

## STUDIUM Vlivu CO<sub>2</sub> NA VYSTROJENÍ INJEKTÁŽNÍCH SOND A OKOLNÍ HORNINOVÉ PROSTŘEDÍ – LABORATORNÍ VÝZKUM

*Petr Bujok, Martin Klempa, Michal Porzer, Marina Alejandra G. Rodríguez, Petr Pánek*

*Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 17. listopadu 15, 708 00 Ostrava Poruba  
e-mail: petr.bujok@vsb.cz*

*V otázkách netradičního využívání horninového prostředí hrají hlavní roli především těžba zemního plynu z břidlic, intenzifikace těžby konvenčních ložisek uhlovodíků a na ně navazující tercierní těžební metody a geosekvestrace CO<sub>2</sub>. Díky filtračním aparaturám FDS 350 a BPR 350 (Vinci Technology, Francie) je Laboratoř stimulace vrtů a ložisek uhlovodíků při Institutu čistých technologií těžby a užití energetických surovin - ICT (Operační program Výzkum a vývoj pro inovace, č. projektu CZ.1.05/2.1.00/03.0082) schopna např. poskytnout kvalitní údaje o vlivu různých typů médií jako jsou např. polymery nebo CO<sub>2</sub> na vytěžitelnost ložisek uhlovodíků, případně vliv různých typů výplachů na kolektorské vlastnosti dané horniny za ložiskových  $p$ ,  $T$  podmínek. Tyto podmínky je na zmíněných aparaturách možno simulovat až do úrovně 150 °C a 35 MPa. V otázkách sekvestrace CO<sub>2</sub> se jedná o specifický laboratorní výzkum vlivu na vystrojení vtláčecích sond, cementaci a okolní horninové prostředí.*

*Klíčová slova: sekvestrace CO<sub>2</sub>, laboratorní výzkum*

Došlo 17. 11. 2014, přijato

### 1. Úvod

Emise CO<sub>2</sub> vznikající lidskou činností – tzv. antropogenní emise CO<sub>2</sub> a jejich vzestupný trend, jsou považovány za vážné nebezpečí pro udržitelný vývoj lidstva a jejich omezování za nezbytnou podmínku ochrany životního prostředí. Oxid uhličitý je významný z plynů způsobujících skleníkový efekt, který se projevuje oteplováním zemského povrchu v důsledku změny toků tepelného záření mezi zemí a atmosférou.

Potenciálním úložným prostorem mohou být vytěžena i aktivně produkující ložiska ropy a zemního plynu, ve kterých lze injecktáží CO<sub>2</sub> (metoda EOR = Enhanced Oil Recovery) zlepšit výtěžnost zbytkové ropy o 10 až 15 %. Ložiska ropy jsou výhodnou variantou, protože před vlastní těžbou byly vrstvy s uhlovodíky těsně uzavřeny v měřítku geologického času a obdobně může být „uzavřena“ i oxid uhličitý. Další výhodou je jejich vysoká prozkoumanost a tedy dostatek informací pro výběr vhodné lokality pro ukládání CO<sub>2</sub>. Samotné ukládání je tedy závislé na pórovém prostoru uvolněném po odtěžení ropy a dalším pórovém prostoru vyplněném vodou ležícím pod roponosnými vrstvami.

Vyčerpaná ložiska po těžbě zemního plynu představují vhodné pórové, horninové struktury jak pro sekvestraci CO<sub>2</sub>, tak pro zřízení podzemních zásobníků dováženého zemního plynu.

### 2. Podmínky pro geosekvestraci CO<sub>2</sub> v uhlovodíkových ložiscích

Prakticky každé ložisko ropy a zemního plynu je využitelné pro skládkování tekutých odpadů, tedy i CO<sub>2</sub>, protože splňuje základní podmínku této činnosti, a tou je hydrodynamická uzavřenost obzoru. Při výběru injecktážní zóny je potřeba provést detailní geologický, hydrogeologický a geochemický průzkum. Nedílnou

součástí při výběru injecktážní zóny je také zjištění a zhodnocení technického stavu injecktážních sond i ostatních vrtů, protože špatný technický stav vrtů a sond může zapříčinit znehodnocení injecktážní zóny.

#### 2.1. Možnosti sekvestrace CO<sub>2</sub> ke zvýšení výtěžnosti ropy

V současné době je používáno členění na tři základní typy těžebních metod – a to primární, sekundární a tercierní. Aplikace CO<sub>2</sub> je řazena mezi tzv. **tercierní těžební metody** označované také zkratkou **EOR** (Enhanced Oil Recovery). Vytěšňování ropy pomocí CO<sub>2</sub> závisí na mechanismech spojených s fázovým chováním směsi CO<sub>2</sub> a ropy, které je silně závislé na ložiskové teplotě, tlaku a také složení ropy.

Při ložiskovém tlaku nižším než 6,89 MPa spočívá efekt výtěžnosti ropy pomocí zatlačeného CO<sub>2</sub> na **rozpuštění plynu v ropě** (nemísitelný proces). Při ložiskovém tlaku nad 6,89 MPa lze pozorovat několik charakteristik fázového chování oxidu uhličitého. Jestliže ložiskový tlak spadá do příznivých teplotně tlakových oblastí, dochází podle Holma a Josendala [1] k podstatnému **odpařování uhlovodíků** obsažených v ropě působením plynného CO<sub>2</sub>. Tito autoři se shodují s Yelligem a Mecalfem [2] v tom, že při ideálních podmínkách může nastat **proces mísení CO<sub>2</sub> a ropy**. V ložisku s příznivými charakteristikami může CO<sub>2</sub> kondenzovat do ropy a tak společně vytvořit **kapalné směsi** bohaté na CO<sub>2</sub>. K tomuto výskytu vícero kapalných fází dochází při nízkých ložiskových teplotách (pod 50 °C) a tlacích větších než 6,89 MPa. Při ložiskových teplotách pod kritickou teplotou CO<sub>2</sub> (31 °C), převládají mechanismy vytěšňování kapaliny kapalinou, kde rozpouštěcí činnost **kapalného CO<sub>2</sub>** odebírá uhlovodíky z ropy.

Určení toho, jestli se CO<sub>2</sub> bude rozpouštět v ropné fázi a nezpůsobovat mísitelnost, kondenzovat ve významných množstvích a vytvářet více kapalných fází bohatých na CO<sub>2</sub>, vytěšňovat ropu podobně jako rozpouštědlo, odpařovat ropu anebo vytěšňovat ropu mísitelným procesem, je závislé na fázové rovnováze systému CO<sub>2</sub> a ložiskové kapaliny.

## 2.2. Vliv fyzikálních vlastností CO<sub>2</sub> na zvýšení výtěžnosti ropy

Kritická teplota oxidu uhličitého je 31,1 °C a kritický tlak 7,38 MPa. Většina případů vytěšňování ropy pomocí **mísitelného procesu** s CO<sub>2</sub> se odehrává při teplotě, která představuje hodnotu kritické teploty, a kdy CO<sub>2</sub> je plynem a dosahuje vysokou měrnou hmotnost.

Měrné hmotnosti ropy a CO<sub>2</sub> jsou si velmi blízké při mnohých ložiskových podmínkách. V závislosti na dané teplotě, tlaku a složení ropy, může mít CO<sub>2</sub> menší, nebo dokonce i větší měrnou hmotnost než ropa.

V případě, že oxid uhličitý má výrazně menší měrnou hmotnost než ropa a kolektorská hornina má značnou vertikální propustnost, dochází vlivem rozdílů měrných hmotností k tzv. gravitační segregaci. Ta způsobí, že CO<sub>2</sub> bude přednostně proudit do vrchní části obzoru ložiska a ropu ve spodní části nebude vytěšňovat směrem k sondám, čímž se podstatně sníží výtěžnost ropy.

Při teplotách, které se v ložiscích vyskytují, se viskozita CO<sub>2</sub> blíží více k viskozitě plynu než k viskozitě kapaliny. Protože se plyny obecně mohou pohybovat v roponosném kolektoru snadněji než ropa samotná, dochází ke vzniku tzv. viskózních jazyků, kterými CO<sub>2</sub> předčasně proniká do těžebních sond a tím snižuje efekt vytěšňování ropy.

Oxid uhličitý je *rozpustný ve vodě*, a proto se část CO<sub>2</sub> rozpouští jednak ve vodě nacházející se v pórovém prostředí kolektorské horniny, ale i ve vodě, která se vtlačí spolu s CO<sub>2</sub> pro snížení jeho mobility. Tento fakt zmenšuje objem CO<sub>2</sub>, který je potom dostupný pro samotný proces vytěšňování ropy. Rozpustnost CO<sub>2</sub> ve vodě se zvyšuje se zvyšujícím se tlakem a zmenšuje se zvyšující se teplotou. Rozpustnost v ložiskové vodě se zmenšuje se zvyšující se salinitou ložiskové vody.

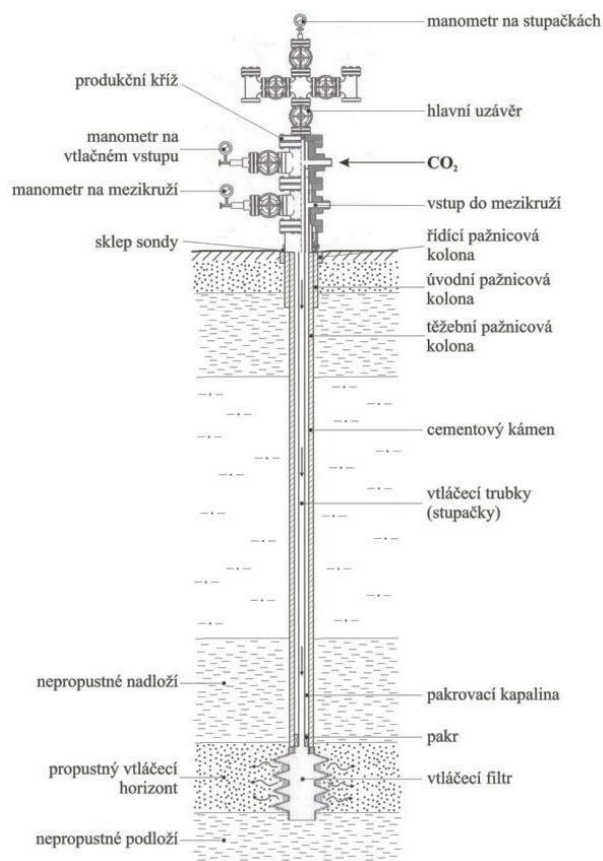
## 2.3. Fyzikálně – chemické vlastnosti uskladňovacího prostředí při zvyšování výtěžnosti ropy sekvestrací CO<sub>2</sub>

Pro geosekvestraci CO<sub>2</sub> je nezbytně nutné znát podrobně ložiskové prostředí (kolektorské horniny) a tekutiny, jež je vyplňují (ropa). Z **fyzikálně-chemických vlastností hornin tvořících kolektorské (propustné) vrstvy** vhodné ke vtlačení CO<sub>2</sub> to jsou např. pórovitost (velikost pórů, tvar pórů), propustnost (celková, fázová, efektivní), nasycenost, mineralogické složení kolektorských hornin, smáčitelnost (ropofilnost, ropofóbnost), schopnost reakce se zatlačeným CO<sub>2</sub>, hloubka uložení, ložiskový tlak a ložisková teplota (ve vztahu k reakcím s karbonáty). Základní **fyzikálně-chemické vlastnosti ropy jsou** hustota (resp. složení), viskozita, povrchové napětí a schopnost pohlcovat plyny (vazba na hloubku

uložení – p,T podmínky). Nedílnou součástí systému je i **přítomnost ložiskové vody v pórech**. Je nutné znát, zda se jedná o vodu pevně vázanou, hydroskopickou či volně vázanou.

## 3. Konstrukce a vystrojení sond určených pro geosekvestraci CO<sub>2</sub> v ložiscích uhlovodíků

Jak bylo výše zmíněno, u již těžených, dotěžovaných nebo opuštěných ložisek uhlovodíků je zaručena těsnost těžených horizontů. Jedná se tedy z geologického hlediska o ideální úložiště CO<sub>2</sub>. Rizika uskladňování představují zejména staré, špatně zlikvidované sondy, popř. sondy historicky zapomenuté nebo sondy špatně vystrojené. Při nekvalitní nebo vůbec žádné cementaci hrozí zapažnicová komunikace. Dalším rizikem je koroze vystrojení. Při konverzi ložiska bude nutné veškeré sondy dohledat a zkontrolovat jejich těsnost a případně je převystrojit a vybavit je několika stupňovou ochranou před úniky (pakry, pakrovací kapaliny, podzemní ventily). To samé se týká i nově konstruovaných vtlačných sond. Na obr. č. 1 je uvedeno schéma vtlačecí sondy.



Obr. 1 Konstrukce vtlačecí sondy

U dotěžovaných ložisek ropy se musí vycházet při návrhu vystrojení vtlačecích (injektážních) sond ze dvou alternativ. V prvním se musí pro potřeby injektáže CO<sub>2</sub> analyzovat možnost využití stávajících sond, včetně

revize jejich technického stavu. Druhá alternativa odpovídá návrhu konstrukce a vystrojení nové injektážní sondy. Dále je třeba velmi podrobně zjistit, jaký korozní vliv má CO<sub>2</sub> na vystrojení sond a přípočvovou zónu (kontakt hornina x cement x pažnice, resp. stupačka, resp. pakr).

#### 4. Laboratorní výzkum vlivu CO<sub>2</sub> na vystrojení injektážních sond

Vlastní laboratorní výzkum byl prováděn za účelem ověření dlouhodobého působení CO<sub>2</sub> za tlakově-teplotních podmínek (p,T podmínky) „in situ“ na horninové materiály, kovové vystrojení vrtů a cementy používané při cementačních operacích.

K vytvoření p,T podmínek ve sledovaných hloubkových úrovních byla použita reakční komora RK 1 $\alpha$  (obr. č. 2). Použitá laboratorní aparatura je umístěna v laboratořích Oddělení aplikované geologie, Institutu geologického inženýrství HGF, VŠB-TU Ostrava.

Výzkum probíhá na připravených vzorcích (pažnice, pakr, stupačky, cementy, atd.) za vrstevních tlaků a teplot a za dynamických podmínek působení CO<sub>2</sub>. Chemické reakce jsou průběžně sledovány prostřednictvím změn pH faktoru tekutinové náplně pomocí speciálně upravených elektrod a dále analytickými rozbory odebraných vzorků.

Reakční komora je válcová nádoba o vnějším průměru 169 mm a délky 955 mm, svařená z pláště vyrobeného z kulatiny a přírub DN150 PN160. Víka (zaslepené příruby DN150 PN160) jsou vyrobena z nerezové oceli. Aparatura je rozdělena na dvě části, v nichž se nacházejí reakční cely A, B. Vnitřní průměr reakčních cel A, B je 141 mm, délka cel je 368 mm. Vnitřek cel je opatřen ochranným nátěrem a cely jsou dále vyvločkovány umělohmotnými, případně nerezovými válci s lemem. Vyvločkování je inertní vůči CO<sub>2</sub> [3].

Nejvyšší provozní tlak má hodnotu 16 MPa. Rozsah provozních teplot 5° - 80 °C. Ohřev reakční komory je zabezpečen pomocí teplotní spirály. Provozní médium může být voda, uhlovodíky, CO<sub>2</sub>, dusík. Dynamické podmínky geohydrodynamického systému jsou simulovány změnou polohy reakční komory dvěma výkyvy za den (nastavení bylo použito při řešení problematiky geosekvestrace CO<sub>2</sub>). Změny polohy jsou zabezpečeny pomocí výkyvného mechanismu poháněného elektromotorem.

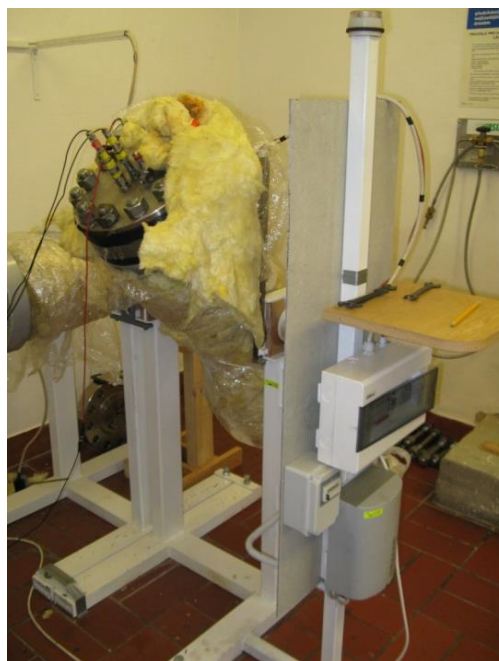
##### 4.1. Testování vzorků cementu používaného pro cementaci mezikruží

Pro vlastní laboratorní testování byla zvolena cementová směs, která se v praxi běžně užívá pro cementování mezikruží, úhybových mostků aj. (typ cementu CEM II/B-S 32,5). K reakčnímu pokusu bylo využito mineralizované ložiskové vody ze střediska Ždánice.

Po jednoměsíčním období zrání připravených vzorků bylo přistoupeno k dlouhodobému laboratornímu pokusu. Do reakční komory RK 1 $\alpha$  byly vloženy připravené vzorkovnice s danými vzorky vyžralých

cementů. Zbýlý prostor cely reakční komory byl vyplněn ložiskovou vodou ze SNPS Ždánice a hermeticky utěsněn nerezovým víkem. Komora byla po uzavření zahřátá na teplotu 80 °C a natlakována čistým CO<sub>2</sub> na hodnotu 150 bar (15 MPa). Za takto nadefinovaných podmínek byly vzorky cementu vystaveny po dobu 85 dní.

Laboratorní měření prokázala, že opravdu extrémní teplotně tlakové podmínky (80 °C, 15 MPa) za současného vlivu CO<sub>2</sub> se výrazně podepisují na pevnostních charakteristikách vzorků cementů. Pokud srovnáme vliv působení CO<sub>2</sub> na cementové vzorky za podmínek 80 °C a 15 MPa se vzorky cementů, které nebyly vystaveny žádným teplotně tlakovým podmínkám a ani vlivu CO<sub>2</sub>, dostáváme ucelenou představu o možných problémech, které mohou nastat při poloprovozních, případně provozních zkouškách vtlačení CO<sub>2</sub> do ložiska ropy z důvodů zvýšení výtěžnosti (EOR) nebo z důvodů trvalého geologického uložení. Pevnost v prostém tlaku u testovaných cementů nevystaveným žádným extrémním podmínkám odpovídá v průměru hodnotě 55,3 MPa. U obdobných vzorků cementů, vystaveným tlaku 15 MPa, teplotě 80 °C a vlivu CO<sub>2</sub>, klesá hodnota v prostém tlaku na 30,7 MPa.



Obr. 2 Reakční komora RK 1 $\alpha$

##### 4.2. Testování vlivu CO<sub>2</sub> na vystrojení sond – stupačky a pažnice

Materiálové vzorky použité při laboratorních pokusech jsou reprezentovány výřezy ze stupaček a pažnic. p,T podmínky odpovídají hodnotám „in situ“: p = 15 MPa a T = 80 °C. Testování probíhalo obdobně jako u cementových vzorků. Ze stupaček a pažnic byly vyřezány vzorky o čtvercovém půdorysu o straně délky 5 cm.

Vzorky byly umístěny do cel A, B reakční komory RK1a. Cely byly vyvločkovány vnitřními nerezovými ochrannými válci. Vodní prostředí bylo vytvořeno ložiskovou vodou z ložiska Ždánice. Po 85 dnech byly vzorky z reakční komory vyzvednuty a analyzovány. Proběhlo srovnání stavu materiálu před reakcí a po reakci.

Vlastní výzkum byl prováděn s využitím řádkovacího elektronového mikroskopu firmy Hitachi S-4200, vybaveného systémem EDS (firmy Thermo), který umožňuje mikroanalýzu vzorků. K analýze byly dodány dvě sady vzorků a to – bez reakce s  $\text{CO}_2$  a po reakci s  $\text{CO}_2$ . Při výzkumu byla použita technika sekundárních elektronů (SE) za urychlovacího napětí 15 kV.

Sledování bylo prováděno jednak přímo na povrchu zkoumaných vzorků, jednak na upravených površích dvojího druhu a to bez aplikace leptání a s aplikací leptání (použitý roztok 98%  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$  + 2%  $\text{HNO}_3$ ) a dále na odebraných vzorcích z korozní vrstvy. Vzorky byly před výzkumem očištěny v ultrazvukové lázni a následně vysušeny.

Charakteristickým rysem vzorků z korozní vrstvičky odebraných z **povrchů materiálů bez reakce s  $\text{CO}_2$**  byla dominantní přítomnost oxidu železa. Byla zjištěna rovněž přítomnost manganu, křemíku a vápníku, stopově se vyskytovaly rovněž – síra, draslík, chlór a sodík. Vzorky z korozní vrstvičky odebrané z **povrchů materiálů po reakci** jsou charakteristické podobným chemickým složením. Navíc se v těchto vzorcích vyskytovala místa silně obohacená chlórem a rovněž místa obohacená hlavně hliníkem, křemíkem a kyslíkem. Chemické složení těchto „oblastí“ odpovídá hlinítko-křemičitanům (oxumosilikátům).

Sledování vlivu koroze na „mateční“ materiál vzorků bylo prováděno rovněž na **příčných řezech** vzorků (po vybroušení a naleštění). Ve všech případech pozorování bylo zjištěno, že korozní vrstvička není souvislá a neochraňuje tedy materiál před další korozi. V jednom vzorku byla zaregistrována přítomnost bodové (důlkové-pittingové) koroze. V dalším vzorku není sice důlková koroze tak výrazná, ale jsou zde patrná místa, kde se produkty koroze vyskytují hlouběji v materiálu pod korozní vrstvičkou. Tyto počínající trhliny by se mohly při „pobytu“ materiálu v korozivním prostředí šířit dále do materiálu a způsobovat jeho korozní praskání.

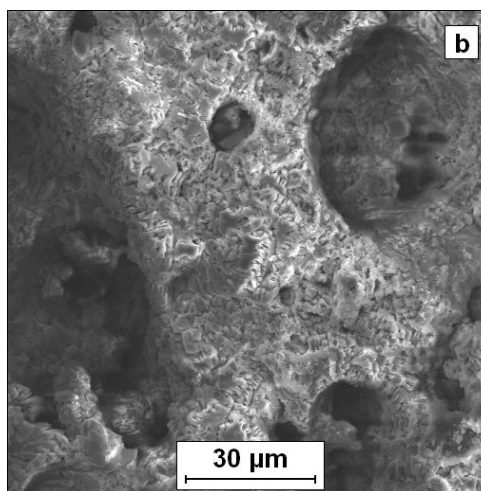
Korozní vrstvička pozorovaná na příčném řezu materiálem – **bez reakce s  $\text{CO}_2$**  je tvořena oxidy železa. V některých zkoumaných bodech byly ještě zjištěny přítomnosti malých množství křemíku a manganu (do 2 % objemových). Na dalším vzorku je složení korozní vrstvičky velmi podobné, je složena hlavně z oxidu železa, v malém množství se zde nachází rovněž chlór, vápník, síra, křemík a mangan.

V materiálových vzorcích zkoumaných **po reakci s  $\text{CO}_2$**  (viz obr. č. 3 a č. 4) je korozní vrstvička složena ze dvou poloh. Svrchní poloha je značně obohacena vápníkem (cca 10 % objemové hmotnosti). Ve vnitřní poloze nepřekračuje jeho obsah 2 % (objemových).

Dále se zde ve velmi malém množství vyskytuje buď síra, nebo olovo (při těchto malých množstvích nelze přesně určit, o který prvek se jedná). Tento výskyt síry nebo olova však byl ojedinělý a u jiných vzorků z vnitřní polohy nebyl zaznamenán. Dále byl u těchto vzorků zkoumaných po reakci s  $\text{CO}_2$  zaznamenán pod korozní vrstvičkou zvýšený obsah chlóru.



Obr. 3 Vzorek stupačky po reakci s  $\text{CO}_2$



Obr. 4 Detail povrchu stupačky po reakci s  $\text{CO}_2$

## 5. Stanovování petrofyzikálních vlastností hornin – další možnosti výzkumu geosekvestrace $\text{CO}_2$

V otázkách netradičního využívání horninového prostředí hrají hlavní roli především těžba zemního plynu z břidlic, intenzifikace těžby konvenčních ložisek uhlovodíků a na ně navazující tercierní těžební metody a geosekvestrace  $\text{CO}_2$ . Díky filtračním aparaturám FDS 350 a BPR 350 a také Automatickému porozimetro a permeometru (Vinci Technology, Francie) je Laboratoř

stimulace vrtů a ložisek uhlovodíků při VŠB – TU Ostrava schopna poskytnout kvalitní údaje o vlivu různých typů médií jako jsou např. polymery nebo CO<sub>2</sub> na vytěžitelnost ložisek uhlovodíků, případně vliv různých typů výplachů na kolektorské vlastnosti dané horniny za ložiskových  $p$ ,  $T$  podmínek. Tyto podmínky je na zmíněných aparaturách možno simulovat až do úrovně 150 °C a 35 MPa.

Pro petrofyzikální analýzu vzorků hornin ovlivněných sekvestrací CO<sub>2</sub> laboratoř využívá zejména Automatický permeametr a porozimetr, který má měřící rozsah pro porozitu  $\phi = 0,01 - 60 \%$  a  $K_a = 0,1$  až 5000 mD pro permeabilitu. Tlakové podmínky ložiska je přístroj schopen nasimulovat až do úrovně 69 MPa. Permeametry BPR 350 (obr. č. 5) a FDS 350 (Benchtop Relative Permeameter 350 a Fracture Damage System 350) mají citlivost stanovení propustnosti v řádu 0,01 mD. Svým rozsahem výše zmíněné laboratorní vybavení bez problému zachycuje možné hodnoty kolektorských parametrů zkoumaných hornin např. potenciálních ložisek břidlicového plynu.



Obr. 5 Fázový permeametr BRP 350 (VINCI, Francie)

## 6. Závěr

Zachycování a ukládání CO<sub>2</sub> (CCS technologie) je koncepcí zachycování CO<sub>2</sub> z emisí ze zdrojů jako jsou elektrárny, ocelárny nebo cementárny. Oxid uhličitý je separován z emisí, sloučenin a transportován do úložiště ve vhodné geologické struktuře (geologická sekvestrace CO<sub>2</sub>). Teoreticky může být technologie CCS aplikována na všechna fosilní paliva nebo biomasu. O této technologii lze říct, že umožňuje další využívání fosilních paliv a současně omezuje emise CO<sub>2</sub> do atmosféry.

Integrita vrtu je jedním z nejdůležitějších činitelů, který nejvýrazněji přispívá k možnosti úniku CO<sub>2</sub> z podzemního zásobníku. Stvol vrtu tedy představuje při geosekvestraci nejpravděpodobnější cestu, kterou může CO<sub>2</sub> ze zásobníku unikat. Proto je jedním z hlavních cílů naší práce analyzovat možná rizika úniku a navrhnout určitá opatření.

Jak u zlikvidovaných, tak u aktivních zapažených vrtů, se vyskytují možné cesty, kudy může tekutina

z vrtu unikat. Především jsou to možné úniky na rozhraní materiálů, jako mezi cementem a vnější plochou pažnic, mezi cementem a vnitřní plochou pažnic, prostorem na styku cementu a horniny tvořící stěnu vrtu, a dále také v samotném materiálu, především vlivem nespojitostí, jako skrze kapiláry v cementu, skrz proražené nebo zkorodované pažnice, nebo prasklinami v cementaci mezikruží. V současné době je prozatím výzkum interakce CO<sub>2</sub> na vystrojení sondy a horninového prostředí ukončen. Dílčí výsledky jsou uvedeny v tomto článku.

Celistvost a propustnost cementu v mezikruží aktivních a v cementových mostcích zlikvidovaných vrtů je tedy zásadním parametrem, který ovlivňuje efektivitu utěsnění proti únikům tekutin z horninového prostředí. V případě injektování a uskladňování CO<sub>2</sub> je třeba, aby si cement použitý k utěsnění vrtu dokázal zachovat velmi nízkou permeabilitu po dosti dlouhém období za působení CO<sub>2</sub> při ložiskových  $p, T$  podmínkách. Při dlouhodobé geosekvestraci CO<sub>2</sub> se použitý materiál dostává do kontaktu se superkritickým CO<sub>2</sub> a solankou za zvýšeného tlaku a teploty a nízkého pH [4].

Největší riziko úniku CO<sub>2</sub> tedy hrozí prostřednictvím původních vrtů, které zasahují do cíleného horizontu zásobníku, což je typické u ložisek ropy a zemního plynu. Tyto vrtu musí být řádně zlikvidovány, aby jejich prostřednictvím nevznikaly cesty pro únik CO<sub>2</sub> zpět do atmosféry, a tedy při plánování podzemního uskladňování CO<sub>2</sub> je nutné s těmito vrtu počítat.

U provozních sond působí CO<sub>2</sub> korozivně na součásti, které s ním přicházejí do kontaktu, což jsou zejména stupačky, pažnice a filtry, které se nacházejí pod zapakovanou částí těžební pažnicové kolony. Výzkum vlivu CO<sub>2</sub> na vystrojení sond potvrdil tyto závěry a byl již ukončen. Součástí výzkumu bylo i zkušební ošetření kovového vzorku ochranným nátěrem (dvojsložková epoxy-akrylová barva). Ukázalo se tedy, že tento způsob ochrany je pouze dočasný. Nátěr na vzorcích po delší době zbudinkovatěl a odchlípoval se. Koroze vystrojení tak může být omezena zejména použitím nekorozivních materiálů, jako chromem vysoce legovaná ocel, nebo zainjektováním inhibitoru koroze v případě použití uhlíkové oceli.

Vtláčeční a v podstatě jakékoli sondy procházející skrze izolátory musí být schopny vykazat velmi dlouhodobou izolační schopnost. Jedním z výsledků výzkumu je, že chemické reakce probíhající mezi vtláčeným CO<sub>2</sub> a cementem mohou zapříčinit ztrátu vlastností cementu a následný únik CO<sub>2</sub>. Zdá se, že nejdůležitějším parametrem pro účinnost ukládání CO<sub>2</sub> je integrita a celistvost rozhraní cement - pažnice, cement - horninové prostředí. Snížení podílu portlandského cementu ve prospěch pucolánových přísad snižuje propustnost cementu a reaktivní přísady snižují množství přítomného Ca(OH)<sub>2</sub> a změna skladby CSH na více odolnou proti působení CO<sub>2</sub> může zmírnit nepříznivé projevy karbonizace na mechanické vlastnosti cementu a těsnost sondy.

**Poděkování**

Článek byl vypracován v rámci projektu ICT CZ.1.05/2.1.00/03.0082 (Institut čistých technologií těžby a užití energetických surovin) financovaný Evropskou unií a z prostředků státního rozpočtu prostřednictvím Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy.

**Literatura**

1. Holm, L. W.; Josendal, V. A.: Discussion of determination and prediction of CO<sub>2</sub> minimum miscibility pressures. *Journal of Petroleum Technology*, May 1980.
2. Yellig, W. F.; Metcalfe, R. S.: Determination and prediction of CO<sub>2</sub> minimum miscibility pressure. *Journal of Petroleum Technology*, January 1980.
3. Klempa, M.; Porzer, M.; Bujok, P.; Sancer, J.; Panek, P.: The laboratory research of CO<sub>2</sub> influence to cement labels used in drilling industry. 12<sup>th</sup> International Multidisciplinary Scientific Geoconference (SGEM 2012), Vol 2, pages 519 – 525, June 17 – 23, 2012, Albena, Bulgaria. ISSN 1314-2704.
4. Brandl, A.; Cutler, J.; Seholm, A.; Sansil, M.; Braun, G.: Cementing solution for corrosive well environments. *SPE Drilling & Completion*, Society Petroleum Engineers, June 2011. SPE 132228.
5. Bujok, P.; Klempa, M.; Porzer, M.; Pavlus, J.; Skupien, P.: Determination of rock samples characteristics from the exploration perspective of the natural gas from unconventional types of deposits. 13<sup>th</sup> International Multidisciplinary Scientific Geoconference (SGEM 2013), Vol 2, pages 945 – 950, June 16 – 22, 2013, Albena, Bulgaria. ISSN 13142704, ISBN 978-954918187-6.
6. Labus, K.; Bujok, P.: CO<sub>2</sub> mineral sequestration mechanisms and capacity of saline aquifers of the Upper Silesian Coal Basin (Central Europe) – modelling and experimental verification. *Energy* 36, Elsevier 2011.
7. Labus, K., Bujok, P.: Abandoned Coal Mines – Source of Unconventional Forms of Energy & Space for CO<sub>2</sub> Geosequestration. 24<sup>th</sup> World Gas Conference, Reviewing the Strategies for Natural Gas, Argentina, 5-9 October, 2009.
8. O'Dell, P. M.; Lindsey, K. C.: Uncertainty management in a major CO<sub>2</sub> EOR project. Abu Dhabi Petroleum Exhibition & Conference, UEA, 1 – 4 November 2010. SPE 137998.
9. Pinka, J., Sidorová, M., Marcin, M.: Formation Damage Effects in Weakly Consolidated Formation and Innovative Screens for Sand Control in a Horizontal Well Completion. *Proceeding 12<sup>th</sup> International Scientific and Technical Conference*, Tom II, Krakov, Polsko, 2001.

**Summary**

*Petr Bujok, Martin Klempa, Michal Porzer, Marina Alejandra G. Rodríguez, Petr Pánek*  
VSB – Technical University of Ostrava

***Study of the influence CO<sub>2</sub> for the armament of the injection wells and the surrounding rock massive – laboratory research***

Capture and storage of carbon dioxide (CCS - Carbon Capture and Storage) is considered one of the possible solutions to at least partially reduce CO<sub>2</sub> emissions from human activities, yet benefit from this activity secondary gain in the form of e.g. increasing the yield of some oil fields. The aim of this work is to evaluate the current state of knowledge of these issues, which includes technical, scientific, environmental and social dimension of storage and propose technical solutions outfit for CO<sub>2</sub> injection wells.