

Plyn sorbovaný v uhelných slojích hornoslezské pánve

Coal Bed Methane in the Upper Silesian Basin

Dušan Ďurica

Pavel Müller

Tomáš Krčál

Radomír Doubravský

Petr Hemza

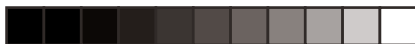
Jaroslav Němec

Zdeněk Osner

Česká geologická služba

2006





Vědecký redaktor / Scientific reviewer
Prof. RNDr. Jiří Pešek, DrSc.

Recenzent / Revised by
Doc. RNDr. Ján Milička, CSc.

Vydání této publikace podpořily organizace



Ministerstvo životního prostředí
České republiky



Moravské naftové doly

energie
STAVEBNÍ A BĀŇSKĀ



UNIGEO[®]
a.s.

© Česká geologická služba, 2006
ISBN 80-7075-668-3





Předmluva

Metan sorbovaný v uhelných slojích a okolních horninách se obvykle nazývá „uhelný metan“ nebo též obecně „důlní plyn“. I v Česku je běžné označení anglickou zkratkou CBM (coal bed methane). Pro těžbu a následné využití představuje tento druh plynu v podmínkách ČR nekonvenční surovinový zdroj. V řadě zemí s významnými uhelnými nalezišti jsou i relativně vysoké zásoby tohoto typu zemního plynu. Jejich efektivnímu využití však dosud brání specifické vlastnosti uhelných slojí, zejména nízká plynopropustnost. Řešení problematiky jeho těžby proto není běžným typem geologických prací.

Americké zkušenosti, kde těžba uhelného metanu dosáhla v devadesátých letech 20. století již více než 20 miliard m³ ročně, a zejména pak výsledky expertiz amerických odborníků z let 1990 a 1991 byly podnětem i pro podporu záměru zhodnotit využitelnost zdrojů uhelného metanu za prostředky státního rozpočtu České republiky.

Vlastní program orientovaného průzkumu byl zahájen v roce 1993 a řízen nejprve Ministerstvem hospodářství ČR. V rámci změn kompetencí bylo pak řízení programu podřízeno Ministerstvu životního prostředí ČR, konkrétně geologickému odboru. Program byl ukončen v roce 2000.

Účelově orientovaný průzkum plně respektoval doporučení amerických expertů a za jeho hlavní cíl můžeme vedle vyhledání zdrojů uhelného metanu v pánvi označit zejména ověření použitelnosti americké metody těžby slojového metanu v české části hornoslezské pánve (dále pouze HSP, anglicky Upper Silesian Basin – USB).

V letech 1993 až 2000 bylo na ploše ca 800 km² v pánvi provedeno celkem 24 pilotních průzkumných vrtů.

V průběhu průzkumných prací byla postupně zkoušena většina uhelnými zásobami významných uhelných slojí, kde bylo možno očekávat potenciálně těžitelná množství sorbovaného uhelného metanu. Nejvýše položený slojový horizont se nacházel v hloubce 300–369 m pod povrchem a nejhluběji položený slojový horizont byl v hloubce 1443–1460 m pod povrchem. Minimální prognózní zásoby slojového metanu v pánvi činí více než 100 miliard m³.

Pilotní etapa průzkumu orientovaného na sorbovaný metan, zevrubně popsána v této publikaci, ukázala na složité zákonitosti geneze a distribuce sorbovaného plynu v uhelných slojích. Zjištěné obsahy plynu v uhelných slojích jsou srovnatelné s obsahy komerčně využívaných pánví (v USA). Plynosnosti jsou ale pouze prvotním předpokladem pro úspěšnost případné těžby. Druhým předpokladem úspěchu je dostatečná primární nebo štěpením vyvolaná propustnost uhelných slojí. Ta však nebyla provedeným pilotním průzkumem dlouhodobě zajištěna.

Po zkušenostech z průzkumných prací pilotní etapy prospekce na CBM je zřejmé, že těžbě musí předcházet ještě další průzkumné etapy zahrnující přiměřený rozsah laboratorních i terénních prací. Rozsah informací z průzkumných prací není dostatečný k tomu, aby bylo možno při přijatelné míře rizikovosti vytipovat těžební lokality. Odhady množství sorbovaného plynu jsou v rámci české části HSP dostatečně velké, nedostatečná je však použitá „americká“ technologie jeho získání (těžby). Potvrdilo se však, že právě HSP je v rámci ČR vhodná pro pokračování průzkumných prací na CBM. Vedle strukturální stavby a existence uhelných slojí ostravského a karvinského souvrství je příznivým faktorem zejména tektonický vývoj ovlivňující subrecentní migraci plynu a fluid v celé oblasti. HSP a zejména její paleozoické (svrchnokarbonské) patro můžeme charakterizovat vzhledem k hojnosti uhelných slojí schopných sorbovat migrující katagenní i biogenní plyn jako perspektivní potenciální kolektor regionálního rozměru. Vzhledem k zásobám uhelné hmoty je rovněž značná i kolektorová kapacita uhelných slojí.

Po zhodnocení všech skutečností doporučujeme v budoucnosti v průzkumných aktivitách na metan sorbovaný v uhelných slojích v oblasti HSP pokračovat. Pilotním průzkumem se sice hydroštěpením podařilo vytvořit v uhelné hmotě komunikační cesty pro plyn, avšak vzhledem k litologickým charakteristikám pánevních sedimentů a možnostem použité technologie v krátké době došlo k uzavírání komunikace ze sloje do vrtu a k relativně rychlé ztrátě propustnosti slojí i horninových struktur, a tím i k zamezení praktické možnosti efektivní těžby uhelného metanu. Příčina ztráty propustnosti získané hydroštěpením spočívala především v nedostatečném zohlednění podmínek vzniku uhelného ložiska a specifických vlastností uhelných slojí a horninových struktur při použité metodě extrakce slojového metanu. Pro vypracování vhodné metody těžby uhelného metanu je především nutno brát v úvahu geologické podmínky vzniku a uložení ložiska a specifické fyzikálně-mechanické (geotechnické) a fyzikálně-chemické vlastnosti uhlí ve sloji a horninových strukturách. Tato skutečnost, která nebyla při řešení pilotního průzkumu v Česku dostatečně známa, byla základní příčinou, proč se nepodařilo úspěšně aplikovat americkou technologii těžby slojového metanu. Závažný úkol vypracovat technologii vhodnou v ČR k těžbě slojového metanu (CBM) zůstal proto nedořešen. Řešení tohoto důležitého úkolu doporučujeme rozdělit do dvou na sebe navazujících etap:

První etapa budoucích prací by měla být zaměřena na vypracování technologické metody, umožňující v modelovém měřítku extrakci CBM ve specifických podmínkách české části HSP.

Druhá etapa by pak navazovala na úspěšné vyřešení první fáze a byla by zaměřena na ověření správnosti nové technologie těžby slojového metanu v reálných podmínkách HSP přímo pokusnými těžebními vertikálními vrty.

RNDr. Martin Holý
ředitel geologického odboru MŽP

Mgr. Zdeněk Venera, Ph.D.
ředitel České geologické služby





Obsah

1. Úvod	9
2. Průzkum a využití uhelného metanu v zahraničí a v Česku	9
3. Vazba plynu v uhelných slojích a horninových strukturách	12
3.1. Uhlí jako nízkopotenciální zásobník plynu	12
3.2. Formy a vazby plynu v uhlí	13
3.3. Sorpční procesy včetně sorpce metanu a oxidu uhličitého	14
3.4. Porézní systém uhlí a hornin	14
3.5. Propustnost a pórovitost uhlí a horninových struktur	15
3.6. Plynopropustnost uhlí a hornin	16
3.7. Filtrační vlastnosti hornin	18
4. Geologie širší oblasti hornoslezské pánve	19
4.1. Úvod	19
4.2. Přehled geologické stavby a jejího vývoje	19
4.3. Litologická charakteristika území	20
4.3.1. Český masiv	20
4.3.1.1. Krystalinikum	20
4.3.1.2. Paleozoikum	20
4.3.2. Tektonika variského strukturního patra	24
4.3.3. Předmiocenní vývoj paleoreliéfu epivariské platformy na Ostravsku	24
4.3.4. Západní Karpaty	25
5. Hydrogeologie a hydrogeochemie	26
5.1. Hydrogeologické rozčlenění a prozkoumanost	26
5.2. Kolektory karpát	27
5.3. Kolektory karbonu	27
5.4. Hydrogeologie ve vrtech programu CBM	28
6. Vrtně-technická část	29
6.1. Vrtné práce	29
6.2. Konstrukce vrtů	30
6.3. Technika vrtání a jádrování	30
6.4. Komplikace na vrtech programu CBM	31
6.5. Shrnutí	31
7. Hydrodynamický výzkum a jeho zhodnocení	31
7.1. Hydrodynamický výzkum na vrtech a jeho zhodnocení	32
7.1.1. Přehled provedených prací	32
7.1.2. Testování hydrodynamických parametrů slojí v přirozeném stavu	32
7.1.3. Testování hydrodynamických parametrů naštěpených slojí	33
7.1.4. Dlouhodobé produkční testy v jednotlivých vrtech	33
7.1.5. Hydrodynamické hodnocení čerpacích zkoušek	35
7.2. Hydrodynamický výzkum na interferenčním uzlu sond CBM-2 a CBM-6 až CBM-11, jeho zhodnocení a modelování	35
7.2.1. Interferenční test	36
7.2.2. Posouzení výsledků matematického modelování interferenčního uzlu	36
7.2.3. Prognóza těžby plynu podle výsledků modelování	37
7.3. Celkové zhodnocení hydrodynamického výzkumu	38
8. Zhodnocení karotážních prací včetně posouzení vhodnosti použitých metod	39
8.1. Použité karotážní metody a jejich srovnání z hlediska vhodnosti použití	39
8.2. Zhodnocení provedených karotážních měření	40
8.2.1. Zhodnocení kvalitativní interpretace karotážních měření	40
8.2.2. Zhodnocení kvantitativní interpretace karotážních měření	40
8.3. Posouzení použitých karotážních měření	41





9. Hydraulické štěpení	42
9.1. Přehled realizovaných prací	42
9.2. Způsob otevření štěpených intervalů	42
9.2.1. Posouzení vhodnosti způsobu otevření štěpených horizontů	43
9.2.2. Posouzení vhodnosti použití různých typů perforace	44
9.3. Technologie provádění hydraulického štěpení	44
9.3.1. Použitá metodika	44
9.3.2. Použitá technika a její výkony	45
9.3.3. Použité štěpící kapaliny a propant	45
9.4. Celkové zhodnocení hydraulického štěpení	47
9.4.1. Srovnání výsledků v jednotlivých vrtech	47
10. Technicko-ekonomické předpoklady budoucí těžby	49
10.1. Účel a možnosti hodnocení	49
10.2. Charakteristika modelového zdroje CBM – vstupní parametry	49
10.3. Modelové technické řešení úpravy a přepravy plynu	49
10.4. Náklady na vybudování modelového zdroje	50
10.5. Očekávané výnosy	50
10.6. Náklady na provoz a likvidaci	51
10.7. Ukazatele ekonomické efektivity modelového podnikatelského záměru	51
10.8. Zhodnocení výsledků a analýza rizik	52
11. Shrnutí dosažených výsledků a perspektivy využívání uhelného metanu v České republice	53
12. Doporučení dalšího postupu pro orientovaný výzkum v České republice	55
Literatura	56

Contents

Preface	60
1. Introduction	61
2. The current state of progress in exploration and utilization of coal bed methane abroad and in the Czech Republic	61
3. Occlusion of methane related to rock textures in coal seams	64
3.1. Coal seams as low capacity underground storage of gas	64
3.2. Forms of occlusion of gas in coal	66
3.3. Processes of sorption involving methane and carbon dioxide	66
3.4. Porosity in coal and rock	67
3.5. Permeability and porosity of coal and rock textures	68
3.6. Gas permeability of coal and rock	69
3.7. Filtration features of rocks	71
4. Geology of the broader environs of the Upper Silesian Basin	72
4.1. Introduction	72
4.2. Geological structure and its development	73
4.3. Lithological characteristics of the region	73
4.3.1. The Bohemian Massif	73
4.3.1.1. The Crystalline complex	73
4.3.1.2. The Paleozoic	74
4.3.2. Tectonic development of the Variscan structural level	77
4.3.3. Pre-Miocene evolution of the paleorelief on the Variscan epi-continental platform	78
4.3.4. The West Carpathians	79
5. Hydrogeology and hydrogeochemistry	80
5.1. Hydrogeological classification and the state of knowledge	80





5.2. Karpatian aquifers	81
5.3. Carboniferous aquifers	81
5.4. Hydrogeology in boreholes drilled within the CBM program	83
6. Drilling-technical section	84
6.1. Drilling operations.	84
6.2. Structure of wells	84
6.3. Drilling and coring method	85
6.4. Problems in boreholes drilled during the CBM program	85
6.5. Summary.	86
7. Hydrodynamic research and evaluation	86
7.1. Hydrodynamic investigations of exploration boreholes and their evaluation	86
7.1.1. Outline of investigations carried out	86
7.1.2. Hydrodynamic parameters of coal seams under natural conditions	87
7.1.3. Hydrodynamic parameters of coal seams after hydraulic fracturing.	87
7.1.4. Long-term production tests carried out on individual boreholes	88
7.1.5. Hydrodynamic evaluation of pumping tests.	90
7.2. Hydrodynamic research relating to the interferential node of boreholes CMB-2 and CBM-6 to CBM-11 – evaluation of results and mathematical modelling.	90
7.2.1. Interferential testing	91
7.2.2. Results of mathematical modelling of the interferential node	91
7.2.3. Prognosis of the recovery of coal gas based on the modelling.	92
7.3. Summary evaluation of the hydrodynamic research	93
8. Evaluation of logging including assessment of individual methods to solve the goal of the project	94
8.1. Applied logging methods and their comparative usefulness.	94
8.2. Evaluation of logging results.	95
8.2.1. Qualitative interpretation of logging	95
8.2.2. Quantitative interpretation of logging data	95
8.3. Assessment of utilized logging procedures	96
9. Hydraulic fracturing	97
9.1. Summary of activities undertaken.	97
9.2. The opening of selected depth intervals for fracturing procedure.	97
9.2.1. Consideration of methods suitable for opening the intervals of interest	98
9.2.2. Consideration of suitable types of perforation.	99
9.3. Technology of hydraulic fracturing	99
9.3.1. Methodology used	99
9.3.2. Efficiency of the technique used	100
9.3.3. Fracturing fluids and propanant used	100
9.4. Summary evaluation of hydraulic fracturing	102
9.4.1 Comparison of results from individual boreholes	102
10. Technical-economic preconditions for future CBM extraction in the Czech part of the Upper Silesian Basin	104
10.1. Assessment of feasibility of the project.	104
10.2. Characterization of the CBM model source – input parameters	105
10.3. Model technical design – gas treatment and transport.	105
10.4. Costs for construction of the model CBM source	105
10.5. Expected revenues.	106
10.6. Costs for operation and liquidation	107
10.7. Indicators of economic efficiency in the model business plan.	107
10.8. Assessment of the results and risk analysis	108
11. Summary of results achieved and the perspectives for future utilization of coal bed methane in the Czech Republic	110
12. Recommendations for future research on coal bed methane in the Czech Republic	112





1. Úvod

V důsledku světové ropné krize počátkem 80. let minulého století přijala vláda USA řadu konkrétních opatření, která měla přehodnotit primární energetické zdroje s cílem posílit nezávislost americké ekonomiky na dovozu ropy a zemního plynu. V rámci těchto opatření bylo zahájeno řešení řady programů, týkajících se možností komplexního využití amerických uhelných zásob. Jejich realizaci výrazně podporoval stát. Jedním z konkrétních výsledků byl rozvoj těžby uhelného metanu (CBM) z některých černouhelných ložisek – v 90. letech překročila 20 miliard m³.

S ohledem na výsledky expertiz amerických odborníků provedených pro území České republiky na počátku 90. let minulého století byl přijat i u nás státem dotovaný program pilotního průzkumu možností těžby CBM. Vstupní premisou bylo, že metody těžby využívané úspěšně v USA jsou univerzálně využitelné i pro další uhelné pánve.

O průzkum a zejména těžbu CBM v Česku projevil zájem v roce 1992 čtyři společnosti, mezi které tehdejší ministerstvo hospodářství rozdělilo průzkumná území mimo dobývací prostory v hornoslezské pánvi: Energie – stavební a báňská a. s., EUROGAS a. s., Kladno, OKD, DPB Paskov, a. s., UNIGEO a. s. Ostrava, a MCBM Ostrava, s. r. o. Těmto organizacím byly postupně v letech 1994 až 1998 schváleny projekty geologického průzkumu zaměřené na CBM a jejich řešení bylo ve většině případů hrazeno ze státního rozpočtu.

Projekty byly dokončeny většinou ještě před rokem 2000. Dosažené výsledky shrnují závěrečné zprávy, schválené na oponentních jednáních na Ministerstvu životního prostředí ČR a uložené v jeho archivu.

Po obhajobě závěrečných zpráv vyvstala potřeba všestranně a v regionálním měřítku posoudit výsledky veškerých provedených prací. Tímto byl v roce 2000 pověřen Český geologický ústav (dnes Česká geologická služba – ČGS) formou samostatného úkolu, který řešil široký kolektiv pracovníků pod vedením Pavla Müllera za odborné supervize Dušana Ďurici. Výsledkem byla závěrečná zpráva „Komplexní zhodnocení programu CBM“ (Müller et al. 2001), o kterou se opírá i tato kniha.

Je obtížné vyjmenovat všechny specialisty, kteří se na tvorbě zprávy a také této knihy podíleli. Část z nich, kteří přispěli ke vzniku knihy nejvýznamnějším dílem, uvádíme přímo v autorském kolektivu.

Z pracovníků tehdejších řešitelských a spoluřešitelských organizací nelze opominout podíl T. Krčála (Duke Engineering and Services, a. s.), P. Hemzy a Z. Vavruška (OKD, DPB Paskov, a. s.), R. Doubravského a J. Mukařovského (UNIGEO a. s., Ostrava), F. Komárka (MND, a. s.), Z. Osnera (Energie – stavební a báňská a. s.), J. Němce (EUROGAS a. s., Kladno) a V. Šlechtý (MCBM Ostrava, s. r. o.).

2. Průzkum a využití uhelného metanu v zahraničí a v Česku

Na metan v uhelných slojích a okolních horninách, nazývaný též uhelný plyn, se řadu let nahlíželo v nepříznivém světle. Pro těžbu a použití zemního plynu představuje uhelný metan „nekonvenční“ zdroj plynu, jehož získávání může být obtížné. V řadě zemí je zásoba uhelného metanu vysoká, avšak nízká propustnost uhelných slojí a specifické vlastnosti, typické pro většinu uhelných ložisek, představují komplikace, které se zatím nepodařilo překonat tak, aby těžba uhelného metanu byla vždy ekonomická.

Uhelný metan vznikl během procesu přeměny rostlinného materiálu na uhlí. Původní bujná vegetace se po odumření hromadila v bažinách, kde probíhal proces tlení. Postupem času se přes zetlelou organickou hmotu ukládaly různé sedimenty. Se zvětšováním mocnosti sedimentů překrývajících organickou hmotu se zvyšovala i její teplota. Tento proces vyvolal v organické hmotě fyzikální a chemické změny, které pak vedly postupně ke vzniku uhelné hmoty, metanu, oxidu uhličitého, dusíku a vody. Jak se zvyšovala teplota a tlak, narůstal i obsah uhlíku v uhlí neboli stupeň prouhelnění. Obecně platí, že čím je stupeň prouhelnění uhelné slaje vyšší, tím vyšší je i množství vzniklého metanu. Uhelné slaje obvykle sorbovaný metan neuvolňují do atmosféry, pokud nejsou navrtány, vystaveny působení eroze nebo narušeny těžbou.

Uhelné doly jsou jedním z největších antropogenních zdrojů emisí metanu (společně se skládkami odpadu, systémy využívajícími zemní plyn a zemědělstvím). Uhelný metan se ve Spojených státech a na celém světě podílí na emisích metanu z 8 až 10 %. Podle odhadů americké Environmental Protection Agency (US EPA) činily v roce 2000 ve Spojených státech emise uhelného metanu ze všech zdrojů (tj. z hlubinných a povrchových dolů a emise při těžbě) 4,3 miliardy m³. Toto množství odpovídá téměř 61 milionům tun CO₂. Získávání a využívání uhelného metanu přináší zejména:

- příznivý dopad na globální životní prostředí snížením emisí skleníkových plynů,
- vyšší kvalitu vzduchu využíváním čistších zdrojů energie,
- vyšší bezpečnost v dolech,
- energetickou nezávislost,
- vyšší produktivitu těžby a
- dodatečné výnosy nebo úsporu nákladů.

Získávání a využívání slojového metanu (CBM)

Po prvních zprávách a praktických zkušenostech v USA koncem 60. let 20. století se většina států s velkými uhelnými pánevemi začala pokoušet o využití metanu z uhelných slojí v těžbou nedotčených oblastech.

