

# Gravitacijski separatori plin/kapljevina. Dio II.

DOI: 10.15255/KUI.2015.003  
KUI-18/2016  
Stručni rad  
Prispjelo 5. siječnja 2015.  
Prihvaćeno 7. prosinca 2015.

E. Beer\*

Aleja Blaža Jurišića 9, 10 000 Zagreb

## || Sažetak

Dimenzioniranje gravitacijskih separatora plin/kapljevina temeljeno je na zakonitostima dvofaznog strujanja, ali i na iskustvenim podacima. Ti se iskustveni podatci u najvećem dijelu razlikuju od autora do autora, i projektant će se često naći u dilemi koji od podataka treba primijeniti.

U ovom dijelu teksta o separatorima dan je pregled iskustvenih podataka i preporuka kako ih primjenjivati za uspješno dimenzioniranje.

## || Ključne riječi

Gravitacijski separatori, separatori para/kapljevina, separatori para/kapljevina/kapljevina, raspodjelnici pojenja, odvajачi kapljica

## Dimenzioniranje

Karakteristično je za separatore, i VL i VLL, da se velik dio dimenzioniranja temelji na iskustvenim podacima. Ti su podatci ili standardi (*API*<sup>12</sup>, *GPSA*<sup>13</sup>) ili dio postupaka projektnih organizacija (*Shell*<sup>6</sup>, *KLM*<sup>14</sup>). Poseban dio su podatci proizvođača odvajачa kapljica, *K*-faktori, koji se mogu naći u brošurama proizvođača (npr. Koch-York).

## Temeljni podatci

Radni uvjeti:

- Protoci plina, kapljevine (posebno lakše, a posebno teže ako se radi o dvije nemješljive kapljevine u trofaznoj smjesi), radni tlak, radna temperatura;
- Svojstva plina i kapljevine/kapljevina na radnim uvjetima: gustoća, viskoznost;
- Očekuju li se poremećaji u protoku (posebno kapljevite faze) i koje su veličine. Ovdje treba napomenuti problem kod pridobivanja nafte i plina. Najčešće se radi o trofaznoj smjesi plin/nafta/voda čija se svojstva s vremenom mijenjaju. Omjer nafte i vode se s vremenom eksploatacije mijenja, pa time i uvjeti separacije u separatoru. Kako je radni vijek separatora u pravilu dugačak, nakon nekog vremena promjene su tako velike da separator postaje neprikladan za separaciju smjese pod novim radnim uvjetima. Prijedlog za rješenje tog problema dali su *Boukadi i sur.*<sup>15</sup>
- Djelotvornost odvajanja pojedinih komponenti u smjesi;
- Projektni sigurnosni faktor. Taj se faktor za rafinerije i kemijsku procesnu industriju kreće između 1,15 i 1,25.

Za pridobivanje nafte i plina nešto je veći, između 1,2 i 1,5;

- Stanje smjese s obzirom na nečistoće: voskovi, asfalteni, pijesak.

## Osnove za dimenzioniranje – kriteriji

Separator treba biti dovoljno velik da se smjesa može separirati i uz najnepovoljnije uvjete. Jedan kriterij je maksimalni faktor opterećenja plinom:

$$Q_{vG}^* = Q_{vG,max} \sqrt{\frac{\rho_G}{\rho_L - \rho_G}} \quad (27)$$

U slučaju da se radi o trofaznoj smjesi s dvije nemješljive kapljevine, ako je volumni protok lakše kapljevine najmanje 5 % od ukupnog protoka, treba računati s gustoćom lakše kapljevne.

$Q_{vG,max}$  je najveći mogući protok plina koji uključuje i margine za poremećaje, nesigurnost u podacima i sl.

Drugi kriterij je *K*-faktor, Souders-Brownov faktor ili Souders-Brownova brzina:

$$K = \frac{Q_{vG}}{A_G} \sqrt{\frac{\rho_G}{\rho_L - \rho_G}} = u \sqrt{\frac{\rho_G}{\rho_L - \rho_G}} \quad (28)$$

To je brzina plina u separatoru korigirana odnosom gustoća plina i kapljevne koja odražava ovisnost o radnom tlaku.

Za okomiti separator  $A_G$  je površina presjeka posude. Ako je u separator ugrađen odvajач kapljica, to je površina presjeka odvajачa kapljica.

U vodoravnom separatoru to je površina presjeka parnog prostora iznad najvišeg nivoa kapljevne (HLL).

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

Često se primjenjuje kao kriterij i parametar protoka:

$$\phi = \frac{Q_{vL}}{Q_{vG}} \sqrt{\frac{\rho_L}{\rho_G}} \quad (29)$$

Parametar protoka primjenjuje se za karakterizaciju dvofazne smjese pojenja.

### Souders-Brownov K-faktor

U dijelu teksta o teorijskoj podlozi dane su korelacije za K-faktor. Međutim tako izračunate vrijednosti vrijede za proračun separatora bez odvajanja kapljica. K-faktori za separatore s odvajanjem kapljica su iskustveni podatci dobiveni eksperimentalno i u pravilu podatci proizvođača. Ipak, u literaturi se mogu naći K-vrijednosti koje su autori članka sakupili praksom. Takvi podatci se čak mogu naći i u standardima koji se odnose na separatore, posebno separatore plina/nafta/vode na naftnim poljima. U nastavku je dan izbor takvih podataka za K-vrijednosti.

Za okomite posude s vodoravno postavljenim odvajanjem kapljica od žičane mrežice GPSA Engineering Data Book<sup>13</sup> preporučuje K-faktore navedene u tablici 10.

NORSOK<sup>16</sup> preporučuje vrijednosti za K-faktor za separatore s demisterom navedene u tablici 11.

Tablica 9 – Podatci GPSA za K-faktor za separatore s odvajanjem kapljica<sup>13</sup>

Table 9 – GPSA data for K-factors for separators equipped with demisters<sup>13</sup>

Tip separatora Separator type	K/ms <sup>-1</sup>
vodoravni horizontal	0,12–0,15
okomiti vertical	0,055–0,11
sferni spherical	0,061–0,11
zasićena vodena para saturated steam	0,076
pare pod vakuumom vapours under vacuum	0,061
isparivači evaporators	0,45
korekcija na tlak, odstupanje od projektne vrijednosti / % pressure correction, deviation of design value / %	
atmosferski atmospheric	100
10 bar	90
20 bar	85
40 bar	80
80 bar	75

Tablica 10 – K-vrijednosti GPSA za vodoravne odvajanje kapljica<sup>13</sup>  
Table 10 – GPSA K-factors for horizontal mist eliminators<sup>13</sup>

p / bar	K / ms <sup>-1</sup>
0	0,107
7	0,107
21	0,102
42	0,092
63	0,083
105	0,065

K = 0,107 ms<sup>-1</sup> pri 7 bara. Oduzeti 0,003 ms<sup>-1</sup> za svakih 7 bara iznad 7 bara.

Za otopine amina i glikola pomnožiti gornje vrijednosti s 0,6–0,8. Pri dimenzioniranju separatora bez odvajanja kapljica uzeti polovinu gore navedenih vrijednosti. Za skrubere na usisu kompresora i separatore na ulazu u ekspandere pomnožiti gornje vrijednosti K s 0,7–0,8.

K = 0,107 ms<sup>-1</sup> at 7 bar. Decrease by 0.003 ms<sup>-1</sup> per every 7 bar above pressure of 7 bar.

For glycol and amine solutions multiply K by 0.6–0.8. For sizing vertical separators without demisters use a half of above K. For compressor suction scrubbers and expander inlet separators multiply K by 0.7–0.8.

Tablica 11 – K-faktor za separatore s demisterom<sup>16</sup>

Table 11 – K-factor for separators with demister<sup>16</sup>

	$\rho u_G^2 / \text{kg m}^{-1} \text{s}^{-2}$	K / ms <sup>-1</sup>
okomito strujanje plina vertical gas flow	20–30	0,12–0,15
vodoravno strujanje plina horizontal gas flow	30–45	0,20–0,25

Za vodoravne separatore dulje od 3 m vrijedi:

$$u_G = K \sqrt{\frac{\rho_L - \rho_G}{\rho_G}} \cdot \left(\frac{L}{6}\right)^{0,58} \quad K = 0,137 \text{ ms}^{-1} \quad (30)$$

U tablici 12 prenijeti su K-faktori API-ja<sup>12</sup> za VL-separatore.

Tablica 12 – K-faktori API-ja za VL-separatore<sup>12</sup>

Table 12 – API K-factors for VL separators<sup>12</sup>

Tip separatora Separator type	Visina ili duljina / m Height or length / m	K / ms <sup>-1</sup>
okomit vertical	1,5	0,04–0,07
	3	0,05–0,11
	3	0,12–0,15
vodoravan horizontal	> 3	(od 0,12 do 0,15) · (L/3,05) <sup>0,56</sup> (from 0,12 to 0,15) · (L/3,05) <sup>0,56</sup>

K-faktor se mijenja (opada) s porastom tlaka. Fabian i sur.<sup>17</sup> daju relativnu promjenu K-faktora s porastom tlaka (tablica 13).

Tablica 13 – Ovisnost K-faktora o tlaku<sup>17</sup>Table 13 – K-factor as function of pressure<sup>17</sup>

Apsolutni tlak/kPa Absolute pressure/kPa	K-faktor (od projektne vrijednosti)/% K-factor (of design value)/%
5*	100
20*	100
50	100
100	100
500	94
1000	90
2000	85
4000	80
8000	75

\* kod niskih tlakova (5–20 kPa) pad tlaka je primarni parametar iznad kapaciteta

\* at low pressures, pressure drop is primary design parameter

Svrcek i Monnery<sup>18,19</sup> daju sljedeće korelacije za ovisnost K-faktora o radnom tlaku.

Za odvajanje iz mrežice (Koch-Otto York):

$$0,07 \text{ bar} \leq p < 1,03 \text{ bar:} \\ K/\text{ms}^{-1} = 0,0930 + 0,0128p/\text{bar} + 0,0140 \ln(p/\text{bar}) \quad (31)$$

$$1,03 \text{ bar} \leq p < 2,75 \text{ bar:} \\ K = 0,11 \text{ ms}^{-1} \quad (32)$$

$$2,75 \text{ bar} \leq p < 2,75 \text{ bar:} \\ K/\text{ms}^{-1} = 0,1123 - 0,007 \ln(p/\text{bar}) \quad (33)$$

Za podatke GPSA daju sljedeću korelaciju za ovisnost o tlaku:

$$0 \text{ bar} \leq p \leq 100 \text{ bar:} \\ K/\text{ms}^{-1} = 0,097 - 0,000442p/\text{bar} \quad (34)$$

Za pare pod vakuumom  $K = 0,06 \text{ ms}^{-1}$

Za proračun K-faktora iz jedn. 15:

$$K = \sqrt{\frac{4gD_p}{3C_D}} \quad (15)$$

$C_D$  se izračuna bez očitavanja iz slike 1.

$$C_D (\text{Re})^2 = \frac{1,31 \cdot 10^{-7} \rho_G D_p^3 (\rho_L - \rho_G)}{\mu_G^2} \quad (35)$$

$$X = C_D (\text{Re})^2 \quad (36)$$

$$C_D = 0,344 + 3,079 \cdot 10^{-8} X + \\ + \frac{64,91}{X^{0,5}} + \frac{3514,81}{X^2} - \frac{7201,95}{X^2} \quad (37)$$

Rahimi<sup>20</sup> daje sljedeće vrijednosti za K-faktor i način računanja maksimalne dopuštene brzine plina na ulazu u odvajanje kapljica od žičane mrežice:

$$u_{G,\text{max}} = K_{\text{kor}} \sqrt{\frac{\rho_L - \rho_G}{\rho_G}} \quad (38)$$

gdje je:

$$K_{\text{kor}} = K_s C_1 C_2 \quad (39)$$

Vrijednosti za  $K_s$ ,  $C_1$  i  $C_2$  dane su u sljedećim tablicama.

Tablica 14 – Vrijednosti  $K_s$  u jedn. 39Table 14 – Values for  $K_s$  in Eq. 39

Odvajanje kapljica, tip Demister type	Tok Flow	$K_s/\text{ms}^{-1}$
žičana mrežica wire mesh	okomiti tok vertical flow	0,107
	vodoravni tok horizontal flow	0,128
pločasti, jednostruki džepovi vane pack, single pocketed	okomiti tok vertical flow	0,152
	vodoravan tok horizontal flow	0,198
pločasti, dvostruki džepovi vane pack, double pocketed	okomit/vodoravni tok vertical/horizontal flow	0,305

Tablica 15 – Korekcija za tlak,  $C_1$  (jedn. 39)Table 15 – Pressure correction,  $C_1$  (Eq. 39)

$p/\text{bar}$	$C_1$
atmosferski, atmospheric	1,0
10	0,9
20	0,85
40	0,8
80	0,75

Preporučuje se kontaktirati proizvođača ako su tlakovi viši od 55 bar ili je napetost površine kapljicine  $\sigma < 0,005 \text{ N m}^{-1}$ .

Za primjenu pod visokim vakuumom korekcijski faktor treba dobiti od proizvođača. U takvim slučajevima promjer odvajanja se specificira na temelju pada tlaka.

Valjano sve dok je protok unutar granica 30 % – 110 % od projektog protoka.

For pressure above 55 bar or surface tension  $\sigma < 0,005 \text{ N m}^{-1}$  consult manufacturer.

For high vacuum ask supplier for pressure correction. The primary design parameter is the pressure drop.

Good for gas flow within 30 % – 110 % of design value.

Tablica 16 – Korekcijski faktor  $C_2$  u jedn. 39Table 16 – Correction factor  $C_2$  (Eq. 39)

Tip odvajanja Demister type	$C_2$
žičana mreža wire mesh	$C_2 = 1 - 0,030(L_L - 0,1)$
pločasti vane pack	$C_2 = 1 - 0,015(L_L - 0,1)$

$$L_L = \frac{0,409 Q_{vL} (1 - \eta)}{A}$$

U tablici 17 nalaze se preporučene vrijednosti  $K$ -faktora za kombinaciju mrežica – pločasti odvajač.

Tablica 17 –  $K$ -faktori za kombinaciju mrežica – pločasti odvajač kapljica<sup>20</sup>

Table 17 –  $K$ -factor for combination wire mesh-vane pack<sup>20</sup>

	$K/\text{ms}^{-1}$
mrežica + pločasti odvajač (vodoravni tok) wire mesh + vane pack (horizontal flow)	0,198
pločasti odvajač + mrežica (vodoravni tok) vane pack + wire mesh (horizontal flow)	0,128

### Granična brzina odvajanja kapljevina

Za računanje brzine odvajanja dvije nemješljive kapljevine u pravilu se primjenjuje Stokesova korelacija. *Svrcek i Monnery*<sup>19</sup> načinili su modifikaciju Stokesove korelacije koja ima oblik sličan Souders-Brownovoj korelaciji:

$$u_t = K_s \frac{\rho_{Lh} - \rho_{Li}}{\mu} \quad (40)$$

gdje je  $\mu$  je viskoznost kontinuirane faze, a  $K_s$  funkcija promjera kapljice dispergirane faze:

$$K_s = 2,06151 \cdot 10^{-5} D_p^2 \quad (41)$$

Tipične vrijednosti za  $K_s$  dane su u tablici 18.

### Visina parnog prostora

Ovisno o konfiguraciji i tipu separatora parni prostor dijeli se na više sekcija (slika 14 uz tablicu 19).

Kod okomitih separatora, bez odvajača kapljica, visina parnog prostora sastoji se iz dvaju dijelova: visina iznad razine kapljevine do simetrale ulaznog priključka za pojenje i visina od simetrale ulaznog priključka do gornje tangentne linije posude.

Kod okomitog separatora s ugrađenim odvajačem tri su visine parnog prostora: prva od razine kapljevine do simetrale ulaznog priključka, druga od simetrale ulaznog priključka do donjeg ruba odvajača kapljica i treća od gornjeg ruba odvajača kapljica do izlaznog priključka za plin.

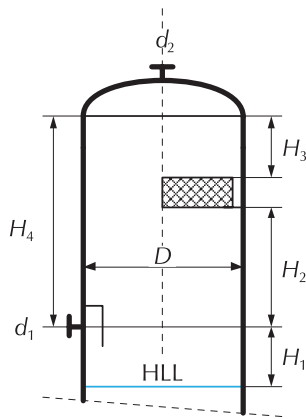
Visina od razine kapljevine pa do simetrale ulaznog priključka treba osigurati primarno odvajanje mase kapljevine iz dvofazne smjese i miran tok plina kroz drugi parni prostor u kojem se odvajaju kapljice iz plina gravitacijom. Kod separatora s ugrađenim odvajačem kapljica služi za smanjenje odnošenja kapljica nakon odvajača na minimum.

Karakteristično je da nema postupka za proračun visina parnog prostora, već se primjenjuju iskustveni podatci. Pregled preporučenih visina parnog prostora različitih autora dan je u tablici 19. Iako postoje, razlike nisu velike i mogu se svesti na visine u tablici 20.

Tablica 18 – Vrijednosti za  $K_s$  (jedn. 40) za odvajanje dviju nemješljivih kapljevine<sup>19</sup>

Table 18 –  $K_s$  data (Eq. 40) for separation of two immiscible liquids<sup>19</sup>

Lakša faza Light liquid	Teža faza Heavy liquid	Minimalni promjer kapljice/mm Droplet minimal diameter/mm	$K_s$
ugljikovodici hydrocarbons $Y_{25,5^\circ\text{C}} < 0,85$ $Y_{25,5^\circ\text{C}} > 0,85$	voda ili kaustična otopina water or caustic solution	127	0,333
		89	0,163
voda water	furfural furfural	89	0,163
metil-etil-ke-ton methyl ethyl ketone	voda water	89	0,163
sec-butan-ol sec-butan-ol	voda water	89	0,163
metil-izobut-il-ke-ton methyl-isobutyl-ketone	voda water	89	0,163
nonil-aklohol nonyl alcohol	voda water	89	0,163



Slika 14 – Podjela parnog prostora kod okomitih separatora  
Fig. 14 – Vertical separators: vapour space arrangement

Kod vodoravnih separatora minimalnu visinu parnog prostora određuje projektna brzina plina u vodoravnom smjeru. Ta se visina može povećati ako je potreban prostor za ugradnju odvajачa kapljica.

#### Vrijeme zadržavanja kapljicine u separatoru

Kod dvofaznih separatora vrijeme zadržavanja kapljicine u separatoru ima funkciju osigurati normalan rad separatora i dijela procesa iza separatora u kojem se obrađuje odvojena kapljevina te, ako postoji zahtjev, vrijeme potrebno za otplinjavanje, tj. izdvajanja plina iz kapljicine.

Kod trofaznih separatora vrijeme zadržavanja ima, pored gore navedenog, i namjenu osigurati željeno odvajanje dvije nemješljive kapljicine.

Tablica 19 – Preporučena visina parnog prostora za okomite separatore  
Table 19 – Recommended vapour space heights for vertical separators

Autori Authors	$H_1$	$H_2$	$H_3$	$H_4$
Watkins <sup>22</sup>	300 mm + $\frac{1}{2} d_1$ 450 mm (min.)			910 mm + $\frac{1}{2} d_1$ 1220 mm (min.)
Gerunda <sup>23</sup>	$\frac{1}{2} D_i$ 600 mm (min.)	$D_i$ 915 mm (min.)	375 mm (min.)	
Talaver <sup>25</sup>	300 mm (min.)	$\frac{1}{2} D_i$ 600 mm (min.)	$\frac{1}{2} D_i$ 300 mm (min.)	
Sarma <sup>24</sup>	300 mm	610 mm–750 mm	150 mm (min.)	
Svrcek-Monnelly <sup>19</sup>	300 mm + $\frac{1}{2} d_1$ 300 mm + $d_1$	$\frac{1}{2} D_i$ 610 mm + $\frac{1}{2} d_1$	300 mm (min.)	$\frac{1}{2} D_i$ 915 mm + $\frac{1}{2} d_1$
GPSA <sup>13</sup>	$2 d_1$	$D_i$ 610 mm (min.)	$(D_i+d_2)/2$	
Rahimi <sup>20</sup>				
bez distributora no distributor	$0,5 D_i$ 300 mm (min.)	$0,7 D_i$ 900 mm (min.)	$0,5 D_i - 0,5 d_2$ 300 mm (min.)	$1,0 D_i$ 1200 mm (min.)
deflektor deflector	$0,3 D_i$ 300 mm (min.)	$0,5 D_i$ 600 mm (min.)	$0,5 D_i - 0,5 d_2$ 300 mm (min.)	$1,0 D_i$ 900 mm (min.)
polucijev half open pipe	$0,3 D_i$ 300 mm (min.)	$0,45 D_i$ 600 mm (min.)	$0,5 D_i - 0,5 d_2$ 300 mm (min.)	$0,9 D_i$ 900 mm (min.)
s krilcima vane pack	$0,05 D_i$ 150 mm (min.)	$d_1$ 300 mm (min.)	$0,5 D_i - 0,5 d_2$ 300 mm (min.)	$0,6 D_i$ 600 mm (min.)
Shell <sup>6</sup>				
polucijev half pipe	$0,3 D_i$ 300 mm (min.)	$0,45 D_i$ 900 mm (min.)	$0,15 D_i$ 150 mm (min.)	$0,9 D_i$ 900 mm (min.)
schoepentoeter	$0,05 D_i$ 150 mm (min.)	$d_1$ 300 mm (min.)	$0,15 D_i$ 150 mm (min.)	$0,6 D_i$ 600 mm (min.)

Tablica 20 – Preporučene visine parnog prostora u okomitim separatorima  
Table 20 – Recommended vapour space heights for vertical separators

Tip raspodjelnika Distributor type	$H_1$	$H_2$	$H_3$	$H_4$	Visina raspodjelnika Distributor height
bez raspodjelnika no distributor	$0,5 D_i$ 300 mm (min.)	$0,7 D_i$ 900 mm (min.)	300 mm	$D_i$ 1200 mm (min.)	$d_1$
deflektor deflector	$0,5 D_i$ 300 mm (min.)	$0,5 D_i$ 600 mm (min.)	300 mm	$D_i$ 600 mm (min.)	$2 d_1$
poluotvorena cijev half open pipe	$0,3 D_i$ 300 mm (min.)	$0,45 D_i$ 600 mm (min.)	$0,15 D_i$ 150 mm (min.)	$0,9 D_i$ 900 mm (min.)	$d_1$
raspodjelnik s krilcima vane pack	$0,15 D_i$ 150 mm (min.)	$d_1$ 300 mm (min.)	$d_1$ 300 mm (min.)	$0,6 D_i$ 600 mm (min.)	$d_1 + 20$ mm

U literaturi na engleskom ta tri vremena zadržavanja jasno se različito nazivaju. Kod nas to na žalost nije tako pa da ne bude nesporazuma, u nastavku je dana sažeta definicija i naziv vremena.

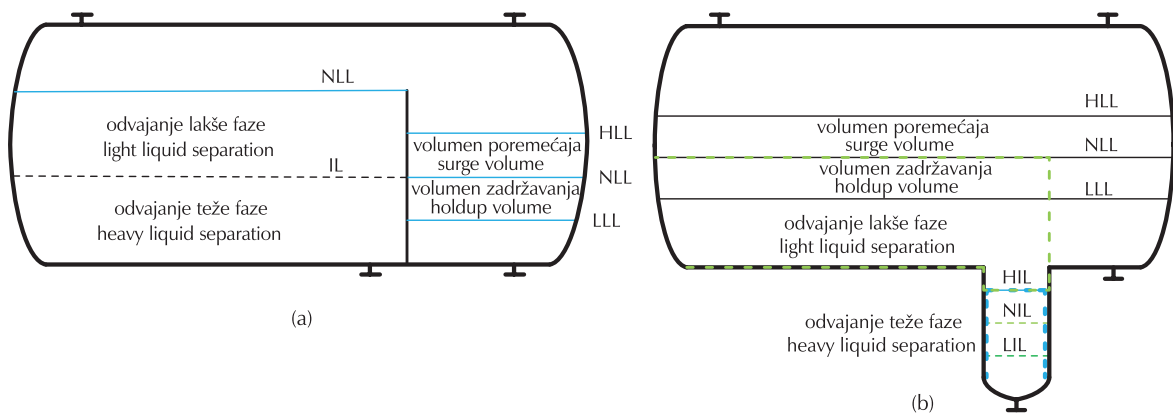
**Vrijeme zadržavanja (holdup time).** Definirano je kao vrijeme tijekom kojeg se iz separatora može odvoditi normalni protok kapljevine u procesnu jedinicu iza separatora iako je prekinut dotok pojenja u separator. Primjer je prihvatna posuda za kisele vode u jedinici za obradu kiselih voda. U nju ulaze različiti tokovi s kiselom vodom koji se nakon toga obrađuju u jedinici za obradu kisele vode. Ti tokovi ne moraju biti konstantni po količini i varijacije u dotoku trebaju se smiriti u posudi uz konstantan odvod kisele vode na daljnju obradu. Prema toj definiciji vrijeme zadržavanja definira visinsku razliku ili volumen između niskog nivoa (LLL) i normalnog nivoa kapljevine u separatoru (NLL).

**Vrijeme poremećaja (surge time).** Definirano je kao vrijeme tijekom kojeg se u posudi akumulira kapljevina kada je prekinut odvod kapljevine iz separatora ili poremećaja u dotoku smjese, smjesa većom količinom kapljevite faze. U skladu s tom definicijom to je vrijeme koje određuje razliku u visini ili volumen između normalnog nivoa (NLL) i visokog nivoa (HLL) kapljevine u separatoru.

**Vrijeme odvajanja faza (separation time).** To je vrijeme zadržavanja svake od dviju nemješljivih kapljevina u komori odvajanja trofaznog separatora, potrebno da se kapljevine odvoje, da se kapljice lakše kapljevine izdvoje iz kontinuirane faze teže kapljevine i kapljice teže kapljevine izdvoje iz kontinuirane faze lakše kapljevine. Prema tome postoje dva vremena odvajanja: vrijeme odvajanja lakše kapljevine iz teže i vrijeme odvajanja teže kapljevine iz lakše.

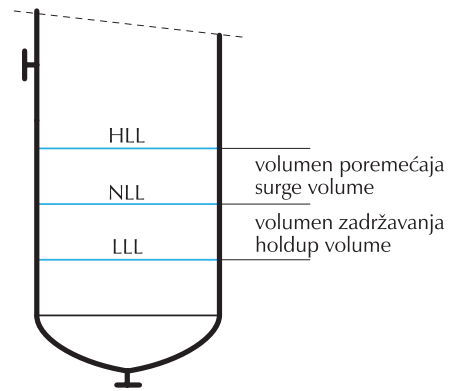
Vrijeme odvajanja/volumen odvajanja za težu fazu:

$$t_{Lh} = \frac{V_{(dno-IL)}}{Q_{vLh}} \quad (42)$$



Slika 16 – Vremena/volumeni odvajanja, zadržavanja i odvajanja u trofaznom separatoru: (a) separator s pregradom, (b) separator s komorom za težu fazu

Fig. 16 – Holdup and surge time/volumes in horizontal VLL separators: (a) separator with weir, (b) separator with booth



Slika 15 – Vrijeme/volumen zadržavanja i poremećaja u okomitom dvofaznom separatoru

Fig. 15 – Holdup and surge time/volume in vertical VL separator

Vrijeme odvajanja/volumen odvajanja za lakšu fazu:

$$t_{Li} = \frac{V_{(NLL-IL)}}{Q_{vLi}} \quad (43)$$

U vodoravnom trofaznom separatoru ta vremena određuju razliku između dna i normalnog međufaznog nivoa (IL) za vrijeme odvajanja za težu fazu i normalnog međufaznog nivoa (IL) i normalnog nivoa kapljevine (NLL) za vrijeme odvajanja za lakšu fazu.

Na slici 16 prikazani su vrijeme/volumen zadržavanja i vrijeme/volumen poremećaja u okomitom dvofaznom separatoru. Na slici 17 prikazana su vremena/volumeni zadržavanja, poremećaja i odvajanja faza u dvama tipovima trofaznih separatora.

Svrcek i Monnery<sup>19</sup> daju orijentacijska vremena zadržavanja u dvofaznom separatoru (tablica 21). Slično daje i Rahimi<sup>21</sup> (tablica 19).

Tablica 21 – Vremena zadržavanja i poremećaja za VL-separatore<sup>19</sup>Table 21 – Holdup and surge times for VL separators<sup>19</sup>

Proces Services	Vrijeme zadržavanja Holdup times (LLL – NLL)	Vrijeme poremećaja Surge times (NLL – HLL)
Separatori / Separators		
1. pojenje kolone feed to column	5 min	3 min
2. pojenje u druge posude ili rezervoare feed to other drum or tankage		
• s pumpom ili kroz izmjenjivač • with pump or through exchanger	5 min	2 min
• bez pumpe • without pump	2 min	1 min
3. pojenje peći feed to fired heater	10 min	3 min
usisna i međustupanjnska KO-posude kompresora compressor suction / interstage scrubbers	3 min između HLLA i HLLS 10 min između T/L dna i HLLA 3 min between HLLA and HLLS 10 min between bottom T/L and HLLA	
KO-posuda baklje flare KO drum	20–30 min od NLL do HLL 20–30 min from NLL to HLL	
KO-posuda loživog plina fuel gas KO drum	volumen 6 m duljine ulazne cijevi u KO-posudu između NLL i HLLA 6 m slug in the incoming gas line between NLL and HLLA	

Tablica 22 – Vrijeme zadržavanja i poremećaja za različite procese<sup>21</sup>Table 22 – Holdup and surge time for different services<sup>21</sup>

Proces Service	Vrijeme zadržavanja + poremećaj Holdup + surge times
prihvatna posuda feed surge drum	10–20 min
posuda pretoka kolone reflux drum	5 min za pretok + 2 min za tok u skladište ili 10 min za pojenje druge kolone 5 min for reflux flow + 2 min for product flow to storage or 10 min on product flow to another column
ostali separatori other separators	10 min za kapljeviti tok u peć za grijanje 5 min za transport kapljevine pumpom u drugu posudu 3 min ako je transport u drugu posudu gravitacijom 10 min if liquid is sent to a heater 5 min if liquid is sent to another vessel with pump 3 min if liquid is sent to another vessel by gravity

Za zadržavanje nafte u VL-separatorima API<sup>12</sup> daje vremena navedena u tablici 23.

Tablica 23 – Vremena zadržavanja nafte u VL-separatoru prema API<sup>12</sup>Table 23 – Holdup times for crude oil in separator, API<sup>12</sup>

Gustoća nafte Oil density	Vrijeme zadržavanja / min Holdup time / min
> 35° API	1
20–30° API	1 – 2
10–20° API	2 – 4

Za separatore VLL vrijedi isto što i za separatore VL kada se radi o izdvajanju plina iz kapljevine.

Za odvajanje dviju kapljevina (voda – nafta) API<sup>12</sup> daje vremena ovisno o gustoći nafte i radnoj temperaturi navedena u tablici 24. GPSA<sup>13</sup> daje vremena odvajanja različitih kapljevina navedena u tablici 25.

Predložena vremena zadržavanja treba uzeti kao orijentacijska ako nema nikakvih drugih podataka na temelju kojih bi se vremena mogla pouzdano procijeniti. To posebno vrijedi za vremena odvajanja kapljevinih faza. Ako su poznate gustoće i viskoznosti kapljevinih faza, uistinu nije problem izračunati potrebna vremena odvajanja i time dobiti pouzdane dimenzije separatora.

Tablica 24 – Vrijeme zadržavanja nafte i vode u VLL separatoru prema API<sup>12</sup>

Table 24 – Holdup time for oil and water in VLL separators API<sup>12</sup>

Gustoća nafte Oil density	Vrijeme zadržavanja / min Holdup time / min
> 35° API	3–5
< 35° API	
15,5–26,5 °C	20–30
26,5–38 °C	10–20
> 38 °C	5–10

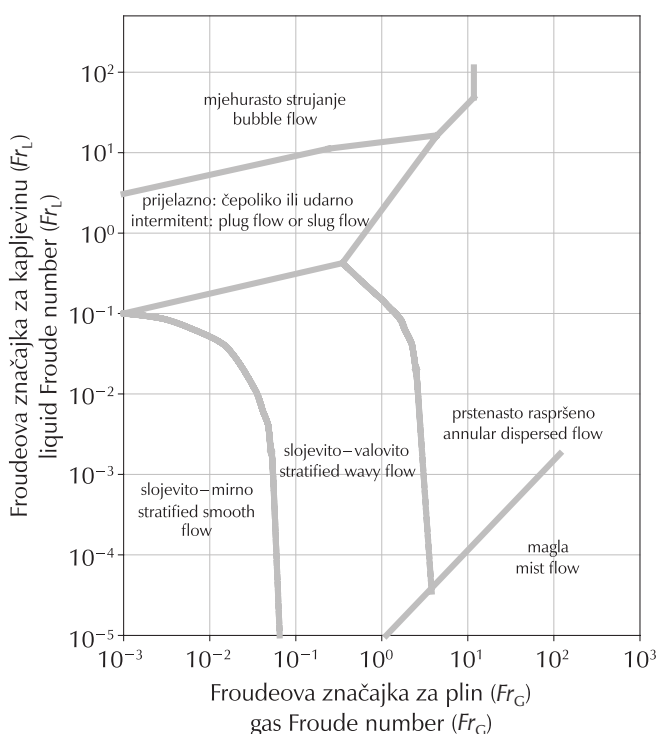
Tablica 25 – Vremena zadržavanja u VLL separatoru prema GPSA<sup>13</sup>

Table 25 – Holdup times in VLL separators, GPSA<sup>13</sup>

Smjesa Mixture	Vrijeme zadržavanja / min Holdup time / min
etilen-glikol / ugljikovodici ethylene glycol / hydrocarbons	20–60
amini / ugljikovodici amines / hydrocarbons	20–30
kaustična otopina / propan caustic solution / propane	30–40
kaustična otopina / teški benzin caustic solution / heavy gasoline	30–90

## Ulazna cijev i priključci

Priključci, dovod višefazne smjese i odvod plina imaju utjecaj na radna svojstva separatora kao dijelovi odgovorni za pad tlaka. Ostali odvodi, lakše i teže kapljevine nemaju



Slika 17 – Oblici dvofaznog strujanja kroz vodoravnu cijev<sup>22</sup>  
Fig. 17 – Two-phase flow map for horizontal feed pipe<sup>22</sup>

utjecaj na rad separatora i treba ih dimenzionirati prema zahtjevima procesa nakon separatora. Ulazni cjevovod mora što je moguće manje utjecati na rad separatora. U pravilu na ulaznoj cijevi u duljini od 10 promjera treba izbjegavati ventile, proširenja ili suženja jer mogu dovesti do stvaranja relativno malih kapljica kapljevine na ulazu u separator. Također na toj duljini ulazne cijevi treba izbjegavati koljena jer će generirati lošu raspodjelu plina u separatoru.

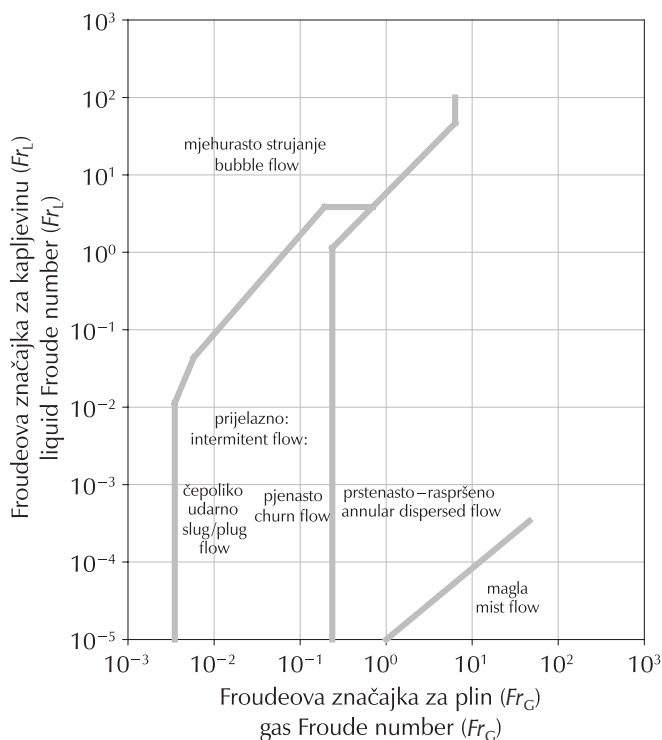
KLM<sup>14</sup> preporučuje izbor tipa separatora na temelju oblika ulaznog strujanja, kako je dano u tablici 26.

Tablica 26 – Djelotvornost separatora i oblik dvofaznog strujanja u ulaznom cjevovodu<sup>14</sup>

Table 26 – Efficiency vs. type of inlet flow in separators<sup>14</sup>

Oblik strujanja Type of flow	Očekivana djelotvornost Expected efficiency	
	< 90 %	> 90 % do 98 %
mjezurasto / slojevito – mirno bubbly / stratified – smooth	KO-posuda KO drum	KO-posuda KO drum
slojevito – valovito stratified – wavy	KO-posuda KO drum	odvajač kapljica demister
prijelazno intermittent	KO-posuda KO drum	odvajač kapljica demister
prstenasto annular		odvajač kapljica demister

Informacija o obliku strujanja dvofazne smjese kroz cjevovod na ulazu u separator može se dobiti iz slika 17 i 18.



Slika 18 – Oblici dvofaznog strujanja kroz okomitu cijev<sup>22</sup>  
Fig. 18 – Two-phase flow map for vertical up flow feed pipe<sup>22</sup>



Froudeove značajke za plin i kapljevina su:

$$Fr_G = u_G \sqrt{\frac{\rho_G}{(\rho_L - \rho_G) g d_i}}, \quad (44)$$

$$u_G = \frac{Q_{vG}}{\left(\frac{\pi d_i^2}{4}\right)} \quad (45)$$

$$Fr_L = u_L \sqrt{\frac{\rho_L}{(\rho_L - \rho_G) g d_i}}, \quad (46)$$

$$u_L = \frac{Q_{vL}}{\left(\frac{\pi d_i^2}{4}\right)}. \quad (47)$$

Iako su mape oblika strujanja dane na slikama za strujanje u dugačkim cijevima, ako je duljina cijevi veća od 10 promjera, slike daju dobar uvid koji oblik strujanja prevladava.

Kod slojevito-valovitog i prstenastog oblika strujanja moguće je nastajanje kapljica u ulaznoj cijevi, pri čemu pri ulazu u separator nastaje magla.

Aproksimativno najveći promjer kapljica koje nastaju u ulaznoj cijevi unutarnjeg promjera  $d_i$  može se izračunati iz:<sup>6</sup>

$$\frac{D_{p,max}}{d_i} = 4,5 \left(\frac{\sigma}{\rho_G u_G^2 d_i}\right)^{0,6} \left(\frac{\rho_G}{\rho_L}\right)^{0,4}. \quad (48)$$

Najmanje kapljice općenito imaju promjer 5 do 10 puta manji od najvećeg. Međutim znatno manje kapljice nastaju ako tok prođe naglu i znatnu redukciju tlaka, npr. 10 bara.

U literaturi je relativno malo podataka o postupku dimenzioniranja. Watkins<sup>22</sup> preporučuje kriterij za dimenzije ulaznog priključka:

$$\frac{(u_{max})_{priklj}}{m s^{-1}} = \frac{122}{\sqrt{\rho_M / kg m^{-3}}}, \quad (49)$$

$$\frac{(u_{min})_{priklj}}{m s^{-1}} = \frac{73,2}{\sqrt{\rho_M / kg m^{-3}}}. \quad (50)$$

Monnery i Svrcek<sup>18,19</sup> dimenzioniraju priključak prema kriteriju za minimalnu brzinu Watkinsa:

$$\frac{d_1}{mm} = \frac{4 \frac{Q_{vM}}{m^3 h^{-1}} \sqrt{\rho_M}}{73,2 \pi} \quad (51)$$

$$\rho_M = \rho_L x + \rho_G (1-x), \quad (52)$$

$$x = \frac{Q_{vL}}{Q_{vL} + Q_{vG}}, \quad (53)$$

$$\frac{\frac{Q_{vM}}{m^3 h^{-1}}}{\frac{\pi}{4} \left(\frac{d_1}{mm}\right)^2} = \frac{u_M}{m s^{-1}} \leq \frac{73,2}{\sqrt{\frac{\rho_M}{kg m^{-3}}}} \quad (54)$$

Shell CSI<sup>6</sup> navodi da promjer ulaznog priključka  $d_1$  može biti isti kao promjer dovodne cijevi, ali treba zadovoljavati kriterij momenta.

Ako nema ulaznog distributora:

$$\rho_M u_M^2 \leq 1400 Pa, \quad (55)$$

gdje je  $\rho_M$  srednja gustoća smjese na ulazu u priključak:

$$\rho_M = \frac{Q_{mG} + Q_{mL}}{Q_{vG} + Q_{vL}}, \quad (56)$$

a  $u_M$  je brzina smjese u ulaznom priključku:

$$u_M = \frac{Q_{vG} + Q_{vL}}{\frac{\pi d_1^2}{4}}. \quad (57)$$

Ako je ulazni distributor poluotvorena cijev:

$$\rho_M u_M^2 \leq 2100 Pa. \quad (58)$$

Ako je ulazni distributor raspodjelnik s krilcima:

$$\rho_M u_M^2 \leq 8000 Pa. \quad (59)$$

Kod rada pod visokim vakuumom brzine smjese na ulazu mogu biti vrlo velike (mala gustoća plina) i treba zadovoljiti sljedeće kriterije za brzinu:

a) da se spriječi erozija:

$$u_G \leq 70 m s^{-1}, \quad (60)$$

b) da se spriječi prigušenje toka (postizanje brzine zvuka ili vibracije):

$$u_G \leq 0,8 u_{G,sonic}, \quad (61)$$

gdje je  $u_{G,sonic}$  brzina zvuka u plinu (prisutnost kapljevine je zanemarena):

$$u_{G,sonic} = \sqrt{\frac{\kappa RT}{M_G}}. \quad (62)$$

**Priključak za izlaz plina**

Normalno je jednak dimenzijama izlazne cijevi, ali treba zadovoljavati sljedeći kriterij:<sup>6</sup>

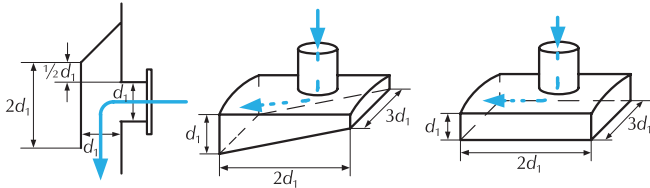
$$\rho_G u_G^2 \leq 4500. \quad (63)$$

Trebaju se dimenzionirati da brzina kapljevine ne prelazi  $1 \text{ m s}^{-1}$ . Minimalni promjer je 50 mm (2"). Priključak treba biti opremljen s razbijačem vrtloga.

## Raspodjelnici

### Deflektor

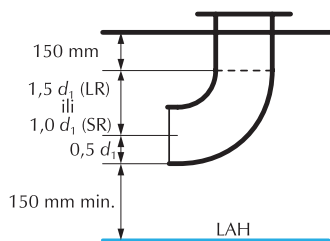
Slika 19 pokazuje tipične dimenzije deflektora.



Slika 19 – Tipične dimenzije deflektora  
Fig. 19 – Deflector – typical dimensions

### Koljeno 90°

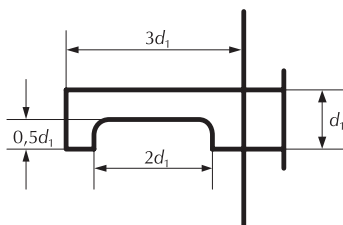
Promjer koljena treba biti isti kao promjer ulazne cijevi. U pravilu se uzimaju koljena s dugim radijusom. Koljeno s kratkim radijusom se može ugraditi ako nema dovoljne visine parnog prostora. Osim toga, koljeno treba biti ugrađeno što je moguće bliže T/L vodeći računa o ojačanju. Na slici 20 prikazan je način ugradnje koljena.



Slika 20 – Dimenzije za distributor koljeno  
Fig. 20 – Knee feed distributor, dimensions

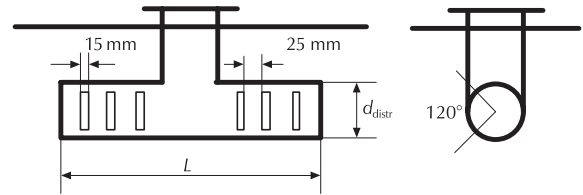
### Poluotvorena cijev

Promjer je također jednak promjeru dovodne cijevi. Tipične dimenzije su dane na slici 21.



Slika 21 – Poluotvorena cijev  
Fig. 21 – Half-open pipe feed distributor

### T- raspodjelnik



Slika 22 – T-raspodjelnik, tipične dimenzije  
Fig. 22 – T-feed distributor, typical dimensions

Dimenzionira se na temelju brzine dvofazne smjese kroz proreze:<sup>7</sup>

$$u_{\text{utor}} = \frac{C_1 \sigma \left( \frac{\rho_L}{\rho_G} \right)^{0,5}}{\mu_G} \quad (64)$$

Broj utora:

$$N_{\text{utor}} = \frac{Q_{\text{VM}}}{C_2 A_{\text{utor}} u_{\text{utor}}} \quad (65)$$

$A_{\text{utor}}$  je slobodna površina utora i izračunava se iz:

$$A_{\text{utor}} = L_{\text{utor}} \times W_{\text{utor}} \quad (66)$$

$$L_{\text{utor}} = \frac{120^\circ}{360^\circ} \pi d_{\text{distr}} \quad (67)$$

$Q_{\text{VM}}$  je volumni protok smjese, a duljina cijevi s prorezima izračunava se iz:

$$L = d_{\text{distr}} + N_{\text{utor}} \times W_{\text{utor}} + (N_{\text{utor}} + 2) \times \text{korak} \quad (68)$$

$C_1$  i  $C_2$  su konstante i iznose:

$$C_1 = 7 \cdot 10^{-5}$$

$C_2 = 2$  u slučaju T-distributora ili

$C_2 = 1$  ako je distributor ravna cijev s utorima.

### Raspodjelnik s krilcima

Za taj tip raspodjelnika nema u literaturi podataka o dimenzioniranju jer se dimenzioniranje temelji najvećim dijelom na iskustvenim podatcima. Preporuka je kontaktirati mogućeg isporučitelja za potrebne podatke.

### Pad tlaka

Pad tlaka kroz separator je u pravilu vrlo nizak i jedino pri radu pod visokim vakuumom može postati kritičan parametar procesa. Sastoji se od pada tlaka kroz ulazni priključak, pada tlaka kroz odvajač kapljica i pada tlaka kroz

izlazni priključak za plin.

Pad tlaka kroz ulazni priključak:

$$\Delta p_{d1} = 0,5 \rho_M u_M^2. \quad (69)$$

Pad tlaka kroz schoepentoeter distributor može se aproksimativno izračunati iz:

$$\Delta p = 0,08 \rho_M u_M^2. \quad (70)$$

Korelacije za pad tlaka kroz odvajanje kapljica dane su kod opisa rada odvajanja kapljica (jedin. 23, 24 i 26).

Pad tlaka kroz priključak za izlaz plina:

$$\Delta p = 0,22 \rho_G u_G^2. \quad (71)$$

### Popis kratica i simbola

#### List of abbreviations and symbols

A	– površina, m <sup>2</sup> – area, m <sup>2</sup>	H <sub>1</sub>	– visina parnog prostora između HLL i simetrale ulaznog priključka (okomiti separator), mm – vapour space height from HLL to inlet nozzle center line (vertical separator), mm
A <sub>G</sub>	– površina presjeka posude ili odvajanja kapljica, m <sup>2</sup> – area of demister or vessel cross-section, m <sup>2</sup>	H <sub>2</sub>	– visina parnog prostora od simetrale ulaznog priključka do donjeg ruba odvajanja kapljica (okomiti separator), mm – vapour space height from inlet nozzle center line to the edge of mist separator (vertical separator), mm
C <sub>1</sub>	– korekcijski faktor za tlak (jedin. 39), konstanta (jedin. 64) – pressure correction factor (eq. 39), constant (eq. 64)	H <sub>3</sub>	– visina parnog prostora od gornjeg ruba odvajanja kapljica do gornje T/L (okomiti separator), mm – vapour space height from top edge of mist separator to top T/L (vertical separator), mm
C <sub>2</sub>	– korekcijski faktor za opterećenje odvajanja kapljinom (jedin. 39), konstanta (jedin. 65) – correction factor for separator liquid load (eq. 39), constant (eq. 65)	H <sub>4</sub>	– visina parnog prostora od HLL do gornje T/L (okomiti separator), mm – vapour space height from HLL to top T/L (vertical separator), mm
C <sub>D</sub>	– koeficijent trenja – drag coefficient	HIL	– visoki međufazni nivo – high interface level
D	– promjer, m – diameter, m	HILA	– alarm visokog međufaznog nivoa – high interface level alarm
D <sub>i</sub>	– unutarnji promjer separatora, m – separator inner diameter, m	HLL	– visoki nivo – high level
D <sub>p</sub>	– promjer čestice ili kapi, m – particle/drop diameter, m	HLLS	– obustava zbog previsokog nivoa – shut down due to high level
d <sub>1</sub>	– nazivni promjer ulaznog priključka za pojenje, mm – nominal inner diameter of feed connector, mm	IL	– međufazni nivo – interface level
d <sub>2</sub>	– nazivni promjer priključka za izlaz plina, mm – nominal inner diameter of gas outlet, mm	K	– Souders-Brownov faktor, K-faktor, m <sup>3</sup> s <sup>-2</sup> – Souders-Brown factor, K-factor, m <sup>3</sup> s <sup>-2</sup>
d <sub>distr</sub>	– promjer distributora, m – distributor diameter, m	K <sub>kor</sub>	– korigirani Souders-Brownov faktor, ms <sup>-1</sup> – adjusted Souders-Brown factor, ms <sup>-1</sup>
d <sub>i</sub>	– unutarnji promjer cijevi, m – pipe inner diameter, m	K <sub>s</sub>	– Souders-Brownov faktor, K-faktor, ms <sup>-1</sup> (jedin. 40) – Souders-Brown factor, K-factor, ms <sup>-1</sup> (eq. 40)
Fr <sub>G</sub>	– Froudeova značajka za plin – gas Froude number	L	– duljina, m – length, m
Fr <sub>L</sub>	– Froudeova značajka za kapljinu – liquid Froude number	L <sub>L</sub>	– duljina toka tekućine u vodoravnom separatoru, m – length of liquid flow in horizontal separator, m
g	– gravitacijsko ubrzanje, g = 9,806 ms <sup>-2</sup> – gravitational acceleration	LAH	– alarm visokog nivoa – level alarm high
		LIL	– niski međufazni nivo – low interface level
		LLL	– niski nivo kapljevine – low level
		M <sub>G</sub>	– molarna masa plina, kg kmol <sup>-1</sup> – gas molar mass, kg kmol <sup>-1</sup>
		N <sub>utor</sub>	– broj utora – number of slots
		NIL	– normalni međufazni nivo – normal interface level
		NLL	– normalni nivo kapljevine – normal liquid level
		p	– tlak, bar – pressure, bar
		Δp	– pad tlaka, Pa – pressure drop, Pa

$Q_{mG}$	– maseni protok plina, $\text{kg h}^{-1}$ – gas mass flux, $\text{kg h}^{-1}$	$u_t$	– granična brzina kontinuirane faze, $\text{m s}^{-1}$ – terminal velocity of continuous phase, $\text{m s}^{-1}$
$Q_{mL}$	– maseni protok tekućine, $\text{kg h}^{-1}$ – liquid mass flux, $\text{kg h}^{-1}$	$V_{(\text{dno-IL})}$	– volumen tekućine između dna i međufaznog nivoa, $\text{m}^3$ – volume of liquid from bottom to interface level, $\text{m}^3$
$Q_{vG}$	– volumni protok plina, $\text{m}^3 \text{h}^{-1}$ – gas volume flux, $\text{m}^3 \text{h}^{-1}$	$V_{(\text{NLL-IL})}$	– volumen tekućine između normalnog nivoa i međufaznog nivoa, $\text{m}^3$ – volume of liquid from normal level to interface level, $\text{m}^3$
$Q_{vG,\text{max}}$	– maksimalni volumni protok plina, $\text{m}^3 \text{h}^{-1}$ – maximum gas volume flux, $\text{m}^3 \text{h}^{-1}$	VL	– dvofazna smjesa plin/kapljevina – two-phase mixture gas/liquid
$Q_{vG}^*$	– faktor opterećenja plinom, $\text{m}^3 \text{h}^{-1}$ – gas load factor, $\text{m}^3 \text{h}^{-1}$	VLL	– trofazna smjesa plin/kapljevina/kapljevina – three-phase mixture gas/liquid/liquid
$Q_{vL}$	– volumni protok kapljevine, $\text{m}^3 \text{h}^{-1}$ – liquid volume flux, $\text{m}^3 \text{h}^{-1}$	$W_{\text{utor}}$	– širina utora, mm – slot width, mm
$Q_{vLh}$	– volumni protok teže kapljevine, $\text{m}^3 \text{h}^{-1}$ – heavy liquid volume flux, $\text{m}^3 \text{h}^{-1}$	$\gamma$	– relativna gustoća – relative density
$Q_{vLl}$	– volumni protok lakše kapljevine, $\text{m}^3 \text{h}^{-1}$ – light liquid volume flux, $\text{m}^3 \text{h}^{-1}$	$\eta$	– djelotvornost odvajanja, % – separation efficiency, %
$Q_{vM}$	– volumni protok dvofazne/trofazne smjese, $\text{m}^3 \text{h}^{-1}$ – multiphase mixture volume flux, $\text{m}^3 \text{h}^{-1}$	$\kappa$	– eksponent adijabate – adiabatic index
$R$	– opća plinska konstanta, $R = 8,314 \text{ J K mol}^{-1}$ – universal gas constant	$\mu$	– viskoznost kontinuirane faze, Pa s – continuous phase viscosity, Pa s
$Re$	– Reynoldsova značajka – Reynolds number	$\mu_G$	– viskoznost plina, Pa s – gas viscosity, Pa s
$T$	– temperatura, K – temperature, K	$\rho_G$	– gustoća plina, $\text{kg m}^{-3}$ – gas density, $\text{kg m}^{-3}$
T/L	– tangentna linija podnice posude – bottom tangent line	$\rho_L$	– gustoća kapljevine, $\text{kg m}^{-3}$ – liquid density, $\text{kg m}^{-3}$
$t_{lh}$	– vrijeme zadržavanja teže tekućine u separatoru, s – holdup time of heavy liquid in separator, s	$\rho_{Lh}$	– gustoća teže kapljevine, $\text{kg m}^{-3}$ – heavy liquid density, $\text{kg m}^{-3}$
$t_{ll}$	– vrijeme zadržavanja lakše tekućine u separatoru, s – holdup time of light liquid in separator, s	$\rho_{ll}$	– gustoća lakše kapljevine, $\text{kg m}^{-3}$ – light liquid density, $\text{kg m}^{-3}$
$u$	– brzina, $\text{m s}^{-1}$ – velocity, $\text{m s}^{-1}$	$\rho_M$	– gustoća dvofazne/trofazne smjese, $\text{kg m}^{-3}$ – multiphase mixture density, $\text{kg m}^{-3}$
$u_G$	– brzina plina, $\text{m s}^{-1}$ – gas velocity, $\text{m s}^{-1}$	$\sigma$	– napetost površine, $\text{N m}^{-1}$ – surface tension, $\text{N m}^{-1}$
$u_{G,\text{sonic}}$	– brzina zvuka u plinu, $\text{m s}^{-1}$ – speed of sound in gas, $\text{m s}^{-1}$	$\Phi$	– parametar protoka – flow parameter
$u_L$	– brzina kapljevine, $\text{m s}^{-1}$ – liquid velocity, $\text{m s}^{-1}$		
$u_M$	– brzina dvofazne/trofazne smjese, $\text{m s}^{-1}$ – multiphase mixture velocity, $\text{m s}^{-1}$		

**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 12J. 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 II.

*Eduard Beer*

The design of gravity VL separators is based on the two-phase flow law and basic equations are well known. However, these equations contain parameters that are the result of experience, and there are always subjectivities in selecting parameters. This paper gives a review of sizing procedures, together with a suggestion on how to use various experienced parameters.

#### **Keywords**

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

*Aleja Blaža Jurišića 9  
10 000 Zagreb*

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