

MOŽNOSTÍ APLIKACE CO₂ PRO ZVÝŠENÍ VYTĚŽITELNOSTI LOŽISEK UHLOVODÍKŮ – LABORATORNÍ VÝZKUM

Anotace v ČJ

Emise oxidu uhličitého vznikající antropogenní činností a jejich vzestupné trendy, jsou považovány za jedno z významných nebezpečí pro udržitelný rozvoj lidstva. Vedle úsilí o systematické snižování emisí CO₂, způsoby jeho dalšího využití jsou v současnosti zejména ověřovány možnosti jeho uskladňování ve vhodných geologických formacích. V České republice jsou to zejména: ložiska uhlovodíků, hluboce uložené uhelné sloje, zvodnělé vrstvy a další horninová prostředí v lokalitách hlubinných dolů i mimo ně a hluboce uložené solanky. Vhodným potenciálním úložným prostorem jsou zejména vytěžená i dotěžovaná ložiska ropy a zemního plynu, ve kterých lze injektáží CO₂ (metoda EOR = Enhanced Oil Recovery) zlepšit vytěžitelnost zbytkové ropy o 10 až 15 %. Redukce emisí CO₂, jeho separace a následná sekvestrace v geologických strukturách by výrazně přispěla ke zlepšení životního prostředí. Účinně by tak byl plněn závazek vyplývající z Kjótského protokolu. K řešení jsou použity upravené měřicí aparatury MAF I a RK 1, které jsou k dispozici v laboratořích oddělení techniky průzkumu IGI na HGF VŠB-TUO. V článku jsou uvedeny výsledky laboratorních pokusů aplikace CO₂ při vytěšňování ropy pomocí zmíněných aparatur.

Anotace v AJ

Kateřina Polínková: Application Possibilities of CO₂ to Increase the Recovery of Hydrocarbon Deposits – Laboratory Research.

Emissions of carbon dioxide due to anthropogenic activities and their growing trend are considered to belong to significant hazards to the sustainable development of humankind. Besides the efforts to reduce systematically CO₂ emissions (clean technologies), the methods of CO₂ subsequent utilization and especially the possibilities of its storage in suitable geological formations are verified at present. In the Czech Republic, namely: bearing hydrocarbon stored deep coal seams, aquifers and other rock environments in underground mines as well as locations outside and sunken brine. Suitable potential storage spaces are above all exhausted oil and natural gas deposits as well as those where extraction is being completed, in which the recovery of residual oil can be improved by CO₂ injection (method EOR = Enhanced Oil Recovery) by 10 to 15%. In the ideal case, the benefit of improved recovery may exceed the costs of CO₂ capture and storage. Reduction of CO₂ emissions, its separation and subsequent sequestration in geological structures would significantly contribute to improving the environment. Effectively would be filled with a commitment under the Kyoto Protocol. The solutions are used in the measuring apparatus adapted MAF I, and RK 1, which are available in the laboratories of IGI separation techniques for surveying the HGF VSB-TUO. In the paper, results of laboratory tests of CO₂ applications in the case of oil displacement using the apparatus are described.

Úvod

V poslední době je velmi aktuální téma uskladňování CO₂ a to z důvodu tlaku celosvětové populace v oblasti snižování produkce emisí CO₂. Velkou roli zde hrají celosvětové emise oxidu uhličitého v atmosféře, které pocházejí ze stále rostoucího využívání fosilních paliv.

Důkazy o vlivu lidské činnosti na globální klima jsou stále přesvědčivější. Hladina CO₂ v atmosféře má neustále stoupající tendenci. Rapidní nárůst CO₂ v atmosféře lze počítat od nástupu průmyslové revoluce. I když CO₂ nepatří mezi škodlivé toxické plyny, existují obavy, které se dotýkají zelených rostlin, zda budou moci zabezpečovat rovnováhu chemické vazby CO₂ při fotosyntetické asimilaci. Jestli rostliny vůbec budou schopny stačit takovou to reakci vázat ve stále se zvyšujícím množství CO₂ v atmosféře, protože se stále více snižuje množství zelených rostlin a to z důvodu kácení lesů, ničení zelených ploch či znečištění moří ropou a ropnými látkami [1], [7].

Do roku 2050 se počítá s tím, že celosvětová populace vzroste ze 7 na 9 miliard obyvatelstva Země. A tím pádem světová poptávka po energii podle předpokladů vzroste během příštích 20 let o 50 %. Dnes fosilní paliva (uhlí, ropa a zemní plyn) představují 80 % světového energetického mixu. Obnovitelné zdroje energie tvoří pouze 13 % a jaderná energie představuje jen 6 % z celkové dodávky energie. Počítá se s tím, že do roku 2030 stoupne podíl obnovitelných zdrojů energie na 30 %, ale fosilní paliva zůstanou pořád hlavním zdrojem energie pro příštích desetiletích. Výroba energie z fosilních paliv reprezentuje největší emitent CO₂. Elektrárny na fosilní paliva, těžký průmysl a rafinerie produkují 52 % současných světových emisí CO₂ (15 mld. tun CO₂ ročně).

Aby bylo možné omezit globální změnu klimatu, bude tedy pravděpodobně třeba využít opatření k zredukování skleníkových plynů pomocí zachytávání a ukládání CO₂ (CCS – CO₂ Capture and Storage). Technologie CCS je schopná zajistit až 20 % redukce emisí CO₂ potřebné do roku 2050 k dodržení cíle zabránit zvýšení průměrné teploty o více než 2 °C [2].

V budoucnosti se počítá s výstavbou nových zařízení a infrastruktury: např. elektráren a velkých průmyslových zařízení, která budou vybavena jednotkami pro zachytávání a ukládání CO₂ a produktovody k úložištím pro větší množství CO₂. Pro menší množství a velké vzdálenosti lze využít tankery. Po zachycení je CO₂ stlačen do kapalného, popř. superkritického stavu, zbaven vody a dopraven na místo uložení. [2].

Takovým úložištěm, s využitím přírodních mechanismů, může být vytěžené ložisko uhlovodíků, uhelné souvrství nebo akvifer (zvodněné souvrství). Ložiska uhlovodíků, která jsou obecně dobře prozkoumána, jsou považována za bezpečná úložiště CO₂, protože tyto struktury zadržovaly po milióny let ropu a zemní plyn. Zatlačování CO₂ 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 [2], [4].

Metody těžba uhlovodíků

Při primární těžbě ropy se využívá přirozený ložiskový tlak (vrstevní, vnitřní energie ložiska, jako je tlak plynu, tlak ložiskové vody nebo kombinace těchto energií). Všechny tyto hybné síly vytlačují ropu z kolektorské horniny směrem k těžební sondě. Ropa je těžena samotokem, využívajíce tlakového spádu ve vrtu.

Při nižších hodnotách ložiskového tlaku se používají čerpací zařízení. Výtěžnost při této těžební fázi se pohybuje v rozmezí 30 – 40 % z celkového množství ropy obsažené v ložisku. U vysoce viskózních rop je výtěžnost velmi nízká pohybuje se okolo 5 až 10 % [3].

Druhotné těžební metody představují postupy, které udržují ložiskovou energii při těžbě co nejdéle na původní úrovni. Patří mezi ně zatláčení plynu do plynové čepice

nebo vody do vodního zápolí ropného ložiska. Takto lze zvýšit výtěžnost na 50 – 60%. Terciální metody (fáze) těžby zahrnují různé speciální metody, např. zatláčení „neuhlovodíkových“ plynů do ložiska (např. CO₂, dusíku, spalných plynů), aplikace rozšířených zavodňovacích metod (zatláčení 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 [6].

Laboratorní výzkum

Všechna uváděná měření probíhala na lineárním modelu ložiska MAF I. umístěném v laboratoři oddělení Aplikované geologie IGI HGF VŠB-TUO. Jedná se o zařízení vlastního návrhu a konstrukce pracovníků oddělení techniky průzkumu IGI HGF VŠB-TUO, 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 CO₂ při vytěšňování zbytkové ropy.

Bylo prováděno několik pokusů. Ty první byly provedeny na „starých“ již použitých vsázkách (obdobu aplikace geosekvestrace CO₂ na starých – opuštěných ložiscích ropy). A dále pokusy realizované na nové vsázce (granulometrické složení vsázky 1,0-2,0 mm).

Hlavní částí aparatury MAFu I 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 odvodňovací. Ventil nacházející se v dolní okrajové části modelu je použit jako vlačný. Na protilehlé straně modelu se nachází výpustný 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 MAF I (viz obr. č.1 až 3) je dimenzována na provizorní tlak 0,5 MPa [5].



Ob. č. 1 – Aparatura MAF 1.
(foto autorka)



**Obr. č 2 – Aparatura MAF 1
s tepelnou izolací. Stav před
temperováním (foto autorka).**



**Obr. č. 3 – Pohled na vsázku ve
filtrační komoře po sejmutí
těsnicího víka (foto autorka).**

Výsledky dílčích laboratorních pokusů

Při pokusu byla namíchána vsázka s využitím vodárenského písku (VP) o granulometrické frakci 1,0-2,0 mm. Před vlastní aplikaci na aparatuře MAF I. bylo provedeno orientační měření na odměrném válci (viz. obr. č. 4). Odměrný válec o objemu 1000 ml byl vyplněn vsázkou o váze 2 330 g a následně zavodněn ložiskovou vodou (380 ml). Gravitační filtrační pak z válce odtéklo 245 ml vody. Zbylá ložisková voda (135 ml) zůstala ve vodárenském písku ve formě obalové vody. Poté byl odměrný válec zaplněn ropou a opět byl sledován odtok při gravitační filtraci.

Při tomto postupu vyteklo 65% ropy a 35% ložiskové vody – ze zbytkového sycení. Tyto hodnoty byly použity jako základ pro přípravu ekvivalentního vzorku – výplně MAF I. Filtrační komora MAF I. má objem 17 l. Vsázka byla tvořena 25 980 g vodárenského písku o frakci 0,8 – 1,0 mm, dále 2,3 l ložiskové vody a 4,165 l ropy.

Uvedené složky byly promíchány (viz obr. č. 5) a za neustáleného pěchování a vibrování (viz obr. č. 6) přisypávají do filtrační komory aparatury MAF I. Následně byl sledován samovolný odtok ropy a ložiskové vody (gravitační filtrace). Po jednom dni vyteklo 2,73 l ropy a 0,8 l ložiskové vody (viz obr. č. 7).

Vlastní pokus byl realizován následovně. Vsázka v aparatuře MAF I. byla během dvou dnů nahřátá na teplotu 40°C. CO₂ pak bylo protlačeno filtrační komorou při tlacích 0,05; 0,1 a 0,15 MPa. Množství vytěsněné ropy je dokumentováno na obr. č. 7 až 12 a v tabulce č. 1.

Výsledky měření prováděné na nových vsázkách (ekvivalent ložisek po aplikované primární těžbě) ukazují, že čím vyšší je primární těžba (v lab. podmínkách činila 85%) tím nižší bude úspěšnost navrhovaných druhotných těžebních metod. To platí rovněž pro injektáž CO₂ (viz navýšení vytěžitelného množství o 1%). Využitelný prostor pro sekvestraci CO₂ zde bude prakticky roven prostoru uvolněném primární těžbou [8].



Obr. č. 4 – Odkapané množství ložiskové vody (foto autorka).



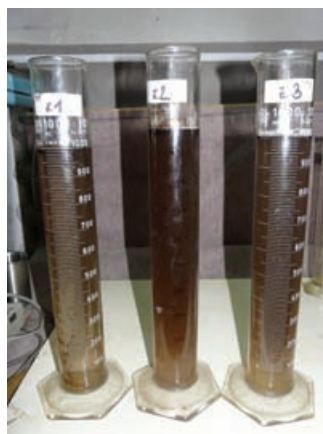
Obr. č. 5 - Namíchaná vsázka (foto autorka).



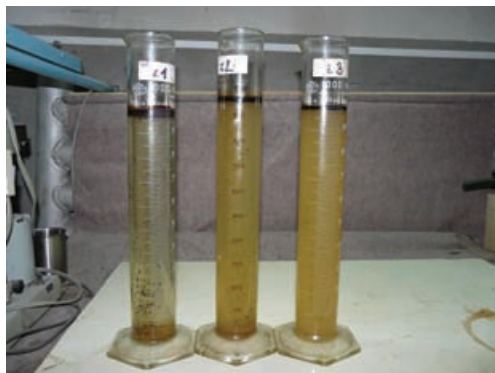
Obr. č. 6 – Vibrační zařízení umístěné na plášti aparatury MAF I (foto autorka).



Obr. č. 7 – Odtokový ventil. Gravitační filtrace – odkapávání ložiskové vody a ropu (foto autorka).



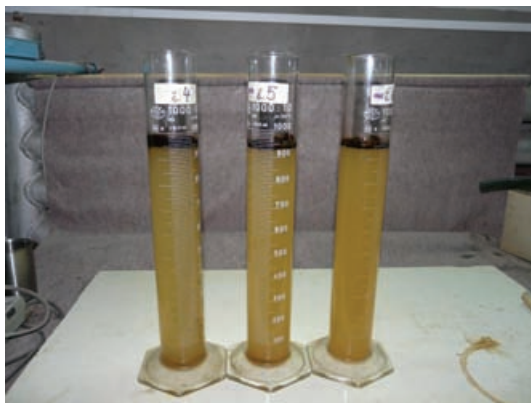
Obr. č. 7 – Směs karbonizované vody ihned po odfiltrování stanoveného objemu směsi při tlaku 0,5 MPa (foto autorka).



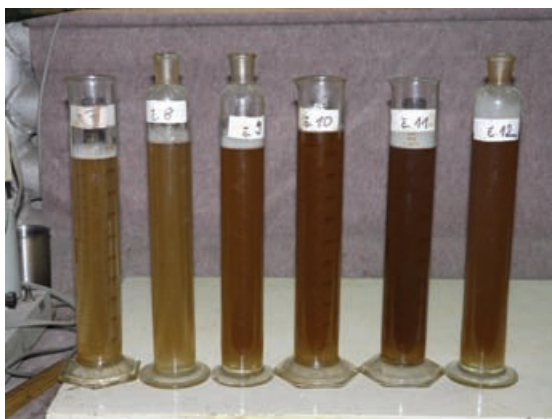
Obr. č. 8 – Odměrné válce při ustálení směsi karbonizované vody (foto autorka).



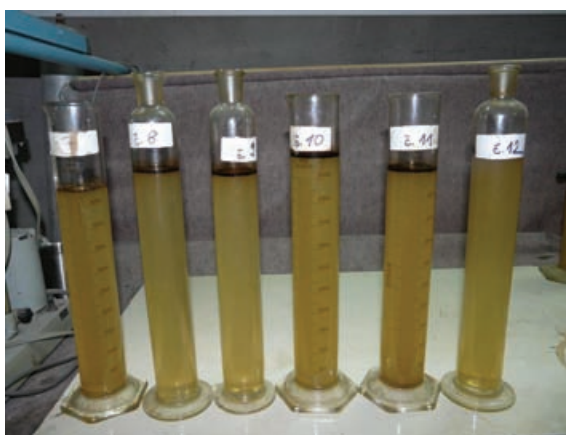
Obr. č. 9 – Směs karbonizované vody ihned po odfiltrování stanoveného objemu směsi při tlaku 1 MPa (foto autorka).



Obr. č. 10 – Odměrné válce po ustálení směsi karbonizované vody (foto autorka).



Obr. č. 11 – Směs karbonizované vody ihned po odfiltrování stanoveného objemu směsi při tlaku 1,5 MPa (foto autorka).



Obr. č. 12 – Odměrné válce po

karbonizované vody (foto autorka).

ustálení směsi

Tabulka č. 1 – Procentní vytěsnění ropy ustálené v odměrných válcích pro druhý pokus (autorka).

Čísla odměrných válců	Jednotlivé pokusy
č. 1	2,5 ml
č. 2	2 ml
č. 3	1,5 ml
č. 4	1,5 ml
č. 5	1,5 ml
č. 6	1,5 ml
č. 7	0,5 ml
č. 8	1 ml
č. 9	1 ml
č. 10	1 ml
č. 11	1,5 ml

č. 12	1,5 ml
Celkem vytěsněná ropa v ml	17 ml
Vytěsněná ropa v %	1,18%

Závěr

Ze získaných údajů (viz tab. č. 1) je zřejmé, že na zvolených pT podmínkách a způsobů vytlačení je vliv CO₂ na zvýšení vytěžitelnosti ropy minimální. Výsledky laboratorních testů, prováděných na lineárním modelu MAF I prokázaly, že CO₂ je vhodným médiem pro zvyšování vytěžitelnosti ropných ložisek se současnou sekvestrací CO₂.

Dále jsem se zabývala problematikou chemické geosekvestrace CO₂ kde po reakci s vodou působí ve formě kyseliny na některé minerály (siderit, živec, kaolinit, ...), dochází k jejich rozpuštění a rekrystalizaci na vzorky minerálů jiných, ve kterých zůstává uhlík chemicky vázán na dobu řádově desítky tisíc let. Bohužel popisovaná aparatura MAF I neumožňuje provádění dlouhodobých testů (test má trvat alespoň 3 – 4 měsíce), a to z důvodu materiálového složení těla komory. Železo by vstupovalo v průběhu dlouhodobého testu intenzívně do reakcí s CO₂ a značně by ovlivnilo a zkreslilo výstupy měření. Samotný výzkum probíhá na Reakční komoře (RK 1), který sestavil výzkumný kolektiv pod vedením prof. Ing. Petra Bujoka, CSc. (z VŠB-TUO). Tato KR 1 umožní sledování dlouhodobých změn probíhajících v horninovém prostředí při geosekvestraci CO₂ a po jeho ukončení. Výzkum bude prováděn rovněž na vzorcích z vybraných lokalit (MND a.s.), případně na vzorcích ekvivalentních. Ověřovány budou rovněž materiály používané v současné době standardně pro vystrojení těžebních sond na ložiscích uhlovodíků.

Literatura:

[1] Bujok, P., (2003): Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava, Řada hornicko – geologická, monografie 10, VŠB – TU Ostrava, Ostrava.

[2] Hladík, V., (2010): Úvod do zachytávání a uskladňování CO₂ (CCS), Workshpo - geologické ukládání CO₂ v České republice – utopie nebo výzva pro budoucnost? Praha.

[3] Kubistova, A., (2008): Aplikace CO₂ pro zvýšení vytěžitelnosti ložisek s vysoce viskózní ropou. Diplomová práce. VŠB-TUO, Ostrava.

[4] Leták projektu CO2NET2, (2007): Geologické řešení změny klimatu, ČGS, Praha.

[5] Polínková, K., Bujok, P.(2009): Laboratory research into possibilities of CO2 application to increative the recovery of hydrocarbon deposits with usage of linear model measures MAF 1. Zeszyty naukowe politechniki slaskiej, Gliwice.

[6] Těžba ropy: <http://www.petroleum.cz/ropa/tezba-ropy.aspx>

[7] Urbanová, T., (2011): Uskladňování CO₂ a možnosti uplatnění v podmínkách Slovenské republiky. Bakalářská práce. Technická univerzita v Košicích, Košice.

[8] Závěrečná zpráva k HS 541 909, (2009): Aplikace CO₂ v odtěžovaných ložiscích uhlovodíků včetně jeho geochemické sekvestraci, Ostrava.