

NOVÉ POZNATKY O VÝSKYTU A MOŽNÉM PŮVODU PŘÍRODNÍCH UHLOVODÍKŮ V ČESKÉM MASÍVU

VÁCLAV SUCHÝ^a, MICHAL STEJSKAL^b,
ANTONÍN ZEMAN^c, IVANA SÝKOROVÁ^d,
JIŘÍ KROUFEK^b, GUSTAV ŠEBOR^b
a JOSEF JANKŮ^e

^a Jiránkova 1136/4, 163 00 Praha 6, ^b Ústav technologie ropy a petrochemie, Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Technická 5, 166 28 Praha 6, ^c Josefa Suka 1258/3, Brandýs nad Labem 250 01, ^d Ústav struktury a mechaniky hornin AV ČR, v.v.i., V Holešovičkách 41, 182 09 Praha 8, ^e Ústav technologie ochrany prostředí, Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Technická 5, 166 28 Praha 6
Jiri.Kroufek@vscht.cz, Michal.Stejskal@vscht.cz,
josef.janku@vscht.cz

Došlo 9.11.06, přijato 18.5.07.

Klíčová slova: ropa v Českém masívu, původ české ropy, migrace uhlovodíků, migrační cesty

Obsah

1. Úvod
2. Lineární zóny s výskytem uhlovodíků
3. Variabilita přírodních uhlovodíků
4. Pozdní migrace uhlovodíků
5. Pokračující emise methanu a uhlovodíkových plynů
6. Migrační cesty a možné zdroje uhlovodíků
7. Závěry

1. Úvod

Je obecně známým faktem, že Česká republika nevlastní žádná významnější ložiska ropy ani zemního plynu. Nevelké zásoby jsou v současnosti těženy především v tradičních oblastech jižní Moravy, moravsko-rakouského a moravsko-slovenského pomezí a jejich podíl na celkové národní spotřebě je zanedbatelný.

Méně známou skutečností ovšem je, že drobné, průmyslově netěžitelné výskyty různých forem živíc lze nalézt i na řadě dalších míst v Českém masívu, často podstatně vzdálených od tradičních oblastí těžby. V posledních letech, s nástupem moderních geochemických a geologických metod, se ukazuje, že tyto zdánlivě nevýznamné, prostorově izolované a většinou drobné projevy, považované až dosud za pouhé mineralogické rarity nebo lokální

vlastivědné zajímavosti, mohou mít mezi sebou hlubší genetickou souvislost, kterou lze využít jako základ nových prospekčních koncepcí.

Během posledních sedmi let jsme uskutečnili rozsáhlou studii o množství drobných uhlovodíkových projevů v různých částech České republiky. Některé dílčí výsledky našich výzkumů byly již publikovány v sérii tematických příspěvků přednesených na konferencích^{1–3}. V této práci předkládáme pokus o širší syntézu získaných poznatků, s důrazem na jejich mezioborovou interpretaci. Tvrdíme, že výskyty přírodních uhlovodíků v Čechách jsou zákonitě soustředěny do několika severojižně orientovaných lineárních zón, pravděpodobně vázaných na hlubší přírodní dráhy, kde periodicky docházelo a nadále dochází k projevům aktivní migrace fluid. Na řadě lokalit koexistují nejméně dvě populace ropných uhlovodíků různého složení a stáří, jež indikují opakované, časově oddělené etapy migrace. Mladší fáze rop migrovaly do hornin překvapivě nedávno, teprve během třetihor nebo kvartéru. Na některých místech lineárních zón dokonce probíhá i dnes aktivní migrace ropy i plynu z neznámých zdrojů k povrchu. Tato zjištění vytvářejí ve svém souhrnu nový, provokativní pohled jak na původ uhlovodíků, tak i na ložiskové perspektivy jádra Českého masívu, který byl až dosud z hlediska ropné a plynové prospekce obecně považován za sterilní a nezajímavé území.

2. Lineární geografické zóny s výskyty uhlovodíků

Detailní rozbor plošného výskytu uhlovodíkových indicií na území Čech ukázal překvapující skutečnost – většina nálezů je soustředěna do pěti zhruba 20–40 km širokých, severojižně probíhajících zón, jež protínají prakticky celé naše státní území a zasahují i do okolních států (obr. 1). Spolu s nálezy ropných uhlovodíků jsou v těchto protažených pásmech soustředěny také výstupy mnoha minerálních a termálních vod a solanky, výrony CO₂, methanu, radonu a helia, typický je i výskyt specifických explozivních typů vulkanických hornin, vázaných na hluboké komínovité přírodní dráhy. Rovněž se zde nacházejí některá nízkoteplotní hydrotermální ložiska, akumulace sladkovodních vápencových tufů a travertínů, křemité impregnace v horninách a projevy tzv. hydrotermálního krasu naznačující alterace karbonátových hornin teplými proplyněnými vzhůru stoupajícími roztoky. Jednotlivé aktivní zóny jsou navzájem pravidelně odděleny zhruba 40–70 km širokými pruhy území, které se jeví jako „sterilní“ oblasti a obecně postrádají výskyty uhlovodíků a další fenomény charakteristické pro aktivní fluidní režim^{4,5}.

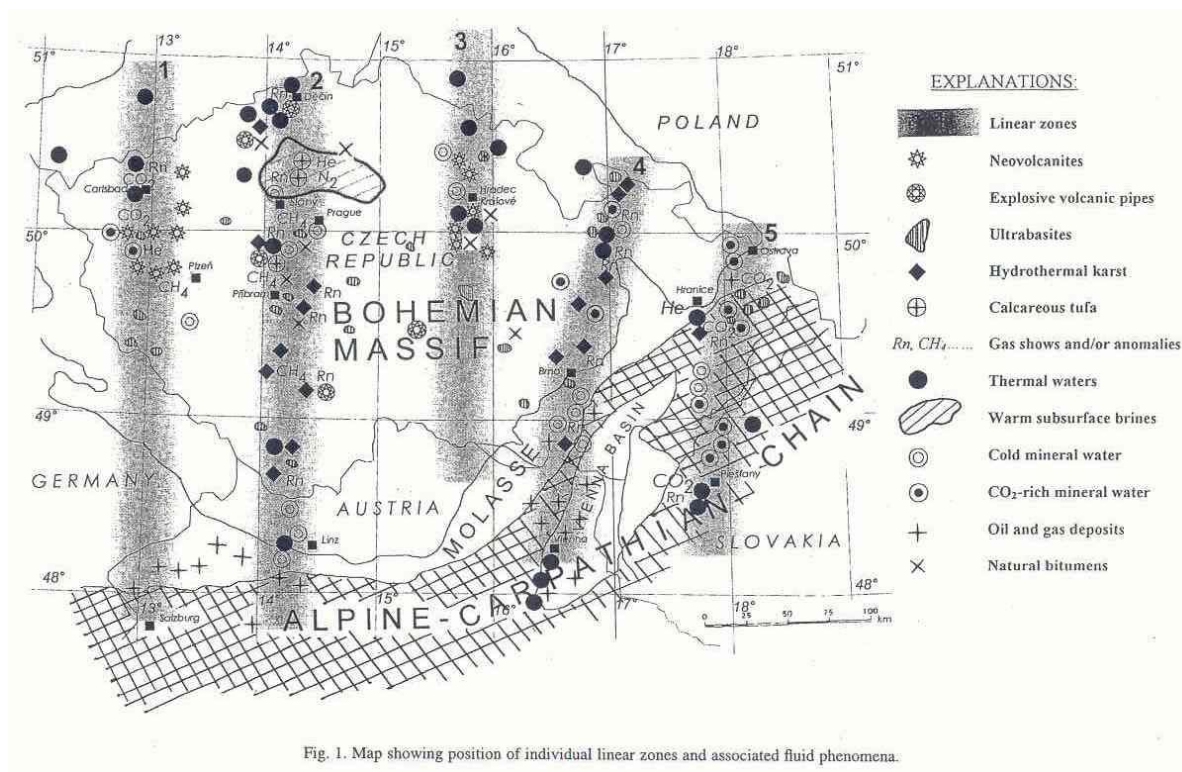


Fig. 1. Map showing position of individual linear zones and associated fluid phenomena.

Obr. 1. Mapka znázorňující polohu jednotlivých severojižních lineárních pásem s přednostními výskyty přírodních uhlovodíků a s dalšími geologickými a hydrologickými fenomény zmiňovanými v textu; upraveno podle Zemana a spol. (2000) (cit.⁴)

Karlovarská lineární zóna

Nejdále na západě Čech jsme vyčlenili tzv. Karlovarskou lineární zónu charakteristickou výstupy horkých minerálních vod, CO₂ a uhlovodíkových a vzácných plynů, která se táhne dále na jih do Rakouska, kde prochází oblastí plynových a ropných polí na sever od Salzburgu.

Pražská lineární zóna

Ve středu našeho státního území leží tzv. Pražská lineární zóna s nálezy drobných projevů ropy a plynu v oblasti Barrandienu a s výskyty teplých solanek, emisemi radonu, helia a methanu a s uranovými a fluoritovými hydrotermálními ložisky. Směrem k jihu tato zóna dále pokračuje do Rakouska do oblasti plynových ložisek u Lince, zatímco její severní pokračování protíná v západním Polsku oblast nedávno objevených ropných a plynových polí Barnówko – Mostno – Buszewo v okolí Debna.

Hradecká lineární zóna

Ve východních Čechách jsme identifikovali tzv. Hra-

deckou lineární zónu s výskytem termálních vod, rud a s nálezy ropy v hlubokých vrtech, která dále pokračuje na sever do Polska, do oblastí plynových ložisek v okolí Lubinu.

Brněnská lineární zóna

Na Moravě lze analogicky vyčlenit tzv. Brněnskou lineární zónu, na níž leží termální prameny, bohaté krasové jevy, některá hydrotermální ložiska, drobné nálezy přírodních bitumenů v horninách a rovněž ekonomicky významná moravská ropná a plynová pole. Další ropná pole leží v jižním pokračování této zóny v Rakousku, v okolí Vídně.

Ostravská lineární zóna

Zcela na východě našeho státu jsme rozlišili tzv. Ostravskou lineární zónu s nálezy plyných i kapalných uhlovodíků a s bohatými výrony CO₂ a helia plášťového původu v oblasti hydrotermálního krasu u Hranic, v jejímž severním pokračování leží menší plynová pole u Katowic v Polsku.

Jednotlivé lineární zóny jsme identifikovali s využi-

tím reinterpretace starších geofyzikálních dat, kosmických snímků a mezioborové analýzy řady geologických a geomorfologických jevů, včetně vyhodnocení množství starších nálezových zpráv a archivních materiálů^{4,6}.

Stáří lineárních zón

Geologické stáří lineárních zón, soudě podle datování doprovodných vulkanických těles, je nejméně 15 mil let. Vlastní lineární stavby však zřejmě představují podstatně starší, pravděpodobně dlouhodobě a opakovaně reaktivované hluboké struktury, neboť procházejí jak mladými pokrývnými sedimenty, tak i geologicky daleko staršími strukturami variskými a patrně i prekambričnými. Fyzikální podstata popsaných equidistančních lineárních zón, které nejsou patrné na obvyklých zeměpisných nebo geologických mapách, zůstává v dané etapě výzkumu otevřenou otázkou. Některé úseky těchto struktur zřejmě odpovídají známým hlubokým zlomům severojižního nebo severoseverovýchodního směru; obecně však není prostorová korelace lineárních zón se známými tektonickými poruchami ideální. Asociace geologických jevů vázaných na oblasti lineárních zón nicméně dokládá, že zde v minulosti periodicky probíhala nebo místy stále probíhá aktivní migrace hlubinných fluid. Je tedy možné, že lineární zóny ve skutečnosti nepředstavují tektonické zlomy, ale spíše pásma horizontálních napětí v zemské kůře se zvýšenou horninovou propustností⁷.

Analogické zóny ve světě

Naprostu analogické, v ploše se pravidelně opakující equidistanční systémy severojižních zón byly již dříve zjištěny na ohromných plochách Arábie, Afriky a Ruska, kde jsou s nimi spojena velká ložiska uhlovodíků⁷⁻⁹. Pererova⁷ na základě analýzy rozsáhlého materiálu ze severní Eurasie dovozuje, že tyto struktury jsou povrchovým výrazem globálního celoplanetárního systému napěťových polí Země, jež vzniknul v důsledku kosmogenních sil, zejména zemské rotace a složité interakce s fyzikálními poli okolních planet. Typickou periodickou pravidelnost, s níž se jednotlivá lineární pásma opakují na rozsáhlých územích, vysvětluje tento autor vlnovým charakterem zemského napěťového pole.

3. Variabilita přírodních uhlovodíků

Na řadě lokalit v rámci severojižních lineárních zón jsme zaznamenali celou škálu přírodních uhlovodíků včetně klasických kapalných rop a produktů jejich tepelné nebo oxidační přeměny – pevných i polotuhých bitumenů. Na některých jiných lokalitách jsme zjistili i přítomnost uhlovodíkových plynů.

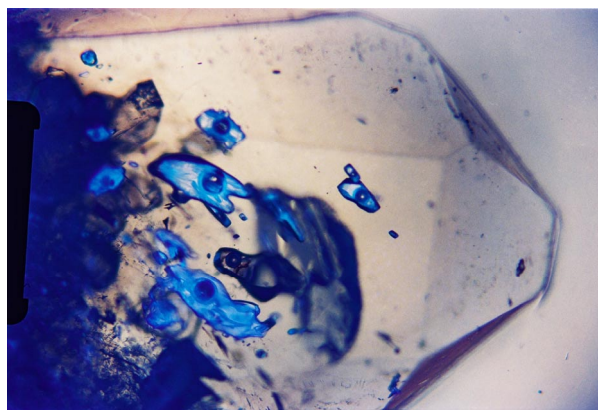
Kapalné ropy

Makroskopické indicie kapalné ropy se typicky vy-

skytují v sedimentárních horninách, kde tvoří součást výplní minerálních žil, potahují v podobě tenkých filmů plochy tektonických puklin, nebo vyplňují dutiny uvnitř diagenetických kongrecí i některých specifických zkamenělin. Tyto drobné dutiny s uhlovodíky zjevně představují svérázné „geochemické konzervy“ uvnitř sedimentárních vrstev, kde ropa byla dlouhodobě uchráněna před oxidací. Získané ropné vzorky jsou zpravidla vysoce těkavé, modře nebo zeleně fluoreskující kapaliny s výrazným petrolejovým zápachem (obr. 2). Velké množství uhlovodíkových směsí proměnlivého složení jsme našli i ve formě velmi drobných útvarů uzavřených přímo v některých horninových minerálech, především v křemenu a kalcitu. Tyto tzv. plynokapalné uzavřeniny (fluid inclusions) představují mikroskopické relikty původních uhlovodíků (obvykle průměru < 0,5 mm), jež kdysi migrovaly horninami a byly



Obr. 2. Zelenavá viskózní kapalná ropa v dutině velké kongrece ze silurských břidlic, lom Kosov u Berouna, Barrandien, pražská lineární zóna



Obr. 3. Krystal záhnědového křemene s dobře viditelnými uzavřeninami plynokapalných uhlovodíků zachycenými uvnitř krystalu; většina uzavření obsahuje modrofialově fluoreskující kapalnou ropnou fázi a v jádru nefluoreskující plynovou bublinu. Tmavé nepravidelné útvary u kořene krystalu jsou pravděpodobně pevné bitumeny. Lom Kosov u Berouna. UV-excitace kombinovaná s bílým procházejícím světlem; přirozená velikost krystalu cca 1 cm

zachyceny během souběžné krystalizace hostitelských minerálů. Uvnitř některých krystalů, zejména křemene, lze často rozlišit i několik koexistujících fází kapalných, pevných a plyných uhlovodíků (obr. 3). Studium podobných uzavřenin poskytuje unikátní informaci o původním chemickém složení horninových fluid i o teplotních podmínkách jejich zachycení¹⁰. Chemicky jsou ropné vzorky – jak volně nalézané kapaliny, tak i extrakty mikroskopických uzavřenin z horninových minerálů – navzájem dosti podobné. Jedná se většinou o nízkomolekulární alifatické uhlovodíky s převahou *n*-alkanů, v rozsahu C₉–C₃₆, které jsou typické pro normální ropy.

Bitumeny

Jinou formou přírodních uhlovodíků, často nalézanou na řadě lokalit uvnitř jednotlivých lineárních zón, jsou variabilní pevné a polotuhé organické hmoty souborně označované jako bitumeny. Například v oblasti příbram-



Obr. 4. Starší generace černého, pevného, smolně lesklého asfaltického bitumenu v dutině silurského vápence, Žákův lom, Velká Chuchle, Praha



Obr. 5. Mladší generace vazelinovité organické hmoty vyplňující drobnou žílu v silurském vápenci, Černá roklička u Barrandovy skály, Praha; přirozená velikost vzorku cca 2 cm

ských uranových dolů, ležících na pražské lineární zóně, jsou již delší dobu známy látky bitumenní povahy, v literatuře popisované jako anthraxolity¹¹. Starší generace těchto organických hmot se zvýšenými obsahy uranu a kovů jsou tvrdé a křehké substance, zatímco mladší, tzv. kapénkový typ je měkký a asfaltický a neobsahuje uran. Tento poznatek naznačuje, že jde o radiačně degradované asfaltické pozůstatky nejméně dvou generací ropy, přičemž další aktivní projevy oné mladší ropy byly v dolech pozorovány i v nedávném období těžby uranové rudy (ropný zápach, syčivé úniky a výbuchy methanu). Důlní vody západočeských uranových dolů navíc obsahují také chloridy a bromidy a přibližují se tak svým složením vodám mořského typu doprovázejícím ropu³. Dvě vzhledově i chemicky odlišné generace organických hmot jsme rovněž zjistili, podobně jako na příbramsku, i na jiném místě pražské lineární zóny – v oblasti středočeského Barrandienu. Zde se v horninách často vyskytuje černý, smolně lesklý, nefluoreskující asfaltický bitumen s křehkým lasturnatým lomem, obsahem uhlíku > 80 % a s optickou odrazností mezi 0,8 až 2,0 % *R_r* (obr. 4). Relativně mladší generaci organické hmoty představují v Barrandienu oranžové až hnědé, polotuhé, vazelinu připomínající látky s relativně nižším obsahem uhlíku (60–80 % C), s výraznou fluorescencí a nízkou optickou odrazností zpravidla nepřevyšující 0,8 % *R_r* (obr. 5). Chemicky jsou tyto vazelinovité organické hmoty tvořeny velmi dlouhými alifatickými alkany. Je pravděpodobné, že oba popsané typy organických hmot představují rovněž, podobně jako na příbramsku, pozůstatky dvou rop, resp. dvou různých starých migračních fází¹².

4. Pozdní migrace uhlovodíků

Na základě studia optické odraznosti a ze strukturálních vztahů lze usuzovat, že starší fáze ropných uhlovodíků na pražské lineární zóně migrovaly do hornin pravděpodobně již v paleozoiku. Tyto uhlovodíky byly následně během variského orogenního cyklu vystaveny zvýšeným teplotám kolem 100 °C a přeměněny na pevné bitumeny asfaltického až antracitického vzhledu. Naproti tomu, migrace mladší, teplotně méně přeměněné fáze kapalných rop a polotuhých uhlovodíků proběhla relativně později, zřejmě až během třetihor nebo čtvrtohor, nebo dokonce, na některých místech ještě stále probíhá dodnes. Suchý a spol.^{13,14} a Melka a spol.¹⁵ zkoumali systém severojižních kalcitových žil s inkluzemi kapalných uhlovodíků, jež prostupují prakticky celou barrandienskou oblast. Zjistili, že žilný kalcit krystalizoval z teplých (do 70 °C) a salinních vodních roztoků s příměsí ropy, přičemž ze strukturálních vztahů odvodili, že žilný systém sám nevzniknul dříve, nežli v pokřídovém období. Existenci relativně velmi mladé migrační fáze v Barrandienu silně podporují i nálezy kapalných rop v mělkých průzkumných vrtech a dokonce i v mnoha starých povrchových lomech a na přirozených výchozech, jež byly po desetiletí vystaveny přímému slunci a zvětrávání. S ohledem na značnou rychlost, s jakou

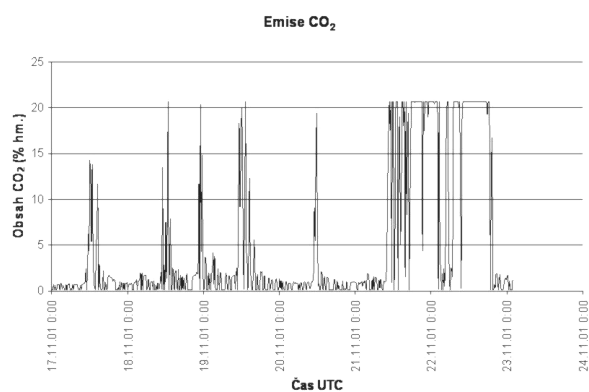
vzorky čerstvých rop na povrchu podléhají oxidaci, odparu nízkovroucích frakcí a mechanické erozi, je tato skutečnost přinejmenším závažnější a implikuje nutnost stálého přínosu čerstvých uhlovodíků k povrchu. Na některých povrchových lokalitách v Barrandienu je během teplých slunečných dnů dokonce cítit slabý petrolejový zápach a při pečlivém pozorování skalních stěn lze spatřit i drobné výrony kapalných nebo polotuhých živic, prýstičích z puklin, což ukazuje, že migrace dosud stále probíhá. Rozsáhlou, a geologicky zřejmě nedávnou migraci termicky nezralých uhlovodíků do barrandienských hornin naznačila i nedávná revizní geochemická studie 2,7 km hlubokého vrtu Tobolka-1. Ukázalo se, že v tomto vrtu jsou paleozoické horniny obohaceny tepelně nezralou rozpustnou organickou hmotou, jejíž množství dokonce stoupá, zdánlivě nelogicky, směrem do podloží, a která do hornin musela nutně přimigrovat z nějakého neznámého zdroje¹⁶. Rovněž v jižní části pražské zóny, v silně proměněných grafitických horninách Moldanubika, jsme nedávno zjistili přítomnost tepelně nezralých lehkých uhlovodíků, které sekundárně namigrovaly do dnešních grafitů, které jsou pravděpodobně také ropného původu¹⁷. Podobná situace byla nedávno zjištěna i v superhlubokém vrtu KTB v Německu nedaleko našich západních hranic, kde z hloubky okolo 4000 metrů byly ze silně metamorfovaných krystalických hornin získány přítoky Ca-Na-Cl rosolů s příměsí nezralých uhlovodíků¹⁸. Všechna tato pozorování tedy ve svém souhrnu naznačují podstatný fakt, že v oblasti České části masívu zřejmě proběhla v geologicky nedávné minulosti rozsáhlá migrace uhlovodíků, spojená s mobilizací značných objemů salinních roztoků. Je možné, že tento proces souvisel se závěrem alpské orogeneze, když se před 30–40 mil let Český masív začal mohutně vyklenovat a stoupat v důsledku alpských deformačních tlaků. Při tom se možná reaktivovaly starší systémy severojižních zlomů a lineárních zón, po nichž migrovala hlubinná fluida s uhlovodíky¹⁴. V dané souvislosti je zajímavé, že k podobným závěrům dospěli již před lety nezávisle Chmelík a spol.¹⁹, kteří zmiňovali „regionální migraci živic, jež postihla Český masív v terciéru“ a vyslovili i názor, že živice přitom využily stejné migrační cesty jako uranové rudní roztoky. Ščeglov²⁰ dokonce zjistil, že aktivizace starých platformních struktur, vázaná na dlouho žijící hlubinné zlomy, kolem nichž se koncentruje nízkoteplotní hydrotermální mineralizace (ložiska uranu, manganu, fluoritu apod.), představuje v podstatě obecný jev, který je charakteristický pro geologický vývoj celé Eurasie během třetihor až po současné nejmladší období.

5. Pokračující emise methanu a uhlovodíkových plynů, dynamika přírodních plynových emisí

V ČR se setkáváme s celou škálou směsných emisí zemních plynů proměnlivého složení, od ropných či uhelných plynů s obsahem uhlovodíků, přes plyny dusíkové,

radonové, sulfanové a helionosné, až k plynům uhličitým, hojně využívaným v lázeňství. Dosavadní odborný pohled na jejich složení je ovšem statický, nepočítá s významnějšími fluktuacemi v obsahu komponent a jednou provedená analýza slouží řadu měsíců i let jako medicínský, resp. bezpečnostní atest. Akceptována je jen proměnlivost v kvantitě emisí, zvláště v hornictví a speleologii, která bývá interpretována v souvislosti se změnami počasí, resp. atmosférického tlaku.

Dynamika emisí jednotlivých složek zemních a půdních plynů je nicméně již po desítky let pozorně studována vulkanology a seismology v tektonicky aktivních oblastech, protože souvisí se sopečnou a zemětřesnou činností. Motivací takovýchto měření je snaha předpovídat náhlé katastrofické geologické procesy a ochránit před nimi obyvatelstvo. Také v české důlní historii jsou popsány náhlé eruptivní výrony plynů s neblahými následky, přičemž k výbuchům methanu docházelo v uhelných i neuhelných dolech. Na základě našich pozorování na řadě lokalit uvnitř jednotlivých lineárních zón můžeme konstatovat významnou proměnlivost ve složení zemních plynů a eruptivní výskyty neočekávaných plynových složek²¹. Je možné pozorovat klidová období bez významnějších změn, která velmi náhle přecházejí v období vysoké eruptivní, a z hlediska složení proměnlivé aktivity. Zmíněnou situaci lze dokumentovat záznamem emisí CO₂ z bývalého železnorudného dolu Krušná hora u Berouna na pražské lineární zóně (obr. 6), kde jsme episodicky pozorovali i erupce sulfanu a vzácně i erupce methanu a doprovodných uhlovodíkových plynů. Popsané eruptivní jevy jsme zjistili na některých lokalitách severojižních zón i bez použití instrumentální techniky (výrony patrné ve vodních tůňích a tocích, náhlé výstupy páry z terénu v zimním období, vlnící se atmosférické sloupce nad geologickými zlomy, opuštěnými doly atp.). Získané výsledky nás opravňují konstatovat, že zemní plyny na území ČR nemají jednou provždy konstantní složení, je možné se setkat i s významnými změnami ve složení a s výskytem neočekávaných toxických nebo výbušných složek. Tato zjištění



Obr. 6. Emise CO₂ z opuštěného železnorudného dolu Krušná hora u Berouna v období 17.11. - 23.11.2001; výdech z odvětrávací trubky ze zazděného ústí úpadní štoly

si zřejmě v budoucnu vyžádají změnu stávajících náhledů na problematiku výskytu hygienicky sledovaného radonu, toxických plynů, ale i nebezpečného a současně velmi signifikantního methanu, který může být markerem zdrojů fosilních paliv.

Naše výsledky rovněž naznačily určitou souvislost mezi dobou výstupu a chemickým složením vystupujících plynů a výskytem vzdálených velkých zemětřesení v zahraničí²¹. Je možné, že vzdálená zemětřesení nějakým způsobem stimulují procesy migrace a výstup fluid v lineárních zónách. Toto naše zjištění koresponduje s údaji Hunta²², který uvádí, že celosvětově existuje poměrně dobrá korelace mezi oblastmi s prokázanými povrchovými projevy uhlovodíků (seeps) a oblastmi s aktivním zemětřesným režimem. Pererva⁷ rovněž zjistil periodický, pulsační charakter výronů fluid na lineárních zónách Eurasie a vysvětluje tento jev periodickými změnami tlaku ve fluidních systémech. Domnívá se, že kontrolujícími mechanismy periodických výronů jsou nejenom občasná zemětřesení, ale i podstatně složitější kosmogenní faktory.

6. Migrační cesty uhlovodíků a jejich možné zdroje

Existence uhlovodíkových projevů na lineárních zónách v Českém masivu navozuje dvě fundamentální otázky – totiž jakými cestami živice migrovaly a především, odkud migrovaly.

Migrační cesty uhlovodíků

Odpověď na první otázku částečně poskytují terénní pozorování v barrandienské oblasti, kde lze uhlovodíkové projevy studovat v horninách na řadě povrchových výchozů. Zde se zdá, že hlavní, ne-li výhradní migrační cestou pro živice byly systémy subvertikálních tektonických severojižních poruch různého měřítka – od drobných, často



Obr. 7. Žíly v devonském vápenci vyplněné bitumenem a kalcitem; velkolom Čertovy schody u Koněprus, Barrandien

mikroskopických puklin, až po několik metrů mocné mineralizované žíly (obr. 7). Dokonce i v případě zdánlivě zcela izolovaných výskytů živice uvnitř dutých konkrecí nebo schránek zkamenělin lze při pečlivém pozorování objevit drobné, téměř vlasové pukliny dosud místy impregnované jemným živičným filmem, které vedou do dutin obsahujících ropu.

Na druhou stranu ovšem některé jiné geologické fenomény uvnitř lineárních zón, zejména tzv. vulkanické diatrémy, hydrotermální jeskyně a některá hydrotermální ložiska, jsou svým vznikem spojována, spíše nežli se systémem propustných tektonických puklin, s prostorově izolovanými tubicovitými, vertikálními strukturami, po nichž fluida migrovala vzhůru z hlubinných zdrojů. Těto představy rovněž nasvědčují i některé zahraniční poznatky. Pererva⁷ uvádí, že na řadě lineárních zón identifikovaných na území bývalého Sovětského svazu dochází k hlavnímu pohybu fluid právě v rámci subvertikálních komínovitých struktur o průměru 100–300 m. V těchto místních strukturách, nazývaných „krby snížené hustoty“ (očagi razuplotnenija) jeví horniny zvýšenou propustnost v důsledku druhotných petrofyzikálních změn, spojených mj. s hydrotermálními procesy. Hunt²² zjistil analogické vertikální migrační kanály v oblasti Severního moře a na šelfu Luisiany v USA, kde po nich vystupují k povrchu uhlovodíkové plyny. Popisuje, že tyto „plynové komíny“ (gas chimneys) mají v řezu průměr kolem 400 metrů, jsou čistě vertikální a směřují přímo k povrchu, zatímco jiné připomínají zakroucené vzestupné chody červů. Přesná podstata zmíněných fluidních kanálů je nejasná, nicméně je zřejmé, že migrace fluid v nich není spojena s běžnými tektonickými poruchami.

Zdroje uhlovodíků

Další důležitou, a z hlediska prospekčního zcela fundamentální otázkou je, odkud vlastně uhlovodíky na lineárních zónách migrují. Při úvahách o zdrojích uhlovodíků lze zřejmě diskutovat tři hlavní možné zdroje:

- 1) produktivní ropo- a plynomatečné komplexy ve stratigrafickém podloží, a/nebo skrytá, částečně netěsná ložiska pod povrchem,
- 2) dálkovou laterální migraci uhlovodíků z neznámého vzdáleného zdroje,
- 3) abiogenní zdroj(e) uhlovodíků ve svrchním plášti.

Přítomnost produktivních ropo- a plynonosných sedimentů v hlubším podloží se na řadě míst jednotlivých lineárních zón, zejména tam, kde tyto struktury protínají rozsáhlé formace silně metamorfovaných krystalických hornin, jeví jako dosti nepravděpodobná. Model předpokládající pod povrchem existenci produktivních horizontů nebo dokonce skrytých ložisek uhlovodíků by však mohl vysvětlovat některé fluidní projevy např. v oblasti brněnské nebo pražské lineární zóny, kde převládají relativně tepelně málo přeměněné a organickou hmotou bohaté sedimentární formace. V případě barrandienské oblasti navíc současné analytické výsledky z hlubokého vrtu Tobolka-1 naznačují možnost, že v hlubokém podloží existuje příkro-

vová stavba, v jejímž rámci by mohlo docházet k vertikální migraci uhlovodíků z hypotetických struktur tektonicky podsunutých, relativně slabě tepelně přeměněných sedimentů¹⁶. Při těchto úvahách je však nutno mít na zřeteli, že povrchové výrony uhlovodíků nemusejí zdaleka vždy indikovat existenci skrytých ložisek pod povrchem, ani jejich možné zásoby²³.

Modely migrace uhlovodíků

Alternativně, přítomnost nezralých uhlovodíků zjištěných na některých místech lineárních zón by mohla být vysvětlitelná i mechanismem dálkové laterální migrace ze vzdálených zdrojů. Oliver^{24,25} vypracoval hypotetický model, který spojuje vznik ložisek ropy, plynu, uhlí, horkých pramenů a nízkoteplotních hydrotermálních ložisek na periférii orogenních pásem s fluidy, která byla během horotvorných deformací tektonicky vytlačována z orogenu. Model vychází z předpokladu, že teplá a solemi, kovy a živici obohacená fluida mohou být ve velkých objemech transportována z orogenu až stovky kilometrů daleko do nitra sousedících platform, v jejichž mělkém sedimentárním pokryvu se zachytí a vytvoří ložiska. Bethke a Marshak²⁶ tuto představu dále rozpracovali a počítačově simulovali migraci solanek tektonicky vytlačovaných z orogenu na periférii Severní Ameriky do nitra kontinentu. Jejich výsledky potvrdily, že velké objemy ropných a kovo- nosných solanek skutečně mohly migrovat přes velkou část severoamerického kontinentu, přičemž předpokládaná rychlost migrace činila asi 1 cm rok⁻¹ nebo méně. Pokud by popsaný model byl aplikován na systém Alpský orogén – Český masív, mohl by možná vysvětlit přítomnost uhlovodíků a solanek na lineárních zónách Českého masívu. Nasouvání tektonicky deformovaných čelných příkrovových alpských jednotek na jižní periférii Českého masívu je geologicky bezpečně známo. Za zhruba 30 mil let, jež uplynuly od počátku alpínské orogeneze, by při rychlosti migrace 1 cm rok⁻¹ tato hypotetická orogenní fluida mohla migrovat asi 300 km na sever, do nitra Českého masívu a využívat při tom, jako preferenční migrační cesty, propustnější tektonicky predisponovaných lineárních zón. Představa sama přitom nijak neprotiřečí ani existenci případných skrytých ložisek pod povrchem v Čechách, protože ta zde mohla z alpínských orogenních fluid rovněž vzniknout, zcela v souladu s modelem Olivera^{24,25}.

V současné etapě výzkumu nelze ovšem ani vyloučit, že určitá část fluid včetně uhlovodíků vystupujících v lineárních zónách, je dotována z mnohem hlubších, možná dokonce plášťových zdrojů. Abiogenní, plášťový původ některých ropných a plynových akumulací ve světě se zdá být relativně průkazně doložen²⁷ a isotopické složení některých plynů vystupujících na lineárních zónách v Českém masívu této představě rovněž nasvědčuje²¹.

7. Závěry

Pozorování založená na mezioborové syntéze řady

údajů ukazují, že mnoho, ne-li většina, drobných nálezů přírodních uhlovodíků v Českém masívu je soustředěno do několika 20–40 km širokých lineárních zón protínajících naše státní území v severojižním směru. V těchto pásmech, jež pravděpodobně představují oblasti se zvýšenou horninovou propustností, probíhala a místy ještě dodnes probíhá periodická migrace ropy a plynu i dalších hlubinných fluid – zejména teplých solanek, kovo- nosných roztoků, minerálních vod a CO₂.

I když zdroje drobných výskytů přírodních rop, bitumenů a plynů nejsou většinou přesně známy, mohou tato zjištění jako celek naznačovat, že potenciální ložiska uhlovodíků se možná nacházejí ve větší hloubce i uvnitř Českého masívu, v rámci severojižních lineárních pásem, kam by se mělo v budoucnu zaměřit podrobnější prospekční úsilí.

Tato studie byla podpořena granty MŠMT ČR (v rámci projektu výzkumných záměrů č. MSM 6046137304), č. 104/06/1079 GA ČR a č. IAA 300460510 GA AV ČR.

LITERATURA

1. Stejskal M., Zeman A., Suchý V., Kroufek J., Šebor G.: *Konference APROCHEM, Milovy, 13.–15. října 2003*, Sborník přednášek (bez editora), str. 207. PetroCHemProgress Ing. Jaromír Škarka CSc., Praha 2003.
2. Stejskal M., Suchý V., Zeman A., Kroufek J., Šebor G.: *Konference APROCHEM, Milovy, 20.–22. září 2004*, Sborník přednášek (bez editora), str. 269. PetroCHemProgress Ing. Jaromír Škarka CSc., Praha 2004.
3. Stejskal M., Kroufek J., Šebor G., Markovič F., Romanidis K., Suchý V., Zeman A.: *Konference APROCHEM, Milovy, 24.–26. října 2005*, Sborník přednášek (bez editora), str. 305. PetroCHemEng, Praha 2005.
4. Zeman A., Suchý V., Stejskal M., Janků J., Čermák J., Turek K.: *J. Geochem. Explor.* 69–70, 499 (2000).
5. Zeman A., Stejskal M., Suchý V., Kroufek J.: *Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull.* 85, (Supplement), (2001). http://www.aapg.org/datasystems/abstract/13annual_/8817/8817.htm, staženo 18.12.2002.
6. Suchý V. Zeman A.: *Acta Musei Moraviae, Sci. geol.* 84, 97 (1999).
7. Pererva V. M.: *Geol. Zh.* 1, 66 (1999).
8. Al Khatieb S. O., Norman J. W.: *J. Petrol. Geol.* 4, 319 (1982).
9. Archandělskaja V. V.: *Geologia i Razvedka* 1, 68 (1998).
10. Roedder E.: *Fluid Inclusions*. Mineralogical Society of America, Washington 1984.
11. Kříbek B., Žák K., Spangenberg J., Jehlička J., Prokeš S., Komínek J.: *Econ. Geol.* 94, 1093 (1999).

12. Sýkorová I., Suchý V.: 2nd Symposium on Gondwana Coals, Porto, September 19th 1998. Book of Abstracts (Lemos de Souza M. J., Fernandes J. P., ed.), str. 54.
13. Suchý V., Dobeš P., Filip J., Stejskal M., Zeman A.: *Tectonophysics* 348, 25 (2002).
14. Suchý V., Heijlen W., Sýkorová I., Muchez P., Dobeš P., Hladíková J., Jačková I., Šafanda J., Zeman A.: *Sed. Geol.* 131, 201 (2000).
15. Melka K., Suchý V., Zeman A., Bosák P., Langrová A.: *Acta Univ. Carol., (Geologica)* 44, 117 (2000).
16. Volk H.: *PhD Thesis*. RWTH Aachen, 2000.
17. Stejskal M., Kroufek J., Šebor G., Rajlich P., Tichý L., Suchý V.: *Konference APROCHEM, Milovy, 24.–27. dubna 2006*, Sborník přednášek (bez editora), str. 1417. PetroChemEng Ing. Jaromír Škarka CSc., Praha 2005.
18. Möller P., Weise S. M., Althaus E.: *J. Geophys. Res.* 102(B8), 233 (1997).
19. Chmelík F., Chlupáč I.: *Výzkumná zpráva č. P21488*. Geofond, Praha 1969.
20. Ščeglov A. D.: *Metallogenija oblastej avtonomnoj aktivizacii*. Nedra, Leningrad 1968.
21. Kroufek J., Stejskal M., Šebor G., Mrlina J., Tesař J., Suchý V., Zeman A.: *Konference APROCHEM, Milovy, 24.–26. října 2005*, Sborník přednášek (bez editora), str. 312. PetroChemEng, Praha 2005.
22. Hunt J. M.: *Petroleum Geochemistry and Geology*. Freeman and Company, New York 1996.
23. Tedesco S. A.: *Surface Geochemistry in Petroleum Exploration*. Chapman and Hall, New York 1995.
24. Oliver J.: *Geology* 14, 99 (1986).
25. Oliver J.: *The Spots and Stains of Plate Tectonics*. *Earth-Science Reviews* 32, 77–106 (1992).
26. Bethke C. M., Marshak S.: *Ann. Rev. Earth Planet. Sci.* 18, (1990).
27. Krajuškin V. A., Kučerov V. G., Ključko V. P., Gožik P. F.: *Geol. Zh.* 2, 35 (2005).

V. Suchý^a, M. Stejskal^b, A. Zeman^c, I. Sýkorová^d, J. Kroufek^b, G. Šebor^b, and J. Janků^e (^a Prague, ^bDepartment of petroleum technology and petrochemistry, Institute of Chemical Technology, Prague, ^cBrandýs nad Labem, ^dInstitute of Rock Structure and Mechanics, Academy of Sciences of the Czech Republic, Prague, ^eDepartment of Environmental Chemistry, Institute of Chemical Technology, Prague): **Origin of Hydrocarbons in the Bohemian Massif Revisited: New Evidence from Field Observations and Geochemical Composition**

Evidence is provided that many, if not most, small-scale hydrocarbon occurrences in the Bohemian Massif, both newly described and already known, are in fact concentrated within five distinct north-south zones, 20–40 km wide, which cut various geological units. These linear structures provided long-lived and periodically reactivated conduits for various geofluids that include, apart from hydrocarbons, thermal and mineral waters, warm brines, uranium-bearing hydrothermal solutions, CO₂, CH₄, and He. Geological and geochemical data suggest repeated episodes of fluid and hydrocarbon migration throughout the geological history of the linear zones. A number of local present-day gas emissions and small oil seeps are probably indicative of the most recent migration stage that has resumed in the Tertiary period, following the Alpine orogeny. In some localities, the present-day peaks of CO₂, CH₄ and C₂–C₁₂ hydrocarbon emissions mirror major earthquakes that occur elsewhere in the southern hemisphere. This implies that distant earthquakes can be instrumental in releasing geofluids from the linear zones. The hydrocarbons found at the surface may point to unknown deposits and/or petroleum source rocks hidden beneath the surface; though juvenile, deep-mantle (abiogenic) contributions can be also viable. Alternatively, the hydrocarbon origin can be also explained in terms of a long-distance lateral migration from unknown sources in the Alpine realm. Regardless of the dubious source(s), our analysis indicates that the internal part of the Bohemian Massif shall be seriously considered as a possible target for future oil and gas exploration – a conclusion that is both fundamental and challenging.