

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET
Preddiplomski studij naftnog rudarstva

PREGLED KORELACIJA ZA RAČUNANJE OSNOVNIH
SVOJSTAVA LEŽIŠNIH FLUIDA

Završni rad

Marko Gaćina

N2855

Zagreb, 2011.

PREGLED KORELACIJA ZA RAČUNANJE OSNOVNIH SVOJSTAVA LEŽIŠNIH FLUIDA

Marko Gačina

Završni rad je izrađen: Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet
Zavod za naftno inženjerstvo
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Sažetak

Primjenom VBA računalnog jezika izrađene su korisničke funkcije za MS Excel kako bi se napisao kod za korelacije pVT svojstava – volumne faktore, plinske faktore, tlakove zasićenja, viskoznost nafte i plina te kompresibilnost nafte i vode. Time je omogućeno testiranje korelacija temeljem velikog broja proračuna (testova), tj. velikim brojem izmjena ulaznih parametara. Testiranjem se eliminiralo očito pogrešne korelacije, a zatim se izdvojilo one najpouzdanije. Tako izdvojene korelacije najpovoljnije su za upotrebu u nedostatku izmjerenih podataka i za dalje usporedbe i prilagodbu određenom fluidu za koji postoje izmjereni podaci, ali ne za sve uvjete za koje je potrebno računati.

Ključne riječi: volumni faktor, plinski faktor, viskoznost, izotermalna kompresibilnost fluida, korelacija, VBA, UDF, test osjetljivosti.

Završni rad sadrži: 57 stranica, 0 tablica, 12 slika i 35 referenci.

Jezik izvornika: Hrvatski

Završni rad pohranjen: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta
Pierottijeva 6, Zagreb

Mentor: Dr. sc. Domagoj Vulin, docent RGNf-a

Ocjenjivači: Dr. sc. Domagoj Vulin, docent RGNf-a

Dr. sc. Tomislav Kurevija, docent RGNf-a

Dr. sc. Miroslav Golub, redoviti profesor RGNf-a

Datum obrane: 30. IX. 2011., Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu

Sadržaj

1. Uvod	1
1.1. Zadatak završnog rada	2
1.1.1. Istraživanje literature	2
1.1.2. Izrada funkcija za računanje korelacijama u MS Excelu korištenjem VBA	2
1.2. Metoda testiranja pouzdanosti korelacija.....	3
2. Pregled literature vezano uz korelacije	3
2.1. Korelacije za računanje volumnog faktora nafte, B_o	3
2.1.1. Standingova korelacija (1947)	4
2.1.2. Vasquez i Beggsova korelacija (1980).....	4
2.1.3. Glasøva korelacija (1980)	5
2.1.4. Al-Marhouna korelacija (1988).....	5
2.1.5. Abdul-Majeed i Salmanova korelacija (1988).....	6
2.1.6. Dokla i Osmanova korelacija (1988)	6
2.1.7. Petrosky i Farshadova korelacija (1993).....	7
2.1.8. Farshad, Leblance, Garber i Osoriova korelacija (1992).....	7
2.1.9. Al-Marhounova korelacija (1992).....	7
2.1.10. Omar i Toddova korelacija (1993)	8
2.1.11. Almehaidebova korelacija (1997).....	8
2.1.12. Macary i El-Bataboneyeva korelacija (1992)	9
2.1.13. Kartoatmodjo i Schmidtova korelacija (1994).....	9
2.1.14. Standingova korelacija (1981)	10
2.1.15. Arpova korelacija (1962)	10
2.2. Korelacije za računanje tlaka zasićenja, p_b	10
2.2.1. Standingova korelacija (1947)	10
2.2.2. Vazqueza i Beggsova korelacija (1980).....	11
2.2.3. Glasova korelacija (1980)	11
2.2.4. Al-Marhounova korelacija (1988).....	11
2.2.5. Dokla i Osmanova korelacija (1992)	12
2.2.6. Petrosky i Farshadova korelacija (1992).....	12
2.2.7. Lasaterova korelacija (1958)	13
2.2.8. Omar i Toddova korelacija (1993)	13
2.2.9. Farshad, Leblance, Garber i Osoriova korelacija (1992).....	14

2.2.10. Farshad, Leblance, Garber i Osoriova korelacija (1992).....	14
2.2.11. Macary i El-Batanoneyeva korelacija (1992)	14
2.2.12. Almehaidebova korelacija (1997).....	15
2.2.13. Kartoatmodjo i Schmidtova korelacija (1994).....	15
2.3. Korelacije za računanje plinskog faktora, R_s	16
2.3.1. Standingova korelacija	16
2.3.2. Glasova korelacija.....	16
2.3.3. Al-Marhounova korelacija	17
2.3.4. Petroskyeva i Farshadova korelacija	17
2.4. Korelacije za računanje viskoznosti nafte, μ_o	17
2.4.1. Bealova korelacija (1946)	17
2.4.2. Beggsova, Robinsonova i Vazquezova korelacija (1975, 1976).....	18
2.5. Korelacije za računanje viskoznosti plina, μ_g	19
2.5.1. Carrova, Kobayashieva i Burrowsova korelacija (1954)	19
2.5.2. Jossieva, Stielova i Thodosova korelacija (1962).....	20
2.5.3. Deanova i Stielova korelacija (1965)	20
2.6. Korelacije za računanje stlačivosti (kompresibilnosti) nafte, c_o	21
2.6.1. Vazquezova i Beggsova korelacija (1977).....	21
2.6.2. Petroskyeva i Farshadova korelacija (1993).....	21
2.6.3. Al-Marhounova korelacija (1993).....	22
2.7. Korelacije za računanje stlačivosti (kompresibilnosti) vode, c_w	22
2.8. Korelacije za računanje volumnog faktora vode, B_w	22
3. Usporedba rezultata proračuna korelacijama.....	23
3.1. Usporedba korelacija za B_o	24
3.2. Usporedba korelacija za p_b	28
3.3. Usporedba korelacija za R_s	32
4. Zaključak	35
5. Literatura	38
6. Dodaci.....	41
6.1. Korelacije za volumni faktor nafte, B_o	41
6.2. Korelacije za tlak zasićenja, p_b	45

6.6. Korelacije za faktor otopljenog plina R_s	49
6.4. Korelacije za racunanje viskoznosti nafte μ_o	50
6.5. Korelacije za μ_g	50
6.6. Korelacije za c_o	51
6.7. Korelacije za c_w	52
6.8. Korelacije za B_w	52
6.9. Konverzije jedinica i pomoćne funkcije	52
Popis slika	53
Popis oznaka	54

1. Uvod

Korelacije svojstava ležišnih fluida široko su primjenjivane kad nije dostupna detaljna analiza fluida. Kod proračuna materijalnog uravnoteženja, ali i pri izradi „black oil“ modela fluida za numeričku simulaciju, potrebne su tablice izračunatih ili iz PVT analize koreliranih parametara, prvenstveno volumnih faktora, B_o (eng. *formation volume factor*, često označen s *FVF*), plinskih faktora, R_s , potrebno je izračunati (ili odrediti analizom) tlak zasićenja, p_b (tlak zasićenja postaje promjenjiv parametar nakon što se tlak u ležištu smanji ispod početnog tlaka zasićenja tj. kada dolazi do otplinjavanja i promjena sastava ležišnog fluida. Pored toga, potrebno je odrediti krivulje (tablice) viskoznosti nafte i plina te vode. Načelno, za sve simulacije proizvodnje i smanjenja iscrpka koje ne koriste jednadžbu stanja za kontinuirani dvofazni protok potreban je „black oil“ model fluida za određeni raspon tlakova.

Empirijske PVT korelacije su bile rađene od samih početaka ležišnog inženjerstva kao struke (Frashad i dr. 1996.). Međutim, do danas ne postoji jedinstvena korelacija kojom bi se određivala PVT svojstva u nedostatku podataka određenim PVT analizom, ponajviše iz razloga što se PVT svojstva za svaki ležišni fluid iz određenog područja u svijetu bitno razlikuju. Pojedinu publiciranu korelaciju, potrebno je stoga testirati koristeći PVT analizu fluida za koji se pretpostavlja da ima slična svojstva kao i fluid nepoznatih svojstava. Najčešće se odabiru analize iz susjednih naftnih (plinskih) polja, zbog logične pretpostavke da su dotični fluidi nastajali u isto vrijeme i u istim uvjetima. Tako za naftu postoji velik broj korelacija za volumni faktor (Katz, 1942, Calhoun 1947, Niakan 1967, Chapman, C., 1973, Vasquez i Beggs 1980., Glasø, 1980., Al-Marhoun 1982. itd.) te tlak zasićenja i plinski faktor (Standing, 1942, Farshad i dr., 1996, Al-Marhoun, 1988., Vazquez, 1976., Glasø, 1980., Kartoatmodjo i Schmidt, 1994, Dokla i Osman, 1992, Almehaideb, 1997., Lasater, 1958., Macary i El-Batanoney, 1992., Petrosky i Farshad, 1993., Omar i Todd, 1993). Korelacije za slanu vodu (eng. *brine*) nisu toliko intenzivno ispitivane, zbog manje različitosti svojstava ležišnih voda.

Spomenute korelacije za svaki parametar najčešće imaju sličan matematički oblik. Većina korelacija rađena je svođenjem nezavisnih PVT varijabli na reducirani oblik i zatim regresijom koeficijenata koji određuju složenu funkciju potencije (najčešće oblika $y = a_1x^{b_1} + a_2x^{b_2} + \dots$), a prema laboratorijski izmjenjenim podacima. Svaki koeficijent a_n funkcija je ostalih nezavisnih varijabli PVT. Ovakav opis postupka opisan je u literaturi

(Velarde i dr., 1999.), a zapravo je često izravna izvedenica grafičkih nomograma koji se sastoje od nekoliko krivulja, poput [Katzovog, \(1942\)](#), [Glasøvog \(1980\)](#) i drugih.

Razvojem programabilnih kalkulatora i računala uopće, nakon što je bilo bitno olakšano raditi regresiju, većina korelacija je prevedena iz grafičkog u analitički oblik. Također, postoje brojne modifikacije postojećih korelacija u analitičkom obliku.

1.1. Zadatak završnog rada

Glavni zadatak ovog završnog rada sastoji se od dva dijela:

1. Iscrpno istraživanje literature, sakupljanje pouzdanih (izvornih) publiciranih radova u kojima su opisane korelacije i
2. Izrada „pozadinske“ aplikacije, tj. seta vlastito isprogramiranih funkcija (koristeći programski jezik *Visual Basic for Applications*, VBA, i mogućnost definiranja *User Defined Functions-a*, UDF) koje će praktično služiti proračunu određenom odabranom korelacijom.

1.1.1. Istraživanje literature

Kako su analitički izrazi dotičnih korelacija složeni, u literaturi se prijepisom ili općenito ljudskom pogreškom prilikom pisanja/objavlivanja publikacije nerijetko dešavaju pogreške. U praksi, najčešće se koristi korelacija koja se pokaže kao dobra i provjerena, bez testiranja niza drugih korelacija.

Također, nerijetko se u originalnim publiciranim radovima ne navode restrikcije, tj. u koje granične vrijednosti ne prelaze zavisne i nezavisne PVT varijable. Stoga je bilo potrebno istražiti u literaturi, radove u kojima ([Shokir i dr., 2004](#), [Al-Shammasi, 1997](#), [Javadpour i dr., 1998](#), [Asgarpour i dr., 1989.](#), [Wu i Rosenegger, 1999](#), [Dindoruk i Chrisman, 2001](#)) je komparativnom analizom obrađena ta problematika.

1.1.2. Izrada funkcija za računanje korelacijama u MS Excelu korištenjem VBA

MS Excel, osim svoje glavne namjene (tablični kalkulator) se može se proširiti prema potrebi korisnika. Jedna od mogućnosti proširenja i prilagodbi potrebama korisnika je dana

integriranim programskim jezikom/interpreterom koji koristi *Visual Basic* sintaksu – *Visual Basic-om for Applications* (VBA). Osim mogućnosti dodavanja većine opcija kakve koriste danas aplikacije s vizualnim sučeljem, VBA unutar MS Excela, postoji i mogućnost definiranja vlastitih funkcija (*user defined functions*, UDF), koje se naknadno mogu koristiti u tabličnom kalkulatoru, tj. *spreadsheetu*, na sličan način kako se koriste i ugrađene funkcije. Ova tehnologija je logičan izbor za programiranje korelacija, pošto se i tablice proračuna materijalnog uravnoteženja najčešće izrađuju u MS Excelu.

1.2. Metoda testiranja pouzdanosti korelacija

Unutar spomenutih komparativnih analiza, korelacije su najčešće bile testirane korištenjem velikog broja podataka ležišnih fluida iz nekog područja. Nakon izrade VBA funkcija, lako je testirati bilo koju korelaciju za širok raspon parametara, čime se postavlja teza da se za širok raspon ulaznih parametara mogu izdvojiti više pouzdane i manje pouzdane korelacije, bez dostupnih mjerenih podataka, samo na temelju numeričkih testova osjetljivosti konačnih rezultata.

Pored te svrhe, dobro provjerene VBA funkcije za korelacije imaju praktičnu primjenu, a ta je osjetno pojednostavljenje i ubrzavanje izrade tablica koje će biti ulazni parametri za proračune materijalnog uravnoteženja te *black oil* model fluida u ležišnom simulatoru, poput Schlumbergerovog Eclipsea 100.

2. Pregled literature vezano uz korelacije

2.1. Korelacije za računanje volumnog faktora nafte, B_o

Volumni faktor nafte definiran je kao omjer volumena nafte pri nekim ležišnim uvjetima i volumena nafte pri standardnim uvjetima:

$$B_o = \frac{V_{r.c.}}{V_{s.c.}}$$

Gdje su:

B_o - volumni faktor nafte, $\frac{m^3}{m^3}$

$V_{r.c.}$ - volumen nafte pri ležišnim uvjetima, m^3

$V_{s.c.}$ - volumen nafte pri standardnim uvjetima, m^3

Volumni faktor je u korelacijama najčešće funkcija plinskog faktora ($R_s, m^3/m^3$), relativne gustoće ($\gamma_o, voda = 1, \gamma_g, zrak = 1$) nafte i plina te temperature (T, K): $B_o = f(R_s, \gamma_g, \gamma_o, T)$.

2.1.1. Standingova korelacija (1947)

Standingova grafička korelacija (1947) izrađena je na temelju 105 uzoraka kalifornijskih nafte, a prevedena je (1981) u analitički oblik:

$$B_o = a_1 + a_2 \left[R_s \left(\gamma_g / \gamma_o \right)^{a_3} + a_4 T \right]^{a_5} \quad (1-1)$$

B_o – volumni faktor nafte $\left[\frac{bbl}{STB} \right]$, T – temperatura $[^{\circ}F]$, R_s – faktor otopljenog plina $\left[\frac{scf}{STB} \right]$,
 γ_o – relativna gustoća nafte, γ_g – relativna gustoća plina

gdje su a_1, a_2, a_3, a_4, a_5 - korelacijski parametri,

$$a_1 = 0.972, a_2 = 1.472e-4, a_3 = 0.5, a_4 = 1.25, a_5 = 1.175$$

Rasponi vrijednosti korelacije:

$$B_o (1.0240 - 2.150) m^3 / m^3, T (38 - 125)^{\circ}C, R_s (3 - 253) m^3 / m^3, \gamma_o (0.72 - 0.96), \\ \gamma_g (0.59 - 0.95)$$

Za korelaciju Standinga izrađena je VBA funkcija **BoStanding1947**

2.1.2. Vasquez i Beggsova korelacija (1980)

Korelacija je nastala kao rezultat ispitivanja preko 6000 uzoraka nafte iz cijeloga svijeta, a objavljena je 1980. godine.

$$B_o = 1 + a_1 R_s + a_2 \left[\left(\gamma_{oAPI} / \gamma_g \right) (T - 60) \right] + a_3 \left[R_s \left(\gamma_{oAPI} / \gamma_g \right) (T - 60) \right] \quad (1-2)$$

B_o – volumni faktor nafte $\left[\frac{bbl}{STB} \right]$, T – temperatura $[^{\circ}F]$, R_s – faktor otopljenog plina $\left[\frac{scf}{STB} \right]$,
 γ_{oAPI} – relativna gustoća nafte $[^{\circ}API]$, γ_g – relativna gustoća plina

Korelacijske konstante iznose : $a_1 = 4.677e-4$, $a_2 = 1.751e-5$, $a_3 = -1.8106e-8$

$B_o(1.028 - 2.226)m^3 / m^3$, $T(24 - 145)^{\circ}C$, $R_s(0 - 392)m^3 / m^3$, $\gamma_o(0.74 - 0.96)$,
 $\gamma_g(0.511 - 0.95)$

2.1.3. Glasøva korelacija (1980)

Glaso je 1980. godine objavio korelaciju koja je uz Standingovu i Vasquez - Beggsovu korelaciju često korištena kao temelj drugih autora u njihovim istraživanjima. Rađena je na 41 uzorku nafte iz Sjevernog mora.

$$B_o = 1 + 10^{\left[a_1 + a_2(\log G) - a_3(\log G)^2 \right]} \quad (1-3)$$

$$G = R_s \left(\gamma_g / \gamma_o \right)^{a_4} + a_5 T$$

B_o – volumni faktor nafte $\left[\frac{bbl}{STB} \right]$, T – temperatura $[^{\circ}F]$, R_s – faktor otopljenog plina $\left[\frac{scf}{STB} \right]$,
 γ_o – relativna gustoća nafte, γ_g – relativna gustoća plina

Korelacijski parametri su : $a_1 = -6.58511$, $a_2 = 2.91329$, $a_3 = 0.27683$, $a_4 = 0.526$, $a_5 = 0.968$

$B_o(1.032 - 2.588)m^3 / m^3$, $T(27 - 137)^{\circ}C$, $R_s(16 - 470)m^3 / m^3$, $\gamma_o(0.79 - 0.92)$,
 $\gamma_g(0.65 - 1.28)$

2.1.4. Al-Marhouna korelacija (1988)

Al-Marhounova korelacija rezultat je obrade 160 uzoraka nafte sa Srednjeg istoka. Također je više puta korištena od strane drugih autora uz promjenu korelacijskih parametara.

$$B_o = a_1 + a_2 (T + 460) + a_3 M + a_4 M^2 \quad (1-4)$$

$$M = R_s^{a_5} \gamma_g^{a_6} \gamma_o^{a_7}$$

B_o – volumni faktor nafte $\left[\frac{bbl}{STB} \right]$, T – temperatura $[^{\circ}F]$, R_s – faktor otopljenog plina $\left[\frac{scf}{STB} \right]$,
 γ_o – relativna gustoća nafte, γ_g – relativna gustoća plina

$a_1 = 0.497069$, $a_2 = 0.862963e-3$, $a_3 = 0.182594e-2$, $a_4 = 0.318099e-5$, $a_5 = 0.74239$,
 $a_6 = 0.323294$, $a_7 = -1.20204$

$B_o(1.032 - 1.997)m^3 / m^3$, $T(23 - 115)^\circ C$, $R_s(5 - 285)m^3 / m^3$, $\gamma_o(0.80 - 0.94)$,
 $\gamma_g(0.75 - 1.37)$

2.1.5. Abdul-Majeed i Salmanova korelacija (1988)

Abdul-Majeed i Salman su vrlo brzo po objavljivanju Al-Marhoune korelacije objavili svoju verziju Al-Marhounove korelacije sa novim korelacijskim konstantama. Ispitivanja su vršili na 420 uzoraka nafte.

$$B_o = a_1 + a_2(T + 460) + a_3M + a_4M^2 \quad (1-5)$$

$$M = R_s^{a_5} \gamma_g^{a_6} \gamma_o^{a_7}$$

B_o – volumni faktor nafte $\left[\frac{bbl}{STB} \right]$, T – temperatura $[^\circ F]$, R_s – faktor otopljenog plina $\left[\frac{scf}{STB} \right]$,

γ_o – relativna gustoća nafte, γ_g – relativna gustoća plina

$$a_1=0.9657876, a_2 = 7.73e-4, a_3 = 4.8141e-5, a_4 = -6.8987e-10, a_5 = 1.2,$$

$$a_6 = -0.147, a_7 = -5.222$$

$B_o(1.028 - 2.042)m^3 / m^3$, $T(23 - 143)^\circ C$, $R_s(0 - 296)m^3 / m^3$, $\mu_o(0.74 - 1.00)$,
 $\mu_g(0.51 - 1.35)$

2.1.6. Dokla i Osmanova korelacija (1988)

Kao i prethodna korelacija, i ova se bazira na korelaciji Al-Marhoune uz primjenu novih konstanti nastalih kako bi odgovarala proračunima nafte sa područja Ujedinjenih Arapskih Emirata od kuda su i koristili 51 uzorak za ispitivanja.

$$B_o = a_1 + a_2(T + 460) + a_3M + a_4M^2 \quad (1-6)$$

$$M = R_s^{a_5} \gamma_g^{a_6} \gamma_o^{a_7}$$

B_o – volumni faktor nafte $\left[\frac{bbl}{STB} \right]$, T – temperatura $[^\circ F]$, R_s – faktor otopljenog plina $\left[\frac{scf}{STB} \right]$,

γ_o – relativna gustoća nafte, γ_g – relativna gustoća plina

$$a_1 = 0.431935e-1, a_2 = 0.156667e-2, a_3 = 0.139775e-2, a_4 = 0.380525e-5, a_5 = 0.773572,$$

$$a_6 = 0.404020, a_7 = -0.882605$$

$B_o(1.216 - 2.493)m^3 / m^3$, $T(87 - 135)^\circ C$, $R_s(32 - 403)m^3 / m^3$, $\gamma_o(0.82 - 0.89)$,
 $\gamma_g(0.80 - 1.29)$

2.1.7. Petrosky i Farshadova korelacija (1993)

Njihova korelacija rađena je na 90 uzoraka nafte Meksičkog zaljeva. Korelacijom su određene nove konstante Standingove korelacije.

$$B_o = a_1 + a_2 \left[R_s^{a_3} \left(\gamma_g^{a_4} / \gamma_o^{a_5} \right) + a_6 T^{a_7} \right]^{a_8} \quad (1-7)$$

B_o – volumni faktor nafte $\left[\frac{bbl}{STB} \right]$, T – temperatura $[^\circ F]$, R_s – faktor otopljenog plina $\left[\frac{scf}{STB} \right]$,
 γ_o – relativna gustoća nafte, γ_g – relativna gustoća plina

$a_1 = 1.0113$, $a_2 = 7.2046e-5$, $a_3 = 0.3738$, $a_4 = 0.2914$, $a_5 = 0.6265$,
 $a_6 = 0.24626$, $a_7 = 0.5371$, $a_8 = 3.0936$

$B_o(1.118 - 1.623)m^3 / m^3$, $T(45 - 142)^\circ C$, $R_s(38 - 250)m^3 / m^3$, $\gamma_o(0.80 - 0.96)$,
 $\gamma_g(0.58 - 0.85)$

2.1.8. Farshad, Leblance, Garber i Osoriova korelacija (1992)

Proračunate nove korelacijske konstante za originalnu Glasovu korelaciju iz 1980. godine.

$$B_o = 1 + 10^{\left[a_1 + a_2(\log G) - a_3(\log G)^2 \right]} \quad (1-8)$$

$$G = R_s^{a_4} \gamma_g^{a_5} \gamma_o^{a_6} + a_7 T$$

B_o – volumni faktor nafte $\left[\frac{bbl}{STB} \right]$, T – temperatura $[^\circ F]$, R_s – faktor otopljenog plina $\left[\frac{scf}{STB} \right]$,
 γ_o – relativna gustoća nafte, γ_g – relativna gustoća plina

$a_1 = -2.6541$, $a_2 = 0.5576$, $a_3 = 0.3331$, $a_4 = 0.5956$, $a_5 = 0.2369$, $a_6 = -1.3282$, $a_7 = 0.0976$

$B_o(1.060 - 2.064)m^3 / m^3$, $T(35 - 126)^\circ C$, $R_s(1 - 293)m^3 / m^3$, $\gamma_o(0.80 - 0.95)$,
 $\gamma_g(0.66 - 1.7)$

2.1.9. Al-Marhounova korelacija (1992)

Druga korelacija Al-Marhouna, nastala koristeći uzorke iz cijeloga svijeta.

$$B_o = 1 + a_1 R_s + a_2 R_s (\gamma_g / \gamma_o) + a_3 R_s (1 - \gamma_o)(T - 60) + a_4 (T - 60) \quad (1-9)$$

B_o – volumni faktor nafte $\left[\frac{bbl}{STB} \right]$, T – temperatura $[^{\circ}F]$, R_s – faktor otopljenog plina $\left[\frac{scf}{STB} \right]$,
 γ_o – relativna gustoća nafte, γ_g – relativna gustoća plina

$$a_1 = 0.177342e-3, a_2 = 0.220163e-3, a_3 = 4.292580e-6, a_4 = 0.528707e-3$$

$$B_o (1.010 - 2.960) m^3 / m^3, T (23 - 148)^{\circ}C, R_s (0 - 581) m^3 / m^3, \gamma_o (0.76 - 1.00),$$

$$\gamma_g (0.58 - 2.52)$$

2.1.10. Omar i Toddova korelacija (1993)

Omar i Toddova verzija Standingove korelacije uz određene izmjene te nove korelacijske konstante. Nastala je na uzorcima iz Malezije.

$$B_o = a_1 + a_2 \left[R_s (\gamma_g / \gamma_o)^{a_3} + a_4 T \right]^X \quad (1-10)$$

$$X = b_1 + b_2 (\gamma_{oAPI} / \gamma_g) + b_3 \gamma_g$$

B_o – volumni faktor nafte $\left[\frac{bbl}{STB} \right]$, T – temperatura $[^{\circ}F]$, R_s – faktor otopljenog plina $\left[\frac{scf}{STB} \right]$,
 γ_{oAPI} – relativna gustoća nafte $[^{\circ}API]$, γ_o – relativna gustoća nafte, γ_g – relativna gustoća plina

$$b_1 = 1.1663, b_2 = 0.762e-3, b_3 = -0.0399$$

$$B_o (1.085 - 1.954) m^3 / m^3, T (51 - 137)^{\circ}C, R_s (25 - 256) m^3 / m^3, \gamma_o (0.77 - 0.90),$$

$$\gamma_g (0.612 - 1.32)$$

2.1.11. Almehaidebova korelacija (1997)

Jednostavna korelacija nastala primjenom uzoraka nafte iz Ujedinjenih Arapskih Emirata, ukupno njih 62.

$$B_o = a_1 + a_2 R_s T / \gamma_o^2 \quad (1-11)$$

B_o – volumni faktor nafte $\left[\frac{bbl}{STB} \right]$, T – temperatura $[^{\circ}F]$, R_s – faktor otopljenog plina $\left[\frac{scf}{STB} \right]$,
 γ_o – relativna gustoća nafte

$$a_1 = 1.122018, a_2 = 1.41e - 6$$

$$B_o(1.142 - 3.562)m^3 / m^3, T(87 - 152)^\circ C, R_s(22 - 689)m^3 / m^3, \gamma_o(0.79 - 0.87), \\ \gamma_g(0.75 - 1.12)$$

2.1.12. Macary i El-Bataboneyeva korelacija (1992)

Devedeset uzoraka sa područja Sueskog kanala i Egipta prikupljeno je u izradi ove korelacije.

$$B_o = (a_1 + a_2 T) N \\ N = \exp[a_3 R_s + a_4 (\gamma_o / \gamma_g)] \quad (1-12)$$

$$B_o - \text{volumni faktor nafte} \left[\frac{\text{bbl}}{\text{STB}} \right], T - \text{temperatura} [^\circ F], R_s - \text{faktor otopljenog plina} \left[\frac{\text{scf}}{\text{STB}} \right], \\ \gamma_o - \text{relativna gustoća nafte}, \gamma_g - \text{relativna gustoća plina}$$

$$B_o(1.20 - 2.00)m^3 / m^3, T(54 - 143)^\circ C, R_s(35 - 213)m^3 / m^3, \gamma_o(0.83 - 0.90), \\ \gamma_g(0.70 - 1.00)$$

$$a_1=0.98496, a_2=0.0001, a_3=0.755, a_4=0.25, a_5=1.5, a_6=0.45, a_7=1.5$$

2.1.13. Kartoatmodjo i Schmidtova korelacija (1994)

Korelacija koja se temelji se na Standingovoj korelaciji. Prikupljeno je čak 5392 uzorka iz cijelog svijeta.

$$B_o = a_1 + a_2 \left[R_s^{a_3} \left(\gamma_g^{a_4} / \gamma_o^{a_5} \right) + a_6 T \right]^{a_7} \quad (1-13)$$

$$B_o - \text{volumni faktor nafte} \left[\frac{\text{bbl}}{\text{STB}} \right], T - \text{temperatura} [^\circ F], R_s - \text{faktor otopljenog plina} \left[\frac{\text{scf}}{\text{STB}} \right], \\ \gamma_o - \text{relativna gustoća nafte}, \gamma_g - \text{relativna gustoća plina}$$

$$a_1 = 0.98496, a_2 = 0.0001, a_3 = 0.755, a_4 = 0.25, a_5 = 1.5, a_6 = 0.45, a_7 = 1.5$$

$$B_o(1.007 - 2.144)m^3 / m^3, T(23 - 160)^\circ C, R_s(0 - 514)m^3 / m^3, \gamma_o(0.74 - 0.97), \\ \gamma_g(0.38 - 1.71)$$

2.1.14. Standingova korelacija (1981)

$$B_o = 9759 + 0.00012 \times \left[R_s \times \left(\frac{\gamma_g}{\gamma_o} \right)^{0.5} + 1.25 \times T \right]^{1.2} \quad (1-14)$$

B_o – volumni faktor nafte $\left[\frac{bbl}{STB} \right]$, T – temperatura $[^{\circ}F]$, R_s – faktor otopljenog plina $\left[\frac{scf}{STB} \right]$,
 γ_o – relativna gustoća nafte, γ_g – relativna gustoća plina

2.1.15. Arpova korelacija (1962)

Jednostavna korelacija za slučaj kada nisu dostupni osnovni podaci PVT analize.

$$B_o = 1.05 + 0.0005R_s \quad B_o = 1.05 + 0.0005R_s \quad (1-15)$$

B_o – volumni faktor nafte $\left[\frac{bbl}{STB} \right]$, R_s – faktor otopljenog plina

2.2. Korelacije za računanje tlaka zasićenja, p_b

Korelacije za računanje tlaka zasićenja p_b , u izravnoj vezi su sa korelacijama za volumni faktor nafte B_o . Većim dijelom autori korelacija tlaka zasićenja su ujedno i autori korelacija volumnog faktora nafte. Ispitivanja su za svoje korelacije vršili na istim uzorcima nafte.

2.2.1. Standingova korelacija (1947)

Ispitivanja su vršena na 105 uzoraka nafte Kalifornije.

$$p_b = a_1 \left[\left(R_s / \gamma_g \right)^{a_2} \times 10^{(T a_3 - \gamma_{oAPI} a_4)} - a_5 \right] \quad (2-1)$$

p_b – tlak zasićenja $[psia]$, T – temperatura $[^{\circ}F]$, R_s – faktor otopljenog plina $\left[\frac{scf}{STB} \right]$,
 γ_{oAPI} – relativna gustoća nafte $[^{\circ}API]$, γ_g – relativna gustoća plina

$$a_1 = 18.2, a_2 = 0.83, a_3 = 0.00091, a_4 = 0.0125, a_5 = 1.4$$

p_b (8 - 482) bar, T (38 - 125) $^{\circ}C$, R_s (3 - 253) m^3 / m^3 , γ_o (0.72 - 0.96),
 γ_g (0.59 - 0.95)

2.2.2. Vazqueza i Beggsova korelacija (1980)

Korelacija postavlja uvjet ovisno o gustoći nafte izraženoj u °API. Time gustoća nafte određuje korelacijske konstante koje će se koristiti u proračunu.

$$p_b = \left\{ \left(a_1 R_s / \gamma_g \right) \text{anti log} \left[-a_3 \gamma_{oAPI} / (460 + T) \right] \right\}^{a_2} \quad (2-2)$$

$$p_b - \text{tlak zasićenja} [psia], T - \text{temperatura} [^\circ F], R_s - \text{faktor otopljenog plina} \left[\frac{scf}{STB} \right].$$

γ_{oAPI} – relativna gustoća nafte [°API], γ_g – relativna gustoća plina

$$\gamma_{oAPI} \leq 30, a_1 = 27.64, a_2 = 1.0937, a_3 = 11.172$$

$$\gamma_{oAPI} > 30, a_1 = 56.06, a_2 = 1.187, a_3 = 10.393$$

$$p_b (1 - 417) \text{bar}, T (24 - 145)^\circ C, R_s (0 - 392) m^3 / m^3, \gamma_o (0.74 - 0.96), \\ \gamma_g (0.511 - 0.95)$$

2.2.3. Glasova korelacija (1980)

Korelacija je nastala radeći sa 41 uzorkom nafte Sjevernog mora.

$$p_b = \text{antilog} \left\{ a_1 + a_2 \log(G) - a_3 [\log(G)]^2 \right\} \quad (2-3)$$

$$G = \left(R_s / \gamma_g \right)^{a_4} T^{a_5} \gamma_{oAPI}^{a_6}$$

$$p_b - \text{tlak zasićenja} [psia], T - \text{temperatura} [^\circ F], R_s - \text{faktor otopljenog plina} \left[\frac{scf}{STB} \right],$$

γ_{oAPI} – relativna gustoća nafte [°API], γ_g – relativna gustoća plina

$$a_1 = 1.7669, a_2 = 1.7447, a_3 = 0.30218, a_4 = 0.816, a_5 = 0.172, a_6 = -0.989$$

$$p_b (11 - 492) \text{bar}, T (27 - 137)^\circ C, R_s (16 - 470) m^3 / m^3, \gamma_o (0.79 - 0.92), \\ \gamma_g (0.65 - 1.28)$$

2.2.4. Al-Marhounova korelacija (1988)

Uzorci nafte prikupljeni su sa područja Srednjeg Istoka, ukupno 160 uzoraka.

$$p_b = a_1 R_s^{a_2} \gamma_g^{a_3} \gamma_o^{a_4} (T + 460)^{a_5} \quad (2-4)$$

p_b – tlak zasićenja [psia], T – temperatura [°F], R_s – faktor otopljenog plina $\left[\frac{scf}{STB} \right]$,

γ_o – relativna gustoća nafte, γ_g – relativna gustoća plina

$$a_1 = 0.836386e4, a_2 = 0.724047, a_3 = -1.01049, a_4 = 0.107991, a_5 = -0.952584$$

p_b (1 - 246)bar, T (23 - 115)°C, R_s (5 - 285)m³ / m³, γ_o (0.80 - 0.94),
 γ_g (0.75 - 1.37)

2.2.5. Dokla i Osmanova korelacija (1992)

Novе korelacijske konstante proračunate za Al-Marhounovu korelaciju.

$$p_b = a_1 R_s^{a_2} \gamma_g^{a_3} \gamma_o^{a_4} (T + 460)^{a_5} \quad (2-5)$$

p_b – tlak zasićenja [psia], T – temperatura [°F], R_s – faktor otopljenog plina $\left[\frac{scf}{STB} \right]$,

γ_o – relativna gustoća nafte, γ_g – relativna gustoća plina

$$a_1 = 0.836386e4, a_2 = 0.724047, a_3 = -1.01049, a_4 = 0.107991, a_5 = -0.952584$$

p_b (41 - 320)bar, T (87 - 135)°C, R_s (32 - 403)m³ / m³, γ_o (0.82 - 0.89),
 γ_g (0.80 - 1.29)

2.2.6. Petrosky i Farshadova korelacija (1992)

Korelacija u osnovi sadrži Standingovu korelaciju iz 1947. godine. Korelacija je prilagođavana uzorcima nafte iz Meksičkog zaljeva. Korišteno je ukupno 90 uzoraka nafte.

$$p_b = a_1 \left[\left(R_s^{a_2} / \gamma_g^{a_3} \right) 10^X - a_4 \right] \quad (2-6)$$

$$X = \left(a_5 T^{a_6} - a_7 \gamma_{oAPI}^{a_8} \right)$$

p_b – tlak zasićenja [psia], T – temperatura [°F], R_s – faktor otopljenog plina $\left[\frac{scf}{STB} \right]$,

γ_{oAPI} – relativna gustoća nafte [°API], γ_g – relativna gustoća plina

$$a_1 = 112.727, a_2 = 0.5774, a_3 = 0.8439, a_4 = 12.340, a_5 = 4.561e-5, a_6 = 1.3911,$$

$$a_7 = 7.916e-4, a_8 = 1.5410$$

p_b (109 - 450)bar, T (45 - 142)°C, R_s (38 - 250)m³ / m³, γ_o (0.80 - 0.96),
 γ_g (0.58 - 0.85)

2.2.7. Lasaterova korelacija (1958)

Nastala je radeći na uzorcima iz sjeverne Kanade te središnjeg dijela SAD-a, njih 158.

$$\begin{aligned}
 p_b &= \left[(p_f)(T + 459.67) \right] / \gamma_g \\
 Y_g &= (R_s / a_1) / \left[(R_s / a_1) + (a_2 / M_o) \right] \\
 M_o &= a_3 - a_4 \gamma_{oAPI} + a_5 \gamma_{oAPI}^2 \\
 p_f &= a_6 - a_7 Y_g + a_8 Y_g^2
 \end{aligned} \tag{2-7}$$

$$p_b - \text{tlak zasićenja [psia]}, T - \text{temperatura [}^\circ\text{F]}, R_s - \text{faktor otopljenog plina} \left[\frac{\text{scf}}{\text{STB}} \right],$$

$$\gamma_{oAPI} - \text{relativna gustoća nafte [}^\circ\text{API]}, \gamma_g - \text{relativna gustoća plina}$$

$$a_1 = 379.3, a_2 = 350, a_3 = 725.32143, a_4 = 16.03333, a_5 = 0.09524, a_6 = 0.38418, a_7 = 1.20081, a_8 = 9.64868$$

$$p_b (3 - 399) \text{bar}, T (28 - 133)^\circ\text{C}, R_s (1 - 517) \text{m}^3 / \text{m}^3, \gamma_o (0.77 - 0.95),$$

$$\gamma_g (0.57 - 1.20)$$

2.2.8. Omar i Toddova korelacija (1993)

Kako je već rečeno, ova korelacija se bazira na Standigovoj korelaciji uz određene promjene u izrazu i promjeni korelacijskih konstanti.

$$\begin{aligned}
 p_b &= a_1 \left[\left(R_s / \gamma_g \right)^x 10^{(T a_3 \gamma_{oAPI} a_4)} - a_5 \right] \\
 X &= b_1 + b_2 B_o + b_3 \gamma_g + b_4 B_o^2 + b_5 \gamma_g^2 + b_6 / (B_o \gamma_g)
 \end{aligned} \tag{2-8}$$

$$p_b - \text{tlak zasićenja [psia]}, T - \text{temperatura [}^\circ\text{F]}, R_s - \text{faktor otopljenog plina} \left[\frac{\text{scf}}{\text{STB}} \right],$$

$$\gamma_{oAPI} - \text{relativna gustoća nafte [}^\circ\text{API]}, \gamma_g - \text{relativna gustoća plina}$$

$$b_1 = 1.4256, b_2 = -0.2608, b_3 = -0.4596, b_4 = 0.04481, b_5 = 0.2360, b_6 = -0.1077$$

$$p_b (54 - 266) \text{bar}, T (51 - 137)^\circ\text{C}, R_s (25 - 256) \text{m}^3 / \text{m}^3, \gamma_o (0.77 - 0.90),$$

$$\gamma_g (0.612 - 1.32)$$

2.2.9. Farshad, Leblance, Garber i Osoriova korelacija (1992)

U pravilu, ovo je još jedna korelacija koja uzima Standigovu korelaciju kao osnovu uz promjenu korelacijskih konstanti. Korišteno je 43 uzorka iz američke države Colombie.

$$p_b = a_1 \left(R_s / \gamma_g \right)^{a_2} 10^{(a_3 T - a_4 \gamma_{oAPI})} \quad (2-9)$$

$$p_b - \text{tlak zasićenja [psia]}, T - \text{temperatura [}^\circ\text{F]}, R_s - \text{faktor otopljenog plina} \left[\frac{\text{scf}}{\text{STB}} \right],$$

$$\gamma_{oAPI} - \text{relativna gustoća nafte [}^\circ\text{API]}, \gamma_g - \text{relativna gustoća plina}$$

$$a_1 = 33.22, a_2 = 0.8283, a_3 = 0.000037, a_4 = 0.0142$$

$$p_b (2 - 285) \text{bar}, T (35 - 127)^\circ\text{C}, R_s (1 - 293) \text{m}^3 / \text{m}^3, \gamma_o (0.80 - 0.95), \\ \gamma_g (0.66 - 1.73)$$

2.2.10. Farshad, Leblance, Garber i Osoriova korelacija (1992)

Grupa autora je ovu korelaciju radila na temelju Glasove korelacije iz 1980. godine. Korišteni su isti uzorci kao i u njihovoj prethodnoj korelaciji koja se bazira na Standigovoj.

$$p_b = \text{anti log} \left\{ a_1 + a_2 \log(G) - a_3 [\log(G)]^2 \right\} \quad (2-10)$$

$$G = \gamma_g^{a_4} R_s^{a_5} 10^{(a_6 T - a_7 \gamma_{oAPI})}$$

$$p_b - \text{tlak zasićenja [psia]}, T - \text{temperatura [}^\circ\text{F]}, R_s - \text{faktor otopljenog plina} \left[\frac{\text{scf}}{\text{STB}} \right],$$

$$\gamma_{oAPI} - \text{relativna gustoća nafte [}^\circ\text{API]}, \gamma_g - \text{relativna gustoća plina}$$

$$a_1 = 0.3058, a_2 = 1.9013, a_3 = 0.26, a_4 = -1.378, a_5 = 1.053, a_6 = 0.00069, a_7 = 0.0208$$

$$p_b (2 - 285) \text{bar}, T (35 - 127)^\circ\text{C}, R_s (1 - 293) \text{m}^3 / \text{m}^3, \gamma_o (0.80 - 0.95), \\ \gamma_g (0.66 - 1.73)$$

2.2.11. Macary i El-Batanoneyeva korelacija (1992)

Korišteno je 90 uzoraka nafte Sueskog zaljeva.

$$p_b = a_1 K \left[R_s^{a_2} - a_3 \right] \quad (2-11)$$

$$K = \exp \left[a_4 T - a_5 \gamma_{oAPI} - a_6 \gamma_g \right]$$

p_b – tlak zasićenja [psia], T – temperatura [$^{\circ}F$], R_s – faktor otopljenog plina $\left[\frac{scf}{STB} \right]$,

γ_{oAPI} – relativna gustoća nafte [$^{\circ}API$], γ_g – relativna gustoća plina

$$a_1 = 204.257, a_2 = 0.51, a_3 = 4.7927, a_4 = 0.00077, a_5 = 0.0097, a_6 = 0.4003$$

p_b (83 - 317)bar, T (54 - 143) $^{\circ}C$, R_s (35 - 213) m^3 / m^3 , γ_o (0.83 - 0.90),

γ_g (0.70 - 1.00)

2.2.12. Almehaidebova korelacija (1997)

Ispitivanja su rađena na 62 uzorka nafte Ujedinjenih Arapskih Emirata.

$$p_b = a_1 + a_2 R_s \gamma_o / (\gamma_g B_o^{a_3}) + a_4 T \quad (2-12)$$

p_b – tlak zasićenja [psia], T – temperatura [$^{\circ}F$], R_s – faktor otopljenog plina $\left[\frac{scf}{STB} \right]$,

γ_o – relativna gustoća nafte, γ_g – relativna gustoća plina

$$a_1 = 620.592, a_2 = 6.23087, a_3 = 1.38559, a_4 = 2.89868$$

p_b (35 - 332)bar, T (87 - 152) $^{\circ}C$, R_s (22 - 689) m^3 / m^3 , γ_o (0.79 - 0.87),

γ_g (0.75 - 1.12)

2.2.13. Kartoatmodjo i Schmidtova korelacija (1994)

Korelacija koja je izrađena na Vazquezovoj i Beggsovoj korelaciji uz promjenu korelacijskih konstanti. Također sadrži uvjet ovisan o gustoći nafte izražene u $^{\circ}API$, kao što je i u originalnoj korelaciji Vasqueza i Beggsa iz 1980. godine.

$$p_b = \left\{ R_s / \left[a_1 \gamma_g^{a_2} \times 10^{a_3 \gamma_{oAPI} / (460+T)} \right] \right\}^{a_4} \quad (2-13)$$

p_b – tlak zasićenja [psia], T – temperatura [$^{\circ}F$], R_s – faktor otopljenog plina $\left[\frac{scf}{STB} \right]$,

γ_{oAPI} – relativna gustoća nafte [$^{\circ}API$], γ_g – relativna gustoća plina

$$\gamma_{oAPI} \leq 30, a_1 = 0.05958, a_2 = 0.7972, a_3 = 13.1405, a_4 = 0.9986$$

$$\gamma_{oAPI} > 30, a_1 = 0.03150, a_2 = 0.7587, a_3 = 11.2895, a_4 = 0.9143$$

$p_b(1 - 417)bar, T(23 - 160)^\circ C, R_s(0 - 514)m^3 / m^3, \gamma_o(0.74 - 0.97),$
 $\gamma_g(0.38 - 1.71)$

2.3. Korelacije za računanje plinskog faktora, R_s

Plinski faktor definiran je izrazom :

$$R_s = \frac{V_{g(s.c.)}}{V_{o(s.c.)}}, \text{ gdje je}$$

$V_{g(s.c.)}$ – volumen plina pri standardnim uvjetima

$V_{o(s.c.)}$ – volumen nafte pri standardnim uvjetima

2.3.1. Standingova korelacija

Korelacija vezana uz Standingove korelacije za volumni faktor nafte B_o i tlak zasićenja p_b .

Nastala je korištenjem Kalifornijske nafte i plina.

$$R_s = \gamma_g \left[\left(\frac{p}{18.2} + 1.4 \right) 10^X \right]^{1.2048} \quad (3-1)$$

$$X = 0.0125 API - 0.00091(T - 460)$$

R_s – faktor otopljenog plina $\left[\frac{scf}{STB} \right]$, p_b – tlak zasićenja [psi], T – temperatura [$^\circ F$],

API – API gustoća [$^\circ API$], γ_g – relativna gustoća plina

2.3.2. Glasova korelacija

Rađena je na uzorcima nafte i plina Sjevernog mora.

$$R_s = \gamma_g \left[\left(\frac{API^{0.989}}{(T - 460)^{0.172}} \right) (p_b^*) \right]^{1.2255} \quad (3-2)$$

$$p_b^* = 10^{2.8869 - [14.1811 - 3.3093 \log(p)]^{0.5}}$$

R_s – faktor otopljenog plina $\left[\frac{scf}{STB} \right]$, p_b – tlak zasićenja [psi], T – temperatura [$^\circ F$],

API – API gustoća [$^\circ API$], γ_g – relativna gustoća plina

2.3.3. Al-Marhounova korelacija

Korelacija je rađena na uzorcima nafte i plina Srednjeg istoka.

$$R_s = \left[a \gamma_g^b \gamma_o^c T^d p \right]^e \quad (3-3)$$

R_s – faktor otopljenog plina $\left[\frac{scf}{STB} \right]$, p_b – tlak zasićenja [psi], T – temperatura [$^{\circ}R$],

API – API gustoća [$^{\circ}API$], γ_o – relativna gustoća nafte, γ_g – relativna gustoća plina

$a = 185.843208$, $b = 1.877840$, $c = -3.1437$, $d = -1.32657$, $e = 1.398441$.

2.3.4. Petroskyeva i Farshadova korelacija

Korelacije Petroskyeva i Farshadova nastale su na uzorcima nafte i plina prikupljenim u Meksičkom zaljevu.

$$R_s = \left[\left(\frac{p}{112.727} + 12.340 \right) \gamma_g^{0.8439} \times 10^X \right]^{1.73184} \quad (3-4)$$

$$X = 7.916(10^{-4})(API)^{1.5410} - 4.561(10^{-5})(T - 460)^{1.3911}$$

R_s – faktor otopljenog plina $\left[\frac{scf}{STB} \right]$, p_b – tlak zasićenja [psi], T – temperatura [$^{\circ}F$],

API – API gustoća [$^{\circ}API$], γ_g – relativna gustoća plina

2.4. Korelacije za računanje viskoznosti nafte, μ_o

U korelacijama za viskoznost nafte razlikujemo tri osnovna tipa viskoznosti, ovisno o tlaku zasićenja. Viskoznost ispod i pri tlaku zasićenja μ_{ob} , viskoznost nafte iznad tlaka zasićenja μ_{oa} te viskoznost otplinjene „mrtve“ nafte. Predstavljene su osnovne korelacije koje su kasnije poslužile kao temelj za proračune novih korelacija i korelacijskih konstanti za potrebe nafte iz raznih dijelova svijeta.

2.4.1. Bealova korelacija (1946)

Bealova korelacija iz 1946. godine ne uključuje proračunavanje viskoznosti nafte ispod i pri tlaku zasićenja, stoga se u tu svrhu može upotrijebiti korelacija Beggsa i Robinsona iz 1975. godine.

$$\mu_{od} = \left[0.32 + (1.8 \times 10^7) / {}^\circ API^{4.53} \right] \left[360 / (T + 200) \right]^a \quad (4-1)$$

$$a = \text{anti log}(0.43 + 8.33 / {}^\circ API)$$

$$\mu_{ob} = a(\mu_{od})^b$$

$$a = 10.715(R_s + 100)^{-0.515}$$

$$b = 5.44(R_s + 150)^{-0.338}$$

$$\mu_a = \mu_{ob} + 0.001(p - p_b)(0.024\mu_{ob}^{1.6} + 0.038\mu_{ob}^{0.56})$$

μ_{od} – viskoznost otplinjene nafte [cp], μ_{ob} – viskoznost nafte ispod i pri tlaku zasićenja [cp],

μ_a – viskoznost nafte iznad tlaka zasićenja [cp], T – temperatura [°F],

R_s – faktor otopljenog plina $\left[\frac{scf}{STB} \right]$, API – API gustoća [°Api], p – tlak [psi],

p_b – tlak zasićenja [psi]

2.4.2. Beggsova, Robinsonova i Vazquezova korelacija (1975, 1976)

Beggs i Robinson su 1975. godine objavili korelacije za viskoznost otplinjene nafte μ_{od} , te nafte ispod i pri tlaku zasićenja μ_{ob} . Sljedeće godine (1976), Vazquez i Beggs objavljuju korelaciju viskoznosti nafte pri tlakovima većim od tlaka zasićenja.

$$\mu_{od} = 10^X - 1$$

$$X = YT^{-1.163}$$

$$Y = 10^Z \quad (4-2)$$

$$Z = 3.0324 - 0.02023 {}^\circ API$$

$$\mu_{ob} = a(\mu_{od})^b$$

$$a = 10.715(R_s + 100)^{-0.515}$$

$$b = 5.44(R_s + 150)^{-0.338}$$

$$\mu_a = \mu_{ob} (p / p_b)^m$$

$$m = 2.6p^{1.187} \text{anti log} \left[(-3.9 \times 10^{-5})p - 5.0 \right]$$

μ_{od} – viskoznost otplinjene nafte [cp], μ_{ob} – viskoznost nafte ispod i pri tlaku zasićenja [cp],
 μ_a – viskoznost nafte iznad tlaka zasićenja [cp], T – temperatura [°F],
 R_s – faktor otopljenog plina $\left[\frac{scf}{STB}\right]$, API – API gustoća [°Api], p – tlak [psi],
 p_b – tlak zasićenja [psi]

2.5. Korelacije za računanje viskoznosti plina, μ_g

2.5.1. Carrova, Kobayashieva i Burrowsova korelacija (1954)

Do sredine osamdesetih godina XX stoljeća, ova korelacija je praktički bila jedina u upotrebi za računanje viskoznosti prirodnog plina u svijetu.

$$\begin{aligned}
 \mu_{gsc} &= (1.709 \times 10^{-5} - 2.062 \times 10^{-6} \gamma_g)(T - 459.67) + 8.188 \times 10^{-3} - 6.15 \times 10^{-3} \log(\gamma_g) \\
 \ln\left(\frac{\mu_g}{\mu_{gsc}} T_{pr}\right) &= a_0 + a_1 p_{pr} + a_2 p_{pr}^2 + a_3 p_{pr}^3 + \\
 &T_{pr}(a_4 + a_5 p_{pr} + a_6 p_{pr}^2 + a_7 p_{pr}^3) + \\
 &T_{pr}^2(a_8 + a_9 p_{pr} + a_{10} p_{pr}^2 + a_{11} p_{pr}^3) + \\
 &T_{pr}^3(a_{12} + a_{13} p_{pr} + a_{14} p_{pr}^2 + a_{15} p_{pr}^3)
 \end{aligned} \tag{5-1}$$

μ_g – viskoznost plina [cp], μ_{gsc} – viskoznost plina pri s.c.uvjetima,
 T – temperatura [°R], T_{pr} – pseudo reducirana temperatura,
 p_{pr} – pseudo reducirani tlak, γ_g – relativna gustoća plina

$$\begin{aligned}
a_0 &= -2.4621182, a_1 = 2.97054714, a_2 = -0.286264054, a_3 = 0.00805420522, a_4 = 2.80860949 \\
a_5 &= -3.49803305, a_6 = -0.36037302, a_7 = -0.0104432413, a_8 = -0.793385684 \\
a_9 &= -1.39643306, a_{10} = -0.149144925, a_{11} = -0.00441015512, a_{12} = -0.0839387178 \\
a_{13} &= -0.186408848, a_{14} = -0.0203367881, a_{15} = -0.000609579263
\end{aligned}$$

2.5.2. Jossieva, Stielova i Thodosova korelacija (1962)

Korelacija nalaze prvotno racunanje viskoznosti plina pri standardnim uvjetima (s.c.), ovisno o pseudo reduciranoj temperaturi razmatranog plina, odnosno smjese plinova.

$$\mu_{gsc} = \frac{34.0 \times 10^{-5} T_{pr}^{0.94}}{\zeta} \text{ za } T_{pr} \leq 1.5 \quad (5-2)$$

$$\mu_{gsc} = \frac{17.78 \times 10^{-5} (4.58 T_{pr} - 1.67)^{5/8}}{\zeta} \text{ za } T_{pr} > 1.5$$

$$\zeta = 5.4398 \left(\frac{T_{pc}}{M^3 p_{pc}^4} \right)^{1/6}$$

$$\rho_y = \frac{0.27 p_{pr}}{Z T_{pr}}$$

$$\left[(\mu_g - \mu_{gsc}) \zeta + 10^{-4} \right]^{1/4} = 0.10230 + 0.023364 \rho_y + 0.058533 \rho_y^2 - 0.040758 \rho_y^3 + 0.0093324 \rho_y^4$$

μ_g – viskoznost plina [cp], μ_{gsc} – viskoznost plina pri s.c.uvjetima,

T_{pc} – pseudo kritična temperatura [°R], T_{pr} – pseudo reducirana temperatura,

p_{pc} – pseudo kritični tlak [psi], p_{pr} – pseudo reducirani tlak,

γ_g – relativna gustoća plina, M – molarna masa $\left[\frac{lb}{mol} \right]$, Z – faktor kompresibilnosti

2.5.3. Deanova i Stielova korelacija (1965)

$$\mu_{gsc} = 34 \times 10^{-5} \frac{(T_{pr})^{8/9}}{\zeta} \text{ za } T_{pr} \leq 1.5 \quad (5-3)$$

$$\mu_{gsc} = \frac{166.8 \times 10^{-5} (0.1338 T_{pr} - 0.0932)^{5/9}}{\zeta} \text{ za } T_{pr} > 1.5$$

$$\zeta = 5.4398 \left(\frac{T_{pc}}{M^3 p_{pc}^4} \right)^{1/6}$$

$$\rho_y = \frac{0.27 p_{pr}}{Z T_{pr}}$$

$$\mu_g = \mu_{gsc} + \frac{(10.8 \times 10^{-5}) \left[\exp(1.439 \rho_y) - \exp(-1.111 \rho_y^{1.888}) \right]}{\zeta}$$

μ_g – viskoznost plina [cp], μ_{gsc} – viskoznost plina pri s.c. uvjetima,

T_{pc} – pseudo kritična temperatura [°R], T_{pr} – pseudo reducirana temperatura,

p_{pc} – pseudo kritični tlak [psi], p_{pr} – pseudo reducirani tlak,

γ_g – relativna gustoća plina, M – molarna masa $\left[\frac{lb}{mol} \right]$, Z – faktor kompresibilnosti

2.6. Korelacije za računanje stlačivosti (kompresibilnosti) nafte, c_o

2.6.1. Vazquezova i Beggsova korelacija (1977)

Korelacija je rađena na 4036 uzoraka nafte, metodom linearne regresije.

$$c_o = (a_1 + a_2 R_s + a_3 T + a_4 \gamma_{gs} + a_5 \gamma_o) / a_6 p \quad (6-1)$$

c_o – stlačivost nafte [Psi⁻¹], T – temperatura [°F], p – tlak [psi],

R_s – faktor otopljenog plina $\left[\frac{scf}{STB} \right]$, γ_o – relativna gustoća nafte,

γ_{gs} – relativna gustoća plina,

$$a_1 = -1433.0, a_2 = 5.0, a_3 = 17.2, a_4 = -1180.0, a_5 = 12.61, a_6 = 10^5$$

2.6.2. Petroskyeva i Farshadova korelacija (1993)

Rađena je po uzoru na korelaciju Vazqueza i Beggsa, za primjenu na naftama Meksičkog zaljeva.

$$c_o = 1.705 \times 10^{-7} R_s^{0.69357} \gamma_g^{0.1885} \circ API^{0.3272} T^{0.6729} p^{-0.5906} \quad (6-2)$$

c_o – stlačivost nafte [Psi^{-1}], T – temperatura [$^{\circ}\text{F}$], p – tlak [psi],

R_s – faktor otopljenog plina [$\frac{\text{scf}}{\text{STB}}$], API – API gustoća [$^{\circ}\text{Api}$],

γ_g – relativna gustoća plina,

2.6.3. Al-Marhounova korelacija (1993)

Pokazala se kao najtočnija u primjeni za nafte Srednjeg istoka. Nastala je metodom linearne regresije najmanjih kvadrata.

$$\ln c_o = a_1 + a_2 / \gamma_{ob} + a_3 (p - p_b) / \gamma_{ob}^3 + a_4 / (T + 460) \quad (6-3)$$

c_o – stlačivost nafte [Psi^{-1}], T – temperatura [$^{\circ}\text{F}$], p – tlak [psi],

p_b – tlak zasićenja [psi], γ_{ob} – relativna gustoća nafte pri tlaku zasićenja,

$$a_1 = -14.1042, a_2 = 2.7314, a_3 = -0.0000560605, a_4 = -580.8778$$

2.7. Korelacije za računanje stlačivosti (kompresibilnosti) vode, c_w

Jednostavna korelacija za računanje stlačivosti vode preuzeta iz članka W.D. McCain, Jr., SPE Reservoir fluid property correlations – state of the art, 1993.

$$c_w = 1 / (7.033p + 0.5415S - 537.0T + 403.3) \quad (7-1)$$

c_w – kompresibilnost vode [psi^{-1}], T – temperatura [$^{\circ}\text{F}$], p – tlak [psi], S – salinitet [mg / L]

$p(69 - 1379)\text{bar}$, $T(93 - 133)^{\circ}\text{C}$, $S(0 - 0.2)\text{kg} / \text{m}^3$

2.8. Korelacije za računanje volumnog faktora vode, B_w

Korelacija za računanje stlačivosti vode, objavljena u članku McCain, Jr., SPE Reservoir fluid property correlations – state of the art, 1993.

$$B_w = (1 + \Delta V_{wp})(1 + \Delta V_{wT})$$

$$\Delta V_{wT} = -1.0001 \times 10^{-2} + 1.33391 \times (10^{-4})T + 5.50654 \times (10^{-7})T^2 \quad (8-1)$$

$$\Delta V_{wp} = -1.95301 \times (10^{-9})pT - 1.72834 \times (10^{-13})p^2T - 3.58922 \times (10^{-7})p - 2.25341 \times (10^{-10})p^2$$

B_w – volumni faktor vode [Rb / STB], T – temperatura [$^{\circ}F$], p – tlak [psi]

$T(0-127)^{\circ}C$, $p(0-345)bar$

3. Usporedba rezultata proračuna korelacijama

Metodom analize osjetljivosti na pojedini parametar (*sensitivity analysis*), uspoređivane su korelacije za volumni faktor, plinski faktor i tlak zasićenja. Rezultati su prikazani grafički.

Rezultati proračuna korelacijama za viskoznost ponajviše su funkcija sastava. Test osjetljivosti za ovaj tip korelacija bio bi previše složen i premašivao bi okvire završnih radova, pošto bi se ispod tlaka zasićenja za svaki početni sastav moralo testirati niz sastava otparenog fluida, a time bi broj testova drastično porastao (na pr. za 10 tlakova ispod tlaka zasićenja i samo dva različita početna tlaka, bilo bi 20 testova). Postoji mogućnost koristiti pseudoreducirane vrijednosti tlaka i temperature umjesto sastava, međutim, one ne daju zornu sliku u usporedbi.

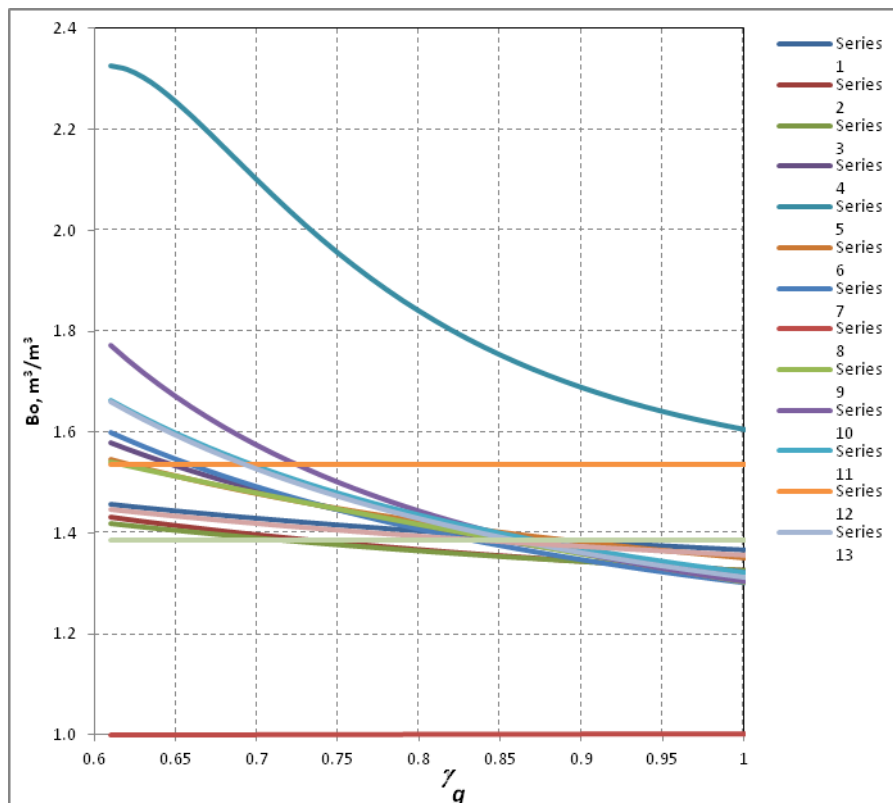
Za preostale korelacije, kompresibilnost vode i nafte (iznad tlaka zasićenja) itd., nije pronađen dovoljan broj korelacija pogodnih za usporedbu te su samo izrađene *VBA* funkcije za primjenu u MS Excelu.

3.1. Usporedba korelacija za B_o

Uspoređivane su slijedeće korelacije za B_o (i istim redoslijedom su označavane na slikama):

- 1 Standing (1947)
- 2 Vasquez i Beggs (1980)
- 3 Glaso (1980)
- 4 Al-Marhoun (1988)
- 5 Abdul Majeed i Salman (1988)
- 6 Dokla i Osman (1992)
- 7 Petrosky i Farshad (1993)
- 8 Farshad, Leblance, Garber i Osorio (1992)
- 9 Al-Marhoun (1992)
- 10 Omar i Todd (1993)
- 11 Almehaideb (1997)
- 12 Macary i El-Batanoney (1992)
- 13 Kartoatmodjo i Schmidt (1994)
- 14 Standing (1981)
- 15 Arp (1962)

Na slici 3-1. prikazani su rezultati analize osjetljivosti na relativnu gustoću plina, γ_g :

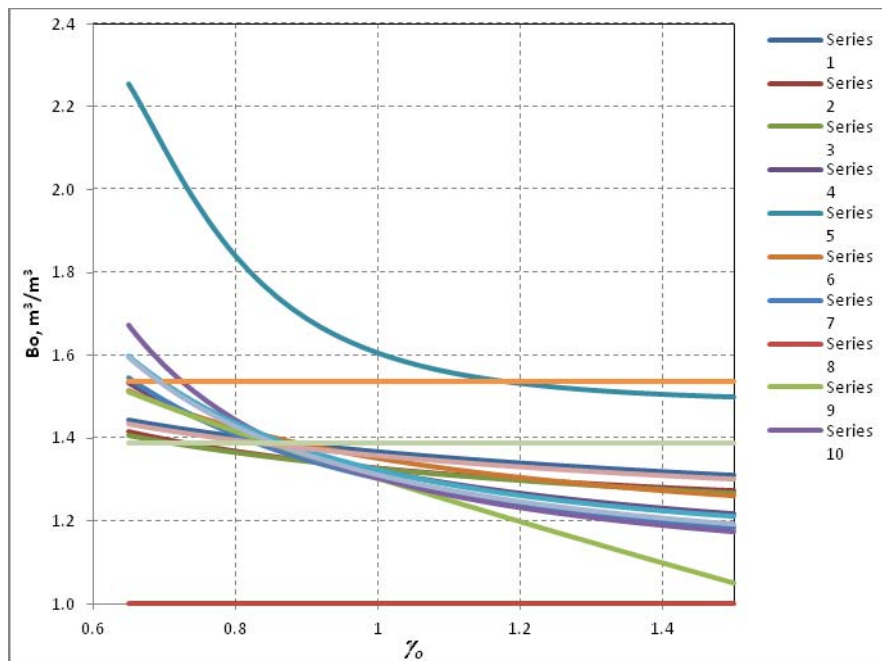


Slika 3-1: Analiza osjetljivosti volumnog faktora o relativnoj gustoći plina.

Korelacija broj 8 (Farshad, Leblance, Garber i Osorio, 1992) je najvjerojatnije krivo objavljena u literaturi jer uvijek daje $B_o = 1$. Pored toga, najviše odstupaju korelacije 5, 12 i 15.

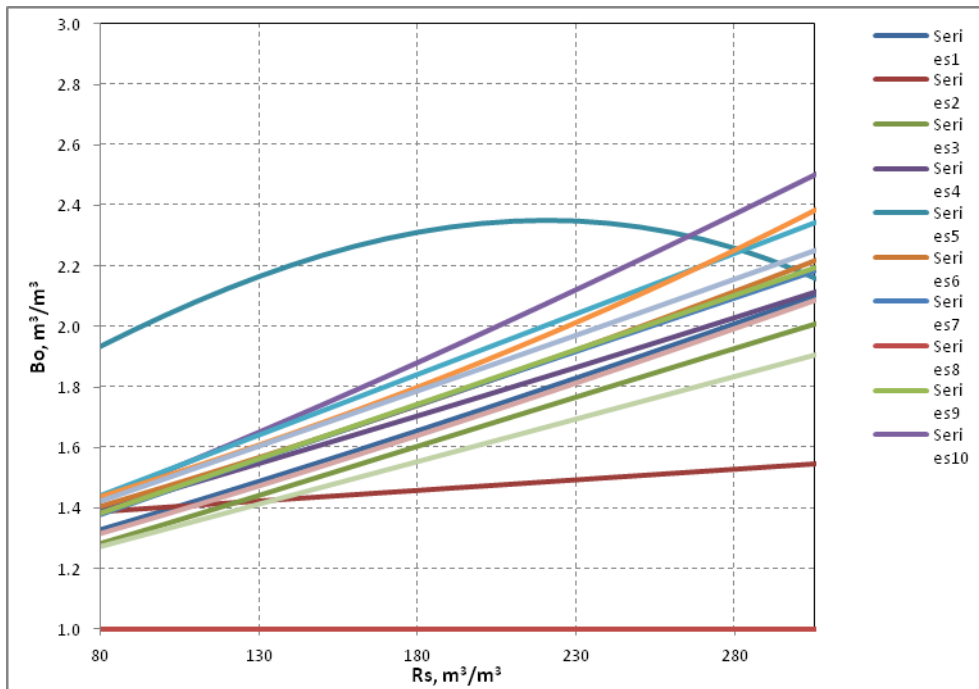
Pri analizi su korištene i konstantne vrijednosti temperature, $T = 100^\circ\text{C}$, relativne gustoće nafte $\gamma_o = 0.7$ te plinskog faktora $R_s = 120$.

Na slici 3-2. prikazani su rezultati analize osjetljivosti na relativnu gustoću nafte, γ_o :



Slika 3-2: Analiza osjetljivosti volumnog faktora o relativnoj gustoći nafte.

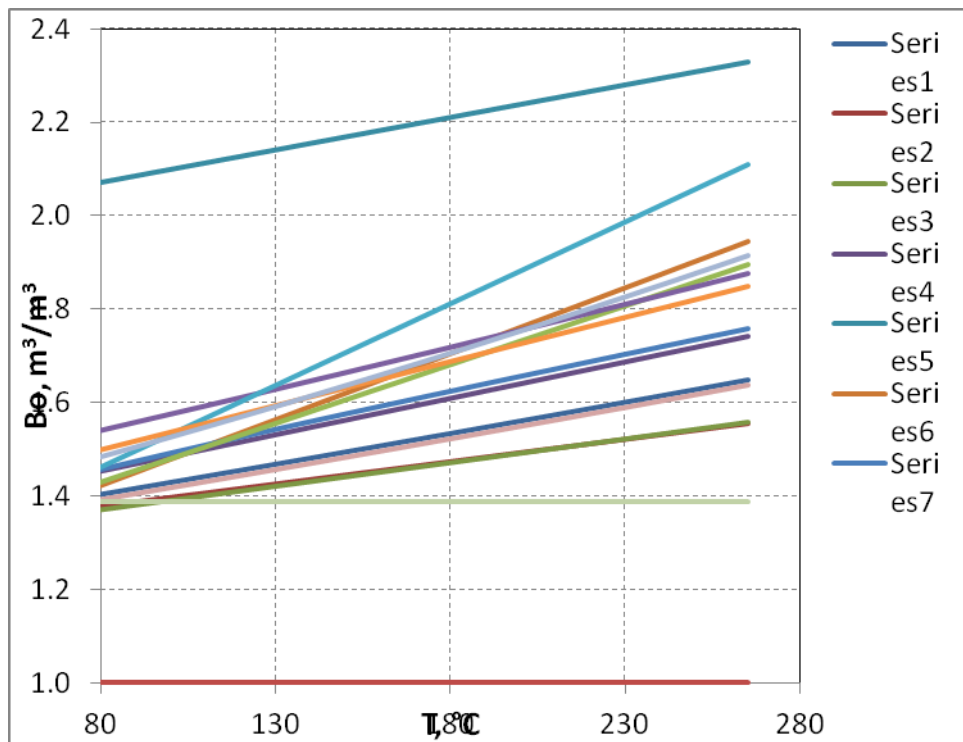
Prema slici 3-2, najviše odstupaju korelacije 5, 9, 12, 15. Pri analizi su korištene i konstantne vrijednosti temperature, $T = 100^\circ C$, relativne gustoće plina $\gamma_g = 0.7$ te plinskog faktora $R_s = 120$. Na slici 3-3 prikazani su rezultati analize osjetljivosti na plinski faktor R_s .



Slika 3-3: Analiza osjetljivosti volumnog faktora o plinskom faktoru.

Prema slici 3-3, promjenom plinskog faktora najviše odstupaju korelacije 5, 2, 8. Pri analizi su korištene i konstantne vrijednosti temperature, $T = 100^{\circ}\text{C}$, relativne gustoće plina $\gamma_g = 0.7$ te relativne gustoće nafte $\gamma_o = 0.7$.

Na slici 3-4 uspoređene su vrijednosti računatih faktora B_o i njihova osjetljivost na promjenu temperature:



Slika 3-4. Analiza osjetljivosti volumnog faktora o temperaturi

Promjenom temperature najveće je odstupanje korelacija 5, 11, 15.

Korištene su konstantne vrijednosti plinskog faktora, $R_s = 120$, relativne gustoće plina $\gamma_g = 0.7$ te relativne gustoće nafte $\gamma_o = 0.7$.

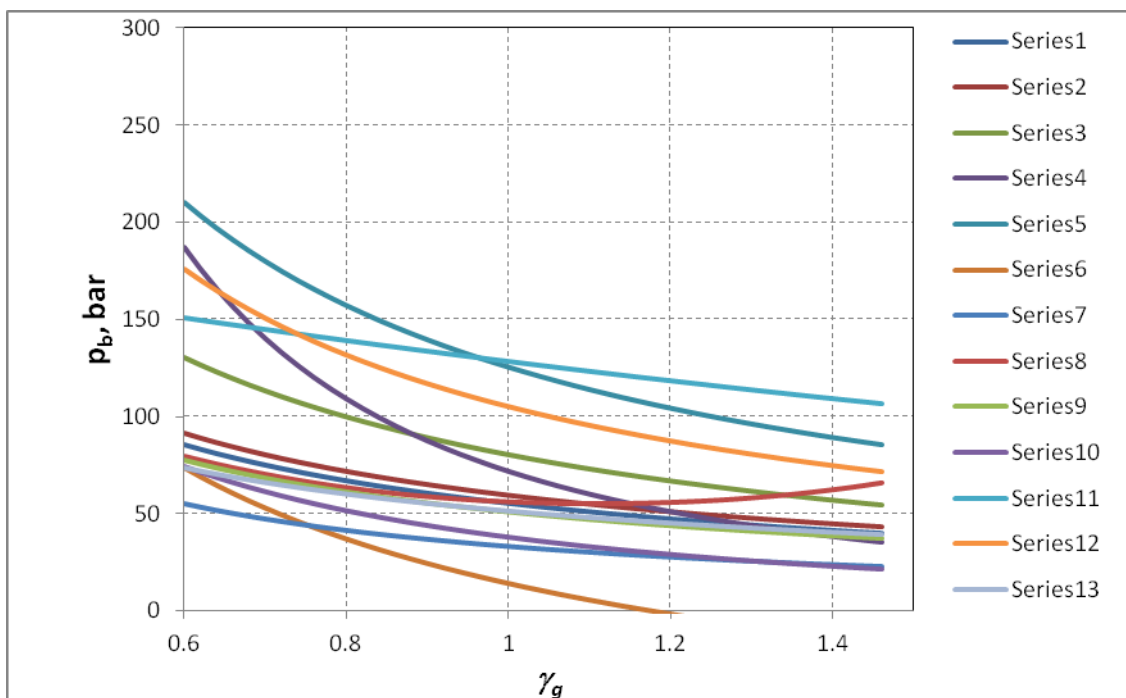
3.2. Usporedba korelacija za p_b

Uspoređivane su slijedeće korelacije za tlak zasićenja (istim redoslijedom su označavane na slikama):

- 1 Standing (1947)
- 2 Vazquez Beggs (1980)
- 3 Glaso (1980)
- 4 Al-Marhoun (1988)
- 5 Dokla, Osman (1992)
- 6 Petrosky, Farshad (1992)
- 7 Lasater (1958)
- 8 Omar, Todd (1993)
- 9 Farshad 1 (1992)

- 10 Farshad 2 (1992)
- 11 Macary, El Batanoney (1992)
- 12 Almehaideb (1997)
- 13 Kartoatmodjo, Schmidt (1994)

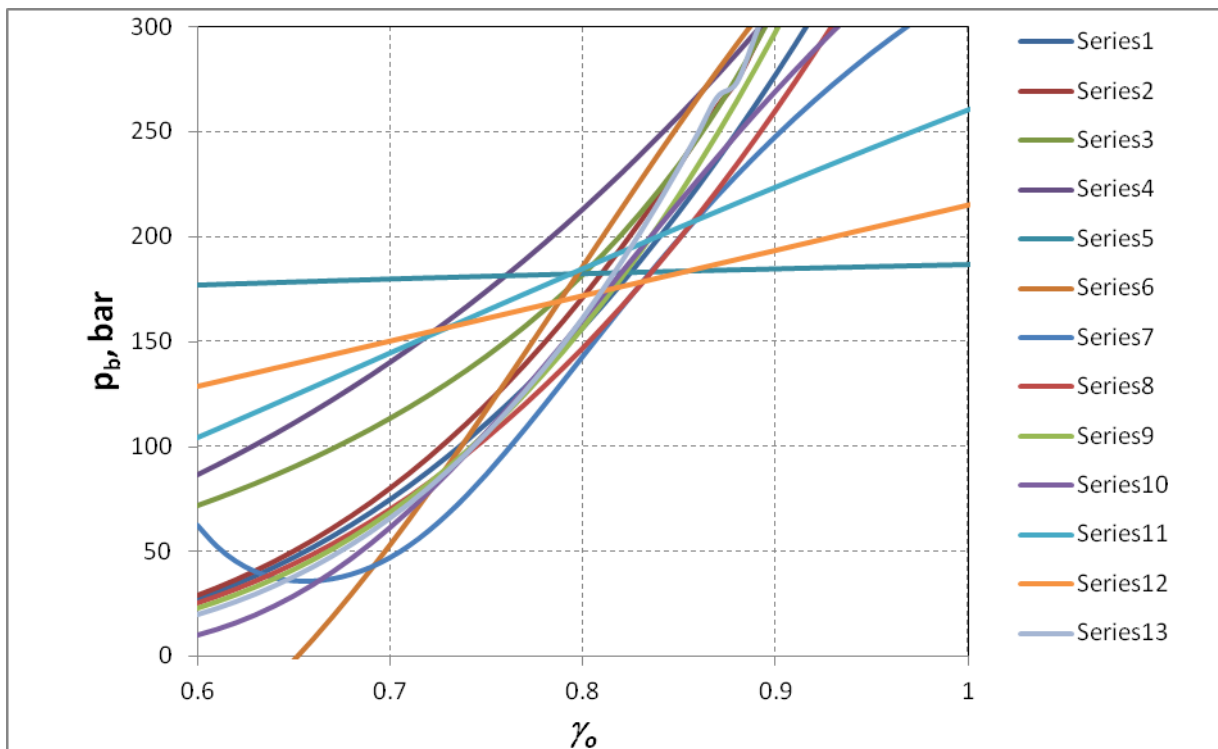
Na slici 3-5. prikazani su rezultati analize osjetljivosti na relativnu gustoću plina, γ_g , uz konstantnu temperaturu od 100°C, $\gamma_o = 0.7$ i $B_o = 1.6$ (volumni faktor se koristi samo u nekim korelacijama i odabran je tako da se najbolje slažu rezultati s većinom ostalih):



Slika 3-5. Analiza osjetljivosti tlaka zasićenja o relativnoj gustoći plina.

Teško je na osnovi slike 3-5 izdvojiti neku korelaciju pošto su rezultati prilično raspršeni.

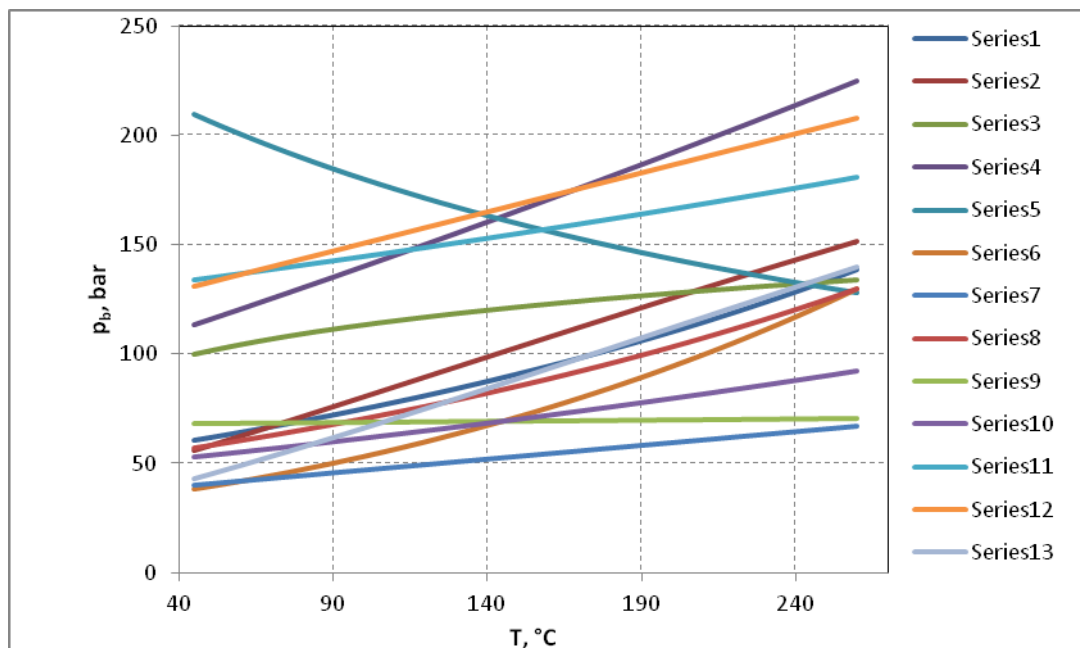
Slikom 3-6. dati su rezultati analize osjetljivosti na relativnu gustoću nafte, γ_o , uz konstantnu temperaturu od 100°C , $\gamma_g = 0.7$ i $B_o = 1.6$:



Slika 3-6. Analiza osjetljivosti tlaka zasićenja o relativnoj gustoći nafte.

Promjenom relativne gustoće nafte, najveće je odstupanje korelacija 5, 11 i 12.

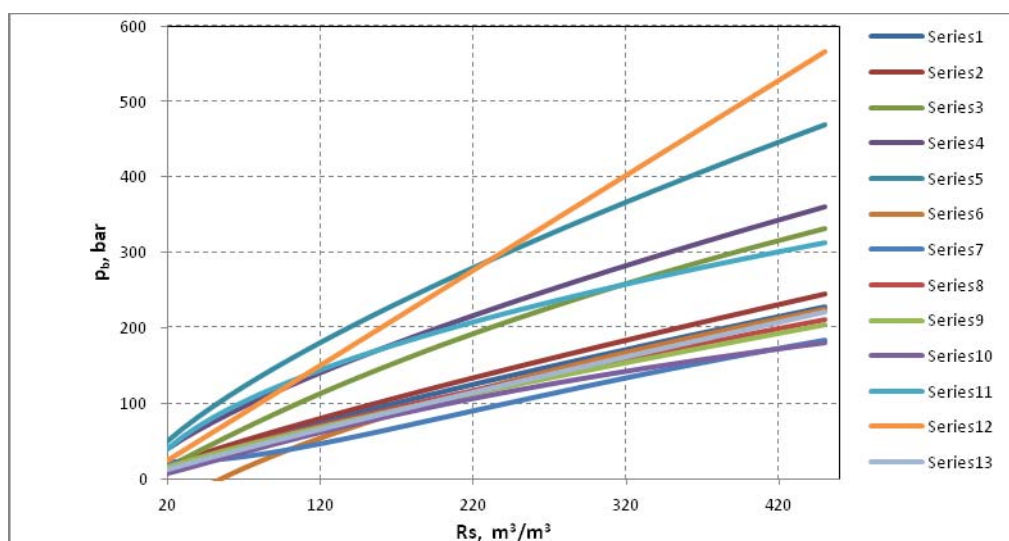
Slikom 3-7. dati su rezultati analize osjetljivosti tlaka zasićenja na temperaturu, uz relativnu gustoću nafte i plina ($\gamma_o = 0.7$, $\gamma_g = 0.7$)



Slika 3-7. Analiza osjetljivosti tlaka zasićenja o temperaturi.

Prema trendu krivulje (jedine koje monotonno ne rastu), može se izdvojiti korelacije 5 i 9.

Slikom 3-8. Uspoređeni su rezultati analize osjetljivosti tlaka zasićenja na promjenu plinskog faktora, uz relativnu gustoću nafte i plina ($\gamma_o = 0.7$, $\gamma_g = 0.7$), temperaturu $T = 100^\circ\text{C}$ te $B_o = 1.6 \text{ m}^3/\text{m}^3$.



Slika 3-8. Analiza osjetljivosti tlaka zasićenja o plinskom faktoru.

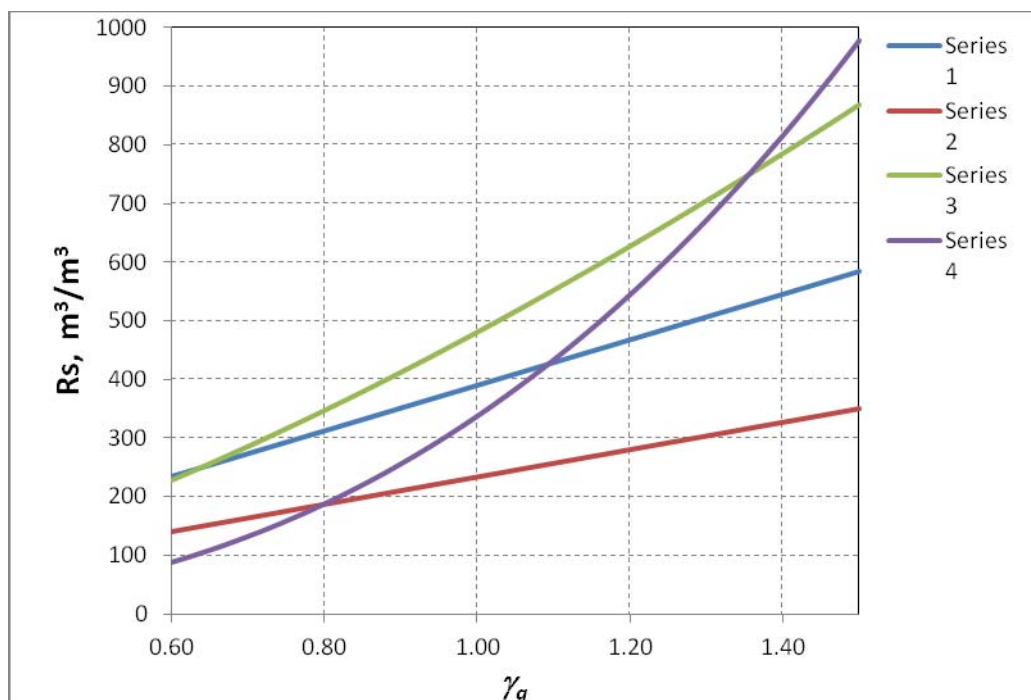
Korelacije 3, 4, 5, 11 i 12 odstupaju od ostatka koje daju jako slične rezultate.

3.3. Usporedba korelacija za R_s

Korelacije za tlak zasićenja, p_b su uvijek funkcija plinskog faktora, R_s pa se može računati plinski faktor ukoliko je poznat tlak zasićenja. Ipak, u literaturi su neke zasebno izdvojene.

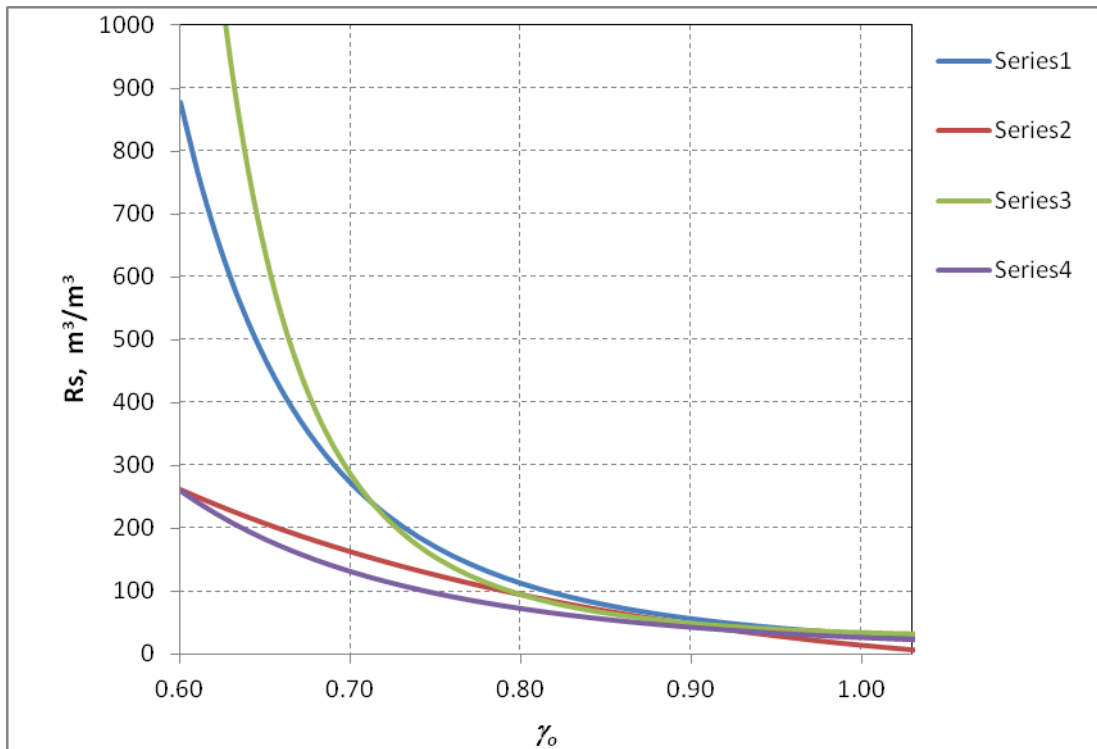
- 1 Standing (1981)
- 2 Glaso (1980)
- 3 Petrosky, Farshad (1993)
- 4 Al-Marhoun (1988)

Slike 3-9 (osjetljivost na promjenu γ_g), 3-10 (promjena γ_o), 3-11 (promjena tlaka zasićenja) i 3-12 (promjena temperature) pokazuju usporedno dobivene rezultate osjetljivosti. Konstantne vrijednosti ostalih nezavisnih varijabli su: $\gamma_g = 0.7$, $\gamma_o = 0.7$, $T = 100^\circ\text{C}$, $p_b = 150\text{ bar}$.



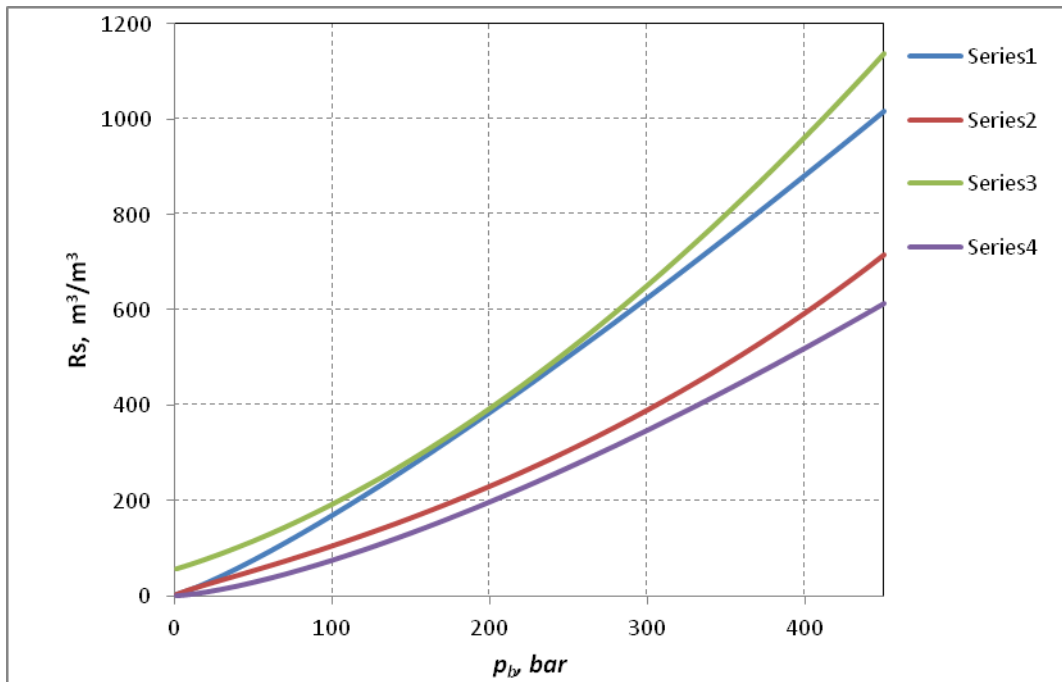
Slika 3-9. Analiza osjetljivosti plinskog faktora o relativnoj gustoći plina.

Na slici 3-9, ne može se uočiti pravilnost niza krivulja.



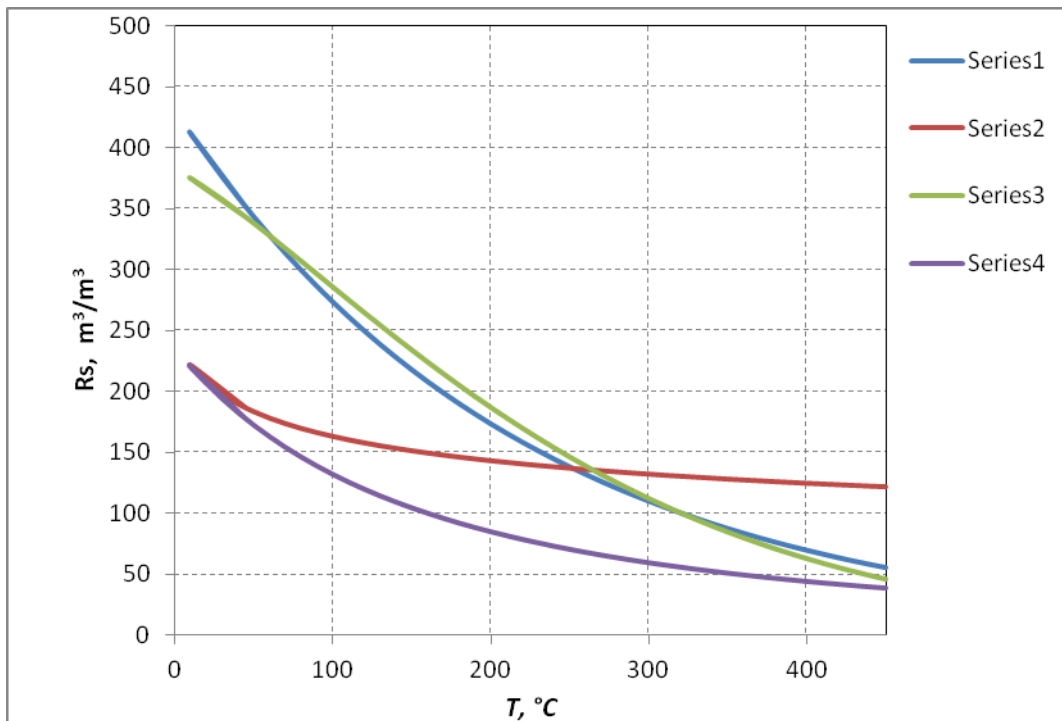
Slika 3-10. Analiza osjetljivosti plinskog faktora o relativnoj gustoći nafte.

Na slici 3-10, postoji 2 grupe po dvije krivulje: 1 i 3 te 2 i 4.



Slika 3-11. Analiza osjetljivosti plinskog faktora o tlaku zasićenja.

Na slici 3-11, postoji 2 grupe po dvije krivulje: 1 i 3 te 2 i 4.



Slika 3-12. Analiza osjetljivosti plinskog faktora o temperaturi.

Na slici 3-12 poklapaju se jedino krivulje 1 i 3.

4. Zaključak

U radu je korišteno 15 korelacija za volumni faktor, 13 za tlak zasićenja, 4 za plinski faktor, 2 za viskoznost nafte, 3 za viskoznost plina, 3 za kompresibilnost nafte (iznad tlaka zasićenja), 1 za kompresibilnost vode i 1 za volumni faktor vode.

Za korelacije je izrađen računalni kod, u obliku *UDF VBA* funkcija kako bi se mogle po potrebi koristiti unutar aplikacije MS Excel i kako bi se moglo testirati korelacije u širokom rasponu ulaznih vrijednosti i time je izvršen osnovni praktični zadatak završnog rada.

Pošto se radi o istraživanju pouzdanosti korelacija, nisu prevedene u SI jedinice nego su opisivane s izvornim jedinicama iz literature kako bi se smanjila mogućnost pogreške. Unutar *VBA* funkcija ugrađene su pretvorbe jedinica ulaznih parametara te konačnog rezultata, tako da se pri proračunu koriste ulazni podaci u SI sustavu uz povratni rezultat također u SI sustavu. Tako se uz korištenje neizmijenjene izvorno publicirane korelacije može lako računati u SI sustavu.

Rađene su analize osjetljivosti na ulazne parametre, uz izmjenu jednog po jednog parametra i istovremeno konstantne preostale ulazne nezavisne varijable. Na taj način su se jako brzo uočile greške u programiranju koje su lako ispravljene, ponovnom provjerom, uz korištenje *VBA Editor – debuggera* pomoću kojeg se kod programa može pratiti korak po korak, uz ispis svih željenih varijabli.

Nakon provjere aplikacije, ustanovljeno je da ipak neke funkcije daju nelogične rezultate. Tada se grešku tražilo u samoj publiciranoj korelaciji i nakon pronalaska pogreške, tražilo se drugu publikaciju. Često su u člancima i knjigama nepotpuno ili krivo opisane oznake (bez jedinica i sl.). Pri tome, ustanovljeno je kako se neke korelacije s greškom ponovo tiskaju u nizu radova i knjiga.

Ukoliko pak nije pronađena publikacija koja ima najpouzdanije otisnutu korelaciju, nastavilo se testiranje. Najbolji primjer je, za volumni faktor, korelacija Farshad, Leblance, Garber i Osorio (1992) za koju je trivijalno ustanoviti kako daje krive rezultate (uvijek daje $B_o = 0$). Manje trivijalne slučajeve, ili nepouz dane korelacije izdvojilo se analizom osjetljivosti:

1. Za volumni faktor:

- prema osjetljivosti volumnog faktora o relativnoj gustoći plina, najviše odstupaju korelacije 5, 12 i 15 (Abdul Majeed i Salman, 1988, Macary i El-Batanoney 1992, Arp, 1962)

- iz osjetljivosti volumnog faktora o relativnoj gustoći nafte najviše odstupaju korelacije 5, 9, 12, 15 (Abdul Majeed i Salman, 1988, Al-Marhoun, 1992, Macary i El-Batanoney, 1992, Arp, 1962)

- testom osjetljivosti o plinskom faktoru mogu se odbaciti korelacije 2, 5 (Vaszquez i Beggs, 1980, Abdul Majeed i Salman, 1988)

- Promjenom temperature najveće odstupanje se može uočiti kod korelacija 5, 11, 15 (Abdul Majeed i Salman, 1988, Almehaideb, 1997, Arp, 1962)

Preostale korelacije se dovoljno slažu promjenom svakog od ulaznih parametara:

1-Standing (1947)

3-Glaso (1980)

4-Al-Marhoun (1988)

6-Dokla i Osman (1992)

7-Petrosky i Farshad (1993)

10-Omar i Todd (1993)

13-Kartoatmodjo i Schmidt (1994)

14-Standing (1981)

2. Za tlak zasićenja

- iz testa promjenom relativne gustoće nafte mogu se izbaciti korelacije 5, 11 i 12 (Dokla, Osman, 1992, Macary i El Batanoney, 1992, Almehaideb, 1997)

- iz testa osjetljivosti tlaka zasićenja o temperaturi može se izdvojiti korelacije 5 i 9 (Dokla i Osman, 1992, Farshad, 1992).

- prema osjetljivosti tlaka zasićenja o plinskom faktoru korelacije 3, 4, 5, 11 i 12 (Glaso, 1980, Al-Marhoun, 1988, Dokla i Osman, 1992, Macary i El Batanoney, 1992, Almehaideb, 1997)

mogu se izdvojiti kao manje pouzdane.

Preostale korelacije se ne poklapaju, ali nisu pokazale odstupanje u trendu rasta ili pada krivulja:

1-Standing (1947)

2-Vazquez Beggs (1980)

6-Petrosky, Farshad (1992)

7-Lasater (1958)

8-Omar, Todd (1993)

10-Farshad 2 (1992)

13-Kartoatmodjo, Schmidt (1994)

3. Za plinski faktor

Korelacije za plinski faktor su zapravo istovjetne korelacijama za tlak zasićenja (svaka korelacija za tlak zasićenja koristi plinski faktor kao ulazni parametar). Tako da bi za analizu objavljenih korelacija za plinske faktore istih autora bilo dovoljno provjeriti koje korelacije su pouzdane nakon testa osjetljivosti korelacija za tlak zasićenja. Ipak, ponovio se test i za korelacije plinskih faktora te su uočene dvije grupe po dvije korelacije koje se slažu uz promjenu relativne gustoće i tlaka zasićenja (Standingova, 1981 i Petrosky i Farshad, 1993 te Glasø, 1980 i Al-Marhoun, 1988). Kada se mijenja relativnu gustoću plina, Al-Marhounova i Glasøva nisu se poklapale niti međusobno, niti po trendu krivulja niti s preostalim krivuljama. Iz toga se može zaključiti veća pouzdanost Standingove korelacije i korelacije Petroskya i Farshada).

Ovakva analiza može pomoći odabiru korelacije za određeno područje ulaznih vrijednosti.

Također, analiza se može proširiti usporedbom s mjerenim podacima o nafti i plinu, uz podešavanje koeficijenata najtočnije korelacije za svako svojstvo.

5. Literatura

1. AL-MARHOUN, MA., "New Correlations Formatin Volume Factors of Oil and Gas Mixtures", JCPT, pp.Z-26, March 1992
2. AL-MARHOUN, MA., "PVT Correlations for Middle East Crude Oils", JPT, pp. 650-666, May 1988.
3. ALMEHAIDEB, R.A.: "Improved PVT Correlations for UAE Crude Oils," paper SPE 37691 presented at the 1997 SPE Middle East Oil Show, Manama, Bahrain, 15–18 March.
4. ALMEHAIDEB, R.A.: "Improved PVT Correlations for UAE Crude Oils," SPE 37691 (ožujak 1997)
5. AL-SHAMMASI, A. A. "Bubble Point Pressure and Oil Formation Volume Factor Correlations", Paper SPE 53185 in Proceedings of the SPE Middle East Oil Show and Conference, Bahrain, March 15-18, 1997.
6. AL-SHAMMASI, A.A.: „*A Review of Bubblepoint Pressure and Oil Formation Volume Factor Correlations*,“ SPE 71302 (siječanj 2001) : 147-148
7. ASGARPOUR, S., MCLAUHLIN, L. I WONG, D.: „Pressure-Volume-Temperature Correlations For Western Canadian Gases And Oils“, Journal of Canadian Petroleum Technology, July-August 1989, Vol. 28, 4, pp. 103-111.
8. CALHOUN, J.C. JR., "Fundamentals of Reservoir Engineering"; University of Oklahoma Press, Norman, Oklahoma, 35, 1947
9. CHAPMAN, C.: "Dimensionless PVT Behavior of Gulf Coast Reservoir Oils," JPT (May 1973) 538.
10. DINDORUK, B. i CHRISTMAN, P.G., „PVT Properties and Viscosity Correlations for Gulf of Mexico Oils“, 2001 SPE Annual Technical Conference and Exhibition, New Orleans, Louisiana, 30 September–3 October 2001.
11. DOKLA, M. i OSMAN, M.: "Correlation of PVT Properties for UAE Crudes," SPEFE (March 1992) 41.
12. DOKLA, M. i OSMAN, M.: "Correlation of PVT Properties for UAE Crudes," SPEFE (ožujak 1992) 41.

13. FARSHAD, F., LE BLANC, J.L., GARBER, J.D.: „*Empirical PVT Correlations for Colombian Crude Oils*“, 4th Latin American And Caribbean Petroleum Engineering Conference, Port of Spain, Trinidad i Tobago, 23-26 (April 1996): 311-320
14. FRASHAD, F., LE BLANC, J.L., GARBER, J.D.: „Empirical PVT Correlations for Colombian Crude Oils“, 4th Latin American And Caribbean Petroleum Engineering Conference, Port of Spain, Trinidad i Tobago, 23-26 April 1996., pp. 311-320
15. GLASØ, O.,“Generalized Pressur-Volume-Temperature Correlations”, JPT, pp. 785-795, May 1980.
16. GLASØ, O.,“Generalized Pressur-Volume-Temperature Correlations”, JPT (ožujak 1980): 785-795
17. HEMMATI, M.N i KHARRAT, R.: „*Evaluation of Empirically Derived PVT Properties for Middle East Crude Oils*“, Scientia Iranica, vol.14. No.4, (kolovoz 2007): 367
18. JAVADPOUR, F., JAMIALAHMADI, M., i SHADIZADEH, S. R., 1998, „Comparative investigation of formation volume factor correlations of oil and gas mixtures“, Petroleum Society's 49th Annual Technical Meeting, Calgary, Alberta, Canada, June 8–10.
19. KARTOATMODJO, T i SCHMIDT, Z.: “Large data bank improves crude physical property correlations,” Oil & Gas J. (4 July 1994) 51.
20. Katz, D.L.: “Prediction of shrinkage of crude oils,” Drill. Prod. &Prac., API, Dallas (1942) 137.
21. KHAN, S.A., AL-MARHOUN, M.A., DUFFUAA, S.O., ABU-KHAMSIN, S.A.:”Viscosity Correlations for Saudi Arabian Crude oils,” SPE 15720 (ožujak 1987)
22. LASATER, J.S.: “Bubble Point Pressure Correlation,” Trans., AIME (1958) 213, 379.
23. MACARY, S.M. I EL-BATANONEY, M.H.: “Derivation of PVT Correlations for the Gulf of Suez Crude Oils,” EGPC 11th Pet. Exp. & Prod. Conf. (1992).
24. NIAKAN, M.R, ‘Correlation of Oil Formation Volume Factors for Asmari and Bangestan Crude Within the Agreement Area’; NIOC Technical Library Repon No. P 1214, Jan 1967

25. OMAR, M.I. i TODD, A.C.: “Development of New Modified Black Oil Correlation for Malaysian Crudes,” paper SPE 25338 presented at the 1993 SPE Asia Pacific Oil and Gas Conference, Singapore, 8–10 February.
26. PETROSKY, G., FARSHAD, F.: “Pressure-Volume-Temperature Correlation for the Gulf of Mexico,” paper SPE 26644 presented at the 1993 SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Houston, 3–6 October.
27. PETROSKY, G.E.: „*Pressure-Volume-Temperature Correlations for Gulf of Mexico Crude Oils*,” SPE 26644 (listopad 1993): 3
28. SHOKIR, E., i dr.: “Modeling Approach for Predicting PVT Data”, Engineering Journal of the University of Qatar, vol. 17, pp. 11–28, 2004.
29. STANDING, M.B.: “*A Pressure Volume Temperature Correlation for Mixture of California Oils and Gases*,” Drill. & Prod. Prac., API, Dallas (1947): 275.
30. SUTTON, R.P.: „*Fundamental PVT Calculations for Associated and Gas/Condensate Natural Gas Systems*,” SPE (listopad 2005): 2-3
31. VAZQUEZ, M. i BEGGS, H.D.: “Correlation for Fluid Physical Property Prediction,” JPT (lipanj, 1980): 968
32. VAZQUEZ, M.E., BEGGS, H.D., “Correlations for Fluid Physical Property Prediction”; JPT, pp. 986-970, June 1980.
33. VAZQUEZ, M.E.: “Correlation for Fluid Physical Property Prediction,” MS thesis, U. of Tulsa, Tulsa, Oklahoma (1976).
34. VELARDE, J., BLASINGAME, T.A. i MCCAIN, W.D. Jr.: „Correlation of black oil properties at pressures below bubble point pressure—a new approach“, J. Can. Pet. Technol., Spec. Ed. **38** 13 (1999), pp. 62–68.
35. WU, R., ROSENEGGER, L. „Comparison of PVT Properties from Equation of State Analysis and PVT Correlations for Reservoir Studies“, CSPG and Petroleum Society Joint Convention, Calgary, Alberta, Canada, June 14 – 18, 1999.

6. Dodaci

6.1. Korelacije za volumni faktor nafte, Bo

' STANDINGOVA korelacija (1980) za računanje Bo faktora

Function BoStanding1980(Rs As Double, gamaG As Double, gamaO As Double, T As Double)

' Ulazne vrijednosti u korelaciju : temperatura [°F], Rs [scf/STB], relativna gustoca plina (dijelovi jedinice), relativna gustoca nafte [dijelovi jedinice]

Rs = ScfSTB(Rs)

T = fahrenheit(T)

BoStanding1980 = 0.9759 + 0.00012 * (Rs * (gamaG / gamaO) ^ 0.5 + 1.25 * T) ^ 1.2

End Function

' ARPOVA korelacija (1962) za računanje Bo faktora

Function BoArp(Rs As Double)

' Ulazne vrijednosti u korelaciju : Rs [scf/STB], relativna gustoca nafte [dijelovi jedinice]

Rs = ScfSTB(Rs)

' eventualne restrikcije (u kojim rasponima ulaznih vrijednosti radi)

' ulazne jedinice u originalnu korelaciju

' Rs [scf/STB]

BoArp = 1.05 + 0.0005 * Rs

End Function

' STANDINGOVA korelacija (1947) za računanje Bo faktora

' Bo raspon (1.0240 – 2.150) m3/m3

' T raspon (38 - 125) °C

' Rs raspon (3 - 253) m3/m3

' rel. gustoca nafte (0.72 - 0.96)

' rel. gustoca plina (0.59 - 0.95)

Function BoStanding1947(Rs As Double, gamaG As Double, gamaO As Double, T As Double)

' Ulazne vrijednosti u korelaciju : temperatura [°F], Rs [scf/STB], relativna gustoca plina, relativna gustoca nafte

Rs = ScfSTB(Rs)

T = fahrenheit(T)

a1 = 0.972

a2 = 0.0001472

a3 = 0.5

a4 = 1.25

a5 = 1.175

BoStanding1947 = a1 + a2 * (Rs * ((gamaG / gamaO) ^ a3) + a4 * T) ^ a5

End Function

' VAZQUEZ, BEGGSOVA korelacija (1980) za računanje Bo faktora

' Bo raspon (1.028 – 2.226) m3/m3

' T raspon (24 - 145) °C

' Rs raspon (0 - 392) m3/m3

' rel. gustoca nafte (0.74 - 0.96)

' rel. gustoca plina (0.511 - 0.95)

Function BoVazques_Beggs(Rs As Double, gamaG As Double, gamaO As Double, T As Double)

' Ulazne vrijednosti u korelaciju : temperatura [°F], Rs [scf/STB], API [°API], relativna gustoca plina, relativna gustoca nafte

Rs = ScfSTB(Rs)

T = fahrenheit(T)

gamaO = API(gamaO)

BoVazques_Beggs = 1 + 0.0004677 * Rs + 0.00001751 * ((gamaO / gamaG) * (T - 60)) + (-0.000000018106) * (Rs * (gamaO / gamaG) * (T - 60))

End Function

' GLASOVA korelacija (1980) za računanje Bo faktora

' Bo raspon (1.032 – 2.588) m3/m3

' T raspon (27 - 137) °C

' Rs raspon (16 - 470) m3/m3

' rel. gustoca nafte (0.79 - 0.92)

' rel. gustoca plina (0.65 - 1.28)

Function BoGlaso(Rs As Double, gamaG As Double, gamaO As Double, T As Double)

' Ulazne vrijednosti u korelaciju : temperatura [°F], Rs [scf/STB], relativna gustoca plina, relativna gustoca nafte

Rs = ScfSTB(Rs)

T = fahrenheit(T)

Dim g As Double

a1 = -6.58511

```

a2 = 2.91329
a3 = 0.27683
a4 = 0.526
a5 = 0.968
g = Rs * (gamaG / gamaO) ^ a4 + a5 * T
BoGlaso = 1 + 10 ^ (a1 + a2 * Log10(g) - a3 * (Log10(g)) ^ 2)
End Function

' AL-MARHOUNOVA korelacija (1988) za računanje Bo faktora
' Bo raspon (1.032 – 1.997) m3/m3
' T raspon (23 - 115) °C
' Rs raspon (5 - 285) m3/m3
' rel. gustoca nafte (0.80 - 0.94)
' rel. gustoca plina (0.75 - 1.37)
Function BoMarhoun1988(Rs As Double, gamaG As Double, gamaO As Double, T As Double)
' Ulazne vrijednosti u korelaciju : temperatura [°F], Rs [scf/STB], relativna gustoca plina, relativna gustoca nafte
Rs = ScfSTB(Rs)
T = fahrenheit(T)
a1 = 0.497069
a2 = (0.862963) * 10 ^ -3
a3 = (0.182593) * 10 ^ -2
a4 = 0.0000318099
a5 = 0.74239
a6 = 0.323294
a7 = -1.2024
Dim M As Double
M = Rs ^ a5 * gamaG ^ a6 * gamaO ^ a7
BoMarhoun1988 = a1 + a2 * (T + 460) + a3 * M + a4 * M ^ 2
End Function

' ABDUL-MAJEED, SALMANOVA korelacija (1988) za računanje Bo faktora
' Bo raspon (1.028 – 2.042) m3/m3
' T raspon (23 - 143) °C
' Rs raspon (0 - 296) m3/m3
' rel. gustoca nafte (0.74 - 1.00)
' rel. gustoca plina (0.51 - 1.35)
Function BoMajeed_Salman(Rs As Double, gamaG As Double, gamaO As Double, T As Double)
' Ulazne vrijednosti u korelaciju : temperatura [°F], Rs [scf/STB], relativna gustoca plina, relativna gustoca nafte
Rs = ScfSTB(Rs)
T = fahrenheit(T)
a1 = 0.9657876
a2 = 0.000773
a3 = 0.000048141
a4 = -0.0000000068987
a5 = 1.2
a6 = -0.147
a7 = -5.222
Dim M As Double
M = Rs ^ a5 * gamaG ^ a6 * gamaO ^ a7
BoMajeed_Salman = a1 + a2 * (T + 460) + a3 * M + a4 * M ^ 2
End Function

' DOKLA, OSMANOVA korelacija (1992) za računanje Bo faktora
' Bo raspon (1.216 – 2.493) m3/m3
' T raspon (87 - 135) °C
' Rs raspon (32 - 403) m3/m3
' rel. gustoca nafte (0.82 - 0.89)
' rel. gustoca plina (0.80 - 1.29)
Function BoDokla_Osman(Rs As Double, gamaG As Double, gamaO As Double, T As Double)
' Ulazne vrijednosti u korelaciju : temperatura [°F], Rs [scf/STB], relativna gustoca plina, relativna gustoca nafte
Rs = ScfSTB(Rs)
T = fahrenheit(T)
a1 = 0.0431935
a2 = 0.00156667
a3 = 0.00139775
a4 = 0.00000380525
a5 = 0.773572
a6 = 0.40402
a7 = -0.882605

```

```

Dim M As Double
M = Rs ^ a5 * gamaG ^ a6 * gamaO ^ a7
BoDokla_Osman = a1 + a2 * (T + 460) + a3 * M + a4 * M ^ 2
End Function

' PETROSKI, FARSHADOVA korelacija (1993) za računanje Bo faktora
' Bo raspon (1.118 – 1.623) m3/m3
' T raspon (45 - 142) °C
' Rs raspon (38 - 250) m3/m3
' rel. gustoca nafte (0.80 - 0.96)
' rel. gustoca plina (0.58 - 0.85)
Function BoPetrosky_Farshad(Rs As Double, gamaG As Double, gamaO As Double, T As Double)
' Ulazne vrijednosti u korelaciju : temperatura [°F], Rs [scf/STB], relativna gustoca plina, relativna gustoca nafte
Rs = ScfSTB(Rs)
T = fahrenheit(T)
a1 = 1.0113
a2 = 0.000072046
a3 = 0.3738
a4 = 0.2914
a5 = 0.6265
a6 = 0.24626
a7 = 0.5371
a8 = 3.0936
BoPetrosky_Farshad = a1 + a2 * ((Rs) ^ a3 * ((gamaG ^ a4) / (gamaO ^ a5))) + a6 * T ^ a7 ^ a8
End Function

' FARSHAD, LEBLANCE, GARBER, OSORIJEVA korelacija (1992) za računanje Bo faktora
' Bo raspon (1.060 – 2.064) m3/m3
' T raspon (35 - 126) °C
' Rs raspon (1 - 293) m3/m3
' rel. gustoca plina (0.80 - 0.95)
' rel. gustoca plina (0.66 - 1.7)
Function BoFarshad_Leblance(Rs As Double, gamaG As Double, gamaO As Double, T As Double)
' Ulazne vrijednosti u korelaciju : temperatura [°F], Rs [scf/STB], relativna gustoca plina [dijelovi jedinice], relativna gustoca nafte [dijelovi jedinice]
Rs = ScfSTB(Rs)
T = Rankine(T)
a1 = -2.6541
a2 = 0.5576
a3 = 0.3331
a4 = 0.5956
a5 = 0.2369
a6 = -1.3282
a7 = 0.0976
g = (Rs ^ a4) * (gamaG ^ a5) * (gamaO ^ a6) + a7 * T

BoFarshad_Leblance = 1 + 10 ^ (a1 + a2 * Log10(g) - a3 * (Log10(g)) ^ 2)
End Function

' AL-MARHOUNOVA korelacija (1992) za računanje Bo faktora
' Bo raspon (1.010 – 2.960) m3/m3
' T raspon (23 - 148) °C
' Rs raspon (0 - 581) m3/m3
' rel. gustoca nafte (0.76- 1.00)
' rel. gustoca plina (0.575 - 2.52)
Function BoMarhoun1992(Rs As Double, gamaG As Double, gamaO As Double, T As Double)
' Ulazne vrijednosti u korelaciju : temperatura [°F], Rs [scf/STB], relativna gustoca plina, relativna gustoca nafte
Rs = ScfSTB(Rs)
T = fahrenheit(T)
a1 = 0.000177342
a2 = 0.000220163
a3 = 0.00000429258
a4 = 0.000528707
BoMarhoun1992 = 1 + a1 * Rs + a2 * Rs * (gamaG / gamaO) + a3 * Rs * (1 - gamaO) * (T - 60) + a4 * (T - 60)
End Function

' OMAR, TODDOVA korelacija (1993) za računanje Bo faktora
' Bo raspon (1.085 – 1.954) m3/m3
' T raspon (51 - 137) °C
' Rs raspon (25 - 256) m3/m3

```



```
' rel. gustoca nafte (0.77 - 0.00)
' rel. gustoca plina (0.612 - 1.32)
Function BoOmar_Todd(Rs As Double, gamaG As Double, gamaO As Double, T As Double)
' Ulazne vrijednosti u korelaciju : temperatura [°F], Rs [scf/STB], API [°API], relativna gustoca plina, relativna gustoca nafte
Rs = ScfSTB(Rs)
T = fahrenheit(T)
API_g = (141.5 / gamaO) - 131.5
Dim x As Double
a1 = 0.972
a2 = 0.0001472
a3 = 0.5
a4 = 1.25
b1 = 1.1663
b2 = 0.000762
b3 = -0.0399
x = b1 + b2 * (API_g / gamaG) + b3 * gamaG
BoOmar_Todd = a1 + a2 * (Rs * ((gamaG / gamaO) ^ a3) + a4 * T) ^ x
End Function
```

```
' ALMEHAIDEBOVA korelacija (1997) za računanje Bo faktora
' Bo raspon (1.142 – 3.562) m3/m3
' T raspon (87 - 152) °C
' Rs raspon (22 - 689) m3/m3
' rel. gustoca nafte (0.79 - 0.87)
Function BoAlmehaideb(Rs As Double, gamaO As Double, T As Double)
' Ulazne vrijednosti u korelaciju : temperatura [°F], Rs [scf/STB], relativna gustoca nafte
Rs = ScfSTB(Rs)
T = fahrenheit(T)
a1 = 1.122018
a2 = 0.00000141
BoAlmehaideb = a1 + a2 * Rs * T / (gamaO ^ 2)
End Function
```

```
' MACARY, EL-BATANONEYEVA korelacija (1992) za računanje Bo faktora
' Bo raspon (1.20 – 2.00) m3/m3
' T raspon (54 - 143) °C
' Rs raspon (0.83-0.90) m3/m3
' rel. gustoca nafte (25 - 40)
' rel. gustoca plina (0.83-0.90)
Function BoMacary(Rs As Double, gamaG As Double, gamaO As Double, T As Double)
' Ulazne vrijednosti u korelaciju : temperatura [°F], Rs [scf/STB], relativna gustoca plina, relativna gustoca nafte
Rs = ScfSTB(Rs)
T = fahrenheit(T)
Dim N As Double
a1 = 1.0031
a2 = 0.0008
a3 = 0.0004
a4 = 0.0006
N = Exp(a3 * Rs + a4 * (gamaO / gamaG))
BoMacary = (a1 + a2 * T) * N
End Function
```

```
' KARTOATMODJO, SCHMIDTOVA korelacija (1994) za računanje Bo faktora
' Bo raspon (1.007 – 2.144) m3/m3
' T raspon (23 - 160) °C
' Rs raspon (0 - 514) m3/m3
' rel. gustoca nafte (0.74 - 0.97)
' rel. gustoca plina (0.38 - 1.71)
Function BoKartoatmodjo_Schmidt(Rs As Double, gamaG As Double, gamaO As Double, T As Double)
' Ulazne vrijednosti u korelaciju : temperatura [°F], Rs [scf/STB], relativna gustoca plina, relativna gustoca nafte
Rs = ScfSTB(Rs)
T = fahrenheit(T)
a1 = 0.98496
a2 = 0.0001
a3 = 0.755
a4 = 0.25
a5 = 1.5
a6 = 0.45
a7 = 1.5
```

```
BoKartoatmodjo_Schmidt = a1 + a2 * ((Rs ^ a3) * ((gamaG ^ a4) / (gamaO ^ a5)) + a6 * T) ^ a7
End Function
```

6.2. Korelacije za tlak zasićenja, p_b

```
' Logaritam fix
Function Log10(x)
Log10 = Log(x) / Log(10)
End Function
```

```
' Konverzija Celsius u Fahrenheit
Function fahrenheit(T As Double)
fahrenheit = 9 / 5 * T + 32
End Function
```

```
' Konverzija PSI u Bar
Function bar(p As Double)
bar = p * 0.06894757
End Function
```

```
' STANDINGOVA korelacija za racunanje kritičnog tlaka, (1947)
' pb raspon (8 - 482) bar
' T raspon (37 - 125) °C
' Rs raspon (4 - 253) m3/m3
' rel. gustoca nafte (0.72 - 0.96)
' rel. gustoca plina (0.59 - 0.95)
Function PbStanding(Rs As Double, gamaG As Double, gamaO As Double, T As Double)
' Ulazne vrijednosti u korelaciju : temperatura [°F], Rs [scf/STB], relativna gustoca nafte, relativna gustoca plina, API [°API]
Rs = ScfSTB(Rs)
T = fahrenheit(T)
gamaO = API(gamaO)
a1 = 18.2
a2 = 0.83
a3 = 0.00091
a4 = 0.0125
a5 = 1.4
PbStanding = (a1 * ((Rs / gamaG) ^ a2 * 10 ^ (T * a3 - gamaO * a4) - a5)) * 0.06894757
End Function
```

```
' VAZQUEZ, BEGGSOVA korelacija za racunanje kritičnog tlaka, (1980)
' pb raspon (1 - 417) bar
' T raspon (23 - 145) °C
' Rs raspon (0 - 392) m3/m3
' rel. gustoca nafte (0.74 - 0.96)
' rel. gustoca plina (0.51 - 1.35)
Function PbVazquez_Beggs(Rs As Double, gamaG As Double, gamaO As Double, T As Double)
' Ulazne vrijednosti u korelaciju : temperatura [°F], Rs [scf/STB], relativna gustoca nafte, relativna gustoca plina, API [°API]
Rs = ScfSTB(Rs)
T = fahrenheit(T)
gamaO = API(gamaO)
If gamaO <= 30 Then
a1 = 27.64
a2 = 0.9143
a3 = 11.172
Else
a1 = 56.06
a2 = 0.8425
a3 = 10.393
End If
PbVazquez_Beggs = (((a1 * Rs / gamaG) * 10 ^ (-a3 * gamaO / (460 + T))) ^ a2) * 0.06894757
End Function
```

```
' GLASOVA korelacija za racunanje kritičnog tlaka, (1980)
' pb raspon (11 - 492) bar
' T raspon (27 - 138) °C
```

```

' Rs raspon (16 - 470) m3/m3
' rel. gustoca nafte (0.79 - 0.92)
' rel. gustoca plina (0.65 - 1.28)
Function PbGlaso(Rs As Double, gamaG As Double, gamaO As Double, T As Double)
' Ulazne vrijednosti u korelaciju : temperatura [°F], Rs [scf/STB], relativna gustoca nafte, relativna gustoca plina, API [°API]
Rs = ScfSTB(Rs)
T = fahrenheit(T)
gamaO = API(gamaO)
a1 = 1.7669
a2 = 1.7447
a3 = 0.30218
a4 = 0.816
a5 = 0.172
a6 = -0.989
g = (Rs / gamaG) ^ a4 * T ^ a5 * gamaO ^ a6
PbGlaso = (10 ^ (a1 + a2 * Log10(g) - a3 * Log10(g) ^ 2)) * 0.06894757
End Function

' AL-MARHOOUNOVA korelacija za racunanje kritcnog tlaka (1988)
' pb raspon (1 - 246) bar
' T raspon (23 - 116) °C
' Rs raspon (5 - 285) m3/m3
' rel. gustoca nafte (0.80 - 0.94)
' rel. gustoca plina (0.75 - 1.37)
Function pbAlMarhoun(Rs As Double, gamaG As Double, T As Double, gamaO)
' Ulazne vrijednosti u korelaciju : temperatura [°F], Rs [scf/STB], relativna gustoca plina, relativna gustoca nafte
Rs = ScfSTB(Rs)
T = fahrenheit(T)
a1 = 0.00538088
a2 = 0.715082
a3 = -1.87784
a4 = 3.1437
a5 = 1.32657
pbAlMarhoun = (a1 * Rs ^ a2 * gamaG ^ a3 * gamaO ^ a4 * (T + 460) ^ a5) * 0.06894757
End Function

' DOKLA, OSMANOVA korelacija za racunanje kritcnog tlaka, (1988)
' pb raspon (41 - 320) bar
' T raspon (88 - 135) °C
' Rs raspon (32 - 404) m3/m3
' rel. gustoca nafte (0.82 - 0.89)
' rel. gustoca plina (0.80 - 1.29)
Function PbDokla_Osman(Rs As Double, gamaG As Double, T As Double, gamaO)
' Ulazne vrijednosti u korelaciju : temperatura [°F], Rs [scf/STB], relativna gustoca plina, relativna gustoca nafte
Rs = ScfSTB(Rs)
T = fahrenheit(T)
a1 = 8363.86
a2 = 0.724047
a3 = -1.01049
a4 = 0.107991
a5 = -0.952584

PbDokla_Osman = (a1 * Rs ^ a2 * gamaG ^ a3 * gamaO ^ a4 * (T + 460) ^ a5) * 0.06894757
End Function

' PETROSKY, FARSHADOVA korelacija za racunanje kritcnog tlaka
' pb raspon (109 - 450) bar
' T raspon (46 - 142) °C
' Rs raspon (39 - 250) m3/m3
' rel. gustoca nafte (0.80 - 0.96)
' rel. gustoca plina (0.58 - 0.86)
Function PbPetrosky_Farshad(Rs As Double, gamaG As Double, gamaO As Double, T As Double)
' Ulazne vrijednosti u korelaciju : temperatura [°F], Rs [scf/STB], relativna gustoca nafte, relativna gustoca plina, API [°API]
Rs = ScfSTB(Rs)
T = fahrenheit(T)
gamaO = API(gamaO)
a1 = 112.727
a2 = 0.5774
a3 = 0.8439
a4 = 12.34

```

```

a5 = 0.00004561
a6 = 1.3911
a7 = 0.0007916
a8 = 1.541
x = (a5 * (T ^ a6) - a7 * gamaO ^ a8)
PbPetrosky_Farshad = (a1 * ((Rs ^ a2 / gamaG ^ a3) * 10 ^ x - a4)) * 0.06894757
End Function

' LASATEROVA korelacija za racunanje kritcnog tlaka, (1958)
' pb raspon (3 - 399) bar
' T raspon (28 - 133) °C
' Rs raspon (1 - 517) m3/m3
' rel. gustoca nafte (0.77 - 0.95)
' rel. gustoca plina (0.57 - 1.2)
Function PbLasater(Rs As Double, gamaG As Double, gamaO As Double, T As Double)
' Ulazne vrijednosti u korelaciju : temperatura [°F], Rs [scf/STB], relativna gustoca nafte, relativna gustoca plina, API [°API]
Rs = ScfSTB(Rs)
T = fahrenheit(T)
gamaO = API(gamaO)
a1 = 379.3
a2 = 350
a3 = 725.32143
a4 = 16.03333
a5 = 0.09524
a6 = 0.38418
a7 = 1.20081
a8 = 9.64868
Mo = a3 - a4 * gamaO + a5 * gamaO ^ 2
Yg = (Rs / a1) / ((Rs / a1) + (a2 / Mo))
pf = a6 - a7 * Yg + a8 * Yg ^ 2
PbLasater = (((pf) * (T + 459.67)) / gamaG) * 0.06894757
End Function

' OMAR, TODDOVA korelacija za racunanje kritcnog tlaka, (1993)
' pb raspon (54 - 266) bar
' T raspon (52 - 138) °C
' Rs raspon (25 - 256) m3/m3
' rel. gustoca nafte (0.77-0.90)
' rel. gustoca plina (0.61 - 1.32)
Function PbOmar_Todd(Rs As Double, gamaG As Double, gamaO As Double, T As Double, Bo As Double)
' Ulazne vrijednosti u korelaciju : temperatura [°F], Rs [scf/STB], relativna gustoca nafte, relativna gustoca plina, API [°API], Bo [m3/m3]
Rs = ScfSTB(Rs)
T = fahrenheit(T)
gamaO = API(gamaO)
b1 = 1.4256
b2 = -0.2608
b3 = -0.4596
b4 = 0.04481
b5 = 0.236
b6 = -0.1077
a1 = 18.2
a2 = 0.83
a3 = 0.00091
a4 = 0.0125
a5 = 1.4
x = b1 + b2 * Bo + b3 * gamaG + b4 * Bo ^ 2 + b5 * gamaG ^ 2 + b6 / (Bo * gamaG)
PbOmar_Todd = (a1 * ((Rs / gamaG) ^ x * 10 ^ (T * a3 - gamaO * a4) - a5)) * 0.06894757
End Function

' FARSHAD, LEBLANCE, GARBER, OSORIJEVA korelacija za racunanje kritcnog tlaka, (1992)
' pb raspon (2 - 285) bar
' T raspon (35 - 127) °C
' Rs raspon (1 - 293) m3/m3
' rel. gustoca nafte (0.80 - 0.95)
' rel. gustoca plina (0.66 - 1.73)
Function PbFarshad_idr1(Rs As Double, gamaG As Double, gamaO As Double, T As Double)
' Ulazne vrijednosti u korelaciju : temperatura [°F], Rs [scf/STB], relativna gustoca nafte, relativna gustoca plina, API [°API]
Rs = ScfSTB(Rs)

```

```

T = fahrenheit(T)
gamaO = API(gamaO)
a1 = 33.22
a2 = 0.8283
a3 = 0.000037
a4 = 0.0142
PbFarshad_idr1 = (a1 * (Rs / gamaG) ^ a2 * 10 ^ (a3 * T - a4 * gamaO)) * 0.06894757
End Function

' FARSHAD, LEBLANCE, GARBER, OSORIJEVA , korelacija za racunanje kritcnog tlaka, (1992)
' pb raspon (2 - 285) bar
' T raspon (35 - 127) °C
' Rs raspon (1 - 293) m3/m3
' rel. gustoca nafte (0.80 - 0.95)
' rel. gustoca plina (0.66 - 1.73)
Function PbFarshad_idr2(Rs As Double, gamaG As Double, gamaO As Double, T As Double)
' Ulazne vrijednosti u korelaciju : temperatura [°F], Rs [scf/STB], relativna gustoca nafte, relativna gustoca plina, API [°API]
Rs = ScfSTB(Rs)
T = fahrenheit(T)
gamaO = API(gamaO)
a1 = 0.3058
a2 = 1.9013
a3 = 0.26
a4 = -1.378
a5 = 1.053
a6 = 0.00069
a7 = 0.0208
g = gamaG ^ a4 * Rs ^ a5 * 10 ^ (a6 * T - a7 * gamaO)
PbFarshad_idr2 = (10 ^ (a1 + a2 * Log10(g) - a3 * Log10(g) ^ 2)) * 0.06894757
End Function

' MACARY, EL-BATANONEYEVA korelacija za racunanje kritcnog tlaka, (1992)
' pb raspon (83 - 317) bar
' T raspon (54 - 143) °C
' Rs raspon (36 - 214) m3/m3
' rel. gustoca nafte (0.83 - 0.90)
' rel. gustoca plina (0.70 - 1.00)
Function PbMacary_ElBatanoney(Rs As Double, gamaG As Double, gamaO As Double, T As Double)
' Ulazne vrijednosti u korelaciju : temperatura [°F], Rs [scf/STB], relativna gustoca nafte, relativna gustoca plina, API [°API]
Rs = ScfSTB(Rs)
T = fahrenheit(T)
gamaO = API(gamaO)
a1 = 204.257
a2 = 0.51
a3 = 4.7927
a4 = 0.00077
a5 = 0.0097
a6 = 0.4003
K = Exp(a4 * T - a5 * gamaO - a6 * gamaG)
PbMacary_ElBatanoney = (a1 * K * ((Rs ^ a2) - a3)) * 0.06894757
End Function

' ALMEHAIDEBOVA korelacija za racunanje kritcnog tlaka, (1997)
' pb raspon (35 - 332) bar
' T raspon (88 - 152) °C
' Rs raspon (23 - 689) m3/m3
' rel. gustoca nafte (0.79 - 0.87)
' rel. gustoca plina (0.75 - 1.12)
Function PbAlmehaideb(Rs As Double, gamaG As Double, T As Double, Bo As Double, gamaO As Double)
' Ulazne vrijednosti u korelaciju : temperatura [°F], Rs [scf/STB], relativna gustoca plina, relativna gustoca nafte, Bo [m3/m3]
Rs = ScfSTB(Rs)
T = fahrenheit(T)
a1 = -620.592
a2 = 6.23087
a3 = 1.38559
a4 = 2.89868
PbAlmehaideb = (a1 + a2 * Rs * gamaO / (gamaG * Bo ^ a3) + a4 * T) * 0.06894757
End Function

```

```

' KARTOATMODJO, SCHMIDTOVA korelacija za racunanje kritcnog tlaka, (1994)
' pb raspon (1 - 417) bar
' T raspon (24 - 160) °C
' Rs raspon (0 - 515) m3/m3
' rel. gustoca nafte (0.74 - 0.97)
' rel. gustoca plina (0.38 - 1.71)
Function PbKartoatmodjo_Schmidt(Rs As Double, gamaG As Double, gamaO As Double, T As Double)
' Ulazne vrijednosti u korelaciju : temperatura [°F], Rs [scf/STB], relativna gustoca nafte, relativna gustoca plina [dijelovi jedinice], API [°API]
Rs = ScfSTB(Rs)
T = fahrenheit(T)
gamaO = API(gamaO)
If gamaO <= 30 Then
a1 = 0.05958
a2 = 0.7972
a3 = 13.1405
a4 = 0.9986
Else
a1 = 0.0315
a2 = 0.7587
a3 = 11.2895
a4 = 0.9143
End If
PbKartoatmodjo_Schmidt = ((Rs / (a1 * gamaG ^ a2 * 10 ^ (a3 * gamaO / (460 + T)))) ^ a4) * 0.06894757
End Function

```

6.6. Korelacije za faktor otopljenog plina R_s

```

' Standingova korelacija za racunanje faktora otopljenog plina, Rs
' Ulazi u korelaciju : GamaG, Pb (Psi), ApiO (°API), T (°F)
Function RsStanding(gamaG As Double, pb As Double, gamaO As Double, T As Double)
pb = Psi(pb)
T = fahrenheit(T)
gamaO = API(gamaO)
Standing = gamaG * (((pb / 18.2) + 1.4) * 10 ^ (0.0125 * gamaO - 0.00091 * T)) ^ 1.2048
RsStanding = Standing * (0.02831685 / 0.15898)
End Function

```

```

' Glasova korelacija za racunanje faktora otopljenog plina, Rs
' Ulazi u korelaciju : GamaG, Pb (Psi), ApiO (°API), T (°F)
Function RsGlaso(gamaG As Double, pb As Double, gamaO As Double, T As Double)
pb = Psi(pb)
T = fahrenheit(T)
gamaO = API(gamaO)
a = 10 ^ (2.8869 - (14.1811 - 3.3093 * Log10(pb)) ^ 0.5)
Glaso = (gamaG * (gamaO ^ 0.989 * a / T ^ 0.172) ^ 1.225)
RsGlaso = Glaso * (0.02831685 / 0.15898)
End Function

```

```

' Petrosky, Farshadova korelacija za racunanje faktora otopljenog plina
' Ulazi u korelaciju : GamaG, P (Psi), ApiO (°API), T (°F)
Function RsPetrosky_Farshad(gamaG As Double, p As Double, gamaO As Double, T As Double)
T = fahrenheit(T)
p = Psi(p)
gamaO = API(gamaO)
x = 7.916 * (10 ^ -4) * gamaO ^ 1.541 - 4.561 * (10 ^ -5) * T ^ 1.3911
Petrosky_Farshad = ((p / 112.727 + 12.34) * gamaG ^ 0.8439 * 10 ^ x) ^ 1.73184
RsPetrosky_Farshad = Petrosky_Farshad * (0.02831685 / 0.15898)
End Function

```

```

' Al-Marhounova korelacija za racunanje faktora otopljenog plina
' Ulazi u korelaciju : GamaG, P (Psi), gamaO, T (°R)
Function RsAlMarhoun(gamaG As Double, p As Double, gamaO As Double, T As Double)
T = Rankine(T)
p = Psi(p)
a = 185.843208
b = 1.87784

```

```

c = -3.1437
d = -1.32657
E = 1.398441
AlMarhoun = (a * gamaG ^ b * gamaO ^ c * T ^ d * p) ^ E
RsAlMarhoun = AlMarhoun * (0.02831685 / 0.15898)
End Function

```

6.4. Korelacije za racunanje viskoznosti nafte μ_o

```

' Bealova korelacija za racunanje viskoznosti nafte, (1946)
' Ulazne vrijednosti u korelaciju : T (^F), p(Psi), Rs(scf / STB), miO(cp)
Function mioBeal(gamaO As Double, T As Double, p As Double, pb As Double, Rs As Double)
' Viskoznost otplinjene (mrtve) nafte
gamaO = API(gamaO)
aa = 10 ^ (0.43 + 8.33 / gamaO)
miod = (0.32 + (1.8 * 10 ^ 7) / (gamaO ^ 4.53)) * (360 / (T + 200)) ^ aa
a = 10.715 * (Rs + 100) ^ (-0.515)
b = 5.44 * (Rs + 150) ^ (-0.338)
If p <= pb Then

' Viskoznost nafte ispod ili pri tlaku zasicenja
mioBeal = a * (miod) ^ b
Else
mioB = a * (miod) ^ b
' Viskoznost nafte iznad tlaka zasicenja
mioBeal = mioB + 0.001 * (p - pb) * (0.024 * mioB ^ 1.6 + 0.038 * mioB ^ 0.56)
End If
End Function

```

```

' Beggs, Robinsonova korelacija za racunanje viskoznosti nafte
' Ulazne vrijednosti u korelaciju : T (^F), p(Psi), Rs(scf / STB), miO(cp)
Function miobeggs(gamaO As Double, T As Double, p As Double, pb As Double, Rs As Double)
gamaO = API(gamaO)
Z = 3.0324 - 0.02023 * gamaO
y = 10 ^ Z
x = y * T ^ -1.163
miod = (10 ^ x) - 1
a = 10.715 * (Rs + 100) ^ (-0.515)
b = 5.44 * (Rs + 150) ^ (-0.338)
If p <= pb Then
miobeggs = a * (miod) ^ b
Else
M = 2.6 * p ^ 1.187 * 10 ^ ((-3.9 * 10 ^ (-5)) * p - 5)
miob = a * (miod) ^ b
miobeggs = miob * (p / pb) ^ M
End If
End Function

```

6.5. Korelacije za μ_g

```

' Carr, Kobayashi, Burrows korelacija za racunanje viskoznosti plina (1954)
' Ulazne vrijednosti u korelaciju : mig(cp), migsc(cp), T(^R)
Function migCarr_Kobayashi(tpr As Double, ppr As Double, gamaG As Double, T As Double, YN2, YCO2, YH2S)
a0 = -2.4621182
a1 = 2.97054714
a2 = -0.286264054
a3 = 0.00805420522
a4 = 2.80860949
a5 = -3.49803305
a6 = 0.36037302
a7 = -0.0104432413
a8 = -0.793385684
a9 = 1.39643306

```

```

a10 = -0.149144925
a11 = 0.00441015512
a12 = 0.0839387178
a13 = -0.186408848
a14 = 0.0203367881
a15 = -0.000609579263

```

```

migsc = (1.709 * (10 ^ (-5)) - 2.062 * (10 ^ (-6)) * gamaG) * (T - 459.67) + 8.188 * (10 ^ (-3)) - 6.15 * (10 ^ (-3)) * Log10(gamaG)
migCarr_Kobayashi = (Exp((a0 + a1 * ppr + a2 * ppr ^ 2 + a3 * ppr ^ 3) + tpr * (a4 + a5 * ppr + a6 * ppr ^ 2 + a7 * ppr ^ 3) + tpr ^ 2 * (a8 + a9 * ppr + a10 * ppr ^ 2 + a11 * ppr ^ 3) + tpr ^ 3 * (a12 + a13 * ppr + a14 * ppr ^ 2 + a15 * ppr ^ 3))) * migsc / tpr
' Korekcije za plinove N2, CO2, H2S
N2corr = YN2 * (10 ^ -3) * (8.48 * Log10(gamaG) + 9.59)
CO2corr = YCO2 * 10 ^ -3 * (9.08 * Log(gamaG) + 6.24)
H2Scorr = YH2S * 10 ^ -3 * (8.49 * Log10(gamaG) + 3.73)
migCarr_Kobayashi = migCarr_Kobayashi + N2corr + CO2corr + H2Scorr
End Function

```

```

' Dean, Stealova korelacija za racunanje viskoznosti plina (1965)
' Ulazne vrijednosti u korelaciju : mig(cp), migsc(cp), Tpc(^R), ppc(psi), M (g/mol)
Function migDean_stiel(tpc As Double, tpr As Double, ppc As Double, ppr As Double, M As Double, Z As Double, gamaG As Double, YN2, YCO2, YH2S)
zeta = ((tpc ^ (1 / 6)) / ((M ^ (0.5)) * (ppc ^ (2 / 3)))) * 5.4398
If tpr <= 1.5 Then
migsc = 34 * (10 ^ -5) * ((tpr ^ (8 / 9)) / zeta)
Else
migsc = (166.8 * 10 ^ -5 * (0.1338 * tpr - 0.0932) ^ (5 / 9)) / zeta
End If
roy = (0.27 * ppr) / (Z * tpr)
migDean_stiel = migsc + (((10.8 * 10 ^ -5) * (Exp(1.439 * roy) - Exp(-1.111 * roy ^ 1.888))) / zeta)
N2corr = YN2 * (10 ^ -3) * (8.48 * Log10(gamaG) + 9.59)
CO2corr = YCO2 * 10 ^ -3 * (9.08 * Log(gamaG) + 6.24)
H2Scorr = YH2S * 10 ^ -3 * (8.49 * Log10(gamaG) + 3.73)
migDean_stiel = migDean_stiel + N2corr + CO2corr + H2Scorr
End Function

```

```

' Jossi, Stiel, Thodosova korelacija za racunanje viskoznosti plina, (1962)
' Ulazne vrijednosti u korelaciju : mig(cp), migsc(cp), Tpc(^R), ppc(psi), M(g/mol)
Function migJossi_Stiel(tpc As Double, tpr As Double, ppc As Double, ppr As Double, M As Double, Z As Double, gamaG As Double, YN2 As Double, YCO2 As Double, YH2S As Double)
zeta = ((tpc ^ (1 / 6)) / ((M ^ (0.5)) * (ppc ^ (2 / 3)))) * 5.4398
If tpr <= 1.5 Then
migsc = 34 * (10 ^ -5) * ((tpr ^ (0.94)) / zeta)
Else
migsc = (17.78 * 10 ^ -5 * (4.58 * tpr - 1.67) ^ (5 / 8)) / zeta
End If
roy = (0.27 * ppr) / (Z * tpr)
migJossi_Stiel = (((0.1023 + 0.023364 * roy + 0.058533 * roy ^ 2 - 0.040758 * roy ^ 3 + 0.0093324 * roy ^ 4) ^ 4) - 10 ^ (-4)) / zeta + migsc
N2corr = YN2 * (10 ^ -3) * (8.48 * Log10(gamaG) + 9.59)
CO2corr = YCO2 * 10 ^ -3 * (9.08 * Log(gamaG) + 6.24)
H2Scorr = YH2S * 10 ^ -3 * (8.49 * Log10(gamaG) + 3.73)
migJossi_Stiel = migJossi_Stiel + N2corr + CO2corr + H2Scorr
End Function

```

6.6. Korelacije za c_o

```

' Vasquez, Beggsova korelacija za racunanje kompresibilnosti nafte, (1980)
' Ulazne vrijednosti u korelaciju : Co (1/Psi), T (^F), p(Psi), Rs(scF / STB)
Function coVasquez_Beggs(gamaGs As Double, gamaO As Double, T As Double, p As Double, Rs As Double)
gamaO = API(gamaG)
a1 = -1433
a2 = 5
a3 = 17.2
a4 = -1180
a5 = 12.61
'a6 = 10 ^ 5

```



```
coVazquez_Beggs = (5 * Rs + 17.2 * T - 1180 * gamaGs + 12.61 * gamaO - 1433) / (p * 10 ^ 5)
End Function
```

```
' Al-Marhounova korelacija za racunanje kompresibilnosti nafte
' Ulazne vrijednosti u korelaciju : Co (1/Psi), T (°F), p(Psi), pb(psi)
Function coAlMarhoun(gamaob As Double, p As Double, pb As Double, T As Double)
a1 = -14.1042
a2 = 2.7314
a3 = -0.0000560605
a4 = -580.8778
coAlMarhoun = Exp(a1 + a2 / gamaob + a3 * (p - pb) / gamaob ^ 3 + a4 / (T + 460))
End Function
```

```
' Petroskyeva korelacija za racunanje kompresibilnosti nafte
' Ulazne vrijednosti u korelaciju : Co (1/Psi), T(°F), p (psi), Rs (scf/STB), co (1/psi)
Function copetrosky(Rs As Double, gamaG As Double, gamaO As Double, T As Double, p As Double)
gamaO = API(gamaO)
copetrosky = 1.705 * (10 ^ (-7)) * (Rs ^ 0.69357) * (gamaG ^ 0.1885) * (gamaO ^ 0.3272) * (T ^ 0.6729) * (p ^ (-0.5906))
End Function
```

6.7. Korelacije za c_w

```
' p (69-1379) bar, T (93-133) °C, S (do 0.2 kg/m3)
Function cwat(p As Double, T As Double, S As Double)
' Ulazne vrijednosti u korelaciju : p (psia), T (°F), S (mg/L)
p = Psi(p)
T = fahrenheit(T)
' Konverzija saliniteta iz kg/m3 u mg/L
S = S * 1000
' Izlaz cw (1/psi)
cwat = 1 / (7.033 * p + 0.5415 * S - 537 * T + 303.3)

End Function
```

6.8. Korelacije za B_w

```
' T (do 127 °C), p (do 345 bar)
Function Bw_x(p As Double, T As Double)
' Ulazne vrijednosti u korelaciju : p (psi), T(°F)
' Bw izlaz iz funkcije RB/STB
p = Psi(p)
T = fahrenheit(T)
Vwt = -1.0001 * (10 ^ (-2)) + 1.33391 * (10 ^ (-4)) * T + 5.50654 * (10 ^ (-7)) * T ^ 2
Vwp = -1.95301 * (10 ^ (-9)) * p * T - 1.72834 * (10 ^ (-13)) * (p ^ 2) * T - 3.58922 * (10 ^ (-7)) * p - 2.25341 * (10 ^ (-10)) * p ^ 2
Bw_x = (1 + Vwp) * (1 + Vwt)
End Function
```

6.9. Konverzije jedinica i pomoćne funkcije

```
' Logaritam fix
Function Log10(x)
Log10 = Log(x) / Log(10)
End Function
```

```
' Konverzija API u relativnu gustocu
Function RG(API As Double)
RG = 141.5 / (API + 131.5)
End Function
```

```
' Konverzija relativne gustoće u API
Function API(gamaO As Double)
```

```
API = (141.5 / gamaO) - 131.5
End Function
```

```
' Konverzija Fahrenheit u Celsius
Function celsius(T As Double)
    celsius = 5 / 9 * (T - 32)
End Function
```

```
' Konverzija Scf/STB u m3/m3
Function m3m3(Rs As Double)
    m3m3 = Rs * (0.02831685 / 0.15898)
End Function
```

```
' Konverzija m3/m3 u Scf/STB
Function ScfSTB(Rs As Double)
    ScfSTB = Rs / (0.02831685 / 0.15898)
End Function
```

```
' Konverzija Api gravity u relativnu gustocu
Function SG(API As Double)
    SG = 141.5 / (API + 131.5)
End Function
```

Popis slika

Slika 3-1: Analiza osjetljivosti volumnog faktora o relativnoj gustoći plina.	25
Slika 3-2: Analiza osjetljivosti volumnog faktora o relativnoj gustoći nafte.....	26
Slika 3-3: Analiza osjetljivosti volumnog faktora o plinskom faktoru.	27
Slika 3-4. Analiza osjetljivosti volumnog faktora o temperaturi	28
Slika 3-5. Analiza osjetljivosti tlaka zasićenja o relativnoj gustoći plina.....	29
Slika 3-7. Analiza osjetljivosti tlaka zasićenja o temperaturi.....	31
Slika 3-8. Analiza osjetljivosti tlaka zasićenja o plinskom faktoru.....	32
Slika 3-9. Analiza osjetljivosti plinskog faktora o relativnoj gustoći plina.....	33
Slika 3-10. Analiza osjetljivosti plinskog faktora o relativnoj gustoći nafte.	33
Slika 3-11. Analiza osjetljivosti plinskog faktora o tlaku zasićenja.	34
Slika 3-12. Analiza osjetljivosti plinskog faktora o temperaturi.	34

Popis oznaka

T	temperatura	°C
T_{pc}	pseudo kritična temperatura	°C
T_{pr}	pseudo reducirana temperatura	
p	tlak	bar
p_b	tlak zasićenja	bar
p_{pc}	pseudo kritični tlak	bar
p_{pr}	pseudo reducirani tlak	
B_o	volumni faktor nafte	m ³ /m ³
R_s	plinski faktor	m ³ /m ³
API	API gustoća	°API
c_o	kompresibilnost nafte	1/bar
c_w	kompresibilnost vode	1/bar
B_w	volumni faktor vode	m ³ /m ³
Z	faktor kompresibilnosti	
γ_o	relativna gustoća nafte	
γ_{oAPI}	gustoća nafte	°API
γ_g	relativna gustoća plina	
μ_o	viskoznost nafte	mPas
μ_{od}	viskoznost otplinjene nafte	mPas
μ_{ob}	viskoznost nafte ispod i pri tlaku zasićenja	mPas
μ_{gsc}	viskoznost nafte iznad tlaka zasićenja	mPas
μ_g	viskoznost plina	mPas
μ_{gsc}	viskoznost plina pri standardnim uvjetima	mPas