

## Vilkyčių naftos telkinio eksploatacinių sąlygų tyrimai hidrodinaminiu modeliavimu

---

**Dainius Michelevičius**

Michelevičius D. Application of reservoir simulation for investigation of exploitation conditions of Vilkyčiai Oilfield. *Geologija*. Vilnius, 2001. Nr. 34. P. 8–16. ISSN 1392–110X.

Reservoir simulation, one of the advanced methods of reservoir engineering, was introduced in Lithuania. The history matching of reservoir simulation was applied for evaluation of exploitation parameters of the Vilkyčiai oilfield. Results obtained at the history matching stage will be used in the prediction stage simulating the further field development.

**Keywords:** reservoir simulation, history matching, water cut, compressibility, formation volume factor, water drive, pressure buildup

Received 2 April 2001, accepted 7 May 2001.

Dainius Michelevičius. UAB „Minijos Nafta“. Gamyklos 11, Gargždai, Lithuania

---

### ĮVADAS

Pastaruoju metu ženkliai suintensyvėjus naftos gavybai Lietuvoje, atsiranda vis didesnis poreikis ieškoti priemonių, padedančių kuo efektyviau ir racionaliau plėtoti eksploatuojamus naftos telkinius. Vienas labiausiai užsienyje paplitusių šiuolaikinių metodų, taikomų naftos geologijoje, yra hidrodinaminis telkinio modeliavimas. Tai naujas metodas, dėl didelių kompiuterinių resursų poreikio išsivirtinęs pasaulyje tik pastarajame dešimtmetyje. Hidrodinaminis modeliavimas apima geologinį statinį telkinio modelį su eksploataciniais telkinio parametrais.

### TYRIMO METODIKA

Modeliavimo metu naftos telkinio erdvinis modelis padalijamas į pasirinkto dydžio celes (gridus) ir kiekvienai iš jų pasirinktu laiko momentu sprendžiama materijos balanso lygtis, t. y. masė, akumuliuojasi cėlėje, yra lygi ištekėjusio ir pritekėjusio fluideo masės skirtumui. Galutinė diferencialinė lygtis gaunama materijos balanso lygčiai panaudojus *Darsi* dėsnį:

$$\nabla \cdot \left[ \frac{k}{B\mu} (\nabla P - \gamma \cdot \nabla z) \right] = \frac{\partial}{\partial t} \left[ \phi \frac{S}{B} \right] + \frac{Q}{\rho};$$

čia  $k$  – efektyvus fazinis laidumas,  $B$  – sluoksnio tūrio koeficientas,  $\mu$  – klampumas,  $P$  – fazinis slėgis,  $\rho$  – tankis,  $S$  – prisotinimas,  $\phi$  – poringumas,  $Q$  – debitas.

Šios lygties nežinomieji yra prisotinimas ( $S$ ) ir fazinis slėgis ( $P$ ). Taigi tam tikru laiko momentu kiekvienai modelio celei atskirai sprendžiamos dujinės, naftos bei vandens fazių lygtys. Tačiau tokiu atveju turime 6 nežinomuosius ir tik 3 lygtis. Todėl lygčių sistema papildoma dar 3 priklausomybėmis:

$$S_{\text{naftos}} + S_{\text{dujų}} + S_{\text{vandens}} = 1$$

$$P_{\text{naftos}} - P_{\text{vandens}} = f(S_{\text{vandens}})$$

$$P_{\text{dujų}} - P_{\text{naftos}} = f(S_{\text{dujų}})$$

Visų fazių prisotinimų suma lygi 1, o kapiliarinis slėgis lygus dviejų fazių slėgių skirtumui ir aprašomas kaip prisotinimo funkcija.

Kaip matome, sudarant priklausomybes reikia daugelio įvadinių parametru, kurie turi būti itin kruopščiai parinkti. Mūsų modeliuojamiems telkiniams dažnai trūksta kai kurių pradinių duomenų, todėl jie įvertinami koreliacinių priklausomybių pagalba.

Modeliavimas vykdomas dviem etapais. Pirmame suvedami įvadiniai parametrai ir sudarytas modelis kalibruojamas pagal istorinius gavybos duomenis. Šiame etape tikslinami labiausiai neapibrėžti modelio parametrai iki tol, kol sumodeliuoti gavybos parametrai atitinka istorinius. Šis etapas, be abejonės, įdomiausias geologiniu požiūriu, nes jo metu galima patikrinti tiek įvairias struktūrines telkinio sandaros prielaidas, tiek patikslinti petrofizines uolienu savybes. Antras etapas – prognozinis. Jo metu analizuojami įvairūs telkinio plėtros scenarijai parenkant ekonomiškai efektyviausius.

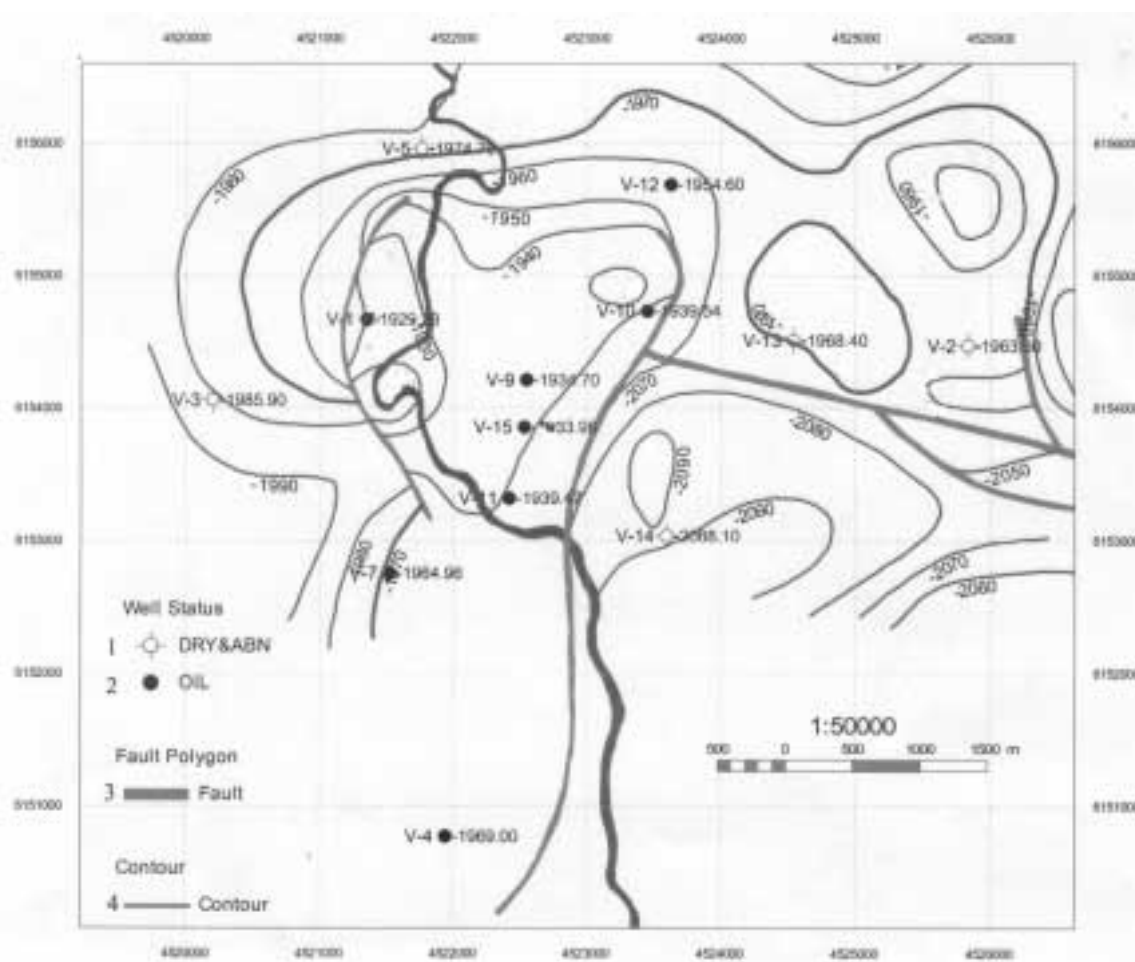
Šiame straipsnyje Vilkyčių naftos telkinio pagrindu apžvelgsime pagrindinius modelio sudarymo prin-

cipus bei pateiksime rezultatus, gautus sukalibravus modelį pagal istorinius gavybos duomenis. Telkinio modeliavimas atliktas „Schlumberger“ kompanijos kompiuterine programa ECLIPSE 100.

Modeliuojamame telkinyje nėra laisvos dujų fazės. Dėl per aukšto statinio slėgio dujoms išsiskirti iš naftos taip pat nėra sąlygų, todėl jos išsiskiria tiktai gręžinyje, naftai pasiekus laisvos dujų fazės išsiskyrimo slėgį (50 bar). Kadangi procesai gręžinyje nebuvo modeliuojami, todėl analizuojant Vilkyčių telkinį apsiribota dvifaziu modeliu.

## ĮVEDAMIEJI MODELIO PARAMETRAI

**Struktūra.** Modeliuojant Vilkyčių telkinį pagrindu buvo imtas struktūrinis planas (1 pav.), sudarytas pagal paskutinius 2000 m. Latvijos geologijos tarnybos specialistų seisminių tyrimų interpretacijos duomenis. Skirtingai nuo anksčiau sudarytų struktūrinių paviršiaus planų, pateiktų išteklių įvertinimo (1974 m.)



1 pav. Vilkyčių telkinio struktūrinis planas.

1 – gręžinys be naftos (kairėje Nr., dešinėje  $C_2$  dm kraigo altitudė), 2 – gręžinys su nafta, 3 – tektoninis lūžis, 4 – vidurinio kambro Deimenos serijos stratoizohipsė m

Fig. 1. Structural scheme of Vilkyčiai oilfield

1 – dry well, 2 – oil well, 3 – fault, 4 –  $C_2$  dm top subsea depth

bei „Troy“ kompanijos 1999 m. ataskaitose, pasirenkant naftos ir vandens kontaktą 1970 m gilyje, naftinga struktūra gerokai prasiplečia į vakarus ir baigiasi už V-2 gręžinio. Be to, į rytus nuo V-1 gręžinio išskirtas struktūrą ribojantis Š–P krypties lūžis, kuris labai pakeičia struktūrinį vaizdą. Tačiau tiek šis, tiek V-10 gręžinį iš vakarų ribojantis nedidelės amplitudės lūžio fragmentas dėl nepakankamo seisminių tyrimų duomenų kiekio nėra patikimai išskirti. Naujame struktūriniame žemėlapyje iki galo liko neišaiškinta pietinė telkinio dalis, todėl šios dalies struktūrinis vaizdas buvo paimtas pagal 1999 m. „Troy“ interpretaciją, t. y. 1970 m gilyje izolinija juosia pietinę telkinio dalį, apimdama ir V-4 gręžinį.

**Telkinio zonavimas ir koreliacija.** Vertikaliame telkinio pjūvyje buvo modeliuojama naftinga vidurinio kambro Deimenos storumė, pradedant nuo pat jos kraigo, kur ji yra ribojama mažo storio glaukonitinių smiltainių ir klintingos ordoviko storumės, iki visame telkinyje paplitusio reperinio (*big shale*) argilitų sluoksnio.

Telkinį sudaranti Deimenos storumė buvo suskaidyta sluoksniais pagal „Minijos Naftos“ specialistų atliktą gręžinių geofizinių tyrimų interpretaciją. Storumėje išskirti 5 kolektorinėmis savybėmis pasižymintys kvarcinių smiltainių sluoksniai (S1, S3, S5, S7, S9), kurie vienas nuo kito atskirti molingų smiltainių sluoksniais (C2, C4, C6, C8). Telkinio erdvinei struktūrai sudaryti buvo pasirinktas sluoksninis modelis, t.y. visi paminėti sluoksniai buvo sukoreliuoti visame telkinio plote. Taigi S1–S9 sluoksniai toliau modelyje yra kaip kolektoriai, kuriuose vyksta pagrindiniai hidrodinaminiai procesai, o C2–C8 sluoksniai – kaip silpnai laidūs, apribojantys vertikalų hidrodinaminį susisiekimą tarp kolektorių. Sluoksnų storių pasiskirstymo žemėlapiai buvo sudaryti naudojant *Krigingo* interpoliacijos metodą. Galutinis erdvinis telkinio modelis buvo padalytas į 35 000 (50 x 50 x 14) celių.

**Uolienuų petrofizinės savybės.** Kitas žingsnis sudarant telkinio modelį yra uolienuų petrofizinių savybių (poringumo ir laidumo reikšmių) priskyrimas kiekvienai modelio celei. Jeigu uolienos poringumas gali būti nustatomas kerno laboratorinės analizės arba gręžinių geofizinių tyrimų duomenų pagalba, tai laidumas gali būti įvertinamas ir testuojant gręžinių slėgio atsistatymą.

Vilkyčių telkinio modeliui poringumo vertės buvo priskirtos pagal gręžinių geofizinių tyrimų interpretacijos duomenis bei pakoreguotos pagal kerno laboratorinės analizės rezultatus. Galutiniai poringumo pasiskirstymo žemėlapiai atskiriems telkinio sluoksniams buvo sudaryti naudojant *Krigingo* interpoliacijos metodą. Vėliau padalijus šiuos žemėlapius

į reikiamo dydžio celes, poringumo vertės buvo priskirtos visoms erdvinio modelio celėms.

Daug sudėtingiau yra įvertinti telkinio uolienuų laidumą. Kaip žinia, kerno laboratorinės analizės metu gauname taškinės laidumo vertes, kurios neatspindi realaus laidumo pasiskirstymo telkinyje. Be to, kerno laboratorinės analizės metu įvertintos laidumo reikšmės neatspindi telkinyje egzistuojančio plyšinio laidumo, nes analizei dažniausiai parenkami vientisi kerno pavyzdžiai, todėl telkinyje dažniausiai aptinkamos didesnės laidumo reikšmės. Gręžinių išbandymo metu gautos laidumo vertės kur kas realiau įvertina telkinio laidumą. Išbandymo metu gauname informaciją apie laidumą uolienuų, patenkančių į gręžinio drenavimo zoną, tačiau, kaip žinia, gręžimo metu išbandomi intervalai būna daug didesni, negu kad išskirti telkinį zonuojant, todėl šių išbandymų rezultatai pateikia informaciją apie gerokai didesnius telkinio tūrius. Be to, šiuo būdu įvertintos laidumo vertės dėl netobulos matavimo technikos nėra labai patikimos, apie tai byloja ir skirtingi testų interpretacijų rezultatai. Vilkyčių telkinio modeliui buvo naudojama įskaitmeninta empirinė 1974 m. išteklių įvertinimo ataskaitoje pateikta koreliacinė laidumo-poringumo priklausomybė pagal laboratorinės kerno analizės duomenis. Horizontalus laidumas buvo aprašytas funkcija:

$$k_h = 10^{(-504,89 \cdot \phi^2 + 126,4 \cdot \phi - 5,7147)}.$$

Dėl laidumo anizotropijos vertikalios laidumo vertės buvo imamos:

$$k_v = 0,3 \cdot k_h.$$

Taigi kiekvienai modelio celei laidumo vertės buvo apskaičiuotos pagal anksčiau pateiktas priklausomybes. Reikia pastebėti, kad tiek horizontalus, tiek vertikalus laidumas liko neapibrėžtais dydžiais, todėl kalibruojant modelį jie buvo proporcingai keičiami stengiantis nenutolti nuo gręžinių išbandymo testais įvertintų laidumo reikšmių.

**Slėgio, tūrio ir temperatūros (STT) parametrai.** Į modelį įtraukiamos šios fluidų savybės: tankis, klampumas (*viscosity*) ir sluoksnio tūrio koeficientas (*formation volume factor*), arba tamprumas (*compressibility*). Šios savybės nustatomos laboratorinių tyrimų metu. Kadangi matuojamos savybės priklauso nuo slėgio ir temperatūros, šie tyrimai vadinami STT (slėgio, tūrio ir temperatūros). Jeigu klampumas tiesiogiai dalyvauja aprašant fluideo kaitą, tai tamprumas, arba sluoksnio tūrio koeficiento priklausomybė nuo slėgio apibūdina fluideo plėtimąsi kintant telkinio slėgiui. Kadangi modeliavimo metu matemati-

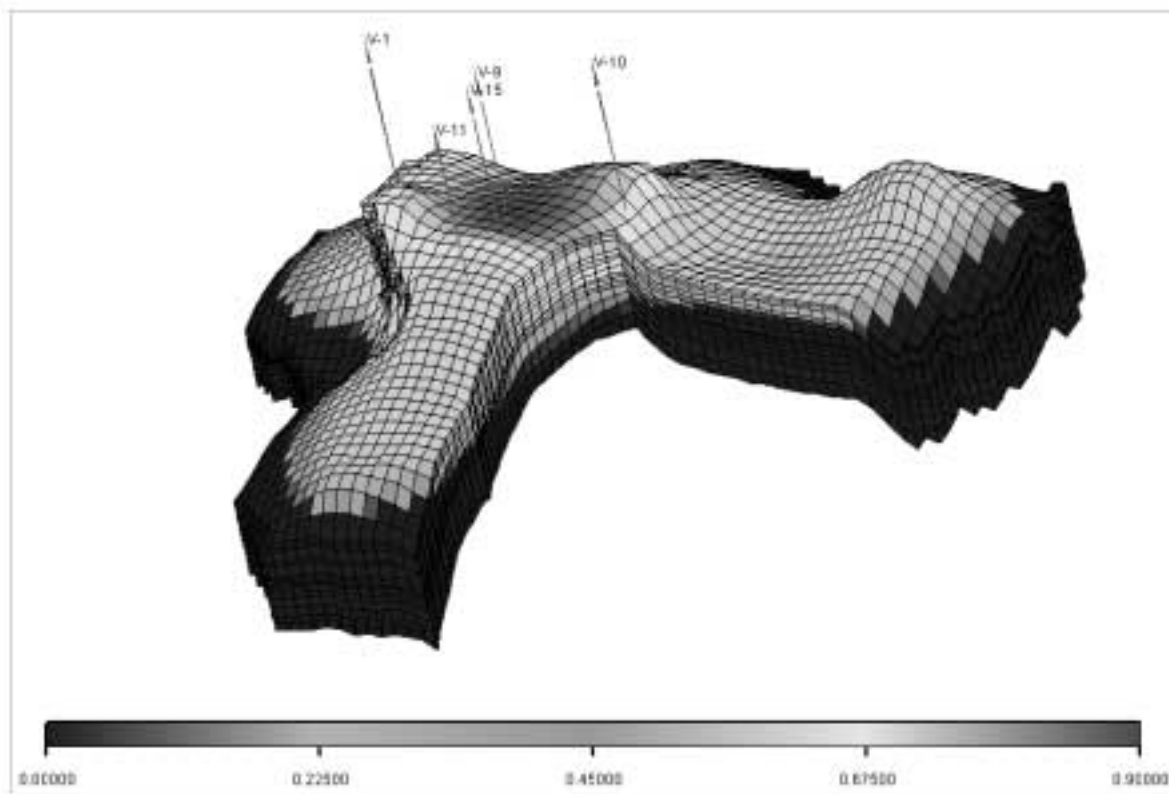
niai skaičiavimai taikomi visoms fazėms atskirai (naftai, vandeniui ir dujoms, jeigu jų yra), todėl panaudojamos fizikinės atskirų fazių savybės. Naftos klampumas ir sluoksnio tūris aprašomi kaip slėgio funkcija; vandens atveju klampumas imamas pastovus, nuo slėgio nepriklausantis dydis, o plėtimasi nusako tamprumas. Prie STT parametrų priskiriamas ir uolienos tamprumas.

Vilkyčių telkinio atveju buvo naudojamos STT analizės, atliktos 1997 m. DONG (Dansk Olie & Naturgas) laboratorijoje, duomenimis. Deja, šiuo atveju turime tiksliai naftos STT duomenis. Vandens STT savybės buvo įvertintos koreliacinių priklausomybių pagalba (Mian, 1992). Nors vandens kiekis telkinyje nedidelis, jo savybių paklaidos neturės didelės įtakos kalibruojant modelį. Didelį neapibrėžtumą sukuria uolienos tamprumo vertė, kuri nėra išmatuota ir gali įvairuoti dideliame intervale. Šis parametras taip pat buvo įvertintas koreliacinių priklausomybių pagalba (Craft, Hawkins, 1991).

**Prisotinimo funkcijos.** Į modelį įtraukiamos santykinio laidumo bei kapiliarinio slėgio priklausomybės nuo slėgio yra vadinamos prisotinimo funkcijomis. Šios priklausomybės aprašo dviejų fazių fluideo sąveiką su uoliena. Jeigu uoliena prisotinta vienos fazės fluideo, tai jos laidumas atitiks mūsų anksčiau

naudotas absoliučias laidumo vertes. Tačiau kadangi realiai daugelio modelio celių fluideo yra dvifazis, o matematinis aprašymas taikomas kiekvienai fazei atskirai, todėl panaudojama santykinio laidumo kreivė, kurios pagalba apskaičiuojamas efektyvus fazinis laidumas, padauginus absoliučią laidumo vertę iš santykinio laidumo, atitinkančio atskiros fazės fluideo prisotinimą. Kapiliarinis slėgis aprašomas kaip naftos ir vandens fazių slėgių skirtumas pasirinktame taške. Jis nulemia natūralų naftos ir vandens fazių prisotinimo pasiskirstymą telkinyje priklausomai nuo atstumo iki vandens ir naftos kontakto (Jennings, 1987).

Tiek santykinio laidumo, tiek kapiliarinio slėgio kreivės nustatomos laboratorijose. Tačiau modeliuojamo telkinio atveju neturime informacijos apie santykinio laidumo kreives, todėl jos buvo sudarytos pagal koreliacines priklausomybes. 1997 m. DONG laboratorijoje buvo išmatuotos trys kerno bandinių iš V-15 gręžinio kapiliarinio slėgio kreivės. Kadangi buvo imti kerno pavyzdžiai su skirtingomis petrofizinėmis savybėmis, kapiliarinio slėgio kreivės labai skyrėsi. Į modelį buvo įtraukta viena atraminė kapiliarinio slėgio kreivė, kuri buvo normalizuota J (Levereto) funkcija („Slip“ Slider, 1983), naudojama perskaičiuojant kapiliarinio slėgio vertes esant skirtingai



2 pav. Vilkyčių telkinio naftos prisotinimas pradiniu laiko momentu  
Fig. 2. Initial oil saturation of Vilkyčiai oilfield

goms laidumo ir poringumo reikšmėms. J funkcija buvo parinkta taip, kad prisotinimo vertės gręžinių kertamose celėse atitektų pradinį prisotinimą, įvertintą pagal gręžinių geofizinių tyrimų duomenis (2 pav.).

**Modelio pradinės sąlygos.** Kiekvienai modelio celei turi būti priskirta prisotinimo ir slėgio vertė pradinio laiko momentu. Atskiros celės visų trijų fazių slėgio ir prisotinimo vertės yra nežinomieji, kurie ir yra skaičiuojami kiekvieną laiko tarpsnį modeliavimo metu. Jeigu pradinis kiekvienos celės prisotinimas apskaičiuojamas pagal anksčiau aprašytą kapiliarinio slėgio kreivę pasirinkus atitinkamą naftos ir vandens kontakto lygį, tai slėgis įvertinamas atimant hidrostatinį slėgį iš pradinio telkinio slėgio atraminame gylyje.

Modelio pradinės sąlygos aprašytos pasinaudojus duomenimis iš 1974 m. išteklių įvertinimo ataskaitos: 1975 m gylyje atraminis slėgis – 220 bar, naftos ir vandens kontaktas – 1970 m gylyje.

**Gavybos ir slėgio duomenys.** Vilkyčių telkinį pradėta eksploatuoti 1990 m. rugpjūčio mėnesį. Visoje gavybos istorijoje dalyvavo skirtingu metu pradėti naudoti 5 gręžiniai: V-11, V-9, V-10, V-15 ir V-1. Šių gręžinių naftos ir vandens gavybos istorija į modelį įtraukta iš „Minijos naftoje“ kaupiamos gavybos duomenų bazės. Gręžinių produktyvumo parametrai – produktyvumo indeksas, arba skinas – buvo apskaičiuoti iš skirtingu laiku gręžiniuose atliktų slėgio atsistatymo testų („Slip“ Slider, 1983). Be to, buvo panaudoti faktiniai perforacijos intervalai bei skirtingu metu gręžiniuose išmatuotas dinaminis ir statinis slėgis.

## MODELIO ANALIZĖ IR KALIBRAVIMAS

Modelio kalibravimas (*history matching*) yra svarbiausias modeliavimo etapas. Jo metu, keičiant neapibrėžtų pradinių modelio parametrų vertes, stengiamasi, kad modelis atkartotų kuo daugiau turimų faktinių istorinių duomenų, pagrindiniai kurių yra slėgis bei vandens ir naftos debitų santykis. Kaip žinia, kalibravimas nėra vienareikšmis uždavinio sprendimas, nes sėkmingą galutinį rezultatą galima pasiekti įvairiomis atskirų varijuojamų parametrų kombinacijomis. Todėl modelio kalibravimą galima būtų apibrėžti kaip bandymą kuo giliau suprasti telkinio esmę ir jame vykstančius fizikinius procesus, stengiantis iki minimumo sumažinti įvadinį duomenų neapibrėžtumą. Aišku, modeliuojant trumpos gavybos telkinius tai sunku pasiekti, todėl likę neapibrėžtumai palaiapsniui tikslinami.

Nėra griežto recepto, kaip atlikti modelio kalibravimą, tačiau pagrindiniai etapai yra pakankamai

apibrėžti (Fanchi, 1997). Pirmiausiai patikrinamas pradinis modeliuotas telkinio tūris bei prisotinimas nafta, lyginant modelio naftos išteklius su ankstesniais kitų metodų įvertinimais. Vėliau kalibruojamas bendras telkinio slėgis bandant išsiaiškinti slėgio palaikymo mechanizmą. Sėkmingai atlikus šį etapą, kalibruojamas dinaminis kirtavietės slėgis atskiruose gręžiniuose. Paskutinis etapas yra vandens pritekėjimo modeliavimas, kurio metu kalibruojamas visų gręžinių vandens ir naftos debito santykis. Be to, pagalbinėmis priemonėmis modelio kalibravime gali būti įvairūs slėgio bei gręžinių išbandymo testai, vykdyti eksploatuojant telkinį.

**Telkinio slėgio palaikymo mechanizmas.** Slėgio palaikymą telkinyje gali lemti trys veiksniai: fluido plėtimasis, uolienos plėtimasis arba vandens pritekėjimas. Dažniausiai telkiniuose dalyvauja visi trys slėgio palaikymo mechanizmai, tačiau paprastai vienas išsiskiria. Jeigu naftos plėtimasi apibūdinanti sluoksnio tūrio koeficiento priklausomybė nuo slėgio yra išmatuota laboratorijoje ir laikoma patikima, tai vandens ir uolienos plėtimasi charakterizuojantis tamprumas neišmatuotas, todėl yra neapibrėžtas ir kintantis dydis. Be to, neturime informacijos apie vandeningų horizontų palaikymą. Kadangi vandens prisotinimas telkinyje dar nėra didelis, vandens plėtimasis neturės didelės įtakos palaikant slėgį. Taigi belieka du dydžiai – uolienos tamprumas bei vandens pritekėjimas, kuriems buvo atlikta jautrumo analizė modelio kalibravimo metu. Kalibravimui imtas statinis telkinio slėgis per gavybos istoriją, išmatuotas sustabdžius gavybą eksploataciniuose gręžiniuose.

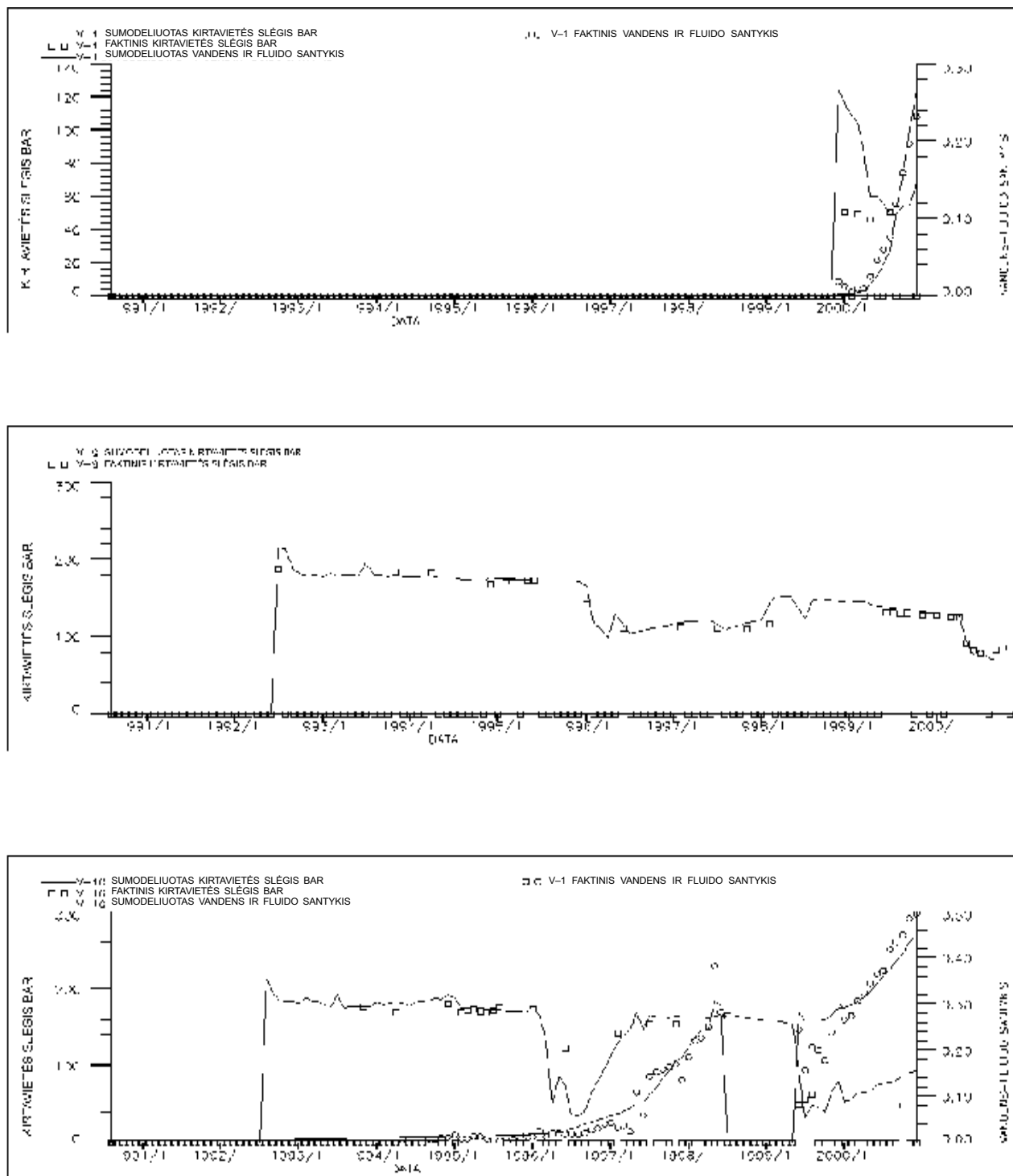
Įvertinant uolienos tamprumą, buvo taikomos įvairios koreliacinės priklausomybės, tačiau pagal jas šio parametro dydis kito plačiame 2–20E-5bar<sup>-1</sup> intervale. Pradžioje modelis buvo kalibruojamas esant nuliniam vandens pritekėjimui ir varijuojant uolienos tamprumą. Taigi slėgis buvo kalibruotas, kai tamprumas siekė 7E-5bar<sup>-1</sup>. Tuo tarpu esant minimaliam uolienos tamprumui 2E-5bar<sup>-1</sup>, reikalingas nestiprus vandens palaikymas, kuris buvo modeliuojamas naudojant analitinį Fetkovičiaus vandens pritekėjimo būdą iš apačios. Apibendrinant slėgio palaikymo analizės rezultatus reikėtų pastebėti:

1. Stabilizuojant slėgį dabartinės gavybos metu, slėgio palaikymas telkinyje yra nepakankamas.
2. Dėl neapibrėžto uolienos tamprumo slėgio palaikymas gali būti modeliuojamas keliais būdais:
  - a) esant vidutiniam uolienos tamprumui (7E-5bar<sup>-1</sup>) ir nuliniam vandens pritekėjimui;
  - b) esant minimaliam galimam uolienos tamprumui (2E-5bar<sup>-1</sup>) ir nedideliu vandens pritekėjimui.
3. Siekiant tiksliau įvertinti šį parametą, tikslinga atlikti laboratorinius kerno tamprumo tyrimus.

Toliau kalibruojant modelį buvo taikomas 2a variantas, nes jame naudota realesnė uolienos tamprumo vertė.

**Slėgio kalibravimas gręžiniuose.** Dinaminis slėgis kirtavietėje modeliuojamas iš statinio slėgio atėmus slėgio depresiją, susidarantią dėl gręžinio eksploatacijos. Pagal įvadinius duomenis, sumodeliuoti gręži-

nių kirtavietės slėgiai neatitiko faktinių duomenų – buvo gerokai per maži. Tai ypač išryškėjo V-15 gręžinyje, kuriame esama faktinė gavyba buvo neįmanoma dėl staiga iki 0 nukritusio dinaminio kirtavietės slėgio. Reikėjo keisti įvadinius duomenis. Slėgio depresija tiesiogiai priklauso nuo gręžinio debito, bet yra atvirkščiai proporcinga produktyvumo indeksui,



3 pav. Sumodeliuotų ir faktinių duomenų atitikimas V-1, V-9 ir V-10 gręžiniuose  
 Fig. 3. Watercut and bottom hole pressure matching of V-1, V-9, V-10 wells

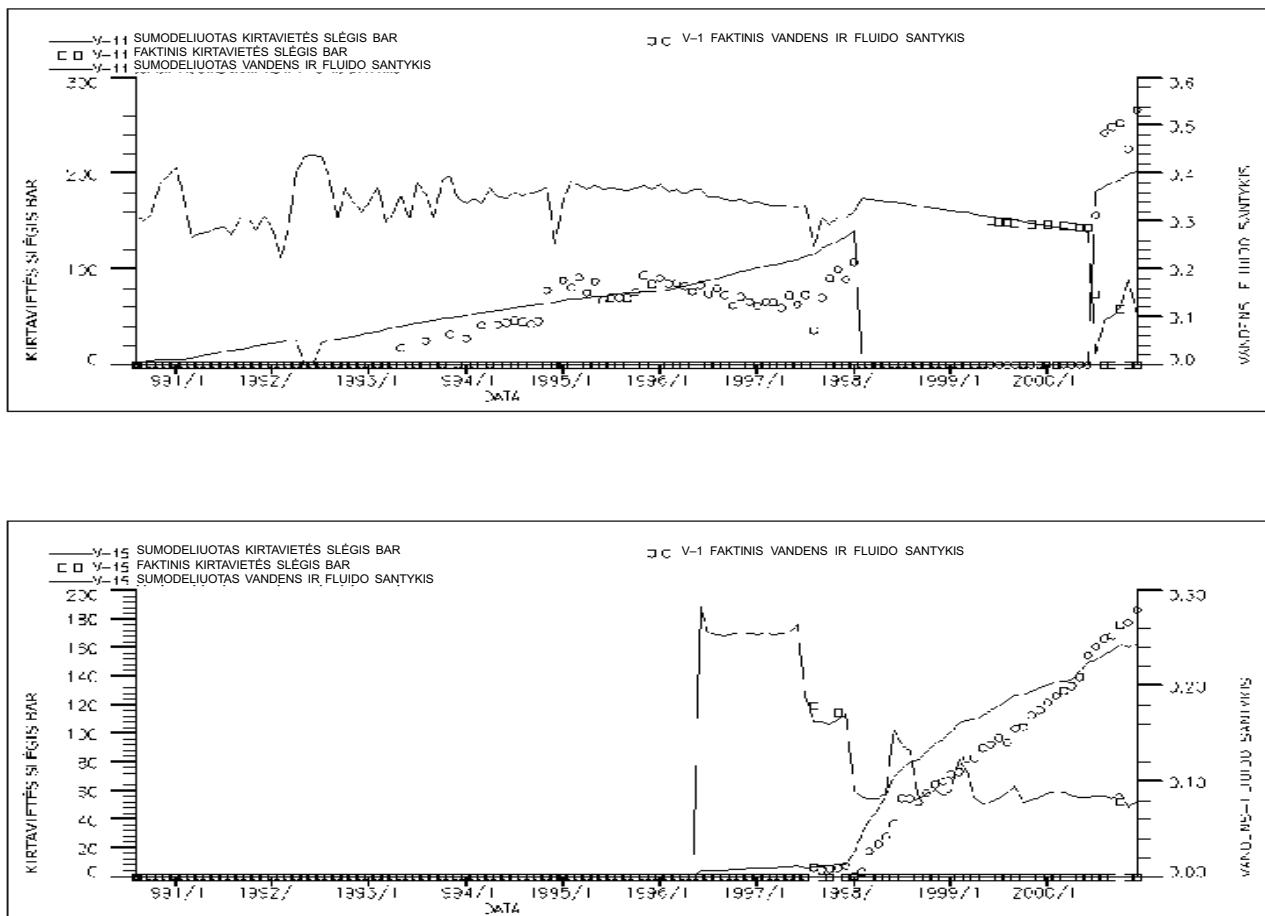
kuris yra uolienos laidumo, fluideo klampumo, efektyvaus storio ir gręžinio skino funkcija. Šiuo atveju patikimesniais buvo laikomi laboratorijoje nustatytas naftos klampumas, pagal gręžinių geofizinius tyrimus išskirti efektyvūs storiai bei pagal slėgio atsistatymo duomenis įvertintas skinas, o labiausiai neapibrėžtos uolienų laidumo vertės buvo proporcingai varijuojamos viso telkinio erdvėje. Optimaliausi, geriausiai faktinius duomenis atitinkantys kirtavietės slėgiai buvo gauti laidumą padidinus 2–3 kartus. Tai būtų galima paaiškinti dideliu plyšiniu laidumu telkinyje bei nepakankamai korektiškai atlikta laboratorine kerno analize.

**Vandens pritekėjimo modeliavimas.** Esamoje telkinio eksploatacijos stadijoje keturiuose gręžiniuose (V-1, V-10, V-11 ir V-15) vandens pritekėjimas yra pakankamas, kad būtų galima modeliuoti jo mechanizmą. Šiuose gręžiniuose vandens kiekis išgaunamame fluide viršijo 25%, o V-9 gręžinyje tiesikė kelis procentus, todėl dar sunku nuspėti jo pobūdį.

Pagrindiniai vandens pritekėjimo į gręžinį keliai yra šie: 1) iš apatinių sluoksnių, 2) iš šoninių sluoksnių, 3) per nehermetišką gręžinio konstrukciją.

Struktūriniame plane tiek V-10 gręžinį iš rytų, tiek V-1 iš vakarų riboja nedidelės amplitudės lūžiai, kurių egzistavimas galutinai nepatvirtintas dėl riboto seisminių duomenų kiekio. Modeliuojant šiuos lūžius kaip nelaidžius barjerus, nepavyko sukalibruoti vandens pritekėjimo. Pakeitus telkinio erdvinį modelį kitu, be minėtų lūžių, sumodeliuotas vandens pritekėjimas gerai atitiko faktines vandens pritekėjimo reikšmes minėtuose gręžiniuose (3 pav.).

Panagrinėjus vandens pritekėjimą į V-11 ir V-15 gręžinius pastebėta, kad V-11 gręžinyje jis pradėjo didėti, vėliau mažėjo, pabaigoje vėl didėjo. Tokį vandens pritekėjimo pobūdį sunku paaiškinti telkinyje vykstančiais procesais, todėl gali būti, kad tam įtakos turi ir gręžinio nehermetiškumas. V-15 gręžinyje vanduo atsirado staiga, iškart praplėšus sluoksnį 1997 m. pabaigoje, ir vėliau nuolat didėjo. Praplėšimas ir buvo laikomas pagrindine vandens pritekėji-



4 pav. Sumodeliuotų ir faktinių duomenų atitikimas V-11 ir V-15 gręžiniuose  
 Fig. 4. Watercut and bottom hole pressure matching of V-11 and V-15 wells

mo į šį gręžinį priežastimi, nes manoma, kad jo metu atsirado ryšys su vandeningu sluoksniu.

Modelyje V-11 ir V-15 gręžinių eksploatuojami S1–S7 sluoksniai atskirti nuo vandeningo S9 sluoksnio nelaidžiu C8 sluoksniu, kurio tiek koreliacija per visą telkinio plotą, tiek petrofizinės savybės nėra apibrėžtos. Todėl šiuose gręžiniuose vandens pritekėjimą buvo bandoma sukalibruoti kaitaliojant šio sluoksnio pralaidumą (arba vertikalų laidumą gręžinio aplinkoje). Jeigu V-11 gręžinio aplinkoje C8 sluoksnio pralaidumas buvo koreguotas inicijuojant modelį, tai V-15 – gręžinio praplėšimo dieną imituojant praplėšimo metu atsiradusį ryšį su žemiau esančiu sluoksniu. Atlikus šiuos pertvarkymus buvo pasiektas neblogas modeliuojamų ir faktinių duomenų atitikimas (4 pav.).

## IŠVADOS

Vilkyčių telkinio statinis modelis buvo sudarytas remiantis sluoksnine modelio samprata, pagal kurią sluoksniai-kolektoriai buvo perdengiami silpnai laidžiais molingesniais sluoksniais. Molingesnių sluoksnų vertikalus laidumas nėra žinomas, nes trūksta faktinės medžiagos. Tuo tarpu prielaida, kad molinguose sluoksniuose egzistuoja hidrogeologiniai langai, buvo patvirtinta modeliuojant vandens pritekėjimą V-11 gręžinyje. Norint išaiškinti kolektorių susiekiamumą, atliekami slėgio matavimai atskiruose kolektoriniuose sluoksniuose, tačiau Vilkyčių telkinyje tokių duomenų praktiškai nėra.

Pradinės sluoksnų laidumų vertės, kurios buvo įvertintos pagal laboratorinę kerno analizę, modeliuojant pakeistos keliskart didesnėmis ir greičiausiai byloja apie didelį plyšinio laidumo poveikį. Tai labiausiai turėtų būti taikoma centrinei telkinio daliai, kurioje yra visi kalibruojami gręžiniai.

Pagal modelio kalibravimo duomenis, vandens pritekėjimo į telkinį nėra arba jis minimalus. Bendras slėgio kritimo pobūdis rodo, kad telkinio energijos nepakanka slėgiui stabilizuotis. Ateityje racionaliai planuojant telkinio gavybą, būtina palaikyti telkinio energiją vandens injekcija.

V-1 ir V-10 gręžinių vandens pritekėjimo sukalibravimo duomenys verčia abejoti nelaidžių nedidelės amplitudės lūžių, ribojančių šiuos gręžinius, buvimu.

Dabar modelis parengtas kitam žingsniui – tolimesniai telkinio plėtros modeliavimui. Numačius bendrus strategijos principus, modeliavimo pagalba galima sėkmingai išanalizuoti įvairius jos realizavimo scenarijus parenkant ekonomiškai racionaliausią.

## Literatūra

Craft B. C., Hawkins M. 1991. Applied Petroleum Reservoir Engineering. Englewood Cliffs, New Jersey. 1–69.

Fanchi J. R. 1997. Principles of Applied Reservoir Simulation. Houston, Texas. 96–116.

Mian M. A. 1992. Petroleum Engineering Handbook for The Practicing Engineer. Tulsa, Oklahoma. 1. 75–157.

„Slip“ Slider H. C. 1983. Worldwide Practical Reservoir Engineering Methods. Tulsa, Oklahoma. 143–257.

## Dainius Michelevičius

### APPLICATION OF RESERVOIR SIMULATION FOR INVESTIGATION OF EXPLOITATION CONDITIONS OF VILKYČIAI OILFIELD

#### S u m m a r y

A survey of the Vilkyčiai oilfield (within the Gargždai license area) was carried out applying reservoir simulation. This method of survey is new in Lithuania, though it is widely used abroad. Reservoir simulation integrates the geological-static model of a field with exploitation parameters. This method is carried out in a few stages. The first stage – entering of initial parameters: static – geological model of the field, physical properties of rocks and fluid, production and pressure history of the exploited wells. Afterwards, a material balance equation is to be worked out to each grid of the model and the results are to be history-matched to actual production data. At this stage the most undefined parameters of the model shall be specified until the simulated production parameters conform to the historical parameters. This stage is certainly most interesting from the geological point of view, as it allows to check different possible structural compositions of the field as well as to specify the petrophysical properties of rocks. The next stage is prediction. During that stage different field development scenarios will be analyzed, selecting the most efficient one.

As the history matching of the Vilkyčiai oilfield has been performed, the initial permeabilities of rocks have been evaluated according to core lab analysis and changed to several times higher values. Most probably this indicates a strong influence of fracture permeability. The vertical permeability of clayey sandstone layers remained undefined due to an insufficient amount of actual data, though simulation of the V-11 well watercut proved the presence of hydrogeological windows.

According to the matched data, either there is no water influx to the field or it is minimal. General characteristics of pressure breakdown show that the water drive in the field is insufficient to stabilize the pressure. Therefore in the future the rational planning of oil production from the field shall include water injection to sustain the energy of the field.

According to water cut matching in the wells V-1 and V-10, the presence of non-permeable faults of small amplitude that screen the wells is rather doubtful.

At the present stage, the model has been prepared for the next stage – prediction of the field development. Having established the general principles of strategy and with the aid of simulation it is possible to analyze successfully the different scenarios of its realization and to select the most rational one.



**Дайнюс Михелявичюс**

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ УСЛОВИЙ МЕСТОРОЖДЕНИЯ НЕФТИ ВИЛКИЧЯЙ ПУТЕМ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

**Резюме**

Моделирование эксплуатационных условий произведено в нефтяном месторождении Вилкичяй. Метод исследования – новый в Литве, хотя уже широко распространен в мире; он интегрирует геологическую модель месторождения с эксплуатационными параметрами. Моделирование производится поэтапно. Вначале строится геологическая модель месторождения, которая разбивается гридами. Для каждого грида при моделировании эксплуатации решается уравнение баланса материи. Полученные решения калибруются с фактическими параметрами добычи. На этом этапе уточняются самые неопределенные параметры модели, пока смоделированные параметры не достигают фактических. На этом этапе имеется возможность не только проверить разные строения месторождения, но и уточ-

нить петрофизические свойства пород. Следующий этап – прогнозирование, во время которого анализируются различные сценарии освоения месторождения.

Во время калибровки модели месторождения Вилкичяй вводные проницаемости пород (по данным анализа керн) были умножены в 2–3 раза, что свидетельствует о довольно большом влиянии трещинной проницаемости. Вертикальная проницаемость глинистых прослоев осталась не выясненной до конца, хотя по калибровке обводнение скважины V-11 подтверждено наличием гидрогеологических окон.

По данным калибровки модели приток воды в месторождение минимален или его нет. Общая тенденция падения давления показывает, что поддержания энергии в месторождении недостаточно для того, чтобы стабилизировать давление. Поэтому в будущем необходимо осуществлять поддержание энергии месторождения, лучше всего – нагнетанием воды.

По калибровке обводнения скважин V-1 и V-10 опровергнуто наличие малоамплитудных непроницаемых разломов, которые ограничивают эти скважины.

В настоящее время модель подготовлена к этапу прогнозирования дальнейшего освоения месторождения.