

Radoslav D. Mičić

Osnove tehnologije i tehnološki  
kompleksi (koji su uključeni u struku)



Radoslav D. Mičić

# Osnove tehnologije i tehnološki kompleksi (koji su uključeni u struku)

Industrijsko inženjerstvo u eksploataciji nafte i gasa

Univerzitet u Novom Sadu  
Технички факултет "Михајло Пупин"  
Zrenjanin  
2019

---

## Osnove tehnologije i tehnološki kompleksi (koji su uključeni u struku)

### Autor:

Docent dr Radoslav D. Mičić

### Redaktori:

Prof. dr Zvonimir Bošković

Prof. dr Zvonimir Sajfert

### Izdavač:

Tehnički fakultet „Mihajlo Pupin”, Zrenjanin

### Za izdavača:

Prof. dr Dragica Radosav, dekan Tehničkog fakulteta „Mihajlo Pupin”, Zrenjanin

CIP - Katalogizacija u publikaciji Biblioteke Matice srpske, Novi Sad

MIČIĆ, Radoslav, 1955- MIČIĆ, Radoslav, 1955- Osnove tehnologije i tehnološki kompleksi (koji su uključeni u struku: industrijsko inženjerstvo u eksploataciji nafte i gasa / Radoslav D. Mičić. - Zrenjanin : Tehnički fakultet "Mihajlo Pupin", 2019 (Novi Sad : NS Bigiprint). - 259 str. : ilustr. 107; 24 cm. - (Biblioteka Udžbenici / Tehnički fakultet "Mihajlo Pupin", Zrenjanin ; 233)

Tiraž 30. - Bibliografija.

ISBN

a) Nafta -- Eksploatacija -- Kompleksi b) Gas -- Eksploatacija -- Kompleksi

COBISS. SR -ID

## Sadržaj:

---

<b>1. Uvod .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. Iz istorije nafte i prirodnog gasa .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2. Svetske rezerve nafte i gasa .....</b>	<b>2</b>
1.2.1. Svetske rezerve, potrošnja i eksploatacija nafte .....	2
<b>1.3. Naftno-gasna ležišta .....</b>	<b>3</b>
<b>2. Prirodne bitumije .....</b>	<b>4</b>
<b>2.1. Klasifikacija kaustobiolita i bitumija .....</b>	<b>5</b>
<b>2.2. Petrobitumije .....</b>	<b>6</b>
<b>3. Tečne petrobitumije-nafta .....</b>	<b>7</b>
<b>3.1. Sastav i fizičke karakteristike nafte.....</b>	<b>7</b>
3.1.1. Sastav.....	7
3.1.1.1. Parafini.....	7
3.1.1.2. Cikloparafini .....	8
3.1.1.3. Aromati .....	8
3.1.1.4. Hibridni ugljovodonici .....	9
3.1.1.5. Heteroatomska jedinjenja.....	9
3.1.1.6. Sumporna jedinjenja.....	10
3.1.1.7. Azotna jedinjenja .....	10
3.1.1.8. Jedinjenja kiseonika.....	11
3.1.1.9. Metali.....	11
<b>3.2. Fizičke karakteristike nafte.....</b>	<b>13</b>
3.2.1. Površinski napon .....	13
3.2.2. Gustina.....	13
3.2.3. Viskozitet .....	15
3.2.3.1. Viskozitet nafte.....	21
3.2.4. Klasifikacija fluida na njutnovske i nenjutnovske fluide.....	21
3.2.5. Isplake.....	23
3.2.5.1. Viskozitet isplake .....	24
3.2.6. Stišljivost nafte .....	25
3.2.7. Toplotne karakteristike.....	26
a. Tačka zamućenja.....	26
b. Tačka tečenja (ili stinjanja).....	26
c. Tačka smrzavanja .....	26
d. Filtrabilnost .....	26
a. Toplotna vrednost, toplotna moć, toplota .....	26
b. Isparljivost .....	27
c. Tačka paljenja .....	27
d. Tačka gorenja .....	27
3.2.8. Destilacija.....	27
3.2.9. Anilinska tačka .....	27

3.2.10. Dielektrična svojstva nafte.....	28
3.2.11. Optička svojstva .....	28
a. Indeks refrakcije.....	28
b. Refrakcijska disperzija.....	28
c. Specifična refrakcija .....	28
<b>3.3. Klasifikacija i karakterizacija nafte.....</b>	<b>29</b>
3.3.1. Razlike u osobinama nafte u okviru naftnog sloja .....	29
3.3.2. Empirijska karakterizacija nafte.....	29
a. Karakterizacioni broj (K) .....	29
b. Indeks korelacije (Ik) .....	30
3.3.3. Strukturno-grupna analiza .....	30
3.3.4. Podela nafte na osnovu grupnog sastava .....	30
<b>3.4. Svetske rezerve, potrošnja i eksploatacija nafte.....</b>	<b>30</b>
<b>4. Sastav i fizičko hemijske karakteristike slojne vode .....</b>	<b>44</b>
<b>4.1. Fizičko-hemijske karakteristike slojne vode.....</b>	<b>45</b>
4.1.1. Gustina slojne vode .....	47
4.1.2. Viskozitet slojne vode.....	47
4.1.3. Koeficient toplotne ekspanzije.....	48
4.1.4. Faktor kompresibilnosti .....	48
4.1.5. Zapreminski koeficient.....	48
4.1.6. Soli slojnih voda-elektroliti.....	48
4.1.7. Koeficient rastvorljivosti .....	49
<b>5. Gasovite petrobitumije-gasovi .....</b>	<b>50</b>
<b>5.1. Sastav i fizička svojstva gasa.....</b>	<b>50</b>
<b>5.2. Prednosti i nedostaci naftnih gasova .....</b>	<b>51</b>
<b>5.3. Poreklo, geneza i tipovi ležišta PNG.....</b>	<b>51</b>
<b>5.4. Klasifikacija ležišta prirodnog naftnog gasa .....</b>	<b>52</b>
<b>5.5. Sastav i fizičko hemijska svojstva prirodnih gasova .....</b>	<b>53</b>
<b>5.6. Terminologija .....</b>	<b>54</b>
<b>5.7. Osobine prirodnih naftnih gasova .....</b>	<b>55</b>
<b>5.8. Ugljovodonici u prirodnim naftnim gasovima.....</b>	<b>55</b>
<b>5.9. Neugljovodonici u prirodnim naftnim gasovima.....</b>	<b>56</b>
<b>5.10. Hemijski sastav PNG iz gasno-kondenzatnih ležišta.....</b>	<b>57</b>
<b>5.11. Hemijski sastav kaptažnih naftnih gasova .....</b>	<b>57</b>
<b>5.12. Poreklo i osobine neugljovodonika u PNG.....</b>	<b>57</b>
<b>5.13. Svetske rezerve, potrošnja i eksploatacija gasa .....</b>	<b>60</b>
5.13.1. Lokacije super gigantskih gasnih polia.....	64
5.13.2. Države i regije sa najvećim rezervama gasa u periodu 1982/1992.....	65
5.13.3. Prognoze za otkrivanje novih rezervi PNG .....	65
5.13.4. Tokovi proizvodnje PNG u svetu.....	65
<b>6. Teorijski uvod vezan fenomene gasnih i tečnih ugljovodonika .....</b>	<b>70</b>
<b>6.1. Nauka koja se bavi proučavanjem fizičkih promena .....</b>	<b>70</b>

6.2. Osnovi tehnologije-prirodni zakoni .....	74
6.3. Osnovni pojmovi mehanike .....	77
7. Njutnovi zakoni .....	77
8. Dimenzije i merne jedinice.....	79
8.1. Dimenzije .....	79
8.2. Merne jedinice .....	79
8.2.1.1. Internacionalni sistem (SI).....	79
8.2.1.2. Osnovne i izvedene jedinice.....	80
8.2.1.3. Dopunske merne jedinice .....	81
9. Zakonitosti i jednačine koje određuju karakteristike idealnih gasova .....	85
9.1. Boyleov zakon .....	85
9.2. Charles-ov zakon .....	86
9.3. Gay-Lussacov - Amontonov zakon .....	86
9.4. Avogadrov zakon.....	87
9.5. Zakon idealnog gasa, kombinovana jednačina.....	88
9.6. Jednačina idealnog gasnog stanja.....	88
9.7. Opšta i individualna gasna konstanta .....	89
10. Gasne smeše, Molarna masa, molarna zapremina, Avogadrov broj .....	96
10.1. Daltonov zakon za gasne smeše .....	98
10.2. Amagatov zakon za gasne smeše.....	99
11. Fizičke-hemijske osobine prirodnih naftnih gasova .....	105
11.1. Gustina naftnih gasova.....	105
11.2. Viskoznost naftnih gasova.....	108
11.3. Toplota sagorevanja:.....	108
11.4. Vlažnost prirodnih naftnih gasova.....	109
11.5. Tačka rose .....	109
11.6. Vlažnost naftnih gasova .....	109
11.7. Rastvorljivost gasa u nafti i vodi.....	110
11.8. Koeficijent degazacije.....	111
11.9. Pritisak zasićenje naftnog gasa.....	112
12. Realan gas .....	122
12.1. Korekcije za realne gasove .....	122
12.2. Van der Waalsova jednačina stanja.....	122
12.3. Faktor kompresibilnosti .....	122
12.4. Jednačina stanja realnog gasa (JS, engl. compressibility real gas equation).....	123
12.5. Zakon (načelo) korespondentnih stanja (ZKS) .....	124
12.6. Kritični parametri naftnih gasova .....	125
12.7. Generalizovana korelacija za određivanje Z-faktora smese .....	126
12.8. Primena faktora kompresibilnosti .....	128
12.8.1. Zapreminski koeficijent.....	128
12.8.2. Zapreminski faktor realnog gasa (Bg). .....	128
13. Mehanika fluida .....	139

13.1. Pojam i priroda fluida.....	139
<b>14. Statika fluida.....</b>	<b>140</b>
14.1. Masene i površinske sile .....	140
14.2. Hidrostatički pritisak .....	140
14.3. Ojlerove diferencijalne jednačine ravnoteže .....	141
14.4. Bilans sila za ukupnu zapreminu.....	142
14.5. Paskalov zakon.....	143
14.6. Sile hidrostatičkog pritiska .....	143
14.7. Hidrostatička sila na dno posude.....	144
<b>15. Hidrodinamika fluida. Zakon kontinuiteta .....</b>	<b>151</b>
15.1. Režimi strujanja fluida.....	152
15.2. Ekvivalentni prečnik međucevnog prostora.....	155
15.3. Strujanje kroz cevne vodove .....	156
15.4. Bernulijeva teorema.....	157
15.5. Primena Bernulijeve teoreme na strujanje idealnih i realnih fluida .....	157
15.6. Primena Bernulijeve teoreme na gasove.....	162
<b>16. Primena Bernulijeve jednačine na merenje brzine strujanja .....</b>	<b>178</b>
16.1. Direktna merenja .....	178
16.2. Dinamička merenja .....	178
<b>17. Bušenje.....</b>	<b>188</b>
<b>18. Osnovne postavke i delovi postrojenja za bušenje .....</b>	<b>191</b>
18.1. Tehnološki proces bušenja .....	191
18.2. Podela bušaćih postrojenja .....	192
18.3. Delovi bušaćih postrojenja .....	193
18.3.1. Rotaciona dleta .....	193
18.3.1.1. Opterećenje na dleto .....	195
18.3.1.2. Uklanjanje razrušenih čestica (reznica) .....	195
18.3.2. Toranj .....	195
18.3.3. Pogonski sastav .....	196
18.3.3.1. Pogonski motori –.....	196
18.3.3.2. Prenosnici.....	197
18.3.4. Sistem za manipulaciju alatima .....	198
18.3.4.1. Dizalica .....	198
18.3.4.2. Sistem koturača .....	199
18.3.4.3. Bušaće uže.....	200
18.3.4.4. Sistem bušaćih alatki.....	201
18.3.4.5. Isplačna glava .....	201
18.3.4.6. Radna šipka i rotacioni sto .....	201
18.3.4.7. Bušaće alatke.....	203
18.3.5. Sistem za ispiranje.....	204
18.3.5.1. Fluid za ispiranje (isplaka) .....	204
18.3.5.2. Bazeni i isplačne sisaljke.....	205

18.3.5.3. Vibraciona sita .....	205
18.3.6. Sistem za kontrolu ušća bušotine.....	206
18.3.6.1. Preventerski sistem .....	206
18.3.6.2. “ Koomey” uređaj .....	207
18.3.6.3. Podesiva mlaznica (Choke).....	207
18.3.6.4. Odvajači gasa.....	208
18.3.7. Pomoćna sredstva .....	208
<b>19. Priprema nafte i gasa za transport.....</b>	<b>210</b>
19.1. Fazni dijagram.....	210
<b>20. Priprema nafte za transport.....</b>	<b>213</b>
20.1. Analize koje se rade kod nafte i proizvoda za isporuku .....	213
20.2. Oprema koja se koristi za dobijanje deklarisanog kvaliteta .....	214
20.3. Tehnološka šema procesa sabiranja i primarne obrade nafte i gasa .....	215
20.4. Izdvajanje vode iz nafte.....	216
20.5. Odsoljavanje nafte .....	216
20.6. Uređaji za izdvajanje nafte iz ležišne vode .....	216
20.7. Separatori .....	217
20.7.1. Princip rada separatora .....	217
20.8. Osnovni delovi vertikalnog separatora .....	219
20.8.1. Različiti tipovi separatora, po nameni .....	220
<b>21. Priprema prirodnog gasa za transport .....</b>	<b>221</b>
21.1. Industrijski postupci za sušenje prirodnog gasa:.....	222
21.2. Degazolinaža prirodnog gasa - izdvajanje gazolina iz prirodnog gasa. ....	223



## Legenda:

---

%CA, procenat ugljenika u aromatskim strukturama

%CN, procenat ugljenika u naftenskim strukturama

%CP, procenat ugljenika u parafinskim strukturama.

$\alpha$ , koeficijent Joule-Thomson (zavisi od prirode gasa, pritiska, temperature);

$\alpha$ , koeficijent rastvorljivosti gasa;

$\beta$ , koeficijent kompresibilnosti, stišljivosti (ili elastičnosti zapremine),  $\text{GPa}^{-1}$

$\beta_n$ , koeficijent kompresibilnosti, stišljivosti (ili elastičnosti zapremine) nafte,  $\text{GPa}^{-1}$

$\Xi_i$ , ekvivalent i jona

$B_w$ , faktor kompresibilnosti.  $\text{Pa}^{-1}$ , promena zapremine kada se pritisak promeni za jedinicu

$\mu$ , dinamički viskozitet,  $\text{Pa s}$ ,  $\text{Nsm}^{-2}$ ,  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\text{s}^{-1}$

A, površina kontakta sloja tečnosti (gasa), koji se kreću,  $\text{m}^2$

A, površina poprečnog preseka;

CFPP, tačka zagušenja hladnog filtera, filtrabilnost,  $^{\circ}\text{C}$

$C_{H+}$ , koncentracija vodonikovih jona,  $\text{mmol/l}$

CP, tačka zamućenja,  $^{\circ}\text{C}$

d, prečnik;

d, relativna gustina

dv, razlika između brzine koja se kreće sloj tečnosti (gasa).

dy, rastojanje između pokretnih sloj tečnosti (gasa), m

E, koeficijent toplotne ekspanzije, promena zapremine kada promeni temperatura za  $1^{\circ}\text{C}$

$E_h$ , potencijalna energija ( $= F_g \cdot h = m \cdot g \cdot h$  ( $=$ ) J);

F, sila sa kojom se deluje na ploče,  $\text{N} = 1 \text{ kgm/s}^2$

FP, tačka smrzavanja,  $^{\circ}\text{C}$

g, gravitaciono ubrzanje,  $\text{m/s}^2$

GCV, ukupna toplotna vrednost,  $\text{MJ/kg}$ ,  $\text{kJ/kg}$

$g_i$ , maseni udeo frakcije, težinski udeo

H, dubina, m

$H_{\text{tot}}$ , ukupna tvrdoća vode, ( $= H_{\text{carb}} + H_{\text{nocarb}}$ ,  $(\frac{\text{mg}_{\text{ekv}}}{\text{l}})$ ), sadržaj soli u miligramima ekvivalenta po litri:

Ik, indeks korelacije

K, Karakterizacioni broj

K. Henrijeva konstanta Genri ( $K=f(\alpha)$ ).

$k_{\text{dry}}$ , koeficijent suvoće;

$k_{\text{wet}}$ , koeficijent vlažnosti;

M, molekulska masa,  $\text{kg/kmol}$

$m_{v,i}$ , koncentracija jona u vodi ( $\text{mg/l}$ );

N, količina supstance,  $\text{kmol}$ ;

n, indeks refrakcije

$N_A = 6,023 \times 10^{23}$  molekula, Avogadrov broj

NCV, neto toplotna vrednost, MJ/kg, kJ/kg

$n_i$ , kmol, broj molova

$N_i$ , broj molekula (čestica)

P, apsolutni pritisak, Pa;

P, pritisak gasa iznad površine tečnosti; Pa

$P_i$ , parcijalni pritisak i-te komponente u smeši

PP, tačka stinjanja, °C

$Q_n$ , donja toplota sagorevanja, MJ/kg, kJ/kg

$Q_v$ , gornja toplota sagorevanja, MJ/kg, kJ/kg

$Q_v$ , zapreminski protok, m<sup>3</sup>/s

R, univerzalna gasna konstanta, Pa × m<sup>3</sup> / (kmol × stepeni), u SI 8.3145  $\left[ \frac{\text{kPa m}^3}{\text{K kmol}} \right]$

$Re = f(d, v, \rho, \mu)$ , Rejnoldsov broj;

T, apsolutna temperatura, K;

t, vreme, s

V, brzina smicanja, s<sup>-1</sup>

v, specifična zapremina, m<sup>3</sup>/kg.

V, zapremina m<sup>3</sup>;

$V_{deg}$ , zapremina nafte pri atmosferskom pritisku i temperaturi od 20°C posle degazacije, m<sup>3</sup>

$V_g$ , zapremina gasa, rastvorenog na datoj temperaturi; m<sup>3</sup>

$V_i$ , zapreminski udeo frakcija

$V_l$ , zapremina tečnog rastvarača; m<sup>3</sup>

$V_m, v$ , molarna zapremina, 22,4 dm<sup>3</sup>/mol pri 0°C i 101,3 kPa, zapremina 1 mola gasa ili 23.645 m<sup>3</sup>/kgmol pri 15°C, 1.01325 bar

$V_{sl}$ , zapremina nafte na uslovima sloja; m<sup>3</sup>

x, dužina puta u pravcu brzine v, m

Y, rastojanje između ploča, m

$y_i$ , molarni (molski) udeo frakcija

Z, faktor kompresibilnosti gasa

$\gamma$  ili  $\rho^o$ , relativna gustina.

$\Delta$ , pogonska sila (razlika temperature, razlika koncentracije, razlika količine kretanja, ili razlika pritisaka, itd.) između dva mesta na rastojanju l između kojih se vrši transport.

$\epsilon$ , dielektrična konstanta nafte, F/m, As/Vm

$\mu_p$ , plastična viskoznost, Pa s, Nsm<sup>-2</sup>, kg·m<sup>-1</sup>s<sup>-1</sup>

v, kinematski viskozitet, m<sup>2</sup>/s, cSt (1 mm<sup>2</sup>·s<sup>-1</sup> = 10<sup>-6</sup>m<sup>2</sup>·s<sup>-1</sup>)

v, molarna zapremina (=22.414  $\left[ \frac{\text{dm}^3}{1 \text{ g mol}} \right]$  = 22.414  $\left[ \frac{\text{m}^3}{1 \text{ kg mol}} \right]$  pri T=273.15 K i p=1.01325 bar, zapremina 1 mola gasa);

$\rho$ , gustina, g/cm<sup>3</sup>; kg/m<sup>3</sup>.

$\sigma$ , provodljivost, S/m,  $\mu\text{S/cm}$

$\tau$ , smicajno naprezanje, Pa,  $\frac{F^{(N)}}{A \text{ (m}^2\text{)}} = \frac{\text{lb}}{100\text{ft}^2}$

$\tau_0$ , granica tečenja (kritično naprezanje na smicanje), MPa

$\Phi$ , fluidnost,  $\text{m}^2/\text{Ns}$

$\chi$ , koeficient proporcionalnosti

$\phi$ , fluks posmatrane veličine (toplote, mase, količine kretanja itd.), tj. količinu te veličine koja se prenese za jedinicu vremena u površinu kroz jediničnu površinu normalnu na pravac transporta;