3 Uitwerking van les 06.1

1. A.

De ontwerpspanning bedraagt $f = 0{,}67 \times 230 = 154{,}1$ N/mm^2.

Berekening volgens de Regels:

Hoofdleiding:

$$d = \frac{p_\mathrm{d} \times D_\mathrm{e}}{2 \times z \times f + p_\mathrm{d}} = \frac{1{,}65 \times 813}{2 \times 1 \times 0{,}67 \times 230 + 1{,}65}$$

Dus $d = 4{,}33$ mm.
Benodigde wanddikte $d_\mathrm{ben} = (4{,}33 + 1) \times 1{,}15 = 6{,}13$ mm ($<$ 18 mm).

Aftakking:

De ontwerpspanning bedraagt $f = 0{,}67 \times 210 = 140{,}7$ N/mm^2.

$$d = \frac{1{,}65 \times 322}{2 \times 1 \times 0{,}67 \times 210 + 1{,}65}$$

Dus $d = 1{,}88$ mm.
Benodigde wanddikte $d_\mathrm{ben} = (1{,}88 + 1) \times 1{,}15 = 3{,}31$ mm

Berekening volgens AD-Merkblatt:

Hoofdleiding:
$S = 1{,}5$ (zie les 02.0 afbeelding 2)

$$s_\mathrm{v} = \frac{p \times D_\mathrm{a}}{20 \times \frac{K}{S} \times V + p} = \frac{16{,}5 \times 813}{20 \times \frac{230}{1{,}5} \times 1 + 16{,}5}$$

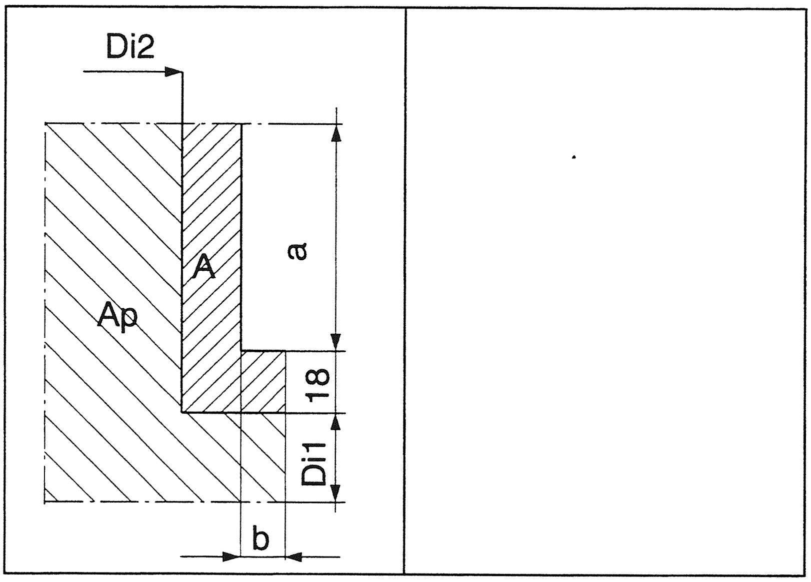
Dus $s_\mathrm{v} = 4{,}35$ mm.
$s = s_\mathrm{v} + c_1 + c_2 = (4{,}35 + 1) \times 1{,}15 = 6{,}15$ mm.

Aftakking:

$$s_\mathrm{v} = \frac{16{,}5 \times 322}{20 \times \frac{210}{1{,}5} \times 1 + 16{,}5}$$

Dus $s_\mathrm{v} = 1{,}89$ mm.
$s = s_\mathrm{v} + c_1 + c_2 = (1{,}89 + 1) \times 1{,}15 = 3{,}32$ mm.

B.
Volgens de Regels:



Afbeelding 1

5797-009-001-D

$$d_1 = 18 \times (1 - 0{,}15) - 1 = 14{,}3 \text{ mm}$$
$$D_{i1} = 813 - (2 \times 14{,}3) = 784{,}4 \text{ mm}$$
$$d_2 = 8 \times (1 - 0{,}15) - 1 = 5{,}8 \text{ mm}$$
$$D_{i2} = 322 - (2 \times 5{,}8) = 310{,}4 \text{ mm}$$

$$a = 1{,}25 \times \sqrt{d_2 \times (D_{i2} + d_2)} = 1{,}25 \times \sqrt{5{,}8 \times (310{,}4 + 5{,}8)}$$

$a = 53{,}53$ mm.

$$b = \sqrt{d_1 \times (D_{i1} + d_1)} = \sqrt{14{,}3 \times (784{,}4 + 14{,}3)}$$

$b = 106{,}87$ mm.

De oppervlakte A_p en A: (zie afbeelding 1):

$$A_p = 0{,}5 \times D_{i1} \times (0{,}5 \times D_{i2} + d_2 + b) + 0{,}5 \times D_{i2} \times (d + a)$$

$$A_p = 0{,}5 \times 784{,}4 \times (0{,}5 \times 310{,}4 + 5{,}8 + 106{,}87)$$
$$+ 0{,}5 \times 310{,}4 \times (14{,}3 + 53{,}53) = 105059 + 10527 = 115586 \text{ mm}^2.$$

$$A_1 = d \times (d_2 + b) + d_2 \times a = 14{,}3 \times (5{,}8 + 106{,}87) + 5{,}8 \times 53{,}53 = 1922 \text{ mm}^2.$$

$$A = \frac{f_1}{f} \times A_1 = \frac{210}{230} \times 1922 = 1755 \text{ mm}^2$$

$$z = c \times \frac{(D_i + d)}{d} \times \frac{A}{2 \times A_p + A} = 1 \times \frac{(784{,}4 + 14{,}3)}{14{,}3} \times \frac{1755}{(2 \times 115586 + 1755)}$$

Dus $z = 0{,}42$.

Volgens AD-Merkblatt:

Wanddikte hoofdleiding: $s'_e = 18 \times (1 - 0{,}15) - 1 = 14{,}3$ mm.
Wanddikte aftakking: $s'_S = 8 \times (1 - 0{,}15) - 1 = 5{,}8$ mm.

$$\frac{s'_s}{s'_e} = \frac{5{,}8}{14{,}3} = 0{,}406$$

$$d_i = 322 - 2 \times 5{,}8 = 310{,}4 \text{ mm}$$
$$D_i = 813 - 2 \times 14{,}3 = 784{,}4 \text{ mm}$$

$$\frac{d_i}{\sqrt{s'_e \times (D_i + s'_e)}} = \frac{310{,}4}{\sqrt{14{,}3 \times (784{,}4 + 14{,}3)}} = 2{,}904$$

Uit de grafiek op pagina 18 (les 05.0): $V_A = 0{,}46$.

C.
De maximaal toelaatbare druk wordt:

Volgens de Regels:

$$p_d = \frac{2 \times z \times f \times d}{D_i + d} = \frac{2 \times 0{,}42 \times (0{,}67 \times 230) \times 14{,}3}{784{,}4 + 14{,}3}$$

$$d = \frac{Pd * Di}{2 \times z \times f - Pd}.$$

$p_{dmax} = 2{,}32$ N/mm^2 = 23,2 bar.

Volgens AD-Merkblatt:

$$p = \frac{20 \times K \times V \times s'}{S \times (D_a - s')} = \frac{20 \times 230 \times 0{,}46 \times 14{,}3}{1{,}5 \times (813 - 14{,}3)}$$

$p_{max} = 25{,}3$ bar.

D.
De afmetingen van de maximaal in rekening te brengen versterkingsring bedragen:

Volgens de Regels:

dikte: $1{,}5 \times d = 1{,}5 \times 14{,}3 = 21{,}45$ mm.
breedte:

$$\sqrt{d \times (D_i + d)} = \sqrt{14{,}3 \times (784{,}4 + 14{,}3)} = 106{,}87 \text{ mm}$$

Oppervlak versterkingsring: $21{,}45 \times 106{,}87 = 2292$ mm^2.

Er mag slechts in rekening worden gebracht: $0{,}75 \times (200/230) \times 2292 = 1495$ mm^2. $k * \frac{f_{AFT}}{f_{hvgl}} * A_2 = A$

A_{tot} wordt nu: $1755 + 1495 = 3250$ mm^2. $A_{tot} = A + A$

De oppervlakte A_p is niet veranderd: $A_p = 115586$ mm^2.

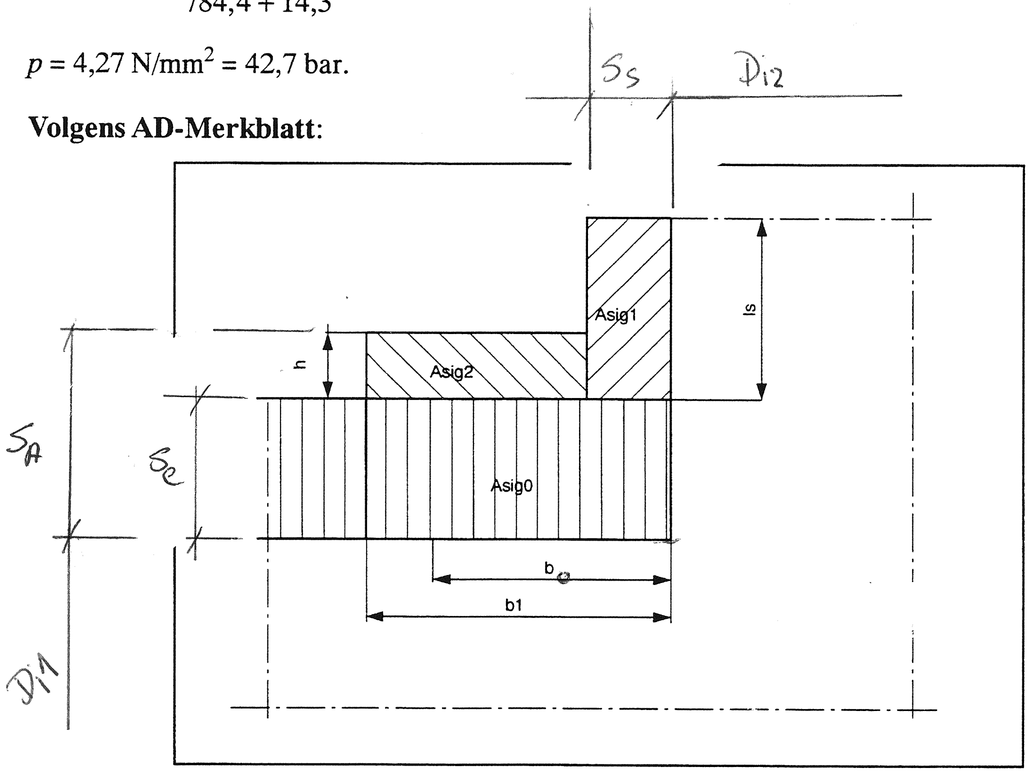
$$z = \frac{784{,}4 + 14{,}3}{14{,}3} \times \frac{3250}{(2 \times 115586) + 3250} = 0{,}774$$

$$A_{tot} = \frac{f_1}{f} * A_1 + k * \frac{f_2}{f} * A_2.$$

$$p = \frac{2 \times 0{,}774 \times (0{,}67 \times 230) \times 14{,}3}{784{,}4 + 14{,}3}$$

$p = 4{,}27\ \mathrm{N/mm^2} = 42{,}7$ bar.

Volgens AD-Merkblatt:



Afbeelding 2

5797-009-002-D

Noem $s_A = s'_e = 14{,}3$ mm.

Neem de dikte van de ring: $h = s'_e = 14{,}3$ mm. (Er mag niet meer dan s_A in rekening worden gebracht).
Nu is $s_A = 2 \times 14{,}3 = 28{,}6$ mm.

$b_0 = \sqrt{s'_e \times (D_i + s'_e)} = \sqrt{14{,}3 \times (784{,}4 + 14{,}3)} = 106{,}87$ mm

$b_1 = \sqrt{s_A \times (D_i + s_A)} = \sqrt{28{,}6 \times (784{,}4 + 28{,}6)} = 152{,}49$ mm

$l_s = 1{,}25 \times \sqrt{s'_s \times (d_i + s'_s)} = 1{,}25 \times \sqrt{5{,}8 \times (310{,}4 + 5{,}8)} = 53{,}53$ mm

$A_{\sigma 0} = (b_0 + s'_S) \times s'_e = (106{,}87 + 5{,}8) \times 14{,}3 = 1611\ \mathrm{mm^2}$.
$A_{\sigma 1} = l_S \times s'_S = 53{,}53 \times 5{,}8 = 310{,}5\ \mathrm{mm^2}$.

De oppervlakte van de versterkingsring is:(zie afbeelding 2)
$A_{\sigma 2} = h \times b_1 = 14{,}3 \times 152{,}49 = 2180{,}6\ \mathrm{mm^2}$.

$A_\sigma = A_{\sigma 0} + (K_2/K) \times A_{\sigma 1} + (K_3/K) \times A_{\sigma 2} = 1611 + (210/230) \times 310{,}5 + (200/230) \times 2180{,}6 = 3791\ \mathrm{mm^2}$.

$A_p = 0{,}5 \times D_i \times (0{,}5 \times d_i + s'_S + b_0) + 0{,}5 \times d_i \times (s'_e + l_s) =$
$0{,}5 \times 784{,}4 \times (0{,}5 \times 310{,}4 + 5{,}8 + 106{,}87) + 0{,}5 \times 310{,}4 \times (14{,}3 + 53{,}53) =$
$115586\ \mathrm{mm^2}$.

Nu geldt:

$$\frac{p}{10} \times \left[\frac{A_p}{A_\sigma} + \frac{1}{2}\right] = \frac{K}{S}$$

$$\frac{p}{10} \times \left(\frac{115586}{3791} + \frac{1}{2}\right) = \frac{230}{1,5}$$

Dus $p = 49,5$ bar.

2. A

Rekenwanddikte hoofdleiding:

$$t_h = \frac{p \times D}{2\,(S \times E + p \times Y)}$$

De factor $Y = 0,4$ zodat $P \times Y = 185 \times 0,4 = 74$.

$$t_h = \frac{185 \times 34}{2 \times (16700 \times 0,8 + 74)} = 0,234''$$

De corrosietoeslag bedraagt 1/16″ = 0,0625″.
De benodigde wanddikte bedraagt aldus 0,234″ + 0,0625″ = 0,2965″. $(t_h + c)$.

De overmaat is nu: $0,34375 \times (1 - 0,125) - 0,2965 = 0,3008 - 0,2965 = 0,0043''$. $(11/32'' \times 12,5\% - T_h)$

De rekenwanddikte voor de aftakleiding bedraagt:

$$t_b = \frac{185 \times 8,625}{2 \times (13800 \times 1 + 74)} = 0,0575''$$

De corrosietoeslag bedraagt 1/16″ = 0,0625″.
De benodigde wanddikte bedraagt aldus 0,0575″ + 0,0625″ = 0,12″. De overmaat is dus: $0,322 \times (1 - 0,125) - 0,12 = 0,2818 - 0,12 = 0,1618''$.

Er geldt voor de gatlengte d_1:

$$d_1 = (D_{ob} - 2 \times (T_b - c)) / \sin\beta$$

$$d_1 = 8,625 - 2 \times \left(0,322 \times (1 - 0,125) - \frac{1}{16}\right)$$

$$d_1 = 8,625 - 2 \times 0,21925 = 8,1865''$$

Voor d_2 geldt: $d_2 =$ de maximale waarde van d_1
en: $T_b - c + T_h - c + d_1/2$,
echter, d_2 mag niet groter worden genomen dan D_h.

Dus: $d_2 = 8,187''$ of $0,282'' - 0,063'' + 0,301'' - 0,063'' + 0,5 \times 8,187'' = 4,551''$.

Dus volgt: $d_2 = 8,187''$.

Het uit de hoofdleiding verwijderde oppervlak $A_1 = d_1 \times t_h \times (2 - \sin\beta) = 8,187'' \times 0,234'' \times (2 - 1) = 1,916''^2$.

Het in de header nog aanwezige versterkingsoppervlak A_2 bedraagt:

0,035

$A_2 = 2 \times (d_2 - d_1/2) \times \text{overdikte} = 2 \times (8,187 - 8,187/2)'' \times \cancel{0,0043''} = \cancel{0,035''^2}$. 2

Voor de tubulure geldt: L_4 = de minimale waarde van $2,5 \times (T_h - c)$ of $2,5 \times (T_b - c) + t_r$.

$2{,}5 \times (T_h - c) = 2{,}5 \times (0{,}301 - 0{,}063) = 0{,}595''$;

$2{,}5 \times (T_b - c) + t_r = 2{,}5 \times (0{,}282 - 0{,}063) + 0 = 0{,}5475''$. De laatste waarde is maatgevend.

Met L_4 wordt het versterkingsoppervlak van de tubulure:
$A_3 = 2 \times L_4 \times (\text{overdikte tubulure})/\sin\beta = 2 \times 0{,}5475'' \times 0{,}1618'' = 0{,}1772''^2$.
Aldus bedraagt het totale versterkingsoppervlak: $A_2 + A_3 = 0{,}035 + 0{,}1772 = 0{,}2122''^2$.
Er is echter aan oppervlakte verwijderd: $A_1 = 1{,}9156''^2$; dit is meer, dus is versterking nodig!

B.
De aanwezige verzwakking is dus niet voldoende!

11/32(0,34375 -12,5%) = 0,301.

C.
Vlakke versterkingsring

Neem de dikte van de versterkingsring aan als 0,301″ (de dikte van de pijp).
Nu wordt de waarde L_4: de minimale waarde van 0,595″ en $0{,}5475 + 0{,}301/2 = 0{,}698'$, dus $0{,}59\cancel{6}'$ 5. De nieuwe A_3 wordt dus $2 \times 0{,}59\cancel{6} \times 0{,}1618 = 0{,}1928''^2$.
5

Dus nu is $A_2 + A_3 = 0{,}035 + 0{,}1928 = 0{,}2278''^2$.

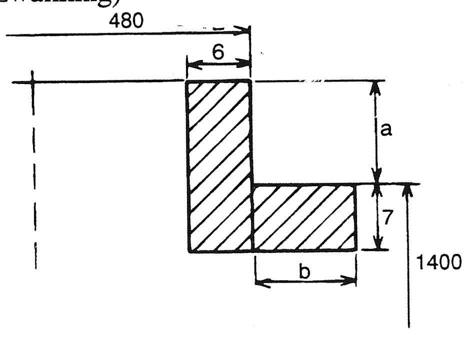
De versterkingsring moet dus nog leveren: $1{,}5 \times A1 - (A2 + A3) = 1{,}5 \times 1{,}9156 - 0{,}2278''^2 = 2{,}873''^2 - 0{,}2278''^2 = 2{,}6458''^2$.
De te kiezen breedte voor de ring wordt begrensd door de maximale versterkingsbreedte: b_r moet zodanig worden gekozen dat
$2 \times b_r + D_b/\sin\beta <= 2 \times d_2$.
Kies $b_r = 3{,}8''$. We hadden reeds gekozen: $t_r = T_h = 0{,}301''$, dan wordt $A_{ring} = 2 \times 3{,}8 \times 0{,}301 = 2{,}288''^2$.
Dit is te weinig, maar met het mee te rekenen lasoppervlak van $0{,}4''^2$ wordt voldaan aan voldoende versterking.

3. a. $d = \dfrac{1 \times 1000}{2 \cdot 0{,}6 \cdot 0{,}67 \times 250 - 1}$

$d = 5$ mm

b. $d = \dfrac{0{,}5 \times 1400}{2 \cdot 1 \cdot 0{,}67 \times 230 + 0{,}5}$

$d = 2{,}27$ mm (zonder verzwakking)



5797-009-003-S

Verzwakking ten gevolge van tubulure.

$a = 1{,}25\sqrt{6\,(468 + 6)}$

$a = 66{,}66$

$$b = \sqrt{7\,(1400-7)}$$

$$b = 98{,}75 \text{ mm}$$

$$D_{i1} = 1400 - 14 = 1386 \text{ mm}$$

$$D_{i2} = 480 - 12 = 468 \text{ mm}$$

$$d_1 = 7 \text{ mm}; \qquad d_2 = 6 \text{ mm}$$

$$A_p = 0{,}5 \cdot 1386(0{,}5 \cdot 468 + 6 + 98{,}75) + 0{,}5 \cdot 468(7 + 66{,}66)$$

$$A_p = 251990 \text{ mm}^2$$

$$A_1 = 7(6 + 98{,}75) + 6 \times 66{,}66$$

$$A = 1133 \text{ mm}^2; \quad A_1 = \frac{210}{230} \times 1133 = 1034 \text{ mm}^2$$

$$z = \frac{1400-7}{7} \times \frac{1034}{2 \times 251990 + 1034}$$

$$z = 0{,}407$$

$$d_{min} = \frac{0{,}5 \times 1400}{2 \cdot 0{,}407 \cdot 0{,}67 \times 230 + 0{,}5}$$

$$d_{min} = 5{,}56 < 7 \text{ mm (in orde)}$$

c) Les 03.0 afbeelding 1
Uitwendige druk is $5 + 1 = 6$ bar ($0{,}6$ N/mm^2)

$$\frac{p_d}{z \cdot f} = \frac{0{,}6}{0{,}6 \cdot 0{,}63 \times 250} = 6{,}349 \cdot 10^{-3}$$

$$\frac{L}{D_e} = \frac{1400}{1016} = 1{,}38 \Rightarrow \frac{d}{D_e} = 10{,}5 \cdot 10^{-3}$$

$$\frac{d}{1016} = 10{,}5 \cdot 10^{-3}$$

$d = 10{,}67$ mm

Afbeelding 2

$$\frac{p_d}{z \cdot E_\theta} = \frac{0{,}6}{0{,}6 \cdot 210000} = 4{,}76 \cdot 10^{-6}$$

$$\frac{L}{D_e} = 1{,}38$$

$$\frac{d}{D_e} = 9 \cdot 10^{-3}$$

$$\frac{d}{1016} = 9 \cdot 10^{-3}$$

$d = 9{,}15$ mm

d. Hieruit ziet men dat de leiding te zwak is voor een uitwendige druk van 6 bar. Er moet een versterkingsring worden aangebracht.

4. Gewijzigde Kellogg-methode:

$D_m = 90 - 8 = 82$ mm; $R_m = 41$ mm; $s = 8$ mm

$d_m = 80 - 6 = 74$ mm; $r_m = 37$ mm; $s_1 = 6$ mm

Algemene formule:

$$\frac{K}{S} \leqq \frac{p \times D_m}{20 \times S \times V}$$

Bepaling van oppervlak B en C

Oppervlak B:

$$r_m \left[\frac{R_m}{\sin\alpha} + 0{,}8\sqrt{d_m \times s_1} + 0{,}5 \times \frac{r_m}{\tan\alpha} \right] + R_m \left[0{,}8\sqrt{D_m \times s} + 0{,}5 \times \frac{R_m}{\tan\alpha} \right]$$

$$0{,}8\sqrt{d_m \times s_1} = 0{,}8\sqrt{74 \times 6} = 16{,}86 \text{ mm}$$

$$0{,}8\sqrt{D_m \times s} = 0{,}8\sqrt{82 \times 8} = 20{,}49 \text{ mm}$$

$$\text{oppervlak } B\text{: } 37 \times \left[\frac{41}{\sin 45^\circ} + 16{,}86 + 0{,}5 \times \frac{37}{\tan 45^\circ} \right] + 41 \times \left[20{,}49 + 0{,}5 \times \frac{41}{\tan 45^\circ} \right]$$

Oppervlak $B = 5134$ mm^2

Oppervlak C:

$$s \times 0{,}8\sqrt{D_m \times s} + s_1 \times 0{,}8\sqrt{d_m \times s_1}$$

$$8 \times 20{,}49 + 6 \times 16{,}86 = 265 \text{ mm}^2$$

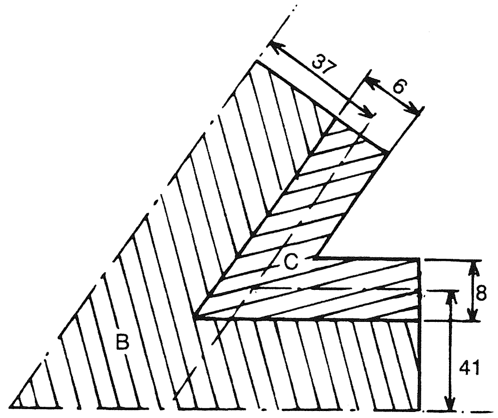
$$\frac{K}{S} = \frac{210}{1{,}5} = 140 \text{ N/mm}^2$$

De verzwakkingsfactor wordt:

$$v = \frac{C \times D_m}{2 \times B \times s} \qquad v = \frac{265 \times 82}{2 \times 5134 \times 8} = 0{,}265$$

$$p_{max} = \frac{8 \times 20 \times 140 \times 0{,}265}{82}$$

$$p_{max} = 72{,}4 \text{ bar}$$



5797-009-004-S

Volgens de Kelloggmethode:

$$\frac{K}{S} \geqq P \times \frac{B + \frac{1}{2}C}{C}$$

$$p_{max} = \frac{\frac{K}{S} \times 10 \times C}{B + \frac{1}{2}C} \text{ (in bar)}$$

$$p_{max} = \frac{140 \times 10 \times 265}{5134 + 0{,}5 \times 265} = \frac{37100}{5266{,}5} \times 10 = 70{,}4.$$

$$p_{max} = 70{,}4 \text{ bar}$$