

# Suoran mitoitusmenetelmän vertailu perinteiseen mitoitusmenetelmään

Teräsrakentamisen T&K –päivät 24.-25.8.2023

Henna Hietikko-Kaukola, Kristo Mela

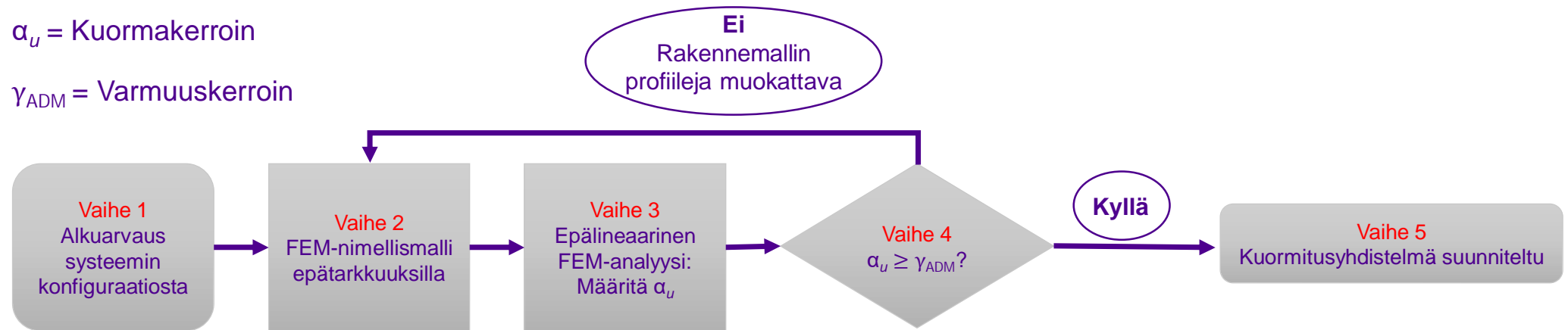
# Sisältö

- Miten suoraa mitoitusmenetelmää (Direct Design Method, DDM) käytetään?
- Miten DDM:llä mitoitettu kehä eroaa perinteisellä mitoitusmenetelmällä mitoitetusta kehästä?
- Millainen massasäästö voidaan saavuttaa DDM:n käytöllä perinteiseen mitoitusmenetelmään verrattuna?

# Suunnittelu DDM:llä – Prosessi pähkinänkuoressa

$\alpha_u$  = Kuormakerroin

$\gamma_{ADM}$  = Varmuuskerroin



# Case-kehä

## • Geometria

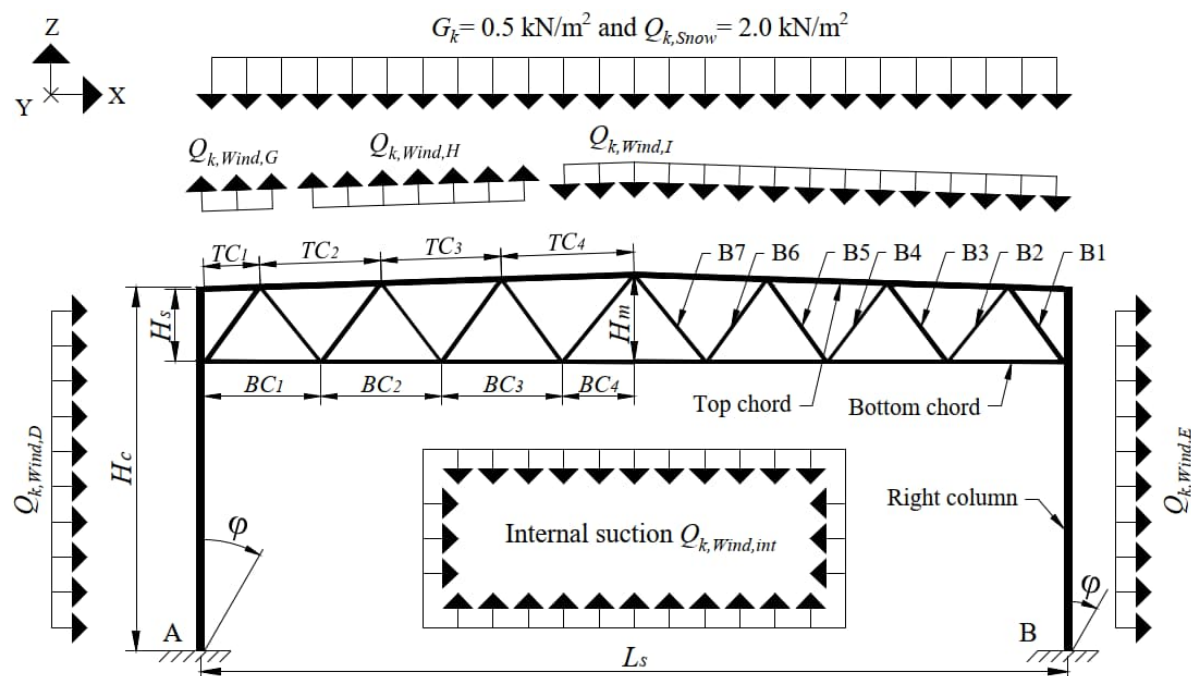
- Pilarien korkeus  $H_c = 9$  m
- Jänneväli  $L_s = 28$  m
- Kattokaltevuus 1:30
- Ristikon korkeus
  - Harjalla  $H_m = 2,8$  m
  - Tuella  $H_s = 2,3$  m

## • Tuennat ja vapausasteet

- Pilareiden liitokset perustuksiin jäykät
- Paarteiden liitokset pilareihin ja uumasauvoihin nivelet
- Yläpaarre tuettu tasosta poispäin

## • Kuormat

- Omapaino
- Pysyvät kuormat  $G_k = 0,5$  kN/m<sup>2</sup>
- Lumikuorma  $Q_{k,snow} = 2$  kN/m<sup>2</sup>
- Tuulikuorma  $Q_{k,wind} = 0,64$  kN/m<sup>2</sup>



Kuva: [2]

Kuormien mitoitusarvot standardin EN 1990 A1 +AC kaavan 6.10 mukaan

$$\gamma_G \cdot G_k + \gamma_{Q,L} \cdot Q_{k,L} + \gamma_{Q,A} \cdot \psi_{0,A} \cdot Q_{k,A} \quad [2]$$

# Case-kehän suunnitteluperusteet

- Kehien mitoitus neljälle kuormitusyhdistelmälle

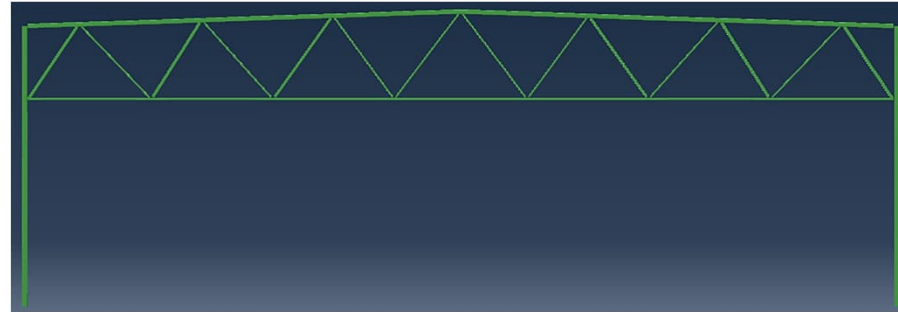
- $1,35 \cdot G_k + 1,5 \cdot Q_{k,snow}$
- $1,35 \cdot G_k + 1,5 \cdot Q_{k,snow} + 1,5 \cdot 0,6 \cdot Q_{wind}$
- $1,35 \cdot G_k + 1,5 \cdot Q_{k,wind}$
- $1,35 \cdot G_k + 1,5 \cdot Q_{k,wind} + 1,5 \cdot 0,7 \cdot Q_{snow}$

- Profiilit

- Neliö- ja suorakaideprofiilit
- Materiaali S700MH
- Poikkileikkausluokka PL1-2
- Sauvojen muunnettu hoikkuus  $\bar{\lambda} \leq 3.0$

- Keveimmät profiilit, jotka toteuttavat mitoituksen reunaehdot.

- Perinteisellä mitoituksella kehän sauvojen käyttöaste  $\leq 1.0$
- Suoralla mitoitusmenetelmällä rakennesysteemin kuormakerroin  $\alpha_u \geq \gamma_{ADM} = 1.15$  [2]



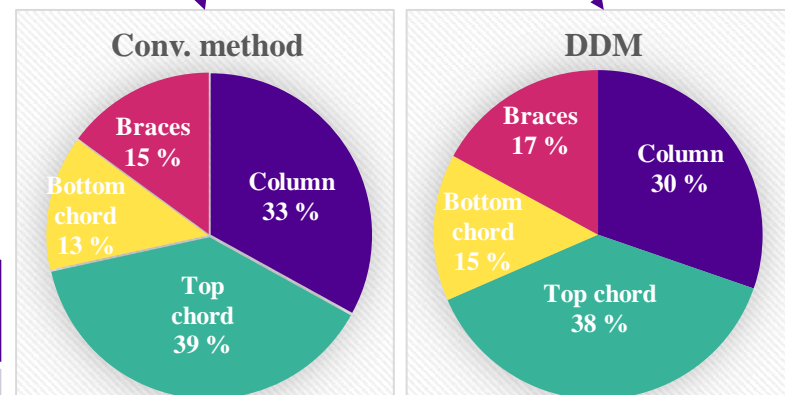
Perinteisessä mitoitusmenetelmässä:

- Pilareiden nurjahduspituudet pienimmän voiman suurennuskertoimen  $\alpha_{cr}$  mukaan.
- Uumasauvojen nurjahduspituus 75 % uumasauvojen pituudesta.
- Mitoituskuormat geometrisesti epälineaarista rakenneanalyyysistä huomioiden toisen kertaluvun vaikutukset.

# Mitoitustulokset

Sauva	Perinteinen mitoitusmenetelmä	Suora mitoitusmenetelmä	Massaero [%]
Pilari	200x200x8.8	180x120x8.0	-14,4
Yläpaarre	150x100x8.8	150x100x8.0	-7,7
Alapaarre	80x100x4.0	80x100x4.0	0,0
Uumasauva 1	100x100x5.0	100x100x5.0	0,0
Uumasauva 2	60x60x3.0	60x60x3.0	0,0
Uumasauva 3	100x100x4.0	100x100x4.0	0,0
Uumasauva 4	60x60x3.0	60x60x3.0	0,0
Uumasauva 5	80x80x3.0	90x90x4.0	+48,5
Uumasauva 6	60x60x3.0	60x60x3.0	0,0
Uumasauva 7	60x60x3.0	60x60x3.0	0,0
Kokonaismassa	2165 kg	2019 kg	-6,7

Rakeneosien massaosuudet kokonaismassasta



## Profiilierot puristetuissa rakeneosissa

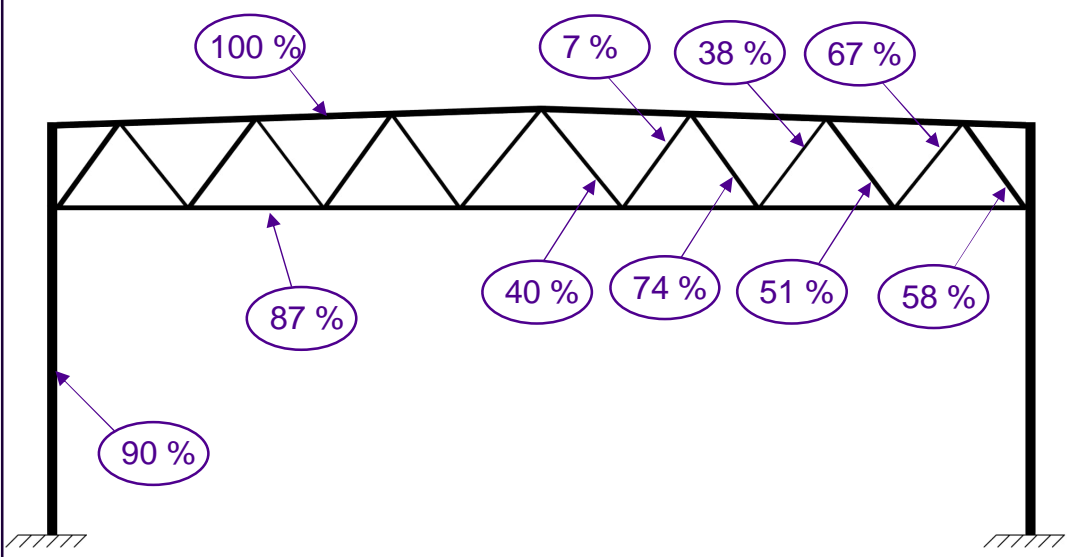
Suorassa mitoitusmenetelmässä nurjahduspituudet lasketaan tarkasti ja perinteisessä mitoitusmenetelmässä nurjahduspituudet ovat approksimaatioita.

- DDM:n käytöstä saatu **materiaalisäästö on pilareissa ja yläpaarteissa**, sillä nurjahduspituudet ovat pienempiä kuin perinteisen mitoitusmenetelmän approksimaatiot.
- Hitsausliitoksista johtuen perinteisessä mitoitusmenetelmässä uumasauvojen nurjahduspituus on 75 % sauvan pituudesta. DDM:ssä nurjahduspituudet on laskettu rakennemallin nivelliitosten mukaan, eikä hitsausliitosten jäykkyyttä ole huomioitu rakenneanalyysissä. → Suurempi yksittäinen uumasauva.

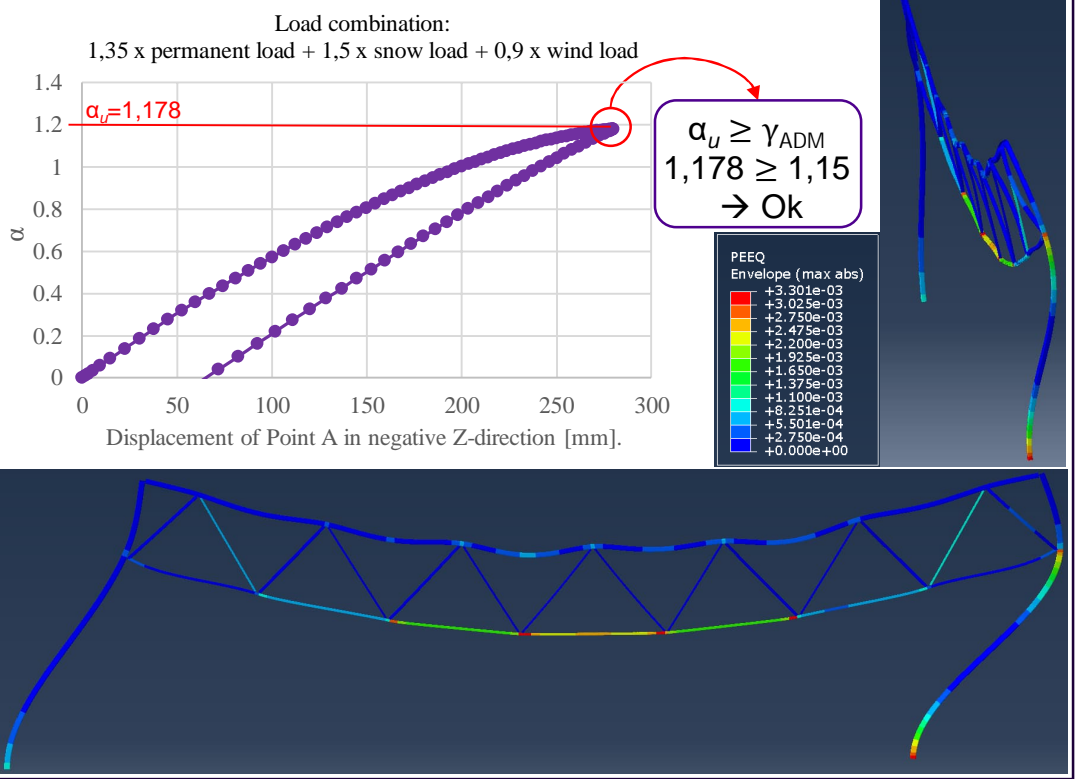
→ **Liitosten jäykkyys olisi huomioitava kehän rakenneanalyysissä suorassa mitoitusmenetelmässä!**

# Mitoitustulokset

Perinteinen mitoitusmenetelmä  
Sauvojen suurimmat käyttöasteet

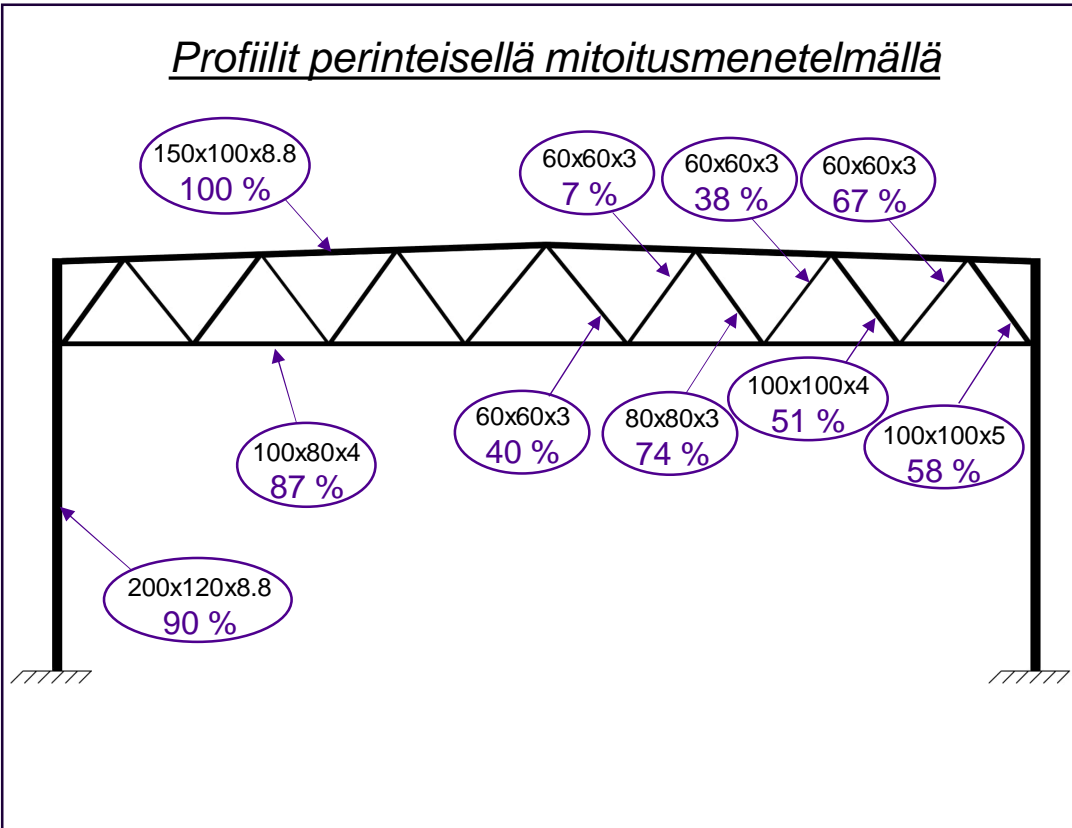


Suora mitoitusmenetelmä (DDM)  
Mitoittavan rakenteen vauriomuoto

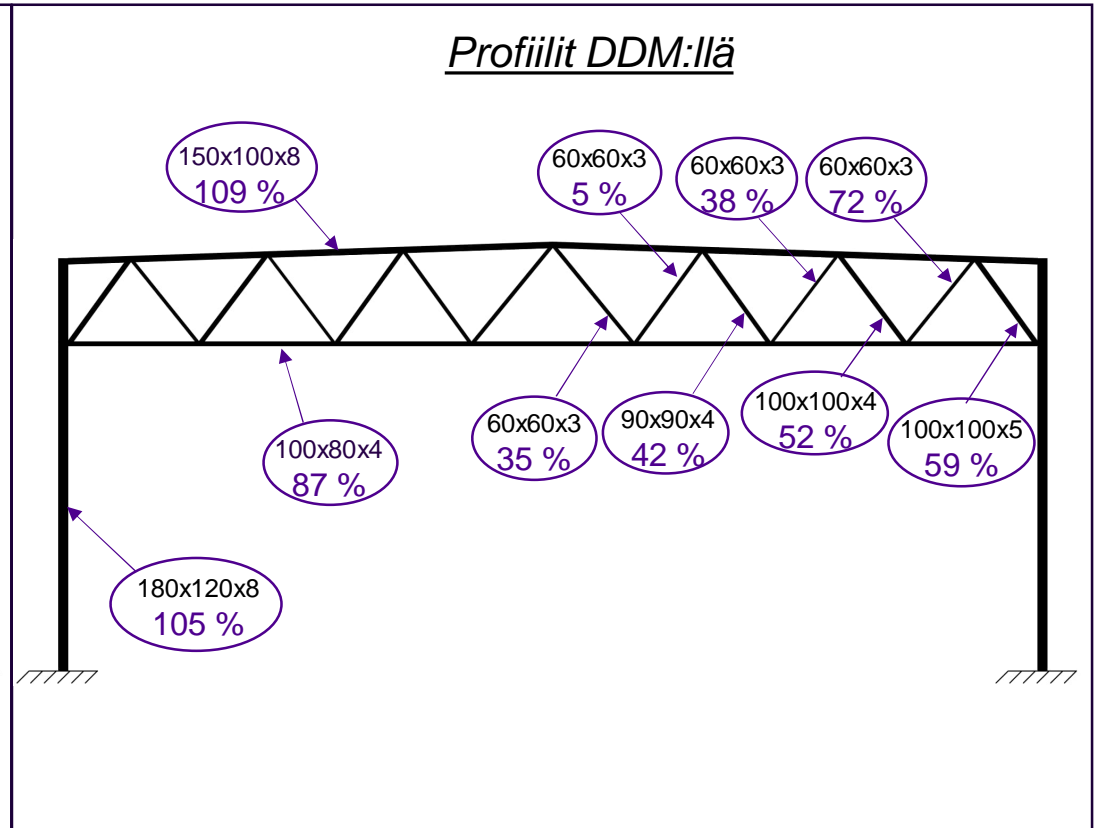


# Käyttöasteet perinteisellä mitoitusmenetelmällä

Profiilit perinteisellä mitoitusmenetelmällä



Profiilit DDM:llä





# Kehän massa jäykällä ristikon liitoksilla

Suora mitoitusmenetelmä			
Sauva	Ristikon liitokset		Massaero [%]
	Nivelet	Jäykät	
Pilari	180x120x8	180x120x8	0,0
Yläpaarre	150x100x8	150x100x7.1	-10,1
Alapaarre	80x100x4.0	50x90x5.0	-7,6
Uumasauva 1	100x100x5.0	80x80x4.0	-36,0
Uumasauva 2	60x60x3.0	60x60x3.0	0,0
Uumasauva 3	100x100x4.0	80x80x4.0	-21,2
Uumasauva 4	60x60x3.0	60x60x3.0	0,0
Uumasauva 5	90x90x4.0	60x60x5.0	-22,6
Uumasauva 6	60x60x3.0	60x60x3.0	0,0
Uumasauva 7	60x60x3.0	60x60x3.0	0,0
Kokonaismassa	2019 kg	1862 kg	-7,8

## Huomioita:

- Pilariprofiilit samat. Profiilivalikoima rajallinen materiaalilla S700 PL1-2:ssa.
- Paarteet kevyemmät.
- Puristettujen uumasauvojen poikkileikkaukset pienenevät ja kevenivät.
  - Hoikkusehto 3.0 rajoittava.

→ Jos ristikon liitosten jäykkyys huomioitaisiin suoralla mitoitusmenetelmällä rakenneanalyysissä, kehä olisi **6,7-14,5 % kevyempi** kuin perinteisellä mitoitusmenetelmällä mitoitettuna.

# Yhteenveto

## Suoralla mitoitusmenetelmällä mitoitetussa kehässä:

- Tunnetaan rakenteen vauriomuodot.
  - Saadaan selville rakenteen käyttäytyminen kuormituksen kasvaessa
    - Tiedetään, mikä / mitkä osat rakenteesta vaurioituu ja missä järjestyksessä.
- Materiaalisäästö on puristetuissa rakenneosissa tarkoista nurjahduspituuksista johtuen.
- Liitokset olisi huomioitava rakenneanalyysissä niiden jäykkyyksien mukaan
  - Vaikutus rakenneosien ja rakenteen käyttäytymiseen, kuten nurjahduspituuksiin.
  - Mahdollisesti suurempi materiaalisäästö perinteisellä mitoitusmenetelmällä mitoitettuihin rakenteisiin verrattuna.

# Lähteet

[1] SFS-EN 1993-1-1, Eurocode 3. Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt. Suomen standardisoimisliitto SFS, 2005-08-15. Kuva: EN 1993-1-1 (2005)

[2] prEN 1993-1-14, Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-14: Design assisted by finite element analysis, CEN/TC 250/ N 3429, European Committee for Standardization, 2023.

[2] Jaamala L., Hietikko-Kaukola H., Mela K., Tulonen J., Hyvärinen A. (2023) Eurocode-compliant system-level reliability analyses of Warren truss portal frames under climatic loads, submitted to Structural Safety.

[3] SSAB DOMEX TUBE, Structural hollow sections, Handbook, 2016