

**VÝZKUM VLASTNOSTI NADRZNICH HORNIN A MATERIALOVÝCH  
VZORKU V LABORATORI STIMULACE VRTU A LOŽISEK  
UHLOVODIKU**

Díky OP Výzkum a vývoj pro inovace vznikl projekt ICT – Institut čistých technologií těžby a užití energetických surovin CZ.1.05/2.1.00/03.0082, který má za úkol se věnovat výzkumu problematiky těžby a užití energetických surovin i dalšího využití horninového prostředí při zajištění udržitelného rozvoje a požadavku na maximální surovinovou soběstačnost. V rámci výzkumného programu Vícefázové horninové prostředí vznikla unikátní Laboratoř stimulace vrtů a ložisek uhlovodíků. Díky nejmodernějšímu laboratornímu vybavení je laboratoř schopna měřit fázové propustnosti horninových vzorků a technických materiálů za podmínek in situ. Dále se zabývá geosekvestrací CO<sub>2</sub> v uhelných slojích a doprovodných propustných vrstvách v návaznosti na těžbu slojového metanu. Je schopna i charakterizovat ropy a jejich deriváty (frakcionace SARA, stanovení viskozity, obsah asfalténů a pryskyřic, aromatických podílů, stanovení střední hodnoty molekulových hmotností, stanovení agregačního faktoru, destilační křivky, aj.). Dále v rámci výzkumu je laboratoř schopna vyhodnotit poškození, popř. ovlivnění přípočvové zóny vrtu při všech fázích vrtání a těžby (kyselinování, zavádění PAL, čištění). V neposlední řadě je schopna i posoudit vhodnost aplikace povrchově aktivních látek a polymerů pro potřeby zvýšení vytěžitelnosti ložisek uhlovodíků. V kombinaci s některými dalšími pracovišti Hornicko – geologické fakulty pracovníci laboratoře stanovují veškeré potřebné parametry pro určování kvality ložisek tzv. Shale Gas, jako jsou TOC (celkové množství organického uhlíku), nasycenost, odraznost vitrinitu, mineralogické složení, vázanost plynu, permeabilitu a nasycenost.

K základnímu laboratornímu vybavení, které má laboratoř k dispozici patří mono a di fázové permeametry (BRP 350, FDS 350), kapilarimetr a retortová pec, vše od firmy Vinci Tech. (Francie), tenziometr (100MK 2 firmy Krüss), hustoměr (DMA 4500 firmy Anton Paar) aj. Toto laboratorní vybavení je v rámci Evropy jedinečné a unikátní.

Na příklad 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 je Laboratoř stimulace vrtů a ložisek uhlovodíků 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.

S rozvojem průzkumu potenciálních akumulací zemního plynu v břidlicích zejména v Polsku, Argentině, Chile, Rusku, Jihoafrické republice a dalších zemích nabývá problematika kvalitního laboratorního výzkumu horninových vzorků z potencionálních lokalit na významu. O ložiskovém potenciálu dané horninové formace vypovídají především (Dvořáková, 2011):

- TOC (Total Organic Carbon), odraznost vitrinitu;
- pórovitost, permeabilita, nasycení a typ tekutin;
- znalost termálního vývoje.

Celkový organický uhlík indikuje množství organického materiálu v hornině a jeho hodnota je úměrná množství přítomného zemního plynu. Odraznost vitrinitu napomáhá určit původ uhlovodíků v hornině

(termogenní, organogenní). Z petrofyzikálních parametrů je zásadní znalost pórovitosti, nasycení vodou a permeability kolektorské horniny, která hraje roli jak pro potenciální hydraulické štěpení a posouzení jeho účinnosti, tak pro odhad množství volného zemního plynu, jeho mobility, a tedy i ekonomických parametrů kolektoru.

Kolektorské vlastnosti plynonosných břidlic jsou značně odlišné od vlastností konvenčních ložisek. Jejich porozita a permeabilita je značně omezená, a to v řádech přibližně  $\phi \approx 2 - 15 \%$  u porozity a  $K_a < 0,1$  mD pro permeabilitu. Takto nízké hodnoty parametrů vyžadují velmi citlivé metody stanovení, počínaje průzkumnými pracemi *in situ* (např. NMR) a konče laboratorní analýzou vrtného jádra (Passey, 2010).

Pro petrofyzikální analýzu daných vzorků „Shale Gas“ Laboratoř stimulace vrtů a ložisek uhlovodíků využívá zejména Automatický permeametr a porozimetr (obr. č. 1), který má měřicí rozsah pro porozitu  $\phi = 0,01 - 60 \%$  a  $K_a = 0,1 - 5000$  mD pro permeabilitu. Tlakové podmínky ložiska je přístroj schopen nasimulovat až do úrovně 69 MPa. Permeametry BPR 350 (obr. č. 2) 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 potenciálních ložisek břidlicového plynu.

Mezi nadějnými plynonosnými horninami na území České republiky mají vyhovující parametry (tab. č. 1) pro předpoklad, že jde o tzv. Shale Gas Sweet Spot, mikulovské slínovce svrchně jurského původu. Pro předpoklad nadějnosti hraje roli fakt, že jde o hlavní matečnou horninu uhlovodíků pro celou oblast, nízká úroveň deformace a subhorizontální uložení (Dvořáková, 2011).

TOC (%)	1,5 - 2,4
R <sub>o</sub> (%)	0,8 - 1,3

Hloubka (m)	2000 - 4800
Mocnost (m)	400 - 2000

Tab. č. 1: Parametry mikulovských slínů

Pro stanovení permeability pro plyn se v Laboratoři stimulace vrtů a ložisek uhlovodíků běžně využívá filtrační aparatura BRP 350, která dokáže pracovat jak s plynem ( $N_2$ ,  $CO_2$ ) a tak s tekutinami (ropa, ložisková voda, povrchově aktivní látky, apod.). Permeabilita se v tomto případě stanovujeme na principu tzv. Darcyho zákona a s přihlédnutím ke Klinkerbergovu efektu pro plyn jako médium. Kromě nastavení *in situ*  $p$ ,  $T$  podmínek je aparatura schopna pomocí tzv. Back Pressure Regulator (BPR) nastavit protitlak simulující ložiskový tlak.

Pro stanovení dalších důležitých charakteristik daných vzorků mikulovských slínů byla provedena analýza na zařízení Retortová pec (obr. č. 3), která je schopna určit nasycení kapalinami. Tato pec pracuje s nadrceným horninovým vzorkem, který zahřívá až na teplotu  $650^\circ C$ . Odpařené kapaliny potom z ocelových zásobníků procházejí chladicí lázní, kde kondenzují a jsou zachytávány do kalibrovaných byret o objemu 20 ml. Z experimentu bylo stanoveno množství ropy obsažené ve vzorku na 1,8 % a množství vody na 6,9 % (obr. č. 4). V průběhu měření byl odebrán také vzorek plynu a plynovou chromatografií stanoveno jeho složení, kde byl methan zastoupen 15 obj. % a další plynné uhlovodíky menšími objemy (ethan 5,4 obj. %; propan 1,7 obj. %; atd.). Z naší provedené analýzy však bohužel vyplývá, že daný vzorek není z hlediska možného výskytu tzv. Shale Gas vhodný. Jde spíše o prostor, kudy v minulosti ropa migrovala.

Automatický porozimetr a permeometr stanovuje pórovitost vtláčením  $N_2$  do horninového vzorku, který je následně vypuštěn do referenční nádoby o známém objemu a tlaku. Vyhodnocení následně probíhá na základě tzv. Boyleova zákona s opravou o vliv stlačení vzorku. Pro měření bylo použito vrtné jádro daného vzorku o průměru 1" (25,4 mm) a délky 1,58" (40 mm). Vrtné jádro bylo vystaveno tlaku 6,9 MPa

(1000 psi) a plyn byl vtlačěn pod tlakem 1,38 MPa (200 psi). V tabulce č. 2 jsou uvedeny parametry naměřené tímto přístrojem.

Pc (psi )	Vp (cm <sup>3</sup> )	φ ( %) )	Vp <sub>0</sub> (cm <sup>3</sup> )	V <sub>b0</sub> (cm <sup>3</sup> )	V <sub>b</sub> (cm <sup>3</sup> )	V <sub>g</sub> (cm <sup>3</sup> )	ρ <sub>g</sub> (g/ cm <sup>3</sup> )	φ <sub>0</sub> (%)	ρ <sub>b</sub> (g/ cc)
600	0,0 88	0, 44	0,09 3	19, 95	19, 95	19, 86	2,73	0,47	2,7 2

Tab. 2: Výsledky stanovení porozity vzorku; Pc - tlak na vzorek, Vp - objem pórů, φ - porozita, Vp<sub>0</sub> - objem pórů za nulového tlaku, V<sub>b0</sub> - objem vzorku za nulového tlaku, V<sub>b</sub> - objem vzorku, V<sub>g</sub> - objem horninové matrice, ρ<sub>g</sub> - objemová hmotnost horninové matrice, φ<sub>0</sub> - porozita za nulového tlaku, ρ<sub>b</sub> - objemová hmotnost

Měření na tomto přístroji je na těchto typech hornin časově velmi náročné, protože při tak omezených hodnotách testovaných parametrů je zaručení stacionárních tlakových podmínek zdlouhavé. I přes tyto aspekty výzkumu nízkopropustných slínovců a jejich vlivu na proces měření, je možno stanovit základní petrofyzikální parametry těchto hornin. Námí testovaný vzorek vykazoval velmi nízkou účinnou pórovitost, což potvrdíme dalším testováním na větším množství vzorků.

### **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.

### **Použitá literatura:**

AGRAWAL, A. et al. A Technical and Economic Study of Completion Techniques in Five Emerging US Gas Shales. In: SOCIETY OF PETROLEUM ENGINEERS (SPE), Inc. *ATCE 2010 SPE Annual Technical Conference and Exhibition: proceedings, 20 - 22 September, Florence, Italy*. Richardson, Tex: Society of Petroleum Engineers, 2010, 16 s. ISBN 978-1-55563-300-4. DOI: 10.2118/135396-MS.

ANDNOY, Bernt S. et Reza LOOYEH. *Petroleum rock mechanics: drilling operations and well design*. Boston: Gulf Professional, 2011, xxvi, 350 p. ISBN 01-238-5546-2.

BAIR, Scott E., David C. FREEMAN a John M. SENKO. *Expert Panel Technical Report: Subsurface Gas Invasion Bainbridge Township, Geauga County, Ohio* [online]. 2010 [cit. 2012-06-20]. Dostupné z:

<http://www.ohiodnr.com/mineral/bainbridge/tabid/20484/default.aspx>

CREANEY et PASSEY. Recurring Patterns of Total Organic Carbon and Source Rock Quality within a Sequence Stratigraphic Framework. *AAPG Bulletin*. 1993, roč. 77, č. 3, 386 - 401.

DEVILLE, Jay, Brady FRITZ a Michael JARRETT. Development of Water-Based Drilling Fluids Customized for Shale Reservoirs. *SPE Drilling*. 2011, roč. 26, č. 4, s. -. ISSN 1064-6671. DOI: 10.2118/140868-PA. Dostupné z: <http://www.spe.org/ejournals/jsp/journalapp.jsp?pageType=Preview>

DVOŘÁKOVÁ. ČESKÁ GEOLOGICKÁ SLUŽBA. *Nekonvenční zemní plyn z břidlic (NZPB): Potenciální zásoby a technologie jeho těžby*. 2011. vyd. Brno, 2011, 56 s.

PASSEY, Q.R. et al. From Oil-Prone Source Rock to Gas-Producing Shale Reservoir: Petrophysical Characterization of Unconventional Shale Gas Reservoirs. In: SOCIETY OF PETROLEUM ENGINEERS (SPE), Inc. *Proceedings SPE International Oil*. Richardson, Tex.: SPE, 2010, 29 s. ISBN 978-1-55563-295-3. DOI: 10.2118/131350-MS

SOEDER, D.J. Porosity and Permeability of Eastern Devonian Gas Shale. *SPE Formation Evaluation*. 1988, roč. 3, č. 1, s. 116-124. ISSN 0885-

923x. DOI: 10.2118/15213-PA. Dostupné z:

<http://www.onepetro.org/mslib/servlet/onepetropreview?id=00015213>



Obr. č. 1: Automatický permeametr a porozimetr  
(Laboratoř stimulace vrtů a ložisek uhlovodíků)



Obr. č. 2: filtrační aparatura BRP 350  
(Laboratoř stimulace vrtů a ložisek uhlovodíků)



Obr. č. 3: Retortová pec  
(Laboratoř stimulace vrtů a ložisek uhlovodíků)



Obr. č. 4: Zachytávání kondenzátu  
(Laboratoř stimulace vrtů a ložisek uhlovodíků)