

Kratke lekcije iz procesnog inženjerstva: Udarni separatori za sisteme gas-tečnost

Separatori su uređaji za razdvajanje faza, konstruisani da efikasno razdvoje komponente višefazne mešavine koristeći različite fizičke principe, prvenstveno gravitaciju i inerciju. Razdvajanje se zasniva na razlici u gustinama i brzinama taloženja različitih faza (na samom ulazu mešavine u separator dolazi do promene pritiska, promene u brzini i pravcu kretanja). Gasovita faza se izdvaja zbog velike razlike u gustini, pa gas izlazi iz separatora na najvišoj tački. U zoni separatora u kojoj se izdvaja gasovita faza, često se postavljaju deflektori koji služe usporavanju struje gasa čime se omogućava bolje izdvajanje tečne faze iz gasa. Ukoliko se u tečnosti nalazi više faza (npr. nafta i voda), njihovo razdvajanje se obavlja na račun razlike u gustini (voda će se skupljati na dnu separatora).

Prema mehanizmu izdvajanja odnosno pogonskoj sili razdvajanja separatori gas-tečnost se mogu podeliti u sledeće tri grupe [1]:

- udarni separatori (knock-out drum) kod kojih se razdvajanje vrši na osnovu gravitacione sile;
- centrifugalni separatori;
- filterski separatori.

Koriste se u većem broju industrijskih grana [1]:

- rafinerije nafte;
- postrojenja za preradu prirodnog gasa;
- hemijska i petrohemijska postrojenja;
- sistemi hlađenja i klimatizacije;
- kompresorski sistemi za vazduh i druge gasove;
- gasni cevovodi;
- ekspanzioni sudovi za kondenzat vodene pare.

Oblik i način postavljanja udarnih separatora zavisi od niza faktora, od kojih su neki [1]:

- orijentacija u prostoru;
- tip ulaznog priključka;
- tip i kombinacija unutrašnjih elemenata;
- tip danca.

Udarni separatori se po pravilu izrađuju kao cilindrične posude (slika 1). Kada je pritisak u sistemu veoma visok, radi izrade aparata od lima manje debljine koriste se sferni separatori (slika 2) [1].

Orijentacija u prostoru može biti vertikalna (slika 1) ili horizontalna (slika 3). Izbor orijentacije u prostoru zavisi od nekoliko faktora, pri čemu i vertikalni i horizontalni separatori imaju određene prednosti i mane.

Prednosti vertikalnih separatora su [1]:

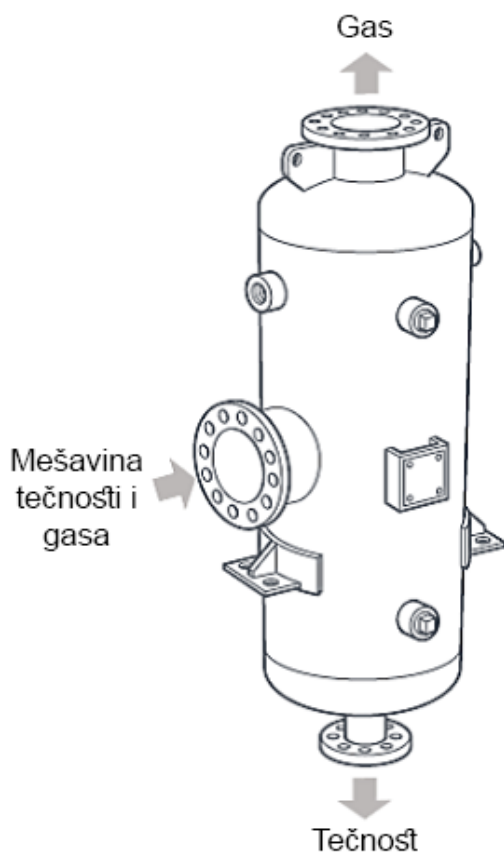
- zahtevaju manji prostor za postavljanje;
- iz njih se lakše uklanja tečna faza;
- konstantan poprečni presek za strujanje gasa;
- manja potrebna zapremina aparata.

Kod vertikalnih separatora (slika 1b) mešavina nafte, vode i gasa ulazi u separator kroz bočni ulazni priključak, obično tangencijalno, kako bi se stvorio vrtložni tok. Vrtložni tok pomaže u početnom odvajanju gasa od tečne faze zbog centrifugalne sile. Gas, najlakša faza, kreće se ka vrhu separatora. Pri vertikalnom kretanju gasa, velike kapljice tečnosti se talože zbog gravitacije. Da bi se dalje poboljšala separacija gasa od tečnosti, često se koriste eliminatori kapi, koji su postavljeni u gornjem delu separatora. Eliminatori kapi mogu biti žičane mreže, ploče ili drugi specijalno oblikovani elementi koji efikasno uklanjaju i ukрупnjavaju preostale kapljice tečnosti iz toka gasovite faze. Očišćeni gas se zatim izvodi iz separatora kroz izlazni priključak na vrhu.

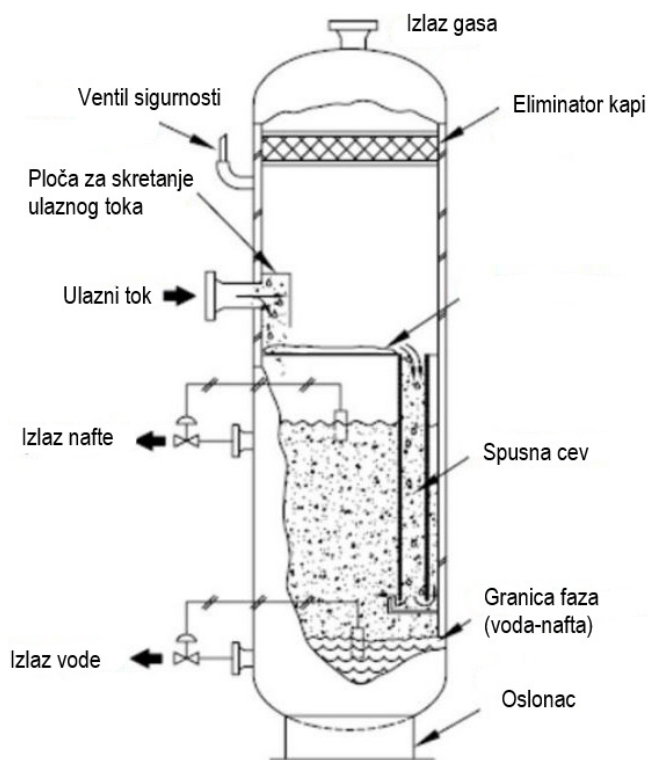
Tečna faza (nafta i voda) se sliva naniže kroz centralni deo separatora. Kako se tečnost kreće naniže, ona prolazi kroz zonu taloženja, gde se nafta i voda razdvajaju zbog razlike u gustini. Nafta (manje gustine), formira gornji sloj, dok se voda (veće gustine) taloži na dnu separatora. Ova zona taloženja je dimenzionisana tako da omogući dovoljno vremena za gravitaciono taloženje. Visina zone taloženja određuje vreme zadržavanja, koje je ključni parametar za efikasnost separacije. Da bi se omogućilo da se brže razdvoje nafta i voda, tečna faza se sliva kroz spusnu cev kojom se tečna faza transportuje iz zone taloženja u donji deo separatora (ispod granice faza između vode i nafte). Kao i kod horizontalnog separatora postoje dva senzora za merenje nivoa vode i nafte na osnovu čega se dalje upravlja ventilima za ispuštanje ovih faza iz separatora.

Prednosti horizontalnih separatora su:

- mogućnost skladištenja većih količina tečnosti;
- manja visina;
- tečno ogledalo ima veću površinu što rezultuje boljim odvajanjem gasa iz tečnosti i manjim stvaranjem pene;
- usled dužeg zadržavanja tečne faze pored razdvajanja gasa od tečnosti moguće je izvršiti i gravitaciono razdvajanje dve nemešljive tečne faze.

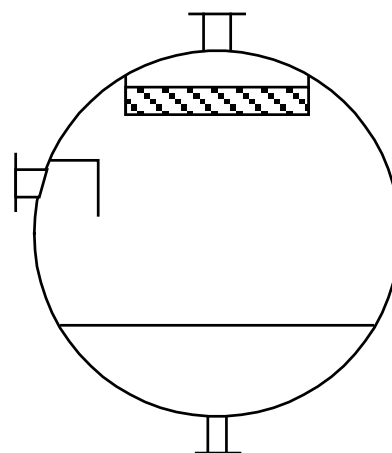


a) [1]

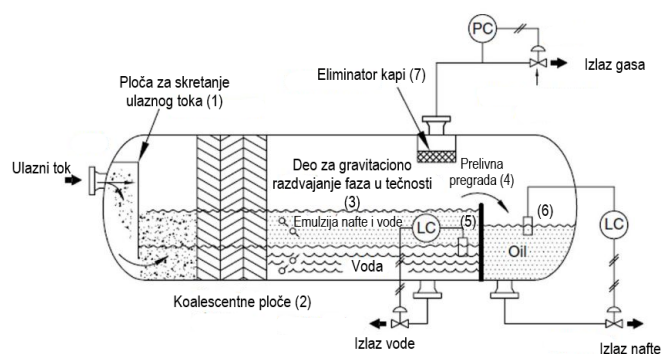


b)

Slika 1: Cilindručni udarni vertikalni separator za sistem gas-tečnost



Slika 2: Sferni separator [1]



Slika 3: Horizontalni separator

Horizontalni separatori (slika 3) se često koriste zbog svoje kompaktnosti i jednostavnosti. Kod ovih uređaja odmah iza ulaznog priključka (može biti postavljen i pod uglom) na sudu nalazi se ploča (1) čija je funkcija da naglo skrene ulaznu struju i utiče na promenu količine kretanja ulaznog toka. To dalje dovodi do početka razdvajanja tečne i gasovite faze. Tečna i gasovita faza prolaze kroz koalescentne ploče (2) čija je svrha da se poboljša separacija tečnosti i gasa. Koalescencija je proces spajanja malih kapljica u veće kapi tečnosti, koje se lakše razdvajaju od gasa. Od viskoznosti tečne faze, brzine, poroznosti, površine kontakta i debljine ploče zavisice efikasnost separacije na koalescentnim pločama. Deo separatora (3) u kojem se razdvajaju voda od nafte mora obezbediti dovoljno vreme za gravitaciono razdvajanje ovih faza. Na kraju ovog dela nalazi se prelivna pregrada (4) preko koje se preliava nafta, dok voda ostaje na dnu separatora. U gravitacionom delu separatora koristi se senzor za merenje nivoa vode (5), dok se iza prelivne pregrade nalazi senzor za merenje nivoa nafte (6). Na samom vrhu separatora nalazi se priključak za izdvajanje gasovite faze, pri čemu se protok gasa reguliše na osnovu merenja pritiska u separatoru. Ispred ovog priključka se nalazi element za izdvajanje sitnih kapi tečne faze iz toka gasa tzv. eliminator kapi (7).

Opšte preporuke za orijentaciju separatora su date u tabeli 1.

Tabela 1. Preporučena orijentacija separatora [1]

Oblast primene	Preporučena orijentacija
Separator gas-tečnost na izlazu iz reaktora	vertikalna
Separator gas-tečnost-tečnost na izlazu iz reaktora	horizontalna
Rezervoar refleksa	horizontalna
Separator za baklju	horizontalna
Separator za kondenzat	vertikalna
Separator na usisu kompresora	vertikalna
Separator za gorivi gas	vertikalna

Kod konstruisanja separatora neophodno je voditi računa o sledećem:

- **kapacitet:** separator mora imati dovoljnu zapreminu da primi ulaznu količinu mešavine i omogući efikasno razdvajanje;
- **brzina mešavine:** prevelika brzina mešavine može ometati separaciju, dok će mala brzina uticati na veće gabarite posude za separaciju;
- **radni uslovi:** definisani su najčešće sa dva parametra (pritisak i temperatura);
- **materijal:** izbor materijala zavisi od sastava mešavine i radnih uslova;
- **efikasnost separacije:** konstrukcija separatora treba da obezbedi visok stepen efikasnosti razdvajanja faza;
- **izdvajanje tečne i gasovite faze:** sistem za odvođenje tečnosti i gasa mora biti efikasan i sprečavati zadržavanje faza (zapunjavanje separatora);
- **sigurnost:** konstrukcija mora da obezbedi sigurnost u eksploataciji i spreči nepoželjne i opasne situacije (npr. prekomerno povišenje pritiska, zapunjavanje separatora i dr.).

Efikasnost separatora se definiše kao udeo tečnosti koji gas odnosi sa sobom u odnosu na protok tečnosti na ulazu u separator. U tabeli 2 prikazane su uobičajene konstrukcije separatora u zavisnosti od režima strujanja dvofazne mešavine u dovodnom cevovodu [1].

Tabela 2. -

Režim strujanja	Očekivana efikasnost	
	<90%	>90%
mehurast (bubbly flow)	Udarni separator	-
razdvojen (stratified flow)	Udarni separator	Udarni separator
talasast (wavy flow)	Udarni separator	Udarni separator sa odvajačem kapi ili ciklonski separator
jastučast (slug/plug flow)	-	Udarni separator sa odvajačem kapi ili ciklonski separator
prstenast (annular flow)	-	Udarni separator sa odvajačem kapi ili ciklonski separator

Kada se govori o najčešće primenjivanim tipovima priključaka i tipovima odbojnih elemenata kod udarnih separatora preporuke su date u tabeli 3 [1].

Tabela 3. -

Tip priključka i odbojnog elementa	Preporuka
centralni priključak sa odbojnom pregradom	za vertikalne separatore
centralni priključak sa poluotvorenom cevi	za vertikalne separatore
centralni priključak sa cevnom lukom (kolenom) 90°	za horizontalne separatore
tangencijalni priključak sa anularnim prstenom	za vertikalne separatore pri većim protocima tečne faze

Prečnik ulaznog priključka se bira prema kriterijumu kinetičke energije i ukoliko nema nikakvog odbojnog uređaja mora biti ispunjeno $\rho_m \cdot w_m^2 < 1000 \text{ kg}/(\text{m} \cdot \text{s}^2)$, dok je u ostalim slučajevima $\rho_m \cdot w_m^2 < 1500 \text{ kg}/(\text{m} \cdot \text{s}^2)$, gde su:

- ρ_m , kg/m^3 , prividna gustina mešavine na ulazu
- w_m , m/s , prividna brzina mešavine na ulazu

Prečnik izlaznog priključka za gas treba da obezbedi $\rho_G \cdot w_G^2 < 3750 \text{ kg}/(\text{m} \cdot \text{s}^2)$, gde su:

- ρ_G , kg/m^3 , gustina gasa na izlazu
- w_G , m/s , gustina gasa na izlazu

Prečnik izlaznog priključka za tečnost se obično bira prema preporučenoj brzini tečnosti od $w_L = 0,2 \div 0,4 \text{ m}/\text{s}$, pri čemu maksimalna brzina tečnosti ne treba da bude veća od $w_L = 1 \text{ m}/\text{s}$.

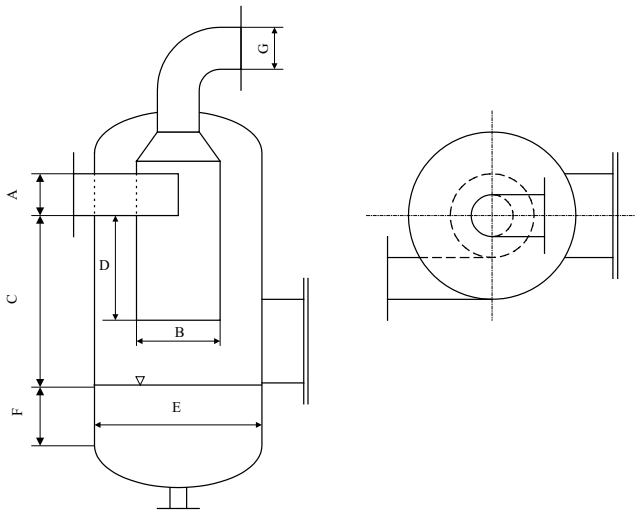
Dimenzije revizionog otvora se kreću u opsegu od DN 450 do DN 750, a najčešće DN 600. Radi manjeg uticaja revizionog otvora na debljinu zida aparata maksimalni prečnik revizionog otvora treba da iznosi pola prečnika aparata. Kod aparata malog prečnika moguće je gornje dance povezati sa aparatom pomoću prirubnice, pa revizionni otvor nije potreban, i tada se obezbeđuje samo otvor za inspekciju prečnika DN 200.

Prečnici priključaka za odzračivanje i pražnjenje se biraju prema tabeli 4.

Tabela 4. Prečnici priključaka uza odzračivanje i pražnjenje

Zapremina aparata, m^3	Odzraka, DN	Pražnjenje, DN
do 17	50	50
17 ÷ 200	65	80
200 ÷ 400	80	100
400 ÷ 700	100	150
više od 700	150	200

Na slici 4 prikazan je separator sa tangencijalnim priključkom i anularnim prstenom sa oznakama geometrijskih karakteristika za koje su date preporuke u tabeli 5.



Slika 4: Separator sa tangencijalnim priključkom i anularnim prstenom [2]

Tabela 5. Dimenzije separatora sa tangencijalnim priključkom i anularnim prstenom [2]

A, mm	B, mm	C, mm	D, mm	E, mm
75	150	950	550	750
100	200	950	550	750
150	300	950	550	750
200	450	1050	650	900
250	600	1350	900	1200
350	700	1700	1125	1500
400	750	1900	1250	1650
450	900	2000	1350	1800
500	1050	2350	1575	2100
600	1200	2700	1800	2400

[1] Genić, S.: Materijal sa predavanja na predmetu Aparati i mašine u procesnoj industriji, predavanja na Modulu za procesnu tehniku i zaštitu životne sredine, Mašinskog fakulteta u Beogradu

[2] Walas, S.M., Chemical Process Equipment – Selection and Design, Butterworth-Heinemann Series in Chemical Engineering, 1990



SMEITS



Bilten