

## METODY STIMULACE UHELNÝCH SLOJÍ

Zuzana Weishauptová, Oldřich Příbyl

Ústav struktury a mechaniky hornin AV ČR, v.v.i., V Holešovičkách 41, 182 09 Praha 8  
weishauptova@irms.cas.cz

*Těžba uhelného plynu s vysokou koncentrací methanu je vzhledem k nízké propustnosti uhelných slojí spojena s nutností použití štěpicích stimulačních technologií, které zajišťují dlouhodobý výtok těženého plynu. V článku je podrobně popsána metoda hydraulického štěpení, která může být realizována v závislosti na podmínkách těžené lokality s různými štěpicími médii. Ačkoliv typy štěpicích tekutin a jejich použití se vyvíjí již několik desetiletí, jejich vývoj a výzkum neustále pokračují.*

*Klíčová slova: hydraulické štěpení, uhelné sloje, propan, štěpicí médium*

Došlo 20. 1. 2015, přijato 2. 3. 2015

### 1. Úvod

Uhelná ložiska mohou poskytovat vedle uhlí jako vydatného fosilního zdroje energie další cenný energetický zdroj, kterým je vysoce kalorický uhelný plyn s obsahem až 95 % methanu. V celosvětovém měřítku je téměř 50 % tohoto plynu obsaženo v uhelných slojích uložených v hloubkách větších než 1000 m, které nejsou dostupné pro těžbu uhlí, avšak mohou být využity pro těžbu plynu. Uhelné sloje se vyznačují obvykle velmi nízkou propustností, často méně než 1 mD [1], což negativně ovlivňuje těžbu plynu. Pro zajištění dlouhodobého dostatečného výtoku těženého plynu se proto používají stimulační technologie, které představují především štěpicí stimulace. Tyto technologie mohou být obecně rozděleny podle rychlosti aplikované energie vyvolávající štěpení v cílovém horizontu do následujících tří kategorií: a) hydraulické štěpení, b) pulzní štěpení a c) explozivní štěpení, které se od sebe liší především geometrií vzniklých trhlin [2]. Při hydraulickém štěpení přesahuje štěpicí tlak napětí horského masívu a vzhledem k možnosti injektáže velkého množství kapaliny relativně malou rychlostí se trhlina může šířit do vzdálenosti desítek metrů. Naopak při explozivním štěpení, kdy vzniká vysoce rozštěpená zóna kolem vrtu, nepřesahuje její poloměr obvykle desítky centimetrů. Zároveň často dochází k poškození oblasti v okolí vrtu, které se zde projevuje vyvoláním tlakového napětí v okolí vrtu a může způsobit stlačení okolní horniny s následným snížením její plynopropustnosti. Mezi těmito dvěma technikami leží pulzní štěpení, které vykazuje atributy radiální stimulace explozivního štěpení, avšak bez nebezpečí poškození štěpené oblasti. Přitom vzniká množství vertikálních trhlin radiálně orientovaných vůči ose vrtu a pronikajících do vzdálenosti 3 až 5 m. Vzhledem k délce trhliny vznikající hydraulickým štěpením, která se pohybuje v rozmezí zhruba 50 až 150 m, se toto štěpení používá jako nejvhodnější pro stimulaci degazace relativně nízkou propustných uhelných slojí.

### 2. Hydraulické štěpení

Při hydraulickém štěpení dochází ke vzniku trhliny působením tlaku štěpicího média a tato trhlina se dále rozšiřuje s jeho pokračující injektáží. Štěpení probíhá při tlacích přesahujících napětí *in situ* a je orientováno kolmo k tomuto napětí. Štěpicí médium ve většině případů unáší pevný propan, který v okamžiku ukončení injektáže zamezuje uzavření trhliny, neboť jeho částice působí jako lokální vzpěry. Tím je zajištěna dostatečně průchodná šterbina ve štěpené sloji, která je nezbytná pro udržení její dlouhodobé degazace.

#### 2.1. Propanty

Jako propan je nejčastěji používán písek, který však vzhledem k své omezené pevnosti a s ní spojené křehkosti, je obecně vhodnější pro mělčí vrty s menším tlakem nadloží. Hluboké vrty, které se vyznačují vysokým tlakem nadloží způsobujícím uzavírání trhlin, vyžadují vysoce pevné propanty, jako např. sintrovaný bauxit. S vyšší pevností ovšem souvisí i vyšší tvrdost, která způsobuje zatlačování zrn propantu do měkčího uhlí, což vede k nežádoucímu zúžení průřezu trhliny. Pro hydraulické štěpení v hlubokých vrtech byly vyvinuty jako propanty keramické kuličky nebo kuličky z oxidu zirkonu, ovšem i jejich použití má svá omezení. Zvýšení pevnosti písku na úroveň sintrovaného bauxitu bylo dosaženo jeho potažením speciálně modifikovanou fenolformaldehydovou pryskyřicí. Keramické částice ve formě slinutých nebo naopak dutých kuliček představují propanty s chemickou a tepelnou stabilitou a vysokou pevností. Duté kuličky s pevností mezi pískem a sintrovaným bauxitem byly vyvinuty metodou rozprašovacího sušení, kde byly získány keramické kuličkové propanty s jedinou koncentrickou dutinou a tenkými stěnami. Výhodou dutých kuliček je při jejich pevnosti i dostatečně velká pružná nebo stálá deformabilita, která pod tlakem doléhající stěny šterbiny vytváří mezi nimi větší kontaktní plochu, čímž se snižuje specifický tlak a v souvislosti s tím i možnost pronikání tvrdšího materiálu propantu do měkčí hmoty uhlí.

Přes značný materiálový výzkum a vývoj v oblasti syntetických propantů se z ekonomických důvodů dává přednost písku, který v naprosté většině případů vykazuje dostatečně vyhovující fyzikální parametry. Pozornost je pak věnována velikosti zrna a koncentraci s ohledem na optimalizaci koeficientu štěrbinové vodivosti definované součinem šířky a propustnosti štěrbin. Důležitým předpokladem pro správnou funkci propantu a současně minimalizaci nežádoucích jevů je jeho rovnoměrné rozložení po délce trhliny. Tím se jednak zajistí pravidelný odstup čelných ploch trhliny, jednak se zabrání lokálnímu nahromadění propantu, které by při vzniku propantových můstků mohlo vést k výraznému snížení efektivního průřezu trhliny a tím snížení propustnosti až k nulovým hodnotám.

## 2.2. Štěpící média

Štěpící média vhodná k použití při hydraulickém štěpení lze rozdělit na plynná a kapalná. Jako kapalná štěpící média se využívají voda, tekuté gely na bázi vody, dále pěny, které mohou být na bázi vodných gelů nebo na bázi uhlovodíků a v neposlední řadě lze využít kapalně plyny.

Zásadní rozdíl mezi plynnými a kapalnými štěpícími médii spočívá v mechanických vlastnostech parprsku obou tekutin, které ovlivňují nežádoucí uvolňování částic štěpené hmoty. Kapalina je nestlačitelná a během svého pohybu při nárazu na překážku mění svou kinetickou energii v tlakovou sílu, která tuto překážku v rámci její koheze, případně adheze, k okolní hmotě může uvolnit a tak vytvořit podle její velikosti kalovou částici. Po ukončení štěpení mohou kalové částice při nepříznivých reologických vlastnostech štěpící kapaliny sedimentovat a vytvářet filtrační koláč, který snižuje vodivost trhliny a permeabilitu uhlí. Permeabilita uhlí se může rovněž snižovat individuálními částicemi kalu, které proniknou do porézního systému uhlí. Za hlavní faktor vedoucí k vývoji filtračního koláče je považována drsnost povrchu.

Naopak stlačitelný plyn při stejné kinetické energii přeměňuje pouze její část na tlak působící na překážku, zatímco zbyváající část spotřebuje na vlastní kompresi. Proto má schopnost uvolňovat pouze podstatně volněji vázané částice, které jsou obvykle menší, a jejich zastoupení je řidší. Kromě uvedené přeměny kinetické na statickou energii ovlivňuje destruktivní účinky i specifická hmota obou medií, jak vyplývá ze vztahu pro kinetickou energii. Použití plynného média odstraňuje i některé další nežádoucí účinky kapaliny, jako jsou její ztráty v průběhu štěpení samovolným nasáváním, které vede k bobtnání uhelné hmoty, či pronikání chemických látek tvořících přísady štěpících kapalin do uhelné hmoty. Vedle těchto nesporných výhod však aplikace štěpení pomocí plynu po dlouho dobu eliminovala použití propantu a stimulace závisela na samogeneraci propantu uvolněním částic uhelné matrice v průběhu štěpení, kdy tato skutečnost ovlivňovala dobu životnosti indukovaných trhlín. V současné době již však existují technologie štěpení plynem za přídavku pevného propantu.

Při použití štěpící kapaliny jsou základními požadavky na její vlastnosti zejména vysoká schopnost nosnosti propantu - nejčastěji písku, nízké ztráty kapaliny v průběhu štěpení, nízký pokles tlaku třením, rychlá vratnost, nízká tvorba defektů a nežádoucí redukce vodivosti trhliny vlivem nerozpustných kalových částic. Zajištění těchto požadavků se realizuje optimalizací reologických vlastností používaných kapalin, které jsou charakterizovány především jejich viskozitou.

### 2.2.1. Štěpení vodou

Nejjednodušší používanou štěpící kapalinou je voda, jejíž použití je značně rozšířeno. Výrazným nedostatkem vody jako štěpícího média je její relativně nízká viskozita. Voda tak postrádá schopnost vysoké nosnosti a rovnoměrné distribuce propantu. Dochází k hromadění propantu, které vede ke vzniku propantových můstků, dále k zhušťování propantu ve špičce vertikální trhliny až k jejímu úplnému zablokování, což se projevuje výrazným rychlým zvýšením tlaku během injekce propantu. Šířku trhliny lze do určité míry ovlivnit zvýšením viskozity kapaliny a vyšší rychlostí vhnání štěpící kapaliny. Nad tuto limitní mez dosažitelnou změnou uvedených faktorů lze další rozšíření trhliny získat následujícím postupem [2]. Nejprve se iniciuje otevření trhliny a její štěpení samotnou kapalinou bez propantu. Když je dosaženo konečné délky trhliny vhná se do ní propantová suspenze, přičemž v průběhu injekce se trhlina dále prodlužuje. Ztrátou vody nasáváním do okolní uhelné hmoty se v trhlině zahušťuje koncentrace propantu, která se ve špičce trhliny projeví v nahromaděném propantu vznikem můstkových vazeb, jež se při dalším vhnání štěpícího média již nedají překonat. Tím se ukončí šíření trhliny, která se postupně zaplňuje propantem až do úplného vyplnění a za současně eliminace vzniku návazných vertikálních a horizontálních trhlín. Tlaková síla se pak spotřebuje na rozšíření dané trhliny. Rozšířením trhliny lze očekávat výrazné zvýšení rychlosti degazace.

### 2.2.2. Štěpení vodnými roztoky gelů

Zlepšení reologických vlastností vody lze dosáhnout přídavkem chemických látek za vzniku tekutých gelů. Gely obecně představují disperzní systémy, v nichž disperzní podíl vytváří souvislou síťovitou strukturu, takže spojitě je nejenom disperzní prostředí, nýbrž i disperzní podíl. U tekutých gelů je podíl disperzního podílu velmi malý. Platí, že viskozita disperzních systémů je vyšší než viskozita čistého disperzního prostředí a její přírůstek je úměrný objemové koncentraci disperzního podílu. Gely lze připravit gelatinizací koloidních roztoků, kdy síťovitá struktura vzniká agregací samostatných disperzních částí solu. Gelem se zde rozumí vlastní štěpící médium o velmi nízké koncentraci spojitě disperzního podílu. Zvýšení viskozity příznivě ovlivňuje transport propantu, který podstatně pomaleji sedimentuje během aktivní fáze štěpení, čímž se zajišťuje jeho rovnoměrnější rozdělení po celé délce trhliny. Rovněž se vyloučí jeho lokální nahromadění,

jež by se po ukončeném štěpení nepříznivě projevilo v dalších etapách čerpání. Vzhledem k vnitřnímu uspořádání kapalného gelu lze předpokládat klidnější tok, jenž si však podrží turbulentní charakter vzhledem k nerovnosti povrchu vznikající trhliny. Poněvadž současně však dojde k snížení povrchového napětí kapaliny a tím i adhezních sil na fázovém rozhraní uhlí/kapalina, budou abrazivní účinky štěpící kapaliny menší, a proto bude i menší množství vznikajícího kalu s jeho negativními projevy. Lze očekávat, že vyšší viskozita příznivě ovlivní také mechanismus ukládání filtračního koláče, a tím také vlastní plynopropustnost uhlí na jeho kontaktním povrchu.

Při realizaci hydraulického štěpení pomocí vodných roztoků gelů je možné za nejrozšířenější látky k zvýšení viskozity vody považovat použití zesítěného gelu guaru nebo hydroxypropyl guaru. Jejich zesítení se uskutečňuje nejčastěji přidávkou boraxu jako aktivátoru. Mezi používané látky modifikující viskozitu se řadí také hydroxyethylcelulóza a želatina a jako aktivátory se používají rovněž monoethanolamin nebo ethylenglykol. Optimálně zesítěný gel vykazující maximální viskozitu existuje v závislosti na teplotě při určité hodnotě pH, přičemž pH u gelů zesítených boraxem rovněž silně ovlivňuje ztrátu tlaku vlivem tření. Gel na bázi vodných roztoků splňuje požadavky na optimalizaci štěpících podmínek, avšak omezuje permeabilitu štěpené sloje pro degazaci. Proto je třeba gel po štěpení odstranit, což se provádí zrušením zesítené struktury pomocí přerušovače s následným čištěním, při kterém se výplachem odstraní zbytky disperzního podílu z povrchu štěrbin. U zásobníků uhelného methanu je nejběžněji používaným přerušovačem persulfát sodný aplikovaný spolu s boráty a to v různém množství, buď společně s aktivátorem, nebo bez něj. Doporučení aplikovatelných látek a jejich množství není od různých servisních společností stejné. V závislosti na teplotě lze použít různých kombinací přerušovačů a aktivátorů. Guarové gely s použitím enzymů jako přerušovačů vykazují dokonalejší přerušování než při použití persulfátu. Celého procesu se účastní v uvedené posloupnosti následující chemická aditiva: a) gelotvorné látky, b) látky vyvolávající vznik zesítené struktury gelu, c) látky způsobující rozpad zesítené struktury gelu a d) látky čistící. V případě použití vody jako štěpící kapaliny zjištěna poloviční délka trhliny 61 m s vodivostí 457 mD.m, zatímco při štěpení s použitím gelu bylo dosaženo poloviční délky trhliny 137 m s vodivostí 3658 mD.m [3].

### 2.2.3. Štěpení pomocí pěn

Požadované vlastnosti štěpících kapalin vhodně splňují rovněž pěny, jejichž disperzní soustava se skládá z plynného disperzního podílu a kapalného disperzního prostředí, kterým bývá nejčastěji voda nebo kapalná organická sloučenina, resp. jejich směs. Velmi nízký stupeň disperzity způsobuje, že objemový podíl disperzního podílu v pěnách je podstatně větší než u běžných disperzních soustav. Pěny jsou převážně velmi nestálé, neboť přepážky mezi jednotlivými bublinkami

plynu se protrhávají a dochází ke spojení s plynnou fází nad pěnou. Pro získání stálých pěn je nezbytná přítomnost vhodné třetí složky – pěnotvorného činidla, které stabilizuje vzniklou disperzi plynu v kapalině. Pěnotvorné činidlo vytváří stabilizující film okolo jednotlivých částic disperzní fáze. Specifické vlastnosti tohoto filmu pak prakticky rozhodují o vlastnostech celého disperzního prostředí. Obecně jako pěnotvorné mohou sloužit povrchově aktivní látky, jako např. mýdla a různé detergenty, dále bílkoviny, saponiny, či čtené polymery. Tyto látky snižují povrchové napětí, čímž dochází k dispergaci nemísitelných fází, a současně zvyšují mechanickou a tepelnou stabilitu pěny.

Při těžbě ropy a plynu je zvykem používat termín kvalita pěny, která je definována objemovými procenty nebo frakcí plynu v pění za specifických podmínek tj. teploty a tlaku. Např. jestliže 100 cm<sup>3</sup> pěny obsahuje 90 cm<sup>3</sup> plynu a 10 cm<sup>3</sup> kapalně fáze, nese pěna označení kvality 90. S kvalitou pěny se výrazně mění její viskozita, která v oblasti nízkých kvalit (20 – 70) stoupá lineárně, zatímco v oblasti kvalit nad 70 je vzestup exponenciální. Významnou otázkou je také tok pěny porézním systémem, neboť pěna jím neteče jako kontinuum, nýbrž její jednotlivé fáze tečou odlišným mechanismem. Pohyb pěny jako dvoufázového toku je v póru ovlivněn jeho tvarem a může při určitém zúžení vyvolat kritický stav toku.

Schopnost unášení propantu je v případě pěn výrazně vyšší než u vody nebo vodných roztoků gelů a dosahuje se tak zlepšení v rozptylu částic propantu. Použití pěny umožňuje zároveň redukci objemu vody a polymeru spotřebovaných při stimulaci až o 70 %. Na rozdíl od štěpící kapaliny se pěny neadsorbují na povrchu uhlí a jejich aplikace omezuje nebezpečí snížení propustnosti trhlín. Určitá hodnota viskozity pěny je stejně jako u štěpících kapalin požadována pro dosažení maximální šířky trhliny. Pěna má výhody vysoké nosnosti písku, nízké ztráty kapaliny, malé tvorby poškození, rychlé obnovy kapaliny. Hydraulické štěpení používající pěnu se uskutečňuje především s využitím hydroxyethylcelulózy jako pěnidla a plynného dusíku jako disperzního podílu. Celého procesu se účastní následující chemická aditiva: a) pěnotvorné látky, b) plyn jako disperzní podíl, c) stabilizátory pěny, d) látky způsobující rozpad pěny a e) látky čistící.

Vedle pěn na bázi vodných gelů je možné použití pěn na bázi uhlovodíků, které v sobě slučuje jednak funkci stimulačního činidla, jednak čistícího činidla. Prvotními výhodami použití stimulačních kapalin na bázi uhlovodíků je rychlé čištění vrtu, slučování s vrtnými kapalinami a redukce bobtnání. Schopnost uhlovodíků vytvářet pěny pak dovoluje kombinaci pozitivních vlastností uhlovodíků a pěn. Při těžebních aplikacích byly jako štěpící kapaliny použity např. keroseny a xyleny. Základní použitý uhlovodík vytvoří po přidávku gelifikačního činidla gel, který je prekursorem pěny. Při štěpení uhlovodíkovou pěnou prochází kapalným gel míchacím zařízením, do něhož je přidáván pro-

pant a zároveň dávkováno pěnicí činidlo, jehož koncentrace se pohybuje mezi 0,2 až 0,6 %.

Vzhledem k povaze štěpení pěnou, kdy kapalnou fází je nesena vyšší koncentrace propanu – třetina až pětina normálního objemu kapaliny, musí být použito speciální mechanické zařízení k vytvoření a zajištění suspenze propanu. Jako plyn je normálně používán dusík a kombinací turbulence kapaliny s turbulencí plynu je generována pěna. Kvalita pěny se vyjadřuje jako poměr objemu plynu k celkovému objemu pěny za daných termodynamických podmínek. Jako povrchově aktivní látka se používá synergická směs fluorouhlovodíku a uhlovodíku, které zlepšují fyzikální a chemické vlastnosti pěnového systému.

Použití kapalného gelu nebo pěny má své přednosti v transportu a distribuci propanu a v potlačení vzniku kalu, ovšem jeho nevýhodou je přidavek chemikálií do štěpícího média pro vznik gelové nebo pěnové struktury a nutnost jejich rozbití po ukončeném štěpení, což je opět spojeno se zanášením dalšího činidla. Všechny tyto látky mají schopnost se adsorbovat z roztoku na uhlém povrchu štěrbin, a to jak na vnějším povrchu, tak v pórech, kam pronikají spolu s nasávanou kapalinou. Poněvadž vynuceným tokem kapaliny při štěpení je v každém místě trvale obnovován koncentrační spád těchto látek, může pokrytí povrchu jejich sorbovaným množstvím dosahovat takové tloušťky, která je již schopna významnou měrou ovlivňovat propustnost povrchové vrstvy pro těžný plyn. Proto je nutné, jak již bylo uvedeno, po rozbití struktur tyto látky odstranit výplachem.

#### 2.2.4. Štěpení kapalným plynem

Speciální aplikaci při hydraulickém štěpení představuje použití kapalných plynů, např. kapalného oxidu uhličitého, který ač vykazuje chování nízkoviskózní kapaliny ( $\eta = 97 \mu\text{P}$  při  $-78 \text{ }^\circ\text{C}$ ), uplatňují se při jeho použití některé již výše popsané přednosti štěpení plynem. Pozitivní účinek kapalného plynu je způsoben tvorbou tenké distanční vrstvy plynné fáze, k jejímuž vzniku dochází na rozhraní kapalných fází štěpícího média a pevné fáze tvořené stěnou trhliny v uhelné sloji, čímž dochází k nepatrné abrazi trhliny. Základní předností při použití kapalného oxidu uhličitého jako štěpícího média je eliminace nežádoucího poškození vlastního zásobníku, vyřazení gelu a jiných chemických látek a bobtnání uhlí a některých minerálních látek ve vodě [4].

Štěpení kapalným oxidem uhličitým je v podstatě shodné s hydraulickým štěpením běžnými kapalinovými systémy.  $\text{CO}_2$  je injektován do sloje jako kapalným nosičem propanu, většinou písku. Transport propanu je typický jako u jiných nízkoviskózních kapalin a je charakterizován jeho usazováním, kdy rychle vypadá z kapaliny po vstupu do štěrbin a potom je unášen po délce štěrbin do vzdálenosti závislé na rychlosti toku. Po ukončení štěpení není třeba provádět výplachy, poněvadž  $\text{CO}_2$  se beze zbytku vrací na povrch v plynné fázi. Navíc expanzivní vlastnosti  $\text{CO}_2$  mohou sloužit také pro kontrolu těsnosti díla v různých partiích. Typickým krokem

pro štěpení kapalným  $\text{CO}_2$  je úvodní vyplnění a natlakování vrtu dusíkem, aby se zabránilo vytvoření zátky ze suchého ledu v důsledku prudkého poklesu tlaku při zahájení injektáže.

#### 2.2.5. Štěpení plynem

V případech použití dusíku jako štěpícího média je dusík transportován v kapalném stavu a předtím než je injektován do vrtu je zahřátím převeden do plynného stavu. Mechanismus štěpení je totožný s běžným hydraulickým štěpením, pouze štěpící médium je plynné. Bezpropanové štěpení plynem se dostalo do popředí zájmu v souvislosti s těžbou uhelného plynu v oblastech citlivých na vodu. Vzhledem k minimální abrazivitě nevzniká při štěpení plynným dusíkem v trhlíně kal a za nepřítomnosti propanu a vody ani propanová kaše, která by při vyšší hustotě spolu s kalem vytvářela v trhlíně systém můstků a tím překážku pro tok čerpaného plynu. Průřez trhlínou zůstává proto trvale volný, postupně se však působením tlaku nadloží zužuje až do eventuálního uzavření. Použití takto štěpených slojí má přes svou "čistou" techniku pro těžbu methanu jen časově omezený význam. Nové technologické uspořádání této metody umožňuje k plynnému dusíku jako štěpícímu médiu přidávat propan. Tato metoda pochopitelně překonává výsledky bezpropanového štěpení.

### 3. Závěr

Výběr propanu a štěpícího média ovlivňují jak geologické a hydrogeologické podmínky štěpené sloje, tak typ štěpeného uhlí, s přihlédnutím k ekonomice těžby. Otázky spojené s jejich výběrem s ohledem na chování a účinnost aplikace ve štěpeném systému tvoří rozsáhlý soubor výzkumných problémů, které byly a jsou předmětem jednak laboratorního výzkumu využívajícího speciální k tomuto účelu vyvinuté simulátory, jednak jsou ověřovány při použití ve vrtech. Důvodem tohoto výzkumu jsou často rozporuplné výsledky hydraulického štěpení v různých lokalitách, kdy někdy je dosaženo extrémně dobrých výsledků, zatímco jindy jsou výsledky méně než uspokojivé. To vede ke snaze o podrobný fyzikálně chemický popis chování všech složek daného systému.

#### Literatura

1. Wang S, Elsworth D., Liu J.: Permeability evolution in fractured coal: The roles of fracture geometry and water content; *Int. J. Coal Geol.* 87, 2011, 13-25.
2. Application of New and Novel Fracture Stimulation Technologies, Topical Report 1995, DOE/MC/3 1112/5254.
3. Zuber R.D., Kuuskraa V.A., Sawyer W.K.: Optimizing Well Spacing and Hydraulic-Fracture Design for Economic Recovery of Coalbed Methane: *SPE Formation Evaluation* 5, 1990, 98-102.
4. Batley G.E., Kookana R.S.: Environmental issues associated with coal seam gas recovery: managing the fracturing boom; *Environ. Chem.* 9, 2012, 425-428.

## Summary

*Zuzana Weishauptová and Oldřich Příbyl  
Institute of Rock Structure and Mechanics, AS CR*

### *Methods of coal beds stimulation*

Mining coal seam gas with high methane content requires, due to low permeability of coal seams, employment of fracturing-stimulating technologies, which ensure long-term discharge of the mined gas. In the paper, a method of hydraulic fracturing has been described, which can be realized using various fracturing fluids depending on conditions of a mined locality. Although the development of fracturing fluids and their utilization has started several decades ago, their investigation and development continues.