

# Gravitacijski separatori plin/kapljevina. Dio IV.

DOI: 10.15255/KUI.2015.005  
KUI-34/2016  
Stručni rad  
Prispjelo 5. siječnja 2015.  
Prihvaćeno 7. prosinca 2015.

E. Beer\*

Aleja Blaža Jurišića 9, 10 000 Zagreb

## || Sažetak

Nastavak postupaka proračuna gravitacijskih separatora. Dani su postupci proračuna za vodoravne trofazne gravitacijske separatore.

## || Ključne riječi

Gravitacijski separatori, separatori plin/kapljevina/kapljevina, dimenzioniranje

## Primjer 5. Trofazni vodoravni separator – konvencionalni

To je prvi od četiri tipa trofaznih vodoravnih separatora (slika 24a).

Proračun se temelji na brzini plina u parnom prostoru separatora koja osigurava izdvajanje kapljica kapljevine iz plina i na dovoljnom vremenu zadržavanja kapljevine u separatoru za postizanje željenog odvajanja dviju kapljevina (minimalni promjer kapljice dispergirane faze koja se izdvaja iz kontinuirane faze). Brzina plina računa se ovisno o tome ugrađuje li se odvajač kapljica ili ne. Unutarnji promjer separatora zadan je brzinom i volumnim protokom plina.

Kao i u prethodnim primjerima ne računa se s volumenima podnica. Taj je volumen neka vrsta sigurnosne margine.

### Podatci za proračun

Treba načiniti proračun trofaznog separatora za odvajanje plinsko/kapljevite smjese sljedećih karakteristika:

- protok plina,  $Q_{vG} = 3350 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$
- gustoća plina,  $\rho_G = 8,5 \text{ kg m}^{-3}$
- viskoznost plina,  $\mu_G = 0,01 \text{ mPa s}$
- protok lakše kapljevine,  $Q_{vLI} = 28,0 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$
- gustoća kapljevine,  $\rho_{LI} = 650 \text{ kg m}^{-3}$
- viskoznost lakše kapljevine,  $\mu_{LI} = 0,24 \text{ mPa s}$
- protok teže kapljevine,  $Q_{vLH} = 15,0 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$
- gustoća teže kapljevine,  $\rho_{LH} = 995 \text{ kg m}^{-3}$
- viskoznost teže kapljevine,  $\mu_{LH} = 0,682 \text{ mPa s}$
- granični promjer kapljice koja se odvaja iz kapljevina (lakši i teže),  $D_p = 150 \text{ mm}$
- radni tlak separatora,  $p = 10 \text{ bar}$
- u separator se ugrađuje odvajač kapljica

distributor ulazne smjese je deflektor  
vrijeme zadržavanja,  $t_h = 5 \text{ min}$   
vrijeme poremećaja,  $t_s = 3 \text{ min}$   
sigurnosna margina/sigurnosni faktor,  $F_s = 1,15$

### 1. Souders-Brownov K-faktor i granična brzina plina

U separator će biti ugrađen odvajač kapljica od čelične mrežice, pa Souders-Brownov K-faktor računamo korelacijama za odvajače iz mrežice (Koch-Otto York) za apsolutni radni tlak  $p = 11,013 \text{ bar}$ :

$$K = [0,1123 - 0,007 \ln(p/\text{bar})] \text{ ms}^{-1} \\ = [0,1123 - 0,007 \ln(11,013)] \text{ ms}^{-1} = 0,0955 \text{ ms}^{-1}$$

Granična brzina plina iz jedn. 15 (računamo s lakšom kapljevinom):

$$u_t = u_d = K \sqrt{\frac{\rho_L - \rho_G}{\rho_G}} = 0,0955 \sqrt{\frac{650 - 8,5}{8,5}} \text{ ms}^{-1} \\ = 0,830 \text{ ms}^{-1}$$

### 2. Brzine odvajanja kapljevina iz Stokesove korelacije

$$u_{LH} = \frac{g}{18} D_p^2 \frac{\rho_{LH} - \rho_{LI}}{\mu_{LI}} = \frac{9,806}{18} \cdot (150 \cdot 10^{-6})^2 \frac{995 - 650}{0,00024} \text{ m s}^{-1} \\ = 0,0176 \text{ m s}^{-1}$$

$$u_{LI} = \frac{g}{18} D_p^2 \frac{\rho_{LH} - \rho_{LI}}{\mu_{LH}} = \frac{9,806}{18} \cdot (150 \cdot 10^{-6})^2 \frac{995 - 865}{0,000682} \text{ m s}^{-1} \\ = 0,00620 \text{ m s}^{-1}$$

Obje brzine su veće od maksimalne brzine izdvajanja  $u_{\max} = 0,00425 \text{ m s}^{-1}$  pa uzimamo:

$$u_{LH} = 0,00425 \text{ m s}^{-1} \\ u_{LI} = 0,00425 \text{ m s}^{-1}$$

\* Eduard Beer  
e-pošta: eduard.beer@inet.hr

## 3. Volumeni zadržavanja i poremećaja

$$H_{Lh} = 0,361 \text{ m}$$

Zadržaj:

$$\begin{aligned} V_h &= t_h(Q_{vLl} + Q_{vLh}) \\ &= 5 \cdot 60 \text{ s} \cdot (0,00894 + 0,00479) \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \\ &= 4,121 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\frac{A_{Lh} + A_{Ll}}{A_t} = \frac{0,376 \text{ m}^2 + 0,646 \text{ m}^2}{2,873 \text{ m}^2} = 0,356$$

$$H_{Lh} + H_{Ll} = 0,768 \text{ m}; H_{Ll} = 0,407 \text{ m}$$

Poremećaj:

$$\begin{aligned} V_s &= t_s(Q_{vLl} + Q_{vLh}) \\ &= 3 \cdot 60 \text{ s} \cdot (0,00894 + 0,00479) \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \\ &= 2,473 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\frac{A_{Lh} + A_{Ll} + A_s}{A_t} = \frac{0,376 \text{ m}^2 + 0,701 \text{ m}^2 + 0,646 \text{ m}^2}{2,873 \text{ m}^2} = 0,600$$

$$H_{Lh} + H_{Ll} + H_s = 1,105 \text{ m}; H_s = 0,337 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} H_v &= D_i - H_{Lh} - H_{Ll} - H_s \\ &= 1,887 \text{ m} - 0,361 \text{ m} - 0,407 \text{ m} - 0,337 \text{ m} \\ &= 0,782 \text{ m} \end{aligned}$$

## 4. Promjer separatora

Uzimamo da je omjer površine presjeka parnog prostora i presjeka separatora 0,7.

$$A_v = (1 - 0,521) \cdot A_t = (1 - 0,521) \cdot 2,873 \text{ m}^2 = 1,376 \text{ m}^2$$

Uz radni tlak od 10 bar preporučeni omjer  $L/D$  je između 1,5 i 3. Uzimamo  $L/D = 2,0$ .

Promjer separatora:

$$D_i = \left[ \frac{4(V_h + V_s)}{0,6\pi \cdot L/D} \right]^{1/3} = \left[ \frac{4(4,121 + 2,473) \text{ m}^3}{0,6\pi \cdot 2,0} \right]^{1/3} = 1,913 \text{ m}$$

$$L = D_i \cdot L/D = 1,913 \cdot 2,0 \text{ m} = 3,825 \text{ m}$$

$$A_t = \frac{\pi D_i^2}{4} = \frac{\pi \cdot (1,913 \text{ m})^2}{4} = 2,873 \text{ m}^2$$

## 6. Vremena zadržavanja i odvajanja i minimalne duljine separatora

Plin:

$$t_{\text{sep}} = \frac{H_v}{u_d} = \frac{0,806 \text{ m}}{0,830 \text{ m s}^{-1}} = 0,971 \text{ s}$$

$$u_G = \frac{Q_{vG}}{A_v} = \frac{1,070 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}}{1,149 \text{ m}^2} = 0,931 \text{ m s}^{-1}$$

$$L_{\text{min,G}} = t_{\text{sep}} \cdot u_G = 0,97 \text{ s} \cdot 0,931 \text{ m s}^{-1} = 0,904 \text{ m}$$

Lakša kapljevina:

$$t_{\text{sep,Ll}} = \frac{H_{Ll}}{u_{Ll}} = \frac{0,361 \text{ m}}{0,00425 \text{ m s}^{-1}} = 84,9 \text{ s}$$

$$u_{Ll} = \frac{Q_{vLl}}{A_{Ll}} = \frac{0,00479 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}}{0,376 \text{ m}^2} = 0,01275 \text{ m s}^{-1}$$

$$L_{\text{min,Ll}} = t_{\text{sep,Ll}} \cdot u_{Ll} = 84,9 \text{ s} \cdot 0,01275 \text{ m s}^{-1} = 1,082 \text{ m}$$

5. Visina sloja teže kapljevine,  $H_{Lh}$ , lakše kapljevine,  $H_{Ll}$ , volumena poremećaja,  $H_s$  i parnog prostora,  $H_v$ 

Teža kapljevina:

$$V_{Lh} = Q_{vLh} \cdot t_h = 0,00479 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \cdot 5 \cdot 60 \text{ s} = 1,4375 \text{ m}^3$$

$$A_{Lh} = \frac{V_{Lh}}{L} = \frac{1,437 \text{ m}^3}{3,825 \text{ m}} = 0,376 \text{ m}^2$$

Lakša kapljevina:

$$V_{Ll} = Q_{vLl} \cdot t_h = 0,00894 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \cdot 5 \cdot 60 \text{ s} = 2,683 \text{ m}^3$$

$$A_{Ll} = \frac{V_{Ll}}{L} = \frac{2,683 \text{ m}^3}{3,825 \text{ m}} = 0,701 \text{ m}^2$$

Poremećaj:

$$A_s = \frac{V_s}{L} = \frac{2,4725 \text{ m}^3}{3,825 \text{ m}} = 0,646 \text{ m}^2$$

Iz korelacija za odnos visine i površine kružnog odsječka:

$$\frac{A_{Lh}}{A_t} = \frac{0,376 \text{ m}^2}{2,873 \text{ m}^2} = 0,131$$

Teža kapljevina

$$t_{\text{sep,Lh}} = \frac{H_{Lh}}{u_{Lh}} = \frac{0,407 \text{ m}}{0,00425 \text{ m s}^{-1}} = 95,7 \text{ s}$$

$$u_{Lh} = \frac{Q_{vLh}}{A_{Lh}} = \frac{0,00894 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}}{0,701 \text{ m}^2} = 0,01275 \text{ m s}^{-1}$$

$$L_{\text{min,Lh}} = t_{\text{sep,Lh}} \cdot u_{Lh} = 95,7 \text{ s} \cdot 0,01275 \text{ m s}^{-1} = 1,220 \text{ m}$$

Minimalne duljine separatora potrebne za odvajanje:

Kapljica iz plina  $L_{\text{min}} = 0,904 \text{ m}$ Lakše iz teže kapljevine  $L_{\text{min}} = 1,220 \text{ m}$ Teže iz lakše kapljevine  $L_{\text{min}} = 1,082 \text{ m}$

Kako vidimo, duljina separatora nadmašuje potrebne duljine separacije i očito je da je kontrolirajući faktor za dimenzioniranje traženo vrijeme zadržavanja kapljevine u separatoru i zadano vrijeme poremećaja. Tu bi se mogao eventualno smanjiti promjer separatora jer je visina parnog prostora veća od potrebne minimalne visine za ugradnju odvajачa kapljica. Kako će to istodobno smanjiti i visinu parnog prostora, treba voditi računa o tome jer u separator treba ugraditi odvajач kapljica.

Pokušaj s većim udjelom površine presjeka zauzetoj kapljevitoj fazom daje:

$$D_i = \left[ \frac{4(V_h + V_s)}{0,7\pi \cdot L/D} \right]^{1/3}$$

$$= \left[ \frac{4(4,121 \text{ m}^3 + 2,473 \text{ m}^3)}{0,7\pi \cdot 2,0} \right]^{1/3} = 1,817 \text{ m}$$

Ostali rezultati su:

promjer	1,817 m
duljina	3,825 m
visina parnog prostora	0,618 m
visina sloja teže kapljevine	0,381 m
visina sloja lakše kapljevine	0,438 m
visina sloja poremećaja	0,380 m
minimalno potrebna duljina:	
– za izdvajanje kapljica iz plina	1,025 m
– za izdvajanje teže kapljevine iz lakše	1,248 m
– za izdvajanje lakše kapljevine iz teže	1,087 m

Dobiven je manji promjer i nešto su povećane potrebne duljine izdvajanja. Daljnje smanjenje promjera ili eventualno smanjenje duljine separatora vjerojatno bi smanjilo visinu parnog prostora ispod 0,6 m, što nije prihvatljivo s obzirom na postavljanje odvajачa kapljica.

### 7. Priklučci

Proračun priklučaka dao je sljedeće.

Namjena	Nazivni promjer
ulaz pojne smjese	16" Sch 20
izlaz plina	16" Sch 20
izlaz lakše kapljevine	4" Sch 20
izlaz teže kapljevine	3" Sch 20

Za detalje postupka i proračun vidi primjer 1.

### 8. Pad tlaka

ulaz smjese	748 Pa
izlaz plina	150 Pa
žičana mrežica, 1 m <sup>2</sup>	292 Pa
	38 mm stupca kapljevine
pločasti – jednostruki džepovi, 1 m <sup>2</sup>	146 Pa
– dvostruki džepovi, 1 m <sup>2</sup>	97 Pa

Za detalje postupka i proračun vidi primjer 1.

### 9. Rekapitulacija dimenzija

promjer	1820 mm
duljina	3635 mm
H/D	1,997
H <sub>l</sub>	430 mm
H <sub>h</sub>	380 mm
H <sub>s</sub>	380 mm
HLL	1190 mm
NLL	810 mm
IL	380 mm
priklučci	
ulaz smjese	16"
izlaz plina	16"
izlaz lakše kapljevine	4"
izlaz teže kapljevine	3"

### Primjer 6. Trofazni vodoravni separator sa slivnikom za težu kapljevinu

Taj tip separatora je konvencionalni separator prilagođen odvajanju trofazne smjese s malom količinom teže kapljevine. Kako bi radi male količine teže kapljevine visina međufaznog nivoa a posebice visina minimalnog nivoa bile jako male i održavanje međufaznog nivoa praktično nemoguće, teža se kapljevina sakuplja u slivniku u kojem se regulira i međufazni nivo.

Proračun se temelji na brzini plina u parnom prostoru separatora koja osigurava izdvajanje kapljica kapljevine iz plina i na dovoljnom vremenu zadržavanja lakše kapljevine u separatoru za postizanje željenog odvajanja teže iz lakše kapljevine. Slivnik se posebno dimenzionira kao okomiti separator.

#### Podatci za proračun

Treba načiniti proračun trofaznog separatora za odvajanje plinsko/kapljevinte smjese sljedećih karakteristika:

$$\text{protok plina, } Q_{vG} = 3000 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$$

$$\text{gustoća plina, } \rho_G = 3,5 \text{ kg m}^{-3}$$

viskoznost plina,  $\mu_G = 0,01$  mPa s  
 protok lakše kapljive,  $Q_{mLi} = 20,0$  t h<sup>-1</sup>  
 gustoća lakše kapljive,  $\rho_{Li} = 875$  kg m<sup>-3</sup>  
 viskoznost lakše kapljive,  $\mu_{Li} = 0,24$  mPa s  
 protok teže kapljive,  $Q_{mLh} = 2,0$  t h<sup>-1</sup>  
 gustoća teže kapljive,  $\rho_{Lh} = 995$  kg m<sup>-3</sup>  
 viskoznost teže kapljive,  $\mu_{Lh} = 0,682$  mPa s  
 granični promjer kapljice koja se odvaja iz plina,  
 $D_p = 100$  mm  
 radni tlak separatora,  $p = 2$  bar  
 u separator se ne ugrađuje odvajač kapljica  
 distributor ulazne smjese je deflegmator  
 vrijeme zadržavanja,  $t_h = 5$  min  
 vrijeme poremećaja,  $t_s = 2$  min  
 sigurnosna margina/sigurnosni faktor,  $F_s = 1,15$

### 1. Souders-Brownov K-faktor i granična brzina plina

U separator neće biti ugrađen odvajač kapljica. Souders-Brownov K-faktor računamo korelacijom GPSA za radni tlak  $p = 2,0$  bar:

$$\begin{aligned} K &= (0,109728 - 4,4216 \cdot 10^{-4} p/\text{bar}) \text{ m s}^{-1} \\ &= (0,109728 - 4,4216 \cdot 10^{-4} \cdot 2) \text{ m s}^{-1} \\ &= 0,1088 \text{ m s}^{-1} \end{aligned}$$

Kako se ne ugrađuje odvajač kapljica, preporuka je izračunati K-faktor dijeliti s 2.

$$K = 0,0544 \text{ m s}^{-1}$$

Granična brzina plina iz jedn. 15 (računamo s lakšomkapljevino):

$$u_t = u_d = K \sqrt{\frac{\rho_{Li} - \rho_G}{\rho_G}} = 0,0544 \text{ m s}^{-1} \sqrt{\frac{785 - 3,5}{3,5}} = 0,813 \text{ m s}^{-1}$$

### 2. Brzine odvajanja kapljive iz Stokesove korelacije

Brzina odvajanja kapljica teže kapljive iz lakše kapljive:

$$\begin{aligned} u_{Lh} &= \frac{g}{18} D_p^2 \frac{\rho_{Lh} - \rho_{Li}}{\mu_{Li}} = \frac{9,806}{18} \cdot (100 \cdot 10^{-6})^2 \frac{995 - 785}{0,00024} \text{ m s}^{-1} \\ &= 0,00477 \text{ m s}^{-1} \end{aligned}$$

Brzina je veća od  $0,00425$  m s<sup>-1</sup> pa uzimamo  $u_{Lh} = 0,00425$  m s<sup>-1</sup>.

Brzina odvajanja kapljica lakše kapljive iz teže kapljive:

$$\begin{aligned} u_{Li} &= \frac{g}{18} D_p^2 \frac{\rho_{Lh} - \rho_{Li}}{\mu_{Lh}} = \frac{9,806}{18} \cdot (100 \cdot 10^{-6})^2 \frac{995 - 785}{0,000682} \text{ m s}^{-1} \\ &= 0,00168 \text{ m s}^{-1} \end{aligned}$$

### 3. Volumeni zadržavanja i poremećaja

Lakša kapljive – zadržaj:

$$V_{Li} = t_h \cdot Q_{vLi} = 5 \cdot 60 \text{ s} \cdot 0,00639 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} = 1,917 \text{ m}^3$$

Poremećaj:

$$V_{sLi} = t_s \cdot Q_{vLi} = 2 \cdot 60 \text{ s} \cdot 0,00639 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} = 0,77 \text{ m}^3$$

Teža kapljive – zadržaj:

$$V_{Lh} = t_h \cdot Q_{vLh} = 5 \cdot 60 \text{ s} \cdot 0,000639 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} = 0,192 \text{ m}^3$$

Poremećaj:

$$V_{sLh} = t_s \cdot Q_{vLh} = 2 \cdot 60 \text{ s} \cdot 0,000639 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} = 0,077 \text{ m}^3$$

### 4. Promjer separatora

Uz radni tlak od 2 bar preporučeni omjer  $L/D$  je između 1,5 i 3. Uzimamo  $L/D = 2,0$ .

Promjer separatora:

$$D_i = \left[ \frac{4(V_{Li} + V_{sLi})}{0,6\pi \frac{L}{D}} \right]^{\frac{1}{3}} = \left[ \frac{4(1,917 + 0,77) \text{ m}^3}{0,6\pi \cdot 2,0} \right]^{\frac{1}{3}} = 1,417 \text{ m}$$

$$L = D_i \cdot L/D = 1,417 \text{ m} \cdot 2,0 = 2,834 \text{ m}$$

$$A_t = \frac{\pi D_i^2}{4} = \frac{\pi \cdot (1,417 \text{ m})^2}{4} = 1,587 \text{ m}^2$$

Ne ugrađuje se odvajač kapljica i uzimamo da je visina parnog postora  $H_v = 0,3$  m.

Uz omjer  $H_v/D_i = 0,212$  iz korelacije za površinu i visinu kružnog segmenta:  $A_v = 0,244$  m<sup>2</sup>.

### 5. Visine nivoa LLL, NLL i HLL

Površina presjeka koji zauzima lakša kapljive do LLL:

uzimamo LLL = 0,250 m

$x = 0,25/1,417 = 0,176$ ; iz korelacija u tablici 31:  
 $A_{LLL} = 0,0929$  m<sup>2</sup>.

Površina presjeka koju zauzima lakša kapljive do NLL:

$$\frac{1,917 \text{ m}^3}{2,834 \text{ m}} + 0,188 \text{ m}^2 = 0,664 \text{ m}^2$$

$$x = 0,664/1,587 = 0,418; \text{ NLL} = 0,716 \text{ m.}$$

$$\text{HLL} = D_i - H_v = 1,417 \text{ m} - 0,300 \text{ m} = 1,117 \text{ m.}$$

promjer	1,417 m
duljina	2,834 m
HLL	1,117 m
NLL	0,716 m
LLL	0,250 m

### 6. Vremena zadržavanja, separacije i potrebna duljina separatora

Izdvajanje kapljevine iz plina:

$$u_G = \frac{Q_{vG}}{A_v} = \frac{0,958 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}}{0,244 \text{ m}^2} = 3,933 \text{ m s}^{-1}$$

$$t_{hG} = \frac{L}{u_G} = \frac{2,834 \text{ m}}{3,933 \text{ m s}^{-1}} = 0,721 \text{ s}$$

$$t_{sep} = \frac{H_v}{u_d} = \frac{0,300 \text{ m}}{0,813 \text{ m s}^{-1}} = 0,369 \text{ s}$$

Izdvajanja teže kapljevine iz lakše

Vrijeme zadržavanja lakše kapljevine:

$$\begin{aligned} t_{hLI} &= \frac{(A_{NLL} + A_{LLL}) \cdot L}{Q_{vLI}} \\ &= \frac{(0,676 \text{ m}^2 + 0,188 \text{ m}^2) \cdot 2,834 \text{ m}}{0,00639 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}} \\ &= 383,2 \text{ s} \end{aligned}$$

Vrijeme izdvajanja teže kapljevine iz lakše:

$$t_{sep,Lh} = \frac{HLL}{u_{Lh}} = \frac{1,117 \text{ m}}{0,00425 \text{ m s}^{-1}} = 262,9 \text{ s}$$

### 7. Rekapitulacija

Plin:	
vrijeme zadržavanja	0,721 s
vrijeme izdvajanja kapljica kapljevine	0,369 s
Lakša kapljevine:	
vrijeme zadržavanja	383,2 s
vrijeme izdvajanja teže kapljevine	262,9 s

Vremena zadržavanja su veća od potrebnih vremena odvajanja. Razlika nije jako velika i nema potrebe za korekcijom. U slučaju da je neko od vremena odvajanja veće, trebalo bi povećati duljinu separatora.

### 8. Slivnik

Uz  $L/D = 2$  i  $LLL = 0,15$  m:

$$D_s = \sqrt{\frac{4Q_{vLh}}{\pi \cdot u_{Ll}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,000639 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}}{\pi \cdot 0,00168 \text{ m s}^{-1}}} = 0,696 \text{ m}$$

$$A_s = \frac{D_s^2 \cdot \pi}{4} = \frac{(0,696 \text{ m})^2 \cdot \pi}{4} = 0,380 \text{ m}^2$$

$$L_s = D_s \cdot L/D = 0,696 \text{ m} \cdot 2 = 1,393 \text{ m}$$

$$NLL_s = LLL_s + \frac{V_{hLh}}{A_s} = 0,15 \text{ m} + \frac{0,193 \text{ m}^3}{0,380 \text{ m}^2} = 0,653 \text{ m}$$

$$HLL_s = NLL_s + \frac{V_{sLh}}{A_s} = 0,653 \text{ m} + \frac{0,0767 \text{ m}^3}{0,380 \text{ m}^2} = 0,855 \text{ m}$$

Vrijeme zadržavanja:

$$t_{hLh} = \frac{A_s \cdot NLL_s}{Q_{vLh}} = \frac{0,380 \text{ m}^2 \cdot 0,653 \text{ m}}{0,000634 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}} = 389,4 \text{ s}$$

Vrijeme izdvajanja lakše kapljevine iz teže:

$$t_{sep,LI} = \frac{HLL_s}{u_{LI}} = \frac{0,855 \text{ m}}{0,00168 \text{ m s}^{-1}} = 509,4 \text{ s}$$

Vrijeme potrebno za izdvajanje lakše kapljevine iz teže znatno je veće od vremena zadržavanja teže kapljevine u slivniku. Da skratimo vrijeme izdvajanja, povećamo promjer slivnika.

Povećanjem promjera slivnika na  $D_s = 0,850$  m dobijemo:

promjer	0,850 m
duljina	1,393 m
HLL	0,623 m
NLL	0,488 m
LLL	0,150 m
vrijeme zadržavanja	433,2 s
vrijeme izdvajanja	371,3 s

Vrijeme zadržavanja je veće od vremena razdvajanja kapljevine, što zadovoljava i time je dimenzioniranje dovršeno. Obično se dobivene dimenzije zaokružuju.

### 9. Dimenzije priključaka

Proračun priključaka dao je sljedeće:

Namjena	Nazivni promjer
ulaz pojne smjese	12" Sch 40
izlaz plina	12" Sch 40
izlaz lakše kapljevine	3" Sch 40
izlaz teže kapljevine	2" Sch 40

Za detalje postupka i proračuna vidi primjer 1.

## 10. Pad tlaka

ulaz smjese	822 Pa
izlaz plina	134 Pa

Za detalje postupka i proračuna vidi primjer 1.

## 11. Rekapitulacija dimenzija

Separator	
promjer	1420 mm
duljina	2835 mm
H/D	2,0
HLL	1117 mm
NLL	716 mm
LLL	250 mm
Slivnik	
promjer	850 mm
visina	1000 mm
HLL	623 mm
NLL	488 mm
LLL	150 mm
Priključci	
ulaz smjese	12" Sch 40
izlaz plina	12" Sch 40
izlaz lakše kapljive	3" Sch 40
izlaz teže kapljive	2" Sch 40

Napomena: Promjer i visina separatora i visina slivnika su zaokruženi.

## Primjer 7. Trofazni vodoravni separator s pregradom

Ovaj tip separatora je izmijenjeni konvencionalni separator tako da se normalni nivo kapljive ne održava regulacijom već ga održava pregrada. To ima posljedicu da su volumeni zadržavanja kapljive i poremećaja dio volumena preljeva.

Proračun se temelji na brzini plina u parnom prostoru separatora koja osigurava izdvajanje kapljica kapljive iz plina i na dovoljnom vremenu zadržavanja obje kapljive u separatoru za postizanje željenog odvajanja dviju kapljiva. Kao i u prethodnim primjerima ne računa se s volumenima podnica. Ti su volumeni neka vrsta sigurnosne margine.

## Podatci za proračun

Treba načiniti proračun trofaznog separatora za odvajanje plinsko/kapljive smjese sljedećih karakteristika:

$$\text{protok plina, } Q_{vG} = 3000 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$$

gustoća plina,  $\rho_G = 6,5 \text{ kg m}^{-3}$

viskoznost plina,  $\mu_G = 0,01 \text{ mPa s}$

protok lakše kapljive,  $Q_{vLl} = 10,0 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$

gustoća kapljive,  $\rho_{Ll} = 785 \text{ kg m}^{-3}$

viskoznost lakše kapljive,  $\mu_{Ll} = 0,24 \text{ mPa s}$

protok teže kapljive,  $Q_{vLh} = 20,0 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$

gustoća kapljive,  $\rho_{Lh} = 995 \text{ kg m}^{-3}$

viskoznost teže kapljive,  $\mu_{Lh} = 0,682 \text{ mPa s}$

granični promjer kapljice koja se odvaja iz plina,  $D_p = 100 \mu\text{m}$

radni tlak separatora,  $p = 10 \text{ bar}$

u separator se ne ugrađuje odvajач kapljica

distributor ulazne smjese je deflegmator

vrijeme zadržavanja,  $t_h = 5 \text{ min}$

vrijeme poremećaja,  $t_s = 3 \text{ min}$

sigurnosna margina/sigurnosni faktor,  $F_s = 1,15$

## 1. Souders-Brownov K-faktor i granična brzina plina

U separator će biti ugrađen odvajач kapljica, pa Souders-Brownov K-faktor računamo korelacijama za odvajачe (Koch-Otto York) za radni tlak  $p = 10,0 \text{ bar}$ :

$$\begin{aligned} K &= (0,109727 - 4,4216 \cdot 10^{-4} p/\text{bar}) \text{ ms}^{-1} \\ &= (0,109727 - 4,4216 \cdot 10^{-4} \cdot 10) \text{ ms}^{-1} \\ &= 0,1053 \text{ ms}^{-1} \end{aligned}$$

Kako se ne ugrađuje odvajач kapljica, izračunati K-faktor dijelimo s 2.

$$K = 0,05265 \text{ ms}^{-1}$$

Granična brzina plina iz jedn. 15 (računamo s lakšom kapljinom):

$$u_t = u_d = K \sqrt{\frac{\rho_{Ll} - \rho_G}{\rho_G}} = 0,05265 \text{ m s}^{-1} \sqrt{\frac{785 - 6,5}{6,5}} = 0,576 \text{ m s}^{-1}$$

## 2. Brzine odvajanja kapljive iz Stokesove korelacije

$$\begin{aligned} u_{Lh} &= \frac{g}{18} D_p^2 \frac{\rho_{Lh} - \rho_{Ll}}{\mu_{Ll}} = \frac{9,806}{18} \cdot (100 \cdot 10^{-6})^2 \frac{995 - 785}{0,00024} \text{ m s}^{-1} \\ &= 0,00477 \text{ m s}^{-1} \end{aligned}$$

Brzina je veća od  $0,00245 \text{ m s}^{-1}$  pa uzimamo  $u_{Lh} = 0,00425 \text{ m s}^{-1}$ .

$$\begin{aligned} u_{Ll} &= \frac{g}{18} D_p^2 \frac{\rho_{Lh} - \rho_{Ll}}{\mu_{Lh}} = \frac{9,806}{18} \cdot (100 \cdot 10^{-6})^2 \frac{995 - 785}{0,000682} \text{ m s}^{-1} \\ &= 0,00168 \text{ m s}^{-1} \end{aligned}$$

### 3. Volumeni zadržavanja i poremećaja

Zadržaj:

$$\begin{aligned} V_h &= t_h \cdot (Q_{vLI} + Q_{vLh}) \\ &= 5 \cdot 60 \text{ s} \cdot (0,00319 + 0,00639) \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \\ &= 2,875 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Poremećaj:

$$\begin{aligned} V_s &= t_s \cdot (Q_{vLI} + Q_{vLh}) \\ &= 3 \cdot 60 \text{ s} \cdot (0,00319 + 0,00639) \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \\ &= 1,725 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

### 4. Promjer separatora

Uzimamo da je omjer visine parnog prostora i promjera separatora 0,8.

Uz radni tlak od 10 bar preporučeni omjer  $L/D$  je između 1,5 i 3. Uzimamo  $L/D = 2,5$ .

Promjer separatora:

$$D_i = \left[ \frac{16(V_h + V_s)}{\pi \frac{H_w}{D} \frac{L}{D}} \right]^{1/3} = \left[ \frac{16(2,875 + 1,725) \text{ m}^3}{\pi \cdot 0,8 \cdot 2,5} \right]^{1/3} = 2,271 \text{ m}$$

$$L = D_i \cdot L/D = 2,271 \text{ m} \cdot 2,5 = 5,678 \text{ m}$$

$$A_t = \frac{\pi D_i^2}{4} = \frac{\pi \cdot (2,271 \text{ m})^2}{4} = 4,051 \text{ m}^2$$

$$H_w = 0,8 \cdot 2,271 \text{ m} = 1,817 \text{ m}$$

$$H_v = 0,2 \cdot 2,271 \text{ m} = 0,454 \text{ m}$$

Visina parnog prostora odgovara. Nema odvajanja kapljica, pa je minimalna visina  $H_v = 0,3 \text{ m}$ .

Površina presjeka parnog prostora

$H_v/D_i = 0,454$ . Iz korelacija za odnose površina i visine kružnog odsječka (tablica 30)  $A_v = 0,577 \text{ m}^2$ .

### 5. Komora za lakšu kapljevina

Komora treba imati volumen koji će pokriti traženi volumen zadržavanja i volumen poremećaja a to je volumen između minimalnog i maksimalnog nivoa.

Visina minimalnog nivoa u komori:  $LLL = 250 \text{ mm}$

Visina maksimalnog nivoa u komori:  $HLL = 1500 \text{ mm}$

Uz omjer  $LLL/D_i = 0,250/2,271 = 0,110$  i korelacija za visinu i površinu kružnog odsječka (tablica 30):  $A_{LLL} = 0,242 \text{ m}^2$ .

Uz omjer  $HLL/D_i = 1,5/2,271 = 0,661$ :  $A_{HLL} = 2,839 \text{ m}^2$

$$L_2 = \frac{V_h + V_s}{A_{HLL} - A_{LLL}} = \frac{2,875 \text{ m}^3 + 1,725 \text{ m}^3}{2,839 \text{ m}^2 - 0,242 \text{ m}^2} = 1,771 \text{ m}$$

### 6. Komora za separaciju

Uzimamo da je međufazna razina na polovini visine pregrade:

$$lL = H_w/2 = 1,817/2 = 0,909 \text{ m.}$$

Vrijeme izdvajanja

teža faza iz lakše:

$$t_{\text{sep,Lh}} = \frac{H_{lL}}{u_{Lh}} = \frac{0,909 \text{ m}}{0,00425 \text{ m s}^{-1}} = 213,7 \text{ s}$$

lakša faza iz teže:

$$t_{\text{sep,lL}} = \frac{H_{Lh}}{u_{lL}} = \frac{0,909 \text{ m}}{0,00168 \text{ m s}^{-1}} = 541,5 \text{ s}$$

Uz omjer  $lL/D_i = 0,909/2,271 = 0,400$ :

$$A_{Lh} = 0,373 \cdot 3,924 = 1,464 \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned} A_{lL} &= A_t - A_v - A_{Lh} \\ &= 4,051 \text{ m}^2 - 0,577 \text{ m}^2 - 1,464 \text{ m}^2 \\ &= 2,01 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Potrebna duljina komore

za izdvajanje teže kapljevine iz lakše:

$$L_{lL} = t_{\text{sep,Lh}} \cdot \frac{Q_{vLI}}{A_{lL}} = 213,7 \text{ s} \cdot \frac{0,00319 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}}{2,01 \text{ m}^2} = 0,339 \text{ m}$$

za izdvajanje lakše kapljevine iz teže:

$$L_{lLh} = t_{\text{sep,lL}} \cdot \frac{Q_{vLh}}{A_{Lh}} = 541,5 \text{ s} \cdot \frac{0,00639 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}}{1,464 \text{ m}^2} = 2,364 \text{ m}$$

### 7. Duljina parnog prostora

Brzina plina:

$$u_G = \frac{Q_{vG}}{A_v} = \frac{0,958 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}}{0,577 \text{ m}^2} = 1,661 \text{ m s}^{-1}$$

Vrijeme potrebno za izdvajanje kapljica:

$$t_{\text{sep}} = \frac{H_v}{u_D} = \frac{0,454 \text{ m}}{0,523 \text{ m s}^{-1}} = 0,869 \text{ s}$$

Minimalna duljina parnog prostora:

$$L_{lG} = t_{\text{sep}} \cdot u_G = 0,869 \text{ s} \cdot 1,661 \text{ m s}^{-1} = 1,444 \text{ m}$$

### 8. Rekapitulacija

Uzimamo da je duljina parnog prostora duljina komore za separaciju. Najveća minimalna duljina za odvajanje je 2,286 m (lakša kapljevina iz teže), stoga imamo:

promjer	2,270 m
visina pregrade	1,820 m
duljina separatora ( $L/D$ )	5,680 m
duljina komore za lakšu kapljevina	1,620 m
duljina komore za separaciju	4,060 m
minimalna duljina komore za separaciju (lakša kapljevina iz teže)	2,286 m

Napomena: dimenzije su zaokružene.

Očito je da je zahtijevano vrijeme zadržavanja kapljevina u separatoru kontrolirajući faktor za dimenzioniranje. Ako smanjimo duljinu komore za separaciju, neće biti zadovoljeno traženo vrijeme zadržavanja. Ako smanjimo omjer  $L/D$ , smanjit će se duljina separatora, ali će se povećati promjer. Pri tome će se zbog veće visine slojeva povećati potrebno vrijeme separacije pa time i potrebna duljina komore za separaciju. U svakom slučaju optimalno rješenje se nalazi promjenom omjera  $L/D$  koji će dati najpovoljniju cijenu (masu) separatora.

### 9. Dimenzije priključaka

Proračun priključaka dao je sljedeće:

Namjena	Nazivni promjer
ulaz pojne smjese	14" Sch 40
izlaz plina	14" Sch 40
izlaz lakše kapljevine	2" Sch 40
izlaz teže kapljevine	3" Sch 40

Za detalje postupka i proračuna vidi primjer 1.

### 10. Pad tlaka

Ulaz smjese	969 Pa
Izlaz plina	174 Pa

Za detalje postupka i proračuna vidi primjer 1.

### Primjer 8. Trofazni vodoravni separator s pregradom i komorom za lakšu kapljevina

Taj tip separatora je inačica separatora s pregradom prilagođen odvajanju trofazne smjese s malom količinom lakše kapljevine. Kako bi zbog male količine lakše kapljevine visinu međufaznog nivoa bilo teško regulirati, ugrađuje se komora za lakšu kapljevina. To unosi dodatne kriterije pri dimenzioniranju o kojima će biti govora u nastavku.

Proračun se temelji na brzini plina u parnom prostoru separatora koja osigurava izdvajanje kapljica kapljevine iz plina i dovoljnom vremenu zadržavanja lakše kapljevine u separatoru za postizanje željenog odvajanja teže iz lakše kapljevine. Slivnik se posebno dimenzionira kao okomiti separator.

### Podatci za proračun

Treba načiniti proračun trofaznog separatora za odvajanje plinsko/kapljevite smjese sljedećih karakteristika:

- protok plina,  $Q_{mG} = 2500 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$
- gustoća plina,  $\rho_G = 3,5 \text{ kg m}^{-3}$
- viskoznost plina,  $\mu_G = 0,01 \text{ mPa s}$
- protok lakše kapljevine,  $Q_{vLi} = 1,0 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$
- gustoća lakše kapljevine,  $\rho_{Li} = 875 \text{ kg m}^{-3}$
- viskoznost lakše kapljevine,  $\mu_{Li} = 0,24 \text{ mPa s}$
- protok teže kapljevine,  $Q_{vLh} = 20,0 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$
- gustoća teže kapljevine,  $\rho_{Lh} = 995 \text{ kg m}^{-3}$
- viskoznost teže kapljevine,  $\mu_{Lh} = 0,682 \text{ mPa s}$
- granični promjer kapljice koja se odvaja iz plina,  $D_p = 100 \text{ mm}$
- radni tlak separatora,  $p = 2 \text{ bar}$
- u separator se ugrađuje odvajač kapljica
- distributor ulazne smjese je deflegmator
- vrijeme zadržavanja,  $t_h = 15 \text{ min}$
- vrijeme poremećaja,  $t_s = 15 \text{ min}$
- sigurnosna margina/sigurnosni faktor,  $F_s = 1,15$

### 1. Souders-Brownov K-faktor i granična brzina plina

U separator neće biti ugrađen odvajač kapljica. Souders-Brownov K-faktor računamo korelacijom GPSA za radni tlak  $p = 2,0 \text{ bar}$ :

$$\begin{aligned} K &= (0,109727 - 4,4216 \cdot 10^{-4} p/\text{bar}) \text{ ms}^{-1} \\ &= (0,109727 - 4,4216 \cdot 10^{-4} \cdot 2) \text{ ms}^{-1} \\ &= 0,1088 \text{ ms}^{-1} \end{aligned}$$

Kako se ne ugrađuje odvajač kapljica, izračunati K-faktor dijelimo s 2.

$$K = 0,0544 \text{ ms}^{-1}$$

Granična brzina plina iz jedn. 15 (računamo s lakšom kapljevina):

$$\begin{aligned} u_t = u_d &= K \sqrt{\frac{\rho_{Li} - \rho_G}{\rho_G}} \\ &= 0,0544 \text{ m s}^{-1} \sqrt{\frac{785 - 3,5}{3,5}} = 0,813 \text{ m s}^{-1} \end{aligned}$$

## 2. Brzine odvajanja kapljevina (Stokesova korelacija)

$$u_{Lh} = \frac{g \cdot D_p^2 \cdot \rho_{Lh} - \rho_{Ll}}{18 \cdot \mu_{Ll}} = \frac{9,806}{18} \cdot (100 \cdot 10^{-6})^2 \frac{995 - 785}{0,00024} \text{ m s}^{-1}$$

$$= 0,00477 \text{ m s}^{-1}$$

Brzina je veća od preporučene maksimalne i uzimamo  $u_{Lh} = 0,00425 \text{ m s}^{-1}$

$$u_{Ll} = \frac{g \cdot D_p^2 \cdot \rho_{Lh} - \rho_{Ll}}{18 \cdot \mu_{Lh}} = \frac{9,806}{18} \cdot (100 \cdot 10^{-6})^2 \frac{995 - 785}{0,000682} \text{ m s}^{-1}$$

$$= 0,00168 \text{ m s}^{-1}$$

## 3. Vrijeme zadržavanja lakše i teže kapljevine

Za sabirnu posudu kiselih voda u rafinerijama preporučuje se vrijeme zadržavanja od 60 min. U kemijskoj procesnoj industriji obično se uzima 10–15 min. Za sabirne posude regeneratore otopine amina vrijeme zadržavanja je obično 10–15 min.

Uzimamo:  $t_{hLl} = 15 \text{ min}$ ;  $t_{hLh} = 15 \text{ min}$ .

## 4. Promjer i površina presjeka separatora

Uz radni tlak  $p = 2 \text{ bar}$  uzimamo omjer  $L/D = 2,0$ .

Promjer separatora:

$$D_i = \left[ \frac{4(Q_{vLl} \cdot t_{hLl} + Q_{vLh} \cdot t_{hLh})}{0,7 \cdot \pi \cdot \frac{L}{D}} \right]^{1/3}$$

$$= \left[ \frac{4(0,000319 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \cdot 15 \cdot 60 \text{ s} + 0,00639 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \cdot 15 \cdot 60 \text{ s})}{0,7 \cdot \pi \cdot 2} \right]^{1/3}$$

$$= 1,764 \text{ m}$$

Površina presjeka:

$$A_t = \frac{\pi D_i^2}{4} = \frac{\pi \cdot (1,764 \text{ m})^2}{4} = 2,444 \text{ m}^2$$

## 5. Visina i površina presjeka parnog prostora

$$H_v = 0,2 \cdot D_i = 0,2 \cdot 1,764 \text{ m} = 0,353 \text{ m}$$

Separator je bez odvajачa kapljica i minimalna preporučena visina je  $H_{v,\min} = 0,3 \text{ m}$ .

$H_v = 0,353 \text{ m}$  zadovoljava.

$$x = H_v/D_i = 0,2$$

Iz korelacije za odnose visine i površine kružnog odsjeka (tablica 30)  $A_v = 0,348 \text{ m}^2$ .

## 6. Duljina sekcije za separaciju, $L_1$

$$L_1 = \frac{Q_{vLl} \cdot t_{hLl} + Q_{vLh} \cdot t_{hLh}}{A_t - A_v}$$

$$= \frac{0,000319 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \cdot 15 \cdot 60 \text{ s} + 0,00639 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \cdot 15 \cdot 60 \text{ s}}{2,444 \text{ m}^2 - 0,348 \text{ m}^2}$$

$$= 2,880 \text{ m}$$

## 7. Minimalna potrebna duljina sekcije za separaciju

Visina pregrade komore lakše kapljevine:

$$H_{w1} = D_i - H_v = 1,764 \text{ m} - 0,353 \text{ m} = 1,411 \text{ m}$$

Uzimamo da je visina slobodnog prostora ispod komore 0,25 m.

Visina komore:

$$H_{L\text{komora}} = 1,411 \text{ m} - 0,250 \text{ m} = 1,161 \text{ m}$$

Uzmemo da je visina sloja lakše kapljevine  $H_{SLl} = 0,5 \text{ m}$ .

Kontroliramo daje li ta visina sloja prihvatljivu razliku visina pregrada lakše i teže kapljevine.

$$\Delta H_w = H_{SLl} \cdot \left( 1 - \frac{\rho_{Ll}}{\rho_{Lh}} \right) = 0,5 \text{ m} \cdot \left( 1 - \frac{785}{995} \right) = 0,106 \text{ m}$$

Razlika od 106 mm zadovoljava.

Visina sloja lakše kapljevine:  $H_{SLl} = 0,5 \text{ m}$ ;

visina sloja teže kapljevine:

$$H_{SLh} = D_i - H_v - H_{SLl}$$

$$= 1,764 \text{ m} - 0,353 \text{ m} - 0,5 \text{ m}$$

$$= 0,911 \text{ m}$$

Uz  $H_{SLh}/D_i = 0,5165$  površina presjeka sloja teže kapljevine:  $A_{Lh} = 1,273 \text{ m}^2$ .

Površina sloja presjeka lakše kapljevine:

$$A_{Ll} = A_t - A_v - A_{Lh}$$

$$= 2,444 \text{ m}^2 - 0,348 \text{ m}^2 - 1,273 \text{ m}^2$$

$$= 0,823 \text{ m}^2$$

Minimalna duljina sekcije za izdvajanje kapljica kapljevine iz plina:

$$u_G = \frac{Q_{vG}}{A_v} = \frac{0,799 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}}{0,348 \text{ m}^2} = 2,296 \text{ m s}^{-1}$$

$$t_{\text{sep}} = \frac{H_v}{u_d} = \frac{0,353 \text{ m}}{0,813 \text{ m s}^{-1}} = 0,434 \text{ s}$$

$$L_{\min,G} = t_{\text{sep}} \cdot u_G = 0,434 \text{ s} \cdot 2,296 \text{ m s}^{-1} = 0,996 \text{ m}$$

Minimalna duljina sekcije za izdvajanje teže kapljevine iz lakše:

$$u_{Ll} = \frac{Q_{vLl}}{A_{Ll}} = \frac{0,000319 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}}{0,823 \text{ m}^2} = 0,000388 \text{ m s}^{-1}$$

$$t_{\text{sep,Lh}} = \frac{H_{sLh}}{u_{Lh}} = \frac{0,5 \text{ m}}{0,00425 \text{ m s}^{-1}} = 117,6 \text{ s}$$

$$L_{\text{min,Ll}} = t_{\text{sep,Ll}} \cdot u_{Ll} = 117,6 \text{ s} \cdot 0,000388 \text{ m s}^{-1} = 0,0456 \text{ m}$$

Minimalna duljina sekcije za izdvajanje lakše kapljevine iz teže:

$$u_{Lh} = \frac{Q_{vLh}}{A_{Lh}} = \frac{0,00639 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}}{1,273 \text{ m}^2} = 0,00502 \text{ m s}^{-1}$$

$$t_{\text{sep,Lh}} = \frac{H_{sLl}}{u_{Ll}} = \frac{0,911 \text{ m}}{0,00502 \text{ m s}^{-1}} = 181,5 \text{ s}$$

$$L_{\text{min,Lh}} = t_{\text{sep,Lh}} \cdot u_{Lh} = 181,5 \text{ s} \cdot 0,00502 \text{ m s}^{-1} = 0,911 \text{ m}$$

## 8. Rekapitulacija

Duljina sekcije $L_1$	2,880 m
Minimalna duljina za izdvajanje kapljica iz plina	0,996 m
Minimalna duljina za izdvajanje teže kapljevine iz lakše	0,046 m
Minimalna duljina za izdvajanje lakše kapljevine iz teže	0,991 m

## 9. Komora za lakšu kapljevinu

Visina vrha komore

$$H_{kt} = D_i - H_v = 1,764 \text{ m} - 0,353 \text{ m} = 1,411 \text{ m}$$

Visina dna komore

$$H_{kb} = 0,125 \cdot D_i = 0,125 \cdot 1,764 \text{ m} = 0,221 \text{ m}$$

Visina komore:

$$H_k = H_{kt} - H_{kb} = 1,411 \text{ m} - 0,221 \text{ m} = 1,191 \text{ m}$$

Uzimamo da je HLL u komori 80 % visine komore.

$$\begin{aligned} HLL &= 0,8 \cdot H_k + H_{kb} \\ &= 0,8 \cdot 1,191 \text{ m} + 0,221 \text{ m} \\ &= 1,173 \text{ m} \end{aligned}$$

LLL u komori je 0,150 m iznad dna komore:

$$LLL = H_{kb} + 0,15 \text{ m} = 0,221 \text{ m} + 0,15 \text{ m} = 0,371 \text{ m}$$

Površina presjeka komore pod između LLL i HLL:

$$x = HLL/D_i = 0,665; y = 0,706; A_{HLL} = 1,726 \text{ m}^2$$

$$x = LLL/D_i = 0,210; y = 0,152; A_{LLL} = 0,373 \text{ m}^2$$

Širina komore:

$$\begin{aligned} L_2 &= \frac{(t_h + t_s) \cdot Q_{vLl}}{(A_{HLL} - A_{LLL})} \\ &= \frac{(10 + 5) \cdot 60 \text{ s} \cdot 0,000319 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}}{(1,726 \text{ m}^2 - 0,373 \text{ m}^2)} \\ &= 0,212 \text{ m} \end{aligned}$$

Uzimamo da je  $L_2 = 0,3 \text{ m}$

Duljina  $L_3$

Uzimamo da je razmak između komore za lakšu kapljevinu i pregrade preljeva  $L_3 = 0,3 \text{ m}$ .

## 10. Preljev za težu kapljevinu

Visina pregrade:

$$H_{wp} = H_{wk} - \Delta H_w = 1,191 - 0,106 = 1,085 \text{ m}$$

Visine HLL i LLL u preljevu:

$$HLL = H_{wp} - 0,15 = 1,008 - 0,150 = 0,938 \text{ m}$$

$$LLL = 0,150 \text{ m}$$

Površina presjeka preljeva pod između LLL i HLL:

$$x = HLL/D_i = 0,531; A_{HLL} = 1,321 \text{ m}^2$$

$$x = LLL/D_i = 0,0848; A_{LLL} = 0,100 \text{ m}^2$$

Širina komore:

$$\begin{aligned} L_4 &= \frac{(t_h + t_s) \cdot Q_{vLh}}{A_{HLL} - A_{LLL}} \\ &= \frac{(10 + 5) \cdot 60 \text{ s} \cdot 0,00639 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}}{1,316 \text{ m}^2 - 0,100 \text{ m}^2} \\ &= 4,728 \text{ m} \end{aligned}$$

## 11. Duljina separatora

$$\begin{aligned} L &= L_1 + L_2 + L_3 + L_4 \\ &= 2,885 \text{ m} + 0,3 \text{ m} + 0,3 \text{ m} + 4,728 \text{ m} \\ &= 8,208 \text{ m} \end{aligned}$$

## 12. Rekapitulacija

Promjer	1,764 m
Duljina	8,208 m
Duljina sekcije separacije	2,885 m
Visina pregrade komore za lakšu kapljevina	1,414 m
Visina komore za lakšu kapljevina	1,193 m
Širina komore za lakšu kapljevina	0,3 m
Razmak između komore za lakšu kapljevina i pregrade preljeva	0,3 m
Visina pregrade preljeva	1,088 m
Širina preljeva	4,821 m
L/D	4,653

To je relativno velik L/D. Pokušaj s promjerom  $D_i = 2,25$  m dao je:

Promjer	2,250 m
Duljina	5,003 m
Duljina sekcije separacije	1,771 m
Visina pregrade komore za lakšu kapljevina	1,800 m
Visina komore za lakšu kapljevina	1,519 m
Širina komore za lakšu kapljevina	0,3 m
Razmak između komore za lakšu kapljevina i pregrade preljeva	0,3 m

Visina pregrade preljeva	1,413 m
Širina preljeva	2,632 m
L/D	2,224

To je prihvatljiv rezultat.

## 13. Dimenzije priključaka

Postupak proračuna prikazan je prethodnim primjerima, pa se neće detaljno prikazivati.

Namjena	Nazivni promjer
ulaz pojne smjese	12" Sch 10
izlaz plina	12" Sch 10
izlaz lakše kapljevine	1" Sch 10
izlaz teže kapljevine	3" Sch 10

Za detalje postupka i proračuna vidi primjer 1.

## 14. Pad tlaka

Ulaz smjese	714 Pa
Izlaz plina	93 Pa

Za detalje postupka i proračuna vidi primjer 1.

## Popis kratica i simbola

### List of abbreviations and symbols

$A_{HLL}$	– površina presjeka koji zauzima kapljevina do visokog nivoa, $m^2$ – liquid cross-section area at high level, $m^2$	$H_s$	– visina volumena poremećaja, m – surge volume height, m
$A_{LLL}$	– površina presjeka koji zauzima kapljevina do niskog nivoa, $m^2$ – liquid cross-section area at low level, $m^2$	$H_v$	– visina parnog prostora (vodoravni separator), m – vapour space height (horizontal separator), m
$A_{Lh}$	– površina presjeka volumena zadržaja teže kapljevine, $m^2$ – hold up volume cross-section area of heavy liquid, $m^2$	$H_w$	– visina pregrade, m – weir height, m
$A_{Li}$	– površina presjeka volumena zadržaja lakše kapljevine, $m^2$ – hold up volume cross-section area of light liquid, $m^2$	HLL	– visoki nivo kapljevine, m – high liquid level, m
$A_s$	– površina presjeka slivnika, $m^2$ – cross-section area of boot, $m^2$	HLL <sub>s</sub>	– visoki nivo kapljevine u slivniku, m – high liquid level, m
$A_s$	– površina presjeka volumena poremećaja kod vodoravnog separatora, $m^2$ – surge volume cross-section area in horizontal separator, $m^2$	K	– Souders-Brownov faktor, K-faktor, $m s^{-1}$ – Souders-Brown factor, K-factor, $m s^{-1}$
$A_t$	– površina presjeka separatora, $m^2$ – separator cross-section area, $m^2$	IL	– međufazni nivo – interface level
$A_v$	– površina presjeka parnog prostora kod vodoravnog separatora, $m^2$ – vapour space cross-section area in horizontal separator, $m^2$	L	– duljina, m – length, m
D	– promjer, m – diameter, m	$L_{min}$	– minimalna duljina vodoravnog separatora, m – minimum horizontal separator length, m
$D_i$	– unutarnji promjer separatora, m, mm – separator inner diameter, m, mm	$L_s$	– duljina slivnika, m – boot length, m
$D_p$	– promjer kapi, mm – drop diameter, mm	LLL	– niski nivo kapljevine, m – low liquid level, m
$D_s$	– unutarnji promjer slivnika, m – boot inner diameter, m	NLL	– normalni nivo kapljevine, m – normal liquid level, m
$F_s$	– sigurnosni faktor – safety factor	NLL <sub>s</sub>	– normalni nivo kapljevine u slivniku, m – normal liquid level, m
g	– gravitacijsko ubrzanje, $g = 9,806 m s^{-2}$ – gravitational acceleration	p	– tlak, bar – pressure, bar
H	– visina, m – height, m	$Q_{mLh}$	– maseni protok teže kapljevine, $kg h^{-1}$ – heavy liquid mass flux, $kg h^{-1}$
$H_h$	– visina volumena zadržavanja, m – hold up volume height, m	$Q_{mLi}$	– maseni protok lakše kapljevine, $kg h^{-1}$ – light liquid mass flow, $kg h^{-1}$
$H_k$	– visina komore, m – bucket height, m	$Q_{vG}$	– volumni protok plina, $m^3 h^{-1}$ , $m^3 s^{-1}$ – gas volume flux, $m^3 h^{-1}$ , $m^3 s^{-1}$
$H_{kb}$	– visina dna komore, m – bucket bottom height, m	$Q_{vLh}$	– volumni protok teže kapljevine, $m^3 h^{-1}$ , $m^3 s^{-1}$ – heavy liquid volume flux, $m^3 h^{-1}$ , $m^3 s^{-1}$
$H_{kt}$	– visina vrha komore, m – bucket height, m	$Q_{vLi}$	– volumni protok lakše kapljevine, $m^3 h^{-1}$ , $m^3 s^{-1}$ – light liquid volume flux, $m^3 h^{-1}$ , $m^3 s^{-1}$
$H_l$	– visina od međufaznog nivoa do osi priključka za odvod lakše kapljevine, m – height from interface level to light liquid outlet nozzle centre line, m	$t_h$	– vrijeme zadržavanja kapljevine u separatoru, min, s – hold up time, min, s
$H_{Lh}$	– visina sloja teže kapljevine, m – height of heavy liquid layer, m	$t_{hLh}$	– vrijeme zadržavanja teže kapljevine u separatoru, s – heavy liquid holdup time, s
$H_{Li}$	– visina sloja lakše kapljevine, m – height of light liquid layer, m	$t_{hLi}$	– vrijeme zadržavanja lakše kapljevine u separatoru, s – light liquid holdup time, s
		$t_s$	– vrijeme poremećaja protoka, min, s – feed surge time, min, s
		$t_{sep}$	– vrijeme odvajanja kapljevite faze, s – liquid phase separation time, s
		$t_{sep,Lh}$	– vrijeme potrebno za izdvajanje kapljica teže kapljevine iz lakše, s – heavy liquid dropout time, s
		$t_{sep,LI}$	– vrijeme potrebno za izdvajanje kapljica lakše kapljevine iz teže, s – light liquid dropout time, s
		$u_d$	– projektna brzina plina kroz odvajач kapljica, $m s^{-1}$ – gas velocity through mist eliminator, $m s^{-1}$

- $u_G$  – brzina plina,  $\text{m s}^{-1}$   
– gas velocity,  $\text{m s}^{-1}$
- $u_{Lh}$  – brzina izdvajanja kapljica teže kapljevine iz lakše,  $\text{m s}^{-1}$   
– heavy liquid dropout velocity,  $\text{m s}^{-1}$
- $u_{Li}$  – brzina izdvajanja kapljica lakše kapljevine iz teže,  $\text{m s}^{-1}$   
– light liquid dropout velocity,  $\text{m s}^{-1}$
- $u_t$  – granična brzina kontinuirane faze,  $\text{m s}^{-1}$   
– terminal velocity of continuous phase,  $\text{m s}^{-1}$
- $V_h$  – volumen zadržavanja kapljevine,  $\text{m}^3$   
– liquid hold up volume,  $\text{m}^3$
- $V_{Lh}$  – volumen zadržavanja teže kapljevine,  $\text{m}^3$   
– heavy liquid hold up volume,  $\text{m}^3$
- $V_{Li}$  – volumen zadržavanja lakše kapljevine,  $\text{m}^3$   
– light liquid hold up volume,  $\text{m}^3$
- $V_s$  – volumen poremećaja,  $\text{m}^3$   
– surge volume,  $\text{m}^3$
- $\mu_G$  – viskoznost plina,  $\text{mPas}$   
– gas viscosity,  $\text{mPas}$
- $\mu_{Lh}$  – viskoznost teže kapljevine,  $\text{mPas}$   
– heavy liquid viscosity,  $\text{mPas}$
- $\mu_{Li}$  – viskoznost lakše kapljevine,  $\text{mPas}$   
– light liquid viscosity,  $\text{mPas}$
- $\rho_G$  – gustoća plina,  $\text{kg m}^{-3}$   
– gas density,  $\text{kg m}^{-3}$
- $\rho_L$  – gustoća kapljevine,  $\text{kg m}^{-3}$   
– liquid density,  $\text{kg m}^{-3}$
- $\rho_{Lh}$  – gustoća teže kapljevine,  $\text{kg m}^{-3}$   
– heavy liquid density,  $\text{kg m}^{-3}$
- $\rho_{Li}$  – gustoća lakše kapljevine,  $\text{kg m}^{-3}$   
– light liquid density,  $\text{kg m}^{-3}$

## Literatura References

1. D. W. Green, R. H. Perry (ur.), Perry's Chemical Engineers' Handbook 8. izd., McGraw-Hill, New York, 2008.
2. API Standard 521 Pressure-Relieving and Depressuring Systems.
3. W. L. McCabe, J. C. Smith, Unit Operations of Chemical Engineering, 3. izd., McGraw-Hill, New York, 1976.
4. F. H. Wu, Drum separator design. A new approach, Chem. Eng. **91** (7) (1984) 74.
5. A. H. Selker, C. A. Sleicher, Factors affecting which phase will disperse when immiscible liquids are stirred together, Can. J. Chem. Eng. **43** (1965) 298, doi: <http://dx.doi.org/10.1002/cjce.5450430606>.
6. Gas/liquid separators – Type selection and design rules, Shell GSI, 2007.
7. S. Rahimi, Three phase separators – Inlet devices, URL: <http://chemwork.org/PDF/board/Three%20phase%20Separator%20-%20Inlet%20Devices.pdf>.
8. S. A. Ziebold, Demystifying mist eliminator selection, Chem. Eng. **107** (5) (2000) 94.
9. M. Bothamley, Gas/Liquids Separators – Part 2, Quantifying Separation Performance, Oil and Gas Facilities **2** (5) (2013) 35.
10. C. L. Carpenter, D. F. Othmer, Entrainment removal by a wire-mesh separator, AIChE J. **1** (4) (1955) 549, doi: <http://dx.doi.org/10.1002/aic.690010428>.
11. J. P. Monat, K. J. McNulty, I. S. Michelson, O. V. Hansen, Accurate evaluation of chevron mist eliminators, Chem. Eng. Progr. **82** (1986) 32.
12. API specification 12]. Specification for Oil and Gas Separators.
13. GPSA Engineering Data Book, 10. izd. 1987, Vol. 1, Chapter 7: Separators. Gas Processors and Suppliers Association, Tulsa.
14. Process design of gas(vapour)-liquid separators (Project standard and specifications), Rev. 01, KLM Technology Group, Johor Bahru, 2011.
15. F. Boukadi, V. Singh, R. Trabelsi, F. Sebring, D. Allen, V. Pai, Appropriate separator sizing: A modified Stewart and Arnold method, Model. Simulat. Eng. **2012** (2012) Article ID 721814, doi: <http://dx.doi.org/10.1155/2012/721814>.
16. NORSOK Standard P-100, Process systems, Rev 2, Norwegian Technology Centre, Oslo, 2001.
17. P. Fabian, R. Cusack, P. Hennessey, N. Neuman, Demystifying the selection of mist eliminators. Part 1, Chem. Eng. **100** (11) (1993) 148–156.
18. W. D. Monnery, W. Y. Svrcek, Successfully specify three-phase separators, Chem. Eng. Prog. **90** (9) (1994) 29–40.
19. W. Y. Svrcek, W. D. Monnery, Design two-phase separators within the right limits, Chem. Eng. Prog. **80** (1993) 53.
20. S. Rahimi, Three phase separators – Gas internals, URL: <http://www.chemwork.org/PDF/board/Three%20phase%20Separator%20-%20Gas%20Internals.pdf>.
21. S. Rahimi, Three phase separators – Times definition, URL: <http://www.chemwork.org/PDF/board/Three%20Phase%20Separators%20-%20Times%20Definition.pdf>.
22. R. N. Watkins, Sizing separators and accumulators, Hydrocarbon Process. **46** (11) (1967) 253–256.
23. A. Gerunda, How to Size Liquid-Vapor Separators, Chem. Eng. **88** (9) (1981) 81–84.
24. H. Sarma, How to Size Gas Scrubber, Hydrocarbon Process. **69** (1981) 251–255.
25. P. G. Talavera, Selecting Gas/Liquid Separators, Hydrocarbon Process. **69** (6) (1990) 81–84.

## SUMMARY

### Gravity Vapour/Liquid Separators. Part IV.

*Eduard Beer*

Procedures and calculation examples for horizontal three-phase gravity separators.

#### **Keywords**

*Gravity separator, gas/liquid/liquid separator, design procedures*

*Aleja Blaža Jurišića 9  
10 000 Zagreb*

Professional paper  
*Received January 5, 2015  
Accepted December 7, 2015*