

Optimizacija proizvodnje plinskih bušotina s visokim udjelom slojne vode

Production Optimization in High Water Cut Gas Wells

doc. dr.sc. Vladislav Brkić
RGN fakultet Sveučilišta u Zagrebu
vladislav.brkic@rgn.hr

Tomislav Tišljar, mag.ing.naft.rud.
INA d.d. Zagreb
tomislav.tisljar@ina.hr



Ključne riječi: plinske bušotine, visoki udio vode, IPM-Prosper programski paket

Key words: gas wells, high water cut, IPM-Prosper software package

Sažetak

Kvalitetna i stalna analiza proizvodnih pokazatelja plinskih bušotina omogućava predviđanje kretanja proizvodnje promjenom pojedinih faktora u proizvodnom vijeku bušotina. Kod analize predviđanja proizvodnje bušotina većinom se koristi IPM-Prosper programski paket u kojem se mijenja ležišni tlak te količina slojne vode u proizvodnome fluidu. Na temelju analize dobivenih rezultata moguće je optimizirati rad bušotina s visokim udjelom slojne vode.

Abstract

Quality and constant analysis of gas well production parameters facilitates the prediction of production trends through the change of individual factors in production wells. An IPM-Prosper software package was used for modelling and prediction of the well production at different default layer pressures as well as the amount of salt

water in the produced fluid. Based on the analysis of the obtained results, some of the optimization solutions for the wells with high water cut is possible to consider.

1. Uvod

Ovaj rad obuhvaća analizu trenutnog stanja proizvodnih pokazatelja plinskih bušotina, analizu budućeg stanja pada ležišnog tlaka te povećanja udjela slojne vode u proizvodnji na području polja X. Opisan je tipski proizvodni sustav uzlaznog niza cijevi u bušotini (*eng. tubing*) te njegova ograničenja, poput udjela proizvedene slojne vode u proizvodnji prirodnog plina WGR (*eng. Water Gas Ratio*) te faktora trenja. Kod analize trenutnog stanja te budućeg stanja rada bušotina koristio se IPM-Prosper programski paket. IPM-Prosper. Paket nudi mogućnost analize trenutne proizvodnje, modeliranja dizajna bušotine (opremanje) te optimizaciju proizvodnje iz odabranih bušotina (<http://www.petex.com/products/?ssi=3>).

Bušotine polja X podijeljene su u nekoliko grupa ovisno o vrijednosti tlaka na ušću bušotine. Naime, tlak na ušću uvjetuje da li će bušotina morati prolaziti fazu komprimiranja prirodnog plina. Iz svake grupe odabrana je po jedna bušotina koja će se dodatno analizirati u IPM-Prosper programskom paketu.

2. Podjela bušotina polja X

Bušotine na polju X mogu se podijeliti u tri grupe, s obzirom na dinamički tlak na ušću bušotine:

- bušotine s visokim dinamičkim tlakom i s visokom proizvodnjom plina;
- bušotine sa srednjim dinamičkim tlakom i sa srednjom proizvodnjom plina;
- bušotine s niskim dinamičkim tlakom i s niskom proizvodnjom plina.

Bušotine su podijeljene na ovaj način zbog stupnjeva komprimiranja plina. Radni tlak plinske stanice iznosi 50 bar što je bitno za rad bušotine i sam proračun.

2.1 Bušotine s visokim dinamičkim tlakom

U ovoj skupini nalaze se bušotine koje imaju tlak na ušću veći od 50 bar i one ne moraju prolaziti proces komprimiranja plina.

U Tablici 1. prikaza je dnevna proizvodnja bušotina s pripadajućim tlakom ušća i WGR-om.

Tablica 1: Dnevna proizvodnja bušotina s visokim dinamičkim tlakom s pripadajućim tlakom ušća i WGR-om

Bušotina	Pt (bar)	Qg (m ³)	Qk (m ³)	Qw (m ³)	WGR (cm ³ /m ³)
X-1	66	27.300	2	43	1569
X-2	68	103.574	6	91	870
X-3	60	99.990	2	219	2190
X-4	50	76.700	3	79	1027
X-5	55	62.000	2	54	870

gdje je:

Pt = dinamički tlak na ušću, bar

Qg = dnevna proizvodnja plina, m³

Qk = dnevna proizvodnja kondenzata, m³

Qw = dnevna proizvodnja slojne vode, m³

WGR = udio proizvedene slojne vode u proizvodnji prirodnog plina, cm³/m³.

2.2 Bušotine sa srednjim dinamičkim tlakom

U ovu skupinu ubrajaju se bušotine koje imaju tlak na ušću između 25-50 bar. Navedene bušotine moraju proći barem jedan stupanj kompresije kako bi mogle proizvoditi plin na plinsku stanicu.

U Tablici 2. prikazana je dnevna proizvodnja bušotina s pripadajućim tlakom ušća i WGR-om.

Tablica 2: Dnevna proizvodnja bušotina sa srednjim dinamičkim tlakom s pripadajućim tlakom ušća i WGR-om

Bušotina	Pt (bar)	Qg (m ³)	Qk (m ³)	Qw (m ³)	WGR (cm ³ /m ³)
X-6	31	24.100	0	112	4236
X-7	28	32.900	1	14	424
X-8	30	66.100	3	4	60
X-9	26	46.000	3	7	152
X-10	47	63.703	2	148	2239
X-11	28	36.500	2	2	55
X-12	30	75.100	4	23	305

2.3 Bušotine s niskim dinamičkim tlakom

U ovu skupinu ubrajaju se bušotine koje imaju tlak na ušću od 2,5-25 bar. Navedene bušotine moraju proći više stupnjeva kompresije kako bi mogle proizvoditi plin na plinsku stanicu.

U Tablici 3. prikaza je dnevna proizvodnja bušotina s pripadajućim tlakom ušća i WGR-om.

Tablica 3: Dnevna proizvodnja bušotina s niskim dinamičkim tlakom s pripadajućim tlakom ušća i WGR-om

Bušotina	Pt (bar)	Qg (m ³)	Qk (m ³)	Qw (m ³)	WGR (cm ³ /m ³)
X-13	4	8600	1	12	1379
X-14	22	31.700	2	8	252
X-15	29	21.026	1	56	2670

3. Izračun radnih točaka bušotina korištenjem IPM-Prosper programskog paketa

U nastavku ovoga rada napravljen je izračun radnih točaka (protočni kapacitet) za jednu bušotinu iz svake grupe prema podjeli iz prethodnog poglavlja. Korišten je dostupan IPM-Prosper programski paket.

3.1 Bušotina X-2

U bušotini X-2 ugrađen je proizvodni niz promjera 88,9 mm (3 1/2").

Ležišni tlak (Pi) iznosi 135,5 bar, tak na ušću (Pt) 68,2 bar, trenutni WGR iznosi 870 cm³/m³.

Na Slici 1. prikazani su ulazni podaci potrebni za izračun radne točke bušotine X-2., a na Slici 2. podaci korišteni za proračun IPR krivulje.

PVT - INPUT DATA (FFO) (Condensate - Black Oil)

Done Cancel Tables Match Data Matching Correlations Calculate Save Import Composition Help

Use Tables Export

Input Parameters

Separator Pressure	48.8	BARg
Separator Temperature	41	deg C
Separator GOR	17020.3	Sm ³ /Sm ³
Separator Gas Gravity	0.8445	sp. gravity
Tank GOR	51	Sm ³ /Sm ³
Tank Gas Gravity	1.1386	sp. gravity
Condensate Gravity	775.51	Kg/m ³
Water to Gas Ratio	0.000877	m ³ /m ³
Water Salinity	30000	ppm

Reservoir Data

Dewpoint at Reservoir Temp	288.987	BARg
Reservoir Temperature	180	deg C
Reservoir Pressure	135.5	BARg

Correlations

Gas Viscosity: Lee et al

Impurities

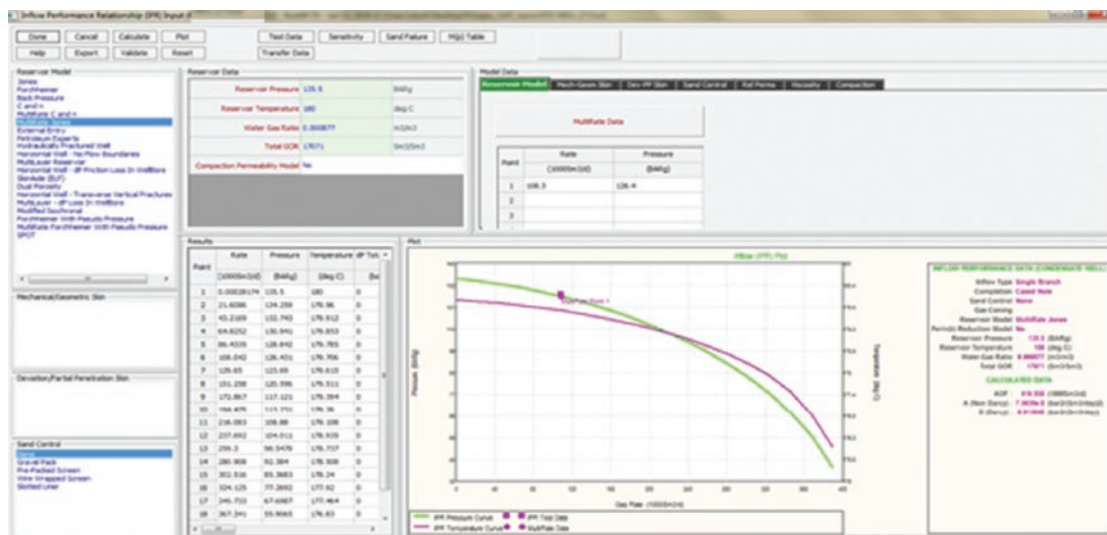
Mole Percent H ₂ S	0.065	percent
Mole Percent CO ₂	24.972	percent
Mole Percent N ₂	1.61	percent

Water Vapour Data

Minimum WGR:

Calculate Minimum WGR Plot

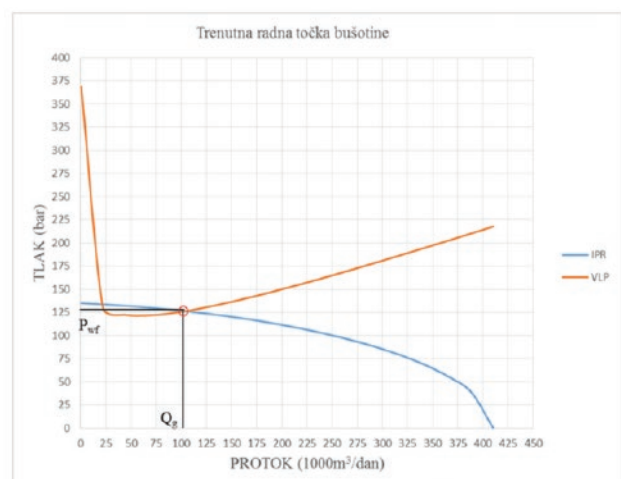
Slika 1. Ulazni podaci IPM-Prospcr analize



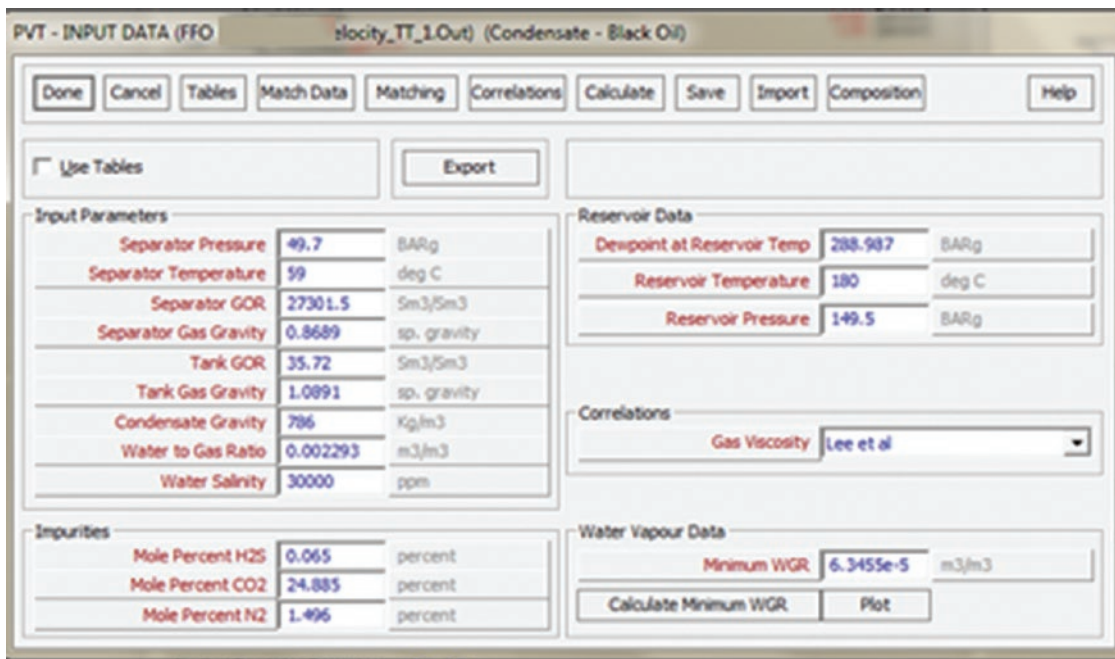
Slika 2. Podaci potrebni za izračun IPR krivulje

IPR krivulja dobivena je korištenjem metode MultiRate Jones, zbog nedovoljno PVT ulaznih podataka, dok je VLP krivulja dobivena korištenjem metode Petroleum Experts 3, jer se najbolje podudarala kod usporedbe sa zadnjim realnim mjerenim podacima na bušotini. Metode MultiRate Jones i Petroleum Experts 3 korištene su u IPM-Prospcr analizi kod sve tri razmatrane bušotine. Na Slici 3. grafički su prikaze radne točke bušotine X-2.

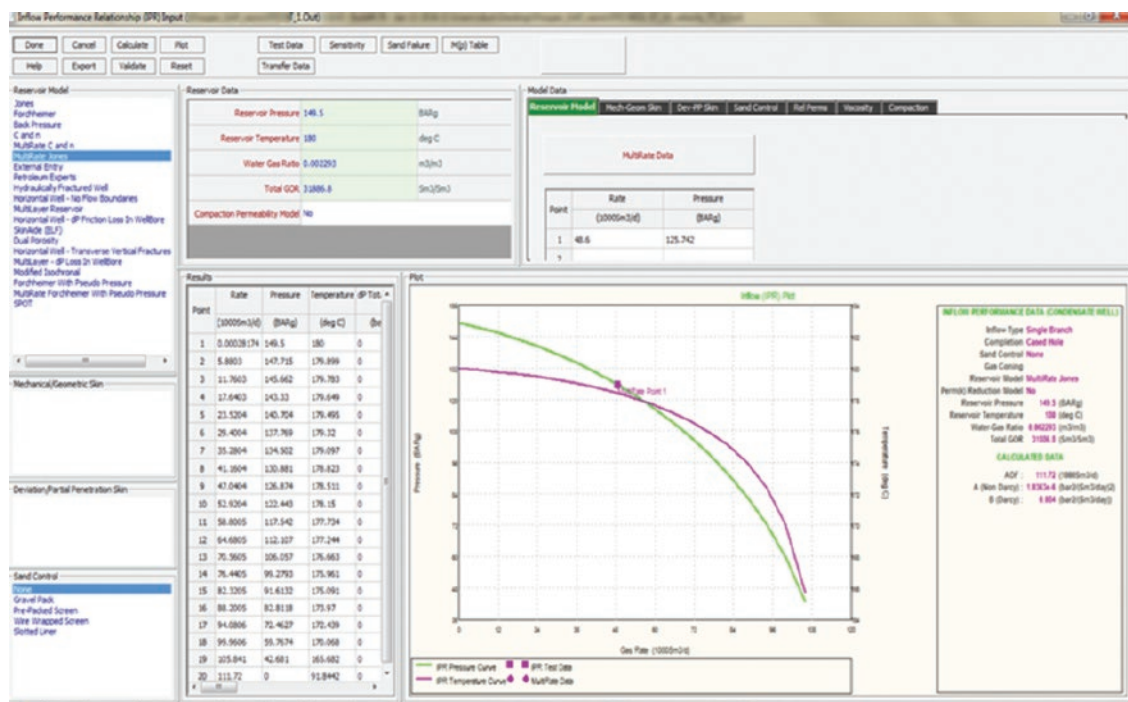
Dinamički tlak na dnu (P_{wf}) bušotine iznosi 127 bar, ostvarena je depresija na sloj od 8,5 bar. Pri ovim uvjetima bušotina X-2 proizvodi 103.574 m³/dan plina (Q_g), 6 m³/dan kondenzata (Q_k) i 91 m³/dan slojne vode (Q_w).



Slika 3. Trenutna radna točka bušotine X-2



Slika 4. Ulazni podaci IPM-Prospere analize



Slika 5. Podaci potrebni za izračun IPR krivulje

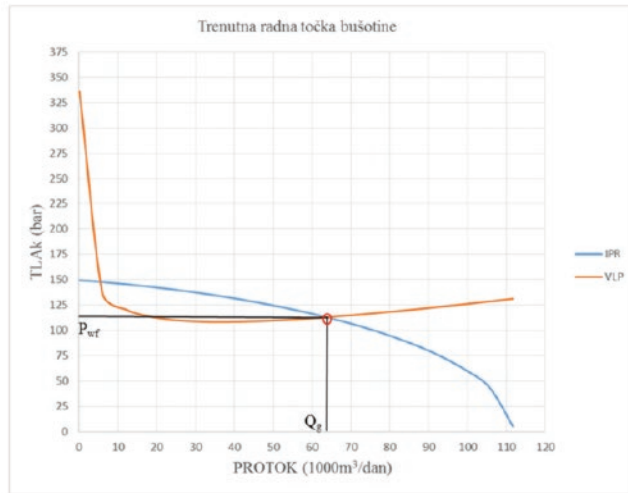
3.2 Bušotina X-10

U bušotini X-10 ugrađen je proizvodni niz promjera 88,9 mm (3 1/2"). Ležišni tlak (P_i) iznosi 149.5 bar, tak na ušću (P_t) 47 bar, trenutni WGR iznosi 2239 cm³/m³. Na Slici 4. prikazani su ulazni podaci potrebni za izračun radne točke bušotine X-10.

Na Slici 5. prikazani su podaci korišteni za proračun IPR krivulje.

Na Slici 6. grafički su prikazane radne točke bušotine X-10.

Dinamički tlak na dnu bušotine (P_{wf}) iznosi 113 bar, ostvarena je depresija na sloj od 36.5 bar. Pri ovim uvjetima bušotina X-10 proizvodi 63.703 m³/dan plina (Q_g), 2 m³/dan kondenzata (Q_k) i 148 m³/dan slojne vode (Q_w).



Slika 6. Trenutna radna točka bušotine X-10

PVT - INPUT DATA (Condensate - Black Oil)

Done Cancel Tables Match Data Matching Correlations Calculate Save Import Composition Help

Use Tables Export

Input Parameters

Separator Pressure	61	BARg
Separator Temperature	62	deg C
Separator GOR	69267	Sm ³ /Sm ³
Separator Gas Gravity	0.8803	sp. gravity
Tank GOR	2.11	Sm ³ /Sm ³
Tank Gas Gravity	0.9422	sp. gravity
Condensate Gravity	785	Kg/m ³
Water to Gas Ratio	0.00267	m ³ /m ³
Water Salinity	30000	ppm

Reservoir Data

Despoint at Reservoir Temp	288.987	BARg
Reservoir Temperature	180	deg C
Reservoir Pressure	112.883	BARg

Correlations

Gas Viscosity: Lee et al

Impurities

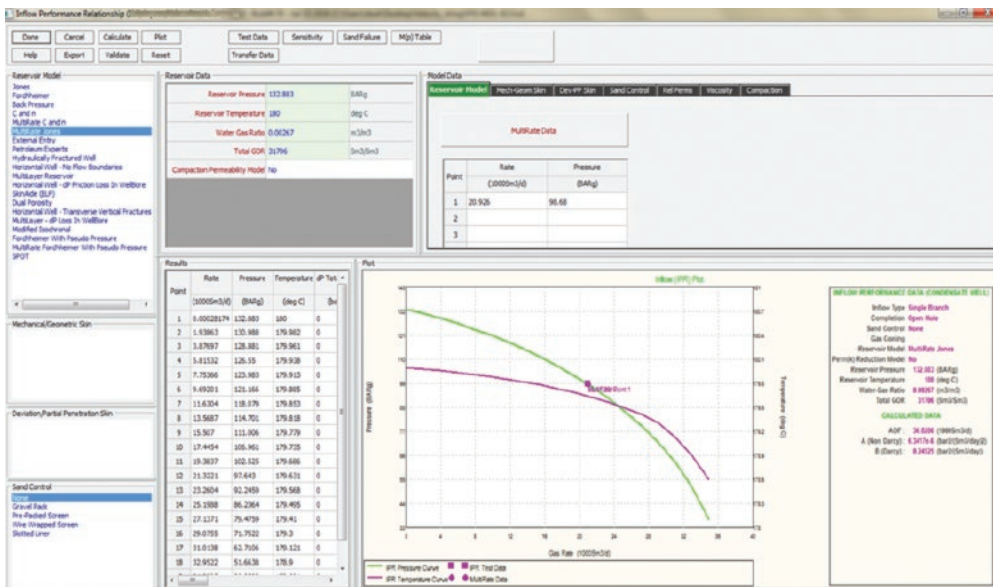
Mole Percent H2S	0.0065	percent
Mole Percent CO2	25.148	percent
Mole Percent N2	1.585	percent

Water Vapour Data

Minimum WGR:

Calculate Minimum WGR Plot

Slika 7. Ulazni podaci IPM-Prosper analize



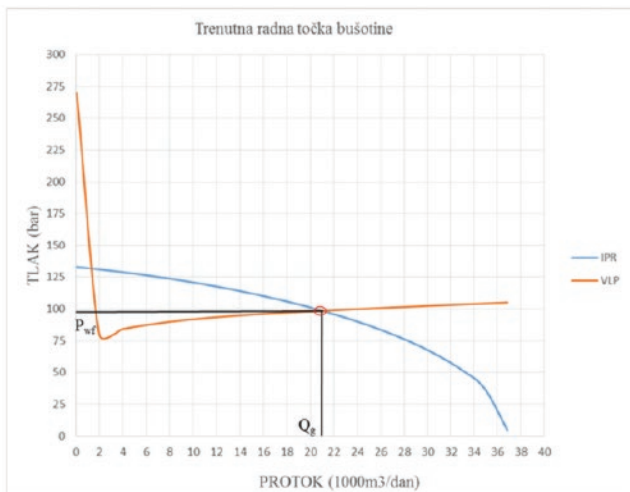
Slika 8. Podaci potrebni za izračun IPR krivulje

3.3 Bušotina X-15

U bušotini X-15 ugrađen je proizvodni niz promjera 73,025 mm (2 7/8"). Ležišni tlak (Pi) iznosi 133 bar, tak na ušću (Pt) 29 bar, trenutni WGR iznosi 2670 cm³/m³. Na Slici 7. prikazani su ulazni podaci potrebni za izračun radne točke bušotine X-15.

Na Slici 8. prikazani su podaci korišteni za proračun IPR krivulje.

Na Slici 9. grafički su prikazane radne točke bušotine X-15.



Slika 9. Trenutna radna točka bušotine X-15

Dinamički tlak na dnu bušotine (P_{wf}) iznosi 99 bar, ostvarena je depresija na sloj od 34 bar. Pri ovim uvjetima bušotina Mol-42 proizvodi 21.026 m³/dan plina (Q_g), 1 m³/dan kondenzata (Q_k) i 56 m³/dan slojne vode (Q_w).

4. IPM-prosper analiza za buduće stanje pada ležišnog tlaka i povećanja WGR-a

Eruptivni način proizvodnje plinskog ili plinsko-kondenzatnog polja najdulje je i najvažnije razdoblje proizvodnje. Tada je izdašnost bušotine dobra, a ležišna energija dovoljna za kontinuiranu proizvodnju fluida koji se sastoji od prirodnog plina, kondenzata i vode. Kada se tijekom proizvodnje snizi tlak u ležištu i promijene uvjeti dotoka fluida, potrebno je promijeniti intenzivnost protoka fluida ili osigurati dodatnu energiju u ležište da bi se omogućilo podizanje kapljevite faze (Beggs, 1985).

Pri proizvodnji prirodnog plina uvijek se pojavljuje više ili manje kapljevine (kondenzata), koja se sastoji od viših ugljikovodika koji su nastali zajedno s prirodnim plinom. Agregatno stanje tih viših ugljikovodika ovisi o tlaku i temperaturi u sloju, a ono se mijenja s promjenom za vrijeme strujanja od sloja do površin-

skih uređaja. Kapljevina protječe zajedno s plinom i ona zbog trenja i veće gustoće zaostaje u protjecanju te stvara čep kapljevine. To otežava strujanje plina, usporava protjecanje i guši bušotinu (Beggs, 1985).

Problem podizanja kapljevine posebice je izražen u plinsko-kondenzatnim ležištima, gdje je dotok kondenzata u bušotinu znatan te u ležištima s visokom proizvodnjom slojne vode u odnosu na proizvedeni prirodni plin – WGR faktor (eng. *Water Gas Ratio*).

Da bi se spriječilo nakupljanje kondenzata, odnosno slojne vode na dnu bušotine, potrebno je odabrati takav promjer uzlaznih cijevi koje osiguravaju brzinu protoka dovoljnu za iznošenje kapljica i sloja kapljevine. Budući da se gustoće kondenzata i vode međusobno razlikuju, potrebne su i različite brzine koje mogu iznositi te dvije vrste kapljevine. Minimalna brzina protoka za pokretanje slojne vode iznosi (Beggs, 1985):

$$V_{gw} = 1,23 \frac{\left(\frac{\rho_w}{16} - 0,0405 * P_t\right)^{0,25}}{(0,0405 * P_t)^{0,5}}$$

$$V_{gw} = 1,23 \frac{\left(\frac{\rho_w}{16} - 0,0405 * P_t\right)^{0,25}}{(0,0405 * P_t)^{0,5}}$$

gdje su:

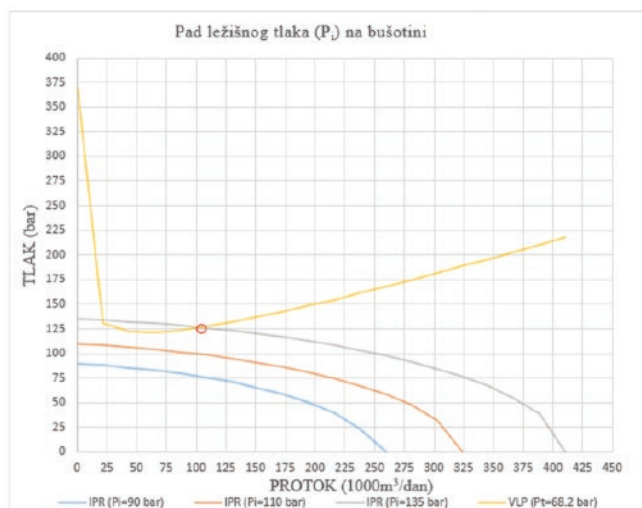
V_{gw} – minimalna brzina protoka za pokretanje slojne vode (m³/s)

ρ_w – gustoća slojne vode (kg/m³)

P_t – dinamički tlak na ušću bušotine (Pa).

4.1 Buduće stanje pada ležišnog tlaka na bušotini X-2

Na Slici 10. prikazano je predviđanje pada ležišnog tlaka (P_i) uz konstantan trenutni WGR i tlak na ušću (P_t).

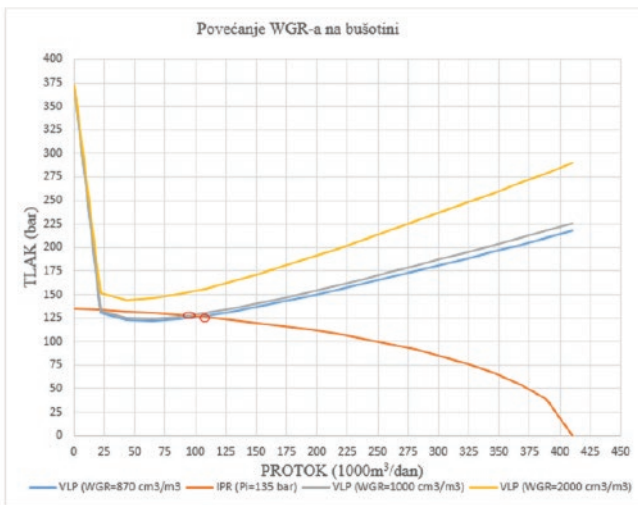


Slika 10. IPR i VLP krivulje predviđanja pada ležišnog tlaka na bušotini X-2

Analizom IPM-Prosper dobivenih rezultata, s daljnjim padom ležišnog tlaka (P_i) na vrijednosti od 110 bar te 90 bar, uz konstantne trenutne uvijete WGR-a i tlaka na ušću (P_t), neće biti proizvodnje na razmatranoj bušotini X-2, jer ležišni tlak nije dovoljan za iznošenje fluida iz bušotine (IPR i VLP krivulja se ne sijeku).

4.2 Buduće stanje povećanja WGR-a na bušotini X-2

Na Slici 11. prikazano je predviđanje povećanja WGR-a uz konstantan trenutni ležišni tlak (P_i) i tlak na ušću (P_t).

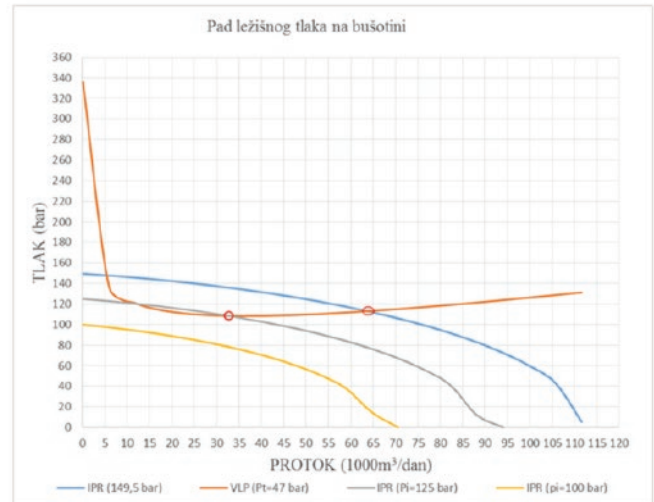


Slika 11. IPR i VLP krivulje predviđanja povećanja WGR-a na bušotini X-2

Analizom IPM-Prosper dobivenih rezultata, s povećanjem WGR-a na vrijednost od $1000 \text{ cm}^3/\text{m}^3$ smanjiti će se proizvodnja plina s $103.574 \text{ m}^3/\text{dan}$ na $92.697 \text{ m}^3/\text{dan}$ (Q_g), proizvodnja kondenzata s $6 \text{ m}^3/\text{dan}$ na $5,4 \text{ m}^3/\text{dan}$ (Q_k) te povećati proizvodnja slojne vode s $91 \text{ m}^3/\text{dan}$ na $93 \text{ m}^3/\text{dan}$ (Q_w). Dinamički tlak na dnu bušotine povećat će se s 127 bar na 128 bar. Daljnjim povećanjem WGR-a do vrijednosti od $2000 \text{ cm}^3/\text{m}^3$ neće više biti moguće proizvoditi iz bušotine X-2 jer nije ostvarena minimalna brzina protjecanja koja je potrebna za iznošenje fluida iz bušotine (IPR i VLP krivulje se ne sijeku).

4.3 Buduće stanje pada ležišnog tlaka na bušotini X-10

Na Slici 12. prikazano je predviđanje pada ležišnog tlaka (P_i) uz konstantan trenutni WGR i tlak na ušću (P_t).

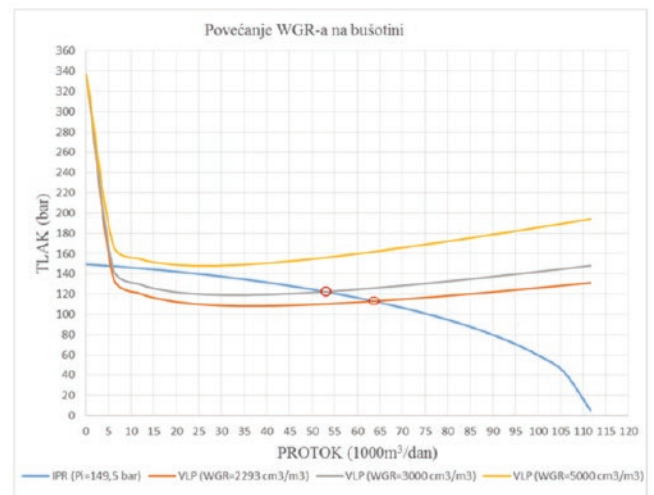


Slika 12. IPR i VLP krivulje predviđanja pada ležišnog tlaka na bušotini X-10

Analizom IPM-Prosper dobivenih rezultata, s daljnjim padom ležišnog tlaka na vrijednost od 125 bar (P_i) uz konstantne trenutne uvijete WGR-a i tlaka na ušću (P_t) smanjiti će se proizvodnja plina s $63.703 \text{ m}^3/\text{dan}$ na $32.501 \text{ m}^3/\text{dan}$ (Q_g), proizvodnja kondenzata s $2 \text{ m}^3/\text{dan}$ na $1 \text{ m}^3/\text{dan}$ (Q_k) te proizvodnja vode s $148 \text{ m}^3/\text{dan}$ na $75,5 \text{ m}^3/\text{dan}$ (Q_w). Dinamički tlak na dnu bušotine smanjit će se s 113 bar na 108 bar (P_{wf}). Daljnjim padom ležišnog tlaka na vrijednost od 100 bar (P_i) neće biti proizvodnje na razmatranoj bušotini X-10 jer ležišni tlak nije dovoljan za iznošenje fluida iz bušotine.

4.4 Buduće stanje povećanja WGR-a na bušotini X-10

Na Slici 13. prikazano je predviđanje povećanja WGR-a uz konstantan trenutni ležišni tlak (P_i) i tlak na ušću (P_t).

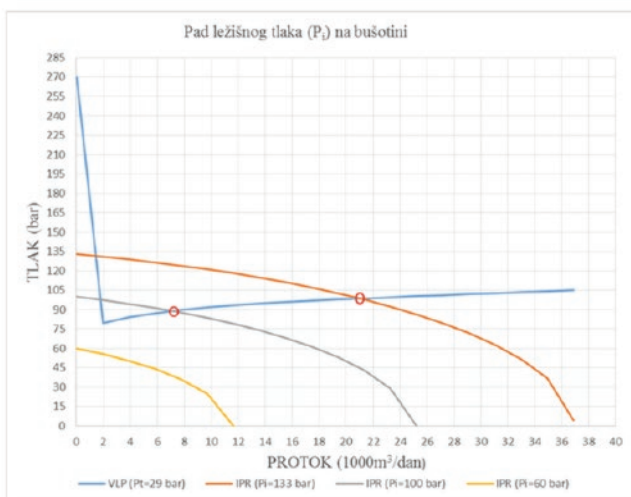


Slika 13. IPR i VLP krivulje predviđanja povećanja WGR-a na bušotini X-10

Analizom IPM-Prosper dobivenih rezultata, s povećanjem WGR-a na vrijednost od $3000 \text{ cm}^3/\text{m}^3$ smanjiti će se proizvodnja plina s $63.703 \text{ m}^3/\text{dan}$ na $52.979 \text{ m}^3/\text{dan}$ (Q_g), proizvodnja kondenzata s $2 \text{ m}^3/\text{dan}$ na $1,7 \text{ m}^3/\text{dan}$ (Q_k) te povećati proizvodnja slojne vode s $148 \text{ m}^3/\text{dan}$ na $159 \text{ m}^3/\text{dan}$ (Q_w). Dinamički tlak na dnu bušotine povećat će se s 113 bar na $122,5 \text{ bar}$ (P_{wf}). Daljnjim povećanjem WGR-a do vrijednosti od $5000 \text{ cm}^3/\text{m}^3$ neće više biti moguće proizvoditi iz bušotine X-10 jer nije ostvarena minimalna brzina protjecanja koja je potrebna za iznošenje fluida iz bušotine.

4.5 Buduće stanje pada ležišnog tlaka na bušotini X-15

Na Slici 14. prikazano je predviđanje pada ležišnog tlaka (P_i) uz konstantan trenutni WGR i tlak na ušću (P_t).

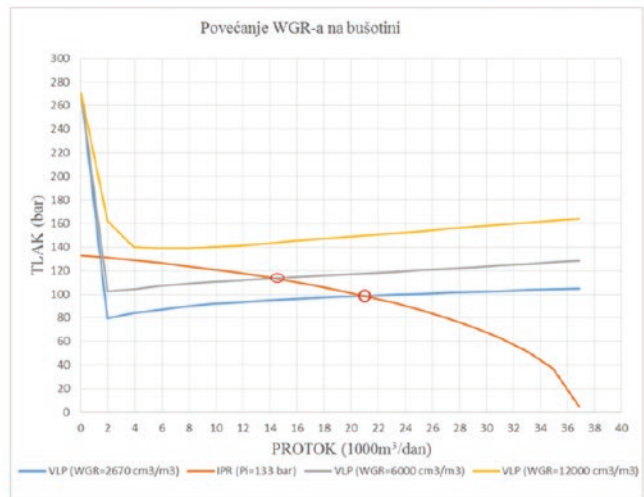


Slika 14. IPR i VLP krivulje predviđanja pada ležišnog tlaka na bušotini X-10

Analizom IPM-Prosper dobivenih rezultata, s daljnjim padom ležišnog tlaka na vrijednost od 100 bar (P_i) uz konstantne trenutne uvjete WGR-a i tlaka na ušću (P_t) smanjiti će se proizvodnja plina s $21.026 \text{ m}^3/\text{dan}$ na $14.315 \text{ m}^3/\text{dan}$ (Q_g), proizvodnja kondenzata s $1 \text{ m}^3/\text{dan}$ na $0,2 \text{ m}^3/\text{dan}$ (Q_k) te proizvodnja vode s $56 \text{ m}^3/\text{dan}$ na $19 \text{ m}^3/\text{dan}$ (Q_w). Dinamički tlak na dnu bušotine smanjit će se s 99 bar na 89 bar (P_{wf}). Daljnjim padom ležišnog tlaka na vrijednost od 60 bar (P_i) neće biti proizvodnje na razmatranoj bušotini X-10 jer ležišni tlak nije dovoljan za iznošenje fluida iz bušotine.

4.6. Buduće stanje povećanja WGR-a na bušotini X-10

Na Slici 15. prikazano je predviđanje povećanja WGR-a uz konstantan trenutni ležišni tlak (P_i) i tlak na ušću (P_t).



Slika 15. IPR i VLP krivulje predviđanja povećanja WGR-a na bušotini X-10

Analizom IPM-Prosper dobivenih rezultata, s povećanjem WGR-a na vrijednost od $6000 \text{ cm}^3/\text{m}^3$ smanjiti će se proizvodnja plina s $21.026 \text{ m}^3/\text{dan}$ na $14.315 \text{ m}^3/\text{dan}$ (Q_g), proizvodnja kondenzata s $1 \text{ m}^3/\text{dan}$ na $0,45 \text{ m}^3/\text{dan}$ (Q_k) te povećati proizvodnja slojne vode s $56 \text{ m}^3/\text{dan}$ na $86 \text{ m}^3/\text{dan}$ (Q_w). Dinamički tlak na dnu bušotine povećat će se s 99 bar na 113 bar (P_{wf}). Daljnjim povećanjem WGR-a do vrijednosti od $12.000 \text{ cm}^3/\text{m}^3$ neće više biti moguće proizvoditi iz bušotine X-10 jer nije ostvarena minimalna brzina protjecanja koja je potrebna za iznošenje fluida iz bušotine.

5. Zaključak

Analizom rezultata dobivenih IPM-Prosper programskim paketom moguće je zaključiti sljedeće:

Protjecanje fluida u bušotini ovisi o ležišnome tlaku, promjeru proizvodnog niza i sastavu samog proizvodnog fluida;

- IPM-Prosper programskim paketom moguće je vrlo točno odrediti trenutno radno stanje proizvodnih bušotina te predvidjeti i analizirati buduće stanje proizvodnih bušotina;
- Analizom slučaja pada ležišnog tlaka dolazi do smanjenja proizvodnje razmatranih bušotina te u konačnici uz dovoljno veliki pad tlaka i do prestanka rada bušotina zbog nedovoljne ener-

gije koja je potrebna za svladavanje pada tlaka kroz proizvodni niz;

- Analizom povećanja WGR-a također dolazi do smanjenja proizvodnje razmatranih bušotina te u konačnici do prestanka rada bušotina zbog nedovoljne brzine iznošenja fluida u proizvodnome nizu;
- IPM-Prosper programskim paketom analitički i grafički se dobivaju točni rezultati kojima možemo odrediti do koje razine smije doći do pada tlaka te do povećanja WGR-a, a da bušotine nastave s radom.

Literatura

1. Beggs, H. D. 2003. Production Optimization using Nodal Analysis. Tulsa, Oklahoma: OGCI and Petroskills Publications
2. BEGGS, H. D. 1985. Gas Production Operations, Tulsa: OGCI Publications
3. Brkić, V., Indikatorske ili IPR krivulje + NODAL analiza sustava proizvodnje, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb (neobjavljeno)
4. Čikeš, M., 2015. Proizvodno inženjerstvo nafte i plina. Zagreb: Rudarsko-geološko-naftni

Internetski izvori

1. Petroleum experts, Prosper,
2. URL: <http://www.petex.com/products/?ssi=3>