

Kateřina POLÍNKOVÁ, Petr BUJOK

Institut geologického inženýrství, Hornicko – geologická fakulta, VŠB – TU Ostrava

## LABORATORNÍ VÝZKUM MOŽNOSTÍ APLIKACE CO<sub>2</sub> PRO ZVÝŠENÍ VYTĚŽITELNOSTI LOŽISEK UHLOVODÍKŮ S VYUŽITÍM LINEÁRNÍHO MODELU LOŽISKA MAF I

**Abstrakt.** Emise oxidu uhličitého vznikající antropogenní činností, jsou povazovány za jedno z významných nebezpečí pro udržitelný rozvoj lidstva. Vedle úsilí o systematické snižování emisí CO<sub>2</sub> (čisté provozy), jsou v současnosti ověřovány zejména možnosti jeho uskladňování ve vhodných geologických formacích.

Vhodným potenciálním úložným prostorem jsou zejména vytěžená i dotěžovaná ložiska ropy, ve kterých lze injektáží CO<sub>2</sub> zvýšit vytěžitelnost zbytkové ropy o 10 až 15%. V optimálním případě může zlepšená vytěžitelnost převýšit úhradu nákladů na zachycení a uložení CO<sub>2</sub>.

V referátu jsou uvedeny výsledky laboratorních pokusů aplikace CO<sub>2</sub> při vytěšňování ropy s využitím lineárního modelu ložiska aparatury MAF I.

## LABORATORY RESEARCH INTO POSSIBILITIES OF CO<sub>2</sub> APPLICATION TO INCREASE THE RECOVERY OF HYDROCARBON DEPOSITS WITH USAGE OF LINEAR MODEL MEASURES MAF I

**Summary.** Emissions of carbon dioxide due to anthropogenic activities are considered to belong to significant hazards to the sustainable development of humankind. Besides the efforts to reduce systematically CO<sub>2</sub> emissions (clean technologies), especially the possibilities of its storage in suitable geological formations are verified at present.

Suitable potential storage spaces are above all exhausted oil deposits as well as those where extraction is being completed, in which the recovery of residual oil can be improved by CO<sub>2</sub> injection by 10 to 15%. In the optimum case, the benefit of improved recovery may exceed the costs of CO<sub>2</sub> capture and storage.

In the paper, results of laboratory tests of CO<sub>2</sub> applications in the case of oil displacement using of linear model measures the apparatus MAF I are described.

## 1. Úvod

Důkazy o vlivu lidské činnosti na globální klima jsou stále přesvědčivější. Klíčovou roli zde hrají celosvětové emise oxidu uhličitého v atmosféře, které pocházejí ze stále rostoucího využívání fosilních paliv.

Aby bylo možné omezit globální změnu klimatu, bude tedy pravděpodobně třeba využít opatření k zredukování skleníkových plynů pomocí zachytávání a ukládání CO<sub>2</sub>. V budoucnosti se počítá s výstavbou nových zařízení a infrastruktury: např. elektráren a velkých průmyslových zařízení, která budou vybavena jednotkami pro zachytávání CO<sub>2</sub> a produktovody k úložištím [1].

Takovým úložištěm může být vytěžené ložisko uhlovodíků, uhelné souvrství nebo akvifer (zvodněné souvrství). Ložiska uhlovodíků, která jsou obecně dobře prozkoumána, jsou považována za bezpečná úložiště CO<sub>2</sub>, protože tyto struktury zadržovaly po milióny let ropu a zemní plyn. Zatlačování CO<sub>2</sub> do některých z těchto ložisek navíc umožní vytěžení další ropy nebo zemního plynu, které ještě v ložisku zůstávají.

Tento proces se nazývá druhotné metody intenzifikace těžby ropy (EOR - Enhanced Oil Recovery methods). EOR metody se aplikují již na mnoha místech v zahraničí. Využívají se např. v USA, Kanadě, Brazílii nebo Rusku [3].

## 2. Těžba uhlovodíků

Prvotními metodami těžby se vytěží 20 – 35% ropy, zbytek zůstává v pórech ložiskové horniny.

Druhotné těžební metody představují postupy, které udržují ložiskovou energii při těžbě co nejdéle na původní úrovni. Patří mezi ně zatlačení plynu do plynové čepice nebo vody do vodního zápolí ropného ložiska. Takto lze zvýšit vytěžitelnost na 50 – 60%. Terciérní metody (fáze) těžby zahrnují různé speciální metody, např. zatlačení „neuhlovodíkových“ plynů do ložiska (např. CO<sub>2</sub>, dusíku, spalných plynů), aplikace rozšířených zavodňovacích metod (zatlačení vody upravené povrchové aktivními látkami, polymery nebo jinými chemickými činidly) nebo využití tepla pro snížení viskozity ropy (podzemní spalování, vtláčení páry nebo horké vody), využití metabolické činnosti

anaerobních bakterií atd. Cílem je intenzifikace přítoku „zbytkové“ ropy, která nebyla vytěžena během primární nebo druhotné těžební fáze [5].

### 3. Měřicí aparatura MAF I

Laboratorní výzkum byl prováděn na laboratorním filtračním zařízení MAF I. Tento lineární model ložiska napodobuje filtrační pochody uvnitř horninového vzorku nasyceného zbytkovou ropou, a umožňuje nám získávat informace o průběhu procesů, které vedou k zvýšení vytěšňování zbylé ropy pomocí CO<sub>2</sub>.

MAF I je laboratorní zařízení vlastního návrhu a konstrukce pracovníků oddělení techniky průzkumu IGI HGF VŠB – TU Ostrava, tato filtrační aparatura byla zhotovena v roce 1981 jako první své řady. Zařízení umožňuje zkoumat změny kolektorských vlastností horninových vzorků, při aplikaci intenzifikačních metod s teplotní regulací a také ke sledování aplikace CO<sub>2</sub> při vytěšňování zbytkové ropy.

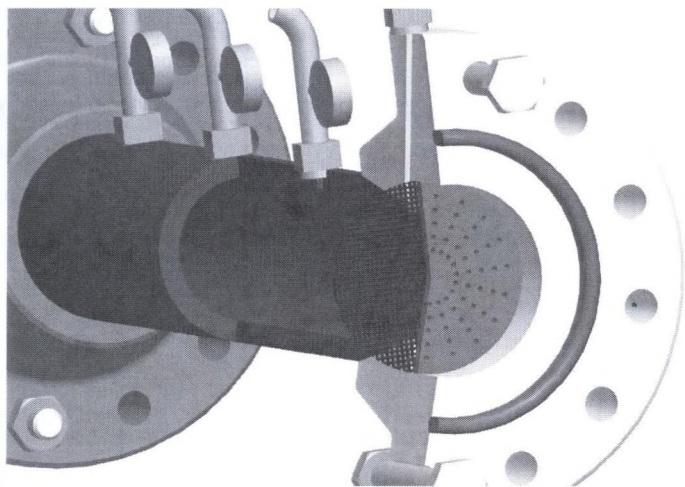


Fig. 1. Prostorový model filtrační aparatury MAF I [2]

Fig. 1. 3D model of MAF I filtration apparatus [2]

Hlavní částí zařízení je ocelová trubka (při rekonstrukci byla využita pažnicová trubka), která představuje lineární model ložiska o délce 1002 mm a vnitřním průměru 147 mm. Po obou stranách pažnice jsou navařeny typizované příruby ÚN – 45-186. Příruby jsou uvnitř

upraveny, tak aby se do nich mohly vložit podložky z hustého pletiva (sítka) a silné perforované desky. Uzávěry modelu jsou zajištěny dvěma víky. Každé víko je připevněno k přírubě 12 šrouby, celkem čtyřadvacetí šrouby typu M30 a utěsněné ocelovým těsnícím kroužky. V přírubách po obou stranách jsou vytvořeny normalizované otvory, které jsou opatřeny vysokotlakými ventily. Ventily v horní části jsou využívány jako odvzdušňovací. Ventil nacházející se v dolní okrajové části modelu je použit jako vtláčňý. Na protilehlé straně modelu se nachází vypustný ventil opatřený gumovou hadičkou. Na horní části těla modelu jsou umístěny manometry (celkem 5 manometrů) ve vzdálenosti 250 mm od sebe.

Celková hmotnost modelu je 498 kg a celkový objem MAFu I. je 17 l. Hmotnost horninové náplně se pohybuje okolo 45 kg. Model je umístěn na stojanu s otočným čepem, který se nachází v symetrickém středu modelu. Aparatura (viz. fig. 1) je dimenzována na provizorní tlak 25 MPa.

#### 4. Výsledky laboratorních pokusů

Pro přípravu vzorku kolektorských hornin byl použit vodárenských písek VP 2 a VP 3 a ropa z lokality Ždánice. Před zahájením vlastních pokusů na lineárním modelu ložiska MAF I. byly provedeny orientační pokusy stanovení hodnot primární vytěžitelnosti ropy s namíchaných ekvivalentních vzorků. Jako primární vytěžitelnost byla za laboratorních podmínek brána hodnota stanovená při gravitační filtraci ropy ekvivalentním vzorkem. Měření bylo prováděno ve vertikálně umístěném odměrném válci (viz. fig. 2). Z celkového množství ropy o hmotnosti 340 g vyteklo (odklapalo) ve sledovaném čase množství o hmotnosti 270 g.

Při gravitační filtraci (těžbě) vyteklo 79% ropy. Zbytkové nasycení (21%) bylo použito jako základ pro přípravu ekvivalentního vzorku v aparatuře MAF I.



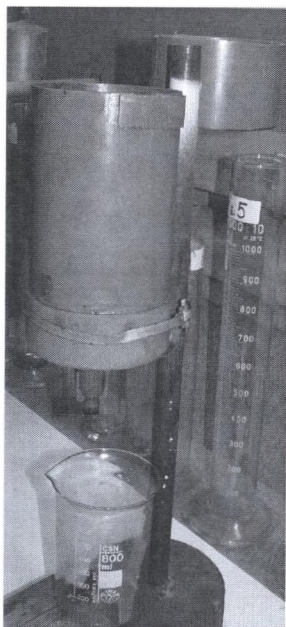


Fig. 2. Odkapávající ropa  
Fig. 2. Dripping oil

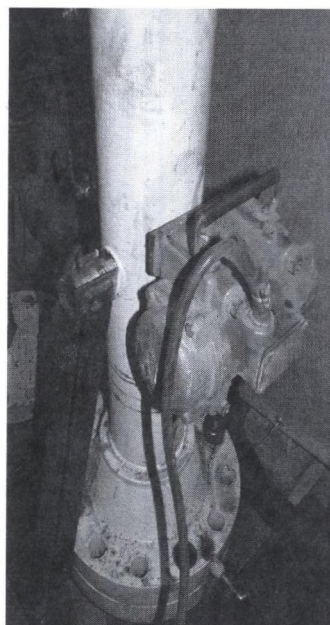


Fig. 3. MAF I s motorem vibračního zařízení  
Fig. 3. MAF I with the vibration device motor

Vypočtený objem směsi vodárenského písku a ždánické ropy (písek o hmotnosti 26,622 kg, ropa o hmotnosti 5,780 kg) byl za neustálého pýchování, vibrování a přisypávání do filtrační komory modelu MAF I (viz. fig. 3). V průběhu gravitační filtrace odtekla z komory přístroje ropa o celkové hmotnosti 4,534 kg.

Samotné modelování procesu vytěšňování bylo rozděleno do 3 po sobě následujících fází (byly prováděny celkově 4 pokusy vytěšňování „zbytkové“ ropy a to sycení pitnou vodou, sycení pitnou vodou s CO<sub>2</sub>, sycení s ložiskovou vodou a sycení s ložiskovou vodou s CO<sub>2</sub>).

Po dokončení operace přípravy a umístění směsi do aparatury (po dobu všech fází je aparatura ve vertikální poloze) následuje první fáze, a to fáze připojení zdroje stlačeného plynu (tlaková láhev) a otevření vstupního ventilu aparatury dole. Regulace tlaku plynu se provádí na tlakové lahvi dvojicí tlakových regulátorů. V případě daného měření byla hodnota tlaku plynu v aparatuře nastavena na 4 MPa.

Po natlakování aparatury nastupuje druhá fáze působení CO<sub>2</sub> na ropu. Po třídenním působení CO<sub>2</sub> na ropu byl uzavřen vstupní ventil a byla provedena záměna zdroje plynu za zdroj sycené (první 2 pokusy) pitné sladké vody (v dalších pokusech byla použita ložisková voda) o teplotě 40°C (nejprve voda z tlakové nádoby – kyvety bez CO<sub>2</sub> a pak

s použitím  $\text{CO}_2$  z tlakové lahve). Po natlakování směsi vody a  $\text{CO}_2$  na hodnotu 4 MPa byl otevřen vstupní ventil, přičemž po otevření výpustného ventilu byl regulačním zařízením na tlakové lahvi udržován zvolený tlak.

Ve třetí fázi nastává samotný proces vytěšňování ropy z pórů nádržní horniny. Směs karbonizované vody a ropy byla odebírána do odměrných válců o objemu 1000 ml a 500 ml v počtu 8 až 10 kusů. Celkově bylo odebráno 7 l karbonizované vody ve všech pokusech.

Průběh měření je dokumentován na fig. 4 – Stav v odměrných válcích po ustálení (pro vytěšnění byla použita pitná voda sycená  $\text{CO}_2$ ) a fig. 5 – Stav v odměrných válcích po ustálení (pro vytěšnění byly použity ložisková voda sycená  $\text{CO}_2$ ).

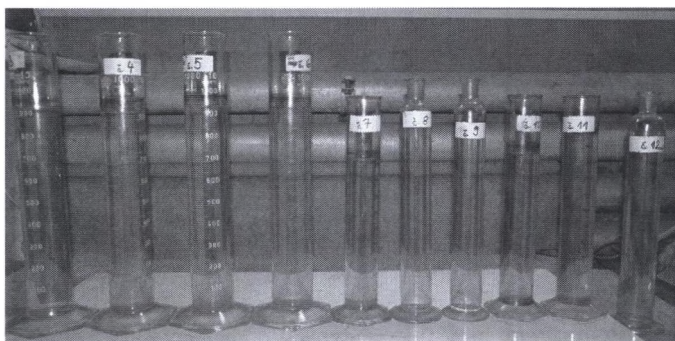


Fig. 4. Odměrné válce po ustálení pitné vody s  $\text{CO}_2$   
 Fig. 4. Measuring cylinders with tap water with  $\text{CO}_2$

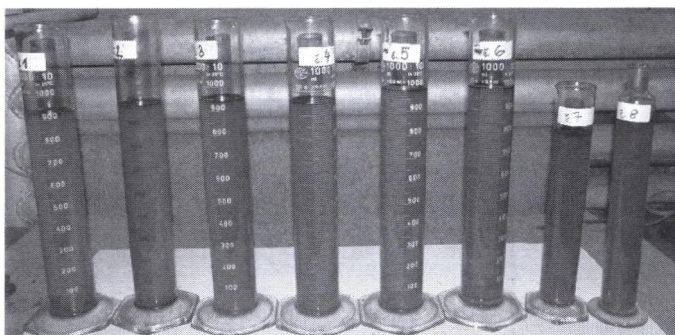


Fig. 5. Odměrné válce po ustálení ložiskové vody s  $\text{CO}_2$   
 Fig. 5. Measuring cylinders with formation water with  $\text{CO}_2$

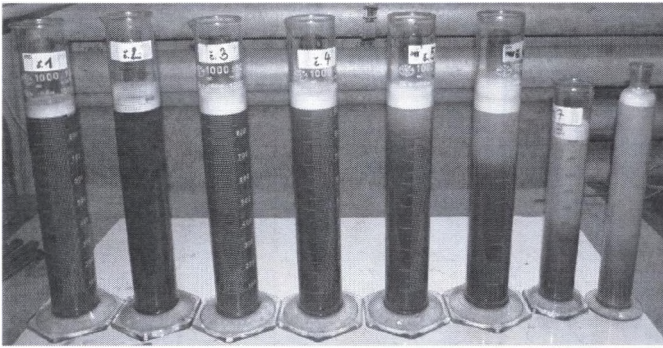
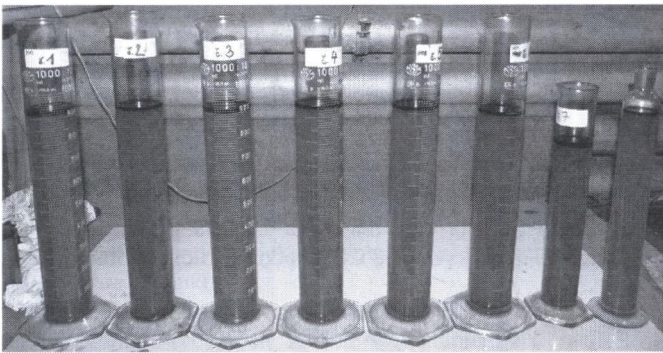


Fig. 6. Odměrné válce ihned po odebrání karbonizované vody

Fig. 6. Measuring cylinders with formation water with oil and CO<sub>2</sub> – immediately after samplingFig. 7. Odměrné válce po ustálení ložiskové vody s CO<sub>2</sub>Fig. 7. Measuring cylinders with formation water with oil and CO<sub>2</sub> – after the settlement

Tabulka 1

Procentní vytěsnění ropy ustálené v odměrných válkách pro jednotlivé pokusy

Čísla odměrných válců	1. pokus	2. pokus	3. pokus	4. pokus
1	0,1	0,5	0,5	3
2	0,1	0,5	0,5	1,5
3	0,1	0,5	0,5	1,5
4	0,1	1	1	1,5
5	0,1	1	1	1,5
6	0,1	0,5	1	1,5
7	0,1	0,5	1	3
8	0,1	0,5	1	2
<b>Celkem vytěsněná ropa v ml</b>	<b>0,8</b>	<b>5</b>	<b>6,5</b>	<b>15,5</b>
<b>Vytěsněná ropa v %</b>	<b>0,06</b>	<b>0,4</b>	<b>0,52</b>	<b>1,2</b>



Při odběru směsi do všech odměrných válců je směs tvořena ropnou emulzí (ložisková voda s ropou, viz. fig. 6) husté pěny a až teprve po té následuje směs karbonizované vody a ropy. Po ustálení lze vidět na fig. 7 již velmi patrné usazení ropy na stěnách odměrných válců.

## 6. Závěr

Ze získaných údajů (viz. tab. č. 1) je zřejmé, že na zvolených pT podmínkách a způsobu vytlačení je vliv CO<sub>2</sub> na zvýšení výtěžitelnosti ropy minimální. Z aplikovaných vodních „valů“ při injektáži pak lepší efekt vykazuje ložisková voda.

Geosekvestrace CO<sub>2</sub> by byla v tomto případě hlavním přínosem. Další výzkum bude probíhat za jiných pT podmínek.

Při přípravě referátu byla použita část materiálu získaná při řešení grantového projektu No. 60-08 (ČBÚ) Možnosti geosekvestrace CO<sub>2</sub> v podmínkách hlubinných dolů.

## LITERATURA

1. Bujok P.: Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava, Řada hornicko – geologická, monografie 10, VŠB – TU, Ostrava 2003.
2. Kubiszová A.: Diplomová práce – Aplikace CO<sub>2</sub> pro zvýšení výtěžitelnosti ložisek s vysoce viskózní ropou, VŠB – TU, Ostrava 2008.
3. Leták projektu CO<sub>2</sub>NET2: Geologické řešení změny klimatu, ČGS, Praha 2007.
4. Nicholls T. – Editor: Fundamentals of Czebon Capture and Storage Technology. The Petroleum Economist Ltd, London 2007.
5. Těžba ropy: <http://www.petroleum.cz/ropa/tezba-ropy.aspx>.

Recenzent: Dr hab. Krzysztof Labus, Politechnika Śląska