

Matematické modelovanie konverzie plynových ložísk na PZZP

Stanislav Jakubov, Mária Zváčová and Michal Štefanovič¹,

Mathematical Modelling of Gas Fields Conversion into UGS Facilities

Nowadays the application of mathematical simulation at assessing the suitability of reservoirs for conversion into UGS facilities is a world-wide standard practice. The higher is the quality of input reservoir data (3-D seismic, well logging, core analyses, welltesting, regular pressure and volume parameters monitoring) the better is the reliability of reservoir simulation results. This paper is focused at presenting the assessment results of two depleted gas fields conversions into UGS facilities by using mathematical modelling. The gas reservoirs are very similar with respect to their gas deposit depths, GIP values, lithological trap types and rock properties. Both these reservoirs structures represent lithological types of traps and are formed from complex sandstone layers interbedded with clay bands. Accordingly the reservoir simulation results, in the first case the further gas field conversion was not recommended, the conversion suitability of the second reservoir structure was acknowledged.

Keywords: mathematical simulation, aquifer, UGS capacity

Úvod

Využitie matematického modelovania pri konverzii ložísk na zásobníkové objekty ako aj na optimalizáciu riadenia cyklickej prevádzky je v súčasnosti vo svete bežným štandardom. Prezentované dva prípady posúdenia konverzie vytŕažených ložísk plynu na PZZP matematickým modelom boli vykonávané na trojrozmernom trojfázovom modeli Terasim firmy DUKE ENGINEERING @ SERVICES COMPANY, Calgary, Kanada.

Hodnotené ložiská predstavujú štruktúrne – litologický typ pasce a sú tvorené komplexmi pieskov vzájomne oddelených preplástkami ílu uloženými v štruktúrnej hĺbke 580 až 680 m. Jednotlivé komplexy vytvárajú 3 polohy pieskov, oddelených preplástkami piesčitého ílu, resp. ílovitého piesku, cez ktorý však polohy pieskov viac - menej komunikujú. Maximálna celková hrúbka obzorov je 10 - 14 m a maximálna efektívna hrúbka je 4,5 - 12 m. Medzi obzormi je cca 2 až 12 m hrubá poloha väčšinou nepriepustného ílu. Pórovitosť je 10 až 26 % a priepustnosť je 200 až 700 mD. Počiatkové ložiskové podmienky oboch objektov sú uvedené v tabuľke:

	Kontakt G/W		Pfi (MPa)		T (°C)	Gi (mil.m ³)			G model (mil.m ³)		
	„a“	„b“	„a“	„b“		„a“	„b“	spolu	„a“	„b“	spolu
Objekt 1	-589,5	-613	7,812	7,88	41	6	81,7	87,7	6	98	104
Objekt 2	-654	-654	8,15	8,15	40	56,8	19,2	76	50,1	12,1	62,2

História ťažby

Objekt 1

Ložisko bolo v primárnej ťažbe od septembra 1952 do júla 1975 (vytŕažené 68 mil.m³ zemného plynu). Pokusné cyklovanie začalo v auguste 1979 a prebiehalo do marca 1983 (zatlačené 34 mil.m³, odtŕažené 24 mil.m³). Nasledovala konzervácia ložiska a od roku 1993 začalo nepravidelné vtláčanie, ktoré sa od mája 1997 zmenilo na pravidelné cyklovanie (zatlačené 36 mil.m³, odtŕažené 10 mil.m³). Na ložisku počas primárnej ťažby pracovalo 6 sond (V1 až V6). Pre potreby zásobníka bola následne prevystrojená len sonda V6 a novoodvrtané sondy V7 a V8.

Objekt 2

Ložisko bolo v primárnej ťažbe od marca 1976 do januára 1996 (vytŕažené 52 mil.m³ zemného plynu). Potom sa do ložiska začalo pokusne vtláčať a ťažiť až do apríla 2001 (zatlačené 17 mil.m³, odtŕažené 1 mil.m³) odkedy je ložisko v odstávke. Na ložisku počas ťažby pracovalo 5 sond (S1 až S5). Na vtláčno – odberové účely boli prevystrojené 2 sondy: S1, S3. Sonda S5 bola používaná na ťažbu ako zdroj pracovného plynu.

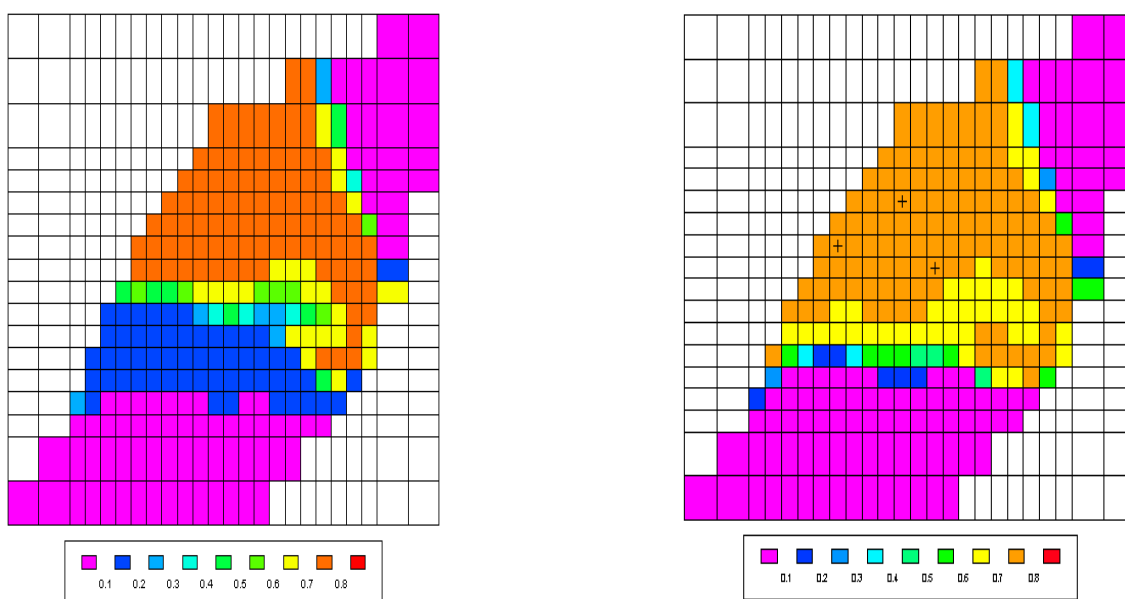
¹ Ing. Stanislav Jakubov, RNDr. Mária Zváčová, RNDr. Michal Štefanovič, SPP a.s., DD STP VVNP, Votrubova 11/A, 825 05 Bratislava (Recenzovaná a revidovaná verzia dodaná 16.8.2004)

Objekt 1

Na základe geologického spracovania bola vytvorená obdĺžniková sieť pre riešenie matematického modelu s rozmermi 24 x 18 x 5 buniek. Rozmery buniek sú 100 x 200 m, resp. 100 x 100 m. Prvá vrstva reprezentuje „a“ piesok, druhá vrstva reprezentuje ílovitý nepriepustný preplástok. Spodný „b“ piesok sme rozdelili na tri vrstvy.

História objektu bola postavená na základe zhody meraných a modelovaných tlakov na jednotlivých sondách. Nastavenie modelu bolo možné len pri zvýšených pôvodných zásobách, čo sme dosiahli zmenou kontaktov G/W na obidvoch pieskoch („a“ –596m, „b“ –617m).

Históriu sme modelovali ako tri na seba nadväzujúce etapy. V 1. etape (september 1952 až máj 1955) boli obidva horizonty modelované ako samostatné izolované objekty. Potvrďuje to vývoj tlaku na sonde V1, jedinej sonde otvárajúcej „a“ piesok, ktorý od začiatku jej ťažby poukazoval na veľmi slabú aktivitu vodného zápolia (takmer expanzný režim). Po odťažení 4,15 mil.m³ však začal tlak pomerne rýchlo stúpať, čo bolo pravdepodobne spôsobené technickým prepojením obidvoch horizontov. Z toho dôvodu sme v 2. etape (máj 1955 až júl 1998) horizonty prepojili v oblasti sondy V1 a v 3. etape (júl 1998 až marec 2002) boli horizonty prepojené aj v oblasti novo realizovaných vrtov V7 a V8.



Obr 1..Objekt 1 stav sýtenia na konci primárnej ťažby 31.1.1996

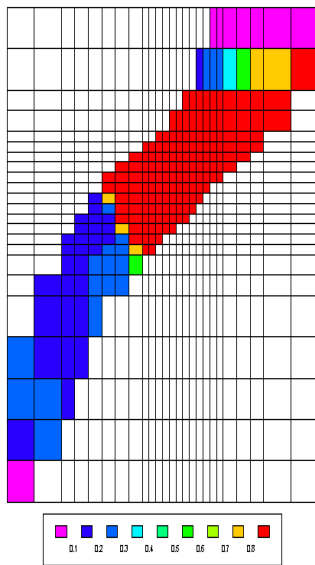
Objekt 2

Na základe nového geologického spracovania bola vztvorená obdĺžniková sieť pre riešenie matematického modelu s rozmermi 25 x 23 x 7 buniek. Rozmery buniek sú 100 x 200 m, resp. 100 x 100 m a vo vrcholovej časti ložiska je sieť modelu zahustená s rozmermi buniek 50 x 50 m. Vrchný „a“ piesok sme vertikálne rozdelili na tri vrstvy, štvrtá vrstva reprezentuje ílovitý nepriepustný preplástok. Spodný „b“ piesok reprezentuje piata vrstva. Nasleduje ílovitý preplástok - šiesta vrstva a „c“ piesok predstavuje siedmu vrstvu.

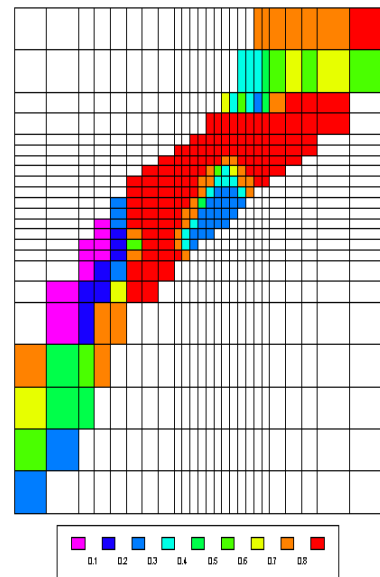
História objektu bola naladená na základe zhody meraných a modelovaných tlakov na jednotlivých sondách. Naladenie modelu bolo možné len pri znížených pôvodných zásobách.

Modelovanie histórie sme rozdelili na 2 etapy. Prvá etapa, kedy boli „a“ a „b“ piesky odťažované oddelene s odlišným tlakovým vývojom, trvala od začiatku odťažovania ložiska do marca 1997. Počas nej sme modelovali obidva piesky samostatne. Modelovaný vývoj tlakov na „a“ piesku poukazuje na takmer expanzný režim, na rozdiel od modelovaného vývoj tlaku „b“ piesku so silnou aktivitou vodného zápolia a absolútne odlišným tlakovým vývojom oproti „a“ piesku. V druhej etape bola história modelovaná do apríla 2002. V tejto etape boli umelo prepojené „a“ a „b“ piesky (perforácia sondy S3) a „b“ a „c“ piesky (perforácia sondy S1). Od začiatku tejto etapy dochádza k postupnému vyrovnávaniu tlakov na „a“ a „b“ piesku, ktoré prakticky trvá dodnes. Vyrovnávanie tlakov je sprevádzané pretokom vody zo „b“ piesku do „a“ piesku v najvyššej navrtanej štruktúrnej polohe. Prepojenie „b“ a „c“ piesku nespôsobovalo postupné vyrovnávanie tlakov „c“ piesku s „a“ a „b“ pieskami, príčinou čoho sú zhoršené petrofyzikálne vlastnosti kolektorskej horniny na „b“ piesku v okolí

sondy S1. V dôsledku zavodňovania „a“ piesku cez sondu S3 je ložisko touto sondou prakticky neťažitelné. Prítok plynu do sondy zamedzuje výrazná aktivita ložiskovej vody.



Obr 3 Objekt 2 stav sýtenia na konci 1. etapy ladenia histórie 1.3.1997



Obr 2 Objekt 1 stav sýtenia na konci 3. etapy ladenia histórie 31.3.2002

Modelovanie prognóz

Účelom modelovania prognóz na oboch objektoch bolo určiť ich objemové a tlakové parametre. Prognózy boli modelované v dvoch variantoch. Pri oboch variantoch sme uvažovali s rovnakou dĺžkou vŕtačky aj ťažobnej sezóny – po 135 dní. Využívali sme súčasný fond vŕtačky - odberových sond.

Objekt 1

V prvom variante sme sa zamerali na overenie projektovaných parametrov. S ohľadom na možnosti jestvujúcej technológie sme hornú hranicu pracovného tlaku 9,5 MPa znížili na hodnotu 9,0 MPa. Úroveň spodného pracovného tlaku sme postupne znižovali zo 7,5 na 5,5 MPa. Celková dĺžka prognózy bola modelovaná do roku 2013, pričom tento systém bol mierne nestabilný s tendenciou rozširovania sa ako základnej, tak aj aktívnej náplne. V druhom variante sme sa snažili zaistiť väčšiu stabilitu systému. Pristúpili sme k zníženiu spodného pracovného tlaku na úroveň 4,5 MPa. Cyklická prevádzka, vyznačujúca sa dostatočnou stabilitou by začala od ťažobnej sezóny 2008/2009.

Objekt 2

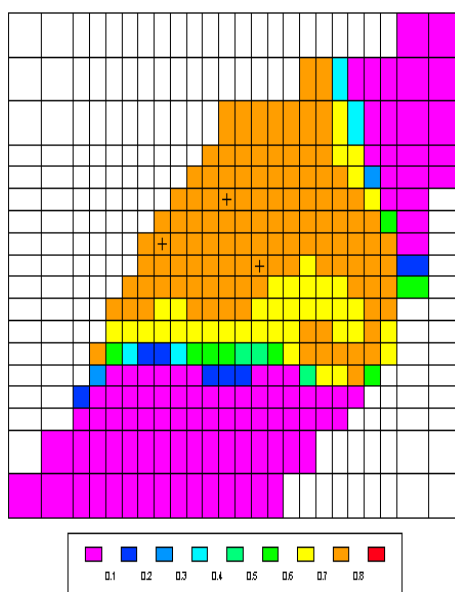
Ladenie histórie a rovnako aj skúsenosti z prevádzky objektu poukazovali na veľké problémy s konverziou na PZZP pri súčasnom stave. Napriek tejto skutočnosti sme spracovali dva varianty prognózy na obdobie 10 rokov. V oboch variantoch sme počítali s rozsahom pracovných tlakov 4,5 – 9,0 MPa.

Záver

Objekt 1

Matematická simulácia histórie práce ložiska upresnila počiatkové geologické zásoby a potvrdila samostatný hydrodynamický režim jednotlivých pieskov až do ich pravdepodobného technického prepojenia.

Pre ďalší priebeh konverzie bolo odporúčané pokračovať podľa výsledkov prognóz druhého variantu, pričom stabilnú cyklickú prevádzku sme modelovo dosiahli pri rozsahu pracovných tlakov 4,5 – 9,0 MPa. Nábehové obdobie bolo modelovo ukončené až ťažobnou sezónou 2008/2009, z dôvodu veľmi malej pružnosti vodného zápolia. Z výsledkov modelovania možno konštatovať priaznivý pomer aktívnej a základnej náplne AN/ZN (1,05).



Obr 4 Objekt 2 stav sýtenia na konci 2.etapy ladenia histórie 1.4.2002

ZN [mil.m ³]	AN [mil.m ³]	pracovné tlaky [Mpa]	začiatok cyklovania
45,1	47,4	9,0 – 4,5	Ťažba 2008/2009

Objekt 2

Matematická simulácia histórie práce ložiska upresnila počiatkové geologické zásoby a preukázala odlišný hydrodynamický vývoj jednotlivých pieskov. Technické prepojenie „a“ a „b“ pieskov na konci primárnej ťažby spôsobilo čiastočné zavodnenie „a“ piesku, a tým znehodnotenie objektu.

Na základe výsledkov modelovania a analýzy doterajšieho vývoja sa javí ďalšie uskladňovanie plynu do ložiska za súčasného stavu vysoko rizikové a neefektívne, pričom za súčasného stavu (1. variant) nie je možné dosiahnuť pravidelnú cyklickú prevádzku objektu ani po 10 ročnom nábehu, po odizolovaní „b“ piesku (2. variant) je možnosť cyklovania 10 mil.m³ zemného plynu až po 6 ročnom nábehu pri zvýšenom výnose vody a nepriaznivom pomere AN/ZN (0,28). Využívanie modelovaného objektu nepriaznivo ovplyvňuje veľký výnos vody spôsobený výraznou aktivitou vodného zápolia „b“ piesku.

Literatúra – References

- Smith, C.R. a kol.: Applied Reservoir Engineering, *OGCI Publications*, 1992.
 Katz, D.L., Lee, R.L.: Natural Gas Engineering., *McGraw - Hill Publishing Company*, 1990.
 Aziz, K., Settari, A.: Petroleum Reservoir Simulation. *Applied Science*, 1979.