

Izrada integriranog proizvodnog modela naftnog polja koristeći programski paket IPM Suite

Ćurić, Marin

Master's thesis / Diplomski rad

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:169:218025>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-31**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET

Diplomski studij naftnog rudarstva

**IZRADA INTEGRIRANOG PROIZVODNOG MODELA NAFTNOG POLJA
KORISTEĆI PROGRAMSKI PAKET IPM SUITE**

Diplomski rad

Marin Ćurić

N366

Zagreb, 2021.

IZRADA INTEGRIRANOG PROIZVODNOG MODELA NAFTNOG POLJA
KORISTEĆI PROGRAMSKI PAKET IPM SUITE

MARIN ĆURIC

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

Sažetak

Integrirani proizvodni model naftnog polja može se smatrati nastavkom NODAL analize sustava. Svojstva i karakteristike ležišta, bušotine i površinskog sustava obuhvaćaju se u jednu cjelinu koristeći programe PROSPER i GAP iz programskog paketa IPM Suite. Povezivanjem cijelog polja u jednu cjelinu dobiva se integrirani rezultat te podloga za buduće planiranje u optimizaciji proizvodnje ugljikovodika. Postavljeni model reprezentativan je prikaz stvarne proizvodnje na terenu, upravo zbog „matchiranja“ mjerenih i modeliranih podataka.

Ključne riječi: integrirani model, proizvodnja, modeliranje, sustav
Diplomski rad sadrži: 30 stranica, 24 slike, 1 tablicu i 12 referenci
Jezik izvornika: Hrvatski
Diplomski rad pohranjen: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta
Pierottijeva 6, Zagreb
Mentor: Dr. sc. Vladislav Brkić, izvanredni profesor RGNF-a
Ocjenjivači: Dr. sc. Vladislav Brkić, izvanredni profesor RGNF-a
Dr. sc. Sonja Koščak Kolin, docentica RGNF-a
Dr. sc. Domagoj Vulin, redoviti profesor RGNF-a

Datum obrane: 10.9.2021., Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu

PRESENTING THE INTEGRATED MODEL OF AN OIL FIELD USING THE IPM
SUITE SOFTWARE PACKAGE

MARIN ĆURIĆ

Thesis completed at: University of Zagreb
Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering
Department of Petroleum and Gas Engineering and Energy
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb, Croatia

Abstract

Integrated production model of an oil field can be considered a continuation of NODAL analysis. Reservoir, well and surface pipeline system characteristics can be united in to one ensemble using IPM Suite programs such as PROSPER and GAP. Uniting the whole oil field into one ensemble provides integrity of results that can be used in future planning and optimization of hydrocarbon production. Presented model is considered to be representative of actual on field data. That kind of degree of precision is possible only because of data matching of the on field data with the model data.

Key words: integrated model, production, modelling, system

Thesis contains: 30 pages, 24 figures, 1 table and 12 references

Language: Croatian

Thesis archived at: The Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Library
Pierottijeva 6, Zagreb

Supervisor: Associate professor Vladislav Brkić, PhD

Reviewers: Associate professor Vladislav Brkić, PhD
Assistant professor Sonja Koščak Kolin, PhD
Full professor Domagoj Vulin, PhD

Date of defense: September 10, 2021., Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, University of Zagreb

SADRŽAJ

POPIS SLIKA	I
POPIS TABLICA	II
1. UVOD.....	1
2. NODALTM ANALIZA.....	3
3. INTEGRIRANO PROIZVODNO MODELIRANJE.....	7
4. IZRADA INTEGRIRANOG PROIZVODNOG MODELA POLJA X.....	10
4.1. Modeliranje proizvodnog sustava bušotine u programu PROSPER	11
4.2. Integrirani proizvodni model polja X	19
5. ZAKLJUČAK.....	29
6. LITERATURA.....	30

POPIS SLIKA

Slika 2-1. Komponente sustava proizvodnje nafte i plina (Čikeš, 2013)	3
Slika 2-2. Smještaj najčešće korištenih čvorišta (Čikeš, 2013).....	4
Slika 3-1. Programski paket IPM (http://www.petex.com/products/ipm-suite)	8
Slika 3-2. Jednostavan prikaz područja primjene programa IPM paketa (https://www.accreteltd.com/integrated-production-modeling)	8
Slika 4-1. Ispunjavanje ulaznih podataka o bušotini	11
Slika 4-2. Unos pVT podataka za ležišni fluid.....	12
Slika 4-3. Laboratorijski dobiveni podaci na koje se „matchira“ pVT.....	13
Slika 4-4. Korelacijski parametri dobiveni „matchiranjem“	13
Slika 4-5. Izračun i prikaz IPR krivulje	14
Slika 4-6. Ugrađena cijevna oprema u bušotinu.....	15
Slika 4-7. Definiranje karakteristika dubinske sisaljke s klipnim šipkama	15
Slika 4-8. Prikaz dinamografa ugrađene njihalice i svojstava sustava dubinske sisaljke	16
Slika 4-9. Povučeni podaci dubinske sisaljke s klipnim šipkama	17
Slika 4-10. Prikaz proračuna i izgleda VLP krivulje.....	17
Slika 4-11. Dizajniranje sustava bušotine X-1 s dobivenom radnom točkom	18
Slika 4-12. Shema proizvodnog modela polja X u programu GAP	20
Slika 4-13. Prikaz tokova i sabirnog sustava SS-X1	21
Slika 4-14. Dijagram tokova sa sabirnim sustavom SS-X2.....	22
Slika 4-15. Prozor s podacima o IPR krivulji za bušotinu X-1	23
Slika 4-16. Raspon vrijednosti za bušotinu X-1	24
Slika 4-17. Zaslona s pregledom bušotine u GAP-u	24
Slike 4-18. Dobiveni podaci za bušotinu X-1	25
Slika 4-19. Pregled podataka naftovoda između SSS1 i SS-X2	26
Slika 4-20. Prikaz rješenja cjevovodnog sustava	27

POPIS TABLICA

Tablica 4-1. Prikaz rezultata dobivenih u GAP-u i usporedba s mjerenim podacima 28

POPIS KORIŠTENIH OZNAKA I JEDINICA

P_{sep} = tlak u separatoru, bar

$P_{\text{čvorišta}}$ = tlak u odabranom čvorištu, bar

\bar{p}_R = srednji ležišni tlak, bar

P_{wf} = tlak na dnu bušotine, bar

P_r = ležišni tlak, bar

$\Delta p_{\text{u komponentama uz protok}}$ = pad tlaka u komponentama uz protok, bar

$\Delta p_{\text{ležišta}}$ = promjena tlaka ležišta, bar

$\Delta p_{\text{cjevovoda}}$ = pad tlaka u cjevovodu, bar

Δp_{tubing} = pad tlaka u tubing, bar

1. UVOD

Proizvodno inženjerstvo sastavni je dio naftnog inženjerstva u kojem se nastoji maksimalizirati pridobivanje fluida iz ležišta uz što manje troškove, odnosno povećati dobit.

U ovom diplomskom radu biti će prikazan upravo takav jedan proces izrade integriranog modela naftnog polja pomoću kojeg se mogu optimizirati proizvodni parametri u svrhu povećanje proizvodnje ugljikovodika.

Proizvodnja ugljikovodika obuhvaća dva sustava koja su u međusobnoj komunikaciji. To su ležište (prirodna šupljikava formacija s jedinstvenim karakteristikama skladištenja i protjecanja fluida) i proizvodni sustav (bušotina, dubinska i površinska oprema bušotine, površinski sabirni sustav te oprema za separaciju i skladištenje fluida). Ovisno o tipu bušotine i ležište može doći do promjene proizvodnog sustava, gdje se taj dio sustava optimizira kako bi što efikasnije funkcionirao. Ležište opskrbljuje bušotinu ugljikovodicima. Bušotina svojom opremom omogućava protok ugljikovodika od dna bušotine do površinskog sustava, ujedino omogućuje kontrolu samog protoka fluida. Površinski sustav usmjerava proizvedeni ugljikovodik do separatora, gdje dolazi do odvajanja vode i plina od nafte. Odvojeni ugljikovodici se transportiraju ili skladište, ovisno o projektu postrojenja. Uz to odvojena ležišna voda obično se utiskuje nazad u ležište koristeći utisne bušotine.

Svrha svake proizvodne bušotine je da omogući gibanje ugljikovodika od njihova izvornog položaja u ležištu do površinskih spremnika ili cjevovoda. Gibanje tih fluida zahtjeva energiju za njihovo podizanje s dna bušotine na površinu, kao i svladavanje otpora trenja u cijelom proizvodnom sustavu.

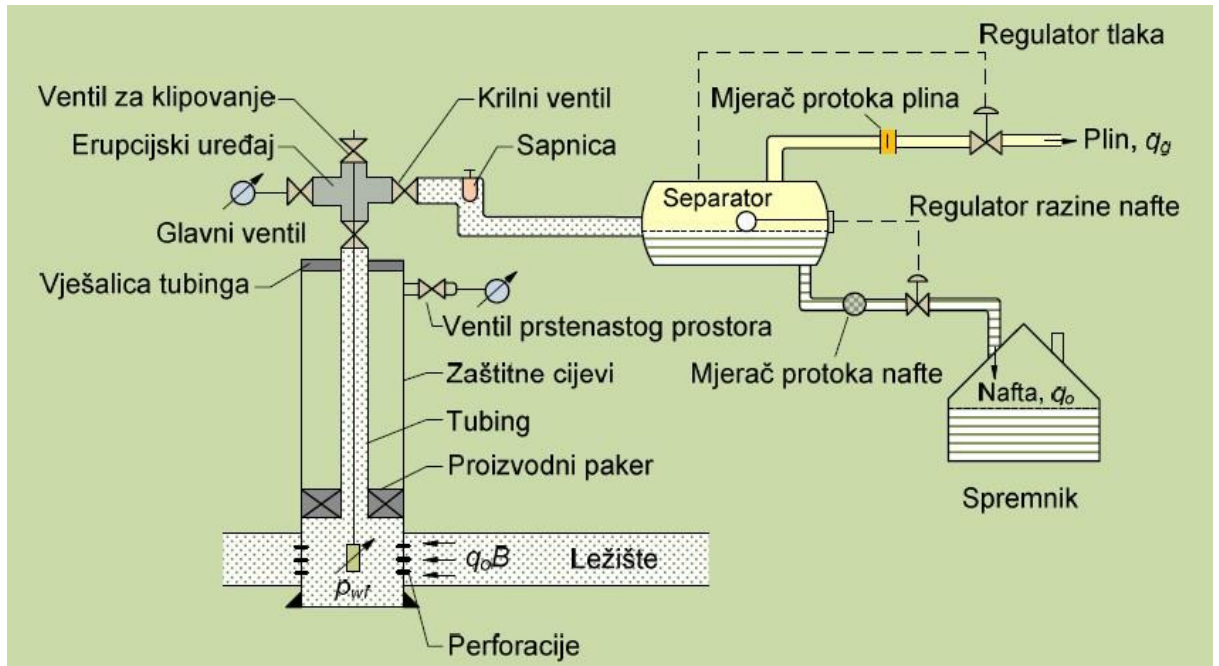
Ugljikovodici protječu na površinu ako je ležišni tlak dovoljno velik da savlada tlakove koji se javljaju pri protoku fluida u bušotini i površinskom sustavu, te hidrostatski tlak samog ugljikovodika pošto se nerijetko radi o dubinama od nekoliko tisuća metara.

Proizvodnja bušotine može biti ograničena samo jednom komponentom sustava i njenim karakteristikama. Iz tog razloga, ako je moguće izdvojiti utjecaj svake pojedine komponente na proizvodne osobine cijelog sustava onda je i moguće optimizirati sustav.

Integrirani proizvodni model je model koji simulira ponašanje i karakteristike polja od ležišta, preko bušotina i njihove cijevne opreme do sabirno-transportnog sustava. Naziv integrirani prihvaćen je s obzirom da objedinjuje nekoliko domena proizvodnog i ležišnog inženjerstva, a njegova efikasnost i brzina uporabe glavne su prednosti takvog modela. Tako postavljen model zatim se može koristiti kao alat procjene utjecaja promjena sustava imajući u planu buduće projekte i remonte (Ageh, 2010.).

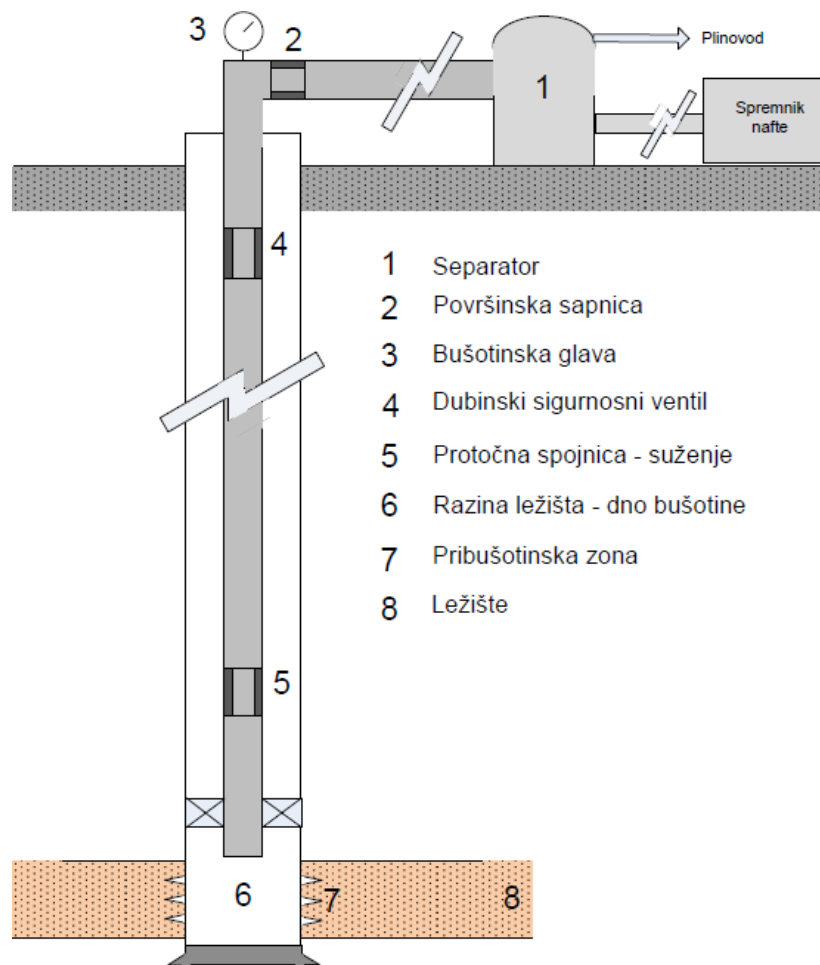
2. NODAL™ ANALIZA

Jedna od najkorištenijih tehnika za optimizaciju sustava proizvodnje ugljikovodika, uzimajući u obzir potvrđenu učinkovitost i međunarodno priznatu razinu pouzdanosti je NODAL™ analiza (Beggs et al., 1991).



Slika 2-1. Komponente sustava proizvodnje nafte i plina (Čikeš, 2013)

NODAL™ analiza sustava prisutna je već nekoliko desetljeća te se koristi za analiziranje performansi različitih sustava koji su sastavljeni od interaktivnih komponenti. Primjena same analize na proizvodne sustave ugljikovodika datira iz 60-ih godina prošlog stoljeća (Beggs, 2003). Postupak započinje odabirom razdjelne točke, čvorišta (engl. *node*) u proizvodnom sustavu. Zatim se sustav dijeli u tom čvorištu na dvije sekcije. Na slici 2-2. prikazane su najčešće lokacije čvorišta koje su se kroz praksu ustanovile kao najjednostavnije i najefikasnije.



Slika 2-2. Smještaj najčešće korištenih čvorišta (Čikeš, 2013)

Sve točke koje se nalaze uz tok od odabranog čvorišta, tj. od čvora do ležišta, skupa čine sekciju utoka fluida u čvorište (engl. *inflow section*), dok sekciju istjecanja fluida iz čvorišta (engl. *outflow section*) čine sve komponente niz protok od čvorišta. Uzevši u obzir da je odnos između protoka i pada tlaka za svaku komponentu u sustavu poznat, protok kroz sustav određuje se ako su zadovoljeni sljedeći uvjeti:

1. Utok u čvorište mora biti jednak istoku iz čvorišta
2. Samo jedan tlak u čvorištu može postojati pri određenom protoku

Tijekom radnog vijeka bušotine, u svakom trenutku postoje dva tlaka koja nisu definirana i nisu funkcija protoka. Jedan od tih tlakova je srednji ležišni tlak, a drugi izlazni tlak iz sustava (najčešće separatorski tlak p_{sep} , ali u slučajevima kada je bušotina kontrolirana sapnicom na površini, u tom slučaju fiksni izlazni tlak može biti i tlak na ušću bušotine p_{wh}).

Kada je odabrano čvorište, tlak u čvorištu se računa iz oba smjera, počevši od fiksnih tlakova.

$$\text{Utok u čvorište: } p_{\text{čvorišta}} = \bar{p}_R - \Delta p_{\text{u komponentama uz protok}} \quad (2-1.)$$

$$\text{Istjecanje iz čvorišta: } p_{\text{čvorišta}} = p_{\text{sep}} + \Delta p_{\text{u komponentama uz protok}} \quad (2-2.)$$

Gdje su: $p_{\text{čvorišta}}$ – tlak u čvorištu, bar

\bar{p}_R – srednji ležišni tlak, bar

$\Delta p_{\text{u komponentama uz protok}}$ – pad tlaka u komponentama uz protok, bar

P_{sep} – tlak u separatoru, bar

Pad tlaka u komponenti sustava mijenja se s protokom. Stoga će graf tlaka čvorišta u funkciji protoka dati dvije krivulje, a njihovo sjecište zadovoljavat će prethodno definirane uvjete.

Promjena bilo koje komponente sustava i njen utjecaj može se analizirati ponavljanjem proračuna tlaka čvorišta kao funkcija protoka, rabeći promijenjene karakteristike komponente koja je promijenjena. Ako je promijenjena uzvodna komponenta, krivulja istoka ostati će ista. Međutim, promjenom neke od krivulja dolazi do pomicanja njihovog sjecišta, koje će davati novi protočni kapacitet sustava i novi tlak čvorišta. Do pomicanja krivulja također će doći ako se promijeni jedan ili drugi fiksni tlak, do čega može doći zbog crpljenja ležišta i smanjivanja ležišnog tlaka ili zbog promjene separatorskih uvjeta.

U praksi najčešće odabrano čvorište je smješteno između ležišta i bušotine s tlakom p_{wf} . Na taj način, odabirom čvorišta u toj točki, sustav je automatski podijeljen na dvije komponente: u kojoj je dominantno ležište i u kojoj dominira cijevni sustav (oprema u bušotini, tubing). U tom slučaju izrazi za utok i istok za jednostavan proizvodni sustav glasi:

$$\text{Utok u čvorište: } p_{\text{wf}} = \bar{p}_R - \Delta p_{\text{ležišta}} \quad (2-3.)$$

$$\text{Istjecanje iz čvorišta: } p_{\text{wf}} = p_{\text{sep}} + \Delta p_{\text{cijevodova}} + \Delta p_{\text{tubinga}} \quad (2-4.)$$

Gdje su: p_{wf} – tlak na dnu bušotine, bar

$\Delta p_{\text{ležišta}}$ – pad tlaka u ležištu, bar

$\Delta p_{\text{cjevovoda}}$ – pad tlaka u cjevovodu, bar

$\Delta p_{\text{tubinga}}$ – pad tlaka u tubingu, bar

Rezultirajuća krivulja utoka u čvorište, u ovom slučaju, identična je indikatorskoj krivulji (IPR krivulja, engl. *Inflow Performance Relationship*). Ako se umjesto separatorskog tlaka kao fiksni tlak uzme onaj na ušću bušotine, p_{wh} , krivulja istoka iz čvorišta biti će identična krivulji vertikalnog podizanja (VLP krivulja, engl. *Vertical lift performance*). (Čikeš, 2013)

Ovim postupkom izolira se učinak jedne od najvažnijih komponenti sustava, a to je proizvodni tubing, gdje dolazi do gotovo 80% ukupnog pada tlaka u cijelom proizvodnom sustavu pri gibanju ugljikovodika od ležišta ka površini. Cjelokupni sustav može se optimizirati odabirom komponenti čije će karakteristike davati najveću moguću proizvodnju uz najmanje troškove. Iako je ukupan pad tlaka za sustav $p_r - p_{sep}$, fiksni u određenom vremenu, proizvodni kapacitet sustava ovisi o tome gdje se određeni padovi tlaka zbivaju. Lošim odabirom određene komponente može doći do prevelikog pada tlaka u toj komponenti što može uzrokovati manjak tlaka potrebnog za djelotvoran rad ostalih komponenti sustava.

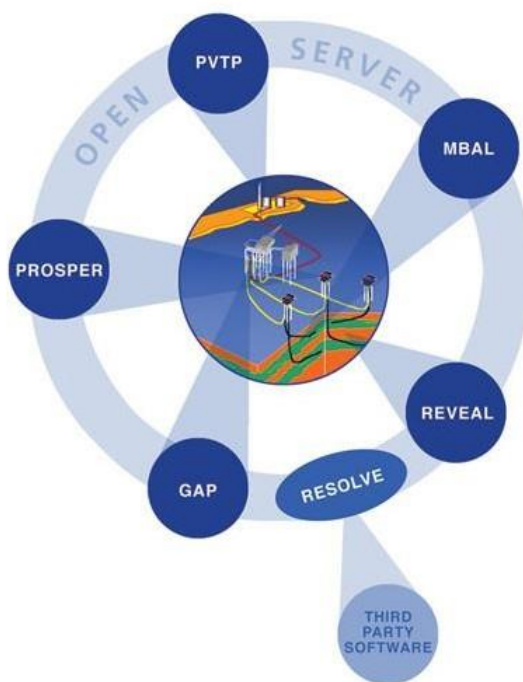
NODALTM analizom možemo analizirati sve komponente bilo kojeg proizvodnog sustava, a moguća je primjena na izbor proizvodnog tubinga, površinskog cjevovoda, analizu utjecaja perforiranja bušotine, odabir metode umjetnog podizanja fluida, dimenzioniranje proizvodne sapnice itd.

3. INTEGRIRANO PROIZVODNO MODELIRANJE

Proizvodnja ugljikovodika iznimno je složena iz razloga što se sustavi proizvodnje sastoje od međupovezanih komponenti i procesa koji su po prirodi dinamični. Timovi inženjera susreću se s brojnim izazovima tijekom planiranja proizvodnje, razrade ležišta i izvođenja operacija. Kada se planira razrada polja koriste se simulacijski alati za modeliranje komponenata sustava naftnih polja. Međutim, tradicionalne metode praćenja i planiranja proizvodnje uglavnom su statične i ne uspijevaju uzeti u obzir dinamičnu prirodu proizvodnih sustava.

Neefikasnost i gubici koji se javljaju tijekom pridobivanja doveli su do potrebe za optimiranjem sustava i pojave integriranog proizvodnog modeliranja koje obuhvaća sve elemente sustava za proizvodnju ugljikovodika: ležište, bušotinu, mrežu cjevovoda, procesna postrojenja i ekonomske modele u jedinstven model sustava. Napretkom računalnih mogućnosti došlo je do razvoja softverskih paketa koji su razvijeni za integrirano modeliranje. Ti paketi pružaju potrebne podatke o količini proizvodnje i ekonomska predviđanja za cjelokupan sustav kroz čitav radni vijek i danas su sastavni dio sustava za planiranje i optimizaciju proizvodnje. Glavna svrha ove metode jest povećanje proizvodnje, smanjenje troškova i napredovanje u integraciji, komunikaciji i suradnji među različitim disciplinama. Integrirani proizvodni model naftnog polja može se promatrati kao nastavak NODAL analize samo što integrirano modeliranje polja daje jasniju sliku prirode i ponašanja polja, proizvodnih potencijala i ekonomike za čitavo trajanje životnog vijeka polja. (Tehnička dokumentacija, INA d.d., 2016.). Također može biti promatran kao cjelina koja sadrži sve potrebne podatke za buduće procjene utjecaja neke promjene.

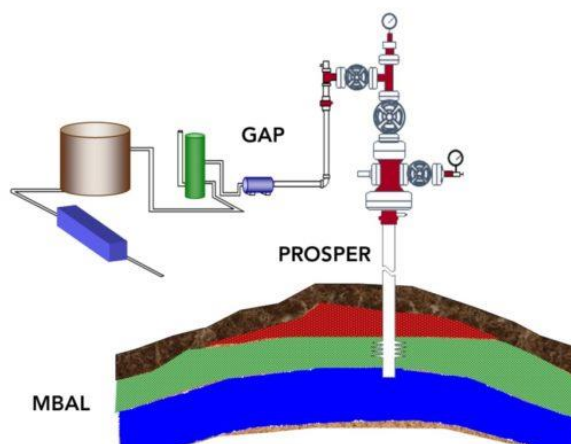
Petroleum Experts (PETEX) razvio je programski paket upravo za izradu integriranih proizvodnih modela – IPM (engl. *Integrated Production Modelling*). Koristi se za modeliranje kompletnog sustava proizvodnje ugljikovodika, što uključuje ležište, bušotinu i površinske sustave. Paket čini šest programa koji se mogu koristiti neovisno jedan o drugome. Programi su: GAP, PROSPER, MBAL, PVTP, REVEAL i RESOLVE (slika 3-1.). Navedenim paketima omogućuje se izrada cjelovitog modela polja sa svim bušotinama i površinskim sabirnim sustavom. IPM se također može koristiti za modeliranje i optimiziranje proizvodnje ugljikovodika, ali i sustav utiskivanja vode ili plina istovremeno.



Slika 3-1. Programski paket IPM (<http://www.petex.com/products/ipm-suite>)

Sa dovršenim modelima ležišta, bušotina i cijelih površinskih sustava i usklađivanjem povijesti proizvodnje, proizvodni sustavi mogu se optimizirati uz predviđanje buduće proizvodnje. Program RESOLVE i OpenServer protokol omogućuju povezivanje PETEX modula, ali i povezivanje sa softverom za ležišne i procesne simulacije drugih proizvođača.

Integrirani proizvodni model polja X koji će biti predstavljen u ovom diplomskom radu rađen je pomoću računalnih programa PROSPER i GAP.



Slika 3-2. Jednostavan prikaz područja primjene programa IPM paketa (<https://www.accreteltd.com/integrated-production-modeling>)

PROSPER je program za modeliranje i optimizaciju većine konfiguracije bušotina koje se primjenjuju u suvremenoj naftnoj industriji. Dizajniran je za izradu pouzdanih i konzistentnih modela bušotina uz mogućnost zasebnog modeliranja podsustava bušotine: PVT (svojstva fluida u ležištu), VLP korelacija (proračun protoka i gubitka tlaka u tubingu) i IPR (utok iz ležišta). Mogućnost modeliranja pojedinih komponenti sustava daje korisniku mogućnost provjere točnosti svakog podsustava modela uklapanjem (engl. *matching*) s mjerenim podacima. Kada se postigne željeni stupanj podudaranosti modela sa stvarno mjerenim podacima sa bušotine, PROSPER model može se pouzdano koristiti za simuliranje različitih situacija i za predviđanje ležišnog tlaka obzirom na količinu proizvodnje. Program pruža mogućnosti usklađivanja (engl. *matching*) pVT svojstva fluida, korelacija za višefazni protok i IPR krivulje za usporedbu s mjerenim podacima što rezultira dosljednim modelom za predviđanje rada bušotine u slučaju promjene nekog parametra ili projektiranja sustava za umjetno podizanje kapljevine.

S druge strane, GAP je program specijaliziran za izradu modela površinskog sabirnog sustava proizvodnog polja. Ima mogućnost direktnog povezivanja s PROSPER modelima bušotina i MBAL modelom ležišta što uvelike olakšava i omogućava brzu i efikasnu optimizaciju cjelokupnog proizvodnog sustava polja. GAP sustavi mogu obuhvaćati proizvodnju više različitih fluida uključujući naftu, suhi i mokri plin, retrogradni kondenzat, uz mogućnost izrade utisnog sustava vode ili plina. Pošto se radi o alatu za optimizaciju funkcionira na principu traženja najboljeg mogućeg scenarija za povećanje proizvodnje ugljikovodika uz sva ograničenja koja su mu postavljena. GAP prepoznaje optimalne postavke (npr. sapnica na eruptivnoj bušotini, raspodjela plina na gas-lift bušotine koje mogu povećati proizvodnju) te ih nameće kao idejna rješenja za povećanje proizvodnje te na kraju svega i prihoda.

4. IZRADA INTEGRIRANOG PROIZVODNOG MODELA POLJA X

Polje X relativno je staro naftno polje na kojem se eksploatacija ugljikovodika obavlja već više desetljeća. Topografski je to blago brežuljkasto područje s nadmorskom visinom 110-180 metara. U neposrednoj blizini nalazi se nekoliko proizvodnih naftnih polja, a polje X ima površinu oko 30 km².

Površinske pojave prirodnog plina, tj. metana, na području polja X poznate su odavno. Iz tih je razloga 1905. godine izbušena prva istražna bušotina. Prema dobivenim podacima bušotina je dosegla dubinu od 905 m, a na dubini od otprilike 600 m došlo je do erupcije plina. Geofizičkim istraživanjima (najviše je korištena metoda gravimetrije) locirani su naftonosni pješčani slojevi u naslagama donjeg pontaa. Samim time je otkriveno i potvrđeno naftno polje X.

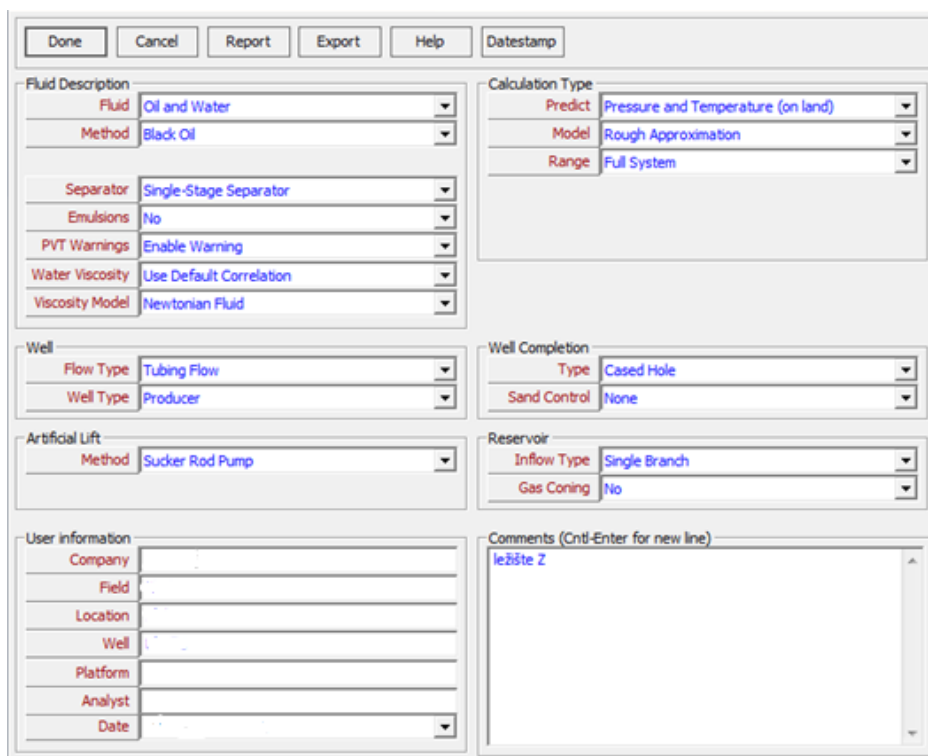
Na polju se nalazi ukupno 198 bušotina, 70 ih je likvidiranih, 3 su napuštene, 52 su mjerne i 5 utisnih. 68 bušotina ima ulogu proizvodne od kojih je samo jedna plinska. (Tehnička dokumentacija INA d.d., 2016.)

4.1. Modeliranje proizvodnog sustava bušotine u programu PROSPER

Proizvodni model odabrane bušotine izrađuje se kroz niz logički povezanih potprograma u kojima se definiraju ležišni i bušotinski uvjeti. Za potrebe prikazanog modeliranja odabrana je bušotina X-1 koja proizvodi naftu uporabom dubinske crpke s klipnim šipkama. Zbog željene točnosti i pouzdanosti proračunatog modela primjenjuju se stvarni podaci dobiveni terenskim mjerenjima (Tehnička dokumentacija INA d.d., 2016). Zbog nedostatka potrebnih mjerenja za dobivanje radne točke korišteni su podaci o proizvedenim količinama iz mjesečnog izvještaja proizvodnje, a dinamički tlak na dnu bušotine izračunat je preko dinamičke razine fluida u bušotini. Ulazni pVT i ležišni podaci dobiveni su iz Elaborata o rezervama nafte i plina (1977.) te su korigirani na današnje uvjete.

Modeliranje proizvodnog sustav izvodi se u sljedećim koracima:

1. Definiranje sustava bušotine (slika 4-1.):



The screenshot displays the PROSPER software interface for defining well input data. The interface is organized into several sections:

- Fluid Description:** Fluid (Oil and Water), Method (Black Oil), Separator (Single-Stage Separator), Emulsions (No), PVT Warnings (Enable Warning), Water Viscosity (Use Default Correlation), Viscosity Model (Newtonian Fluid).
- Calculation Type:** Predict (Pressure and Temperature (on land)), Model (Rough Approximation), Range (Full System).
- Well:** Flow Type (Tubing Flow), Well Type (Producer).
- Well Completion:** Type (Cased Hole), Sand Control (None).
- Artificial Lift:** Method (Sucker Rod Pump).
- Reservoir:** Inflow Type (Single Branch), Gas Coning (No).
- User information:** Fields for Company, Field, Location, Well, Platform, Analyst, and Date.
- Comments (Ctrl-Enter for new line):** A text area containing the comment "ležište Z".

Slika 4-1. Ispunjavanje ulaznih podataka o bušotini

Prvi korak je ispunjavanje osnovnih ulaznih podataka o bušotini kao što su proizvodni fluid, korelacije koje želimo da program koristi za proračune određenih parametara, površinski uvjeti (tip separatora), metoda umjetnog podizanja itd.

2. Unos pVT podataka fluida (slika 4-2.):

Može se primijetiti da prema dobivenim podacima nema prisutnosti primjesa i nečistoća poput sumporovodika i ugljikovog dioksida. Nadalje, korištene su korelacije Vazquez-Beggs i Petrosky zbog prijašnjeg korištenja na polju X. Gustoća proizvedene nafte iznosi 843 kg/m^3 dok je GOR (engl. *Gas to oil ratio*) $68 \text{ Sm}^3/\text{m}^3$. Gustoća plina izražena je preko relativne gustoće i iznosi 0,782.

Parameter	Value	Unit
Solution GOR	68	Sm ³ /Sm ³
Oil Gravity	843	Kg/m ³
Gas Gravity	0.782	sp. gravity
Water Salinity	7200	ppm

Correlation	Value
Pb, Rs, Bo	Vazquez-Beggs
Oil Viscosity	Petrosky et al

Impurity	Value	Unit
Mole Percent H ₂ S	0	percent
Mole Percent CO ₂	0	percent
Mole Percent N ₂	0	percent

Slika 4-2. Unos pVT podataka za ležišni fluid

Kao što je prije spomenuto, pVT podaci moraju se „matchirati“ i prilagoditi na trenutne ili neke druge zadane uvjete u ležištu. To se radi na način da se unose dobiveni pVT podaci, te algoritam modula nakon toga podešava koeficijente korelacija da bi se računski dobili slični rezultati (slika 4-3.).

Done Main **Cancel** Match Export Import PVTP Import Transfer Plot Help

PVT Match data

Table 1

Temperature 91.7 deg C
Bubble Point 158.987 BARg

Point	Pressure	Gas Oil Ratio	Oil FVF	Oil Viscosity
	(BARg)	(Sm ³ /Sm ³)	(m ³ /Sm ³)	(mPa.s)
1	138.987	82.9	1.2738	0.904
2	128.987	77.9	1.2603	0.923
3	118.987	72.9	1.2463	0.941
4	108.987	67.7	1.232	0.96
5	98.9867	62.8	1.2175	0.98
6	88.9867	57.6	1.2027	1.002
7	78.9867	52.6	1.1877	1.028
8	68.9867	47.5	1.1726	1.052
9	58.9867	42.4	1.1573	1.091
10	48.9867	37.3	1.1419	1.136
11	38.9867	32.2	1.1263	1.191
12	28.9867	27.2	1.1107	1.256
13	18.9867	22.1	1.0949	1.34
14	148.987	88	1.2865	0.888
15	158.987	92.8	1.2984	0.872

Slika 4-3. Laboratorijski dobiveni podaci na koje se „matchira“ pVT

Korelacijski parametri koji su dobiveni „matchiranjem“ razlikovati će se u svojim vrijednostima i točnosti (slika 4-4.).

Done Cancel Main Export Report **Reset All** Help Pb, Rs, Bo Vazquez-Beggs Uo Petrosky et al

Bubble Point

	Glaso	Standing	Lasater	Vazquez-Beggs	Petrosky et al	Al-Marhoun	De Ghetto et al
Parameter 1	1.13476	1.21387	1.36385	1.08028	1.14483	1.10451	1.18874
Parameter 2	244.377	344.522	483.467	159.355	258.505	199.07	315.232
Std Deviation							
	Reset	Reset	Reset	Reset	Reset	Reset	Reset

Solution GOR

	Glaso	Standing	Lasater	Vazquez-Beggs	Petrosky et al	Al-Marhoun	De Ghetto et al
Parameter 1	0.98262	0.80248	0.7173	1.02015	1.16548	0.90539	0.82568
Parameter 2	51.2005	75.7148	57.0382	77.5111	-27.5267	102.206	79.9641
Std Deviation	18.494	23.5958	16.7498	23.12	31.4528	30.7443	23.8449
	Reset	Reset	Reset	Reset	Reset	Reset	Reset

Oil FVF

	Glaso	Standing	Lasater	Vazquez-Beggs	Petrosky et al	Al-Marhoun	De Ghetto et al
Parameter 1	1.0378	0.97601	0.97222	1.01004	0.99831	1.04493	1.14911
Parameter 2	-0.030127	0.0096512	0.014097	-0.043615	-0.017444	-0.08792	-0.12666
Parameter 3	1	1	1	1	1	1	1
Parameter 4	1e-8	1e-8	1e-8	1e-8	1e-8	1e-8	1e-8
Std Deviation	0.010316	0.0069079	0.002462	0.0048156	0.013133	0.0064152	0.01936
	Reset	Reset	Reset	Reset	Reset	Reset	Reset

Oil Viscosity

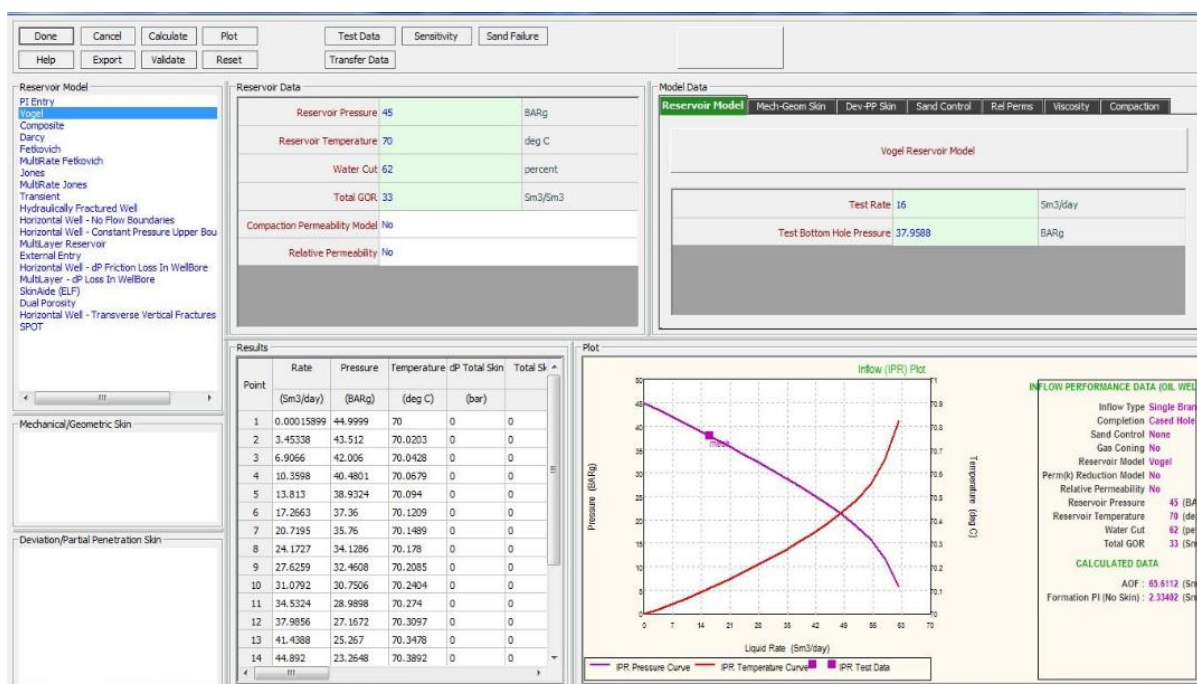
	Beal et al	Beggs et al	Petrosky et al	Egbogah et al	Bergman-Sutton	De Ghetto et al
Parameter 1	0.98131	0.89029	1.07502	0.06057	1.82955	0.35144
Parameter 2	0.33751	0.40235	0.21799	0.6582	0.19883	0.69607
Std Deviation	0.026298	0.013061	0.029176	0.18717	0.027895	0.030068
	Reset	Reset	Reset	Reset	Reset	Reset

Slika 4-4. Korelacijski parametri dobiveni „matchiranjem“

S tim postupkom dovršeno je postavljanje pVT svojstava fluida i može se pristupiti sljedećem koraku u postavljanju modela.

3. Proračun IPR krivulje

Izračun IPR krivulje relativno je jednostavan. PROSPER pruža mogućnost odabira metode izračuna IPR krivulje te je u ovom slučaju korištena Vogelova korelacija kao najčešći odabir za izračun zbog svoje jednostavnosti i točnosti. U donjem desnom prikazana je dobivena IPR krivlja karakterističnog izgleda.



Slika 4-5. Izračun i prikaz IPR krivulje

4. Opis ugrađene opreme

U ovom koraku odabire se oprema ugrađena u bušotinu. Ovdje to tubing 2^{7/8} in do dubine 793 m gdje je ujedino i sjedište dubinske usisne sisaljke. Zaštitne cijevi u bušotini, vanjskog su promjera 5^{1/2} in. Za najnižu točku ulaza fluida u bušotinu odabran je vrh perforacija koji se nalazi na 848 m. (slika 4-6.)

Input Data										
Point	Label	Type	Measured Depth	Tubing Inside Diameter	Tubing Inside Roughness	Tubing Outside Diameter	Tubing Outside Roughness	Casing Inside Diameter	Casing Inside Roughness	Rate Multiplier
			(m)	(mm)	(m)	(mm)	(m)	(mm)	(m)	
1		Xmas Tree	0							
2		Tubing	793	62	1.524e-5	73	1.524e-5	124.26	1.524e-5	1
3		Casing	848					124.26	1.524e-5	1
4										
5										

Slika 4-6. Ugrađena cijevna oprema u bušotinu

5. Definiranje dubinske sisaljke s klipnim šipkama

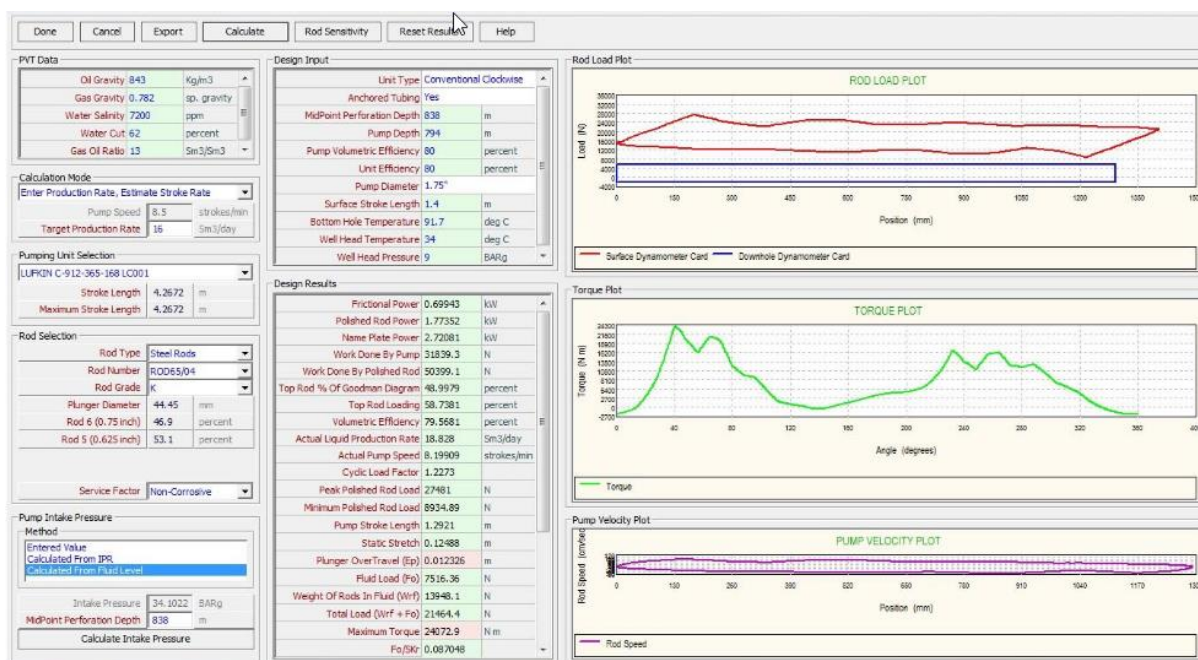
Kao što je spomenuto ranije, odabrana bušotina ima umjetnu metodu podizanja nafte i plina, dubinsku sisaljku s klipnim šipkama. U izbornik se unose podaci o dubini ugradnje pumpe, volumetrijsku efikasnost, promjer sisaljke, duljinu i brzinu hodova njihalice, sastavu niza klipnih šipki i podatke o sidru i dubinskom odvajaču plina. (slika 4-7.)

Input Data		
Anchored Tubing	Yes	
Pump Depth	794	m
Pump Volumetric Efficiency	80	percent
Pump Diameter	1.75"	
Surface Stroke Length	1.4	m
Pumping Speed	8.5	strokes/min
Rod Selection		
Rod Type	Steel Rods	
Rod Number	ROD65/04	
Plunger Diameter	44.45	mm
Rod 6 (0.75 inch)	46.9	percent
Rod 5 (0.625 inch)	53.1	percent
Gas Anchor		
Method	Entered	
Efficiency	1	fraction
Type	Cup Type	
Annulus Area	6.3	in2

Slika 4-7. Definiranje karakteristika dubinske sisaljke s klipnim šipkama

6. Određivanje dinamičkog tlaka na dnu bušotine

Dinamički tlak na dnu bušotine se računa preko dinamičke razine fluida u bušotini. U otvorenom izborniku automatski se povlače uneseni podaci o proizvedenom fluidu i postavljenoj sisaljci kao što je vidljivo na slici 4-8. Nakon toga se unose izmjereni tlak i temperatura na ušću.



Slika 4-8. Prikaz dinamografa ugrađene njhalice i svojstava sustava dubinske sisaljke

Dinamički tlak na dnu bušotine računa se preko razine fluida odabirom odgovarajuće metode i opcije „izračun tlaka usisa“. S dobivenim BHP (engl. *Bottom Hole Pressure*) ponovno računamo IPR krivulju te se dizajnira dubinska sisaljka s klipnim šipkama.

Done Cancel Export Calculate Help

Input Data

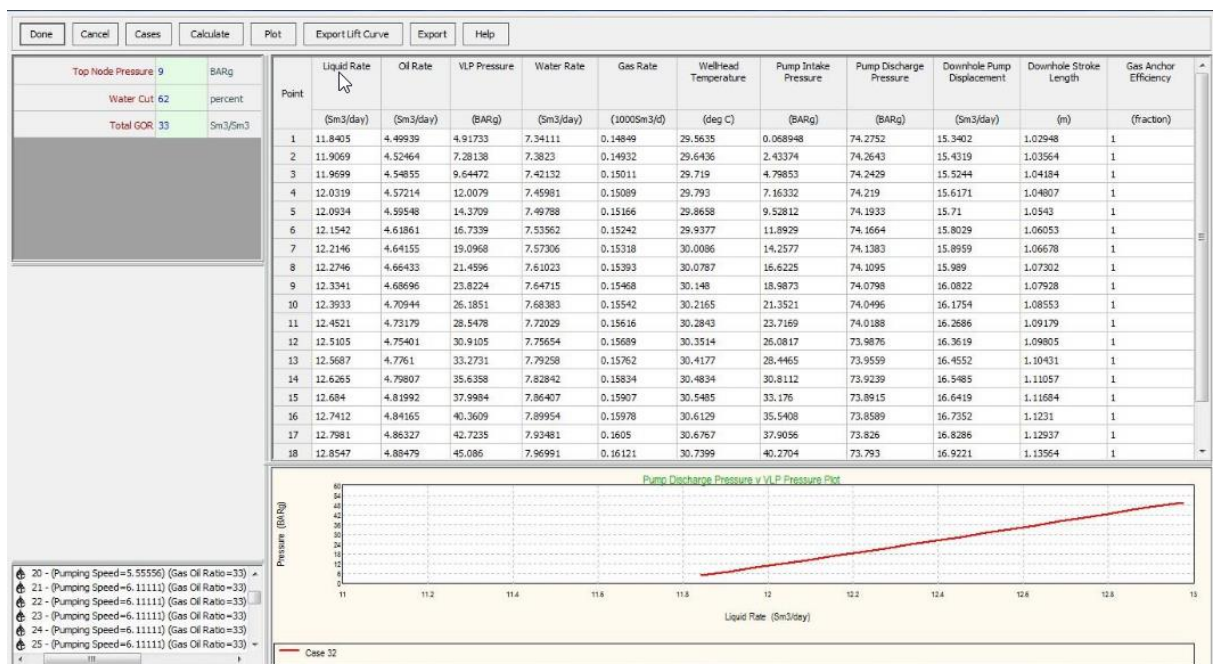
Oil Gravity	843	Kg/m3
Gas Gravity	0.782	sp. gravity
Water Salinity	7200	ppm
Water Cut	62	percent
Gas Oil Ratio	13	Sm3/Sm3
Pump Depth	794	m
Fluid Level (Producing)	524	m
Casing Pressure (Producing)	7	BARg
MidPoint Perforation Depth	838	m
Casing ID	73.02	mm
Tubing OD	125	mm
Liquid Production Rate	16	Sm3/day
Gas Production Rate	0.20801	1000Sm3/d
Producing BHP	37.9588	BARg
Pump Inlet Pressure	34.1022	BARg

Fluid Mixture Gravity
 Fluid Mixture Gravity sp. gravity

Slika 4-9. Povučeni podaci dubinske sisaljke s klipnim šipkama

7. Proračun VLP krivulje

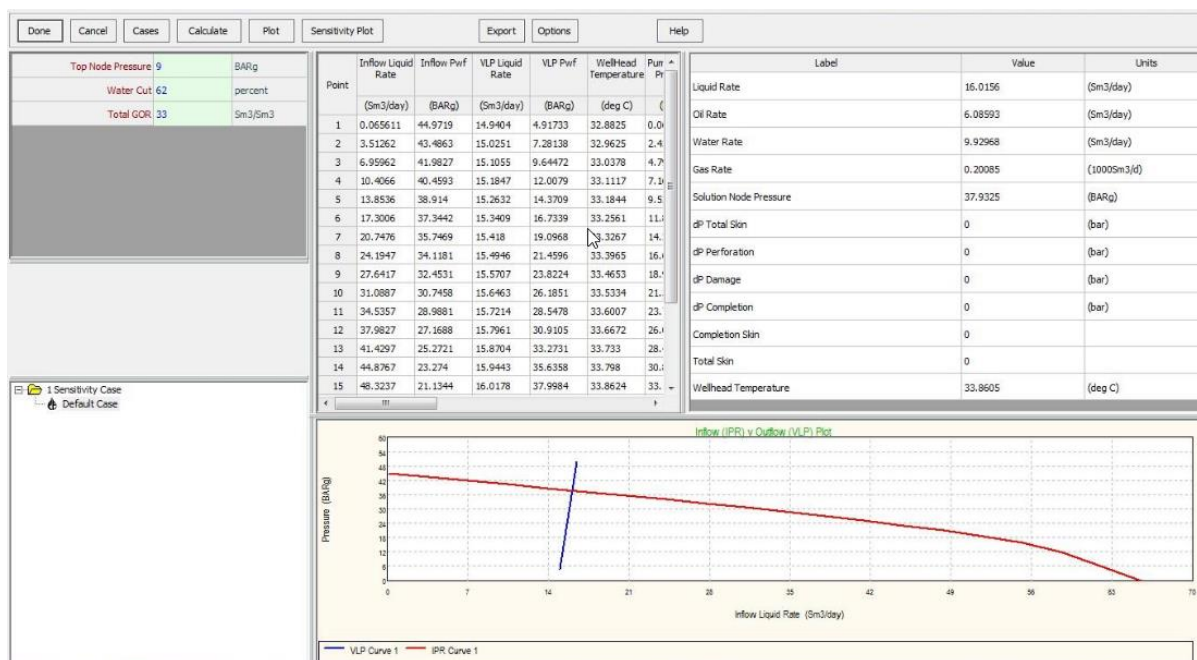
Proračun VLP krivulje u programu PROSPER također je jednostavan. Pošto su svi podaci uneseni i dostupni, potrebno je samo prikazati krivulju (slika 4-10.). Dobivena krivulja prikazuje pad tlaka tijekom protjecanja fluida kroz tubing prema površini.



Slika 4-10. Prikaz proračuna i izgleda VLP krivulje

8. Dizajniranje proizvodnog sustava bušotine

Dizajniranje proizvodnog sustava posljednji je korak u programu PROSPER. Vidljiv je presjek IPR i VLP krivulja, čime se određuje radna točka (slika 4-11). Ovim postupkom modeliranja dobiveni su rezultati 16 m³/d kapljevine, od čega je 6 m³/d nafte što je za 0,1% više od mjerenog podatka.



Slika 4-11. Dizajniranje sustava bušotine X-1 s dobivenom radnom točkom

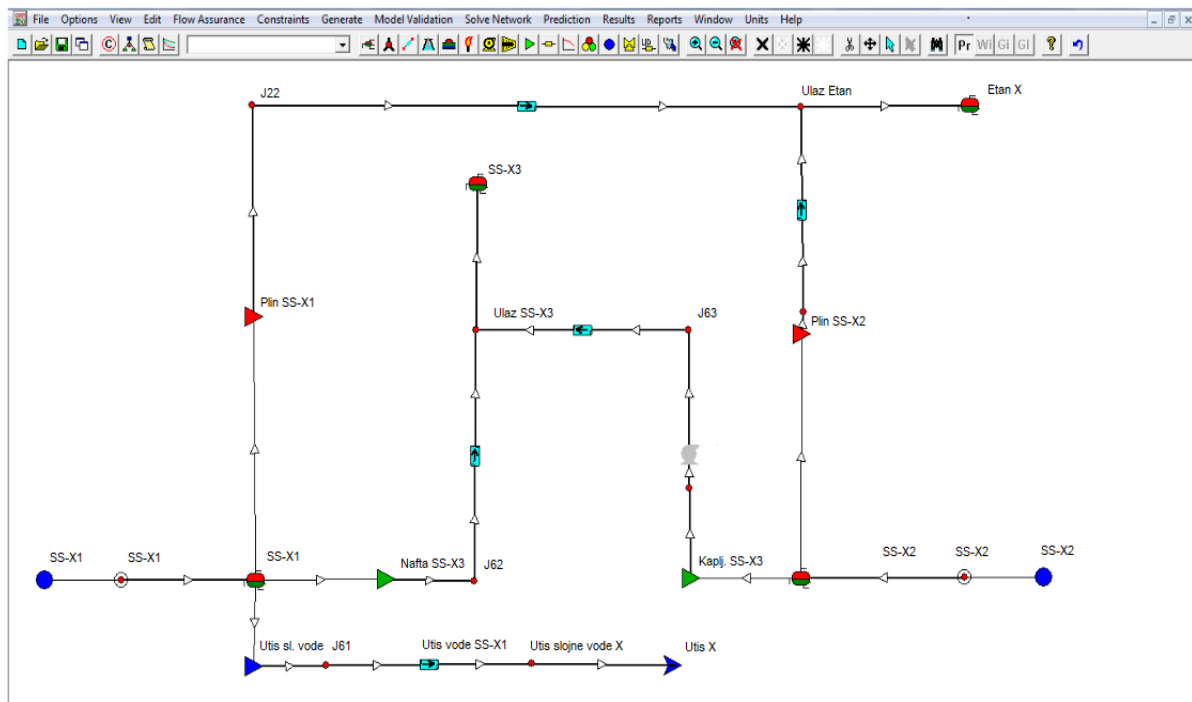
Postupak se ponavlja sukladno broju bušotina koje želimo modelirati i koliko se bušotina nalazi na polju. Za potrebe ovog diplomskog rada modelirati će se 10 bušotina na polju X dok će se ostale smatrati za konstantne elemente proizvodnog sustava sa konstantnom proizvodnjom.

4.2. Integrirani proizvodni model polja X

Na polju X sabirno-transportni sustav organiziran je preko dvije stanice: SS-X1 i SS-X2. Sabirna stanica objekt je sa stalnom posadom koji služi za prikupljanje, obradu, stabilizaciju i otpremu nafte i plina te pripremu i utiskivanje proizvedene slojne vode sa svim pripadajućim elementima (Tehnička dokumentacija INA d.d., 2016).

SS-X1 je sabirna stanica koja ima jednostavan princip rada. Kapljevina sa plinom se na nju usmjerava preko razdjeljivača bušotina (RB) te na sabirno-mjernu grupu (SMG) na kojoj se nalaze dva zbirna i jedan mjerni separator. Na sabirnoj stanici instaliran je separator tipa S 3/1 gdje se odvaja plinovita od tekuće faze. Plinovita faza iz zbirnog ili mjernog separatora usmjerava se u odjeljivač kapljica (OK), zatim preko brojača odlazi na usis kompresora na Etansko postrojenje. Tekuća faza fluida iz sabirno-mjerne grupe odlazi u gravitacijski separator (GS-8). Tamo se jednostavnim principom gravitacijskog odvajanja odjeljuje slobodna voda od nafte. Odvojena voda odlazi u spremnik otpadnih voda (SOV) gdje dolazi do odvajanja zaostalih masnoća. Iz spremnika otpadnih voda usmjerava se u rezervoar slane vode (RSV, kapaciteta 25 m³) zatim u pumpaonu slane vode (PSV). Iz pumpaone slana voda se centrifugalnim pumpama pumpa na utisna mjesta, što su u slučaju polja X dvije utisne bušotine za koje su namijenjene količine utiskivanja od 83 m³/d. Nafta iz gravitacijskog separatora odlazi u izmjenjivač topline (IT), zagrijava se na temperaturu 45 °C, zatim preko dehidratora i sifona odlazi u rezervoar tehničke kanalizacije (RTK). Centrifugalnim pumpama potiskuje se na SS-X3 ili otpremnu stanicu OS-X1. Voda iz dehidratora preljeva se preko sifona u spremnik otpadnih voda.

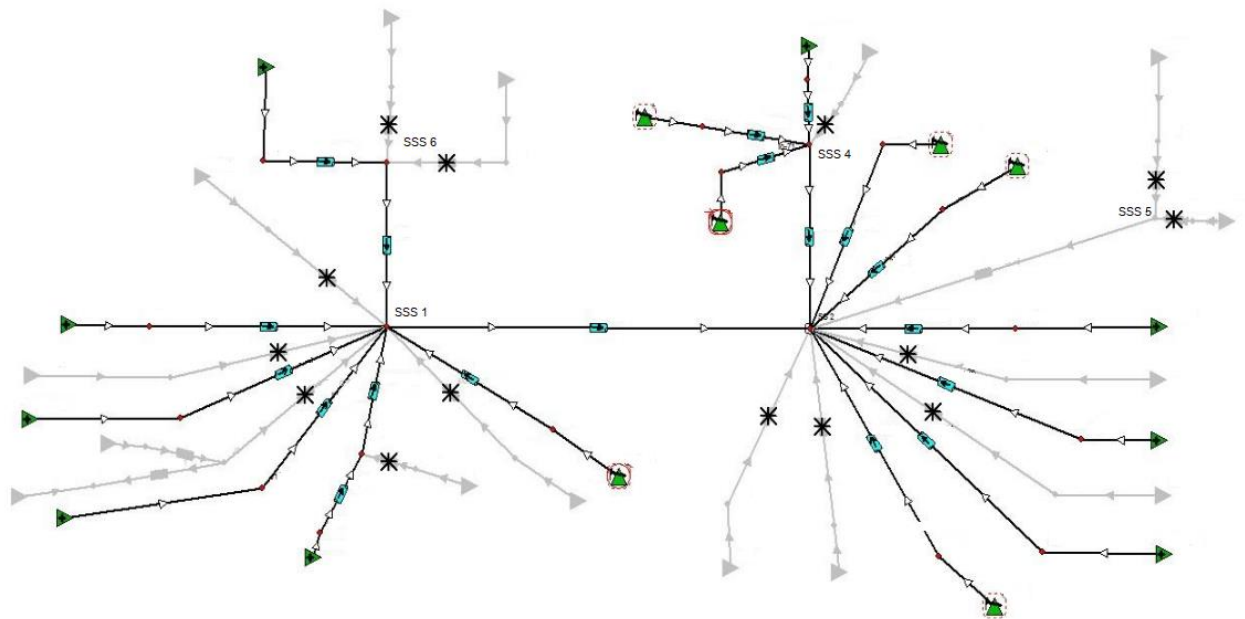
Na SS-X2 kapljevina i plin stižu preko razdjeljivača bušotina na sabirno-mjernu grupu (po jedan zbirni i mjerni separator tipa S 3/1) gdje se odvaja plinovita od tekuće faze. Plinovita faza iz zbirnog i mjernog separatora odlazi u odjeljivač kapljica, nakon čega odlazi na usis kompresora na Etansko postrojenje. Tekuća faza iz sabirno-mjerne grupe odlazi u spremnik R1 ili R2, odakle se ručno ispušta u rezervoar tehničke kanalizacije. Dalje se otprema centrifugalnim pumpama na stanicu SS-X3 ili OS-X1.



Slika 4-12. Shema proizvodnog modela polja X u programu GAP

Tlak na SS-X1 i SS-X2 održava se regulacijskim ventilom na izlazu plina iz stanice (engl. *back pressure*) na 1.8-2.0 bar.

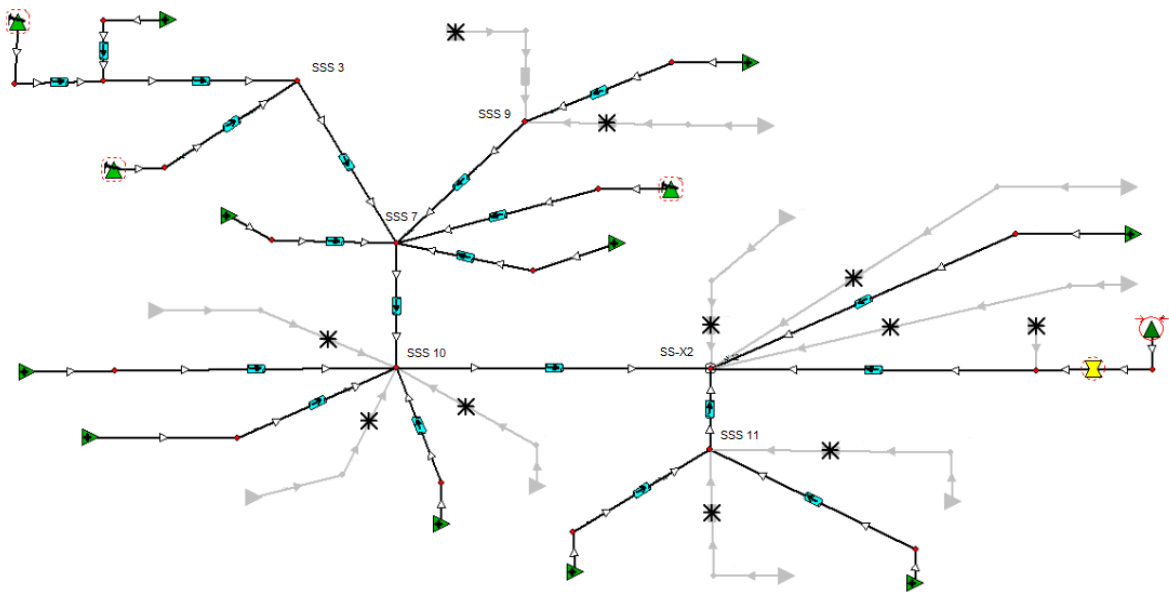
Na polju X nalazi se i 10 satelitskih sabirnih stanica (SSS). Satelitska stanica je tipski objekt polja bez stalne ljudske posade. Najčešće su to napuštene sabirne stanice na zavodnjenim dijelovima ležišta. Pripadajuće bušotine spojene su preko razdjeljivača na najbližu aktivnu sabirnu stanicu (Tehnička dokumentacija, INA d.d., 2016.). Tako je na SS-X1 spojena satelitska stanica 1, na koju su dalje spojene stanice 4, 5 i 6. Sabirni sustav SS-X1 obuhvaća 15 aktivnih proizvodnih naftnih bušotina. Drugi dio sabirnog sustava polja (SS-X2) sastoji se od pet satelitskih stanica (3, 7, 9, 10 i 11) te 12 aktivnih proizvodnih bušotina polja X i dvije bušotine susjednog polja Y.



Slika 4-13. Prikaz tokova i sabirnog sustava SS-X1

Pri izradi integriranog proizvodnog modela polja X sustav svake sabirne stanice prikazan je zasebnim prikazom (engl. *flowsheetu*) tokova – funkcija unutar programa GAP koja omogućuje izradu dijelova sustava u odvojenom zaslonu hidraulički povezanom s glavnim sustavom što je vidljivo na slikama 4-13. i 4-14. Sabirne stanice predstavljene su separatorima, elementima s fiksnim tlakom bez obzira na količinu protoka kroz njih.

Bušotine su u GAP-u modelu implementirane na dva načina: kao *well* ili kao *source*. Bušotine koje nemaju modeliran proizvodni sustav u programu PROSPER definirane su elementom *source* koji dodaje fluid u sustav i to na jedan od tri načina: kao fluid konstantnog iznosa protoka, tlaka ili mase.



Slika 4-14. Dijagram tokova sa sabirnim sustavom SS-X2

Modeliranje bušotina je prvi korak potreban za izradu modela polja u GAP-u. Element bušotine u GAP-u je u osnovi matematički prikaz stvarne bušotine. Modelom se mora moći precizno predvidjeti proizvodne količine i tlak na dnu bušotine s obzirom na poznate uvjete tlaka na ušću, udjela vode i GOR-a. To predviđanje dobiva se iz odnosa IPR i VLP krivulje, tj. njihovim sjecištem koje definira radnu točku (proizvedene količine i tlak na dnu pri određenim uvjetima), stoga njihova kombinacija određuje čitav model bušotine.

PROSPER ima mogućnost generiranja indikatorske krivulje iz tri test točke, dvije koje se nalaze iznad tlaka zasićenja pomoću kojih se određuje indeks proizvodnosti i jedne ispod koja određuje apsolutni kapacitet proizvodnje, AOF (engl. *Absolute Open Flow*). Navedene tri točke lako se transliraju u GAP. Takav način nam osigurava efikasno i precizno prikazane mogućnosti ležišta bez korištenja kompleksnih IPR modela, uzevši pretpostavku da je IPR izrađen u PROSPER-u pomoću mjerenih podataka i jednim od brojnih dostupnih modela, u ovom slučaju je to bio Vogelov. Zbog toga se uzima da su točke koje GAP izvodi reprezentativne stvarnoj bušotini, što je glavni razlog zašto PROSPER model mora biti „matchiran“ prije izrade modela sustava.

The screenshot shows a software window for configuring IPR data. It is divided into several sections:

- Select:** Layer dropdown set to "Layer 1 - OK", with buttons for "Add Layer", "Remove Layer", and "Duplicate Layer". Below are fields for "Label", "Layer Type" (set to "Oil"), and "Mask" (set to "Included in system").
- Inflow Performance:**
 - Tank Connection: "None" with an "IPR Match" button.
 - IPR Type: "Straight Line + Vogel" dropdown.
 - P.I.: "2.3292594" with units "Sm³/day/bar".
 - Layer Pressure: "45.000001" with units "BARg".
 - Layer Temp: "70.000001" with units "deg C".
 - IPR dP shift: checkbox and input field.
 - Permeability Compaction Correction: input field.
 - Crossflow Injectivity Index: input field with units "Sm³/day/bar".
 - Gravel pack: checkbox and "Edit Gravel Pack" button.
- Fluid Properties:**
 - Oil gravity: "843.00001" with units "Kg/m³".
 - Water salinity: "7200" with units "ppm".
 - Gas gravity: "0.782" with units "sp. gravity".
 - H₂S: "0" with units "percent".
 - GOR: "33.000001" with units "Sm³/Sm³".
 - CO₂: "0" with units "percent".
 - WCT: "62" with units "percent".
 - N₂: "0" with units "percent".
- PROSPER file for IPR:** Input field with a "Valid" button and a "Browse" button.
- PROSPER layer number:** Input field with value "0".
- Navigation:** A series of tabs: "for Layer", "More", "Grid View", "Abandonment", "Control", "IPR", "VLP", "Coning", "Constraints", "Downtime", "Tanks", "Schedule". The "IPR" tab is currently selected.
- Summary/Results:** Buttons for "Summary", "Input", and "Results".

Slika 4-15. Prozor s podacima o IPR krivulji za bušotinu X-1

Postupak učitavanja VLP krivulje sličan je onom za IPR gdje se također učitava iz PROSPER-a. Za računanje količine proizvodnje i tlaka na dnu bušotine u GAP-u, nužno je da VLP/IPR podaci točno predstavljaju stvarne mogućnosti bušotine odnosno da su korišteni stvarni mjereni podaci, a ne samo pretpostavke. Zbog toga se VLP generira za dovoljno širok raspon uvjeta čime se obuhvaćaju svi uvjeti koji se očekuju u proizvodnom vijeku bušotine i polja. Korištene varijable i raspon vrijednosti ovise o tipu bušotine, načinu podizanja i fluidu koji se proizvodi. U ovom slučaju odabrana bušotina opremljena je dubinskom sisaljkom s klipnim šipkama te varijable koje treba uzeti u obzir su: brzina pumpanja, GOR, udio vode i tlak na ušću bušotine što je prikazano slikom 4-16.

	Pump Speed	GOR	WCT	Manifold Pressure			
	strokes/min	Sm ³ /Sm ³	percent	BARg			
1	5	33.000001	62	2			
2	5.5555553			2.8888888			
3	6.1111112			3.7777779			
4	6.6666665			4.6666667			
5	7.2222223			5.5555554			
6	7.7777777			6.4444442			
7	8.333333			7.3333335			
8	8.8888893			8.2222223			
9	9.4444447			9.1111106			
10	10			10			

Slika 4-16. Raspon vrijednosti za bušotinu X-1

Nakon učitavanja IPR i VLP podataka za svaku bušotinu potrebno je odabrati opciju proračuna kojom se određuje količina proizvodnje i odgovarajući tlak na dnu bušotine određen VLP i IPR krivuljama za zadani set uvjeta. To se odabire na zaslonu pregleda bušotine što je vidljivo na slici 4-17.

Label	Name	Mask
		Included in system

Well Type	Model	<input type="checkbox"/> Tight Oil
Oil Producer (SRP lifted)	VLP / IPR intersection	

PROSPER File
Valid
Browse

Data Summary (click item to activate)

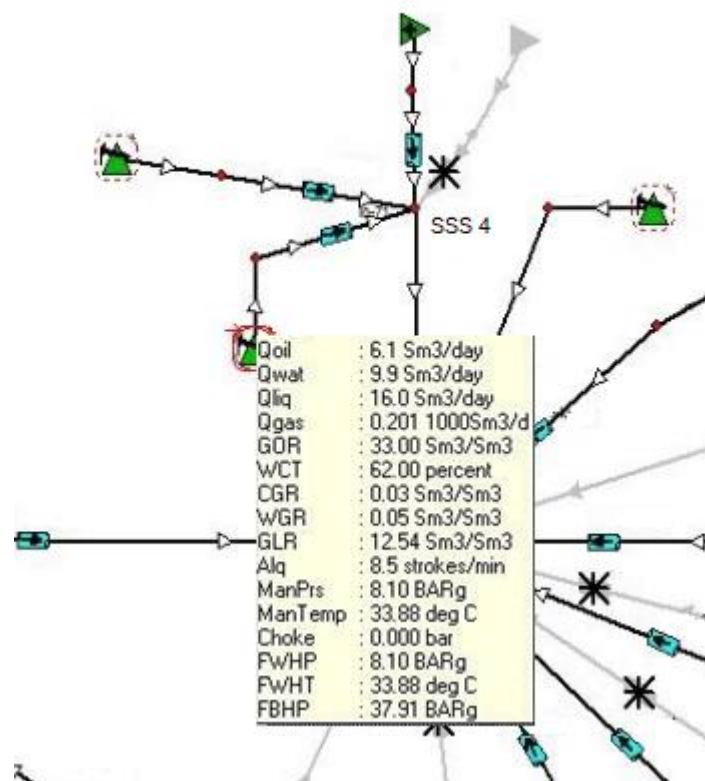
Tank Conns OK	Controls Set	Schedule None
IPR OK	Pump Control Set	
VLP OK	Downtime None	
Constraints Some	Coring None	

Summary
Input
Results

OK
Cancel
Help
Revert
Validate
Calculate
Plot
Report

Slika 4-17. Zaslonski pregled bušotine u GAP-u

Nakon što se odaberu željene opcije proračuna GAP će dati rješenja, odnosno rezultate, za bušotinu koja se interpretira što je u ovom slučaju bušotina X-1 što je prikazano slikom 4-18. Pokazati će: proizvodnju nafte, proizvodnju vode, ukupnu proizvodnju kapljevine, GOR, WGR, GLR, tlak na dnu bušotine, temperaturu na ušću bušotine itd. Dobiveni podaci podudaraju se s mjerenima, što znači da je model dosljedan i precizan.



Slike 4-18. Dobiveni podaci za bušotinu X-1

U procesu izrade vjerodostojnog modela nužno je modelirati i cjevovode između bušotina i stanica. U GAP-u, cjevovodi su elementi između dva spoja (engl. *joint*), odnosno ulaza i izlaza između kojih se proračunava pad tlaka. Pri modeliranju unose se podaci o okruženju (temperatura okruženja, koeficijent prijenosa topline, prosječni toplinski kapacitet fluida) i karakteristikama cjevovoda (tip elementa, duljina, promjer, hrapavost, koeficijent prijenosa topline, visinska razlika između ulazne i izlazne točke). U sljedećem koraku „matchira“ se pad tlaka u cjevovodu u odnosu na stvarne mjerene podatke uz odabir

odgovarajuće korelacije (u ovom slučaju je za pad tlaka korištena korelacije *Petroleum Experts 5*, vidljivo na slici 4-19). Dobiveni rezultati su parametri koji predstavljaju korekcije zbog utjecaja trenja i gravitacije koji bi trebali biti što bliže 1.

Slika 4-19. Pregled podataka naftovoda između SSS1 i SS-X2

Postupak je iteracijski što znači da se ponavlja dok se sve cjevovode ne uskladi s mjenjenim podacima. Ukoliko se taj korak izvede zadovoljavajuće, ukupan proizvodni model neće tražiti dodatne prilagodbe da bi odgovarao izmjenjenim podaci proizvodnje i tlaka.

Proizvodni sustav je potpuno definiran kada:

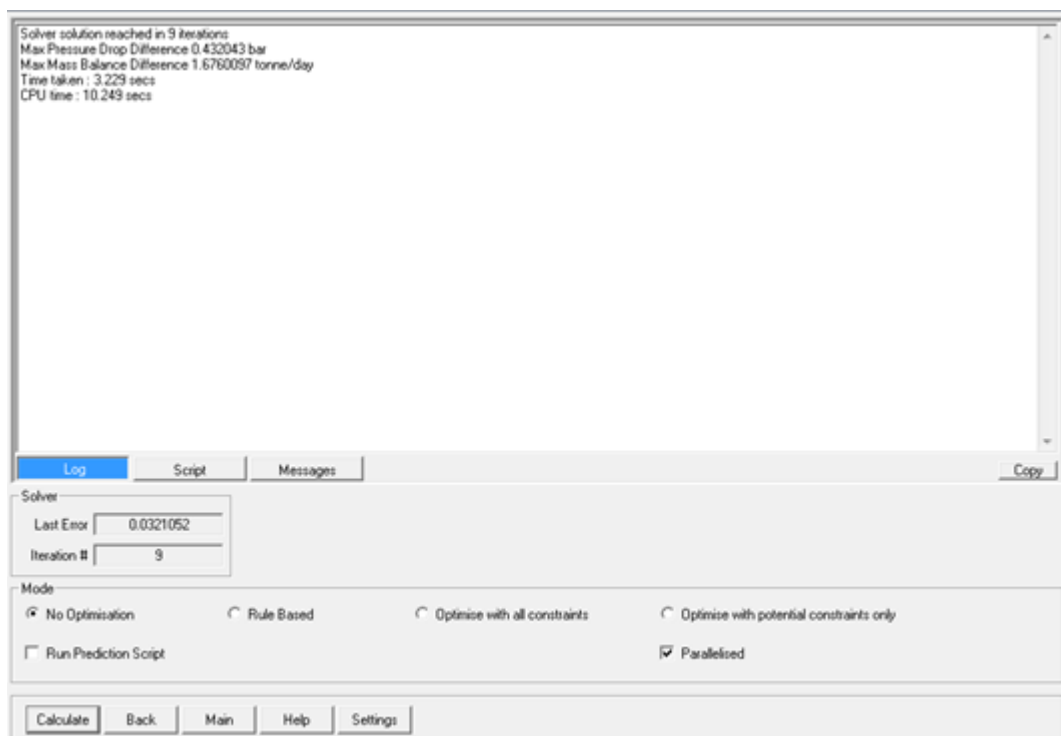
1. Sve bušotine imaju valjane IPR i pVT podatke
2. Svi cjevovodi i ostala površinska oprema su valjano definirani i kalibrirani

U posljednjem koraku modeliranja rješenje površinskog sustava za tlakove i protok u svakom čvorištu dobiva se preko *Solver-a* koji u GAP-u stvara set jednadžbi koje definiraju čitavu mrežu. Problem se rješava kada se primjene i granični uvjeti u obliku stalnih tlakova separatora u sustavu. *Solver*, koji se temelji na Newton-Raphsonovoj metodi,

iterira koristeći izvode svakog elementa u sustavu da bi se konvergiralo kriteriju da se materijalno i tlačno uravnoteženje očuvaju u svakoj točki sustava (uz prihvatljiva odstupanja). Nakon zadovoljavanja kriterija, raspodjela protoka i tlaka prema primijenjenim graničnim uvjetima odgovara prirodnom fizičkom odazivu sustava.

Postoje četiri različita izbora za rješavanje sustava:

1. Bez optimizacije
2. Uz primjenu pravila
3. Optimizacija sa svim ograničenjima
4. Optimizacija uz moguća ograničenja



Slika 4-20. Prikaz rješenja cjevovodnog sustava

Pri rješavanju modela površinskog sustava polja X odabrana je metoda bez optimizacije, što je i vidljivo na slici 4-20., uz ograničenje na tlakovima na stanicama ($p_{sep}=2$ bar). Konačan rezultat prikazan je tablicom 4-1.

Tablica 4-1. Prikaz rezultata dobivenih u GAP-u i usporedba s mjerenim podacima

Bušotina	Dnevna proizvodnja				FWHT (°C)	FWHP očitano (bar)	FWHP (bar)	GAP						mjereno - GAP						
	Ql (m3/d)	Qo(m3/d)	Qw(m3/d)	Qg(m3/d)				Ql(m3/d)	Qo(m3/d)	Qw(m3/d)	Qg(m3/d)	FWHP (bar)	FWHT(°C)	FBHP(bar)	Ql(m3/d)	Qo(m3/d)	Qw(m3/d)	Qg(m3/d)	FWHP(bar)	Ql (%)
X-2	22.00	9.24	12.76	1111.74		8.00	8.00	22.00	9.20	12.80	1109.00	6.95	20.00		0.00	0.04	-0.04	2.74	1.05	0.00
X-3	22.00	8.80	13.20	1435.00	23.50	5.30	6.00	21.50	8.60	12.90	1402.00	5.06	29.69	65.78	0.50	0.20	0.30	33.00	0.24	2.27
X-1	16.00	6.08	9.92	203.23	34.00	9.00	7.00	16.00	6.10	9.90	201.00	8.89	33.86	37.92	0.00	-0.02	0.02	2.23	0.11	0.00
X-4	20.00	5.40	14.60	200.00		6.00	6.00	20.00	5.40	14.60	200.00	4.88	20.00		0.00	0.00	0.00	0.00	1.12	0.00
X-5	5.00	4.60	0.40	50.00		7.00	7.00	5.00	4.60	0.40	51.00	7.43	20.00		0.00	0.00	0.00	-1.00	-0.43	0.00
X-6	10.00	3.20	6.80	150.00	25.00	7.50	7.00	9.90	3.20	6.70	208.10	6.45	25.34	23.25	0.10	0.00	0.10	-58.10	1.05	1.00
X-7	18.00	2.52	15.48	100.00		4.00	4.00	18.00	2.50	15.50	101.00	3.99	20.00		0.00	0.02	-0.02	-1.00	0.01	0.00
X-8	15.17	2.28	12.89	0.00	32.00	2.00	3.00	15.80	2.40	13.40	0.00	1.98	33.13	20.55	-0.63	-0.12	-0.51	0.00	0.02	-4.15
X-9	11.00	1.54	9.46	50.00	24.60	9.00	7.00	10.50	1.50	9.00	47.00	6.00	25.79	20.27	0.50	0.04	0.46	3.00	3.00	4.55
X-10	2.00	1.44	0.56	100.00		4.00	4.00	2.00	1.40	0.60	99.00	4.03	20.00		0.00	0.04	-0.04	1.00	-0.03	0.00
X-11	12.00	1.20	10.80	50.00	40.00	2.20	3.00	11.90	1.20	10.70	50.00	2.15	18.58	9.13	0.10	0.00	0.10	0.00	0.05	0.83
X-12	1.30	1.10	0.20	50.00		5.00	5.00	1.30	1.10	0.20	50.00	4.96	20.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00
X-13	11.00	1.10	9.90	120.00	26.60	3.50	5.00	10.40	1.00	9.30	113.00	2.15	26.21	24.95	0.60	0.10	0.60	7.00	1.35	5.45
X-14	1.50	1.08	0.42	0.00		5.00	5.00	1.50	1.10	0.40	0.00	4.96	20.00		0.00	-0.02	0.02	0.00	0.04	0.00
X-15	2.00	1.00	1.00	110.00		6.00	6.00	2.00	1.00	1.00	110.00	4.88	20.00		0.00	0.00	0.00	0.00	1.12	0.00
X-16	10.00	1.00	9.00	70.00	18.00	6.50	6.00	10.00	1.00	9.00	70.00	6.44	18.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.00
X-17	14.00	0.98	13.02	180.00	39.90	6.00	5.00	13.80	1.00	12.80	178.00	6.12	39.16	37.29	0.20	-0.02	0.22	2.00	-0.12	1.43
X-18	1.00	0.98	0.02	80.00		7.00	7.00	1.00	1.00	0.00	30.00	6.99	20.00		0.00	-0.02	0.02	0.00	0.01	0.00
X-19	1.00	0.97	0.03	70.00	17.00	4.00	4.00	1.00	1.00	0.00	70.00	3.23	17.00		0.00	-0.03	0.03	0.00	0.77	0.00
X-20	1.00	0.94	0.06	60.00		5.00	5.00	1.00	0.90	0.10	60.00	5.05	20.00		0.00	0.04	-0.04	0.00	-0.05	0.00
X-21	1.00	0.90	0.10	50.00		5.00	5.00	1.00	0.90	0.10	50.00	5.03	20.00		0.00	0.00	0.00	0.00	-0.03	0.00
X-22	1.00	0.87	0.13	300.00		5.00	5.00	1.00	0.90	0.10	300.00	5.24	20.00		0.00	-0.03	0.03	0.00	-0.24	0.00
X-23	2.00	0.70	1.30	40.00	22.50	6.80	7.00	2.00	0.70	1.30	40.10	5.77	14.52	13.50	0.00	0.00	0.00	-0.10	1.03	0.00
X-24	6.00	0.60	5.40	50.00		7.00	7.00	6.00	0.60	5.40	50.00	5.75	20.00		0.00	0.00	0.00	0.00	1.25	0.00
X-25	1.00	0.50	0.50	70.00		3.00	3.00	1.00	0.50	0.50	70.00	2.98	20.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00
X-26	0.60	0.50	0.10	60.00		4.00	4.00	0.60	0.50	0.10	60.00	3.29	20.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.71	0.00
X-27	0.60	0.50	0.10	50.00		4.00	4.00	0.60	0.50	0.10	50.00	3.26	20.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.74	0.00
X-28	2.00	0.80	1.20	50.00		4.00	4.00	2.00	0.80	1.20	50.00	3.98	18.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00
X-29	22.58	22.58	0.00	2584.00		37.60	20.00	21.10	21.10	0.00	2401.00	35.38	23.31	97.68	1.48	1.48	0.00	0.00	1.72	6.55
Σ	232.75	83.40	149.35	7393.97				229.90	81.70	148.10	7220.20				2.85	1.70	1.25	173.77		1.22

Iz dobivenih rezultata vidljivo je da se ukupna proizvodnja sustava modeliranog u GAP-u razlikuje u odnosu na mjerene podatke za 1.2245% što je zadovoljavajuće za vjerodostojan proizvodni model. S ovako postavljenim modelom možemo procjenjivati buduće promjene u sustavu i biti sigurni da smo unutar raspona greški od 1.23%.

5. ZAKLJUČAK

Za izradu integriranog proizvodnog modela polja X korišteni su programski paketi PROSPER i GAP koji su dio IPM Suite-a, te su svojom jednostavnošću savršeni za ovakve projekte. Projektirano je 10 modela bušotina, a ostale su prikazane kao element proizvodnog sustava s konstantnom proizvodnjom. Rješenje sustava prikazano tablicom 4-1. s odstupanjem od otprilike 1% od mjerenih podataka u granicama je dozvoljenog (u praksi se uzima dozvoljeno odstupanje od otprilike 5%). Stoga se može zaključiti da izrađeni model vjerodostojno predstavlja stanje u proizvodno-sabirnom sustavu polja X u određenom trenutku u vremenu. Optimizacijom modela u GAP-u bez zadanih ograničenja pokazano je da postoji i prostor za povećanje proizvodnje na polju ukoliko bi se povećao broj hodova njihalica i smanjila proizvodnja na zavodnjanim bušotinama što bi se trebalo razmotriti u budućnosti.

Postavljeni model uvelike može olakšati planiranje budućih promjena i investicija na polju s obzirom da je predviđene promjene relativno lako unijeti u model i dobiti željene rezultate. Kao što je prije napomenuto u blizini polja X nalazi se još nekoliko naftnih polja te bi sljedeći korak u optimizaciji sveukupne proizvodnje bilo integrirano modeliranje tih polja te spajanje sa predstavljanim modelom u jednu cjelinu kao višefazni simulator iz kojeg se može dobiti rješenje za kompletan proizvodno-sabirni sustav polja kao jedinstvenog sistema za razliku od konvencionalnog pojedinačnog pristupa problematici.

S ekonomskog aspekta integrirano modeliranje uštedjeti će mnogo vremena koje bi bilo potraćeno na zasebno planiranje i projektiranje investicija, gdje se sa ovakvim modelom sve može obaviti u jednom programskom paketu u kratkom vremenu.

6. LITERATURA

1. BEGGS, D., 1991. Production Optimisation Using NODAL Analysis. OGCI and Petroskills Publications, Tulsa, Oklahoma
2. CAMARGO, E., AGUILAR J., RIOS, A., RIVAS, F., AGUILAR-MARTIN, J. 2008. NODAL Analysis-based Design for Improving Gas Lift Wells Production
3. ČIKEŠ, M. 2013. Proizvodnja nafte i plina, skripta, RGNF
4. TEHNIČKA DOKUMENTACIJA INA d.d., 2016.
5. ELABORAT O REZERVAMA NAFTE I PLINA 1978., INA Naftaplin
6. KOŠČAK KOLIN, S., KORENJAK, Z., ČIKEŠ, M., 2009. Modeliranje proizvodnog sustava bušotine opremljene plinskim liftom primjenom programa PROSPER, Rudarsko-geološko-naftni zbornik, RGNF
7. PETROLEUM EXPERTS 2016. IPM User Manual
8. MANISH KUMAR CHOUDHARY ET AL, 2021. Integrated Modelling and Performance Reviews Helps to Unlock New Opportunities in a 40-year-old Mature Field Under Waterflood, SPE Europec
9. CUONG DANG ET AL, 2016. Integrated Modelling for Assisted History and Production Forecasting of Low Salinity Waterflooding
10. AGEH, E.A., ADEGOKE, A., UZOH, O.J., 2010. Using Integrated Production Modeling (IPM) as an Optimization Tool for Field Development Planning and Management, Nigeria Annual International Conference and Exhibition, Tinapa – Calabar, Nigeria

WEB IZVORI:

11. <http://www.petex.com/products/ipm-suite>
12. <https://www.accreteltd.com/integrated-production-modeling>

Izjava:

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno na temelju znanja i vještina stečenih na Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu, Sveučilišta u Zagrebu, služeći se navedenom literaturom.

Marin Čurić





KLASA: 602-04/21-01/122
URBROJ: 251-70-12-21-2
U Zagrebu, 3.9.2021.

Marin Ćurić, student

RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM 602-04/21-01/122, URBROJ: 251-70-12-21-1 od 27.4.2021. priopćujemo vam temu diplomskog rada koja glasi:

IZRADA INTEGRIRANOG PROIZVODNOG MODELA NAFTNOG POLJA KORISTEĆI PROGRAMSKI PAKET IPM SUITE

Za voditelja ovog diplomskog rada imenuje se u smislu Pravilnika o izradi i obrani diplomskog rada Izv.prof.dr.sc. Vladislav Brkić nastavnik Rudarsko-geološko-naftnog-fakulteta Sveučilišta u Zagrebu

Voditelj:

(potpis)

Izv.prof.dr.sc. Vladislav Brkić

(titula, ime i prezime)

Predsjednik povjerenstva za
završne i diplomske ispite:

(potpis)

Izv.prof.dr.sc. Vladislav Brkić

(titula, ime i prezime)

Prodekan za nastavu i studente:

(potpis)

Izv.prof.dr.sc. Dalibor
Kuhinek

(titula, ime i prezime)