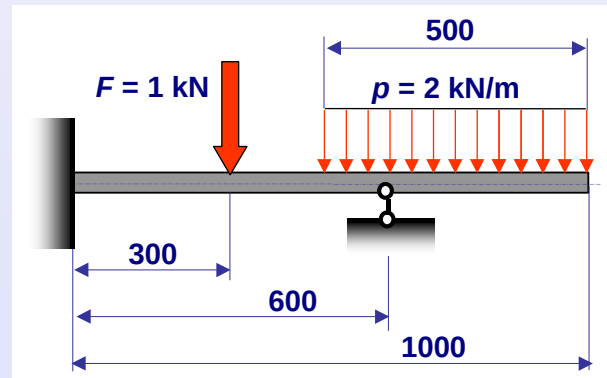


TUGEVUSÕPETUS

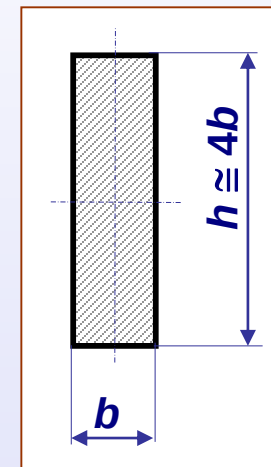
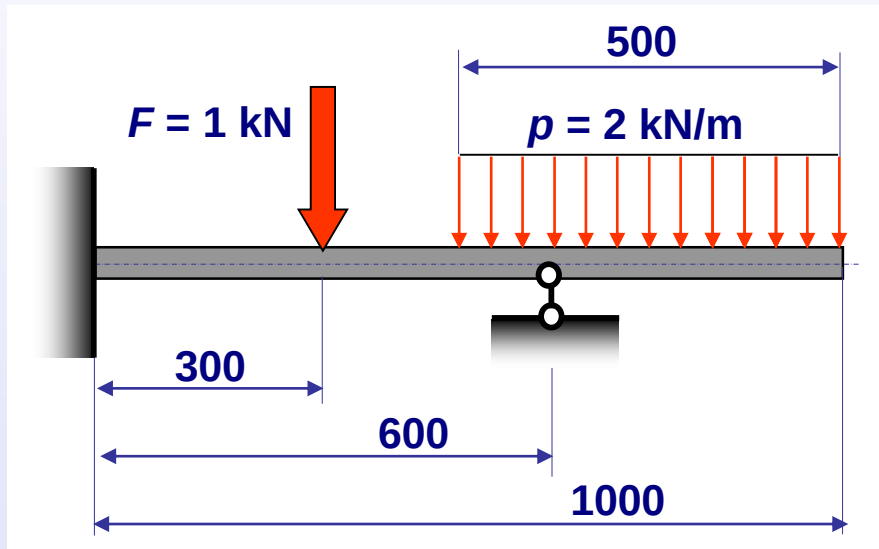
PAINE-STAATIKAGA MÄÄRAMATU: Dimensioneerimine



1. Algandmed ja ülesande püstitus

1.1. Ühtlane konsooliga tala

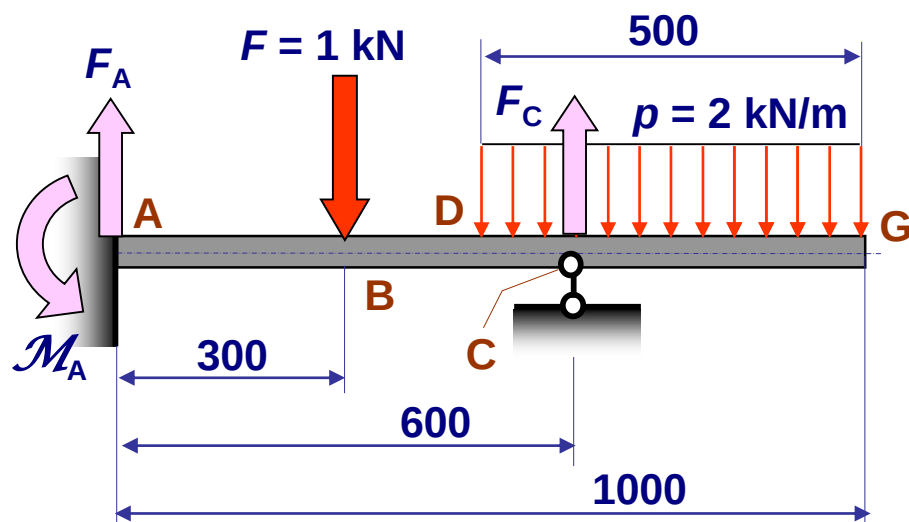
Valida Ruukki kataloogist sobiva ristkülik-
ristlõikega tala !



Materjal: ehitusteras S235
Nõutav varutegur: $[S] = 1,5$

2. Tala tasakaaluvõrrandid

2.1. Toereaktsioonid (1)



1. tasakaaluvõrrand

$$\sum \mathcal{M}^{(A)} = 0$$

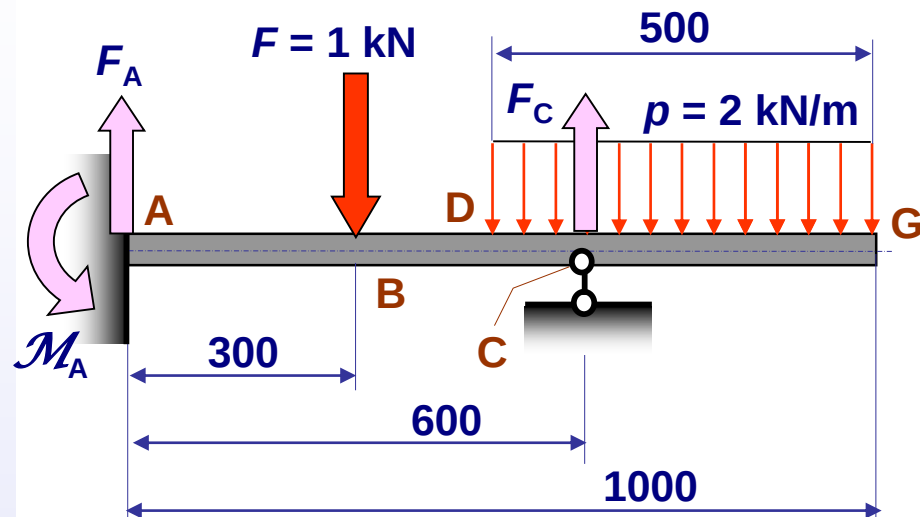
Kõikide momentide summa punkti A suhtes

$$\mathcal{M}_A - F_{AB} - pDG \left(AD + \frac{DG}{2} \right) + F_C AC = 0$$

$$\begin{aligned} \mathcal{M}_A &= F_{AB} + pDG \left(AD + \frac{DG}{2} \right) - F_C AC = \\ &= 1000 \cdot 0,3 + 2000 \cdot 0,5 \cdot \left(0,5 + \frac{0,5}{2} \right) - F_C \cdot 0,6 = \\ &= \underline{1050 - 0,6F_C} \end{aligned}$$

Pöördemomentide summa on otstarbekas arvutada sellise punkti suhtes, mida läbib mõne tundmatu väärtusega jõu mõjusirge (punktid A ja C)

2.1. Toereaktsioonid (2)



2. tasakaaluvõrrand

$$\sum \mathcal{M}^{(C)} = 0$$

Kõikide momentide summa punkti C suhtes

$$\mathcal{M}_A - F_A AC + FBC - pDG \left(AG - AC - \frac{DG}{2} \right) = 0$$

$$\begin{aligned} F_A &= \frac{\mathcal{M}_A + FBC - pDG \left(AG - AC - \frac{DG}{2} \right)}{AC} = \\ &= \frac{\mathcal{M}_A + 1000 \cdot 0,3 - 2000 \cdot 0,5 \cdot \left(1 - 0,6 - \frac{0,5}{2} \right)}{0,6} = \\ &= 1,67 \mathcal{M}_A + 250 \end{aligned}$$

3. tasakaaluvõrrand:

$$\sum F = 0$$

Kõikide jõudude summa

$$F_A - F + F_C - pDG = 0$$

$$\begin{aligned} F_C &= -F_A + F + pDG = \\ &= -F_A + 1000 + 2000 \cdot 0,5 = \\ &= 2000 - F_A \end{aligned}$$

2.2. Staatikaga määramatuse aste

Kolm tasakaaluseost

$$\mathcal{M}_A = 1050 - 0,6F_C$$

$$F_A = 1,67\mathcal{M}_A + 250$$

$$F_C = 2000 - F_A$$

Tasakaaluseoseid saab kirjutada lõpmatult palju

$$\mathcal{M}_A \cong 1050 - 0,6F_C$$

See võrrand on juba olemas

$$F_C = 2000 - 1,67\mathcal{M}_A - 250 = 1750 - 1,67\mathcal{M}_A$$

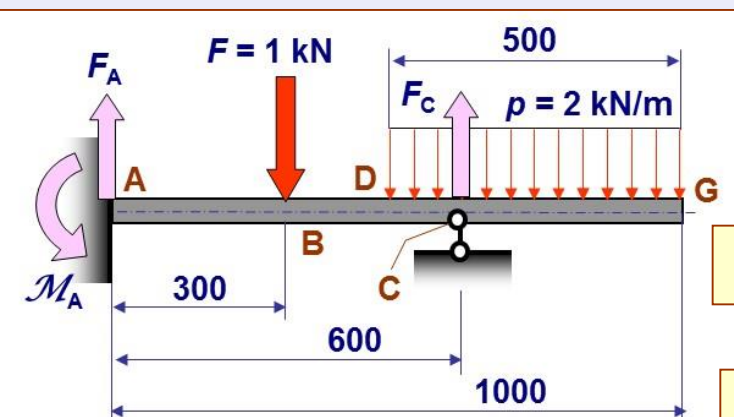
Antud üleandes saab toereaktsioonidele kirjutada KAKS unikaalset tasakaaluvõrrandit

Lähtudes asjaoludest, et:

1. Rohkem tasakaaluvõrrandeid sellele tarindile koostada ei saa (tasakaaluvõrrandite arv = 2)
2. Tasakaaluvõrrandid sisaldavad kolme tundmatut $\mathcal{M}_A$, F_A ja F_C (tundmatute arv = 3)

See ülesanne on ÜHEKORDSELT staatikaga määramatu

Selle tarindi STAATIKAGA MÄÄRAMATUSE ASTE on 1



3. Sobivusvõrrand

3.1. Sobivusvõrrandite koostamise meetodid

SOBIVUSVÕRRAND = matemaatiline seos koormuste vahel, mis põhineb tarindis ja/või selle üksikutes osades tekkivate deformatsioonide seostel

Sobivusvõrrandite koostamiseks on kaks meetodit:

Deformatsioonide võrdlemise meetod



1. Koostatakse võrrandid tarindi osade deformatsioonide jaoks
2. Kirjeldatakse sosed nende deformatsioonide vahel

PAINDEülesannetes kasutatakse tavaliselt **TOESIDEMETE EEMALDAMISE** meetodit

Toesidemete eemaldamise meetod



1. Staatikaga **MÄÄRAMATUST** tarindist tekitatakse staatikaga **MÄÄRATUD** tarind valitud toesideme(te) eemaldamise teel -- s.o. **PÕHISKEEM**
2. Arvutatakse **EEMALDATUD** toesideme(te)le vastavad siirded
3. Arvutatakse eemaldatud toesidemete siirded toereaktsioonidele vastavate koormuste toimel

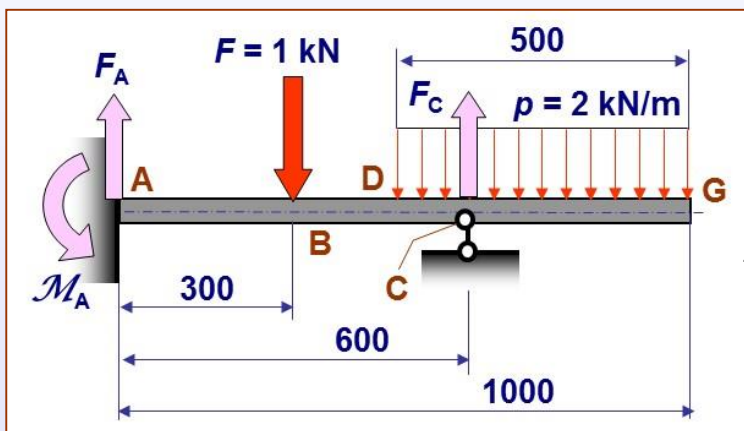
4. Arvutatakse need toereaktsioonid tingimusest, et toel vastavat siiret olla ei saa

3.2. Põhiskeem

Põhiskeem moodustatakse eemaldades algsest ülesandest staatikaga määramatuse astmega võrdne arv toesidemeid $\Rightarrow$
 $\Rightarrow$ Tekib STAATIKAGA MÄÄRATUD ülesanne

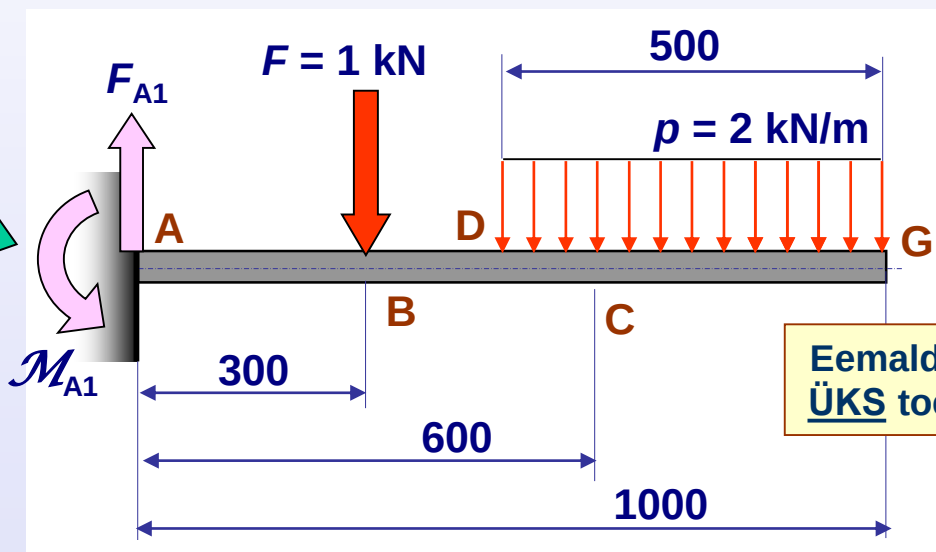
Eemaldada võib
ükskõik missuguseid
toesidemeid

Algne ülesanne



STAATIKAGA MÄÄRAMATUSE
ASTE on ÜKS

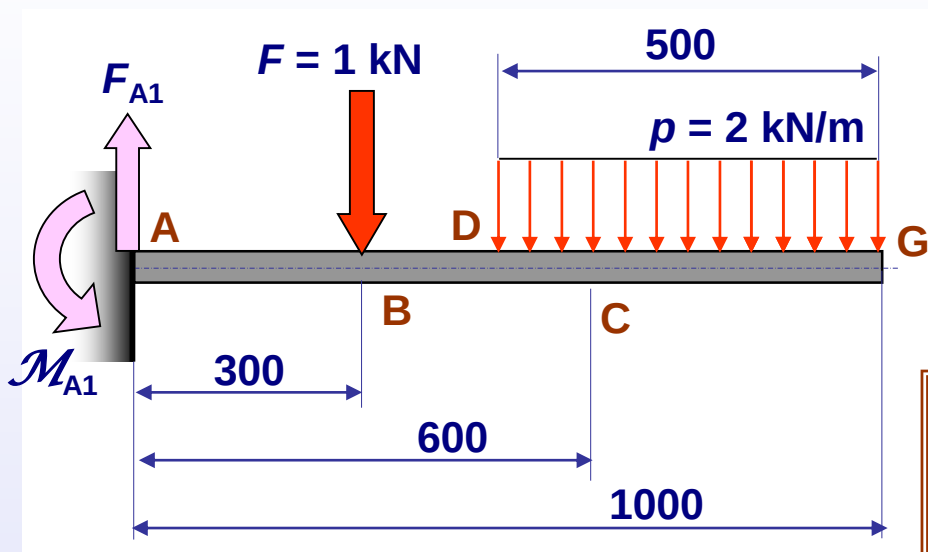
Põhiskeem



Eemaldatud on
ÜKS toeseid F_C

3.3. Põhiskeemi toereaktsioonid

Põhiskeem



1. tasakaaluvõrrand

$$\sum \mathcal{M}^{(A)} = 0$$

Kõikide momentide summa punkti A suhtes

$$\mathcal{M}_{A1} - FAB - pDG \left(AD + \frac{DG}{2} \right) = 0$$

$$\begin{aligned} \mathcal{M}_{A1} &= FAB + pDG \left(AD + \frac{DG}{2} \right) = \\ &= 1000 \cdot 0,3 + 2000 \cdot 0,5 \cdot \left(0,5 + \frac{0,5}{2} \right) = \underline{1050 \text{ Nm}} \end{aligned}$$

Märk "+" näitab, et suund joonisel on õige

2. tasakaaluvõrrand:

$$\sum F = 0$$

Kõikide jõudude summa

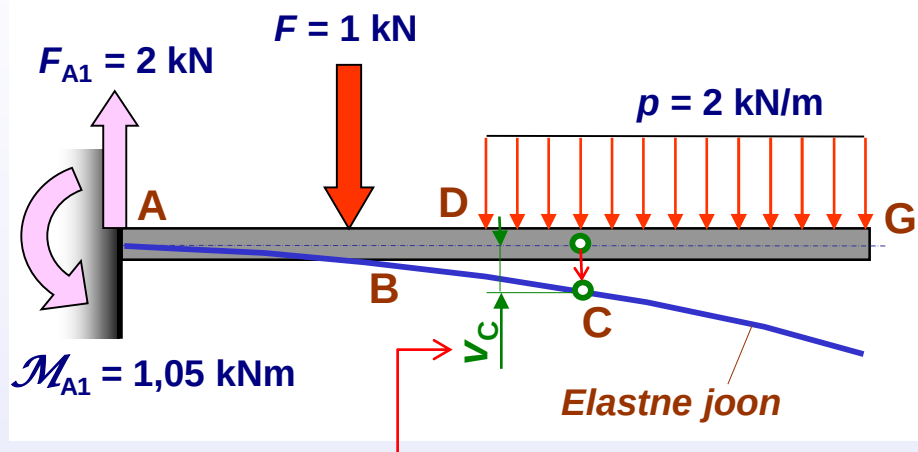
$$F_{A1} - F - pDG = 0$$

$$F_{A1} = F + pDG = 1000 + 2000 \cdot 0,5 = \underline{2000 \text{ N}}$$

Märk "+" näitab, et suund joonisel on õige

3.4. Põhiskeemi ristlõike C läbipaine

Põhiskeem



Ristlõike C läbipaine v_C saab tekkida siis ja ainult siis, kui toese F_C puudub (ehk tugi C puudub)

Juhul, kui põhiskeem on saadud toesideme $\mathcal{M}_A$ eemaldamise teel, arvutatakse ristlõike A pööre φ_A

Paindesiirete arvutamiseks on kaks meetodit

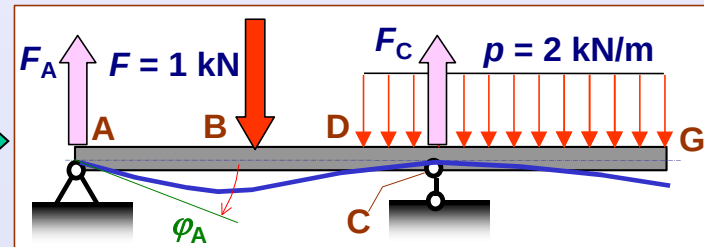
Universaalsvõrrandid

Võimaldavad siirdeid arvutada kogu tala ulatuses

Mohr'i algoritm

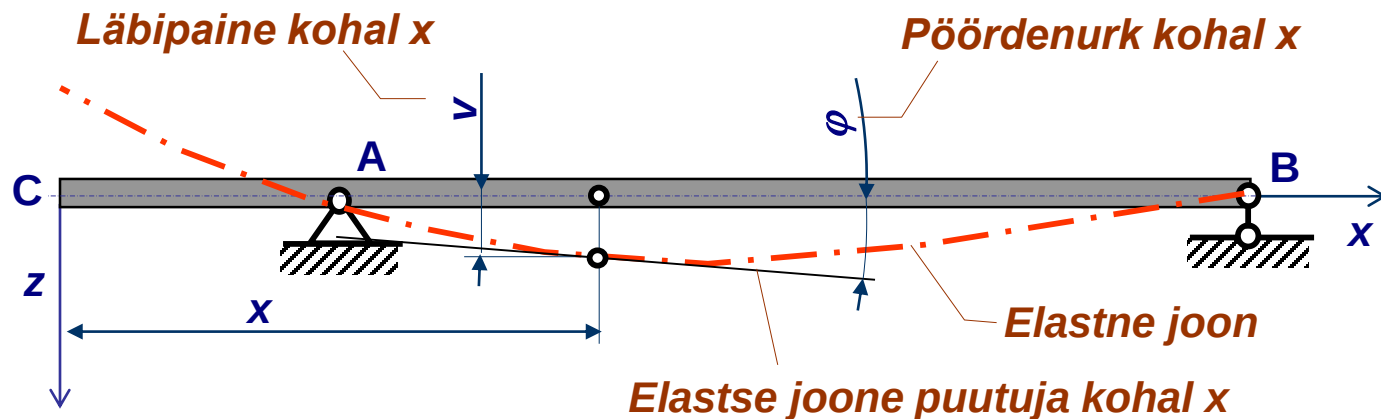
Võimaldab siirdeid arvutada ette määratud kohtades

Meetodi valik on vaba



Selles ülesandes arvutatakse läbipaine v_C universaalsvõrrandi abil

3.4.1. Painde universaalförrandid (1)



Läbipainde universaalförrand

Pöördenurga universaalförrand

$$\begin{aligned} \varphi EI = \varphi_0 EI &+ \sum \left[\mathcal{M} (x - a_{\mathcal{M}}) \cdot H(x - a_{\mathcal{M}}) \right] + \\ &+ \sum \left[F \frac{(x - a_F)^2}{2} \cdot H(x - a_F) \right] + \\ &+ \sum \left[p \frac{(x - a_p)^3}{6} \cdot H(x - a_p) \right] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} vEI = v_0 EI + \varphi_0 x EI &+ \sum \left[\mathcal{M} \frac{(x - a_{\mathcal{M}})^2}{2} \cdot H(x - a_{\mathcal{M}}) \right] + \\ &+ \sum \left[F \frac{(x - a_F)^3}{6} \cdot H(x - a_F) \right] + \\ &+ \sum \left[p \frac{(x - a_p)^4}{24} \cdot H(x - a_p) \right] \end{aligned}$$

3.4.1. Painde universaalförrandid (2)

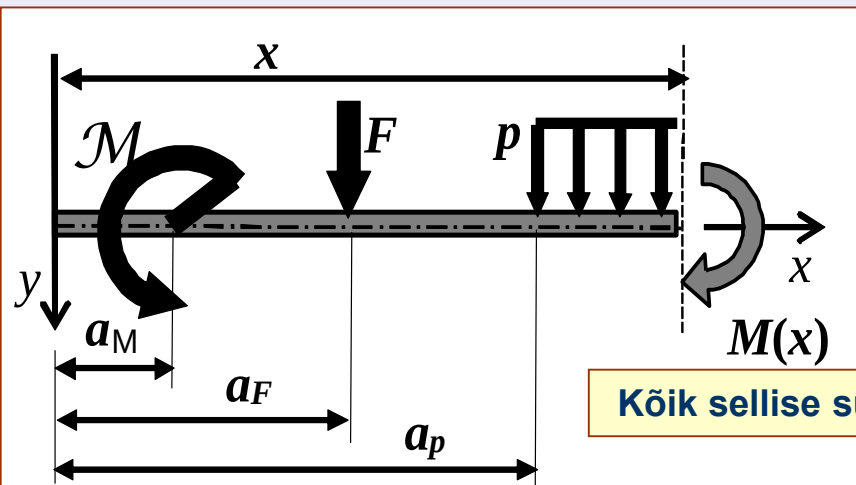
Pöördenurga universaalförrand

$$\varphi EI = \varphi_0 EI + \sum \left[\mathcal{M} (x - a_{\mathcal{M}}) \cdot H(x - a_{\mathcal{M}}) \right] + \sum \left[F \frac{(x - a_F)^2}{2} \cdot H(x - a_F) \right] + \sum \left[p \frac{(x - a_p)^3}{6} \cdot H(x - a_p) \right]$$

Läbipainde universaalförrand

$$vEI = \underbrace{v_0 EI}_{\text{Läbipaine kohal } x=0} + \underbrace{\varphi_0 x EI}_{\text{Pöördenurk kohal } x=0} + \sum \left[\mathcal{M} \frac{(x - a_{\mathcal{M}})^2}{2} \cdot H(x - a_{\mathcal{M}}) \right] + \sum \left[F \frac{(x - a_F)^3}{6} \cdot H(x - a_F) \right] + \sum \left[p \frac{(x - a_p)^4}{24} \cdot H(x - a_p) \right]$$

Koormuste mõju



Heaviside'i funktsioon

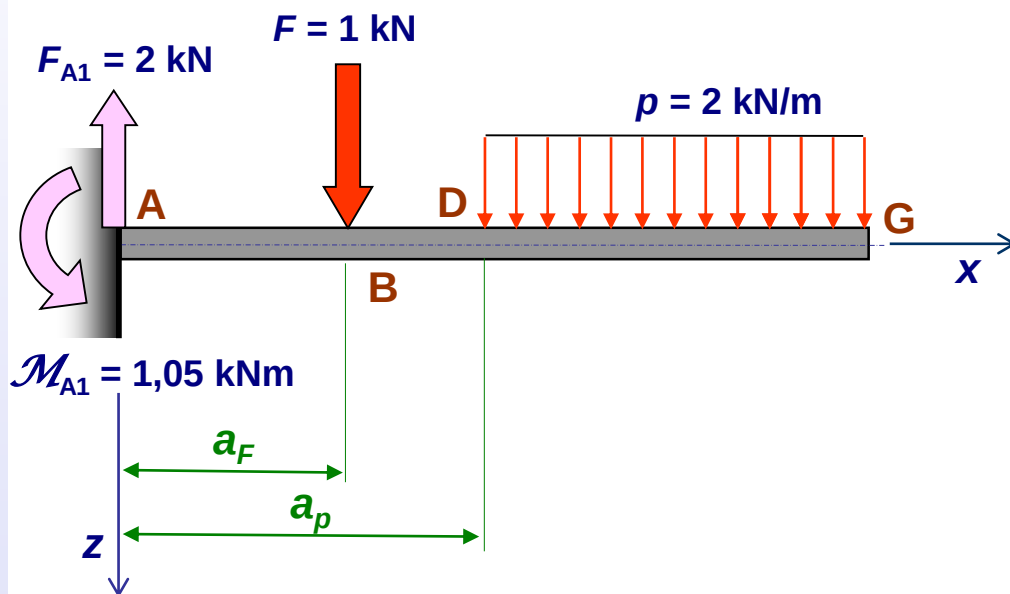
$$H(x - a) = \begin{cases} 0, & \text{kui } x < a \\ 1, & \text{kui } x \geq a \end{cases}$$

Kõik sellise suunaga koormused on võrrandites märgiga "+"

3.4.2. Universaalvõrrandite parameetrid

Teljestik zx on valitud selliselt, et joonkoormus p lõpeb kohas, kus $x = \max$ (p ulatub tala lõpuni)

Põhiskeemi korrigeerida ei ole vaja



Universaalvõrrandite parameetrid

$$\mathcal{M}_{A1} (+) \quad a_{\mathcal{M}A1} = 0$$

$$F_{A1} (-) \quad a_{FA1} = 0$$

$$F (+) \quad a_F = AB = 0,3 \text{ m}$$

$$p (+) \quad a_p = AD = 0,5 \text{ m}$$

3.4.3. Läbipainide universaalvõrrand (1)

$$vEI = v_0EI + \varphi_0xEI + \sum \left[\mathcal{M} \frac{(x-a_{\mathcal{M}})^2}{2} \cdot H(x-a_{\mathcal{M}}) \right] +$$

$$+ \sum \left[F \frac{(x-a_F)^3}{6} \cdot H(x-a_F) \right] +$$

$$+ \sum \left[p \frac{(x-a_p)^4}{24} \cdot H(x-a_p) \right]$$

Heaviside'i funktsioon

$$H(x-a) = \begin{cases} 0, & \text{kui } x < a \\ 1, & \text{kui } x \geq a \end{cases}$$

$H(x-0) = 1$ alati

$a_{\mathcal{M}A1} = 0$

$a_{\mathcal{M}A1} = 0$

$$vEI = v_{01}EI + \varphi_{01}xEI + \mathcal{M}_{A1} \frac{(x-a_{\mathcal{M}A1})^2}{2} H(x-a_{\mathcal{M}A1}) -$$

$$- F_{A1} \frac{(x-a_{FA1})^3}{6} H(x-a_{FA1}) + F \frac{(x-a_F)^3}{6} H(x-a_{FA}) +$$

$$+ p \frac{(x-a_p)^4}{24} H(x-a_p)$$

$v_{01} = 0$

Sest kohal $x = 0$ on tugi A

$a_{FA1} = 0$

$\varphi_{01} = 0$

Sest tugi A on jäik

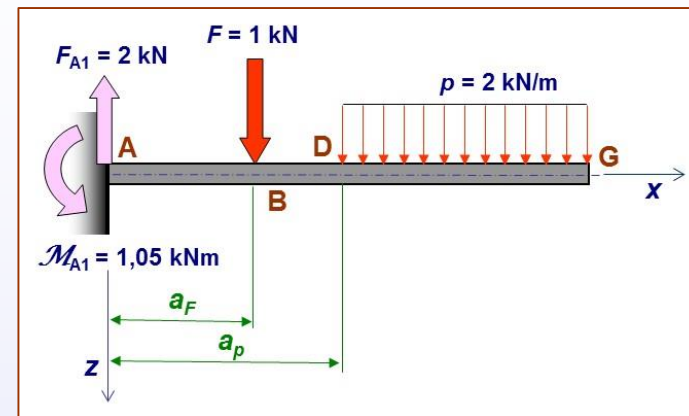
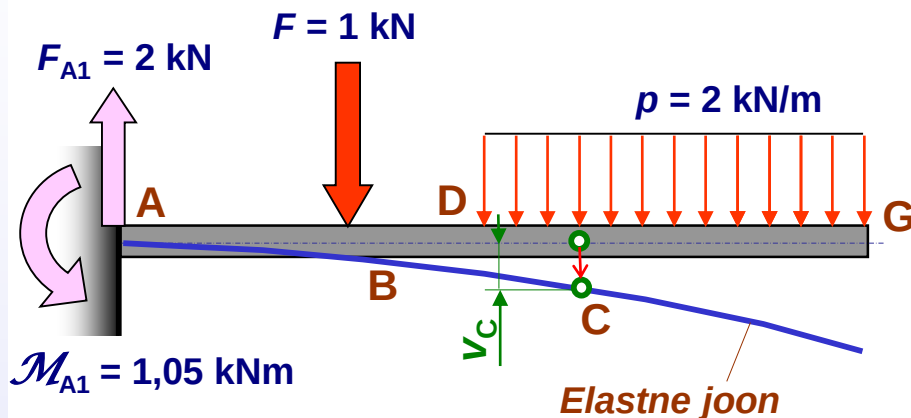
$a_{FA1} = 0$

$H(x-0) = 1$ alati

$$vEI = \mathcal{M}_{A1} \frac{x^2}{2} - F_{A1} \frac{x^3}{6} + F \frac{(x-a_F)^3}{6} H(x-a_{FA}) + p \frac{(x-a_p)^4}{24} H(x-a_p)$$

3.4.3. Läbipainde universaalförrand (2)

Põhiskeem



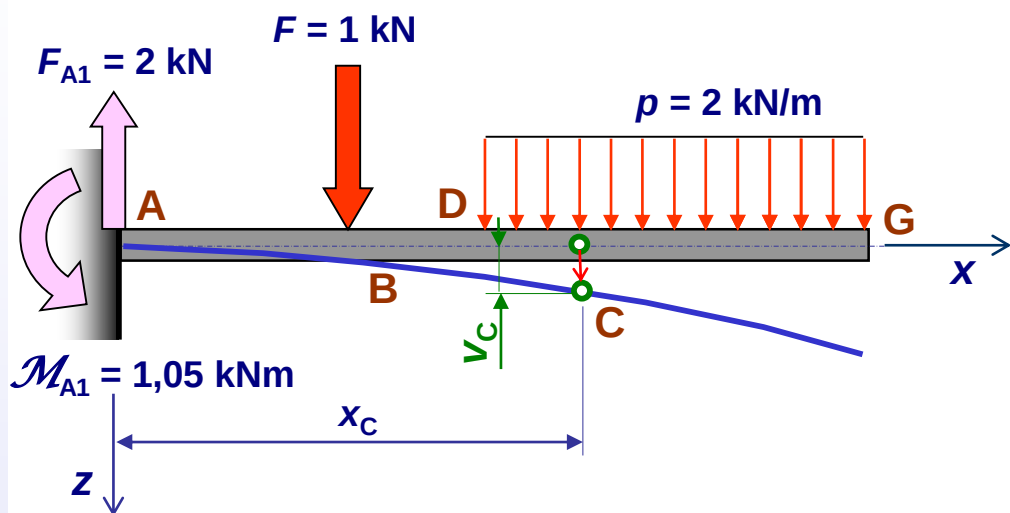
$$vEI = \mathcal{M}_{A1} \frac{x^2}{2} - F_{A1} \frac{x^3}{6} + F \frac{(x - a_F)^3}{6} H(x - a_{FA}) + p \frac{(x - a_p)^4}{24} H(x - a_p)$$

$$vEI = 1050 \frac{x^2}{2} - 2000 \frac{x^3}{6} + 1000 \frac{(x - 0,3)^3}{6} H(x - 0,3) + 2000 \frac{(x - 0,5)^4}{24} H(x - 0,5)$$

Läbipainde universaalförrand

$$vEI = 525x^2 - 333x^3 + 167(x - 0,3)^3 H(x - 0,3) + 83,3(x - 0,5)^4 H(x - 0,5)$$

3.4.4. Ristlõike C siire



Ristlõike C asukoht

$$x_C = AC = 0,6 \text{ m}$$

Heaviside'i funktsioon

$$H(x - a) = \begin{cases} 0, & \text{kui } x < a \\ 1, & \text{kui } x \geq a \end{cases}$$

$$v_C EI = 525 \cdot 0,6^2 - 333 \cdot 0,6^3 + 167 \cdot (0,6 - 0,3)^3 \underbrace{H(0,6 - 0,3)}_{=1} + 83,3 \cdot (0,6 - 0,5)^4 \underbrace{H(0,6 - 0,5)}_{=1}$$

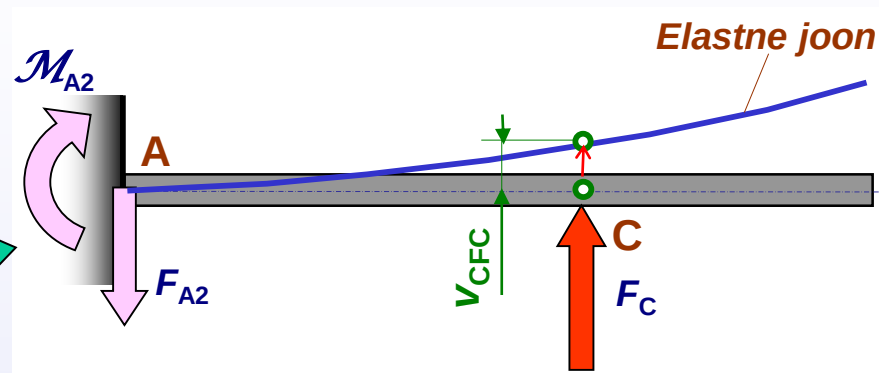
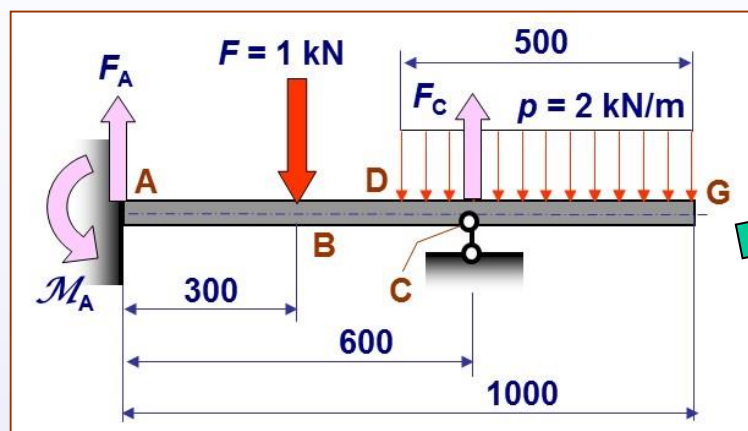


$$v_C EI = 525 \cdot 0,6^2 - 333 \cdot 0,6^3 + 167 \cdot (0,6 - 0,3)^3 + 83,3 \cdot (0,6 - 0,5)^4 = 121,58 \approx \underline{\underline{122}}$$

Märk "+" näitab, et läbipainde suund on telje z positiivses suunas ehk ALLA

3.5. Ristlõike C läbipaine F_C toimel

Algne ülesanne



1. tasakaaluvõrrand

$$\sum \mathcal{M}^{(A)} = 0 \quad \text{Kõikide momentide summa punkti A suhtes}$$

$$\mathcal{M}_{A2} - F_C AC = 0 \quad \Rightarrow \quad \mathcal{M}_{A2} = F_C AC = 0,6 F_C$$

Märk "+" näitab, et suund joonisel on õige

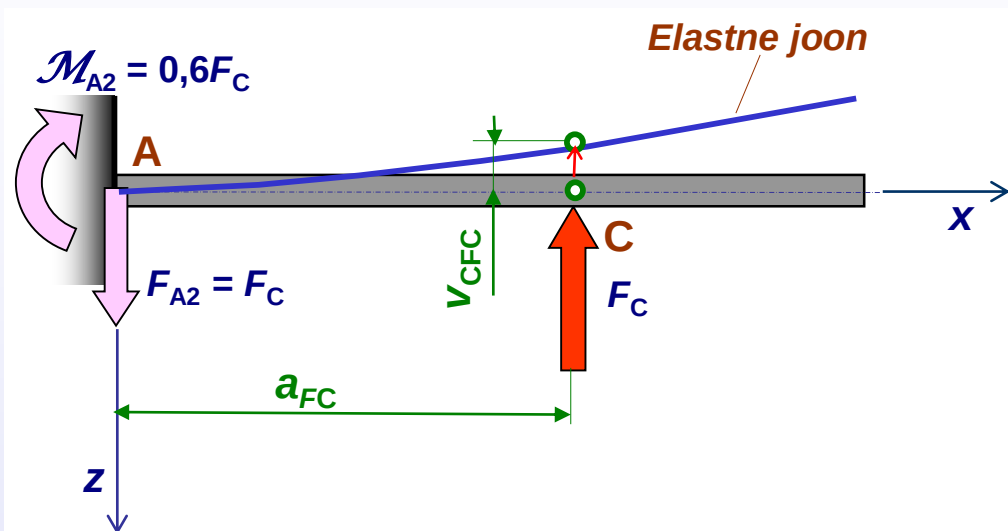
2. tasakaaluvõrrand

$$\sum F = 0 \quad \text{Kõikide jõudude summa}$$

$$F_{A2} - F_C = 0 \quad \Rightarrow \quad F_{A2} = F_C$$

Märk "+" näitab, et suund joonisel on õige

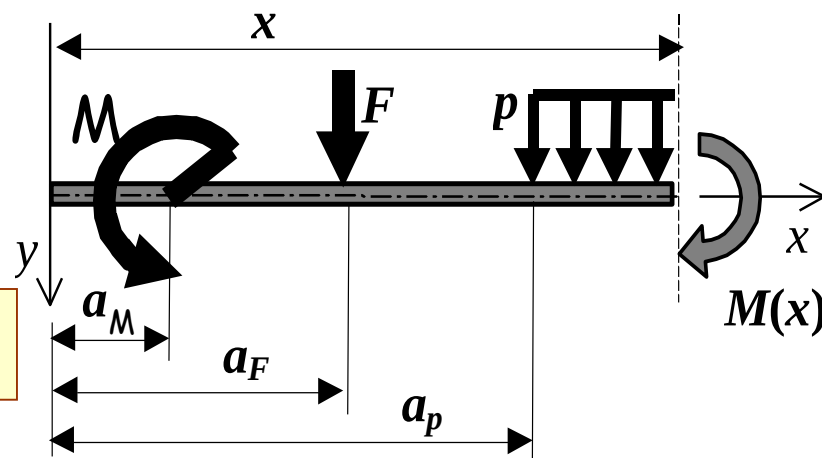
3.5.1. Läbipainide universaalsvõrrand (1)



Universaalsvõrrandi parameetrid

$$\begin{aligned} \mathcal{M}_{A2} (-) \quad a_{\mathcal{M}_{A2}} &= 0 \\ F_{A2} (+) \quad a_{F_{A2}} &= 0 \\ F_C (-) \quad a_{F_C} &= AC = 0,6 \text{ m} \end{aligned}$$

Koormuste mõju



Kõik sellise suunaga koormused on
võrrandites märgiga "+"

3.5.1. Läbipainde universaalvõrrand (2)

$$vEI = v_0EI + \varphi_0xEI + \sum \left[\mathcal{M} \frac{(x-a_{\mathcal{M}})^2}{2} \cdot H(x-a_{\mathcal{M}}) \right] + \\ + \sum \left[F \frac{(x-a_F)^3}{6} \cdot H(x-a_F) \right] + \\ + \sum \left[p \frac{(x-a_p)^4}{24} \cdot H(x-a_p) \right]$$

Heaviside'i funktsioon

$$H(x-a) = \begin{cases} 0, & \text{kui } x < a \\ 1, & \text{kui } x \geq a \end{cases}$$

$H(x-0) = 1$ alati

$a_{\mathcal{M}A2} = 0$

$a_{\mathcal{M}A2} = 0$

$$vEI = v_{02}EI + \varphi_{02}xEI - \mathcal{M}_{A2} \frac{(x-a_{\mathcal{M}A2})^2}{2} H(x-a_{\mathcal{M}A2}) + \\ + F_{A2} \frac{(x-a_{FA2})^3}{6} H(x-a_{FA2}) - F_C \frac{(x-a_{FC})^3}{6} H(x-a_{FC})$$

$v_{02} = 0$

$a_{FA2} = 0$

$a_{FA2} = 0$

Sest kohal $x = 0$
on tugi A

$\varphi_{02} = 0$

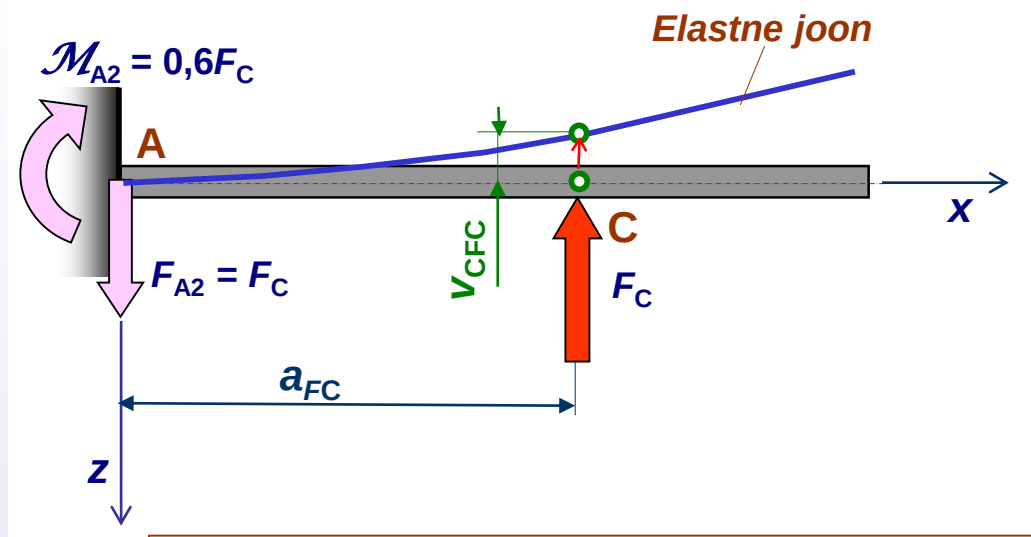
Sest tugi A on jäik

$H(x-0) = 1$ alati

$$vEI = -\mathcal{M}_{A2} \frac{x^2}{2} + F_{A2} \frac{x^3}{6} - F_C \frac{(x-a_{FC})^3}{6} H(x-a_{FC})$$

$$vEI = -0,3F_C x^2 + 0,167F_C x^3 - 0,167F_C (x-0,6)^3 H(x-0,6)$$

3.5.2. Ristlõike C siire



Ristlõike C asukoht

$$x_C = AC = 0,6 \text{ m}$$

Heaviside'i funktsioon

$$H(x - a) = \begin{cases} 0, & \text{kui } x < a \\ 1, & \text{kui } x \geq a \end{cases}$$

$$v_{CFC} EI = -0,3F_C \cdot 0,6^2 + 0,167F_C \cdot 0,6^3 - 0,167F_C (0,6 - 0,6)^3 \underbrace{H(0,6 - 0,6)}_{=1}$$

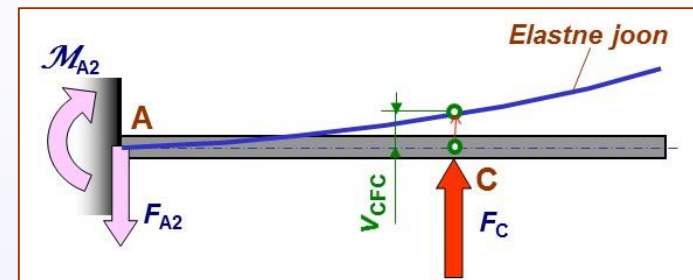
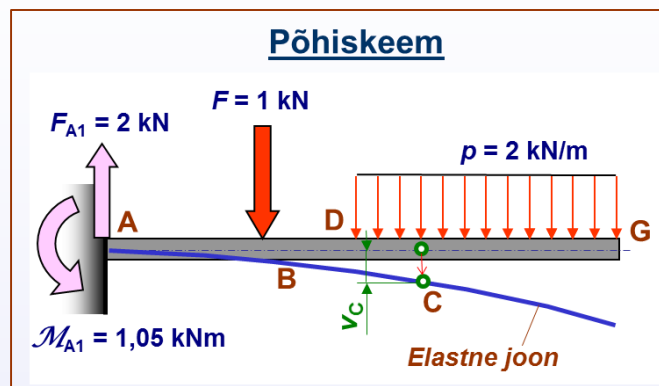
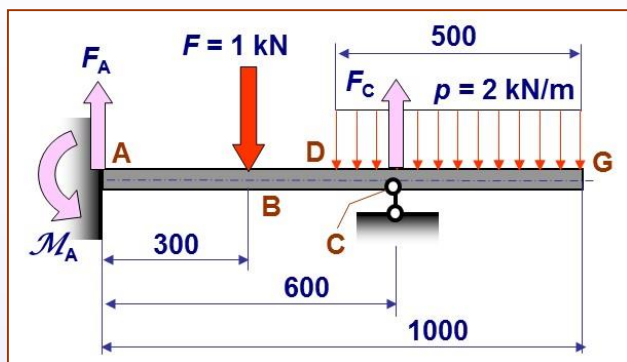
= 0



$$v_{CFC} EI = -0,3F_C \cdot 0,6^2 + 0,167F_C \cdot 0,6^3 = -0,07192F_C \approx \underline{\underline{-0,0719F_C}}$$

Märk "-" näitab, et läbipainde suund on telje z negatiivses suunas ehk ÜLES

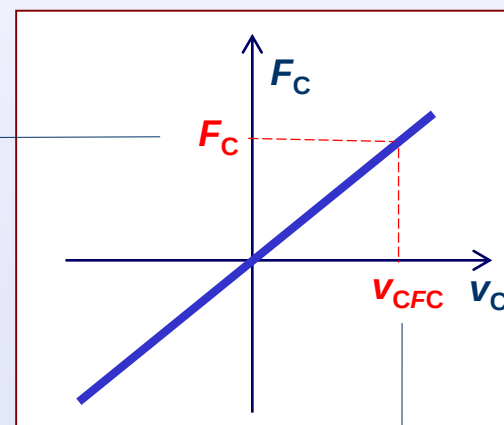
3.6. Sobivusvõrrand



Sobivustingimus

$$v_C + v_{CFC} = 0$$

See on toe-
reaktsioon F_C



Seda siiret on C-s
tarvis vältida

Ristlõike C mõtteline
siire välistõurite toimel

Ristlõike C mõttelise siirde
funktsioon toereaktsioonist F_C

Sobivusvõrrand

$$122 - 0,0719F_C = 0$$

4. Toereaktsioonid

4.1. Reaktsioonid tugedel

Tasakaaluvõrrandid

$$\mathcal{M}_A = 1050 - 0,6F_C$$

$$F_C = 2000 - F_A$$

Sobivusvõrrand

$$122 - 0,0719F_C = 0$$

$$F_C = \frac{122}{0,0719} = 1696 \text{ N} \approx \underline{1,70 \text{ kN}}$$

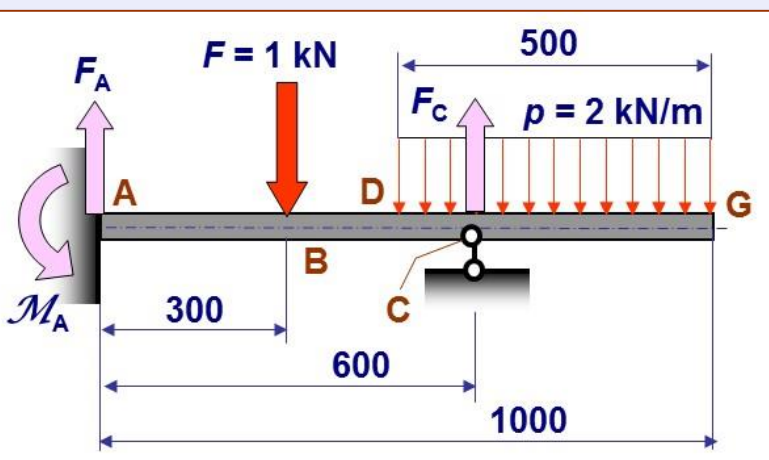
Märk "+" näitab, et F_C suund
joonisel on õige

$$F_A = 2000 - F_C = 2000 - 1696 = 304 \text{ N} \approx \underline{0,304 \text{ kN}}$$

Märk "+" näitab, et F_A suund
joonisel on õige

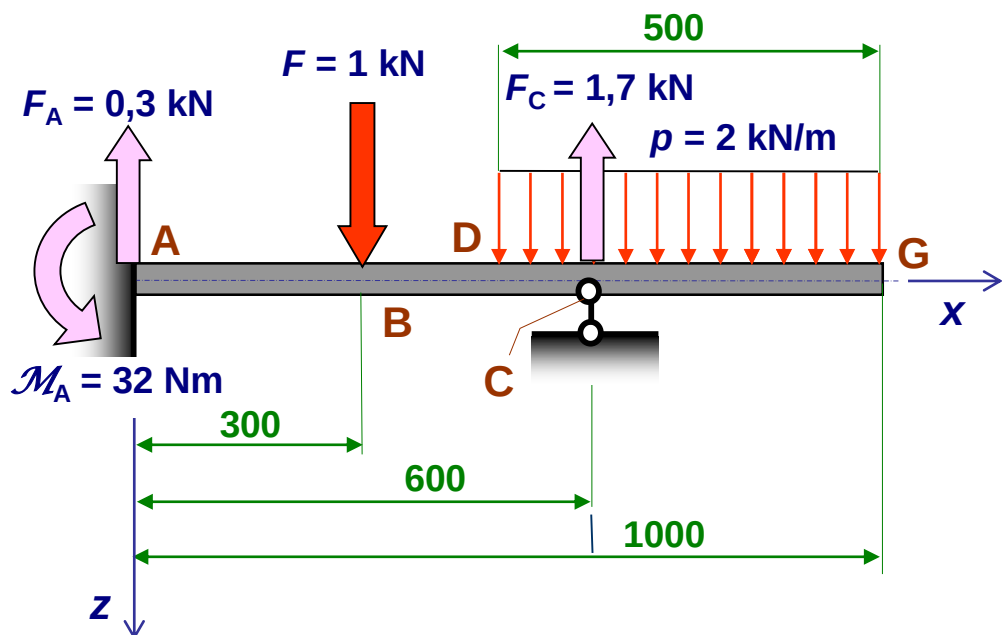
$$\mathcal{M}_A = 1050 - 0,6F_C = 1050 - 0,6 \cdot 1696 = \underline{32,4 \text{ Nm}}$$

Märk "+" näitab, et $\mathcal{M}_A$ suund
joonisel on õige



5. Tugevusarvutus

5.1. Sisejõudude analüüs



Epüüride kuju

Punktmoment = M epüüril aste

Punktjõud = M epüüril murd
 Q epüüril aste

Ühtlane
joonkoormus = M epüüril parabool
 Q epüüril kaldsirge

LÕIKEMEETODI IDEE: Tasakaalus süsteemist mõtteliselt eraldatud osa on samuti tasakaalus

Lõikepinna sisejõudusid saab käsitleda välisjõududena

Paindemomendid tala otstes

$$M_A = \mathcal{M}_A = \underline{32 \text{ Nm} (-)}$$

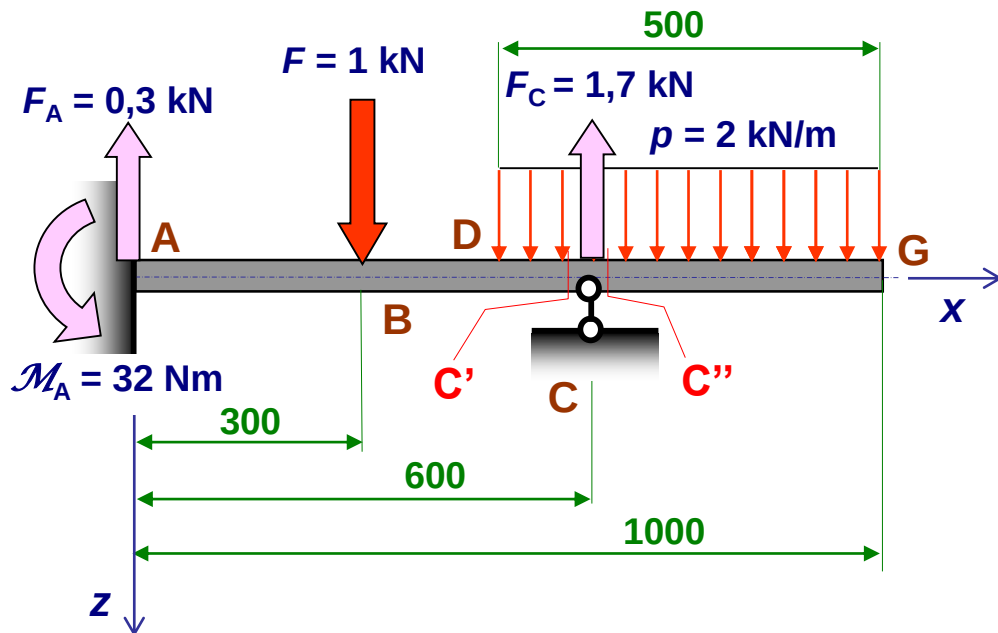
$$M_G = \underline{0}$$

Põikjõud tala otstes

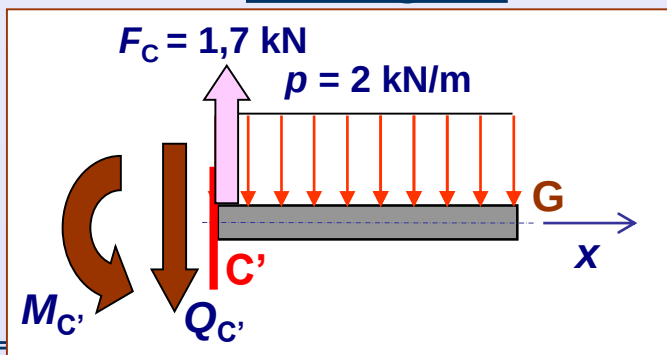
$$Q_A = F_A = \underline{304 \text{ N} (+)}$$

$$Q_G = \underline{0}$$

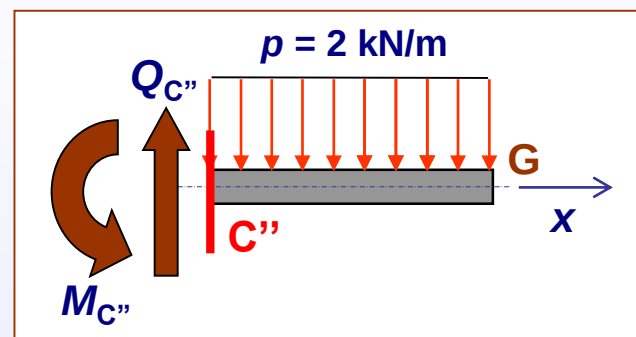
5.1.1. Epüüride väärtused ristlõikes C



Ristlõige C'



Ristlõige C''



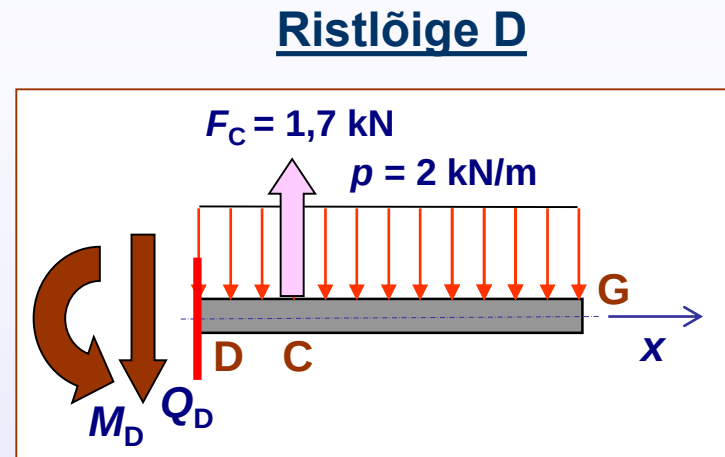
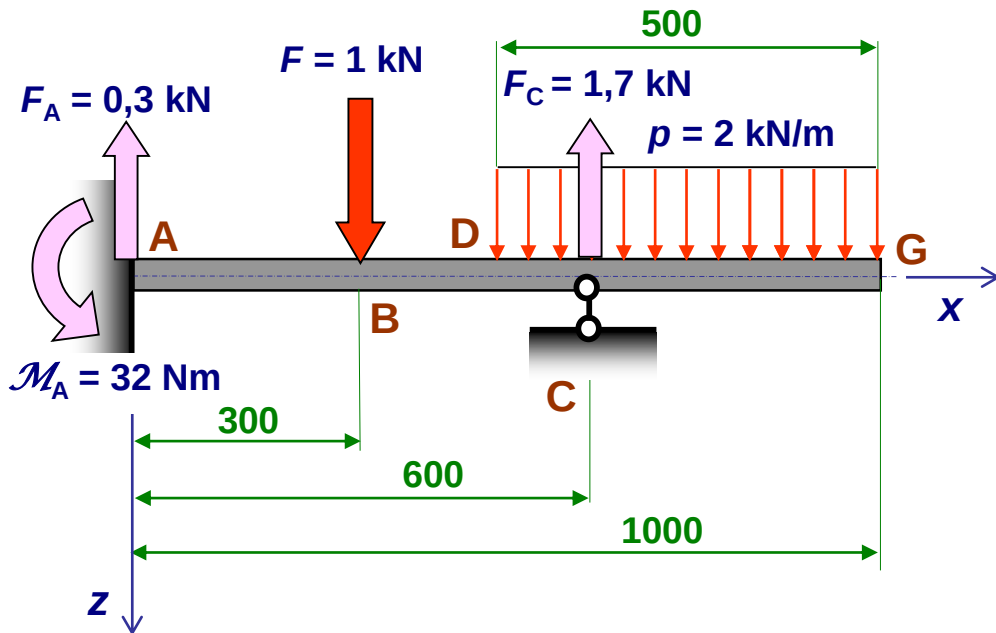
$$M_{C''} = p \frac{C''G^2}{2} = 2000 \cdot \frac{0,4^2}{2} = \underline{160 \text{ Nm} (-)}$$

$$Q_{C''} = pC''G = 2000 \cdot 0,4 = \underline{800 \text{ N} (+)}$$

$$M_{C'} = M_{C''} = \underline{160 \text{ Nm} (-)}$$

$$Q_{C'} = F_C - pC'G = 1700 - 2000 \cdot 0,4 = \underline{900 \text{ N} (-)}$$

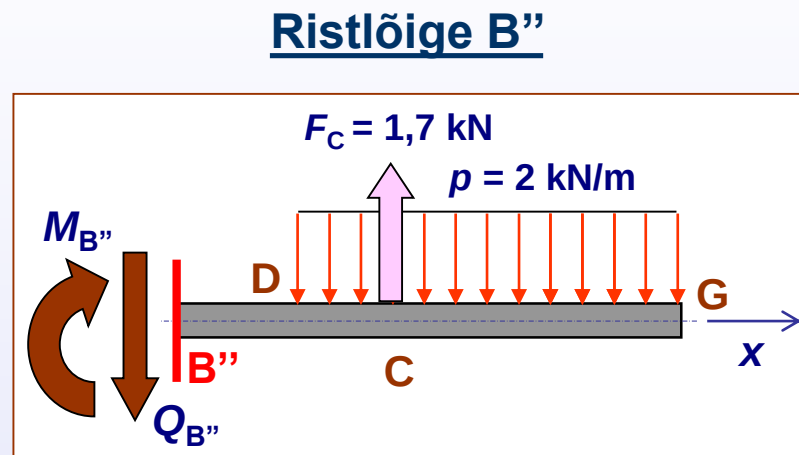
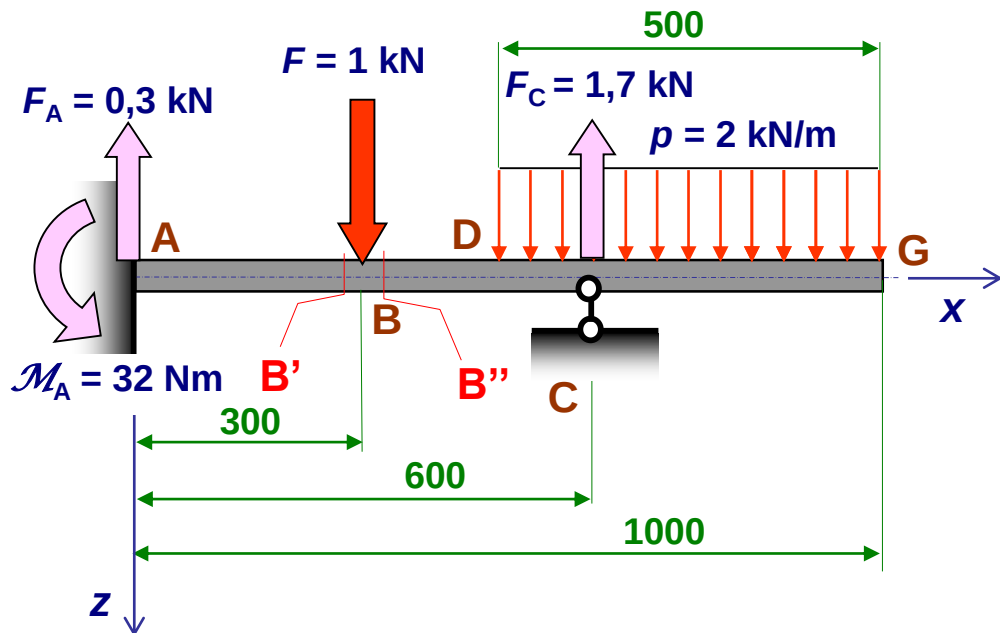
5.1.2. Epüüride väärtused ristlõikes D



$$M_D = p \frac{DG^2}{2} - F_C DC = 2000 \cdot \frac{0,5^2}{2} - 1700 \cdot 0,1 = \underline{80 \text{ Nm} (-)}$$

$$Q_D = F_C - pDG = 1700 - 2000 \cdot 0,5 = 700 \text{ N } (-)$$

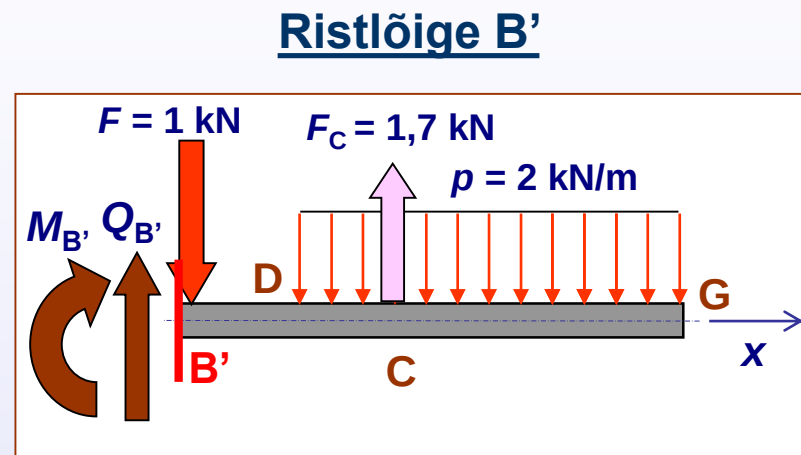
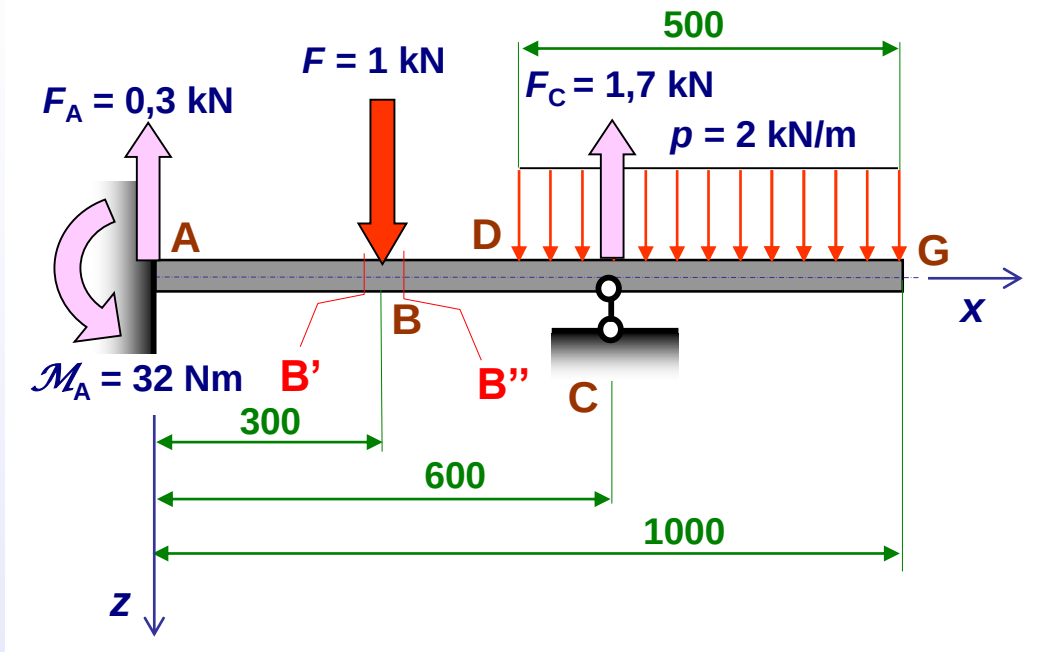
5.1.3. Epüüride väärtused ristlõikes B''



$$M_{B''} = F_C B'C - pDG \left(B'D + \frac{DG}{2} \right) = 1700 \cdot 0,3 - 2000 \cdot 0,5 \cdot \left(0,2 + \frac{0,5}{2} \right) = \underline{60 \text{ Nm (+)}}$$

$$Q_{B''} = F_C - pDG = 1700 - 2000 \cdot 0,5 = \underline{700 \text{ N (-)}}$$

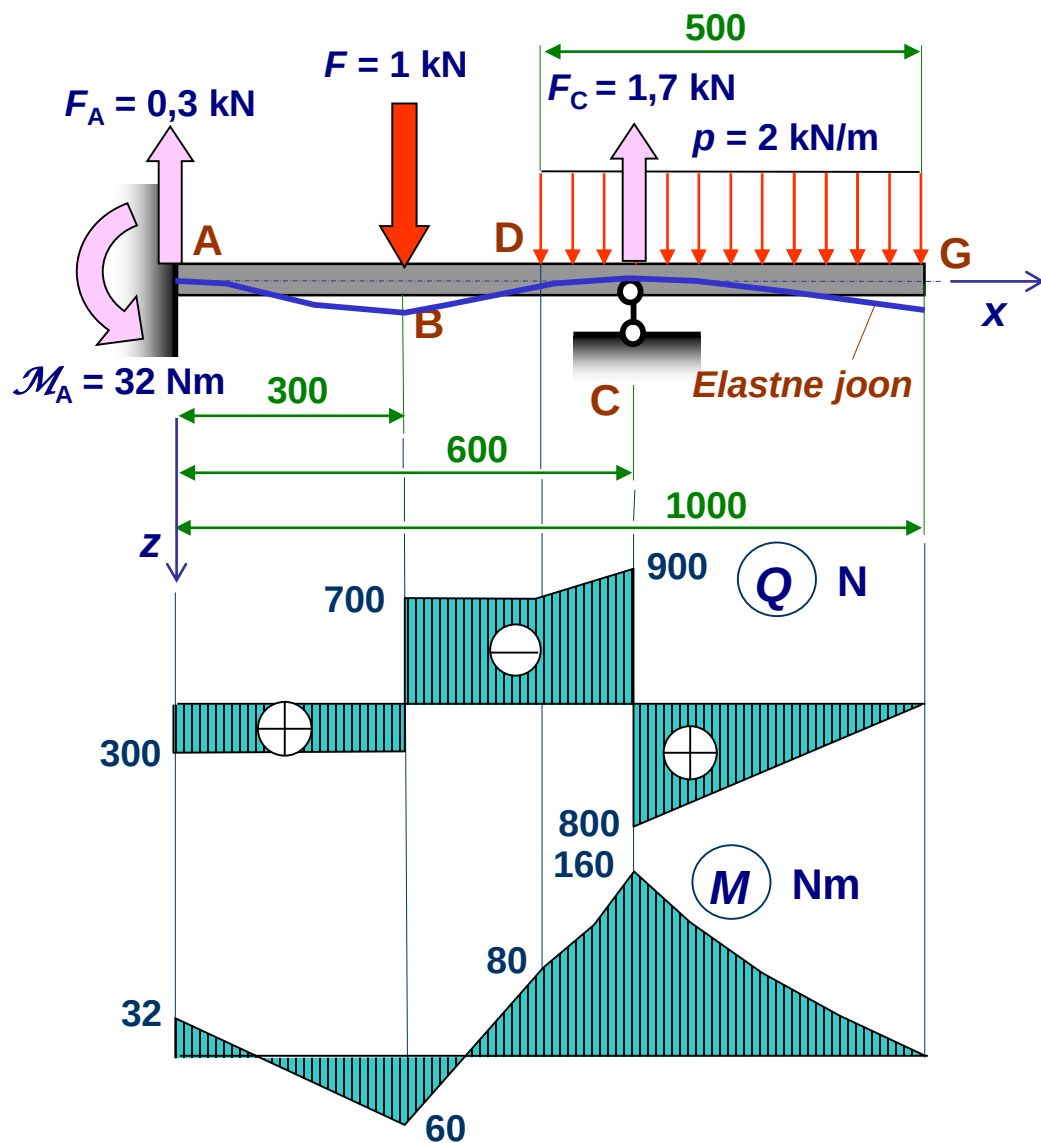
5.1.4. Epüüride väärtused ristlõikes B'



$$M_{B'} = M_{B''} = \underline{60 \text{ Nm (+)}}$$

$$Q_{B'} = F - F_C + pDG = 1000 - 1700 + 2000 \cdot 0,5 = \underline{300 \text{ N (+)}}$$

5.1.5. Sisejõudude epüürid



Sisejõudude analüüsi tulemus

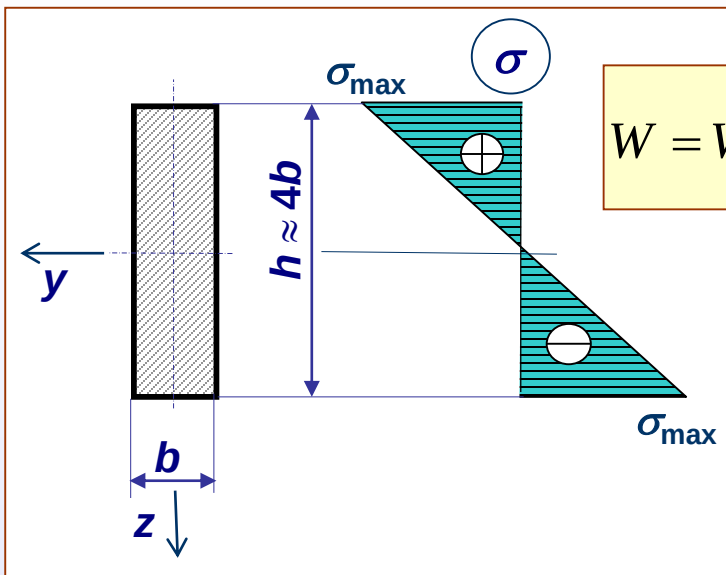


Ohtlik ristlõige on C

$$Q_C = 900 \text{ N}$$

$$M_C = 160 \text{ Nm}$$

5.2. Ohtliku ristlõike tugevustingimus



$$W = W_y = \frac{bh^2}{6} = \frac{8b^3}{3}$$

Paine tugevustingimus

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

Ristlõike
paindemoment

Materjali voolepiir

Suurim normaalpinge
ristlõikes

Ristlõike telg-tugevusmoment

Ülesandes nõutav varuteguri väärtus

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

Ristlõikele nõutav telg-tugevusmoment

$$W \geq [W] = \frac{M}{\sigma_y} [S] = \frac{160}{235 \cdot 10^6} \cdot 1,5 = 1,021 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 \approx \underline{\underline{1,02 \text{ cm}^3}}$$

Ühtlane tala on
piisavalt tugev, kui
selle ristlõike
tugevusmomendi
väärtus on vähemalt
1,02 cm³

5.3. Tala ristlõike valik

Paine tugevustingimus

$$\frac{8b^3}{3} \geq 1,02$$



$$b \geq \sqrt[3]{\frac{3 \cdot 1,02}{8}} = 0,7259 \approx \underline{0,726 \text{ cm}}$$

Ristlõike arvutuslikud mõõtmed

$$h = 4b = 4 \cdot 0,726 = 2,904 \approx \underline{2,90 \text{ cm}}$$

LATTATERÄKSET

Flat bars

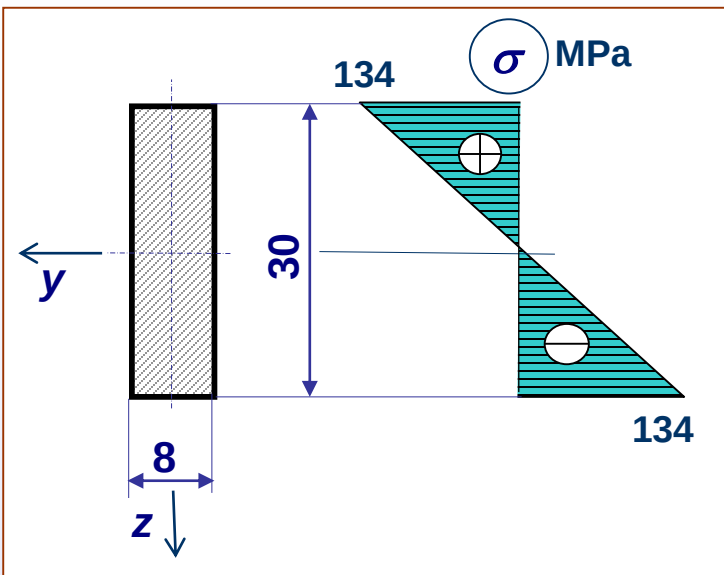
Teräslaji	SFS-EN 10 025	DIN 17100
Toleranssi		DIN 1017
Todistus S235	SFS-EN 10 204/2.2	DIN 50 049/2.2
Todistus S355	SFS-EN 10 204/3.1.B	DIN 50 049/3.1.B

mm	kg/m	S235JRG2 Rst 37-2 6 m	S355J0 / S355J2G3 St 52-3 6 m
150	7,07	•	•
20 x 8	1,26	•	•
25	1,57	•	•
30	1,88	•	•
35	2,20	•	

Ristlõike valitud mõõtmed

$$\begin{cases} b = 8 \text{ mm} \\ h = 30 \text{ mm} \end{cases}$$

5.4. Tugevuskontroll ristlõikele (8 x 30) mm



Ristlõike tugevusmoment

$$W = \frac{bh^2}{6} = \frac{0,8 \cdot 3^2}{6} = 1,2 \text{ cm}^3$$

Ristlõike suurim paindepinge

$$\sigma_{\max} = \frac{M}{W} = \frac{160}{1,2 \cdot 10^{-6}} = 133,3 \cdot 10^6 \text{ Pa} \approx 134 \text{ MPa}$$

Ohtliku ristlõike tugevusvarutegur paindel

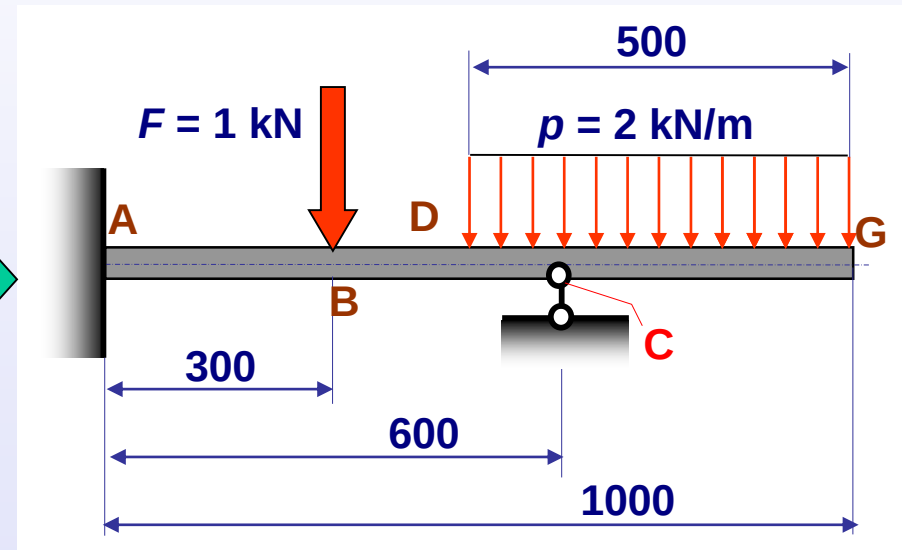
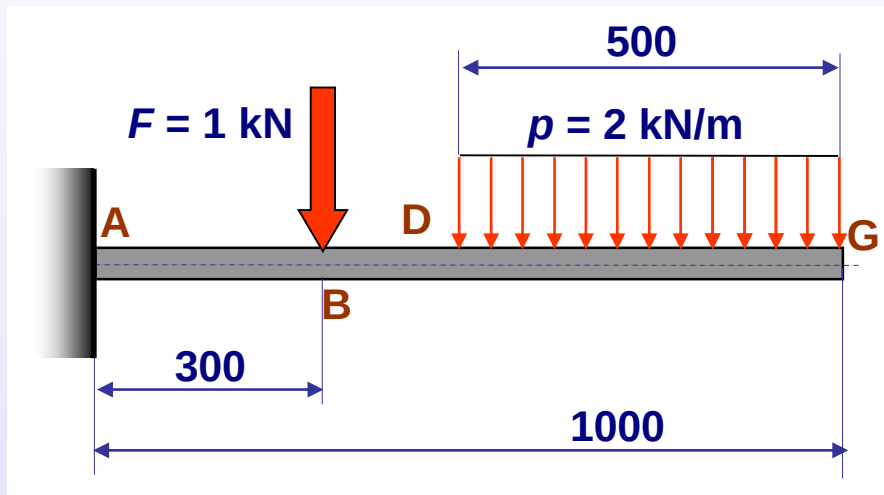
$$S = \frac{\sigma_y}{\sigma_{\max}} = \frac{235}{134} = 1,753 \approx \underline{\underline{1,75}} > [S] = 1,5$$

Ristlõige (8 x 30) mm on piisavalt tugev

6. Jätakuülesanne

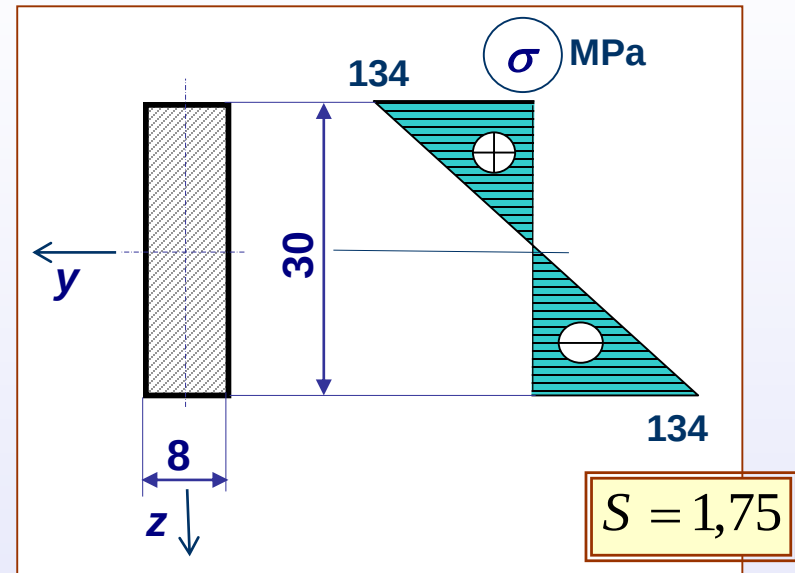
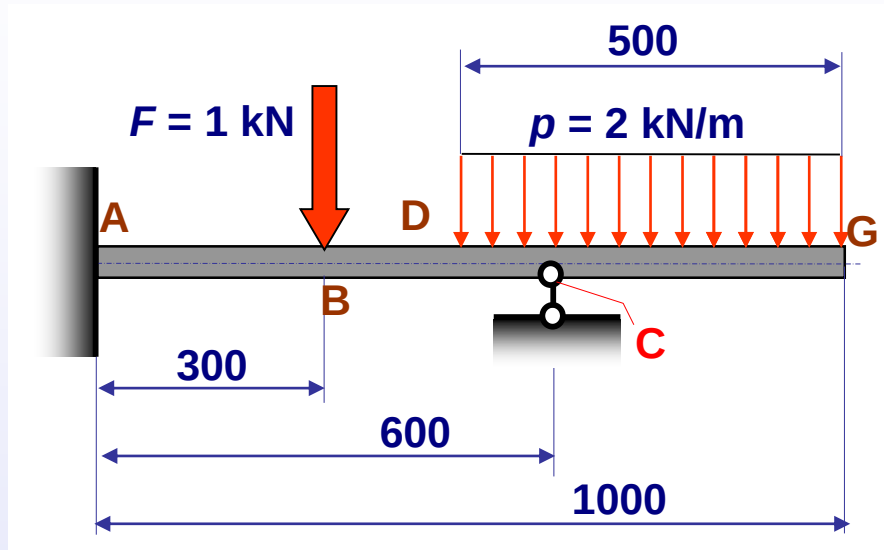
6.1. Ühtlane toestatud konsooliga tala

Arvutada toe C lisamisega saavutatav tala materjali kokkuhoid !



Materjal: ehitusteras S235
Nõutav varutegur: $[S] = 1,5$

6.2. Ülesande täpsem püstitus

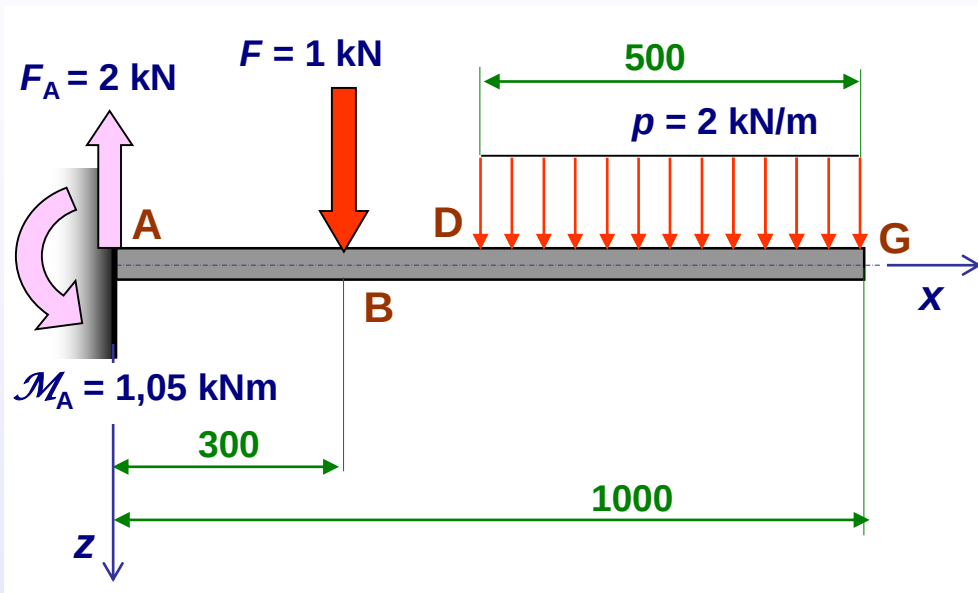


Arvutada ilma toeta C konsooli vähim võimalik ristlõike külgede suhtega $\sim 1:4$

Materjal: ehitusteras S235
Nõutav varutegur: $[S] = 1,5$

6.3. Toeta C tala sisejõudude analüüs (1)

See on varasem põhiskeem



$$M_D = p \frac{DG^2}{2} = 2000 \cdot \frac{0,5^2}{2} = \underline{250 \text{ Nm} (-)}$$

$$Q_D = pDG = 2000 \cdot 0,5 = \underline{1000 \text{ N} (+)}$$

Paindemomendid tala otstes

$$M_A = \mathcal{M}_A = \underline{1050 \text{ Nm} (-)}$$

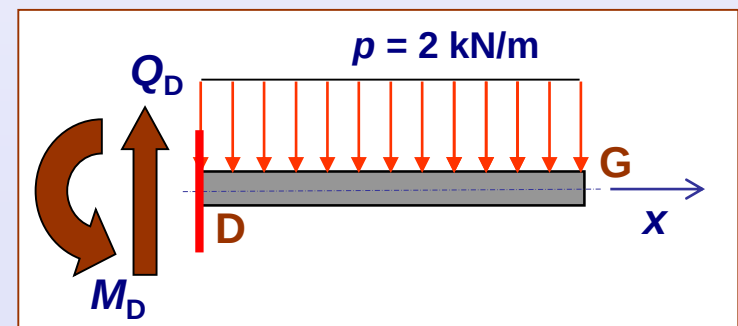
$$M_G = \underline{0}$$

Põikjõud tala otstes

$$Q_A = F_A = \underline{2000 \text{ N} (-)}$$

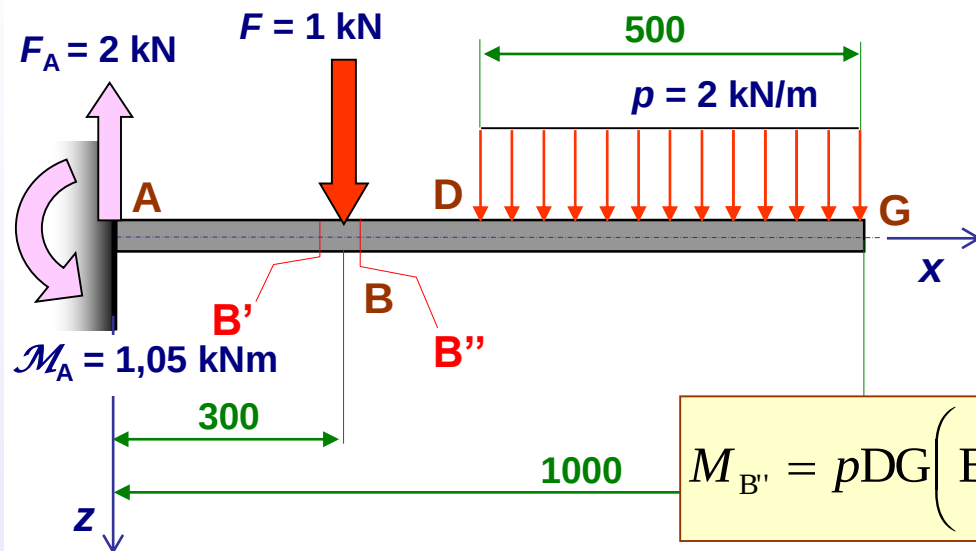
$$Q_G = \underline{0}$$

Ristlõige D

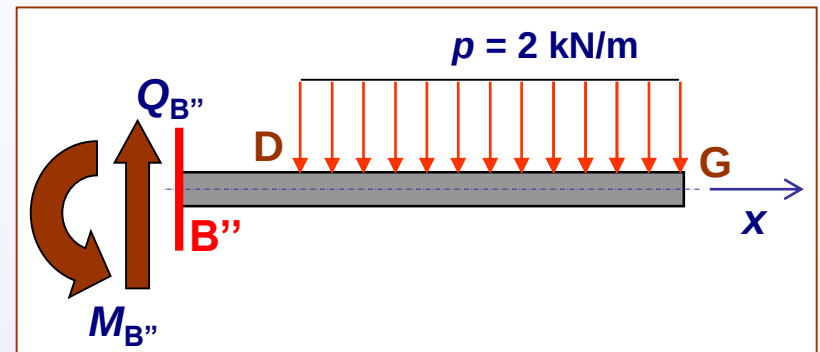


6.3. Toeta C tala sisejõudude analüüs (2)

See on varasem põhiskeem



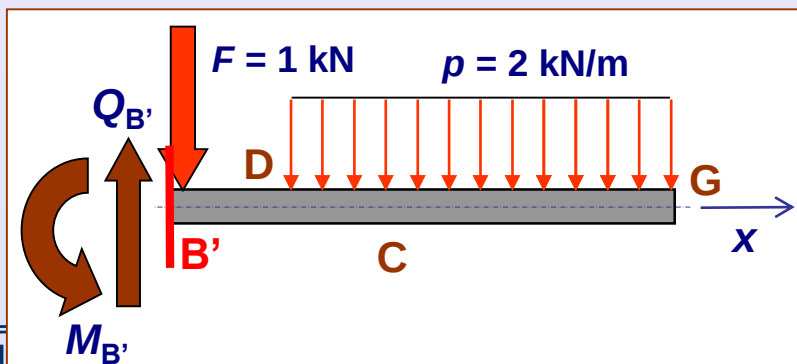
Ristlõige B''



$$M_{B''} = pDG \left(B'D + \frac{DG}{2} \right) = 2000 \cdot 0,5 \cdot \left(0,2 + \frac{0,5}{2} \right) = \underline{450 \text{ Nm} (-)}$$

$$Q_{B''} = pDG = 2000 \cdot 0,5 = \underline{1000 \text{ N} (+)}$$

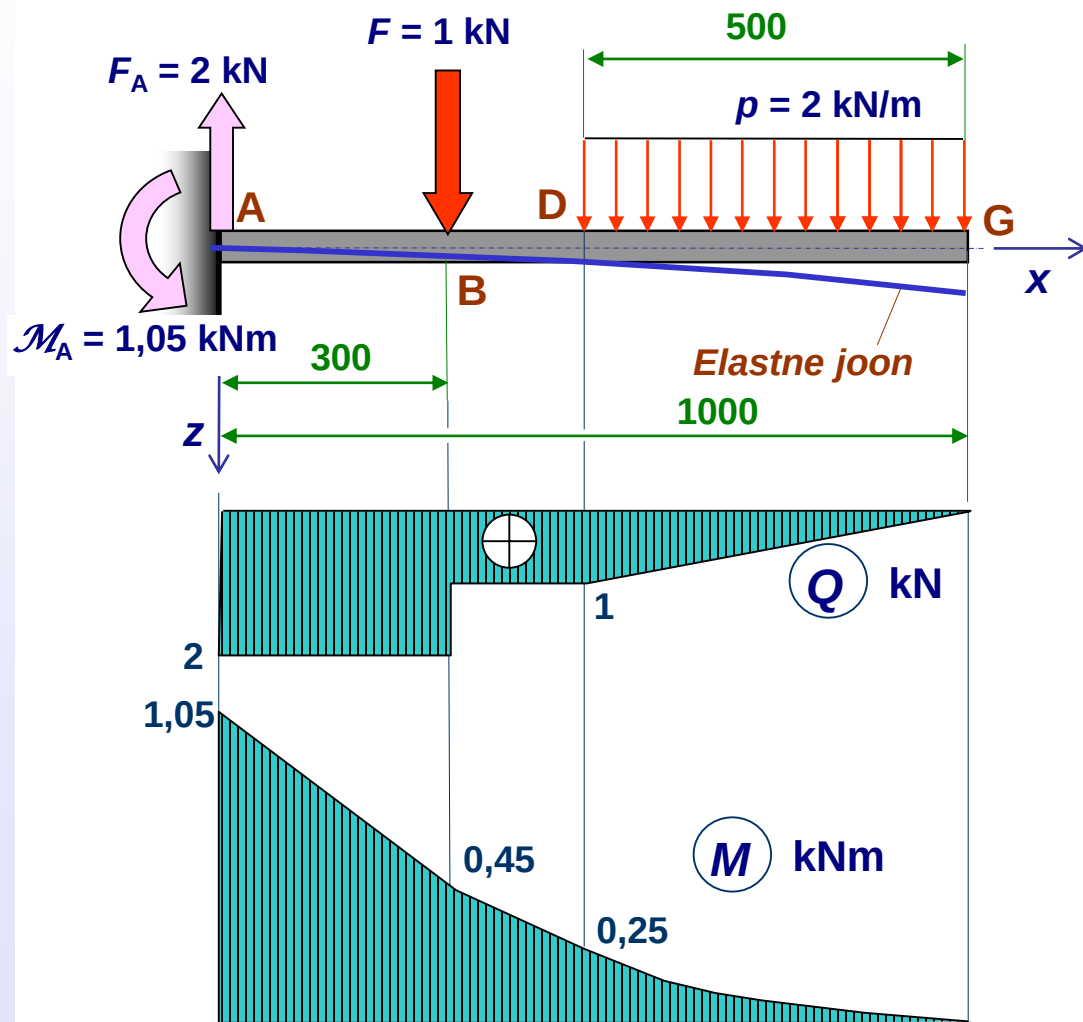
Ristlõige B'



$$M_{B'} = M_{B''} = \underline{450 \text{ Nm} (-)}$$

$$Q_{B'} = F + pDG = 1000 + 2000 \cdot 0,5 = \underline{2000 \text{ N}}$$

6.4. Toeta C tala sisejõudude epüürid



Sisejõudude analüüsi
tulemus



Ohtlik ristlõige on A

$$Q_A = 2000 \text{ N}$$

$$M_A = 1050 \text{ Nm}$$

6.5. Ohtliku ristlõike tugevustingimus

$$W = W_y = \frac{bh^2}{6} = \frac{8b^3}{3}$$

Painde tugevustingimus

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

Ristlõike paindemoment

Materjali voolepiir

Suurim normaalpinge ristlõikes

Ristlõike telg-tugevusmoment

Ülesandes nõutav varuteguri väärtus

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

Ristlõikele nõutav telg-tugevusmoment

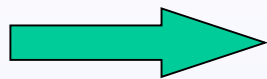
$$W \geq [W] = \frac{M}{\sigma_y} [S] = \frac{1050}{235 \cdot 10^6} \cdot 1,5 = 6,702 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 \approx \underline{6,70 \text{ cm}^3}$$

Ühtlane tala on piisavalt tugev, kui selle ristlõike tugevusmomendi väärtus on vähemalt 6,70 cm³

6.6. Toeta C tala ristlõike valik

Painde tugevustingimus

$$\frac{8b^3}{3} \geq 6,70$$



$$b \geq \sqrt[3]{\frac{3 \cdot 6,70}{8}} = 1,359 \approx \underline{1,36 \text{ cm}}$$

Ristlõike arvutuslikud mõõtmed

$$h = 4b = 4 \cdot 1,36 = \underline{5,44 \text{ cm}}$$

LATTATERÄKSET

Flat bars

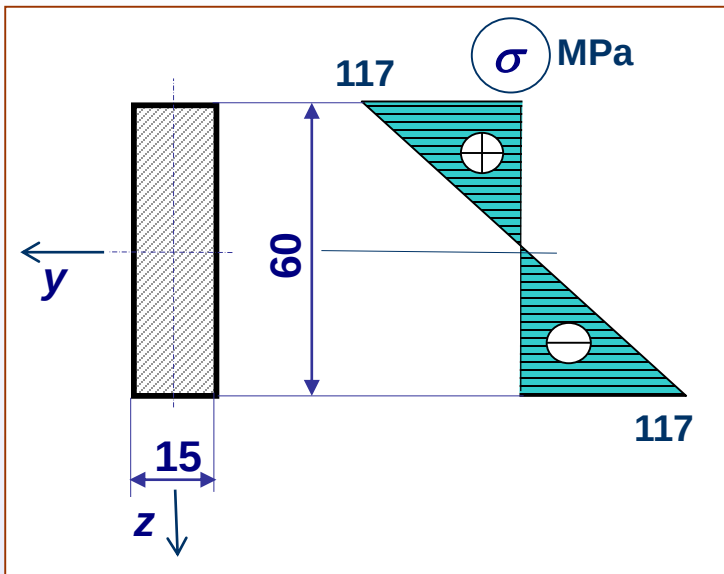
Teräslaji	SFS-EN 10 025	DIN 17100
Toleranssi		DIN 1017
Todistus S235	SFS-EN 10 204/2.2	DIN 50 049/2.2
Todistus S355	SFS-EN 10 204/3.1.B	DIN 50 049/3.1.B

mm	kg/m	S235JRG2 Rst 37-2 6 m	S355J0 / S355J2G3 St 52-3 6 m
200	18,80	•	
40 x 15	4,71	•	•
50	5,89	•	•
60	7,06	•	•
65	7,65	•	

Ristlõike valitud mõõtmed

$$\begin{cases} b = 15 \text{ mm} \\ h = 60 \text{ mm} \end{cases}$$

6.7. Tugevuskontroll ristlõikele (15 x 60) mm



Ristlõike tugevusmoment

$$W = \frac{bh^2}{6} = \frac{1,5 \cdot 6^2}{6} = 9 \text{ cm}^3$$

Ristlõike suurim paindepinge

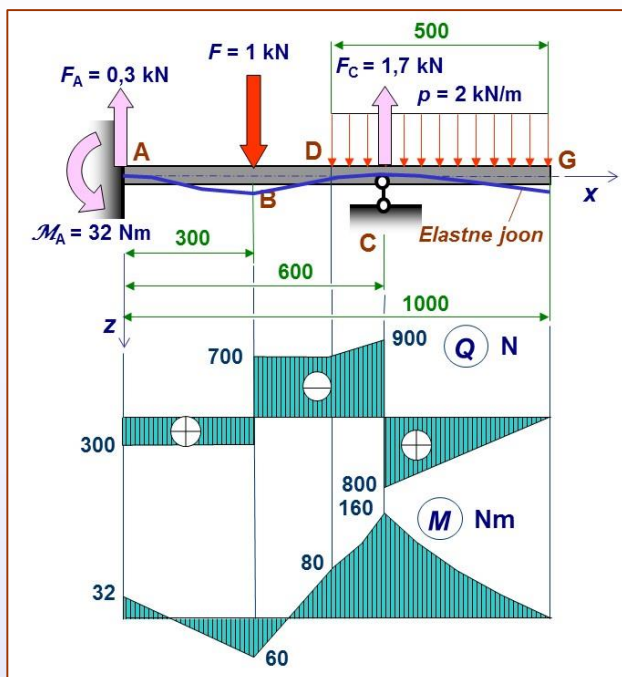
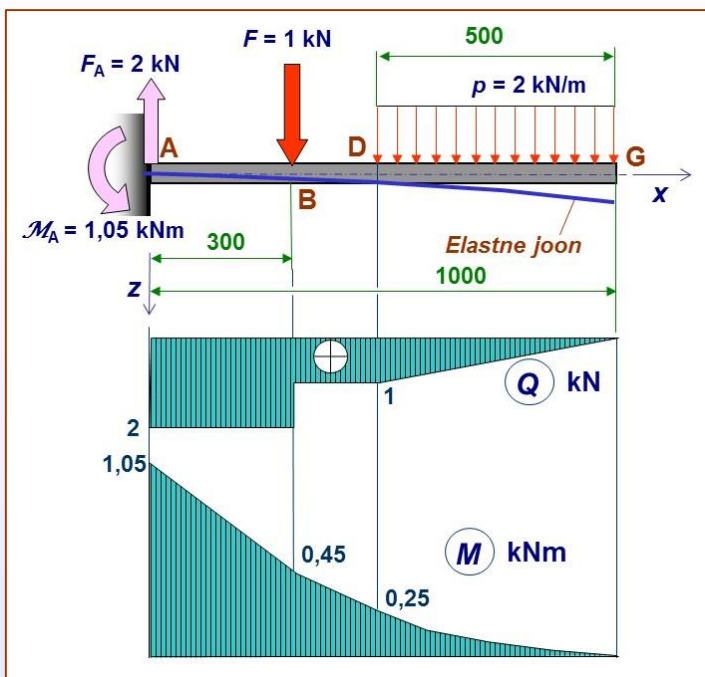
$$\sigma_{\max} = \frac{M}{W} = \frac{1050}{9 \cdot 10^{-6}} = 116,6 \cdot 10^6 \text{ Pa} \approx 117 \text{ MPa}$$

Ohtliku ristlõike tugevusvarutegur paindel

$$S = \frac{\sigma_y}{\sigma_{\max}} = \frac{235}{117} = 2,008 \approx \underline{\underline{2,0}} > [S] = 1,5$$

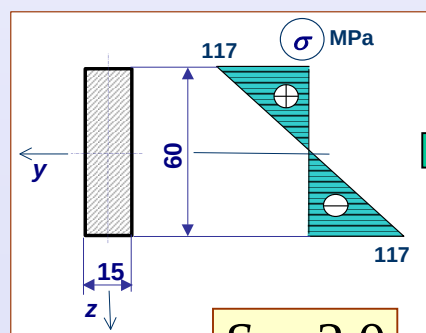
Ristlõige (15 x 60) mm on piisavalt tugev

6.8. Materjali kokkuhoid

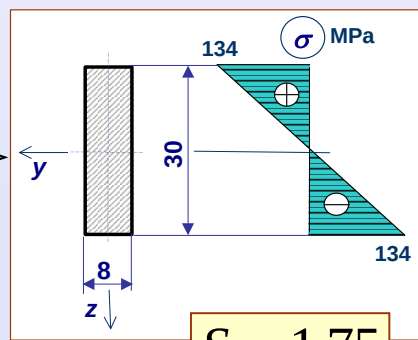


Materjali kokkuhoid toega C

$$\frac{A}{A_{\text{Toega C}}} = \frac{15 \cdot 60}{8 \cdot 30} = 3,75$$



$$S = 2,0$$



$$S = 1,75$$

Toe C lisamisel saab talaks kasutatava Ruukki kataloogi teraslati massi (ja maksumust) vähendada vähemalt 3,75 korda