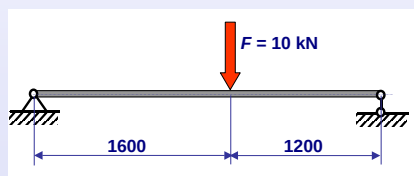


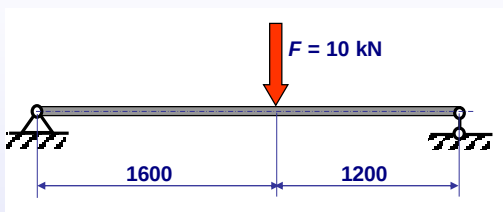
TUGEVUSÕPETUS

PAINE: Lihtne koormus



1. Algandmed ja ülesande püstitus

1. Ühtlane lihttala



Dimensioneerida ühtlane lihttala!

Materjal: teras S235
Nõutav varutegur: $[S] = 2$

Võrrelda kolme ristlõiget:

1. ümarristlõige
2. ristkülik-ristlõige, külgede suhe 2:1
3. INP-ristlõige

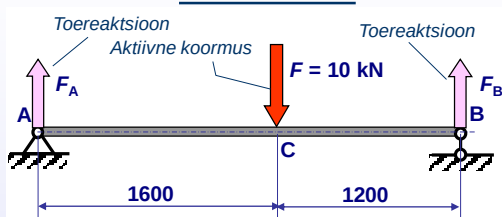
Arvutada/määrata:

- ühtlase tala vähim võimalik ristlõige

2. Sisejõudude analüüs

2.1. Toereaktsioonid

Tasakaalus tala



Tasakaaluvõrrandid

$$\begin{cases} \sum \mathcal{M}^{(A)} = 0 \\ \sum \mathcal{M}^{(B)} = 0 \end{cases}$$

Kõikide momentide summa punkti A suhtes
Kõikide momentide summa punkti B suhtes

Märk "+": suund joonisel on õige

$$\begin{cases} \sum \mathcal{M}^{(A)} = 0 \Rightarrow F \cdot AC - F_B \cdot AB = 0 \Rightarrow F_B = F \cdot \frac{AC}{AB} = 10 \cdot \frac{1,6}{2,8} = 5,71 \approx \underline{5,7 \text{ kN}} \\ \sum \mathcal{M}^{(B)} = 0 \Rightarrow F \cdot CB - F_A \cdot AB = 0 \Rightarrow F_A = F \cdot \frac{CB}{AB} = 10 \cdot \frac{1,2}{2,8} = 4,28 \approx \underline{4,3 \text{ kN}} \end{cases}$$

Märk "+": suund joonisel on õige

Tasakaaluvõrrand kontrolliks:

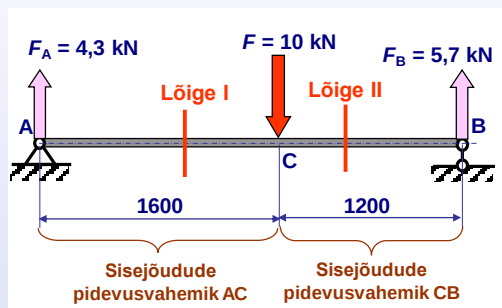
$$\sum F = 0 \Rightarrow F_A - F + F_B = 0 \Rightarrow 4,3 - 10 + 5,7 = \underline{0}$$

Toereaktsioonid on arvutatud õigesti

2.1. Sisejõud lõigetes

LÕIKEMEETODI IDEE: Tasakaalus süsteemist mõtteliselt eraldatud osa on samuti tasakaalus

Lõikepinna sisejõudusid saab käsitleda välisjõududena



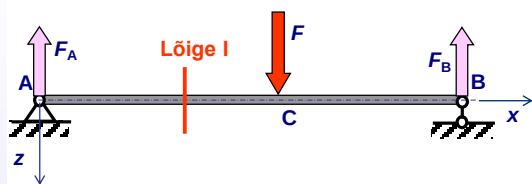
Talale mõjub kolm punktjõudu

Tala sisejõududel on kaks pidevusvahemikku: AC ja CB

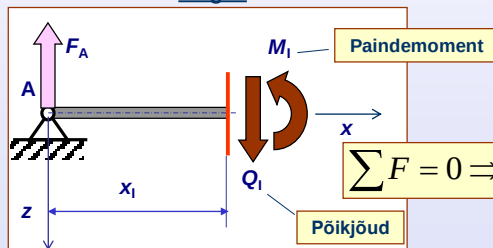
Tala sisejõudude arvutamiseks on tarvis teha kaks lõiget

Analüüsida võib mõlemat lõikepinna poolt – tulemus tuleb sama

2.2. Sisejõud lõigetes --- lõige I (1)



Lõige I



Lõike I sisejõudude pidevusvahemik = lõik AC

$$x_I = (0 \dots 1600) \text{ mm}$$

Lõike I tasakaaluvõrrandid

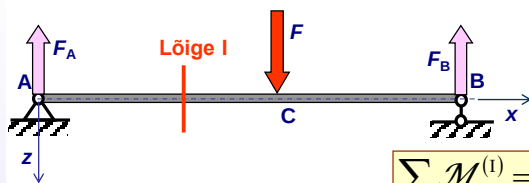
$$\begin{cases} \sum F = 0 \\ \sum \mathcal{M}^{(I)} = 0 \end{cases}$$

Kõikide jõudude summa
Kõikide momentide summa punkti I suhtes

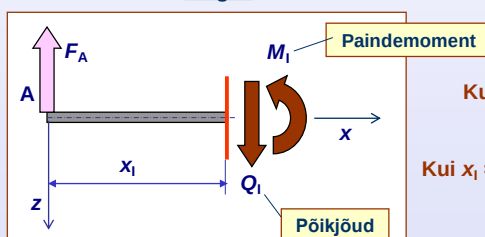
$$\sum F = 0 \Rightarrow F_A - Q_I = 0 \Rightarrow Q_I = F_A = \underline{4,3 \text{ kN (+)}}$$

Märk "+": suund joonisel on õige
Positiivsel sisepinnal positiivses suunas

2.2. Sisejõud lõigetes --- lõige I (2)



Lõige I



$$\begin{cases} \sum F = 0 \\ \sum \mathcal{M}^{(I)} = 0 \end{cases}$$

$$\sum \mathcal{M}^{(I)} = 0 \Rightarrow F_A \cdot x_I - M_I = 0 \Rightarrow M_I = F_A \cdot x_I$$

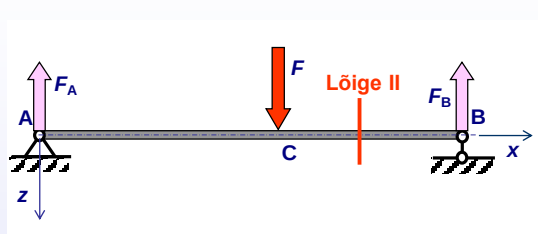
$$M_I = 4,3 \cdot x_I \quad \text{--- Lineaarne x-i funktsioon}$$

Kui $x_I = 0$, siis: $M_I = M_A = 4,3 \cdot 0 = \underline{0 \text{ kN} \cdot \text{m}}$

Kui $x_I = 1,6 \text{ m}$, siis: $M_I = M_C = 4,3 \cdot 1,6 = 6,88 \approx \underline{6,9 \text{ kN} \cdot \text{m (+)}}$

Märk "+": suund joonisel on õige
Positiivsed kiud tõmmatud

2.3. Sisejõud lõigetes --- lõige II (1)



Lõike II sisejõudude pidevusvahemik = lõik CB

$$x_{II} = (1600 \dots 2800) \text{ mm}$$

Lõike II tasakaaluvõrrandid

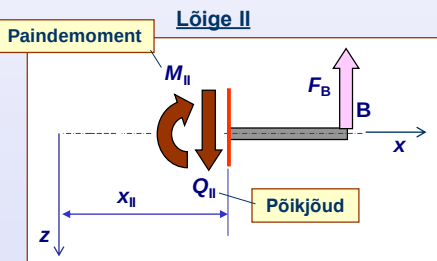
$$\begin{cases} \sum F = 0 \\ \sum \mathcal{M}^{(II)} = 0 \end{cases}$$

Kõikide jõudude summa
Kõikide momentide summa punkti II suhtes

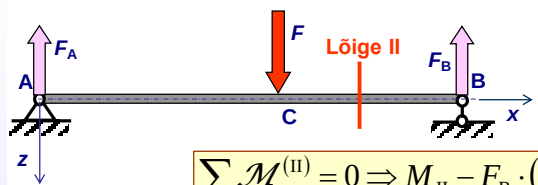
$$\begin{aligned} \sum F = 0 &\Rightarrow Q_{II} - F_B = 0 \Rightarrow \\ &\Rightarrow Q_{II} = F_B = \underline{5,7 \text{ kN} (-)} \end{aligned}$$

Märk "+": suund joonisel on õige

Negatiivsel sisepinnal positiivses suunas



2.3. Sisejõud lõigetes --- lõige II (2)



$$\begin{cases} \sum F = 0 \\ \sum \mathcal{M}^{(II)} = 0 \end{cases}$$

$$\sum \mathcal{M}^{(II)} = 0 \Rightarrow M_{II} - F_B \cdot (AB - x_{II}) = 0 \Rightarrow M_{II} = F_B \cdot (AB - x_{II})$$

$$M_{II} = 5,7 \cdot (AB - x_{II})$$

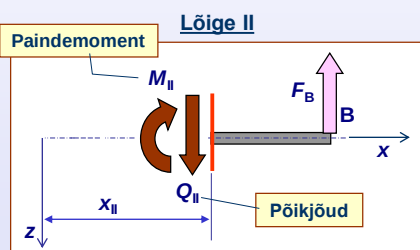
Lineaarne x-i funktsioon

Kui $x_{II} = 1,6 \text{ m}$, siis:

$$\begin{aligned} M_{II} = M_C &= 5,7 \cdot (2,8 - 1,6) = \\ &= 6,84 \approx \underline{6,9 \text{ kN} \cdot \text{m} (+)} \end{aligned}$$

Märk "+": suund joonisel on õige

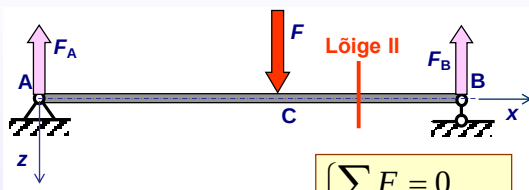
Positiivsed kiud tõmmatud



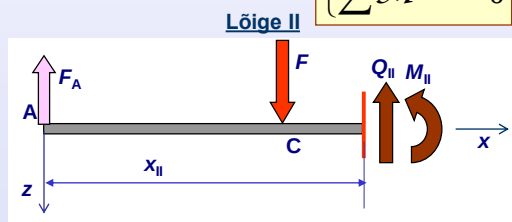
Kui $x_{II} = 2,8 \text{ m}$, siis: $M_{II} = M_B = 5,7 \cdot (2,8 - 2,8) = \underline{0 \text{ kN} \cdot \text{m}}$

2.3. Sisejõud lõigetes --- lõige II (3)

Teine võimalus = lõike vasaku poole analüüs



$$\begin{cases} \sum F = 0 \\ \sum \mathcal{M}^{(II)} = 0 \end{cases}$$



Lõike II sisejõudude pidevusvahemik = lõik CB

$$x_{II} = (1600 \dots 2800) \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \sum F = 0 &\Rightarrow F_A - F + Q_{II} = 0 \Rightarrow \\ &\Rightarrow Q_{II} = F - F_A = \\ &= 10 - 4,3 = \underline{5,7 \text{ kN}} \quad (-) \end{aligned}$$

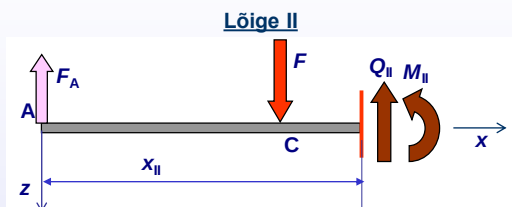
Märk "+": suund
joonisel on õige

Positiivsel sisepinnal
negatiivses suunas

Tulemus ei sõltu
lõike poolest

2.3. Sisejõud lõigetes --- lõige II (4)

Teine võimalus = lõike vasaku poole analüüs



$$\begin{cases} \sum F = 0 \\ \sum \mathcal{M}^{(II)} = 0 \end{cases}$$

$$\sum \mathcal{M}^{(II)} = 0 \Rightarrow F_A \cdot x_{II} - F \cdot (x_{II} - AC) - M_{II} = 0 \Rightarrow M_{II} = F_A \cdot x_{II} - F \cdot (x_{II} - AC)$$

$$M_{II} = 4,3 \cdot x_{II} - 10 \cdot (x_{II} - 1,6) = 16 - 5,7 \cdot x_{II} \quad \text{--- Lineaarne x-i funktsioon}$$

Kui $x_{II} = 1,6 \text{ m}$, siis:

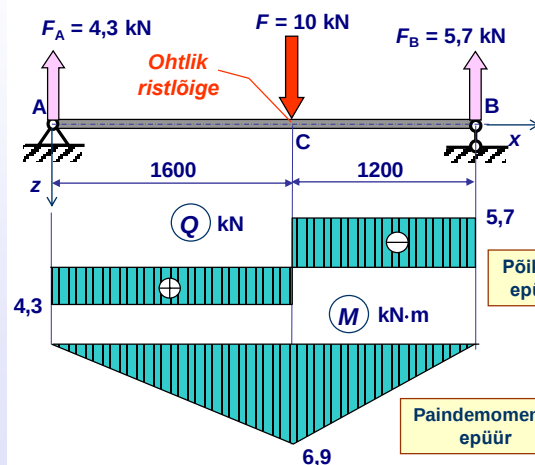
$$M_{II} = M_C = 16 - 5,7 \cdot 1,6 = 6,88 \approx \underline{6,9 \text{ kN} \cdot \text{m}} \quad (+)$$

Kui $x_{II} = 2,8 \text{ m}$, siis:

$$M_{II} = M_B = 16 - 5,7 \cdot 2,8 = 0,04 \approx \underline{0 \text{ kN} \cdot \text{m}}$$

Tulemus ei
sõltu lõike
poolest

2.4. Sisejõudude epüürid



Sisejõudude analüüsi tulemus



Ohtlik ristlõige on C

$$Q_C = 5,7 \text{ kN}$$

$$M_C = 6,9 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

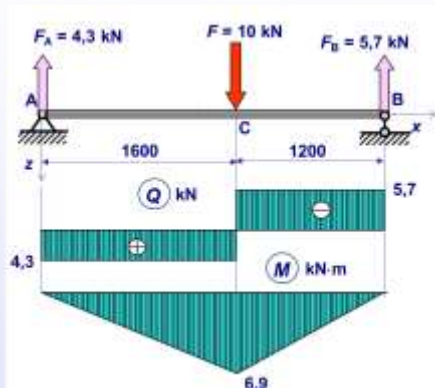
SIIN: Mõlema sisejõu maksimum on ühes ja samas ristlõikes

1. Paindemoment M on taladele üldjuhul ohtlikum, kui põikjõud Q
2. Paindemoment M on seda ohtlikum, mida pikem on tala

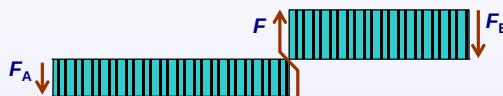
Põikjõu epüür

Paindemomendi epüür

2.5. Sisejõuepüüride omadusi



1. Punktjõud avaldub Q epüüril astmena selle väärtuse võrra ja selle suunale avstavas suunas



2. Põikjõu Q epüüri aste avaldub paindemomendi M epüüril murdena
3. Kohal, kus põikjõud $Q = 0$ on paindemoment $M = \max$ (lokaalselt või absoluutselt)
4. Tala lõigul, kus põikjõud Q epüür on horisontaalne, on paindemomendi M epüür kaldsirge – kaldsirge tõusu näitavad Q väärtus ja märk

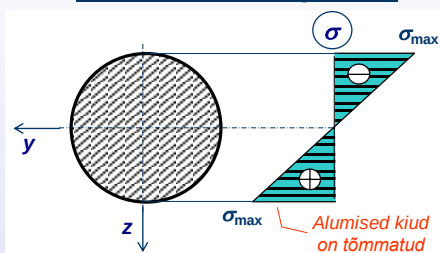
3. Tugevusarvutus

Priit Põdra

3.1. Nõutav tugevusmoment

Tugevusmomendi nõutav väärtus on otstarbekas arvutada siis, kui on tarvis võrrelda erineva kujuga ristlõikeid

Ristlõike paindepinge epüür



Ristlõigetele nõutav telg-tugevusmoment

$$[W] = \frac{M}{\sigma_y} \cdot [S] = \frac{6,9 \cdot 10^3}{235 \cdot 10^6} \cdot 2 = 58,7 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 \approx \underline{\underline{59 \text{ cm}^3}}$$

Painde tugevustingimus

$$\sigma_{\max}^{(My)} = \frac{M_y}{W_y} \leq \frac{\sigma_y}{[S]}$$

või

$$\sigma_{\max} = \frac{M}{W} \leq \frac{\sigma_y}{[S]}$$

Suurim normaalpinge ristlõikes

Ristlõike telg-tugevusmoment

Ülesandes nõutav varuteguri väärtus

Materjali voolepiir

$$\sigma_y = 235 \text{ MPa}$$

Ristlõike
paine-
moment

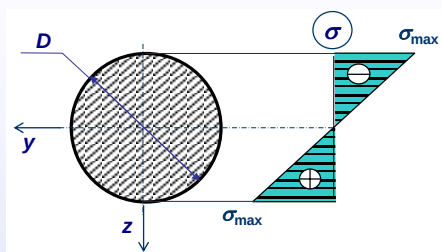
Ühtlane tala on piisavalt tugev, kui selle ristlõike tugevusmomendi väärtus on vähemalt 59 cm^3

Priit Põdra

PAINE: Lihtne koormus_1

16

3.2. Ümar-ristlõige



Ümarristlõike telg-tugevusmoment

$$W = \frac{\pi \cdot D^3}{32} \quad \text{Ristlõike läbimõõt}$$

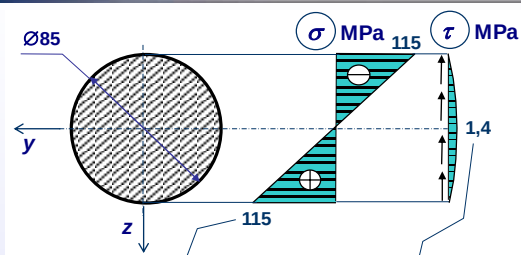
Tugevustingimus paindel tugevusmomentide kaudu

$$W = \frac{\pi \cdot D^3}{32} \geq [W] \Rightarrow D \geq \sqrt[3]{\frac{32 \cdot [W]}{\pi}}$$

Ümarristlõike läbimõõt peab olema vähemalt:

$$D \geq \sqrt[3]{\frac{32 \cdot [W]}{\pi}} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 59}{\pi}} = 8,43 \text{ cm} \approx \underline{85 \text{ mm}}$$

3.2. Ümar-ristlõige --- tugevuskontroll



Suurim paindepinge
mõjub punktides, kus
lõikepinge puudub

Suurim lõikepinge
mõjub punktides, kus
paindepinge puudub

Suurim paindepinge

$$\sigma_{\max} = \frac{M}{W} = \frac{32 \cdot M}{\pi \cdot D^3} = \frac{32 \cdot 6,9 \cdot 10^3}{\pi \cdot 0,085^3} = 114,4 \cdot 10^6 \text{ Pa} \approx \underline{115 \text{ MPa}}$$

Tugevuse kontroll paindel

$$S_{\sigma} = \frac{\sigma_y}{\sigma_{\max}} = \frac{235}{115} = 2,04 \approx 2 \geq [S] = 2$$

Ühtlase tala tugevus paindel on tagatud

Suurim lõikepinge

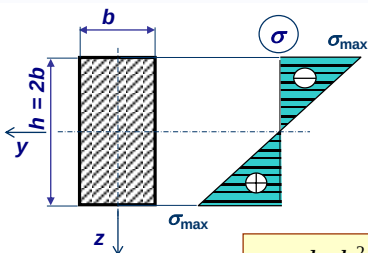
$$\tau_{\max} = \frac{4 \cdot Q}{3 \cdot A} = \frac{16 \cdot Q}{3 \cdot \pi \cdot D^2} = \frac{16 \cdot 5,7 \cdot 10^3}{3 \cdot \pi \cdot 0,085^2} = 1,33 \cdot 10^6 \text{ Pa} \approx \underline{1,4 \text{ MPa}}$$

$$\tau_{\max} = 1,4 \text{ MPa} \ll \sigma_{\max} = 115 \text{ MPa} \Rightarrow S_{\tau} \gg S_{\sigma} = 2$$

Lõike tähtsus
paindega võrreldes
on siin tühiselt väike

3.3. Ristkülik-ristlõige (1)

Ristlõike paindepinge epüür



Ristkülik-ristlõike telg-tugevusmoment

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6} \quad \text{Ristlõike mõõtmed}$$

Tugevustingimus paindel tugevusmomentide kaudu

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{b \cdot (2 \cdot b)^2}{6} = \frac{2 \cdot b^3}{3} \geq [W] \rightarrow b \geq \sqrt[3]{\frac{3 \cdot [W]}{2}}$$

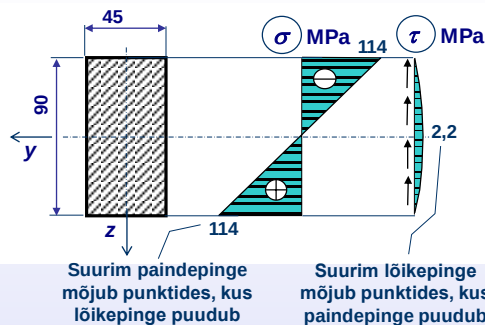
Ristlõike laius peab olema vähemalt:

$$b \geq \sqrt[3]{\frac{3 \cdot [W]}{2}} = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot 59}{2}} = 4,45 \text{ cm} \approx \underline{45 \text{ mm}}$$

Ristlõike kõrgus peab olema

$$h = 2 \cdot b = 2 \cdot 45 = \underline{90 \text{ mm}}$$

3.3. Ristkülik-ristlõige (1) --- tugevuskontroll



Suurim paindepinge
mõjub punktides, kus
lõikepinge puudub

Suurim lõikepinge
mõjub punktides, kus
paindepinge puudub

Suurim paindepinge

$$\sigma_{\max} = \frac{M}{W} = \frac{6 \cdot M}{b \cdot h^2} = \frac{6 \cdot 6,9 \cdot 10^3}{0,045 \cdot 0,09^2} = 113,5 \cdot 10^6 \text{ Pa} \approx \underline{114 \text{ MPa}}$$

Tugevuse kontroll paindel

$$S_{\sigma} = \frac{\sigma_y}{\sigma_{\max}} = \frac{235}{114} = 2,06 \approx 2 \geq [S] = 2$$

Ühtlase tala tugevus paindel on tagatud

Suurim lõikepinge

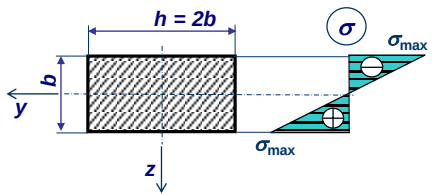
$$\tau_{\max} = \frac{3 \cdot Q}{2 \cdot A} = \frac{3 \cdot Q}{2 \cdot b \cdot h} = \frac{3 \cdot 5,7 \cdot 10^3}{2 \cdot 0,045 \cdot 0,09} = 2,11 \cdot 10^6 \text{ Pa} \approx \underline{2,2 \text{ MPa}}$$

$$\tau_{\max} = 2,2 \text{ MPa} \ll \sigma_{\max} = 114 \text{ MPa} \rightarrow S_{\tau} \gg S_{\sigma} = 2$$

**Lõike tähtsus
paindega võrreldes
on siin tühiselt väike**

3.3. Ristkülik-ristlõige (2)

Ristlõike paindepinge epüür



Ristkülik-ristlõike telg-tugevusmoment

$$W = \frac{b^2 \cdot h}{6} \quad \text{Ristlõike mõõtmed}$$

Tugevustingimus paindel tugevusmomentide kaudu

$$W = \frac{b^2 \cdot h}{6} = \frac{b^2 \cdot (2 \cdot b)}{6} = \frac{b^3}{3} \geq [W] \Rightarrow b \geq \sqrt[3]{3 \cdot [W]}$$

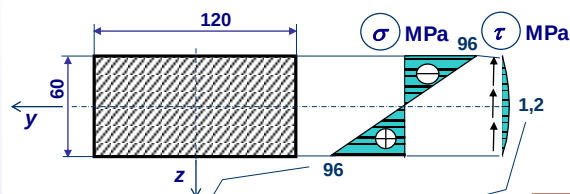
Ristlõike kõrgus peab olema vähemalt:

$$b \geq \sqrt[3]{3 \cdot [W]} = \sqrt[3]{3 \cdot 59} = 5,61 \text{ cm} \approx \underline{60 \text{ mm}}$$

Ristlõike laius peab olema

$$h = 2 \cdot b = 2 \cdot 60 = \underline{120 \text{ mm}}$$

3.3. Ristkülik-ristlõige (2) --- tugevuskontroll



Suurim paindepinge
mõjub punktides, kus
lõikepinge puudub

Suurim lõikepinge
mõjub punktides, kus
paindepinge puudub

Suurim paindepinge

$$\sigma_{\max} = \frac{M}{W} = \frac{6 \cdot M}{b^2 \cdot h} = \frac{6 \cdot 6,9 \cdot 10^3}{0,06^2 \cdot 0,12} = 95,8 \cdot 10^6 \text{ Pa} \approx \underline{96 \text{ MPa}}$$

Tugevuse kontroll paindel

$$S_{\sigma} = \frac{\sigma_y}{\sigma_{\max}} = \frac{235}{96} = 2,44 \approx 2,4 \geq [S] = 2$$

Ühtlase tala tugevus paindel on tagatud

Suurim lõikepinge

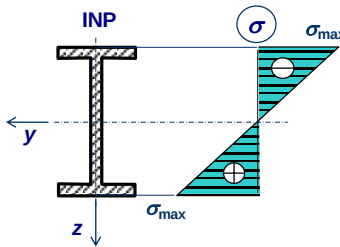
$$\tau_{\max} = \frac{3 \cdot Q}{2 \cdot A} = \frac{3 \cdot Q}{2 \cdot b \cdot h} = \frac{3 \cdot 5,7 \cdot 10^3}{2 \cdot 0,06 \cdot 0,12} = 1,18 \cdot 10^6 \text{ Pa} \approx 1,2 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\max} = 1,2 \text{ MPa} \ll \sigma_{\max} = 96 \text{ MPa} \Rightarrow S_{\tau} \gg S_{\sigma} = 2,4$$

**Lõike tähtsus
paindega võrreldes
on siin tühiselt väike**

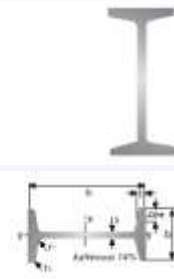
3.4. INP-ristlõige (1)

Ristlõike paindepinge epüür



INP-PALKIT INP beam

Terastüüp: SFS-EN 10 025
Tolerantsid: SFS-EN 10 204/3.1.B
DIN 17100
DIN 1025/1
DIN 50 049/3.1.B



Valida tabelist profiil, mille:

$$W_x \geq [W] = 59 \text{ cm}^3$$

Sobiv profiil on INP140:

$$W_x = 81,9 \text{ cm}^3 \geq [W] = 59 \text{ cm}^3$$

Siin W_y

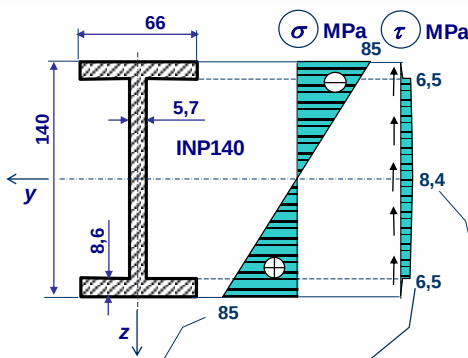
Pro	h	b	t	t _w	r ₁	Mittet ja painetud	Võrd	Polüü	Ferme	I _x	W _x	I _y	W _y	I _z	W _z
mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	cm ⁴	cm ³	cm ⁴	cm ³	cm ⁴	cm ³
80	80	42	3,9	5,9	2,3	0,304	7,57	5,94	77,8	16,5	1,20	6,48	5,00	0,91	0,91
100	100	50	4,5	6,8	2,7	0,270	10,80	8,34	171	34,2	4,01	12,2	4,88	1,07	1,07
120	120	58	5,1	7,7	3,0	0,430	14,70	11,48	300	64,7	4,81	21,8	8,41	1,70	1,70
140	140	66	5,7	8,6	3,4	0,502	18,20	14,30	572	81,9	5,61	35,2	10,7	1,40	1,40
160	160	74	6,3	9,5	3,8	0,575	22,00	17,91	935	117	6,40	54,7	14,8	1,51	1,51
180	180	82	6,9	10,4	4,1	0,640	27,00	21,90	1450	161	7,20	81,3	18,8	1,71	1,71

Priit Põdra

PAINE: Lihtne koormus_1

23

3.4. INP-ristlõige (1) --- tugevuskontroll (1)



Suurim paindepinge

$$\sigma_{\max} = \frac{M}{W} = \frac{6,9 \cdot 10^3}{81,9 \cdot 10^{-6}} = 84,2 \cdot 10^6 \text{ Pa} \approx 85 \text{ MPa}$$

Tugevuse kontroll paindel

$$S_{\sigma} = \frac{\sigma_y}{\sigma_{\max}} = \frac{235}{85} = 2,76 \approx 2,7 \geq [S] = 2$$

Suurim paindepinge mõjub punktides, kus lõikepinge puudub

Suurim lõikepinge mõjub punktides, kus paindepinge puudub

Maksimumilähedane lõikepinge mõjub punktides, kus mõjub ka maksimumilähedane paindepinge

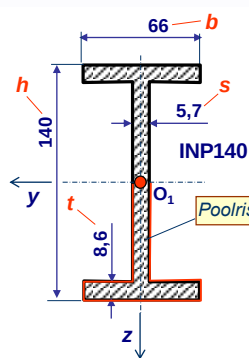
Lõike tähtsus
paindega võrreldes
on seda olulisem,
mida lühem on tala

Priit Põdra

PAINE: Lihtne koormus_1

24

3.4. INP-ristlõige (1) --- tugevuskontroll (2)



Tabelist

$$I = I_x = 573 \text{ cm}^4$$

Siin I_y

Suurim lõikepinge punktides O_1 :

$$\tau_{\max} = \frac{Q \cdot S_{O1}}{I \cdot s}$$

Ristlõike põikjõud

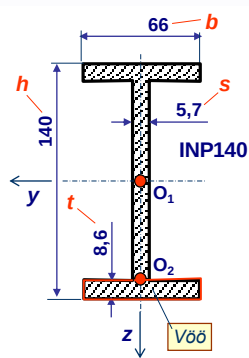
Poolristlõike
staatiline
moment telje
y suhtes
Seinapaksus

Poolristlõike staatiline moment telje y suhtes

$$\begin{aligned} S_{O1} &= \left(\frac{h}{2} - t \right) \cdot s \cdot \left(\frac{h}{4} - \frac{t}{2} \right) + t \cdot b \cdot \left(\frac{h}{2} - \frac{t}{2} \right) = \\ &= \left(\frac{14}{2} - 0,86 \right) \cdot 0,57 \cdot \left(\frac{14}{4} - \frac{0,86}{2} \right) + 0,86 \cdot 6,6 \cdot \left(\frac{14}{2} - \frac{0,86}{2} \right) = \\ &= 48,0 \approx \underline{48 \text{ cm}^3} \end{aligned}$$

$$\tau_{\max} = \frac{Q \cdot S_{O1}}{I \cdot s} = \frac{5,7 \cdot 10^3 \cdot 48 \cdot 10^{-6}}{573 \cdot 10^{-8} \cdot 5,7 \cdot 10^{-3}} = 8,37 \cdot 10^6 \text{ Pa} \approx \underline{8,4 \text{ MPa}}$$

3.4. INP-ristlõige (1) --- tugevuskontroll (3)



Lõikepinge punktides O_2 :

$$\tau_{\max} = \frac{Q \cdot S_{O2}}{I \cdot s}$$

Ristlõike põikjõud

Võõ
staatiline
moment telje
y suhtes
Seinapaksus

Võõ staatiline moment telje y suhtes

$$S_{O2} = t \cdot b \cdot \left(\frac{h}{2} - \frac{t}{2} \right) = 0,86 \cdot 6,6 \cdot \left(\frac{14}{2} - \frac{0,86}{2} \right) = 37,2 \approx \underline{37 \text{ cm}^3}$$

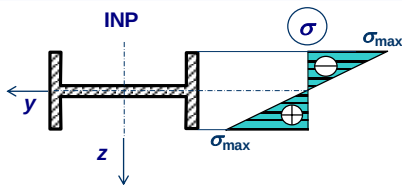
$$\tau_{O2} = \frac{Q S_{O2}}{I s} = \frac{5,7 \cdot 10^3 \cdot 37 \cdot 10^{-6}}{573 \cdot 10^{-8} \cdot 5,7 \cdot 10^{-3}} = 6,45 \cdot 10^6 \text{ Pa} \approx \underline{6,5 \text{ MPa}}$$

Lõike tähtsus paindega võrreldes on siin tühiselt väike:

$$S_\tau \gg S_\sigma = 2,7$$

3.4. INP-ristlõige (2)

Ristlõike paindepinge epüür



INP-PALKIT INP beam

Teräslajiv : SFS-EN 10 025 : DIN 17100
Tolerantsid : SFS-EN 10 204/3.1.B : DIN 1025/1
Tõukitsus S235 : SFS-EN 10 204/3.1.B : DIN 50 049/3.1.B



Valida tabelist profiil, mille:

$$W_y \geq [W] = 59 \text{ cm}^3$$

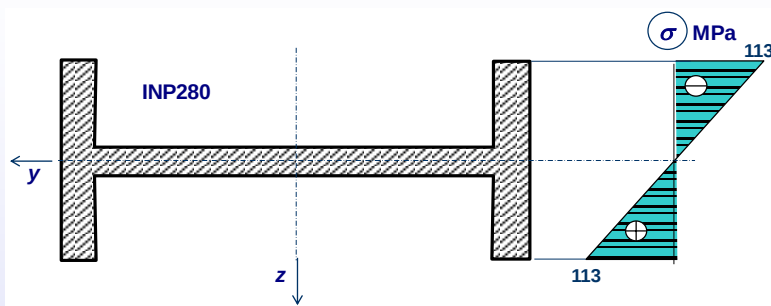
Sobiv profiil on INP280:

$$W_y = 61,2 \text{ cm}^3 \geq [W] = 59 \text{ cm}^3$$

Siin samuti W_y

Mõõt ja joonist										Sisestatud väärt			
Nr	h	b	t	r	n ₁	W _{pl}	W _{pl}	W _{pl}	W _{pl}	W _y	W _z	W _y	W _z
mm	mm	mm	mm	mm	mm	cm ³	cm ³	cm ³	cm ³	cm ³	cm ³	cm ³	cm ³
80	80	42	3,0	5,0	7,9	10,904	7,57	5,94	77,8	19,5	3,28	8,79	3,93
100	100	50	4,0	6,0	7,7	13,920	10,60	8,34	171	24,2	4,01	12,2	4,88
120	120	60	5,0	7,0	7,5	16,936	13,62	10,36	254	31,9	5,13	15,5	6,15
140	140	70	6,0	8,0	7,3	19,952	16,64	12,38	337	39,6	6,15	19,8	7,72
160	160	80	7,0	9,0	7,1	22,968	19,66	14,40	420	47,3	7,17	24,1	9,29
180	180	90	8,0	10,0	6,9	25,984	22,68	16,42	503	55,0	8,19	28,4	10,86
200	200	100	9,0	11,0	6,7	28,999	25,70	18,44	586	62,7	9,21	32,7	12,43
220	220	110	10,0	12,0	6,5	32,015	28,72	20,46	669	70,4	10,23	37,0	14,00
240	240	120	11,0	13,0	6,3	35,031	31,74	22,48	752	78,1	11,25	41,3	15,57
260	260	130	12,0	14,0	6,1	38,047	34,76	24,50	835	85,8	12,27	45,6	17,14
280	280	140	13,0	15,0	5,9	41,063	37,78	26,52	918	93,5	13,29	49,9	18,71
300	300	150	14,0	16,0	5,7	44,079	40,80	28,54	1001	101,2	14,31	54,2	20,28

3.4. INP-ristlõige (2) --- tugevuskontroll



Suurim paindepinge

$$\sigma_{\max} = \frac{M}{W} = \frac{6,9 \cdot 10^3}{61,2 \cdot 10^{-6}} = 112,7 \cdot 10^6 \text{ Pa} \approx 113 \text{ MPa}$$

Tugevuse kontroll paindel

$$S_{\sigma} = \frac{\sigma_y}{\sigma_{\max}} = \frac{235}{113} = 2,07 \approx 2 \geq [S] = 2$$

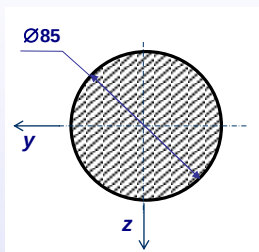
Ühtlase tala tugevus paindel on tagatud

4. Talade masside võrdlus

Priit Põdra

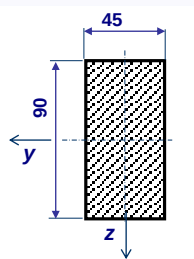
4.1. Ristlõigete pindalad (1)

Ümarristlõige



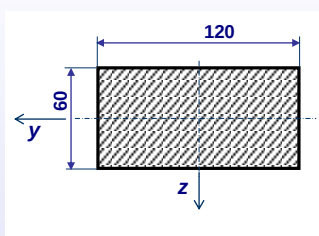
$$A = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{\pi \cdot 8,5^2}{4} = 56,7 \approx 57 \text{ cm}^2$$

Ristkülik-
ristlõige (1)



$$A = b \cdot h = 4,5 \cdot 9 = 40,5 \approx 41 \text{ cm}^2$$

Ristkülik-
ristlõige (2)



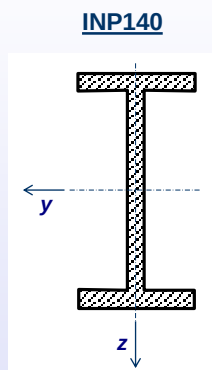
$$A = b \cdot h = 6 \cdot 12 = 72 \text{ cm}^2$$

Priit Põdra

PAINE: Lihtne koormus_1

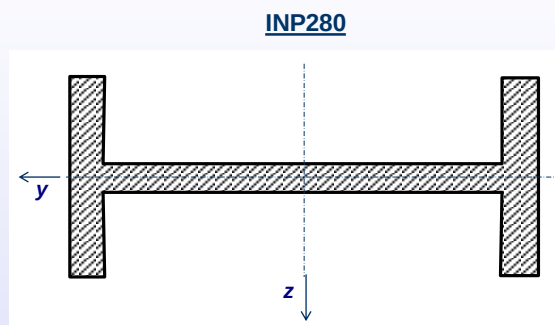
30

4.1. Ristlõigete pindalad (2)



Tabelist

$$A = 18,2 \text{ cm}^2$$



Tabelist

$$A = 61,0 \text{ cm}^2$$

4.2. Masside võrdlus

Talade masside erinevust näitab ristlõigete pindalade erinevus

