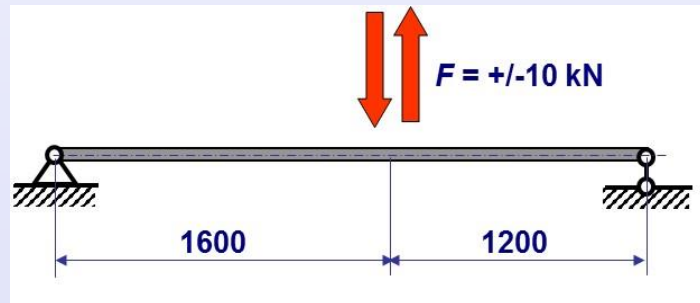


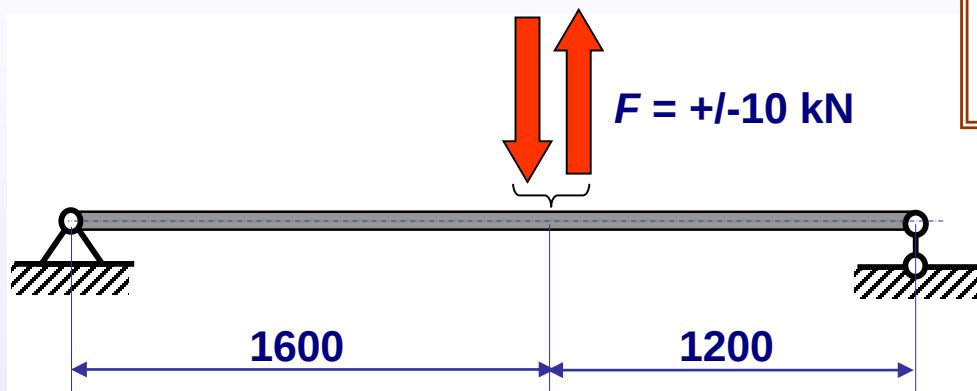
TUGEVUSÕPETUS

VÄSIMUS: Paine



1. Algandmed ja ülesande püstitus

1.1 Ühtlane lihttala



Dimensioneerida ühtlane lihttala staatikas ja kontrollida tsüklilisele koormusele!

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

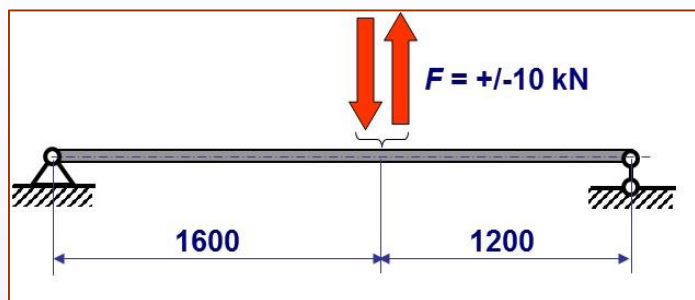
Võrrelda kolme ristlõiget:

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

Arvutada/määrata:

- ühtlase tala vähim võimalik ristlõige,
- kontrollida tugevust tsüklilise koormuse korral,
- arvutada tsüklite arv purunemiseni

1.2 Väsimusprotsessi parameetrid



Materjal: teras S235

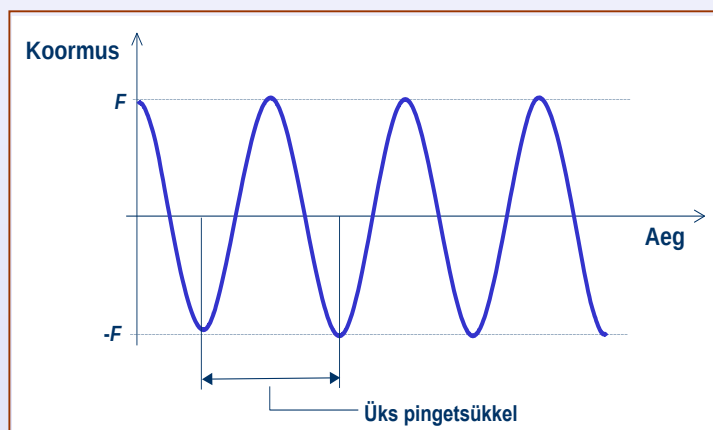
voolepiir: $\sigma_y = 235 \text{ MPa}$

tugevuspiir: $\sigma_u = 350 \text{ MPa}$

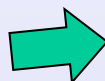
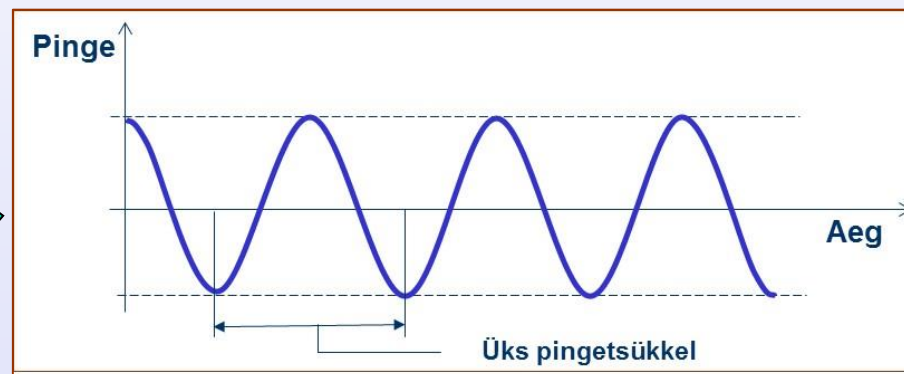
väsimuspiir: $\sigma_{-1} = 175 \text{ MPa}$

Tala pinnakardus: Ra12,5

Koormuse sümmeetriline tsükkel



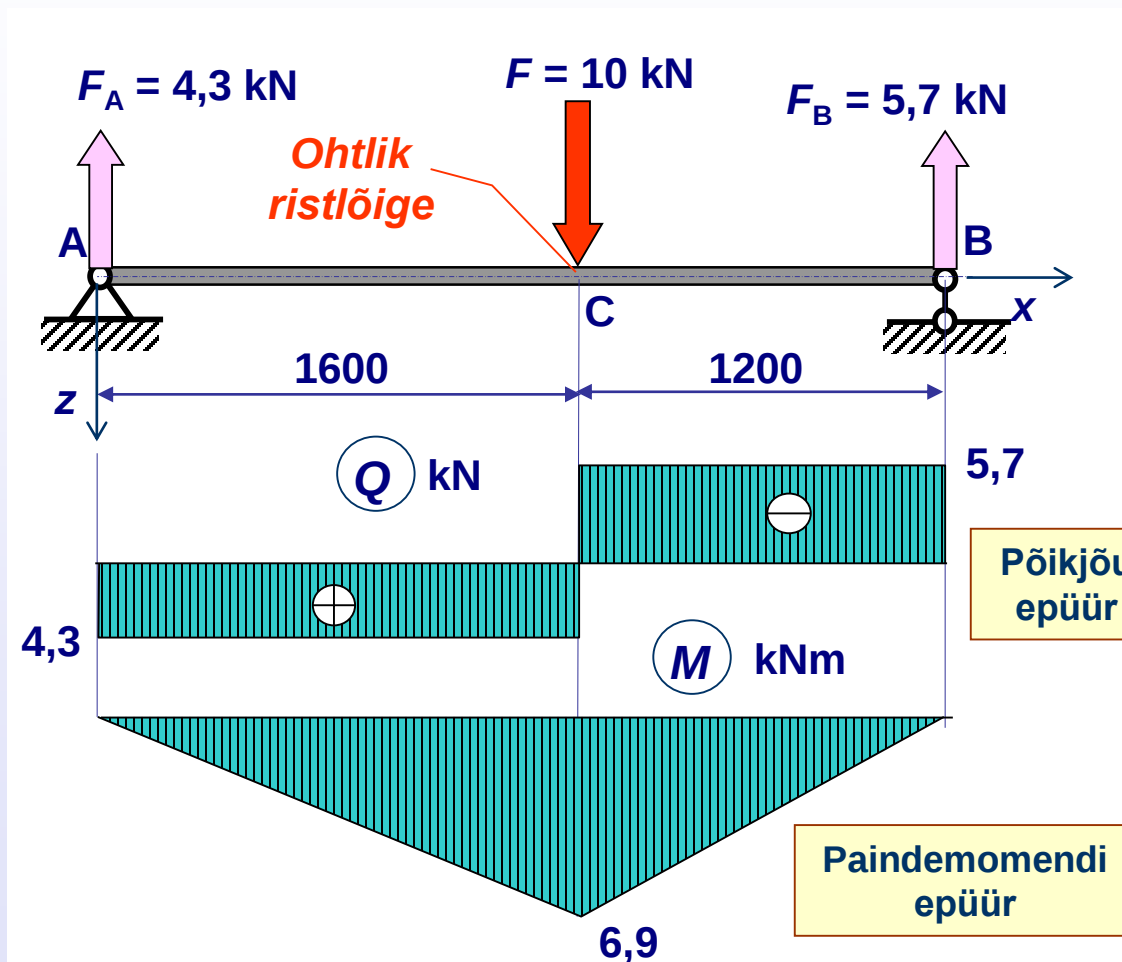
Pingete sümmeetriline tsükkel



2. Tala dimensioneerimine STAATILISELE koormusele

(vt. Tugevusõpetus I näide PAINE: Lihtne koormus_1)

2.1. Sisejõudude epüürid



Sisejõudude analüüsi tulemus



Ohtlik ristlõige on C

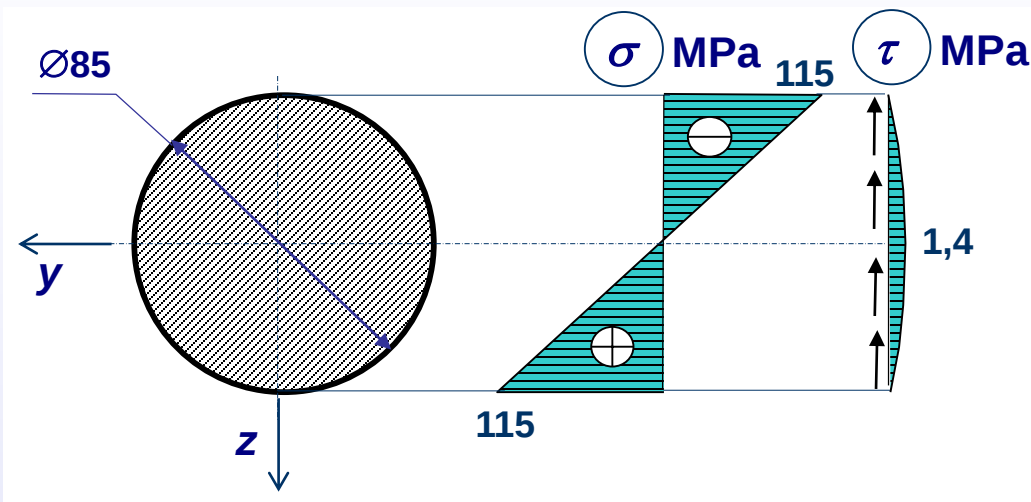
$$Q_C = 5,7 \text{ kN}$$

$$M_C = 6,9 \text{ kNm}$$

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

2.2. Ümar-ristlõige



Suurim paindepinge

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

Tugevuse kontroll paindel

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

Ühtlase tala tugevus paindel on tagatud

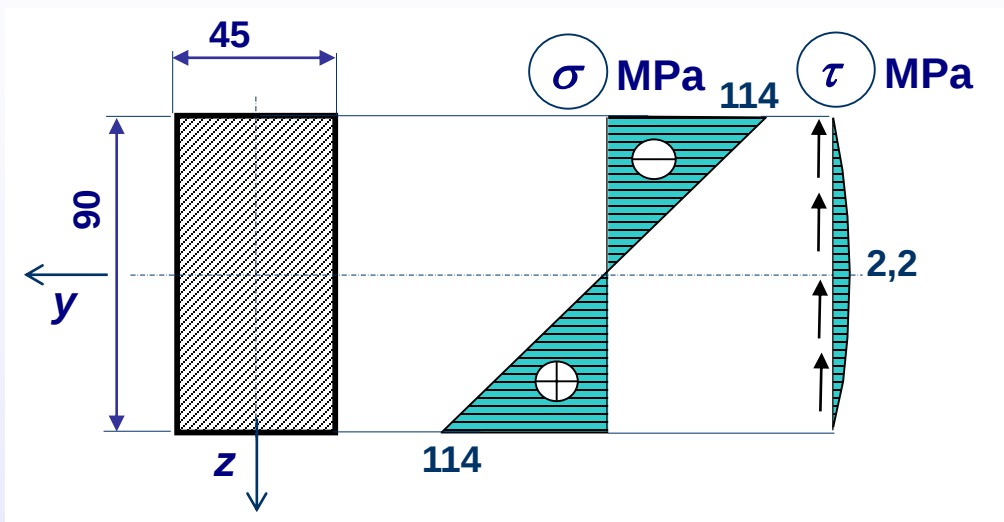
Suurim lõikepinge

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

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

Lõike tähtsus
paindega võrreldes
on siin tühiselt väike

2.3. Ristkülik-ristlõige



Suurim paindepinge

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

Tugevuse kontroll paindel

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

Ühtlase tala tugevus paindel on tagatud

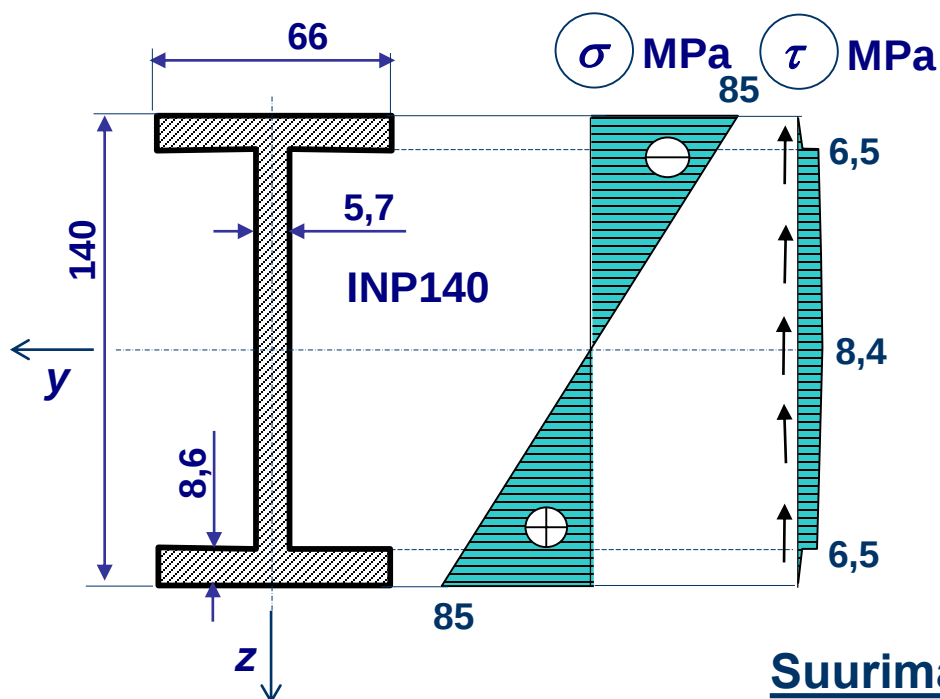
Suurim lõikepinge

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

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

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

2.4. INP-ristlõige



Suurim paindepinge

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

Tugevuse kontroll paindel

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

Suurimad lõikepinged

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

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

3. Tugevusarvutus tsüklilisele koormusele -- ÜMARRISTLÕIGE

3.1. Kohalik väsimuspiiri alanemine

Terase väsimuspiir paindel

$$\sigma_{-1} = 0,5\sigma_u = 0,5 \cdot 350 = 175 \text{ MPa}$$

Kui materjali tugevuspiir $\sigma_u < 1400 \text{ MPa}$

Materjali tugevuspiir

Suurim sümmeetrilise pingetsükli amplituudpinge, mida sellest materjalist katsekeha talub purunemata enam, kui 10^6 pingetsükli vältel

Tala kohalik väsimuspiir paindel

$$\sigma_{-1}^{(D)} = K^{(D)} \sigma_{-1} < \sigma_{-1}$$

Sest detaili antud kohas on väsimuspragude tekke tõenäosus eeldatavalt suurem, kui väsimusteimi katsekehas

Väsimuspiiri alanemise tegur

Kirjandusest võib leida ka teistsuguse kujuga valem

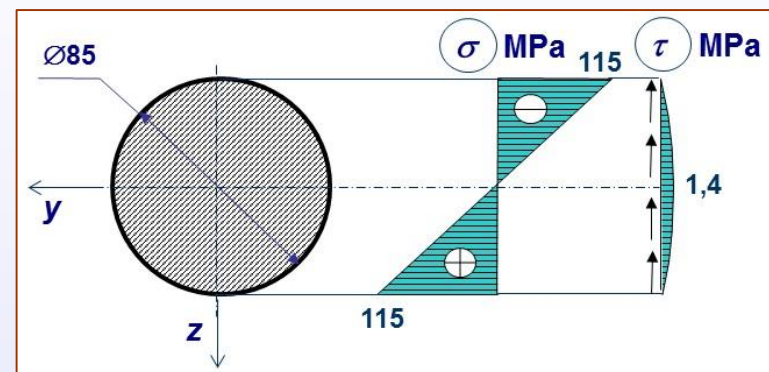
Väsimuspiiri alanemise tegur

$$K^{(D)} = K_k K_m K_p$$

Koormusliigitegur

Mastaabitegur

Pinnakaredustegur



3.1.1 Koormusliigitegur

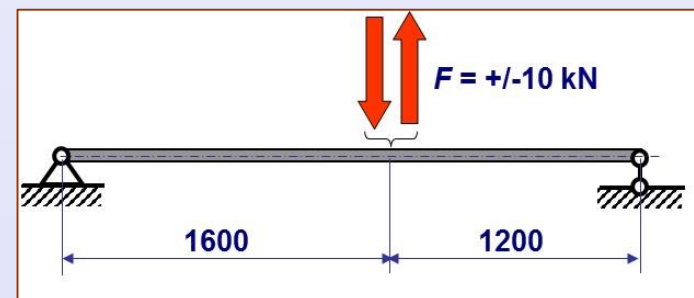
Koormusliigitegur näitab koormuse liigi (pike, paine või vääne) ohtlikkust tsüklilisel koormusel

Koormusliigitegurid terastele

Tööseisund	K_k	Märkus
Pike	0,7	kui on teada pöördpainde $\sigma_{\perp}$
Puhas paine	1	
Puhas vääne	1	1) kui on teada väände $\tau_{\perp}$ või 2) kui on teada pöördpainde (painde) $\sigma_{\perp}$ ja vääne on taandatud ekvivalentseks paindeks

Tala koormusliigitegur

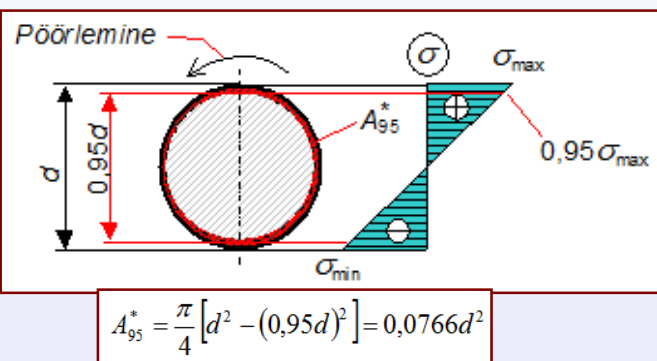
$$K_k = 1$$



3.1.2. Mastaabitegur

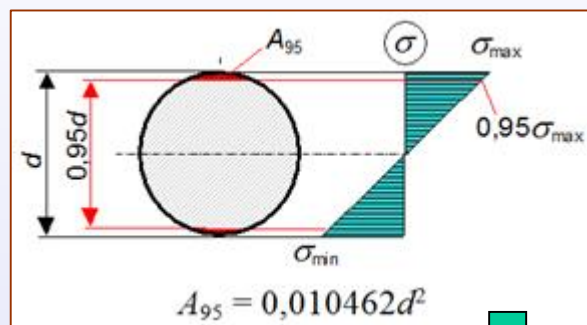
Mastaabitegur näitab detaili kohalike mõõtmete ohtlikkust tsüklilisel koormusel

(95 ... 100) %-ga suurimast pingest PÖÖRDPAINDEL koormatud ümar-ristlõike pind



Pöördpaindest erineva koormuse ja ümaraste erineva ristlõike ekvivalentne läbimõõt

(95 ... 100) %-ga suurimast pingest PAINDEL koormatud ümar-ristlõike pind



$$d_{\text{ekv}} = \sqrt{\frac{A_{95}}{0.0766}}$$

Mastaabitegurid

Läbimõõt d , mm	K_m (kui d on mm-s)
< 8	1
8 ... 50	$1.25d^{-0.11}$
50 ... 250	$0.859 - 0.000837d$
> 250	0.6

ÜMARTala mastaabitegur

$$\begin{aligned} K_m &= 1.25d_{\text{ekv}}^{-0.11} = \\ &= 1.25 \cdot 32^{-0.11} = \\ &= 0.853 \approx \underline{0.85} \end{aligned}$$

$$d_{\text{ekv}} = \sqrt{\frac{A_{95}}{0.0766}} = \sqrt{\frac{0.010462D^2}{0.0766}} = 0.369D = 0.369 \cdot 85 = 31.3 \approx 32 \text{ mm}$$

3.1.3. Pinnakaredustegur

Pinnakaredustegur näitab detaili pinnakareduse ohtlikkust tsüklilisel koormusel

Pinnakaredustegurid terasest detailidele

$$K_p = \begin{cases} A\sigma_u^B \\ 1, \text{ kui } A\sigma_u^B > 1 \end{cases}$$

Tugevuspiir [MPa]

Pinnaviimistlus		A	B
Töötlemisviis	Pinnakaredus $R_a \mu\text{m}$		
Lihvimine	0,1 ... 1,6	1,58	-0,085
Lõiketöötlus ja külmuvaltsimine	0,8 ... 6,3	4,51	-0,265
Kuumvaltsimine	12,5 ... 25	57,7	-0,718
Sepistamine	25 ... 50	272	-0,995

Tala pinnakaredustegur

$$K_t = A\sigma_u^B = 57,7 \cdot 350^{-0,718} = 0,860 \approx \underline{0,86}$$

3.1.4. Kohalik väsimuspiir

Väsimuspiiri alanemise tegur

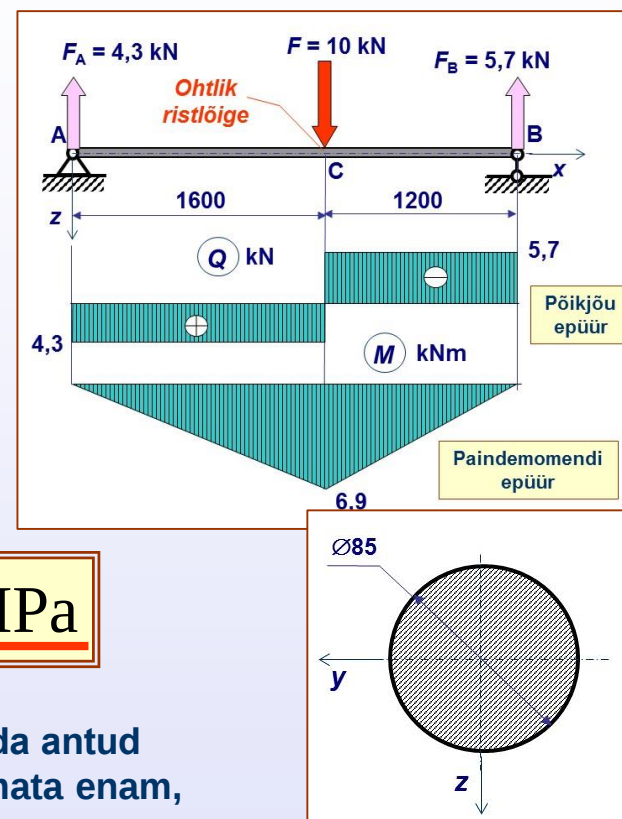
$$K^{(D)} = K_k K_m K_p = 1 \cdot 0,85 \cdot 0,86 = 0,731 \approx \underline{0,73}$$

ÜMARTala kohalik väsimuspiir

$$\sigma_{-1}^{(D)} = K^{(D)} \sigma_{-1} = 0,73 \cdot 175 = 127,7 \approx \underline{128 \text{ MPa}}$$

Suurim sümmeetrilise pingetsükli amplituudpinge, mida antud terasest ja antud konstruktsiooniga tala talub purunemata enam, kui 10^6 pingetsükli vältel

Ühe ja sama detaili erineva konstruktsiooniga kohtades võivad väsimuspiiride väärtused olla erinevad



3.2. Tugevuskontroll tsüklilisele koormusele

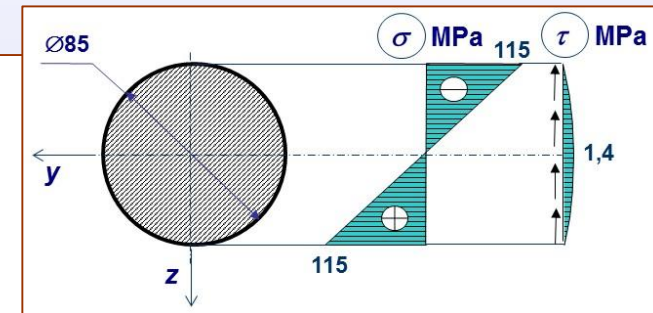
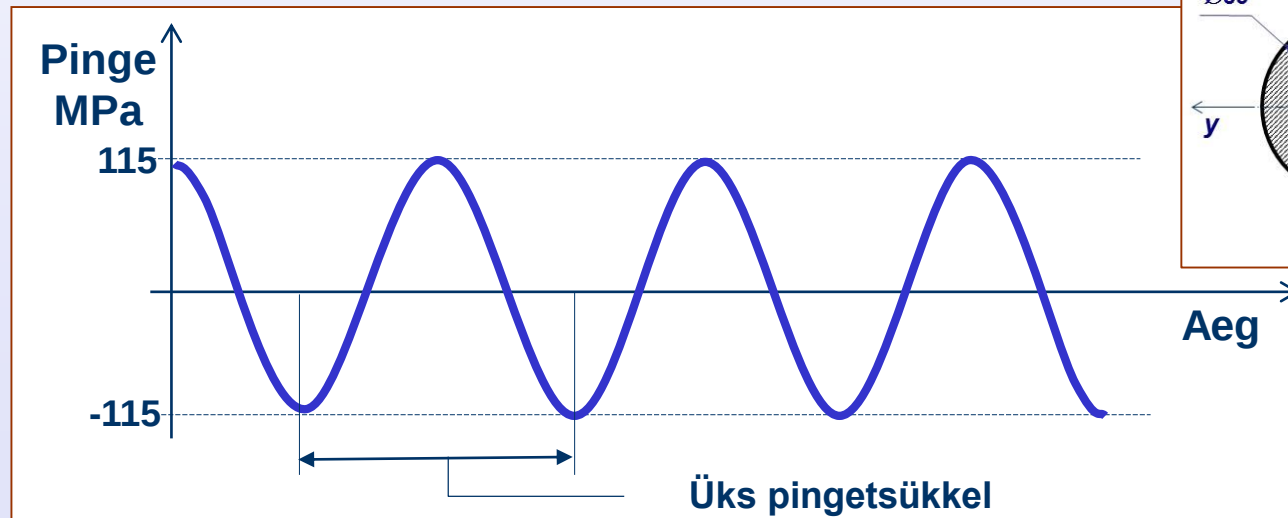
Sümmeetrilise pingetsükli tugevustingimus

$$S = \frac{\sigma_{-1}^{(D)}}{\sigma_a} = \frac{128}{115} = \underline{1,11} < [S] = 2$$



Tala tugevus tsüklilisel koormusel 10^6 pingetsüklile ei ole tagatud

ÜMARtala ohtliku ristlõike ohtlike punktide kohalik paindepingetsükkel



3.3. Pingetsüklite arv eeldatava purunemiseni

Millisel tsüklite arvul N ?

$$S = \frac{\sigma_{-1,N}^{(D)}}{\sigma_a} \geq [S] = 2$$

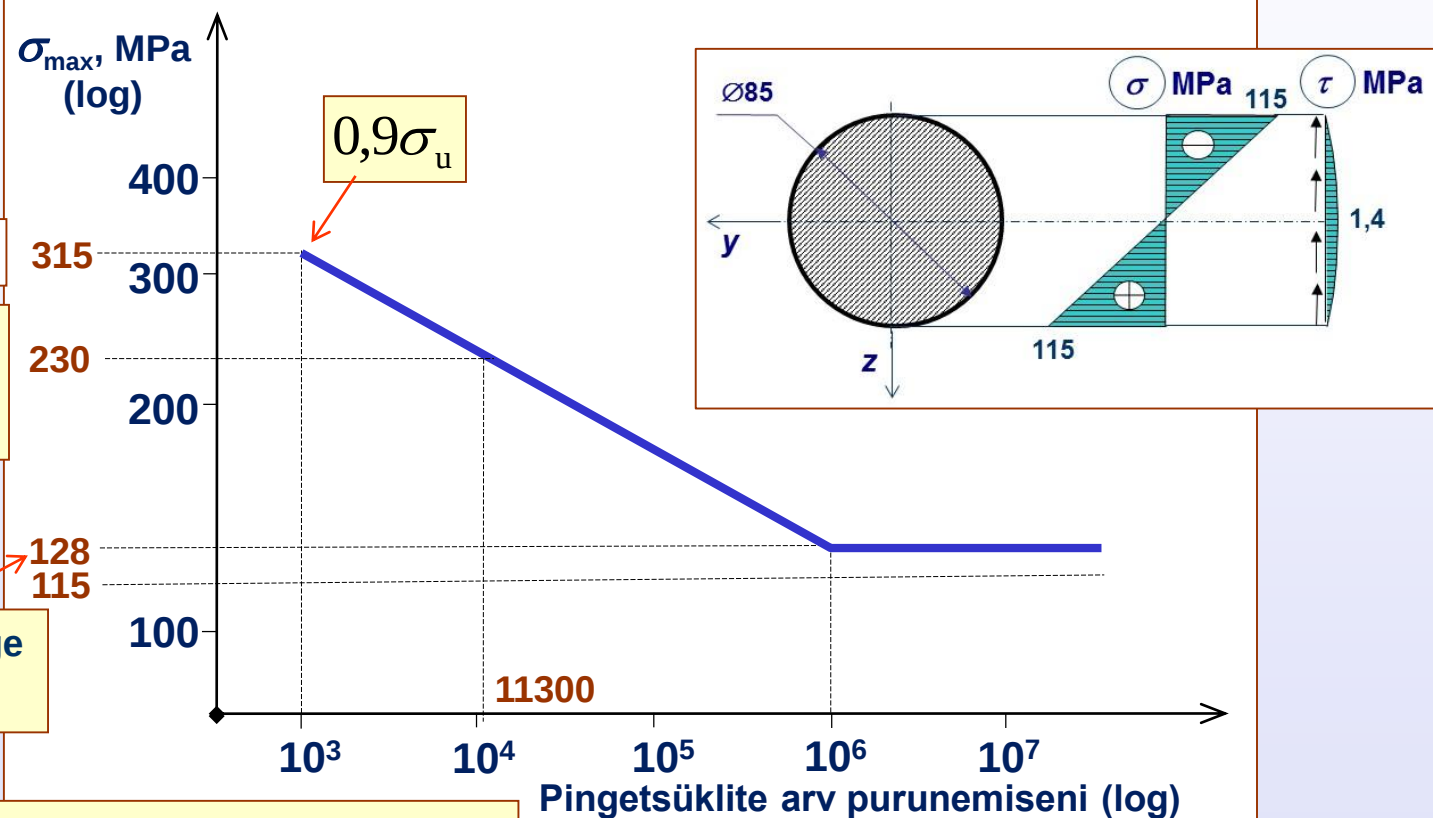
$$0,9 \cdot 350 = 315 \text{ MPa}$$

Tinglik väsimuspiir, mille korral saadakse varutegur $S = [S] = 2$

$$\sigma_{-1}^{(D)}$$

Suurim paindepinge amplituud σ_a

ÜMARTala ohtliku ristlõike kohalik väsimusgraafik



Antud konstruktsiooni tööressurss varutegurile $S = 2$ on $N = 11300$ pingetsüklit

4. Tugevusarvutus tsüklilisele koormusele -- RISTKÜLIKRISTLÕIGE

4.1. Kohalik väsimuspiiri alanemine

Terase väsimuspiir paindel

$$\sigma_{-1} = 0,5\sigma_u = 0,5 \cdot 350 = 175 \text{ MPa}$$

Kui materjali tugevuspiir $\sigma_u < 1400 \text{ MPa}$

Materjali tugevuspiir

Suurim sümmeetrilise pingetsükli amplituudpinge, mida sellest materjalist katsekeha talub purunemata enam, kui 10^6 pingetsükli vältel

Tala kohalik väsimuspiir paindel

$$\sigma_{-1}^{(D)} = K^{(D)} \sigma_{-1} < \sigma_{-1}$$

Sest detaili antud kohas on väsimuspragude tekke tõenäosus eeldatavalt suurem, kui väsimusteimi katsekehas

Väsimuspiiri alanemise tegur

Kirjandusest võib leida ka teistsuguse kujuga valem

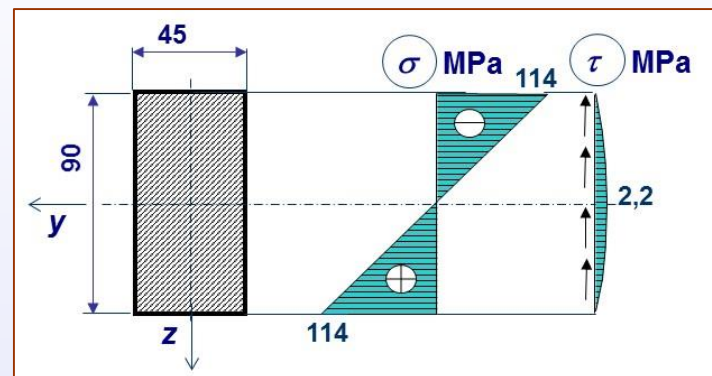
Väsimuspiiri alanemise tegur

$$K^{(D)} = K_k K_m K_p$$

Koormusliigitegur

Mastaabitegur

Pinnakaredustegur



4.1.1 Koormusliigitegur

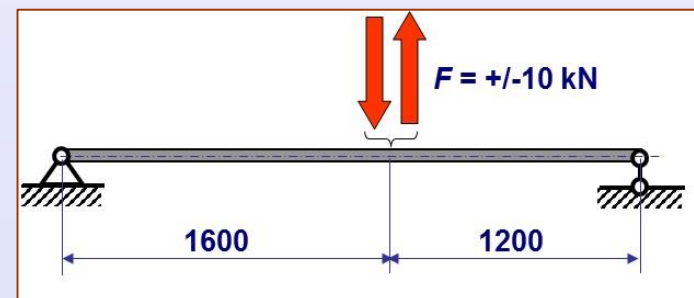
Koormusliigitegur näitab koormuse liigi (pike, paine või vääne) ohtlikkust tsüklilisel koormusel

Koormusliigitegurid terastele

Tööseisund	K_k	Märkus
Pike	0,7	kui on teada pöördpainde $\sigma_{\perp}$
Puhas paine	1	
Puhas vääne	1	1) kui on teada väände $\tau_{\perp}$ või 2) kui on teada pöördpainde (painde) $\sigma_{\perp}$ ja vääne on taandatud ekvivalentseks paindeks

Tala koormusliigitegur

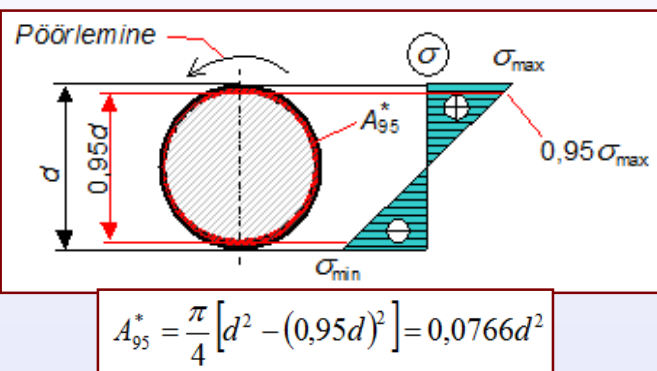
$$K_k = 1$$



4.1.2. Mastaabitegur

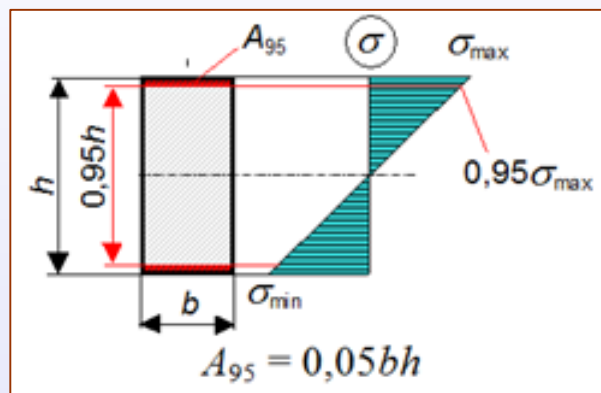
Mastaabitegur näitab detaili kohalike mõõtmete ohtlikkust tsüklilisel koormusel

(95 ... 100) %-ga suurimast pingest
PÖÖRDPAINDEL koormatud ümar-
ristlõike pind



Pöördpaindest erineva koormuse
ja
ümaraste erineva ristlõike
ekvivalentne läbimõõt

(95 ... 100) %-ga suurimast pingest
PAINDEL koormatud ristkülik-
ristlõike pind



$$d_{\text{ekv}} = \sqrt{\frac{A_{95}}{0,0766}}$$

$$d_{\text{ekv}} = \sqrt{\frac{A_{95}}{0,0766}} = \sqrt{\frac{0,05bh}{0,0766}} = \sqrt{\frac{0,05 \cdot 45 \cdot 90}{0,0766}} = 51,4 \approx 52 \text{ mm}$$

Mastaabitegurid

Läbimõõt d , mm	K_m (kui d on mm-s)
< 8	1
8 ... 50	$1,25d^{0,11}$
50 ... 250	$0,859 - 0,000837d$
> 250	0,6

RISTKÜLIKtala mastaabitegur

$$\begin{aligned} K_m &= 0,859 - 0,000837d_{\text{ekv}} = \\ &= 0,859 - 0,000837 \cdot 52 \\ &= 0,815 \approx \underline{0,82} \end{aligned}$$

4.1.3. Pinnakaredustegur

Pinnakaredustegur näitab detaili pinnakareduse ohtlikkust tsüklilisel koormusel

Pinnakaredustegurid terasest detailidele

$$K_p = \begin{cases} A\sigma_u^B \\ 1, \text{ kui } A\sigma_u^B > 1 \end{cases}$$

Tugevuspiir [MPa]

Pinnaviimistlus		A	B
Töötlemisviis	Pinnakaredus $R_a \mu\text{m}$		
Lihvimine	0,1 ... 1,6	1,58	-0,085
Lõiketöötlus ja külmuvaltsimine	0,8 ... 6,3	4,51	-0,265
Kuumvaltsimine	12,5 ... 25	57,7	-0,718
Sepistamine	25 ... 50	272	-0,995

Tala pinnakaredustegur

$$K_t = A\sigma_u^B = 57,7 \cdot 350^{-0,718} = 0,860 \approx \underline{0,86}$$

4.1.4. Kohalik väsimuspiir

Väsimuspiiri alanemise tegur

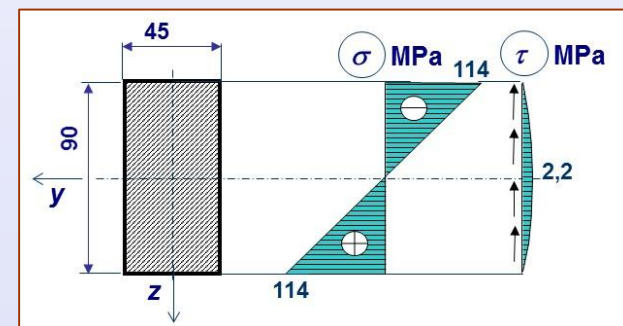
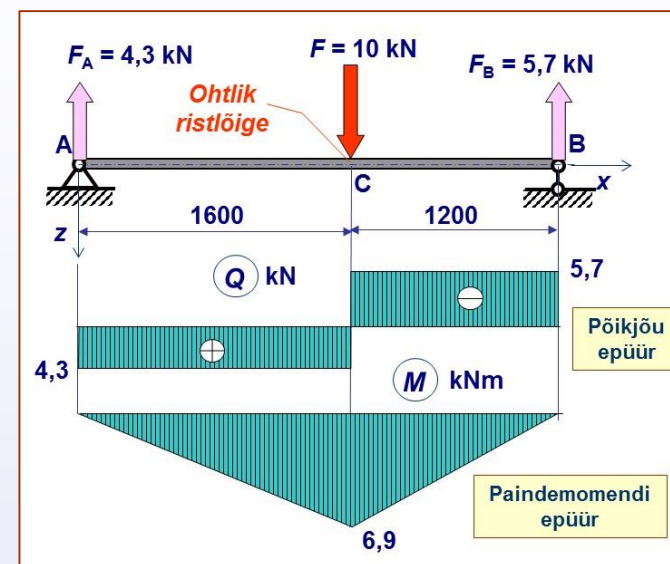
$$K^{(D)} = K_k K_m K_p = 1 \cdot 0,82 \cdot 0,86 = 0,705 \approx \underline{0,70}$$

RISTKÜLIKtala kohalik väsimuspiir

$$\sigma_{-1}^{(D)} = K^{(D)} \sigma_{-1} = 0,70 \cdot 175 = 122,5 \approx \underline{122 \text{ MPa}}$$

Suurim sümmeetrilise pingetsükli amplituudpinge, mida antud terasest ja antud konstruktsiooniga tala talub purunemata enam, kui 10^6 pingetsükli vältel

Ühe ja sama detaili erineva konstruktsiooniga kohtades võivad väsimuspiiride väärtused olla erinevad



4.2. Tugevuskontroll tsüklilisele koormusele

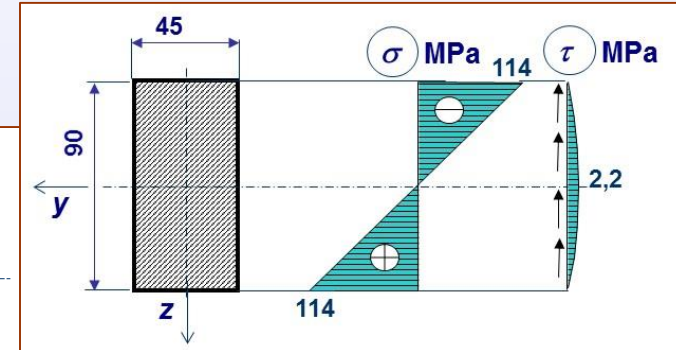
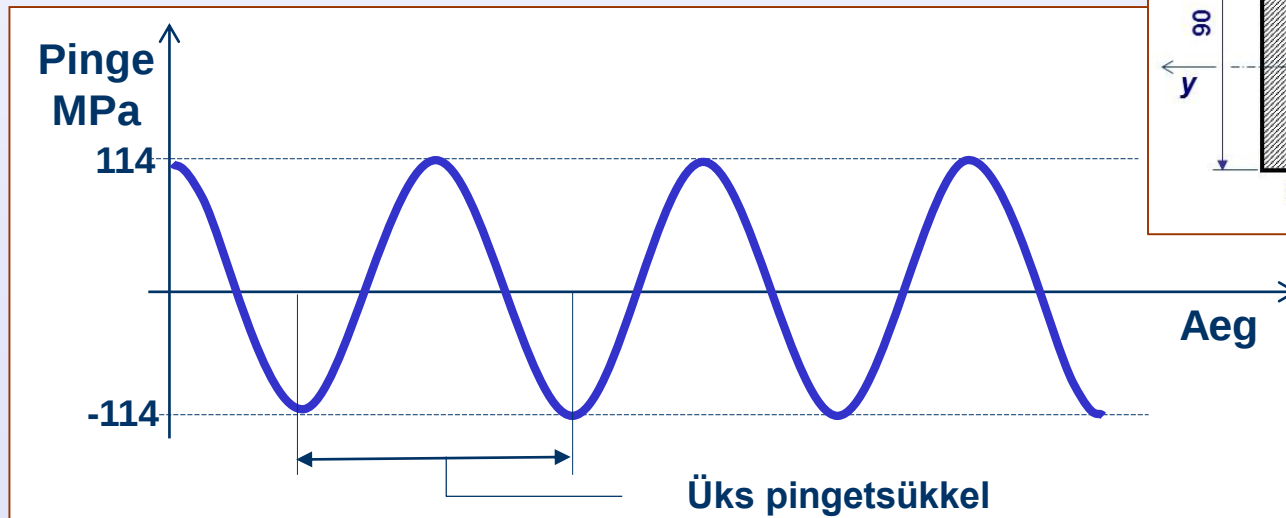
Sümmeetrilise pingetsükli tugevustingimus

$$S = \frac{\sigma_{-1}^{(D)}}{\sigma_a} = \frac{122}{114} = 1,07 < [S] = 2$$



Tala tugevus tsüklilisel koormusel 10^6 pingetsüklile ei ole tagatud

RISTKÜLIKtala ohtliku ristlõike ohtlike punktide kohalik paindepingetsükkel



4.3. Pingetsüklite arv eeldatava purunemiseni

Millisel tsüklite arvul N ?

$$S = \frac{\sigma_{-1,N}^{(D)}}{\sigma_a} \geq [S] = 2$$

$$0,9 \cdot 350 = 315 \text{ MPa}$$

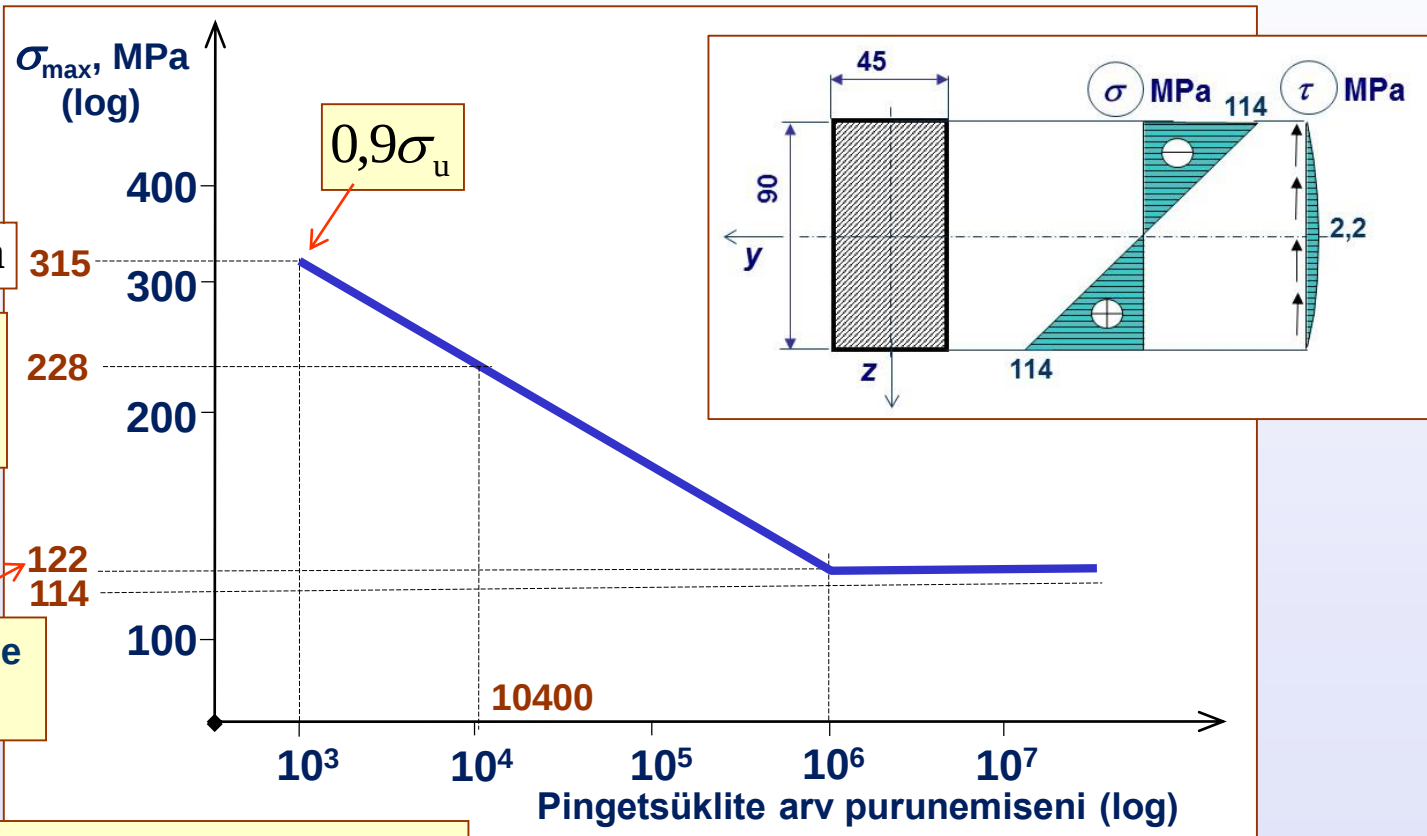
Tinglik väsimuspiir, mille korral saadakse varutegur $S = [S] = 2$

$$\sigma_{-1}^{(D)}$$

Suurim paindepinge amplituud σ_a

Antud konstruktsiooni tööressurss varutegurile $S = 2$ on $N = 10400$ pingetsüklit

RISTKÜLIKtala ohtliku ristlõike kohalik väsimusgraafik



5. Tugevusarvutus tsüklilisele koormusele – INP-RISTLÕIGE

5.1. Kohalik väsimuspiiri alanemine

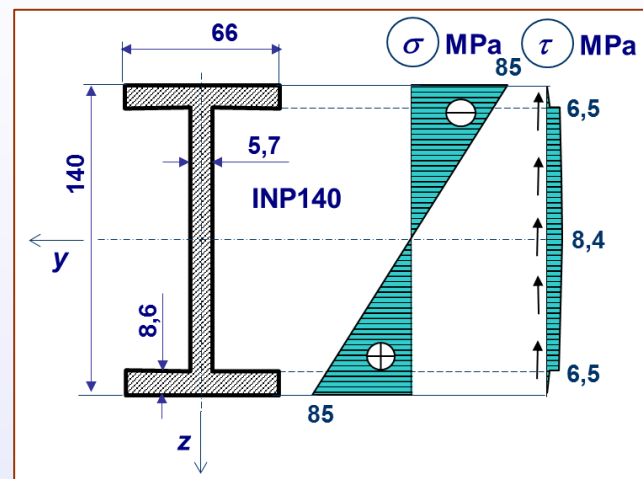
Terase väsimuspiir paindel

$$\sigma_{-1} = 0,5\sigma_u = 0,5 \cdot 350 = 175 \text{ MPa}$$

Materjali tugevuspiir

Suurim sümmeetrilise pingetsükli amplituudpinge, mida sellest materjalist katsekeha talub purunemata enam, kui 10^6 pingetsükli vältel

Kui materjali tugevuspiir $\sigma_u < 1400 \text{ MPa}$



Tala kohalik väsimuspiir paindel

$$\sigma_{-1}^{(D)} = K^{(D)} \sigma_{-1} < \sigma_{-1}$$

Väsimuspiiri alanemise tegur

Sest detaili antud kohas on väsimuspragude tekke tõenäosus eeldatavalt suurem, kui väsimusteimi katsekehas

Väsimuspiiri alanemise tegur

$$K^{(D)} = K_k K_m K_p$$

Koormusliigitegur

Mastaabitegur

Pinnakaredustegur

Kirjandusest võib leida ka teistsuguse kujuga valem

5.1.1 Koormusliigitegur

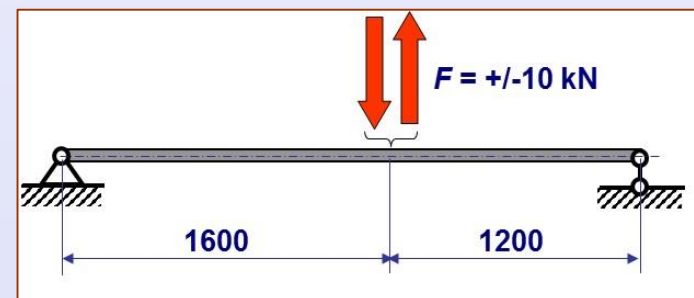
Koormusliigitegur näitab koormuse liigi (pike, paine või vääne) ohtlikkust tsüklilisel koormusel

Koormusliigitegurid terastele

Tööseisund	K_k	Märkus
Pike	0,7	kui on teada pöördpainde $\sigma_{\perp}$
Puhas paine	1	
Puhas vääne	1	1) kui on teada väände $\tau_{\perp}$ või 2) kui on teada pöördpainde (painde) $\sigma_{\perp}$ ja vääne on taandatud ekvivalentseks paindeks

Tala koormusliigitegur

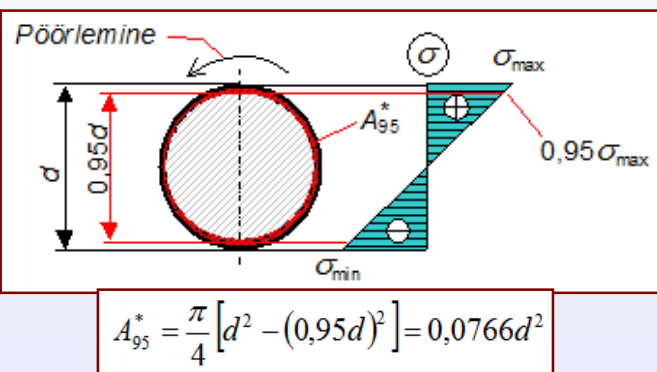
$$K_k = 1$$



5.1.2. Mastaabitegur

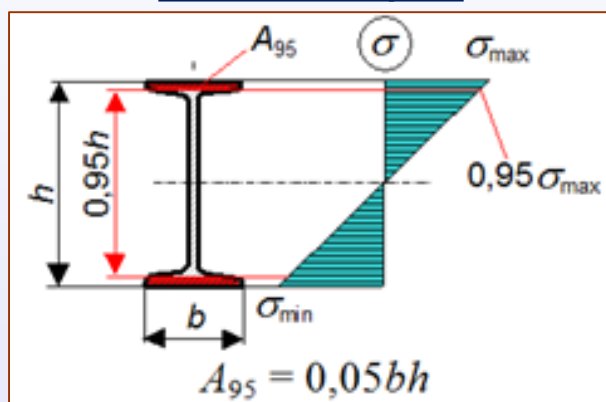
Mastaabitegur näitab detaili kohalike mõõtmete ohtlikkust tsüklilisel koormusel

(95 ... 100) %-ga suurimast pingest PÖÖRDPAINDEL koormatud ümar-ristlõike pind



Pöördpaindest erineva koormuse ja ümaraste erineva ristlõike ekvivalentne läbimõõt

(95 ... 100) %-ga suurimast pingest PAINDEL koormatud INP-ristlõike pind



$$d_{\text{ekv}} = \sqrt{\frac{A_{95}}{0,0766}}$$

$$d_{\text{ekv}} = \sqrt{\frac{A_{95}}{0,0766}} = \sqrt{\frac{0,05bh}{0,0766}} = \sqrt{\frac{0,05 \cdot 66 \cdot 140}{0,0766}} = 77,6 \approx 78 \text{ mm}$$

Mastaabitegurid

Läbimõõt d , mm	K_m (kui d on mm-s)
< 8	1
8 ... 50	$1,25d^{0,11}$
50 ... 250	$0,859 - 0,000837d$
> 250	0,6

RINP-tala mastaabitegur

$$\begin{aligned} K_m &= 0,859 - 0,000837d_{\text{ekv}} = \\ &= 0,859 - 0,000837 \cdot 78 \\ &= 0,793 \approx \underline{0,79} \end{aligned}$$

5.1.3. Pinnakaredustegur

Pinnakaredustegur näitab detaili pinnakareduse ohtlikkust tsüklilisel koormusel

Pinnakaredustegurid terasest detailidele

$$K_p = \begin{cases} A\sigma_u^B \\ 1, \text{ kui } A\sigma_u^B > 1 \end{cases}$$

Tugevuspiir [MPa]

Pinnaviimistlus		A	B
Töötlemisviis	Pinnakaredus $R_a \mu\text{m}$		
Lihvimine	0,1 ... 1,6	1,58	-0,085
Lõiketöötlus ja külmaltsimine	0,8 ... 6,3	4,51	-0,265
Kuumvaltsimine	12,5 ... 25	57,7	-0,718
Sepistamine	25 ... 50	272	-0,995

Tala pinnakaredustegur

$$K_t = A\sigma_u^B = 57,7 \cdot 350^{-0,718} = 0,860 \approx \underline{0,86}$$

5.1.4. Kohalik väsimuspiir

Väsimuspiiri alanemise tegur

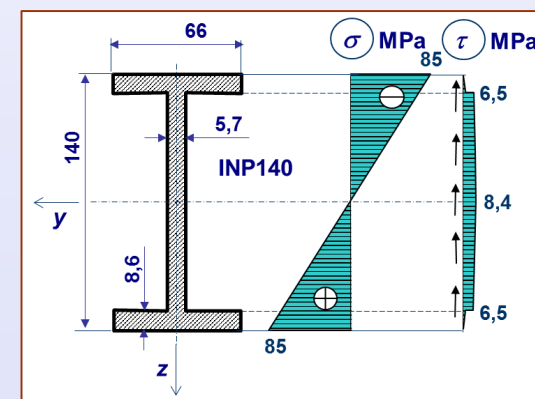
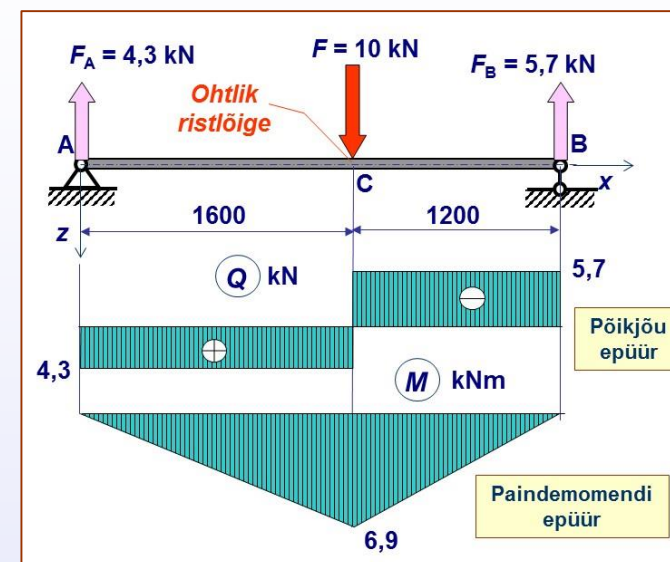
$$K^{(D)} = K_k K_m K_p = 1 \cdot 0,79 \cdot 0,86 = 0,679 \approx \underline{0,68}$$

RISTKÜLIKtala kohalik väsimuspiir

$$\sigma_{-1}^{(D)} = K^{(D)} \sigma_{-1} = 0,68 \cdot 175 = 119 \text{ MPa}$$

Suurim sümmeetrilise pingetsükli amplituudpinge, mida antud terasest ja antud konstruktsiooniga tala talub purunemata enam, kui 10^6 pingetsükli vältel

Ühe ja sama detaili erineva konstruktsiooniga kohtades võivad väsimuspiiride väärtused olla erinevad



5.2. Tugevuskontroll tsüklilisele koormusele

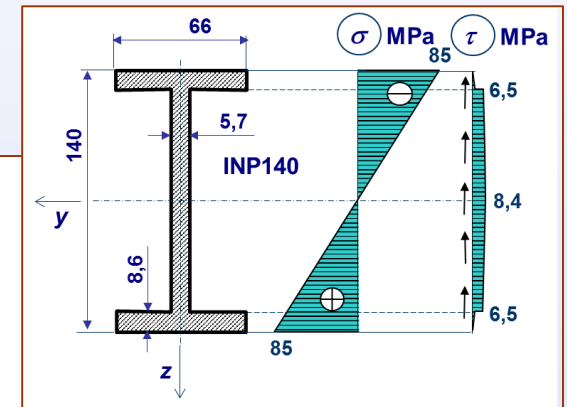
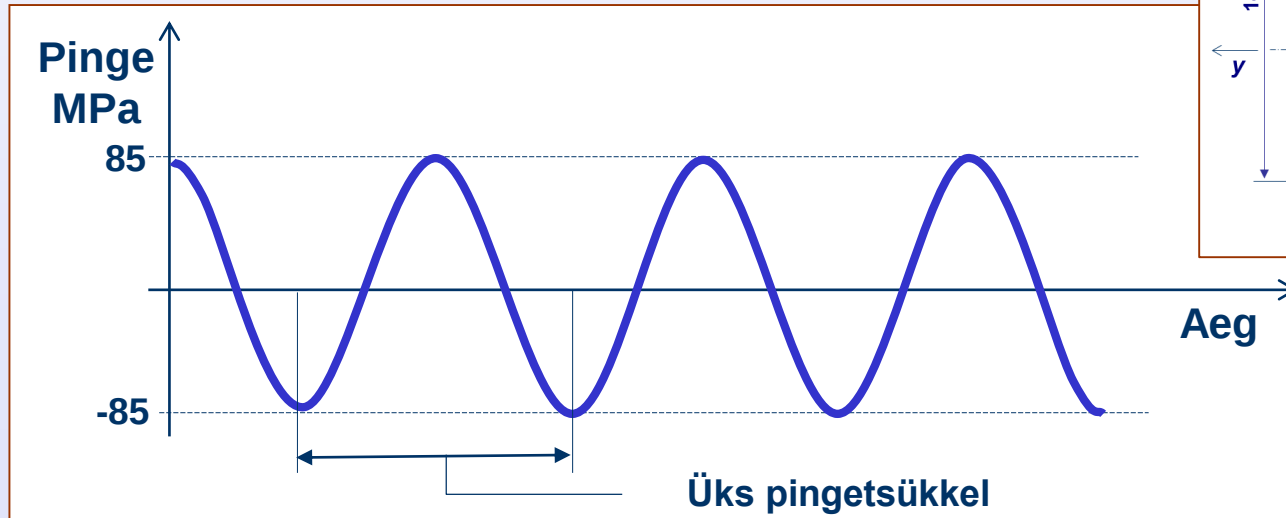
Sümmeetrilise pingetsükli tugevustingimus

$$S = \frac{\sigma_{-1}^{(D)}}{\sigma_a} = \frac{119}{85} = 1,4 < [S] = 2$$



Tala tugevus tsüklilisel koormusel 10^6 pingetsüklile ei ole tagatud

INP-tala ohtliku ristlõike ohtlike punktide kohalik paindepingetsükkel



5.3. Pingetsüklite arv eeldatava purunemiseni

Millisel tsüklite arvul N ?

$$S = \frac{\sigma_{-1,N}^{(D)}}{\sigma_a} \geq [S] = 2$$

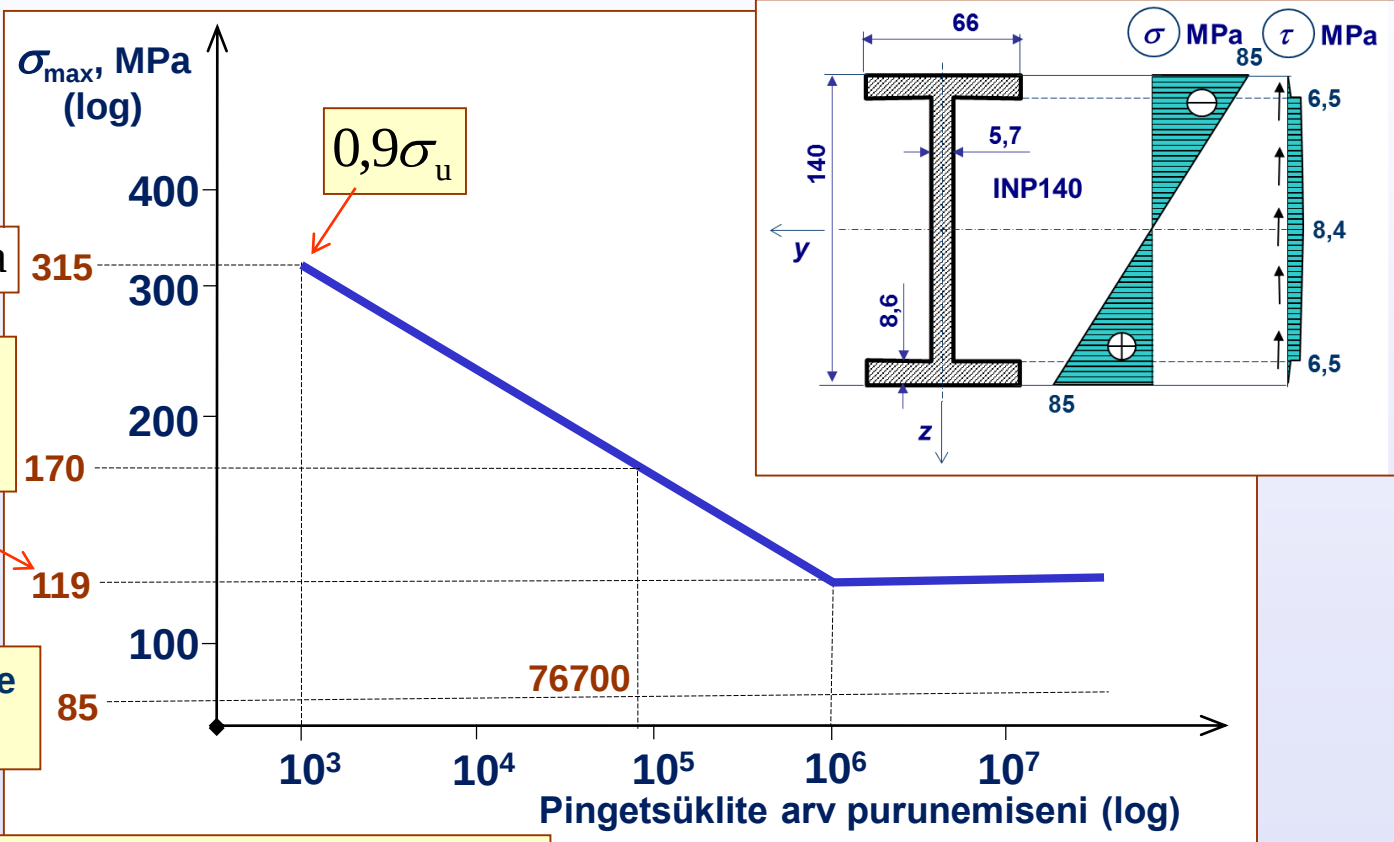
$$0,9 \cdot 350 = 315 \text{ MPa}$$

Tinglik väsimuspiir, mille korral saadakse varutegur $S = [S] = 2$

$$\sigma_{-1}^{(D)}$$

Suurim paindepinge amplituud σ_a

INP-tala ohtliku ristlõike kohalik väsimusgraafik

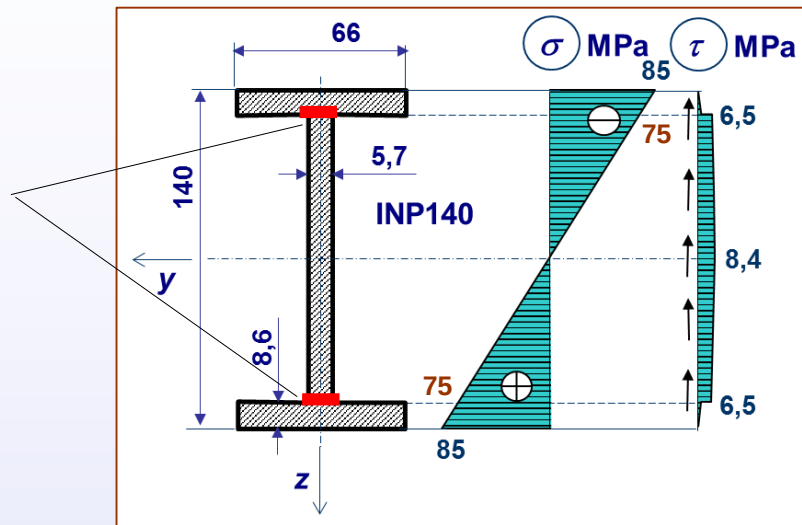


Antud konstruktsiooni tööressurss varutegurile $S = 2$ on $N = 76700$ pingetsüklit

5.4. Tugevuskontroll väsimusele paine ja lõike koosmõjul

Ohtlikud punktid

- $\sigma = 75$ MPa
- $\tau = 6,5$ MPa



INP-tala ohtliku ristlõike ohtlike punktide ekvivalentpinge

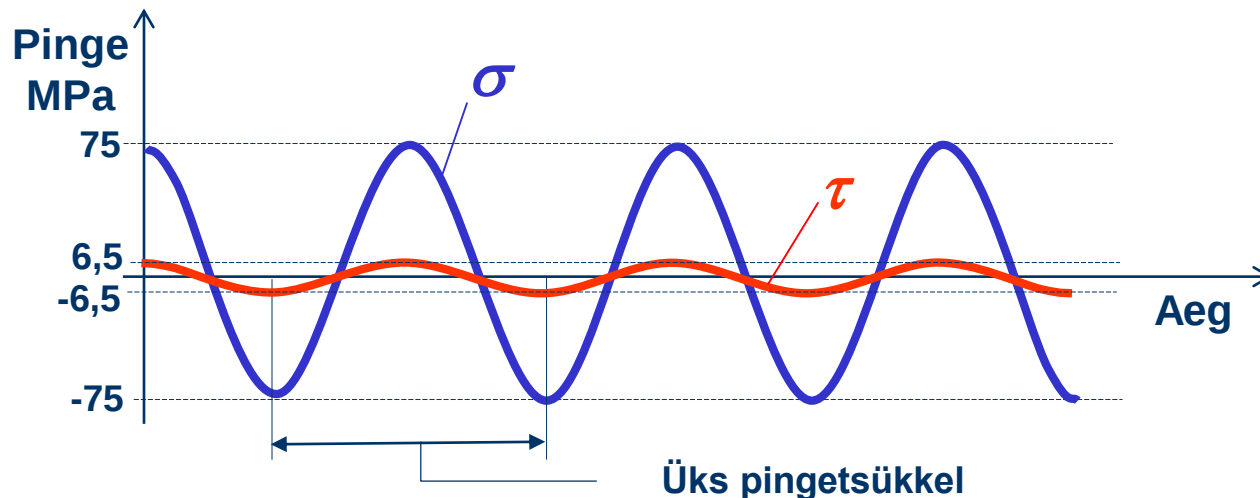
$$\begin{aligned}\sigma_{\text{ekv}}^{\text{IV}} &= \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} = \\ &= \sqrt{75^2 + 3 \cdot 6,5^2} = \\ &= 75,8 \approx 76 \text{ MPa}\end{aligned}$$

$$\sigma_{\text{ekv}}^{\text{IV}} = 76 \text{ MPa} < \sigma_{\text{max}} = 85 \text{ MPa}$$



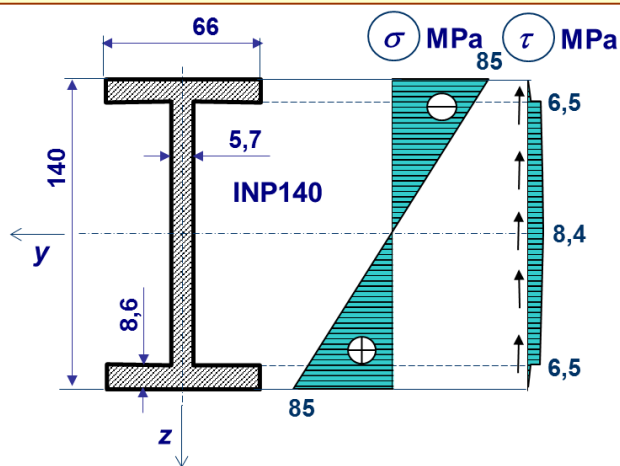
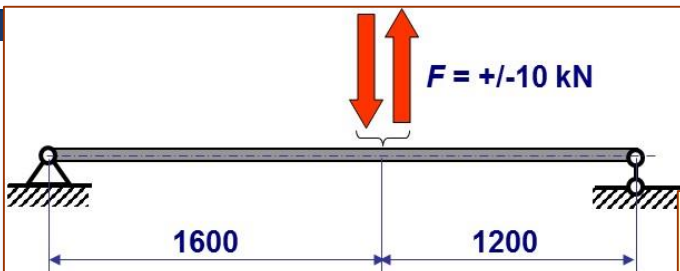
**Paine ja lõike koosmõju
on vähem ohtlik, kui paine**

INP-tala ohtliku ristlõike ohtlike
punktide kohalik painde- ja
lõikepingetsükkel



6. Tulemused

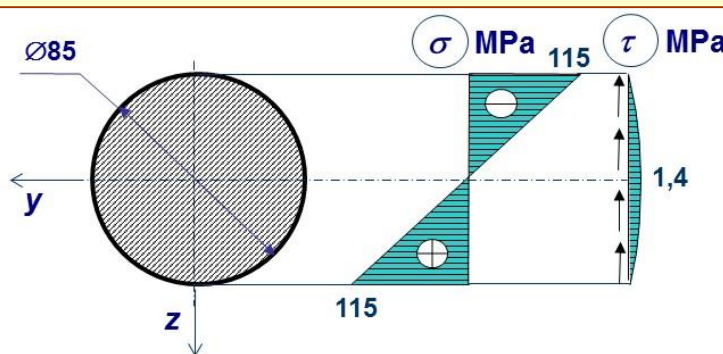
6.1. Lahendite võrdlus



Staatika varutegur: $S = 2,7$

Väsimusvarutegur: $S = 1,4$

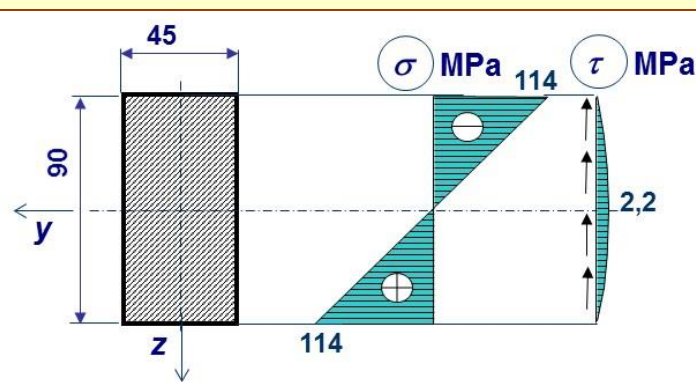
Garanteeritud ressurss: $N = 76700$



Staatika varutegur: $S = 2$

Väsimusvarutegur: $S = 1,1$

Garanteeritud ressurss: $N = 11300$



Staatika varutegur: $S = 2$

Väsimusvarutegur: $S = 1,0$

Garanteeritud ressurss: $N = 10400$