



TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Faculty of Built Environment
Department of Structural Engineering
Research Centre of Metal Structures

Vipuvoimaa
EU:lta
2007-2013



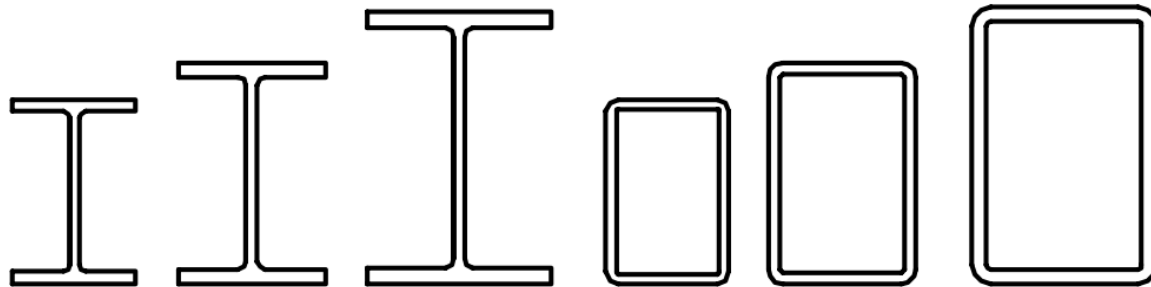
Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

Profiilin muodon optimointi

Teemu Tiainen ja Markku Heinisuo

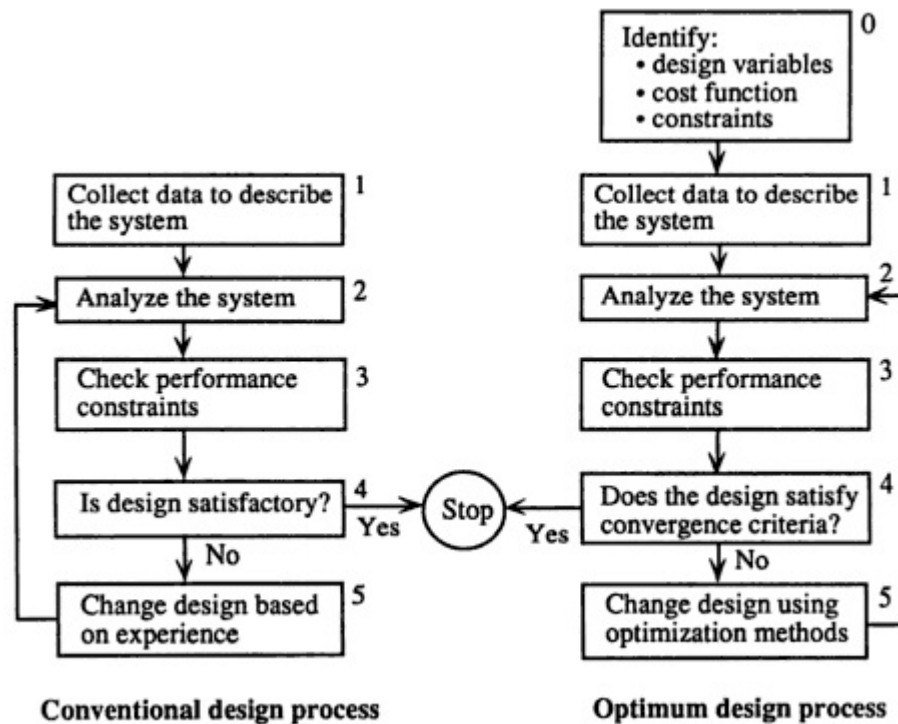
Taustaa

- Teräsrakentamisessa käytössä monenlaisia profiileja
- Putkimaisia pyöreää, neliö ja suorakaide
- Muita muotoja tutkittu melko vähän



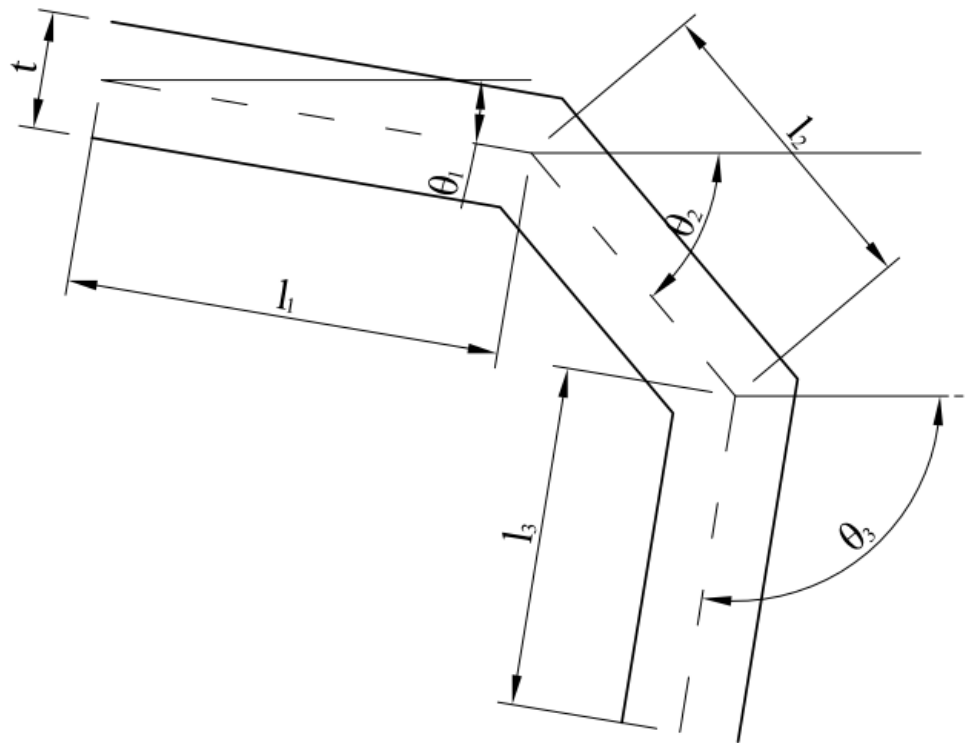
Mitä on optimointi?

- Haetaan matemaattisin menetelmin *parasta* mahdollista ratkaisua ongelmaan



Tehtävämuotoilu (1/6)

- Profiilin otaksutaan muodostuvan suorista paloista ja olevan yhden akselin suhteen symmetrinen
- Kunkin osan pituus ja kulma ovat muuttujia



Tehtävämuotoilu (2/6)

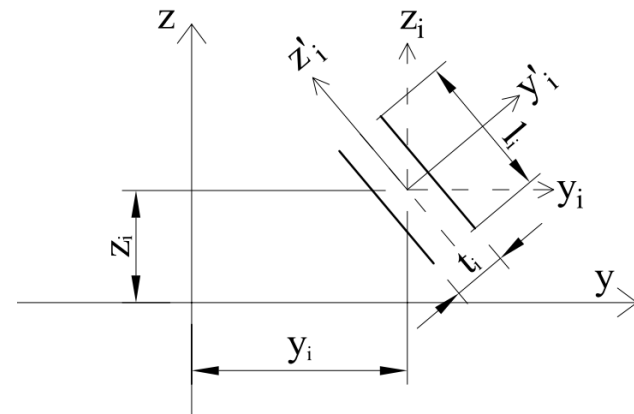
Poikkileikkaussuureet saadaan laskettua helposti:

$$I'_{zz,i} = \frac{t_i l_i^3}{12} \quad I'_{yy,i} = \frac{t_i^3 l_i}{12}$$

$$I_{zz,i} = 0.5(I'_{yy,i} + I'_{zz,i}) - 0.5(I'_{yy,i} - I'_{zz,i}) \cos 2\theta_i + A_i(y_i - y_0)^2$$

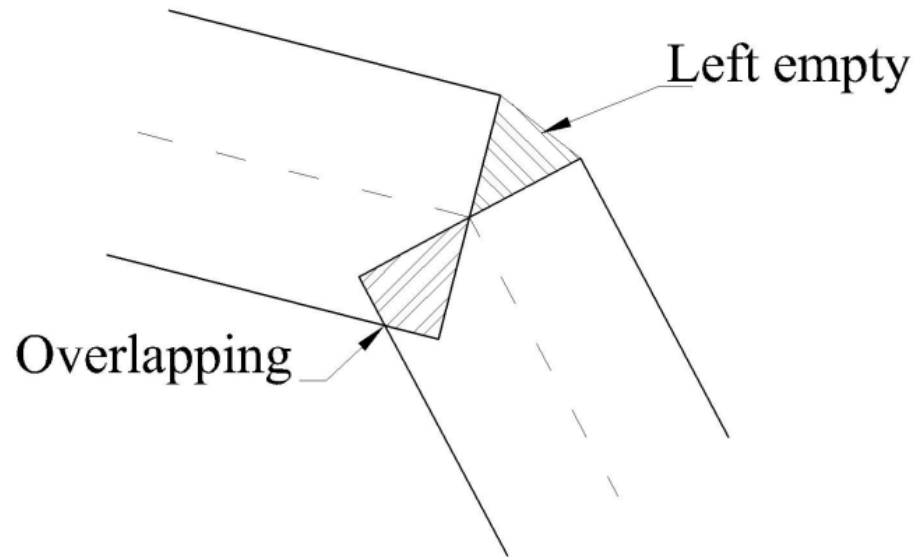
$$I_{yy,i} = 0.5(I'_{yy,i} + I'_{zz,i}) + 0.5(I'_{yy,i} - I'_{zz,i}) \cos 2\theta_i + A_i(z_i - z_0)^2$$

$$I_{yy} = \sum_{i=1 \dots n} I_{yy,i} \quad W_y = \frac{I_{yy}}{z_{max}}$$



Tehtävänmuotoilu (3/6)

Suorien palojen liittyessä toisiinsa tehtiin pieni yksinkertaistus eli pientä päällekkäistä ja tyhjäksi jäävää osuutta ei otettu huomioon



Tehtävämuotoilu (4/6)

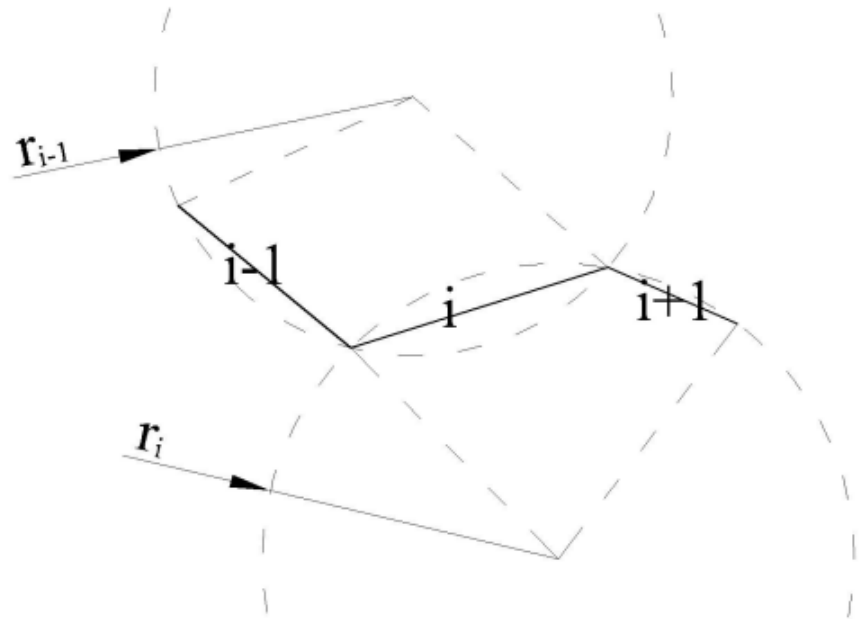
- Lommahdus pyritty estämään sallimalla estämällä poikkileikkausluokan 4 esiintyminen

$$\frac{b}{t} \leq 42\epsilon \quad \epsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

$$\Rightarrow \frac{l_i}{t_i} \leq 42\epsilon$$

Pyöreälle osalle:

$$\frac{2r_i}{t_i} \leq 90\epsilon^2.$$



Tehtävänmuotoilu: kestävyys (5/6)

- Otaksutaan kuormituksiksi momentti M y -akselin ympäri ja puristava normaalivoima N
Tällöin EC 3:n mitoituskaavat saavat muodon:

$$\frac{N}{\chi_y A} + \frac{M}{W_y} \leq f_y$$

$$\frac{N}{\chi_z A} \leq f_y$$

$$i_y = \sqrt{I_y/A}$$

$$i_z = \sqrt{I_z/A}$$

$$N_{cry} = \pi^2 EA / (L_{cry}/i_y)^2$$

$$N_{crz} = \pi^2 EA / (L_{crz}/i_z)^2$$

$$\lambda_y = \sqrt{\frac{Af_y}{N_{cry}}}$$

$$\lambda_z = \sqrt{\frac{Af_y}{N_{crz}}}$$

$$\phi_y = 0.5 * (1 + \alpha_y * (\lambda_y - 0.2) + \lambda_y^2)$$

$$\phi_z = 0.5 * (1 + \alpha_z * (\lambda_z - 0.2) + \lambda_z^2)$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \lambda_y^2}}$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \lambda_z^2}}$$

Tehtävänmuotoilu (6/6)

$$\min f(\mathbf{x}) = \sum_{i=1 \dots n} t_i l_i$$

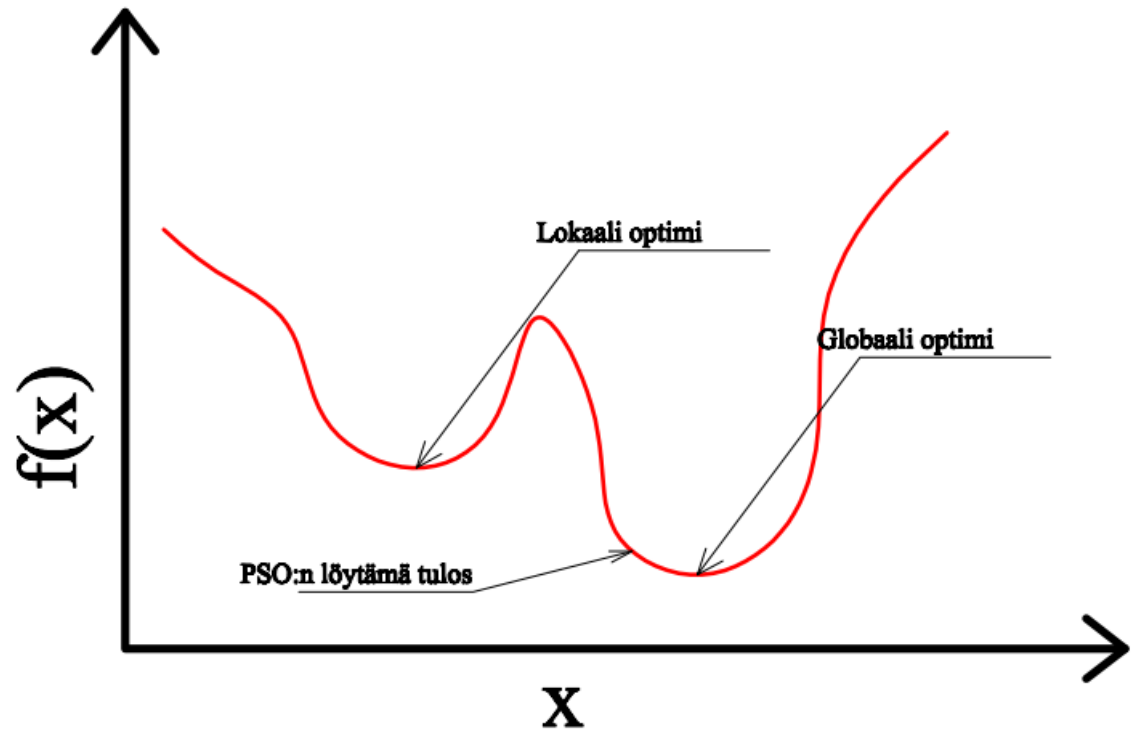
$$g_1(\mathbf{x}) = \frac{N}{\chi_y A} + \frac{M}{W_y} - f_y \leq 0$$

$$g_2(\mathbf{x}) = \frac{N}{\chi_z A} - f_y \leq 0$$

$$h_1(\mathbf{x}) = y_{n2} = 0$$

Ratkaisumenetelmä

- Ongelmalla todennäköisesti paljon lokaaleja minimejä => tarvitaan globaalin optimoinnin ratkaisumenetelmää
- Päädyttiin kaksivaiheiseen lähestymistapaan:
 1. parveilualgoritmeilla hyvä ratkaisu
 2. Gradienttipohjaisella lokaalin optimoinnin algoritmeilla parempi ratkaisu



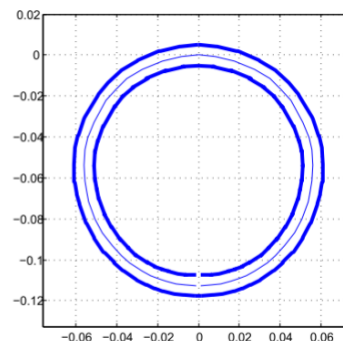
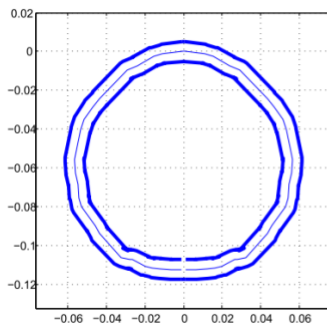
Tuloksia (1/3)

- Ratkaisumenetelmän kelvollisuus todettiin tarkastelemalla tunnettua ongelmaa, jossa

$$L_y = L_z \text{ ja } M_y = 0$$

Tällöin ratkaisun pitäisi olla pyöreä putki

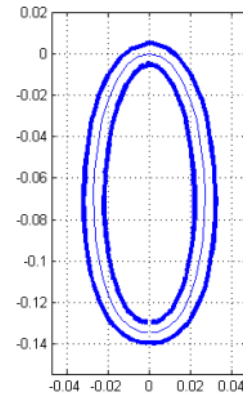
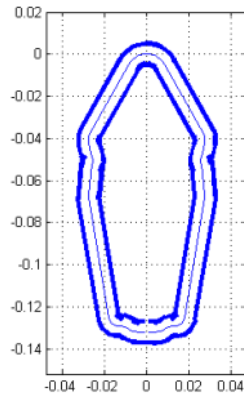
Tulos:



Best found (cm ²)	Best PSO (cm ²)	N (kN)	L _y (m)	L _z (m)
35.0991	35.2817	100	10	10
30.9406	31.4054	100	10	5
44.8890	45.2595	200	10	10

Tuloksia (2/3)

- Nurjahduspituuksien ollessa erilaiset pitäisi päätyä ellipsiin, kuten näyttäisi käyvän



Best found (cm ²)	Best PSO (cm ²)	N (kN)	L_y (m)	L_z (m)
35.0991	35.2817	100	10	10
30.9406	31.4054	100	10	5
44.8890	45.2595	200	10	10

Tuloksia (3/3)

- Lisäksi kokeiltiin mitä tapahtuu, kun esimerkiksi ristikon yläpaarteeksi tarkoitettulta sauvalta vaaditaan vaakasuoraa yläpintaa:

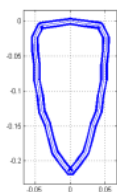


Figure 21: Resulting profile with optimization

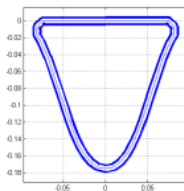


Figure 22: Resulting profile with 150 mm horizontal top

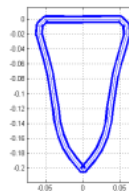


Figure 23: Resulting profile with 100 mm horizontal top

Shape	Best found (cm ²)	Notes	Figure
Rectangular	43.73	$b = 47.9 \text{ mm}, h = 225.5 \text{ mm}$	-
Square	47.11	$b = h = 147.2 \text{ mm}$	-
Circular	47.22	$d = 195.9 \text{ mm}$	-
Optimized	42.78		21
Optimized	44.58	with straight horizontal top (150 mm)	22
Optimized	43.12	with straight horizontal top (100 mm)	23

Päätelmät

- Tehtävämuotoilu toimii kokeiluongelmissa
- Eri rasituksin saadaan hyvin erilaisia optimaalisia profiileja
- Täyden hyödyn saamiseksi stabiilisuustarkastelu ja poikkileikkausluokka 4 pitäisi saada mukaan tarkasteluun