



PRORAČUN DVOFAZNOG SEPARATORA U OKVIRU SABIRNO-OTPREMNE
NAFTNE STANICE "IDOŠ"

CALCULATION OF THE TWO-PHASE SEPARATOR WITHIN THE CRUDE OIL
GATHERING AND DISPATCHING STATION "IDOŠ"

Radovan Ratković, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad

Oblast – MAŠINSTVO

Kratak sadržaj – Predmet rada je proračun dvofaznog sabirnika-separatora (nafta/ voda) u okviru sabirne naftne stanice „Idoš“.

U radu je dat kratak opis sabirne stanice „Idoš“, navedena je najvažnija oprema stanice i izvršeno je dimenzionisanje dvofaznog separatora. U radu je ispraćena zakonska regulativa Republike Srbije iz oblasti rudarstva i prerade i transporta ugljovodonika.

Ključne reči: separatori, nafta, sabirna stanica.

Abstract-The subject of the work is the calculation of the two-phase collector-separator (oil/water) within the crude oil gathering and dispatching station "Idoš". The paper gives a brief description of the gathering and dispatching station "Idoš", the critical equipment of the station is listed and the sizing of the two-phase separator is carried out. The legal regulations of the Republic of Serbia in the field of mining and processing and transportation of hydrocarbons are presented in the paper.

Key words: separators, crude oil, gathering station

1. UVOD

Sabirno otpremna stanica „Idoš“ je centralno postrojenje za prihvat i primarnu preradu nafte koje pokriva eksploataciono polje „Idoš“. Eksploataciono polje „Idoš“ je do maja 2018. g. imalo osam pozitivnih bušotina, a trenutno se očekuje priključenje nekoliko novih bušotina. Sirova nafta se od bušotina do sabirno-otpremnice transportuje cjevovodima. Sama sabirno-otpremnica stanica opremljena je kompletnom opremom za primarnu pripremu nafte za transport.

Tehnologija prerade je prilagođena konkretnom tipu sirove nafte. Prerađena nafta se privremeno skladišti u rezervoarima, koji su sastavni dio postrojenja. Iz rezervoara se nafta transportuje autocisternama do eksploatacionog polja „Turija“ odakle se dalje transportuje do naftnog skladišta u Novom Sadu, a potom naftovodom do rafinerije Pančevo na finalnu preradu. Sabirna naftna stanica Idoš nalazi se na prostoru sjevernog Banata i u vlasništvu je „NIS a.d.“

NAPOMENA:

Ovaj rad je proistekao iz master rada čiji je mentor bio prof. dr Slobodan Tašin.

U okviru rada data je tehnološka šema sabirno-otpremnice stanice „Idoš“ i opisani su tokovi fluida od bušotina do rezervoara za naftu. Date su teorijske osnove za proračun dvofaznog vertikalnog separatora kao glavne procesne opreme za pripremu nafte za transport. Prikazane su teorijske osnove proračuna dvofaznog separatora kao i sam proračun dvofaznog vertikalnog separatora. Ostala oprema u sklopu sabirno-otpremnice stanice je detaljno opisana i date su njene osnovne tehničke karakteristike.

2. TEORIJSKE OSNOVE

Sabirno-transportni sistem čine podzemne instalacije, te objekti i uređaji od glave bušotine do otpremne stanice odnosno rafinerije.

Osnovne funkcije nekog sabirno-transportnog sistema za naftu su:

- prikupljanje nafte,
- priprema nafte za transport,
- transport nafte do otpremne stanice odnosno rafinerije.

2.1 Prikupljanje nafte

Prikupljanje, kao jedna od osnovnih funkcija sabirno-transportnog sistema, podrazumijeva transport bušotinskog fluida iz pojedinačnih bušotina do zajedničke lokacije gdje se obavlja priprema za transport. Bušotinski fluid se transportuje ili pojedinačnim naftovodima ili kolektorskim sistemima cjevovoda, što zavisi od mnogo faktora kao što su veličina ležišta, morfologija terena, raspored i broj bušotina te pritisak na glavama bušotina. Smješa nafte i gasa dobijena iz bušotina usmjerava se u mjerne ili sabirne stanice na kojima se vrši odvajanje gasne i tečne faze, mjerenje dobijenih količina nafte i naftnog gasa i skladištenje nafte ako se radi o sabirnoj stanici. [1]

Postoje tri sistema prikupljanja smjese nafte i gasa:

- pojedinačni sistem,
- sistem odvojenih cjevovoda sa više mjernih ili sabirnih stanica i
- zbirni sistem.

Karakteristika pojedinačnog sistema je separacija i mjerenje dobijenih količina nafte i gasa na svakoj bušotini. Sistem se primjenjuje samo u slučaju velikog kapaciteta (davanja) bušotina što opravdava ekonomske troškove. Drugi sistem uključuje više sabirnih ili mjernih stanica pri čemu je svaka bušotina vezana za odgovarajuću sabirnu ili mjernu stanicu

zasebnim cjevovodom. Ovaj sistem naziva se i sistem odvojenih cjevovoda.

Treći sistem prikupljanja podrazumijeva dopremanje smjese nafte i naftnog gasa iz svake bušotine kratkim cjevovodom do zajedničkog cjevovoda (kolektorski cjevovod) kojim se ukupno dobijena količina iz svih bušotina otprema do centralnog sabirnog mjesta. Ovakav sistem pogodan je ukoliko su ostvareni visoki pritisci na glavama bušotina te kada ne postoji ekonomsko opravdanje za korišćenje sistema koji spada u drugu grupu sistema sabiranja.

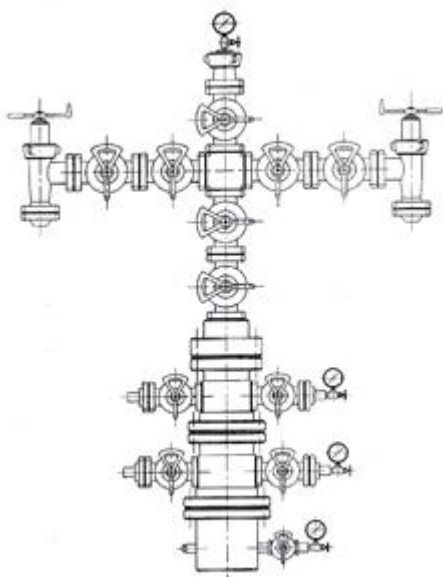
2.2 Transport nafte

Transport nafte podijeljen je na unutrašnji transport, koji obuhvata fazu prikupljanja i pripreme nafte, te magistralni transport, utvrđen kao transport nafte od otpremnih stanica do centralne otpremne stanice. Završnu fazu transporta predstavlja transport iz otpremnih stanica do rafinerija.

3. DIJELOVI TEHNOLOGIJE ZA PROIZVODNJU NAFTE

3.1 Erupcioni uređaj

Erupcioni uređaj je dio opreme na ustima bušotine pomoću kog se vrši eksploatacija bušotinskog fluida i koji omogućavaju održavanje pritiska u bušotini. Zahvaljujući erupcionom uređaju omogućena je direktna i obratna cirkulacija fluida u bušotini.



Slika 1. Erupcioni uređaj

Konstrukcija erupcionog uređaja bazira se na istim principima pa ne postoji neka bitna razlika između uređaja različitih proizvođača. Kod izbora erupcionog uređaja mora se voditi računa o očekivanom pritisku na datoj bušotini, isto tako treba imati u vidu karakter erupcije i količinu pijeska koji dolazi sa fluidom.

3.2 Separatori

Separatori su čelične posude pod pritiskom. Mogu biti smješteni na bušotini, mjerne ili sabirnoj stanici gdje se vrši prihvat i obrada smjese s obližnjih proizvodnih bušotina. Njihov je glavni zadatak razdvajanje fluida na gasnu i tečnu fazu. Tip separatora koji će se koristiti zavisi najprije o svojstvima i količini fluida, te radnom pritisku. U postupku

odabira separatora treba uzeti u obzir i buduće promjene svojstava proizvedenog fluida, da bi se u kasnijoj fazi proizvodnje izbjegli problemi u radu separatora i mogući dodatni troškovi. Zapjenjenost i korozivnost smjese koja ulazi u separator, tip proticanja i sadržaj pijeska takođe su parametri koji u određenoj mjeri određuju tip separatora ili elemente koji se u njega ugrađuju. [1]

Bez obzira na izgled, tip ili konstrukciju, svi bi separatori trebali omogućavati sljedeće:

- zadržavanje tečnosti radi postizanja fazne ravnoteže (od 3 do 30 minuta);
- visoki stepen iskorišćenja separacije;
- neprekidnost i pouzdanost procesa;
- dovoljnu propusnu moć, tako da na postrojenju ne dolazi do stvaranja „uskog grla“;
- jednostavnu implementaciju automatske regulacije procesa;
- jednostavno održavanje i mogućnost naknadne ugradnje ili izmjene elemenata unutar separatora.

4. OPIS SABIRNO-OTPREMNE STANICE „IDOŠ“

Povezivanje bušotina sa sabirno-otpremnom stanicom Idoš (SOS Idoš) će se izvršiti čeličnim podzemnim cjevovodima DN 65. Na glavi svake bušotine predviđeno je postavljanje stabilne dizne (konstantnog protočnog presjeka) za regulaciju protoka pri eruptivnoj proizvodnji. Bušotinski cjevovodi će u krugu SOS Idoš nakon izlaska iz zemlje biti priključeni na ulazne priključke automatskog mjernog uređaja (AMU) u kojem će se vršiti mjerenje proizvodnje gasa, nafte i slojne vode pojedinačnih bušotina. Predviđena je ugradnja AMU-a sa 14 ulaznih priključaka. Radni pritisak AMU-a kreće se u rasponu od 2 bar do 5 bar. Pritisak na početku bušotinskog cjevovoda određen je pritiskom u separatorskom sistemu SOS Idoš i padom pritiska pri sabiranju fluida koji je uslovljen karakteristikama sabirnog sistema, karakteristikama i protokom faza bušotinskog fluida.

Imajući u vidu geološka svojstva nafte, posebno visoku temperaturu tečenja (prosječna vrednost 27 °C), kao i niske brzine proticanja, protočnost bušotinskih cjevovoda biće obezbijedena:

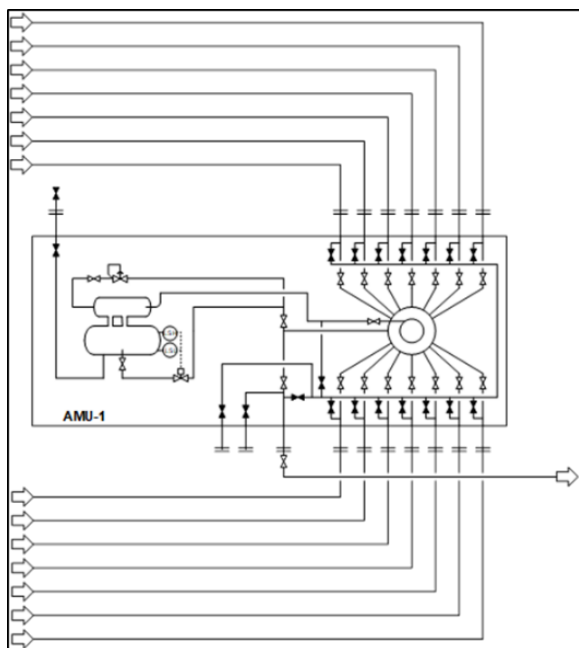
- ugradnjom elektrootpornog grijača nominalne snage 7,5 kW na nadzemnom dijelu svih cjevovoda na lokaciji bušotina,
- toplovodnim grijanjem bušotinskih cjevovoda,
- čišćenjem cjevovoda mehaničkim čistačima,
- termoizolacijom podzemnih i nadzemnih dijelova cjevovoda (nadzemni dijelovi bušotinskog cjevovoda izolovani su slojem mineralne vune debljine 40 mm a podzemni dijelovi cjevovoda izolovani su slojem poliuretanske pjene debljine 60 mm),
- ugradnjom priključaka za ispiranje cjevovoda u slučaju nepredviđenog prestanka proizvodnje.

Parametri transporta fluida od erupcionog uređaja do tačke priključenja na AMU pratiće se preko:

- lokalnog manometra i termoindikatora između erupcionog zasuna i regulacione dizne,
- transmitera pritiska ispred otpremne čistačke slavine,
- lokalnog manometra između otpremne čistačke slavine i elektrootpornog grijača,

- lokalnog termoindikatora posle elektrootpornog zagrijača i
- lokalnog manometra i termoindikatora ispred tačke priključenja na AMU.

AMU-1 predstavlja automatski mjerni uređaj protočnog tipa koji funkcionalno zamjenjuje kolektorski i mjerni separatorski sistem. Uređaj je predviđen za sabiranje, mjerenje i daljinsko praćenje proizvodnje bušotinskog fluida. Jedan uređaj čine blokovi tehnologije i automatike, smješteni u zasebne kontejnere. Šema automatskog mjernog uređaja prikazana je na slici 3.



Slika 2. Tipska tehnološka šema AMU-a

5. PRORAČUN SEPARATORA

5.1 Teorijske osnove separacije nafte i gasa separatora i dimenzionisanje separatora

Struja fluida po ulasku u separator se grubo razdvaja na tečnu i gasnu fazu pri čemu, uslijed razlika u gustini, tečna faza ide u donji dio separatora, a gas u gornji dio. U gornjem dijelu separatora – gasnom dijelu – nalazi se gas u kome su zaostale čestice tečne faze koje podliježu gravitacionom izdvajanju, taloženju.

Na tečnu kapljicu sfernog oblika unutar gasne faze (u gornjem dijelu separatora) djeluje sila težine $F_g = m \cdot g$, uslijed čega se kapljica kreće na dole i sila otpora gasa kretanju kapljice, F_D . Ova sila ima suprotan smjer od sile težine. Sila otpora, F_D , zavisi od brzine kretanja kapljice, poprečne površine kapljice (površine upravne na smjer kretanja) i od gustine gasa.

$$F_D = \frac{C_D \cdot A \cdot \rho_g \cdot v_c^2}{2} \quad (1)$$

gdje su:

- F_D - sila otpora
- C_D - koeficijent otpora
- ρ_g - gustina gasne faze kg/m^3
- v_c - brzina taloženja, m/s

A - površina poprečnog presjeka kapljice, m^2 .

U momentu kada se sila težine i sila otpora izjednače, kapljica dobija konstantnu brzinu kretanja koju nazivamo brzina taloženja.

Razlikujemo taloženje sitnih i krupnih čestica. Taloženje sitnih čestica podleže Stoksovom zakonu. To su čestice veličine 3 do 100 μm . U uslovima kada imamo ovu veličinu tečnih kapljica i kada je strujanje gasa oko kapljice laminarno, $Re_g < 1$ onda je koeficijent otpora $C_D = 24/Re_g$ pa sila otpora ima oblik [1]:

$$F_D = \frac{24}{Re_g} \cdot A \cdot \rho_g \cdot v_c^2 = 3 \cdot \pi \cdot \mu_g \cdot v_c \cdot D \quad (2)$$

Pošto je $v_c = v_g$

Ako silu otpora F_D , izjednačimo sa silom teže F_g , pri čemu je masa sferične kapljice $m = V \rho_c$, a zapremina $V = D^3 \pi / 6$ i uz uzimanje u obzir Arhimedovog zakona jer je tečna kapljica gustine ρ_l u gasu gustine ρ_g , onda je

$$F_D = (D^3 \pi / 6) (\rho_l - \rho_g) g. \quad (3)$$

Izjednačavanjem jednakosti (2) i (3) dobija se izraz za za brzinu taloženja po Stoksovom zakonu:

$$v_c = \frac{D^2 \cdot g (\rho_l - \rho_g)}{18 \cdot \mu_g} \quad (4)$$

gdje su:

- μ_g - viskoznost gasa, Pas
- D - prečnik kapljice, m
- g - gravitaciono ubrzanje $g = 9,81 \text{ m/s}^2$
- ρ_l - gustina tečne faze, kg/m^3
- ρ_g - gustina gasa, kg/m^3
- v_c - brzina taloženja, m/s .

U uslovima kada je veličina kapljice veća od 800 μm , u automodelnoj oblasti $1000 < Re < 200.000$, koeficijent otpora iznosi $C_D = 0,44$ a brzina taloženja podliježe Njutnovom zakonu [2]

$$v_c = 1,74 \sqrt{\frac{D \cdot g (\rho_l - \rho_g)}{\rho_g}} \quad (5)$$

Kada se krupnije čestice kreću laminarno, onda je koeficijent otpora $C_D = 18,5/Re_g^{0,6}$.

Ukoliko se taloženje obavlja po Stoksovom zakonu, ali pod dejstvom centrifugalne sile, onda je brzina taloženja jednaka:

$$v_c = \frac{D^2 \cdot a (\rho_l - \rho_g)}{18 \cdot \mu_g} \quad (6)$$

gdje je „ a “ ubrzanje izazvano centrifugalnom silom.

Kapljice koje treba da se izdvoje u separatoru iz gasne struje podliježu Stoksovom zakonu. Iz ove jednačine dobijamo brzinu taloženja tečnih kapljica u gasnoj struji, pri

čemu brzina gasa treba da bude nešto malo ispod brzine taloženja, mada se u proračunima uzima da su jednake. U [3] daje se kao osnova za projektovanje modifikacija kod koje koeficijent otpora, C_D , ima sledeću vrijednost:

$$C_D = \frac{24}{Re} + \frac{3}{\sqrt{Re}} + 0,34 \quad (7)$$

pa jednačina za brzinu taloženja kapljica dobija oblik:

$$v_c = 0,0036271 \left[\left(\frac{\rho_l - \rho_g}{\rho_g} \right) \frac{d_m}{C_D} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (8)$$

gdje su:

d_m - prečnik kapljice

C_D - koeficijent otpora

ρ_g - gustina gasa, kg/m³

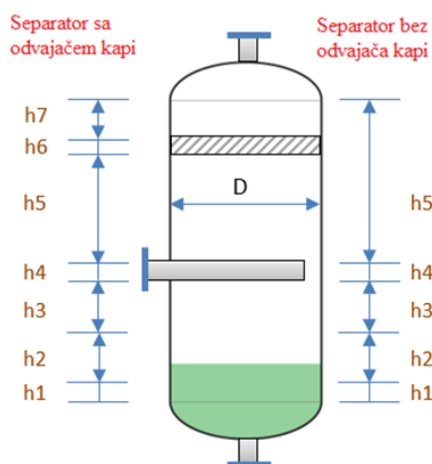
ρ_l - gustina tečne faze, kg/m³.

5.2 Dimenzionisanje vertikalnog trofaznog separatora na sabirnoj otpremnoj stanici „Iđoš“

U nastavku na slici 3 su prikazani tabelarni rezultati proračuna vertikalnog dvofaznog separatora za sabirno-otpremnju stanicu „Iđoš“, kao i pozicije pojedinih dimenzija.

ULAZNI PODACI/INPUT			
Protok pare	415,29 Kg/h	Radni pritisak	2 bar
Gustina pare	2,7 Kg/m ³	Kriterijum K vrijednosti	Without Mesi Pad
Protok tečnosti	11254,8 Kg/h	Izračunata K vrijednost	0,053 m/s
Gustina tečnosti	914,8 Kg/m ³	Izračunati prečnik	1100 mm
Vrijeme zadržavanja tečnosti	3 min	Pretpostavljeni prečnik	1200 mm
Kapacitet	0,9 m ³		
L/D maksimum	3		

KONAČNE DIMENZIJE SEPARATORA/SEPARATOR SIZING SUMMARY			
Tip	Bez odvajача kapi		
D	Prečnik separatora		1200 mm
L	Dužina separatora		3000 mm
h1	Nizak nivo tečnosti do dna T/L		150 mm
h2	Raspon nivoa		950 mm
h3	Visoki nivo tečnosti do ulazne mlaznice		768 mm
h4	Prečnik ulazne mlaznice		114 mm
h5	Od ulazne mlaznice do vrha separatora T/L		1075 mm
L/D			2,5



Slika 3. Dimenzije vertikalnog dvofaznog separatora

6. ZAKLJUČAK

U okviru ovog rada dat je kratak pregled osnovnih dijelova sabirnih stanica za naftu, kao i teorijske osnove proračuna dimenzija dvofaznih separatora za naftu.

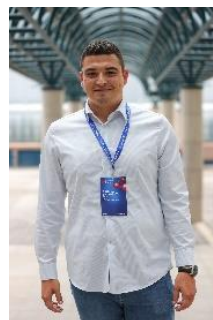
Iz bušotina na naftnom polju bušotinski fluid se transportuje prvo do izmjenjivača toplote, gdje mu se povećava temperatura iznad temperature tečenja. Potom se tako zagrejan fluid transportuje do separatora gdje se vrši separacija na gasnu i tečnu fazu (naftu). Gasna faza jednim dijelom ide do kotlarnice sa gasnim kotlom. Izdvojena tečna faza iz separatora se transportuje do rezervoara, gdje se skladišti do utkanja u autocisternu.

Konstrukcija i dimenzije separatora zavise od vrste i protoka bušotinskog fluida, pritiska, temperature i brzine taloženja kapljica. U radu su date teorijske osnove proračuna i prikazan je proračun osnovnih dimenzija dvofaznog vertikalnog separatora za konkretan fluid koji se eksploatiše sa naftnog polja „Iđoš“.

7. LITERATURA

1. Prstojević, B. (2012). Priprema nafte, gasa i ležištnih voda. Rudarsko-geološki fakultet Univerziteta u Beogradu.
2. Zelić, M. (1987). Tehnologija sabiranja i pripreme nafte i plina za transport. INA- Naftaplin, Zagreb.
3. Nedeljković, V. (1965) Eksploatacija naftnih i gasnih ležišta, Deo I - Tehnologija ležišta i proizvodnje, Naftagas, Novi Sad.
4. Nedeljković, V. (1965) Eksploatacija naftnih i gasnih ležišta, Deo II - Metode eksploatacije, Naftagas, Novi Sad.

Kratka biografija:



Radovan Ratković rođen je u Trebinju 1995. god. Osnovne studije iz oblasti Mašinstva završio je na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu 2020. god. Master rad iz oblasti mašinstva odbranio je na istom fakultetu 2024. god.