lisäksi nähdään tuotteiden vaikutus kokonaisuuteen.
- **Rakenteelliset keinot energian optimoinnissa:**
(Monitavoite)optimoinnin avulla rakennuksen energiaratkaisujen ja ympäristövaikutusten suhde saadaan näkyväksi.

Linkittyminen

OSAAMISEN
PARANTAMINEN

MONIALAISEN
YHTEISTYÖN
PARANTAMINEN



HANKE- JA LIIKETOIMINTA-
MALLIEN PARANTAMINEN

DIGITAALISTEN RATKAISUJEN
JA TEKÖÄLYN HYÖDYNTÄMISEN
PARANTAMINEN

TUOTTAVUUDEN PARANTAMINEN