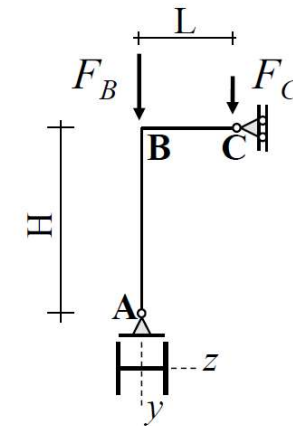


La sezione del quesito precedente è stata utilizzata per realizzare una colonna ad asse spezzato, come mostrato in figura, che dovrai considerare per le domande 10 e 11. Le dimensioni delle due parti della colonna sono pari ad $H = 3.5$ m e $L = 1.25$ m. In punta al tratto orizzontale agisce una forza concentrata $F_C = 40$ kN e sul tratto verticale una forza concentrata $F_B = 400$ kN. Trascura la possibilità che il tratto (AB) della colonna sbandi fuori piano (intorno l'asse debole) ed utilizza il metodo B per considerare la presso-flessione.



(10) Verifica la colonna (AB) soggetta a pressoflessione e indica il valore della verifica: (punti 4)

- ☒ 0.402 ☐ 0.379 ☐ 0.515 ☐ 0.810 ☐ 0.604

(11) Calcola il massimo momento flettente che l'asta (AB) è in grado di portare: (punti 3)

- ☐ 553.8 kNm ☒ 226.4 kNm ☐ 412.4 kNm ☐ 451.5 kNm ☐ 233.3 kNm

(12) Calcola il momento torcente resistente di un profilo tubolare di diametro 200 mm e spessore 5 mm, realizzato in acciaio S235: (punti 3)

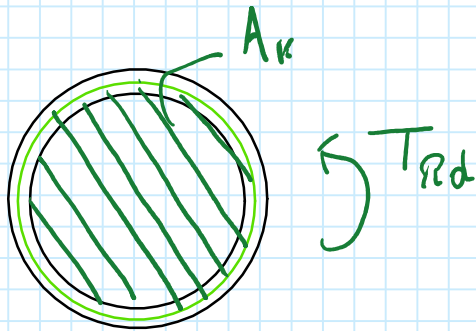
- ☒ 38.6 kNm ☐ 40.6 kNm ☐ 21.3 kNm ☐ 54.9 kNm ☐ 49.6 kNm

(11)

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,y,Rd}} + K_{yy} \frac{M_{y,Ed,max}}{M_{y,Rd}} = 1$$

$$M_{y,Ed,max} = \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{b,y,Rd}}\right) \frac{M_{y,Rd}}{K_{yy}} = \left(1 - \frac{440}{1889,6}\right) \frac{185,1}{0,6273} = 226,4 \text{ kNm}$$

(12)

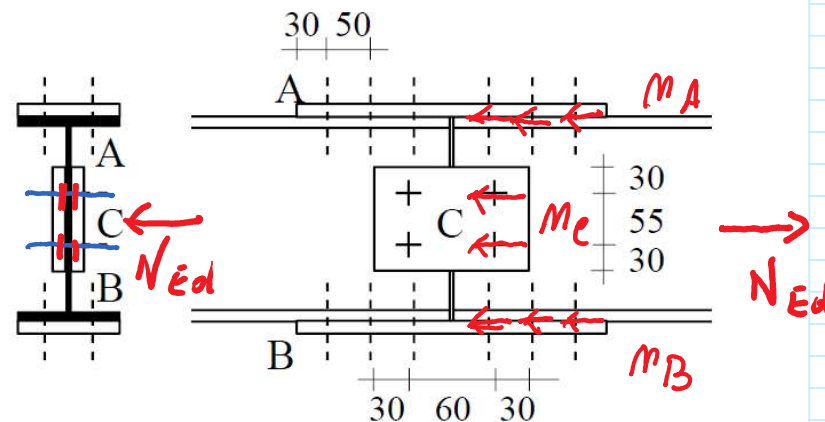


$$T_{Rd} = 2 A_k t \frac{f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M0}}$$

$$A_k = \frac{\pi}{4} D_k^2 = \frac{\pi}{4} (200 - 5)^2 = 29865 \text{ mm}^2$$

$$T_{Rd} = 2 \times 29865 \times 5 \times \frac{235}{\sqrt{3} \times 1,05} \times \frac{1}{10^6} = 38,6 \text{ kNm}$$

Per le tre domande che seguono fai riferimento al collegamento mostrato nella figura a fianco. Il collegamento è realizzato su un'asta soggetta solo a trazione. I profilati collegati mediante coprighiunti (piastre) e bulloni sono due IPE 270 ($h = 270$ mm, $b = 135$ mm, $t_f = 10.2$ mm, $t_w = 6.6$ mm, $A = 45.9$ cm², $I_{max} = 5790$ cm⁴ e $W_{pl,max} = 484$ cm³). Le piastre hanno spessore 10 mm. Tutti gli elementi sono in acciaio S235. I bulloni utilizzati sono M16 di classe 5.6, filettati solo all'estremità. Inoltre, fai riferimento alle Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 14/01/2008) ed ove fosse necessario alle indicazioni dell'Eurocodice 3.



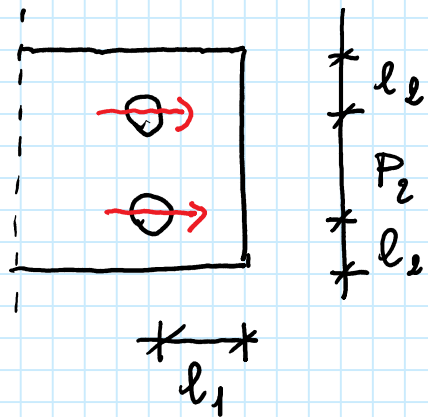
- (4) Quanto vale lo sforzo normale N_{Ed} che determina la rottura dei bulloni? (punti 4)
- ☐ 48.2 kN ☐ 159.2 kN ☐ 482.3 kN ☐ 675.4 kN ☒ 771.8 kN
- (5) Quanto vale la resistenza a rifollamento $F_{b,Rd}$ di un bullone della piastra C? (punti 4)
- ☐ 54.2 kN ☒ 67.8 kN ☐ 97.4 kN ☐ 112.9 kN ☐ 154.9 kN
- (6) Qualora si progetti il collegamento a completo ripristino di resistenza e si dispongano 3 bulloni su ciascun lato della piastra C, quanti bulloni disponi complessivamente su ciascuno dei due profilati? (punti 4)
- ☐ 13 ☐ 15 ☐ 17 ☒ 19 ☐ 21

$$N_{Ed, max} = (6 + 6 + 2 \times 2) \overline{F}_{V,Rd} = 16 \overline{F}_{V,Rd} = 16 \times 48,2 = 771,2 \text{ kN}$$

$$\overline{F}_{V,Rd} = 0,6 A \frac{f_{ub}}{\gamma_{M2}} = 0,6 \times 201 \times \frac{500}{1,25} \times \frac{1}{10^3} = 48,2 \text{ kN}$$

$$A = \frac{\pi}{4} d^2 = 201 \text{ mm}^2$$

⑤



$$\overline{F}_{b,Rd} = k \alpha d t \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$\left. \begin{array}{l} \frac{l_2}{d_0} = \frac{30}{14} = 1,46 > 1,5 \\ \frac{P_2}{d_0} = \frac{55}{14} = 3,23 > 3,0 \end{array} \right| \Rightarrow k = 2,5$$

$$\alpha = \frac{e_1}{3d_0} = \frac{30}{3 \times 14} = 0,5882$$

$$F_{b,Rd} = 2,5 \times 0,5882 \times 16 \times 10 \times \frac{360}{1,25} \times \frac{1}{10^3} = 67,8 \text{ kN}$$

⑥

$$N_{Ed} = N_{pl,Rd} = A \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 45,9 \times \frac{235}{1,05} \times \frac{1}{10} = 1027 \text{ kN}$$

$$m_A F_{v,Rd} + m_B F_{v,Rd} + 2 m_C F_{v,Rd} = N_{Ed}$$

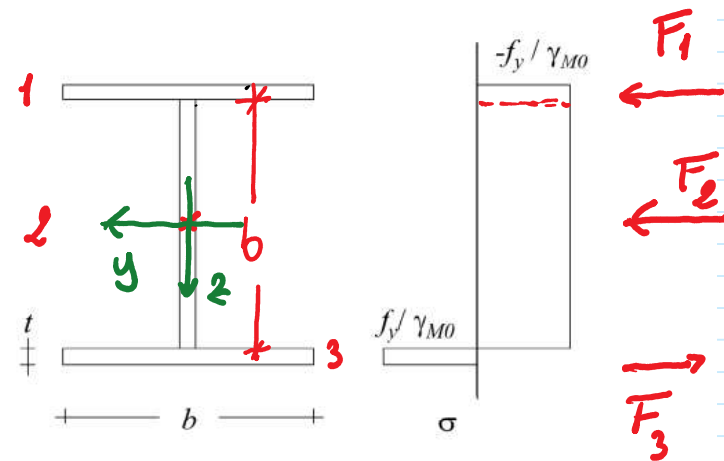
$$2 m_A F_{v,Rd} + 2 m_C F_{v,Rd} = N_{Ed}$$

$$2 m_A F_{v,Rd} = N_{Ed} - 2 m_C F_{v,Rd}$$

$$m_A = \frac{N_{Ed} - 2 m_C F_{v,Rd}}{2 F_{v,Rd}} = \frac{1027 - 2 \times 3 \times 48,2}{2 \times 48,2} = \cancel{7,6}^8 \text{ bulloni}$$

$$m_A + m_B + m_C = 8 + 8 + 3 = 19 \text{ bulloni}$$

La sezione descritta in figura è realizzata mediante piatti in acciaio tipo S235. I tre piatti sono uguali e hanno lunghezza $b = 180$ mm e spessore $t = 14$ mm. La sezione è soggetta a presso-flessione con momento flettente positivo agente attorno all'asse forte. La sezione è di classe 1 e raggiunge lo stato limite ultimo con il diagramma di tensioni indicato in figura. L'asse neutro passa per il lato superiore dell'ala inferiore (vedi figura).



(12) Determina lo sforzo normale allo SLU pari al risultante delle tensioni agenti sulla sezione:
(punti 3)

- ☐ 1 -1045.2 kN ☐ 2 -800.5 kN ☒ 3 -564.0 kN ☐ 4 -220.3 kN ☐ 5 56.0 kN

(13) Determina il momento flettente allo SLU pari al momento risultante delle tensioni agenti sulla sezione:
(punti 4)

- ☐ 1 83.5 kNm ☒ 2 109.4 kNm ☐ 3 129.5 kNm ☐ 4 151.5 kNm ☐ 5 183.2 kNm

(14) Assumi adesso che la sezione sia soggetta a presso-flessione e che sia di classe 3. Lo sforzo normale vale $N_{Ed} = -750$ kN. Determina il momento resistente della sezione ridotto per effetto dello sforzo normale $M_{N,Rd,y}$:
(punti 4)

- ☒ 1 65.1 kNm ☐ 2 90.3 kNm ☐ 3 108.1 kNm ☐ 4 125.9 kNm ☐ 5 152.6 kNm

$$(12) \quad N_{Rd} = A_{smin} \frac{f_y}{\gamma_{H0}} = -180 \times 14 \times \frac{235}{1,05} \times \frac{1}{10^3} = -564,0 \text{ kN}$$

$$(13) \quad M_{pl,N,Rd} = F_1 \left(\frac{b}{2} + \frac{t}{2} \right) + F_3 \left(\frac{b}{2} + \frac{t}{2} \right) = F_1 (b + t)$$

$$= 564 \times \frac{180 + 14}{10^3} = 109,4 \text{ kNm}$$

$$F_1 = F_3 = b t \frac{f_y}{\gamma_{H0}} = 564 \text{ kN}$$

$$M_{pl,N,Rd} = -2 S^- \frac{f_y}{\gamma_{H0}} = 2 S^+ \frac{f_y}{\gamma_{H0}}$$

$$\textcircled{14} \quad N_{Ed} = -750 \text{ kN}$$

$$M_{N,Rd} = \left(1 - \frac{|N_{Ed}|}{N_{pl,Rd}} \right) M_{el,Rd} = \left(1 - \frac{750}{1692} \right) 116,9 = 65,1 \text{ kNm}$$

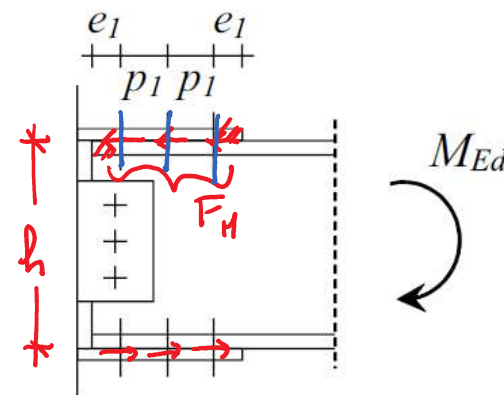
$$N_{pl,R} = A \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 36t \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 3 \times 180 \times 14 \times \frac{235}{1,05} \times \frac{1}{10^3} = 1692,0 \text{ kN}$$

$$M_{el,Rd} = W_{el} \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 522,2 \times \frac{235}{1,05} \times \frac{1}{10^3} = 116,9 \text{ kNm}$$

$$W_{el} = \frac{I}{(b + 2t)/2} = \frac{2 \times 5430,8}{(18 + 2 \times 14)} = 522,2 \text{ cm}^3$$

$$I = 2 \left[b \frac{t^3}{12} + b t \left(\frac{b}{2} + \frac{t}{2} \right)^2 \right] + t \frac{b^3}{12} = 2 \times \left[180 \times \frac{14^3}{12} + 180 \times 14 \times (90 + 7)^2 \right] + 14 \times \frac{180^3}{12} = 54304680 \text{ mm}^4 = 5430,8 \text{ cm}^4$$

Una trave è realizzata con un profilato IPE 270 e presenta un collegamento nella sezione d'estremità come mostrato in figura. Le sue ali sono bullonate a due piastre di spessore 15 mm con 6 bulloni M16 di classe 6.8. Si supponga che il taglio sia portato interamente dai bulloni dell'anima mentre le piastre ed i bulloni delle ali devono portare un momento $M_{Ed} = 100$ kNm. Il profilato e le piastre sono di acciaio S235.

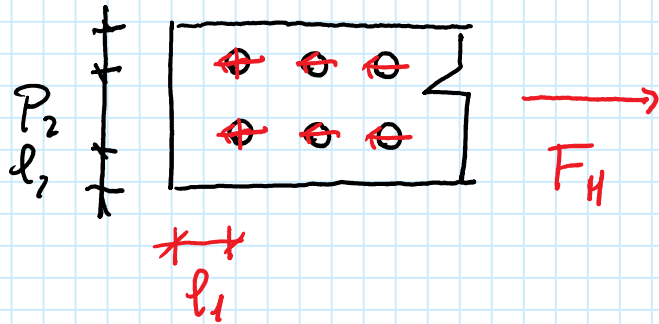


- (19) Si progetti la distanza tra bordo e bullone esterno e_l (indicare il valore esatto) considerando anche il rispetto dei minimi di normativa. (punti 3)

$$e_l = \boxed{26.8} \text{ mm}$$

- (20) Si progetti la distanza tra bulloni interni p_l (indicare il valore esatto) considerando anche il rispetto dei minimi di normativa. (punti 3)

$$p_l = \boxed{39.5} \text{ mm}$$



$$(19) \quad F_H = \frac{M_{Ed}}{h} = \frac{100}{0,27} = 370,4 \text{ kN}$$

$$F_{v,Ed} = F_{b,Ed} = \frac{F_H}{6} = \frac{370,4}{6} = 61,7 \text{ kN}$$

$$F_{b,Ed} = F_{b,Rd} = k \alpha d t_f \frac{f_u}{\gamma_{M2}} \Rightarrow \alpha = \frac{\gamma_{M2} F_{b,Ed}}{k d t_f f_u}$$

$$k = 2,5$$

$$\alpha = \frac{1,25 \times 61,7 \times 10^3}{2,5 \times 16 \times 10,2 \times 360} = 0,5251$$

$$\frac{e}{3d_o} > \alpha \Rightarrow e_1 = 3 \alpha d_o = 3 \times 0,5251 \times 17 = \underline{\underline{26,48 \text{ mm}}}$$

$$l_1 \geq 1,2 d_0 = 1,2 \times 17 = 20,4 \text{ mm}$$

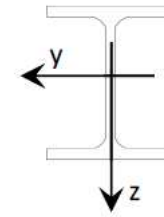
(20)

$$\frac{P_1}{3 d_0} - 0,25 = \alpha \Rightarrow P_1 = 3(\alpha + 0,25) d_0 = 3 \times (0,5251 + 0,25) \times 17$$

$$= \underline{\underline{39,53 \text{ mm}}}$$

$$P_1 \geq 2,2 d_0 = 2,2 \times 17 = 37,4$$

Per le domande che seguono fai riferimento al profilo
IPE 300 realizzato in acciaio **S275**, di **classe 1**.



- (3) Determina la resistenza a taglio che il profilo offre allo SLU in presenza di taglio agente in direzione y (punti 3)

☒ 1514.4 kN ☐ 646.8 kN ☐ 770.1 kN ☐ 912.6 kN ☐ 1106.0 kN

- (4) Adesso, supponi che il profilo sia soggetto a un taglio sollecitante $V_{Ed,z} = 305 \text{ kN}$ agente lungo l'asse z del sistema di riferimento mostrato in figura. Determina la resistenza a flessione intorno l'asse y allo SLU. (punti 4)

☒ 152.8 kNm ☐ 197.0 kNm ☐ 247.5 kNm ☐ 300.0 kNm ☐ 341.4 kNm

③

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} = \frac{34,03 \times 275}{\sqrt{3} \times 1,05} \times \frac{1}{10} = 514,6 \text{ kN}$$

$$A_v = A - h_w t_w = 53,8 - (30 - 2 \times 1,07) \times 0,71 = 34,03 \text{ cm}^2$$

④

$$M_{V,Rd} = \left(W_{pl} - \frac{\rho A_w^2}{4 t_w} \right) \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} = \frac{25,7 \times 275}{\sqrt{3} \times 1,05} \times \frac{1}{10} = 388,3 \text{ kN}$$

$$A_v = A - 2b t_f + (2r + t_w) t_f = 53,8 - 2 \times 15 \times 1,07 + (2 \times 1,5 + 0,71) \times 1,07$$

$$= 25,7 \text{ cm}^2$$

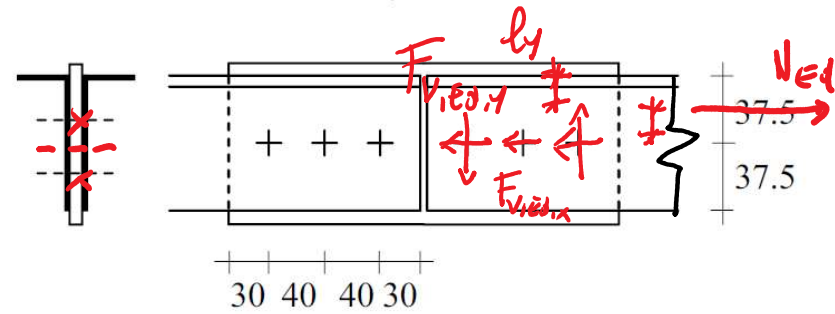
$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{305}{388,3} = 0,7854 > 0,5$$

$$\rho = \left(\frac{2 V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} - 1 \right)^2 = \left(2 \times 0,7854 - 1 \right)^2 = 0,3258$$

$$M_{V,Rd} = \left[628,4 - \frac{0,3258 \times (0,41 \times 27,86)^2}{4 \times 0,41} \right] \frac{275}{1,05} \frac{1}{10^3} = 152,8 \text{ kNm}$$

$$h_w = h - 2 t_f = 300 - 2 \times 10,7 = 278,6 \text{ mm} = 27,86 \text{ cm}$$

Per le due domande che seguono fai riferimento al collegamento mostrato nella figura a fianco. Il collegamento è realizzato su un'asta soggetta ad uno sforzo normale di trazione centrato. I profilati, collegati mediante una piastra e bulloni, sono una coppia di angolari 50x75x6 (per il singolo angolare $b = 50 \text{ mm}$, $h = 75 \text{ mm}$, $t = 6 \text{ mm}$, $A = 7.2 \text{ cm}^2$). Il baricentro della coppia di angolari si trova alla distanza $e_y = 24.4 \text{ mm}$ rispetto al bordo superiore. Lo spessore della piastra è pari a 10 mm. Tutti gli elementi sono in acciaio S235. I bulloni utilizzati sono M16 ($A = 201 \text{ mm}^2$, $A_{res} = 157 \text{ mm}^2$) di classe 5.6, filettati solo all'estremità. Inoltre, fai riferimento alle Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 14/01/2008) ed ove fosse necessario alle indicazioni dell'Eurocodice 3.



(22) Quanto vale lo sforzo normale N_{Ed} che determina la rottura dei bulloni? (punti 4)

- ☐ 165.9 kN ☐ 197.5 kN ☐ 235.1 kN ☒ 260.1 kN ☐ 289.8 kN

(23) Quanto vale lo sforzo normale N_{Ed} che determina il rifollamento del collegamento?

(punti 4)

- ☒ 165.9 kN ☐ 184.8 kN ☐ 235.1 kN ☐ 245.7 kN ☐ 289.8 kN

$$(22) \quad F_{V,Ed,x} = \frac{N_{Ed}}{3 \times 2} = \frac{N_{Ed}}{6}$$

$$2 F_{V,Ed,y} (2 p_1) = N_{Ed} \left(\frac{h}{2} - e_y \right) \Rightarrow F_{V,Ed,y} = N_{Ed} \frac{h/2 - e_y}{4 p_1}$$

$$F_{V,Ed} = \sqrt{F_{V,Ed,x}^2 + F_{V,Ed,y}^2} = \sqrt{\left(\frac{N_{Ed}}{6}\right)^2 + N_{Ed}^2 \left(\frac{h/2 - l_y}{4P_1}\right)^2}$$

$$= N_{Ed} \sqrt{\left(\frac{1}{6}\right)^2 + \left(\frac{h/2 - l_y}{4P_1}\right)^2}$$

$$F_{V,Ed} = N_{Ed} \sqrt{\left(\frac{1}{6}\right)^2 + \left(\frac{h/2 - l_y}{4P_1}\right)^2}$$

$$N_{Ed} = \frac{F_{V,Ed}}{\sqrt{\left(\frac{1}{6}\right)^2 + \left(\frac{h/2 - l_y}{4P_1}\right)^2}} = \frac{48,2}{\sqrt{\left(\frac{1}{6}\right)^2 + \left(\frac{34,5 - 24,4}{4 \times 40}\right)^2}} = 259,6 \text{ kN}$$

$$F_{V,Rd} = 0,6 A \frac{f_{ub}}{\gamma_{M2}} = 0,6 \times 201 \times \frac{500}{1,25} \times \frac{1}{10^3} = 48,2 \text{ kN}$$

(23)

$$F_{b,Rd} = 2 N_{Ed} \sqrt{\left(\frac{1}{6}\right)^2 + \left(\frac{h/2 - l_y}{4 P_1}\right)^2}$$

$$N_{Ed} = \frac{F_{b,Rd}}{2 \sqrt{\left(\frac{1}{6}\right)^2 + \left(\frac{h/2 - l_y}{4 P_1}\right)^2}} = \frac{61,6}{2 \times \sqrt{\left(\frac{1}{6}\right)^2 + \left(\frac{37,5 - 24,4}{4 \times 40}\right)^2}} = 165,9 \text{ kN}$$

$$F_{b,Rd} = K \alpha d t \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 2,5 \times 0,5343 \times 16 \times 10 \times \frac{360}{1,25} \times \frac{1}{10^3} = 61,6 \text{ kN}$$

$$\frac{l_2}{d_0} = \frac{37,5}{14} = 2,7 > 1,5 \Rightarrow K = 2,5$$

$$\alpha = \frac{l_1}{3 d_0} = \frac{30}{3 \times 14} = 0,5882$$

$$\alpha = \frac{P_1}{3 d_0} - 0,25 = \frac{40}{3 \times 14} - 0,25 = \underline{0,5343}$$