

Univerzita Pardubice
Fakulta chemicko-technologická

Břidlicový plyn
Bakalářská práce

2020

Lenka Moravcová

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracovala samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využila, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byla jsem seznámena s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 7/2019 Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 3. 6. 2020

Lenka Moravcová

Univerzita Pardubice
Fakulta chemicko-technologická
Akademický rok: 2018/2019

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Lenka Moravcová**
Osobní číslo: **C16657**
Studijní program: **B2807 Chemické a procesní inženýrství**
Studijní obor: **Ochrana životního prostředí**
Název tématu: **Břidlicový plyn**
Zadávací katedra: **Ústav environmentálního a chemického inženýrství**

Zásady pro vypracování:

1. Zpracujte literární rešerši na zadané téma. Pozornost zaměřte také na legislativu, týkající se těžby břidlicového plynu.
2. Charakterizujte břidlicový plyn a popište metody jeho těžby.
3. Z dostupných informací vyhodnoťte environmentální dopady těžby břidlicového plynu na životní prostředí.
4. Bakalářskou práci zpracujte v souladu se Směrnicí UPa č. 9/2012 "Pravidla pro zveřejňování závěrečných prací a jejich základní jednotnou formální úpravu" v platném znění.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Jaroslava Kořínková, Dr.

Ústav environmentálního a chemického inženýrství

Datum zadání bakalářské práce: **8. února 2019**

Termín odevzdání bakalářské práce: **4. července 2019**



prof. Ing. Petr Kalenda, CSc.
děkan

L.S.



prof. Ing. Petr Mikulášek, CSc.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 8. února 2019

Poděkování

Tímto bych chtěla poděkovat za vedení práce a věnovaný čas Ing. Jaroslavě Kořínkové, Dr. Dále bych ráda poděkovala za podporu své rodině, a hlavně svému partnerovi, který mi dával užitečné rady, když jsem to potřebovala.

ANOTACE

Bakalářská práce se zabývá charakteristikou břidlicového plynu a legislativou jeho těžby. Pojednává o metodách těžby ve světě a v České republice a jejich dopadech na životní prostředí a lidské zdraví.

KLÍČOVÁ SLOVA

břidlicový plyn, hydraulické štěpení, životní prostředí, legislativa, těžební činnost

ANNOTATION

The bachelor thesis deals with the characteristics of shale gas and the legislation of its extraction. It deals with mining methods in the world and in the Czech Republic and their impact on the environment and human health.

KEYWORDS

shale gas, hydraulic fracturing, environment, legislation, mining works

OBSAH

SEZNAM ILUSTRACÍ A TABULEK.....	9
SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK	10
ÚVOD.....	11
1 EVROPSKÁ LEGISLATIVA	13
1.1 Legislativa REACH.....	17
2 CHARAKTERISTIKA BŘIDLICOVÉHO PLYNU	18
2.1 Chemické vlastnosti zemního plynu	19
2.2 Geologie břidlicových hornin	21
3 TĚŽBA BŘIDLICOVÉHO PLYNU	23
3.1 Odhad potenciálních zásob zemního plynu	24
3.1.1 Problémy při odhadu technicky vytěžitelných zásob	24
3.2 Technický postup při otvírání nového ložiska	25
3.3 Horizontální vrty	25
3.4 Hydraulické štěpení.....	26
3.4.1 Složení štěpící kapaliny	28
4 ENVIRONMENTÁLNÍ DOPADY TĚŽBY.....	30
4.1 Znečištění vody	30
4.2 Zemětřesení způsobené těžbou	31
4.3 Znečištění ovzduší.....	32
5 VÝVOJ TĚŽBY BŘIDLICOVÉHO PLYNU V ČR.....	34
6 VÝVOJ TĚŽBY BŘIDLICOVÉHO PLYNU VE SVĚTĚ.....	36
6.1 Evropa	36
6.1.1 Polsko.....	37
6.1.2 Vídeňská pánev	37
6.1.3 Pařížská pánev	38
6.1.4 Jihovýchodní pánev	38

6.1.5 Skandinávie	38
6.1.6 Německo	38
6.1.7 Velká Británie	39
6.2 Významné pánve s břidlicovým plynem v USA.....	39
6.2.1 Barnett Shale	40
6.2.2 Marcellus Shale.....	40
6.2.3 Antrim Shale	41
6.2.4 Haynesville Shale.....	42
6.2.5 Fayetteville Shale	42
6.3 Ostatní státy	42
6.3.1 Čína	44
6.3.2 Argentina	44
6.3.3 Kanada	44
6.3.4 Mexiko	45
6.3.5 Austrálie	45
6.3.6 Brazílie	45
7 ZÁVĚR	46
POUŽITÁ LITERATURA.....	47

SEZNAM ILUSTRACÍ A TABULEK

Obrázek 1 - Schéma geologie zdrojů zemního plynu [12]	19
Obrázek 2 - Břidlicová formace [19]	21
Obrázek 3 - Druhy břidlice [20].....	22
Obrázek 4 - Schéma horizontálního vrtu a hydraulického štěpení [21].....	23
Obrázek 5 - Schéma vertikálního a horizontálního vrtu [26]	26
Obrázek 6 - Schéma hydraulického štěpení [28]	27
Obrázek 7 - Složení štěpící kapaliny pro hydraulické štěpení [21]	28
Obrázek 8 - Mapa ČR a její místa s břidlicovými ložisky [39]	35
Obrázek 9 - Mapa světa hlavních pánví s ložisky břidlicového plynu [41].....	36
Obrázek 10 - Produkce BP v jednotlivých břidlicových formacích v USA [48].....	40
Obrázek 11 - Vrtná základna ložiska Marcellus v oblasti Pensylvánie [49].....	41
Obrázek 12 - Srovnání těžby břidlicového plynu s ostatními plyny [50]	43
Tabulka 1 - Nejdůležitější právní předpisy týkající se těžby břidlicového plynu [3]	14
Tabulka 2 - Směrnice EU specificky zaměřené na odvětví těžebního průmyslu [3]	14
Tabulka 3 - Směrnice EU o vodě [3].....	15
Tabulka 4 - Příslušné směrnice EU o chemických látkách [3]	15
Tabulka 5 - Příslušné evropské směrnice o odpadech [3].....	16
Tabulka 6 - Příslušné směrnice EU o ochraně životního prostředí [3]	16
Tabulka 7 - Příklad složení zemního plynu před jeho rafinací [15]	20
Tabulka 8 - Potenciálně znečišťující látky a jejich zdroje [33].....	33
Tabulka 9 - Souhrn deseti států s technicky vytěžitelnými zásobami BP [41]	43

SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK

EU – Evropská unie

EIA – Environmental Impact Assessment (Vyhodnocení vlivů na životní prostředí)

BP – Břidlicový plyn

REACH – Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (Regulační rámec pro nakládání s chemickými látkami)

BAT – Best Available Techniques (Nejlepší dostupné techniky)

EEA – European Environment Agency (Evropská agentura pro životní prostředí)

TOC – Total organic carbon (Celkový organický uhlík)

TDS – Total dissolved solids (Celkové množství rozpuštěných pevných látek ve vodě)

NO_x – Oxidy dusíku

PM – Particulate matter (Pevné částice)

MŽP – Ministerstvo životního prostředí

CHKO – Chráněné krajinné oblasti

ÚVOD

Břidlicový plyn je podporován jako čistý a bezpečný zdroj energie, díky kterému se může zlepšit energetická bezpečnost Evropy. Tento zdroj se začal výrazněji rozvíjet v posledních patnácti letech, zejména ve Spojených státech. Souhrn znalostí s těžbou břidlicového plynu ve Spojených státech poukazuje, že těžení plynu z břidlic má dopady na zdraví a ekologii. Nejvíce se hovoří o ohrožení znečištění podzemních vod, o dopadu frakování plynu na kvalitu ovzduší nebo o možném následném výskytu zemětřesení [1].

V Evropě funguje systém zodpovědnosti každého členského státu za vlastní energetiku, přičemž jednotlivé země preferují odlišné přístupy. K těžbě břidlicového plynu se postavily negativně například Francie, Bulharsko a regionální části Německa. V těchto státech je těžba tohoto energetického zdroje zakázána. Naopak Ukrajina a Polsko vidí v těžbě břidlicového plynu příležitost, jak se částečně zbavit závislosti na dovozu z Ruska. Evropská unie (EU) v současnosti nemá žádnou jednotnou legislativní úpravu pro těžbu nekonvenčních zdrojů plynu, ačkoliv jejich těžba zde spadá pod obecné evropské směrnice a dohody, jako jsou Smlouva o EU, Směrnice o posuzování dopadů na životní prostředí, či Rámcové směrnice o vodě [2] [3].

Mezi zásadní obavy veřejnosti patří zhoršení kvality povrchových a podzemních vod (včetně bezpečného odstraňování velkých objemů odpadních vod) a riziko zvýšených emisí skleníkových plynů (včetně fugitivních emisí methanu), čímž se zhoršuje antropogenní změna klimatu. Dále se mezi ně řadí rušivé účinky na půdu a nepříznivé účinky na lidské zdraví. V neposlední řadě jsou obavy z místního vypouštění znečišťujících látek do ovzduší a vyšší pravděpodobnost vzniku zemětřesení v seismicky aktivních oblastech. Tyto obavy se liší v závislosti na regionu [4].

Hlavním faktorem, který je třeba zvážit, jsou nezpochybnitelné zásahy do krajiny při jakékoliv těžbě nekonvenčních nebo konvenčních ložisek plynu. Ze současných poznatků je rovněž zřejmé, že schopnost Země v pohlcování skleníkových plynů bude vyčerpána dlouhou dobu předtím, než dojde k vyčerpání zásob fosilních paliv. Pokud bychom chtěli splnit závazek o udržitelnosti nárůstu průměrné globální teploty pod 2 stupni Celsia, musíme do poloviny 21. století spálit jenom čtvrtinu zásob známých fosilních paliv. Podle Mezinárodní energetické agentury (IEA) by vývoj těžby břidlicového plynu vedl k rostoucí teplotě, a to až o více 3,5 stupně celsia [2].

Cílem bakalářské práce je charakterizovat břidlicový plyn, popsat metody jeho těžby a vyhodnotit environmentální dopady těžby na životní prostředí. Pozornost je zaměřena také na legislativu, týkající se jeho těžby.

1 EVROPSKÁ LEGISLATIVA

V současné době neexistuje v Evropské unii legislativní úprava, která by byla přímo zaměřena na těžbu nebo na průzkum nekonvenčních zdrojů plynu. Jelikož pro těžbu břidlicového plynu (BP) není specifická legislativní úprava, tak spadá pod obecné evropské směrnice a dohody. Samotný průzkum a těžba BP též spadá i do Smlouvy o fungování Evropské unie (smlouva o EU). Též pro těžbu BP se vztahuje již existující právní úprava a povoloovací procesy těžby uhlovodíků a procesy hornictví [3].

V EU právní předpisy, které se týkají těžby a průzkumu břidlicového plynu, se skládají z jiných právních předpisů EU. Tyto právní předpisy zahrnují především smlouvy, směrnice, nařízení a rozhodnutí. EU už několik let pracuje a zabývá se zlepšením účinnosti právě výše zmíněných právních předpisů týkající se břidlicového plynu. Cílem je se vypořádat a snížit potenciální dopady na životní prostředí [5].

Mezi další legislativní úpravy, které se týkají břidlicového plynu, se vztahuje i mnoho dalších evropských směrnic, a to Směrnice o posuzování dopadů na životní prostředí, Rámcová směrnice o vodě, Směrnice o odpadech z těžby a také nařízení REACH (Regulační rámec pro nakládání s chemickými látkami). Bohužel se však tyto směrnice zabývají těžbou břidlicového plynu pouze nepatrně, a ne vždy berou v potaz dopady těžby břidlicového plynu, mezi které patří především vliv hydraulického štěpení [3] [6].

Zásadním problémem pro těžbu břidlicového plynu z hlediska pohledu států, je ochrana životního prostředí. Aktivity související s břidlicovým plynem ukazují, že mohou způsobovat přeshraniční problémy, především ekologické, které nemohou být řešeny v rámci legislativy na národní úrovni. Evropská komise nemůže rozhodovat o plošném zákazu těžby břidlicového plynu v EU, ale má kompetence provádět legislativní proces a též i zajistit, že bude uplatněn princip předběžné opatrnosti [3] [5] [6].

Například v USA vytvořili legislativu až poté, co se vyskytly první ekologické problémy. Je proto nutné pro každou evropskou zemi zajistit odpovídající a kompaktní standardy regulace, monitorování a prevence rizikových činností. Z důvodů potenciálních dopadů těžby břidlicového plynu je důležité, aby se zavedla legislativa, která má chránit nejen veřejnost, ale i životní prostředí před nebezpečným znečištěním. Ve Spojených státech zatím neexistuje tento zákonný rámec, a přesto byl v senátu předložen. V několika zemích jsou zavedena místní pravidla a v některých státech USA, jako například ve Vermontu se rozhodli zcela zakázat hydraulické štěpení [3] [5] [6].

Tabulka 1 - Nejdůležitější právní předpisy týkající se těžby břidlicového plynu [3]

Směrnice o odpadech z těžby	Natura 2000
Kvalita vnějšího ovzduší	Směrnice o podzemních vodách
Referenční dokument o BAT	Směrnice o ochraně přírodních stanovišť a ptactva
Seveso II	Strategie pro vnějšího ovzduší
Směrnice EIA	Rámcová směrnice o vodě
REACH	Odpovědnost za životní prostředí

V tabulce 1 jsou uvedeny nejdůležitější právní předpisy, které jsou zaměřeny především na těžební průmysl. V tabulkách 2-6 se nachází souhrn předpisů a směrnic, týkajících se těžby břidlicového plynu. Mezi ně patří zejména ochrana vod a životního prostředí a z průmyslových odvětví je to nakládání s odpady a chemickými látkami a postup při nehodách. Směrnicemi v tabulce 2 se upravují postupy a požadavky na provádění těžebního průmyslu.

Tabulka 2 - Směrnice EU specificky zaměřené na odvětví těžebního průmyslu [3]

Číslo směrnice	Název směrnice
2006/21/ES	Směrnice o nakládání s odpady z těžebního průmyslu
1992/104/EHS	Směrnice o minimálních požadavcích na zlepšení bezpečnosti a ochrany zdraví zaměstnanců v povrchovém a hlubinném těžebním průmyslu (dváctá samostatná směrnice ve smyslu čl. 16 odst. 1 směrnice 89/391/EHS)
1992/91/EHS	Směrnice o minimálních požadavcích na zlepšení bezpečnosti a ochrany zdraví zaměstnanců v těžebním vrtném průmyslu (jedenáctá samostatná směrnice ve smyslu čl. 16 odst. 1 směrnice 89/391/EHS)
1994/22/ES	Směrnice o podmínkách udělování a užívání povolení k vyhledávání, průzkumu a těžbě uhlovodíků

Hydraulické štěpení je hlavním předmětem diskuzí o možném dopadu na kvalitu vody. V tabulce 3 jsou uvedeny nejdůležitější směrnice v souvislosti s vodou.

Tabulka 3 - Směrnice EU o vodě [3]

Číslo směrnice	Název směrnice
2000/60/ES	Směrnice, kterou se stanoví rámec pro činnost Společenství v oblasti vodní politiky (rámcová směrnice o vodě)
1980/68/EHS	Směrnice o ochraně podzemních vod před znečišťováním některými nebezpečnými látkami (zrušená směrnicí 2000/60/ES s účinností od 22. prosince 2013)
2006/118/ES	Směrnice o ochraně podzemních vod před znečištěním a zhoršováním stavu
1986/280/EHS	Směrnice Rady o mezních hodnotách a jakostních cílech pro vypouštění některých nebezpečných látek uvedených v seznamu I přílohy směrnice 76/464/EHS
2006/11/ES	Směrnice o znečišťování některými nebezpečnými látkami vypouštěnými do vodního prostředí Společenství (kodifikované znění)
1998/83/ES	Směrnice o jakosti vody určené k lidské spotřebě

V tabulce 4 jsou uvedeny nejdůležitější evropské směrnice, které se týkají nakládání s chemickými látkami, počítaje i s právními předpisy vztahující se na odvracení nehod.

Tabulka 4 - Příslušné směrnice EU o chemických látkách [3]

Číslo směrnice	Název směrnice
Nařízení č. 1907/2006	Nařízení o registraci, hodnocení, povolování a omezování chemických látek (REACH), o zřízení Evropské agentury pro chemické látky
ECE/TRANS/2158	Evropská hospodářská komise OSN: Evropská dohoda o mezinárodní silniční přepravě nebezpečných věcí. ADR platí od 1. ledna 2011
1996/82/ES	Směrnice o kontrole nebezpečí závažných havárií s přítomností nebezpečných látek
2003/105/ES	Směrnice, kterou se mění směrnice Rady 96/82/ES (směrnice Seveso II) o kontrole nebezpečí závažných havárií s přítomností nebezpečných látek. Nejdůležitější změny v rozsahu působnosti této směrnice představuje rozšíření oblasti její působnosti tak, aby pokryla rizika vyplývající ze skladovacích a zpracovatelských činností v těžebním průmyslu, skladování a výroby pyrotechniky a výbušnin a skladování dusičnanu amonného a hnojiv na jeho bázi
1991/689/EHS	Směrnice o nebezpečných odpadech
1967/548/EHS	Směrnice o sblížování právních a správních předpisů týkajících se klasifikace, balení a označování nebezpečných látek
1999/45/ES	Směrnice o sblížování právních a správních předpisů členských států týkajících se klasifikace, balení a označování nebezpečných přípravků

Také existují směrnice o odpadech, které řeší problematiku nakládání s odpady s ohledem na podmínky těžby břidlicového plynu (tabulka 5). V souvislosti s těmito podmínkami jsou následně důležité směrnice a rozhodnutí, které definují mezní hodnoty. V tabulce 5 jsou uvedené čtyři směrnice a čtyři rozhodnutí.

Tabulka 5 - Příslušné evropské směrnice o odpadech [3]

Číslo směrnice	Název směrnice
2006/21/EC	Směrnice o nakládání s odpady z těžebního průmyslu a o změně směrnice 2004/35/ES
Rozhodnutí Komise 2009/359/ES	Rozhodnutí, kterým se doplňuje definice inertního odpadu v rámci provádění čl. 22 odst. 1 písm. f) směrnice 2006/21/ES o nakládání s odpady z těžebního průmyslu
2006/12/ES	Směrnice o odpadech
1999/31/ES	Směrnice o skládkách odpadů
Rozhodnutí Komise 2000/532/ES	Rozhodnutí, kterým se stanoví seznam (nebezpečných) odpadů ve smyslu několika směrnic (a kterým se nahrazuje rozhodnutí 94/3/ES)
Rozhodnutí Komise 2009/360/ES	Rozhodnutí, kterým se doplňují technické požadavky pro popis vlastností odpadu stanovené směrnicí 2006/21/ES o nakládání s odpady z těžebního průmyslu
Rozhodnutí Komise 2009/337/ES	Rozhodnutí, kterým se určují kritéria pro klasifikaci zařízení pro nakládání s odpady v souladu s přílohou III směrnice 2006/21/ES o nakládání s odpady z těžebního průmyslu
Rozhodnutí 2002/1600/ES	Rozhodnutí o šestém akčním programu Společenství pro životní prostředí

Tabulka 6 obsahuje seznam směrnic, které se týkají vlivů na životní prostředí za podmínek, že budou dodrženy provozní podmínky. Avšak i zde hrozí riziko nehod.

Tabulka 6 - Příslušné směrnice EU o ochraně životního prostředí [3]

Číslo směrnice	Název směrnice
2010/75/EU	Směrnice o průmyslových emisích (integrované prevenci a omezování znečištění)
2008/1/ES	Směrnice o integrované prevenci a omezování znečištění
Rozhodnutí 2000/479/ES	Rozhodnutí o vytvoření Evropského registru emisí znečišťujících látek (EPER) podle článku 15 směrnice Rady 96/61/ES o integrované prevenci a omezování znečištění (IPPC). Příloha A1: Seznam znečišťujících látek vykazovaných při překročení mezních hodnot
1985/337/EHS	Směrnice o posuzování vlivů na životní prostředí
2003/35/ES	Směrnice o účasti veřejnosti na vypracovávání některých plánů a programů týkajících se životního prostředí a o změně směrnic Rady

Číslo směrnice	Název směrnice
	85/337/EHS a 96/61/ES, pokud jde o účast veřejnosti a přístup k právní ochraně
2001/42/ES	Směrnice o posuzování vlivů některých plánů a programů na životní prostředí
2004/35/ES	Směrnice o odpovědnosti za životní prostředí v souvislosti s prevencí a nápravou škod na životním prostředí
1992/43/EHS	Směrnice o ochraně přírodních stanovišť, volně žijících živočichů a planě rostoucích rostlin
1979/409/EHS	Směrnice o ochraně volně žijících ptáků
1996/62/ES	Směrnice o posuzování a řízení kvality vnějšího ovzduší

1.1 Legislativa REACH

Na projekty těžby břidlicového plynu v průmyslu se v EU vztahuje legislativa, která upravuje používání chemických látek za pomoci registrace a autorizace. Tato legislativa se nazývá REACH. Za normálních okolností je pro provozovatele běžné zveřejňovat použité chemikálie v průmyslu, avšak pro případ, že nechtějí zveřejnit použité chemikálie jako například u frakování, existuje legislativa REACH. Legislativa ukládá provozovatelům povinnost provádět vlastní hodnocení těchto látek a ohlásit jej Evropské agentuře pro chemické látky [3] [6].

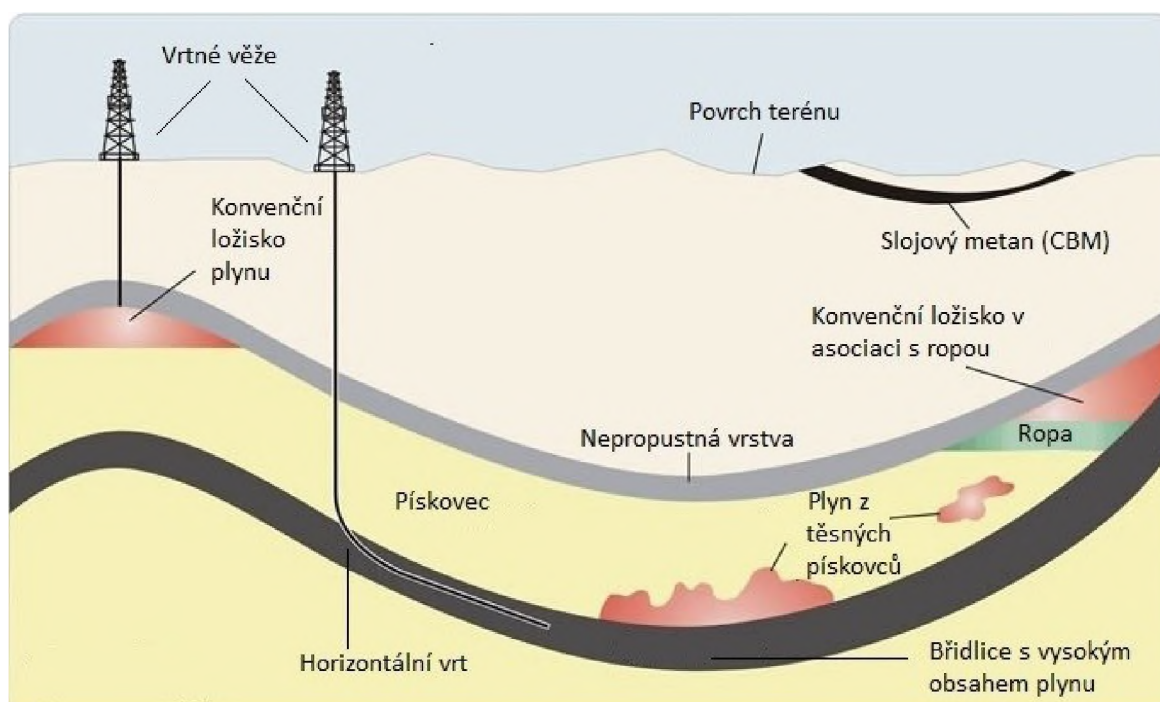
Evropa má rovněž legislativu pro ochranu přírody ve významných biodiverzitních oblastech. Ta se na projekty břidlicového plynu v některých případech může přímo vztahovat. Jedná se o fakt, že by se oblastem uvedených v Natura 2000 a také oblastem, které chrání zákony jednotlivých členských států EU, měla těžba břidlicového plynu vyhnout z důvodu narušování biodiverzity. Evropská agentura pro životní prostředí (EEA) zmapovala polohu chráněných oblastí vzhledem k významným ložiskům břidlicového plynu pro Nizozemí, Německo a Polsko, čímž se snaží zamezit zásahům do krajiny [3] [6].

2 CHARAKTERISTIKA BŘIDLICOVÉHO PLYNU

V podstatě se jedná o zemní plyn obsahující z hlavní části metan (90 %), který se nachází v břidlicových formacích, z nichž některé byly vytvořeny před 300 až 400 miliony let během devonského období. Břidlice byly po nějakou dobu ukládány jako částice jílu a jemného bahna na dno poměrně uzavřených vodních útvarů. Jemnozrné horniny, jako jsou právě zmíněné břidlice, se většinou ukládaly v prostředí chudém na kyslík nebo v anoxickém prostředí. Přibližně ve stejnou dobu se začaly na zemi vytvářet primitivní rostliny a vyskytli se první obojživelníci. Část methanu vytvořeného z organické hmoty pohřbených sedimentů unikla do písčinych vrstev hornin v blízkosti s břidlicemi. S tímto únikem methanu byl vytvořen zemní plyn nakumulovaný v konvenčním ložisku, který lze snadno extrahovat. Určitá část zemního plynu zůstala uzavřená ve vrstvách břidlic, které mají nízkou propustnost. Právě tato zmíněná část zemního plynu se nazývá břidlicovým plynem neboli nekonvenčním [7] [8] [9].

Vznik zemního plynu závisí na vlastnostech okolní horniny. Jedná se o pórovitost horniny a její propustnost. Pórovitost je vlastnost tuhých materiálů, které obsahují množství drobných dutin různého tvaru. Vysokou pórovitost mají například pískovce, u kterých se poréznost pohybuje kolem 5–25 %, a tudíž poskytuje obsáhlé množství prostoru pro ukládání kapalin, jako je voda, ropa a zemní plyn. Další vlastností byla výše zmíněná propustnost, což je schopnost horniny propouštět tekutiny účinkem hydraulického gradientu. Vysoce propustná hornina umožní tekutinám a plynu lehce proudit skrz horninu, naproti tomu hornina s nízkou propustností neumožní tekutinám projít [10].

Na obrázku 1 jsou znázorněny konvenční a nekonvenční ložiska zemního plynu. Konvenční ložiska zemního plynu se obvykle vyskytují ve spojení s ropou, zatímco nekonvenční ložiska zemního plynu se většinou nachází ve spojitosti s břidlicovým plynem nebo těsným pískovcem. Asi okolo 40 % veškerých břidlic bylo zformováno v paleozoické éře, dalších 30 % bylo vytvořeno v mezozoické éře a v poslední éře kenozoické bylo vytvořeno cca 25 %. Břidlicová ložiska mají ve většině případů mocnost pár metrů. Avšak existují i břidlicová ložiska, kde mocnost horniny dosahuje místy až 600 m [10] [11].



Obrázek 1 - Schéma geologie zdrojů zemního plynu [12]

2.1 Chemické vlastnosti zemního plynu

Zemní plyn je produktem organické rozložené hmoty, jako jsou například staré mořské mikroorganismy. Tento materiál se postupně smísil s blátem a pískem na mořském dně a v utěsněném anaerobním prostředí byl vystaven rostoucí teplotě a tlaku, protože se nacházel v hloubce i několika kilometrů. Teploty se zde pohybovaly od 120 °C do 180 °C. To mělo za následek proces tepelného rozkladu, při kterém došlo k přeměně na uhlovodíky. Ty se za posledních 550 milionů let uložily ve vrstvách hornin a zde se proměnily na plyn, ropu a další produkty [10] [13].

Nejlehčí z těchto plynů je zemní plyn složený převážně z methanu. Zemní plyn není tvořen pouze methanem, ale je to směs chemicky odlišných plynů (ethanu (C_2H_6), propanu (C_3H_8) a butanu (C_4H_{10})). Jeho složení se liší podle místa naleziště. Též může obsahovat i větší množství sirovodíku. Proto musí být plynovody vybaveny úpravami plynu, kde se tento zemní plyn chemicko-fyzikálními metodami čistí. V tabulce 7 je znázorněno průměrné složení zemního plynu před jeho rafinací [10] [13] [14] [15].

Tabulka 7 - Příklad složení zemního plynu před jeho rafinací [15]

Plyn	Vzorec	Obsah plynu [%]
Methan	CH ₄	70-90
Ethan	C ₂ H ₆	0-20
Propan	C ₃ H ₈	
Butan	C ₄ H ₁₀	
Oxid uhličitý	CO ₂	0-8
Kyslík	O ₂	0-0,2
Dusík	N ₂	0-5
Sirovodík	H ₂ S	0-5
Vzácné plyny	Ar, He, Ne, Xe	stopy

Podle složení se zemní plyn dělí do čtyř skupin:

1. Zemní plyn suchý (chudý) – obsahuje vysoké množství methanu (95-98 %) se zanedbatelným množstvím vyšších uhlovodíků.
2. Zemní plyn vlhký (bohatý) – mimo methanu obsahuje též i vyšší podíl vyšších uhlovodíků.
3. Zemní plyn kyselý – plyn obsahující vysoké množství sulfanu (H₂S), který je potřeba před dodávkou zemního plynu do distribuční soustavy odstranit.
4. Zemní plyn s vyšším obsahem inertních plynů.

Zemní plyn je relativně levný a čistý zdroj energie, avšak vyžadující dopravní potrubní systém. Od roku 1973 se doložené zásoby zemního plynu více než zdvojnásobily. V tomtéž roce měly světové zásoby zemního plynu vystačit až na 47 let, ale už v roce 1989 odborníci prodloužili dobu až na 60 let. V současné době jsou zásoby zemního plynu odhadovány až na 70 let [16] [17].

2.2 Geologie břidlicových hornin

Je to nejběžnější sedimentární hornina nacházející se v pánvích po celém světě. Jedná se o nejrozšířenější horninu sedimentárního původu, která má v tomto typu hornin zastoupení 60-70 %. Břidlice (obrázek 2) se skládá z konsolidované hlíny a dalších jemných částic, které mají různou škálu tvrdosti. Břidlice se rozpadá na tenké kousky s ostrými okraji. Vyskytuje se v široké škále barev, která zahrnuje červenou, hnědou, zelenou, šedou a černou (obrázek 3) [9] [11] [18].



Obrázek 2 - Břidlicová formace [19]

Břidlice je klasifikována podle složení. Například břidlice obsahující velké množství jílu se označuje jako bradavičitá břidlice. Břidlice obsahující znatelné množství písku se nazývají arénovými břidlicemi. Břidlice s vysokým podílem organických látek mají obvykle černou barvu, a označují se jako uhlíkaté břidlice. Dalším příkladem je označení břidlice s vysokým obsahem vápna, která se nazývá vápenatá břidlice. Tato břidlice se používá při výrobě portlandského cementu. Dále existuje ropná břidlice obsahující kerogen, zkamenělý nerozpustný anorganický materiál, který se přeměňuje na ropné produkty. Ropné břidlice mohou být krátkodobým řešením problémů s nedostatkem ropy [11] [18].

Potenciál produkce plynu v břidlicové hornině se posuzuje na základě obsahu kerogenu (organické uhlíkaté látky). Nejvíce tepelně vyspělé břidlicové horniny obsahují kerogen třetího typu s potenciálem produkce tzv. suchého plynu, který obsahuje více než 90 % methanu. Mírně tepelně vyzrálé břidlicové horniny obsahují kerogen druhého typu a tyto horniny mají potenciál produkovat plyn s aditivou kondenzátu. Nejméně tepelně vyzrálé břidlicové horniny obsahují první typ kerogenu a mají potenciál produkce ropy. Tepelná zralost znamená stupeň zahřívání podloží během procesu přeměny kerogenu na uhlovodíky [11] [18].

Existuje velké množství geochemických parametrů, které určují podmínky pro těžbu břidlicového plynu a následné náklady na vyprodukovaný zemní plyn. Je-li přítomen jííl v těsných pískách, tak je schopen vést k absorpci energie v průběhu hydraulického štěpení a též může významně ovlivnit náklady na těžbu břidlicového plynu, kvůli zvýšené poptávce po chemikáliích do štěpící kapaliny. Nejlepší pro výrobu jsou tzv. křehké břidlice, které obsahují početné množství siliky, které již obsahují praskliny, čímž se zmenšuje tlak potřebný pro hydraulické štěpení [11] [18].

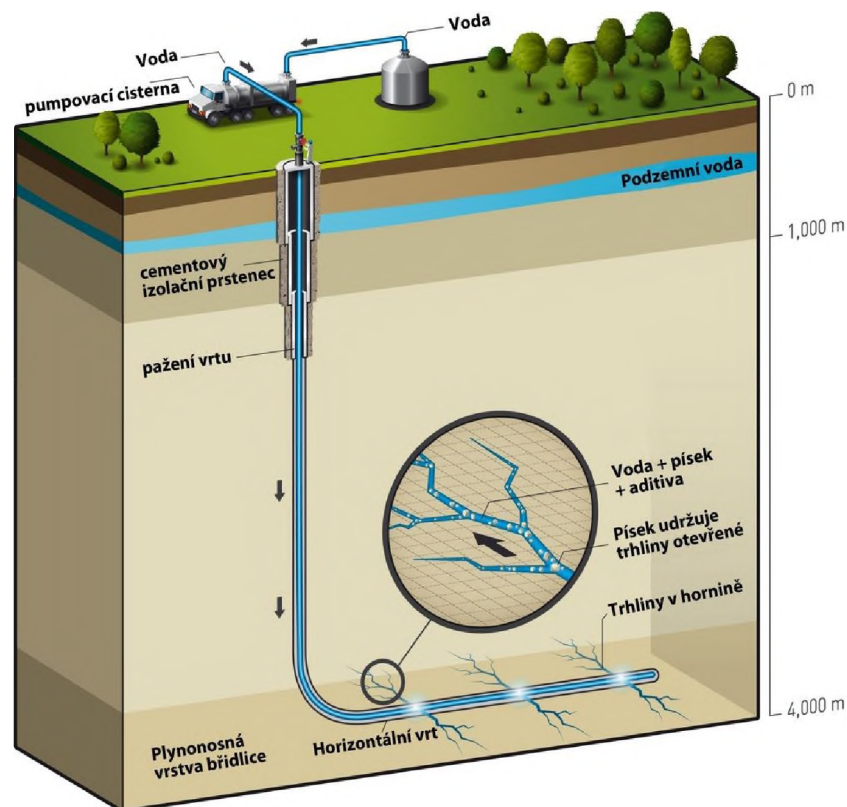


Obrázek 3 – Druhy břidlice [20]

3 TĚŽBA BŘIDLICOVÉHO PLYNU

Největší zásobárnou energie této doby jsou hlavně fosilní paliva, především ropa. Produkce ropy se ale snižuje a dochází ke globálnímu poklesu celosvětové produkce ropy. Velká ložiska ropy jsou v současné době vyčerpána, a proto se uvažuje o rozšíření nekonvenční těžby ropy. Problém zde však představuje nižší rentabilita těžby [2].

Jiná situace však nastává u zemního plynu, který dosáhl maximální produkce v roce 1974 v USA. Poté následoval pokles produkce, a to jak u ropy, tak i u zemního plynu, který trval až do poloviny 80. let, než se zahájila těžba nekonvenčního ložiska tzv. těsných písků. Koncem 90. let se k těžbě plynu z těsných písků připojila těžba plynu z břidlic. Břidlicový plyn se těží technikou horizontálního vrtání a hydraulického štěpení (obrázek 4). Horizontální vrty umožňují levným způsobem dostat se přes břidlicové desky a pomocí hydraulického štěpení se uzavřený plyn z břidlic dostane do vrtů [2].



Obrázek 4 - Schéma horizontálního vrtu a hydraulického štěpení [21]

3.1 Odhad potenciálních zásob zemního plynu

Potenciální ložiska zemního plynu lze nalézt pomocí seismických testovacích metod, podobných metodám používaným při průzkumu ropy. V takových testech využívají prospektoři seismických nákladáků nebo pokročilejší trojrozměrné nástroje, které zahrnují započetí řady malých nábojů v blízkosti zemského povrchu k vytvoření seismických vln tisíce stop v podzemních skalních formacích [10].

Měřením doby šíření těchto vln zemí v akustických přijímačích známých jako „geofony“ mohou geofyzici sestavit obrázek struktury podpovrchové vrstvy a identifikovat potenciální zásoby plynu. Aby se však ověřilo, zda skalní útvar skutečně obsahuje ekonomicky využitelná množství zemního plynu nebo jiných uhlovodíků, je zapotřebí vyvrtat průzkumný vrt [10].

Podle zkušenosti s břidlicovým plynem v severní Americe se ukazuje, že existuje několik velmi důležitých parametrů, kterými je nutno se řídit při výběru potenciálního ložiska. Jsou to následující parametry: tloušťka a hloubka břidlicového ložiska, obsah organické hmoty, jeho tepelná zralost, minerální složení a mechanické vlastnosti břidlice [22].

Parametry důležité pro odhad zásob:

1. Stanovení předběžné geologické charakteristiky ložisek a jejich litostratigrafických vrstev (prostředí vzniku plynu jako např. sladkovodní/mořské, TOC, termální vývoj, hloubka).
2. Výpočet plochy podstatných vrstev břidlic nebo jílovců.
3. Vymezení perspektivní oblasti pro libovolnou formaci (mineralogie, hloubka, prostředí vzniku, TOC, termální vývoj, geografická pozice).
4. Stanovení rizikových faktorů (teplota, tlak, mocnost ložisek, porozita).
5. Stanovení reálně technicky vytěžitelných zásob [23].

3.1.1 Problémy při odhadu technicky vytěžitelných zásob

V současné době jsou k dispozici velká množství informací kolem těžby břidlicového plynu, hlavně díky rostoucí aktivitě v oblasti těžby nekonvenčních zdrojů. I přes všechny informace se objevují nejistoty spojené hlavně s odhadem technicky vytěžitelných zásob, které připouští i EIA. Postupujícím vývojem zkušeností získaných během těžby, produkce, a hlavně vývojem technologií se množství technicky vytěžitelných zásob bude nadále měnit [2].

Podle geologa Arthura Bermana, který podrobněji zkoumal materiály pro odhady zásob břidlicového plynu, neodpovídají realitě. Upozomil, že při tvoření odhadů dochází poměrně často k výměně bohatých nalezišť, které tvoří pouze 10-20% celkové plochy, za celou plochu nalezišť, přestože zbytek oblasti je mnohem chudší na suroviny [2].

3.2 Technický postup při otvírání nového ložiska

Nejprve se určí lokalita, a to na základě geologického průzkumu. Ve vhodné lokalitě firma vytvoří prostor a zabezpečí jej před únikem použitých kapalin do ŽP. Důležitá je přístupová cesta. Dochází tak k vykácení lesů, zpevnění území, stavbě nových silnic a elektrifikaci území. Na území o rozloze 1 až 3 ha je vybudována plošina pro vrtnou soupravu. Vrtná věž sestavená z robustní příhradové konstrukce může mít výšku větší než 50 m. V případě jednoduchých vrtů může být věž umístěna na vrtných základnách po dobu několika měsíců. U svazkových vrtů je to pak obvykle déle než rok. Věž i vrtná základna bývá po celou dobu osvětlena, jak z důvodů nepřetržitého provozu, tak i z hlediska bezpečnosti provozu letového [24].

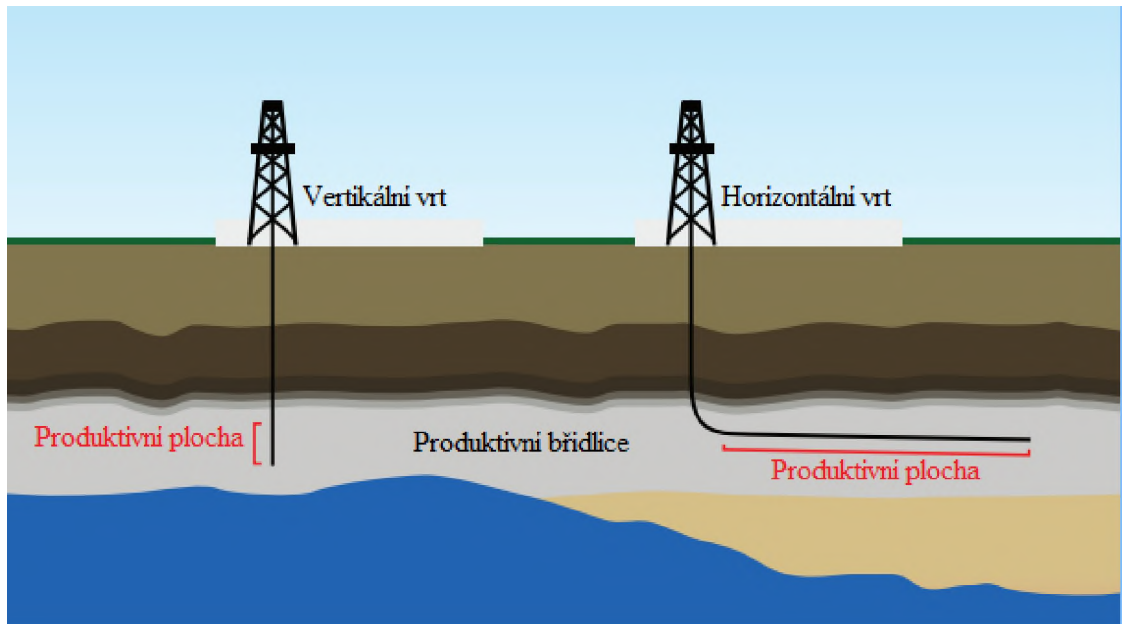
Aby nedošlo ke vzájemnému spojení vrstev a následnému zasypání vrtu, musí se vrtný otvor upravit tzv. pažnicemi. Po zapuštění a sešroubování pažnic se prostor mezi trubkou a horninou zacementuje [24].

3.3 Horizontální vrty

Tato technologie byla v posledních letech vylepšena k dosažení co nejefektivnějších výsledků. Nejdříve se vyvrtá vertikální vrt do určité hloubky nad břidlicové ložisko. Poté se vrtá pod zvětšujícím úhlem do té doby, než se dostane do kontaktu s břidlicovým ložiskem v rovině. Potom následuje už jen protáhnutí vrtu. Na rozdíl od vertikálního vrtu dojde touto metodou k většímu kontaktu vrtu s břidlicovým plynem (obrázek 5). Během vrtání jsou do vrtů vkládány rozdílné modely pažnicových kolon, které jsou upevněné pomocí cementu. Kolony mají řadu funkcí, ale nejzásadnější je udržení stability vrtu, nebo zabránění kontaminace podzemní vody. Též kontrolují tlak ve vrtu a doprovází plyn z vrtu na povrch. Konečným krokem je perforace trubek prostřednictvím náloží, čímž dojde ke vzniku množství prasklin, pomocí kterých se dosáhne propojení vrtu s formací hornin [2] [25].

Běžná délka horizontální části vrtu je mezi 0,6 až 1,8 km. Délka horizontálního vrtu může také dosáhnout až 3,5 km, ale jedná se o ojedinělé případy. Při těžbě BP je velká spotřeba vody, pohybující se od 0,2 až do 2,5 milionů litrů vody, a to pouze pro jeden vrt. Při horizontálním vrtání je sníženo narušení povrchu, oproti vertikálnímu vrtání. Je to docíleno tím, že při horizontálním vrtání je zapotřebí menšího počtu vrtů oproti vertikálnímu vrtání, a to při stejném

množství horniny. Cena u horizontálního vrtání je vyšší ve srovnání s vertikálním vrtáním [25].



Obrázek 5 - Schéma vertikálního a horizontálního vrtu [26]

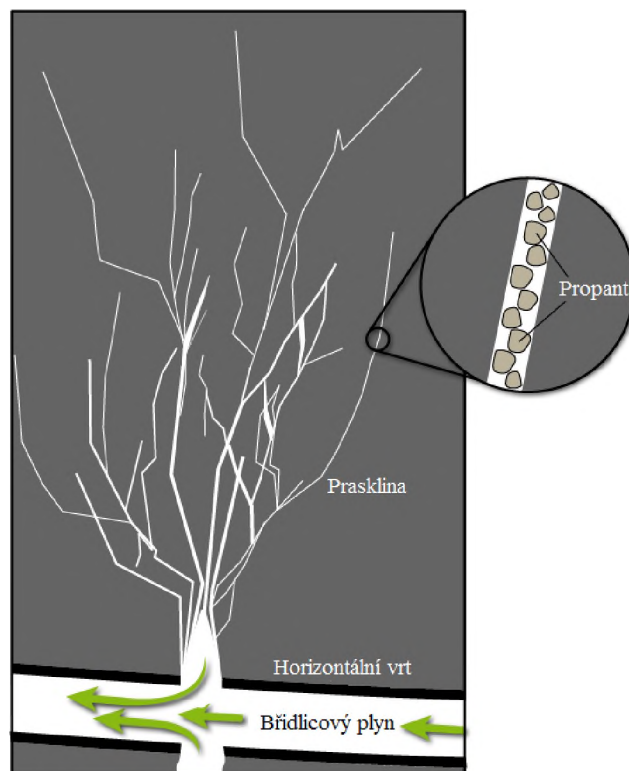
3.4 Hydraulické štěpení

Hydraulické štěpení nepatří mezi nově vyvinuté metody. Tato metoda se používá už několik let, především pro konvenční těžbu zemního plynu a těžbu ropy. Od 90. let je tato technologie štěpení zdokonalena a využita i na těžbu plynu z břidlic. Technika hydraulického štěpení neboli frakování je proces, který je podmíněn vysokým tlakem štěpící kapaliny vháněné do břidlicových útvarů. Pro provedení úspěšné techniky je důležité zajistit pár podmínek. Je zapotřebí dostatečný hydraulický neboli tlakový výkon používaných čerpadel. Pro upevnění a zabránění uzavření prasklin v břidlicích je potřeba propantový písek o vhodné velikosti. Pro vytvoření prasklin, vnesení propantového písku a přenesení tlaku slouží štěpící kapalina [2] [27].

U velké části horizontálních vrtů s rozměrnou horizontální částí je nutno realizovat vícestupňové hydraulické štěpení. Horizontální část je rozčleněná do určitých zón. Každá z těchto zón podstoupí hydraulické štěpení. Jednotlivé zóny se oddělují pomocí odlišných druhů těsnění a zátek. Po ukončení veškerých štěpících procesů jsou odstraněny [27].

Do vzniklých horizontálních vrtů s prasklinami je pumpována štěpící kapalina s propantovým pískem pod tlaky, které mohou dosahovat až 100 MPa a průtoku 265 l/s. Díky vysokým tlakům

a složení štěpící kapaliny se vytvoří nové praskliny, případně dojde ke zvětšení stávajících prasklin v hornině. Vzniklé praskliny se zaplní částečně propantem, který zamezí uzavření prasklin a zajistí průchod břidlicovému plynu. Po poklesu pumpovacího tlaku dochází k odebrání kapaliny z vrtu bez výplňového materiálu, který zůstává na místě vrtu. Počáteční plyn začne proudit z vrtu po hydraulickém štěpení po 2 až 20 dnech v závislosti na propustnosti břidlicové formace a tlaku. Hlavní podmínkou pro úspěšný proces štěpení je příznivé složení horniny. Na obrázku 6 je znázorněno schéma hydraulického štěpení [2] [26] [27].



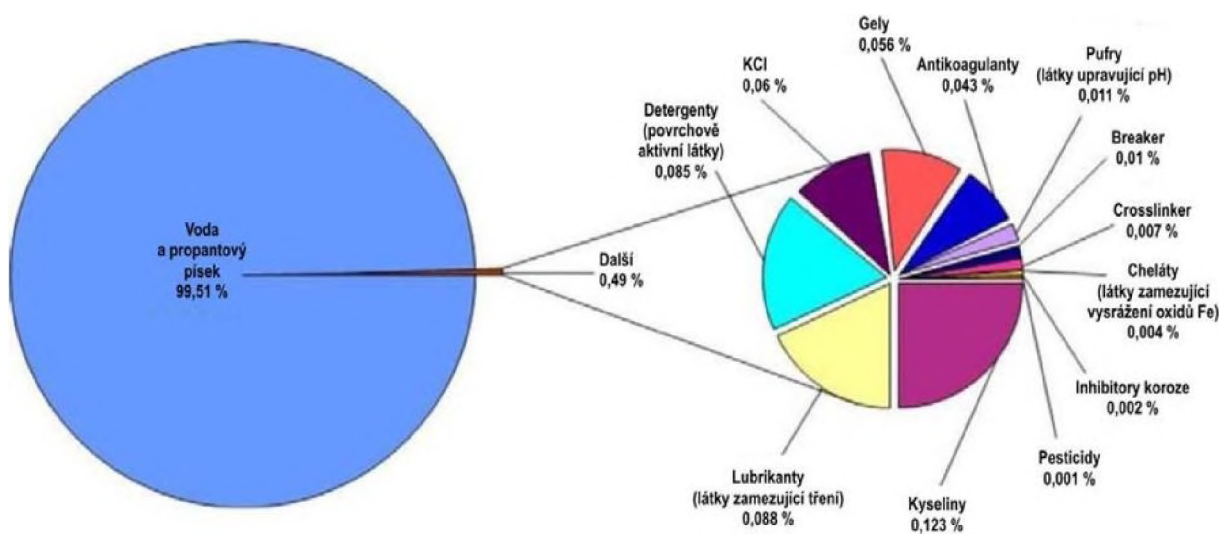
Obrázek 6 - Schéma hydraulického štěpení [28]

3.4.1 Složení štěpící kapaliny

Do vrtů používaných k těžbě břidlicového plynu během hydraulického štěpení je nezbytné napumpovat cca 8-16 milionů litrů vody. Objemy vody potřebné k hydraulickému štěpení jsou různé, jelikož každý vrt se liší, a to hlavně hloubkou vrtu. Většinou voda pochází z jezer, řek a přírodních nádrží. Rovněž je možné použít vodu ze studen, nebo použitou a následně recyklovanou vodu z jiného průmyslového odvětví. Záleží na dostupnosti vodních zdrojů, ochrany vodních zdrojů a také na zachování životního prostředí [21] [29].

Na přípravu štěpného roztoku jsou zapotřebí chemické látky v množství desítek, až stovek tun propantového písku. Propantový písek slouží pro otevření trhlin v hornině. Propant je zrnitý materiál sloužící k zadržení a podpírání vytvořených prasklin, které umožňují plynu proudit. Velikost propantu nacházejícího se ve štěpící kapalině hraje velkou roli během hydraulického štěpení. Podstatnou vlastností propantu je jeho měrná hmotnost a pevnost. Objem frakční vody, který se vrací zpět po hydraulickém štěpení, se pohybuje kolem 15-80 %. Velká část chemických látek bohužel zůstává natrvalo v podloží [2] [21] [29].

Podle charakteru hornin se určuje chemické složení štěpící kapaliny, které závisí na fyzikálních vlastnostech prostředí, teplotě, hloubce, tlaku a vrtném zařízení. Pro podporu průběhu frakování se záměrem uvolnění plynu se přidává do štěpící kapaliny kolem 0,5 % chemikálií (obrázek 7). Především se jedná o látky, které jsou schopny snižovat tření, zamezovat korozi a likvidovat mikroorganismy. Mezi chemické látky, které se používají, patří i kyselina chlorovodíková [21] [29].



Obrázek 7 - Složení štěpící kapaliny pro hydraulické štěpení [21]

Odpadní kapalina se vrací nazpět na povrch s obsahem chemických aditiv, které se dodaly před štěpením do kapaliny, tak i s ostatními látkami obsaženými v půdě. Zejména se jedná o ropné látky a v menší míře se mohou objevovat i radioaktivní látky a těžké kovy. Použitá kapalina z hydraulického štěpení obsahující chemické látky, propantový písek a další látky, se odčerpává do nejbližších utěsněných nádrží. Z těchto míst se znečištěná voda odváží k recyklaci do čističek vod. Některé těžební firmy se snaží minimalizovat objem vody odpařováním rovnou z těchto určených nádrží. Tímto způsobem bohužel unikají do ovzduší různé těkavé látky [21] [29].

Během hydraulického štěpení se mohou uvolnit na povrch vrtu společně s kapalinou i malé úlomky hornin. Tyto úlomky obsahují nepatrné množství přirozené radioaktivity, která je způsobená především obsahem uranu, rádia a thoria. Spolu se zemním plynem se na povrch dostává i izotop ^{222}Rn . Díky zmíněné radioaktivitě se nádrže, kam se voda z hydraulického štěpení odčerpává po sedimentaci a odpaření kalů, průběžně monitorují při delší době setrvání v nádržích. Radioaktivita měřená během těžby břidlicového plynu je však tak nízká, že nepředstavuje žádné nebezpečí pro lidské zdraví [21].

Většina těžebních společností nechce zveřejňovat úplné složení štěpící kapaliny. V mnoha případech i zlehčují možná rizika chemických látek, které používají při této těžbě. Údajně se jedná o látky, které se používají i v domácích prostředcích, potravinách a kosmetice, které neohrožují lidské zdraví [1].

4 ENVIRONMENTÁLNÍ DOPADY TĚŽBY

Horizontální vrtání v kombinaci s rozsáhlým hydraulickým štěpením je klíčovou technikou úspěšné těžby břidlicového plynu. Hydraulická stimulace je obvykle nezbytná k vytvoření složité sítě prasklin pro zvýšení průtoku kapaliny v důsledku extrémně nízké propustnosti. Zahnuje vstřikování velkého množství vody, propanů a chemických přísad do formace. Používání hydraulického štěpení přineslo i nejistoty o dopadu těžby BP na životní prostředí. Během těžby BP dochází ke znečištění vzduchu. Rovněž vzrůstá spotřeba sladkovodních zdrojů, které po využití kontaminují povrchové a podzemní vody. Hydraulická štěpení také mohou vyvolávat zemětřesení [2] [30].

Těžba BP vyvolala u části veřejnosti obavy z toho, že jsou environmentální dopady této činnosti příliš vysoké. Důvodem těchto obav bylo možné riziko úniku methanu a kontaminace vod v důsledku těžby BP. Z toho důvodu byly podávány žádosti na omezení průzkumných prací těžby BP [2] [30].

4.1 Znečištění vody

Znečištění vody je nejkontroverznějším a nejzávažnějším problémem během těžby břidlicového plynu. Od roku 2001 do roku 2011 bylo ve Spojených státech dokončeno více než 20 000 vrtů břidlicového plynu. Ačkoliv většina z nich má dostačující výsledky environmentálního posuzování, existují studie, které naznačují možnou kontaminaci vod. Jedná se zejména o vody podzemní, které jsou na prosakování chemických látek vysoce náchylné [30].

Kapaliny mohou unikat z netěsnícího pláště z důvodu nedokonalého stmelení, což může kontaminovat zvodnělé vrstvy. S problémem úniku kapaliny se mohou potýkat až tři procenta konvenčních plynových a ropných vrtů. Zatímco naopak nekonvenční ropné a plynové vrty mají tento problém procentuálně vyšší, než je tomu u konvenčních vrtů [30] [31].

Studie Osborna a kol. a Jacksona a kol. zkoumaly znečištění pitných studen, které se nacházejí blízko vrtů na břidlicový plyn. Studie Osborna a kol. ukázaly, že vzorky z pitných studen vzdálených méně než 1 km od vrtů s břidlicovým plynem mají vyšší koncentrace methanu v průměru až o 19,2 mg/l. U pitných studní vzdálených více než 1 km od vrtů s břidlicovým plynem je průměrná koncentrace methanu 1,1 mg/l, což je 17krát menší množství než u studní, které jsou vzdáleny méně než 1 km. Analýza vody ze studní vzdálených více než 1 km od vrtů se prováděla u 68 reprezentativních vzorků [30].

Jackson a kol. analyzovali 144 vzorků z vrtů pitné vody. Vzorky vody z vrtů vzdálených méně než 1 km od vrtů s břidlicovým plynem mají průměrnou koncentraci methanu 6krát vyšší a koncentraci ethanu 23krát vyšší, než tomu bylo u vzorků z vrtů vzdálených nad 1 km od vrtů s břidlicovým plynem. Propan byl detekován pouze v 10 studnách s pitnou vodou, které byly vzdálené méně než 1 km od vrtů s břidlicovým plynem. Použitím stejné metody analýzy u 127 studní s pitnou vodou v Fayetteville však nebyl nalezen žádný prostorový vztah mezi koncentrací methanu a vzorkovací vzdáleností od studen s břidlicovým plynem. Někteří průzkumníci uvedli, že vzorky ve studii Osborna a kol. byly provedeny v malém počtu, přičemž byly vybrány náhodně a neměly žádné předběžné základní údaje pro srovnání [30] [32].

Doposud jen několik studií porovnávalo vzorky pitné vody s výchozími údaji z doby předvrtání a nebyl zjištěn žádný statistický rozdíl v koncentraci methanu ve vzorcích odebraných před a po těžbě plynu z břidlic. Rovněž nebyla zaznamenána žádná prostorová korelace mezi koncentrací methanu a vzorkovanou vzdáleností od břidlicových plynových vrtů. Rozlišování původu a zdrojů methanu v podzemních vodách je rozhodující pro posouzení, zda je těžba břidlicového plynu odpovědná za zvýšenou koncentraci methanu [30].

Mezi hlavní ukazatele environmentálních dopadů patří koncentrace uhlovodíků, poměry uhlovodíků s vyšším a nižším řetězcem (C_2 / C_1 , C_3 / C_1), izotopové projevy zemního plynu ($\delta^{13}C_1$, $\delta^{13}C_2$, $\delta^2H_{CH_4}$) a vzácného plynu (4He , ^{20}Ne , ^{36}Ar). Při analýze vzorků pitné vody ze studní, které byly cca 3 km daleko od břidlicového vrtu, byla zjištěna zvýšená úroveň As, Se a celkového množství rozpuštěných pevných látek (TDS). V některých vzorcích byl dokonce maximální limit kontaminace překročen [30].

Bylo by třeba dalšího rozsáhlého výzkumu, aby se zjistilo, jak by vrtné a štěpící činnosti ovlivnily transport přirozeně se vyskytujících nebezpečných látek v ekosystémech. Nedostatek předběžných údajů z předvrtání je hlavním důvodem sporů o to, zda je vývoj těžby břidlicového plynu odpovědný za zvýšenou hladinu kontaminujících látek v blízkosti břidlicových vrtů, které byly ve velkém měřítku prováděny [30].

4.2 Zemětřesení způsobené těžbou

Zemětřesení vyvolané hydraulickým štěpením jsou nedestruktivní mikrozemětřesení o velikosti nižší než 2 stupně Richterovy stupnice a převážná většina z nich má velikost nižší než 1 stupeň Richterovy stupnice. Tato mikrozemětřesení jsou nejspíše způsobena především frakováním, nebo vhnáním štěpící kapaliny do vrtů. Příčinou zemětřesení může být rovněž chemické složení štěpící kapaliny, která svým chemickým složením vytváří nové praskliny v horninách

půdy za účelem lepší propustnosti. U zemětřesení hrozí nebezpečí, že mikrootřesy mohou porušovat vrt a otevírat uzavřené pukliny, kudy může unikat štěpící kapalina do okolí [30] [32].

Například v Britské Kolumbii a Kanadě byly hlášeny zemětřesení o velikosti větší než 3 stupně Richterovy stupnice, které byly pravděpodobně spojeny s chybami před hydraulickým štěpením. Zvýšené seismické otřesy byly rovněž hlášeny v blízkosti aktivní břidlicové oblasti ve Spojených státech. Ve státě Oklahoma se do roku 2009 běžně objevovalo až 50 zemětřesení za rok. Za rok 2010 bylo však v tomto státě zaznamenáno 1047 zemětřesení. Bylo rovněž zjištěno, že lidský faktor má na svědomí zvyšování míry seismické aktivity ve Spojených státech od roku 2001 [30] [32].

Současné důkazy ukazují, že zemětřesení vyvolaná během hydraulického štěpení jsou malá a pod prahem poškození. Existují však nejistoty, které je před štěpením a otevíráním prasklin stále obtížné předpovědět. Zemětřesení z hydraulického štěpení nemůže přímo ohrozit člověka na zdraví, ale právě v kombinaci s ostatními faktory může mít nepřímo vliv na zdraví lidí [30] [32].

4.3 Znečištění ovzduší

Břidlicový plyn je označován jako zemní plyn vytěžený z břidlic, tudíž má i podobné chemické složení. Spalování břidlicového plynu je spojeno jak s přímými emisemi v okamžiku samotné těžby, tak i při převozu maloobchodním spotřebitelem. Proto se předpokládá, že přímé emise budou podobné těm ze zemního plynu získaného z konvenčních zdrojů. Rozdíly mezi emisemi zemního plynu z břidlic a z konvenční těžby mohou vznikat v rozdílné těžbě a výrobních procesech.

Mezi zdroje emisí spojené s těžbou břidlicového plynu patří:

1. Kompresory používané k zachycování a přepravě plynu.
2. Mobilní strojní zařízení používané pro vrtné a hydraulické štěpení.
3. Přeprava materiálů.
4. Odvětrávání a spalování.
5. Fugitivní emise.

Tyto zmíněné zdroje emisí se liší v závislosti na místě působení. Některé zdroje mohou být přetržité a jiné nepřetržité. Pokud jsou dodržovány osvědčené postupy a těžba je dobře regulována, pak jsou možné důsledky zanedbatelné. Konkrétní činnosti v některých lokalitách

produkovaly značně vysokou úroveň emisí a směřovaly k tzv „super emitrovému“ místu. Tabulka 8 poskytuje přehled potenciálních znečišťujících látek a jejich zdrojů [33].

Tabulka 8 - Potenciálně znečišťující látky a jejich zdroje [33]

Znečišťující látka	Zdroj	Možné důsledky
Těkavé organické sloučeniny	Fugitivní emise z vrtání, těžby, skladování	Tvoření O ₃ a dopady na zdraví
Oxidy dusíku (NO _x)	Mobilní stroje, zpracování plynu, nákladní vozidla	Tvoření O ₃ a dopady na zdraví
Methan	Únik z průzkumu, těžby a opuštěných vrtů	Tvoření O ₃
Částice (PM)	Mobilní stroje, manipulace se sypkým materiálem, nákladní vozidla	Dopady na zdraví
Sloučeniny síry	Vrtání, fáze zpětného toku a vzplanutí	Dopady na zdraví a nepříjemný zápach
Organické sloučeniny	Chemikálie přidávané do štěpící kapaliny, fáze zpětného toku	Dopady na zdraví
Sekundární (PM)	Oxidace NO _x a těkavých organických sloučenin z mobilních strojů	Dopady na zdraví
Ozon	Uhlovodíky a NO _x z mobilních strojů a vozidel jsou předchůdci tvorby ozonu	Dopady na ekosystém a na zdraví

Mezi zdroje znečištění ovzduší, související s těžbou břidlicového plynu, patří i emise látek z dieselových motorů, unikání těkavých látek z nádrží pro uskladnění vody, přírodní únik plynu během těžby a přepravy vody. Ve srovnání s ropou a uhlím je tento proces těžby a spotřeby zemního plynu čistší. Obsahuje menší množství znečišťujících látek, částic a emisí rtuť ze spalování. Burnham a kol. analyzovali emise skleníkových plynů z vrtů používaných pro těžbu břidlicového plynu. Odhadli, že emise břidlicového plynu jsou až o 6% nižší než konvenční zemní plyn, o 23% nižší než benzín a o 33% nižší než uhlí. Účinná opatření by měla být snížením úniku zemního plynu, měřením unikajících emisí a zlepšením využitelnosti těchto zdrojů [33].

5 VÝVOJ TĚŽBY BŘIDLICOVÉHO PLYNU V ČR

V době, kdy se v České republice projednával návrh k průzkumným vrtům na BP, byly ze strany veřejnosti vzneseny stížnosti, které směřovaly proti těžbě BP. I přes to, že by se jednalo o průzkum, tak zaujala veřejnost poměrně negativní postoj k této záležitosti [34].

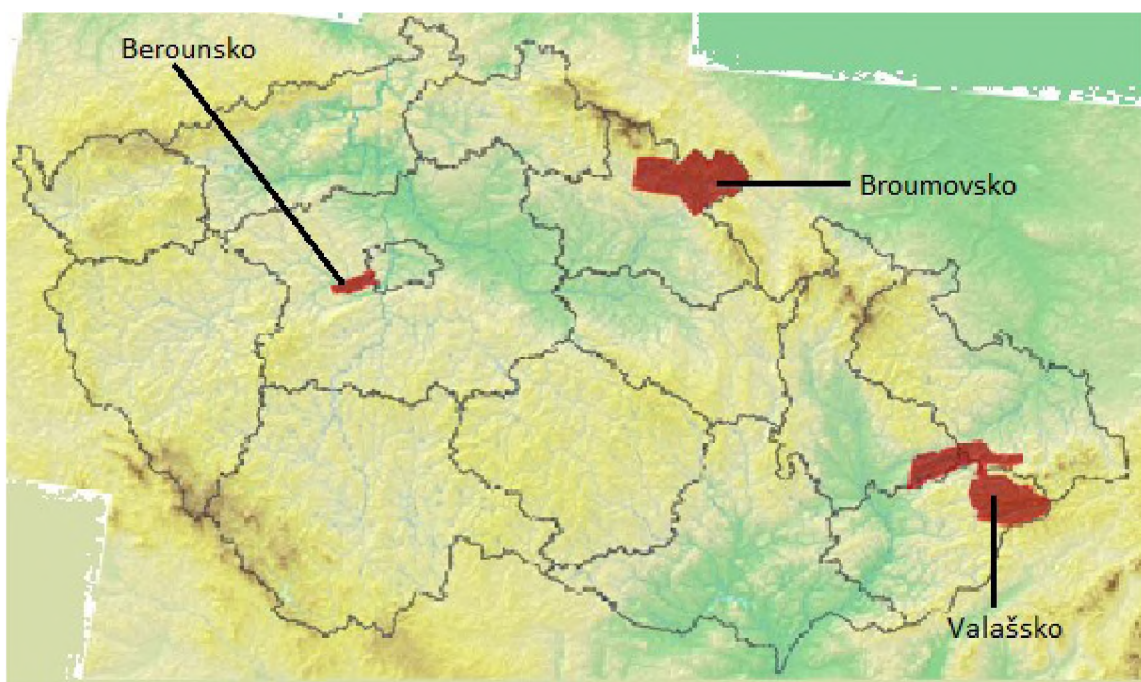
Českou republiku zatím oslovily a projevíly zájem o těžbu BP dvě zahraniční firmy Cuadrilla Resource a BasGas Pty. Do roku 2011 byly předloženy tři žádosti dle zákona o geologických pracích č. 62/1988 Sb. v platném znění o stanovení průzkumného území pro vyhledávání a průzkum ložisek ropy a zemního plynu, které jsou vázané na břidlicové formace (obrázek 8). Na žádosti se vztahuje ustanovení § 4d zákona č. 62/1988 Sb. ve znění pozdějších předpisů, a proto se správní řízení zahajuje po uplynutí 90denní lhůty po zveřejnění v úředním věstníku Evropské unie. Na základě Směrnice Evropského parlamentu a Rady 94/22/ES ze dne 30. května roku 1994 Ministerstvo životního prostředí ČR podalo podnět ke zveřejnění žádostí společností Basgas Energia Czech s.r.o. a Cuadrilla Morava s.r.o., o stanovení průzkumného území pro vyhledávání a průzkum ložisek ropy a zemního plynu vázaných na břidlicová souvrství v Úředním věstníku Evropské unie [2] [23].

Společnost Cuadrilla Resources pocházející z Británie má i svou českou dceřinou firmu Cuadrilla Morava s.r.o. působící na českém území. Tato dceřiná firma se zajímá o příležitosti prozkoumávat a vyhledávat břidlicový plyn v oblastech Valašského Meziříčí, Hranic, Vsetína a v části Chráněné krajinné oblasti Beskydy. Česká firma Cuadrilla Morava s.r.o. zažádala Ministerstvo životního prostředí o stanovení průzkumného území Meziříčí, pro průzkum a vyhledávání ložisek zemního plynu a ropy na dobu pěti let. Tato žádost o stanovení vedla Ministerstvo životního prostředí k podání podnětu k uveřejnění žádosti v Úředním věstníku EU. Díky tomuto zveřejnění by firma získala souhlas k průzkumu území Meziříčí. Konkrétně se jednalo o severovýchodní část Moravy, jejíž rozloha se pohybuje kolem 946 km². Rozhodnutím valné hromady ze dne 28.11.2014 byla společnost Cuadrilla Morava s.r.o. zrušena a vstoupila do likvidace dnem 1.1.2015 [23] [34].

O břidlicový plyn, nacházející se na českém území, se zajímala i australská firma BasGas Pty. Ltd. Její česká dceřiná společnost v ČR se nazývá Basgas Energia Czech s.r.o. Tato společnost zažádala Ministerstvo životního prostředí o stanovení průzkumného území Berounska pro průzkum a vyhledávání ložisek zemního plynu a ropy. Jedná se o území v Barrandienu s rozlohou cca 93 km². Souhlas o průzkum společnost žádala na dobu pěti let [23] [35] [36].

Třetí a poslední žádostí je případ z dubna roku 2011 rovněž od firmy Basgas Energia Czech s.r.o. o stanovení průzkumného území Trutnovsko pro vyhledávání ložisek zemního plynu a ropy vázané na břidlicové formace s rozlohou 778 km² na dobu pěti let. Ani tentokrát firma se svou žádostí neuspěla a rozhodnutím jediného společníka v působnosti valné hromady ze dne 24.6.2014 byla společnost s účinností k 1.7.2014 zrušena s likvidací [23] [36] [37].

Zásoby břidlicového plynu v České republice by pokryly tři procenta naší celkové spotřeby energetických zdrojů. Nicméně hustě osídlená střední Evropa se složitým geologickým podložím není srovnatelná se Spojenými státy [34] [38].

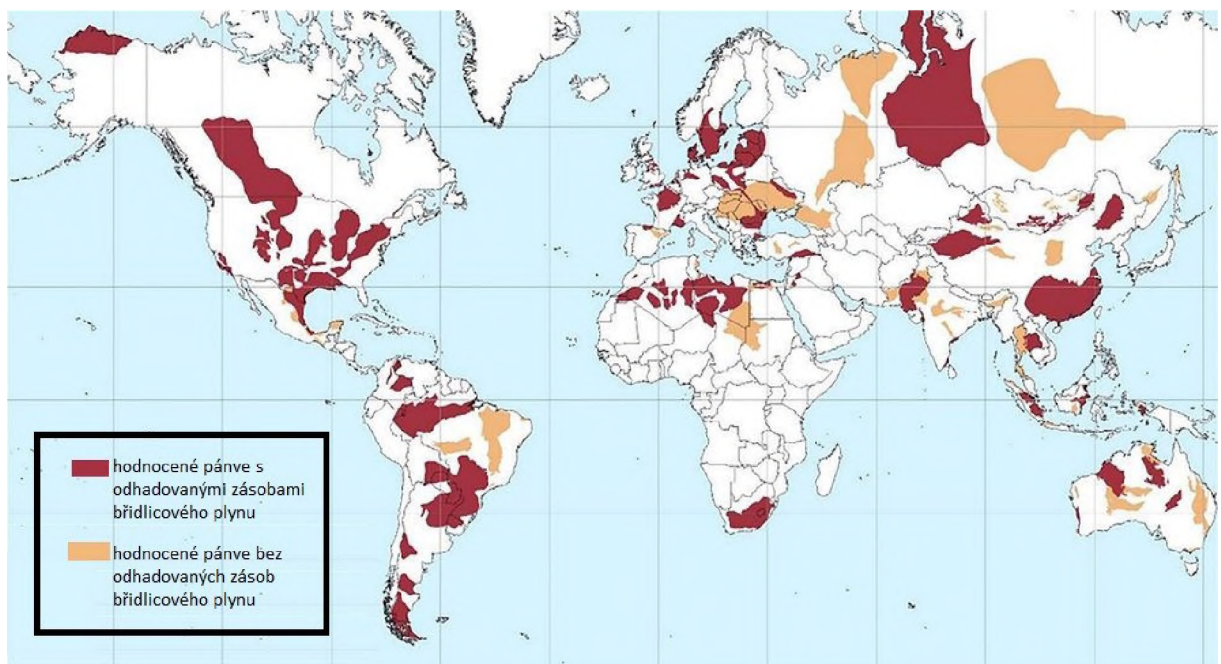


Obrázek 8 - Mapa ČR a její místa s břidlicovými ložisky [39]

6 VÝVOJ TĚŽBY BŘIDLICOVÉHO PLYNU VE SVĚTĚ

Odhaduje se, že zásoby nekonvenčního plynu na světě jsou kolem 331 bilionů m³. Zásoby nekonvenčního plynu jsou téměř srovnatelné se zásobami konvenčního plynu. Ty se na světě pohybují kolem 421 bilionů m³. Podle EIA břidlicový plyn může ze všech zásob nekonvenčního plynu zaujímat cca 208 bilionů m³ [40].

Mezi největší producenty břidlicového plynu v současné době patří USA. Těžba břidlicového plynu se rozvíjí po celém světě, a to od Evropy až po Jižní Afriku a následně pak od Číny až po Argentinu (obrázek 9). Nekonvenční plyn, kam patří i břidlicový plyn, tvoří ve Spojených státech přes polovinu domácí produkce. USA se v roce 2009 dostala s dodávkou plynu před Rusko, které patřilo mezi největší dodavatele plynu. V důsledku toho spadly ceny plynu na celosvětovém trhu [40].



Obrázek 9 - Mapa světa hlavních pánví s ložisky břidlicového plynu [41]

6.1 Evropa

Názory členských států Evropské unie se velice liší, hlavně co se týká využitelnosti, dostupnosti a přijatelnosti břidlicového plynu. Některé státy mají kladný vztah k břidlicovému plynu, jelikož by tím dosáhly posílení nízkouhlíkové ekonomiky. Na druhé straně ale existují státy, které mají z těžby břidlicového plynu obavy. Ty se týkají hlavně ochrany životního prostředí a zdraví lidí, ale i ovlivnění obnovitelných zdrojů [23] [42].

Evropa začala ve srovnání s USA těžit břidlicový plyn o několik desítek let později. Mezi evropské státy, kde se nejvíce těží, se řadí Polsko. Celkově se v Evropě do roku 2012 uskutečnilo přes 30 vrtů pro průzkum. Zásoby nekonvenčního plynu se nachází v těchto evropských státech [23] [42]:

- Polsko
- Německo
- Velká Británie
- Rumunsko
- Nizozemsko
- Francie
- Bulharsko
- Švédsko
- Rakousko
- Dánsko

6.1.1 Polsko

V Polsku dochází k nejrozsáhlejším průzkumným aktivitám v Evropě na nekonvenční zdroj břidlicového plynu. Na území státu se nachází rozsáhlé zásoby břidlicového plynu. Z tohoto důvodu považuje polská vláda těžbu BP za dobrou alternativu získávání energetických zdrojů. Zásoby se pohybují skoro k 30 bilionům m³, ale reálně vytěžitelné zásoby se odhadují kolem 4,1 bilionu m³. Mezi oblastí s břidlicovým plynem patří především Lubinská, Baltská a Podlašská pánev [23] [43] [44].

V roce 2015 podle studie EIA Polsko disponovalo zásobou cca 146 bilionů kubických stop, což odpovídá 4,13 bilionům m³ technicky využitelných zdrojů plynu z břidlic. Společnosti, které se zabývaly břidlicovým plynem v Polsku, nedostaly uspokojivé výsledky. Činnost v oblastech průzkumu břidlicového plynu však dosáhla svého vrcholu až v roce 2012, kdy se uskutečnilo 24 vrtů. Z těch 24 vrtů byly pouze 4 vrty použity k hydraulickému štěpení. O tři roky později v roce 2015 byly vyvrtány 4 vrty a z toho na žádný nebylo použito hydraulické štěpení. Společnosti jako ExxonMobil, Marathon, Chevron a ConocoPhillips ukončily své průzkumy v Polsku. Zbyly pouze dvě firmy, a to PGNiG a PKN Orlen. Tyto firmy od roku 2016 sledují průzkum těžby břidlicového plynu v Polsku [45].

6.1.2 Vídeňská pánev

Vídeňská pánev se nachází v severozápadním Rakousku (Západopanonská pánev), zasahuje též na území Slovenské republiky (Záhorská nížina) a České republiky (Jihomoravská pánev), která obsahuje kolem 10 000 m³ neogenní výplně. Tato oblast patří mezi nejdůležitější zdroje plynu a ropy v kontinentální Evropě. Nekonvenční zemní plyn z břidlic v této oblasti je vázán na cca 2 000 m mocné vrstvy svrchně jurských mikulovských slínovců. I přesto, že se nejedná o plyn z břidlic, tak tyto horniny obsahují vysoké množství organické hmoty. Nežádoucí je

velký podíl jílové složky. Tyto horniny jsou velmi tektonicky postižené, termálně nevyzrálé a nalézají se většinou ve větších hloubkách. To představuje určitá rizika při případných průzkumech na nekonvenční zdroj plynu z břidlic [23] [46].

6.1.3 Pařížská pánev

Je rozsáhlá pánev na severu Francie o rozloze přes 98 000 km². Tato oblast sahá východně na pohoří Vogézy, západně na Armorický masív, jižně na masív Central a severně sahá na kanál La Mancha.

V Pařížské pánvi se nacházejí dva typy černých břidlic, které jsou organicky bohaté. Jedním typem černých břidlic je Toarcian Schistes Carton. Tyto břidlice jsou též zdrojem pro konvenční ložiska zemního plynu v této oblasti. Druhým typem břidlic jsou permo-karbonské, které nejsou tak dokonale prozkoumané. Nacházejí se v hloubkách až 4 200 m [23] [47].

6.1.4 Jihovýchodní pánev

Ve Francii patří mezi nejmocnější a jedná se o sedimentární komplex s 10 km silnými kenozoickými až mezozoickými sedimenty. V roce 1940 se v této oblasti uskutečnil první průzkum nafty. Odvrtalo se bezmála 140 vrtů, ale všechny vrty byly v malém množství významných ložisek. Díky svrchně jurským břidlicím se o tuto oblast začaly zajímat těžební společnosti. Především jde o mořské sedimenty nacházející se v hloubkách cca 2000-3000 m [23] [42].

6.1.5 Skandinávie

Jedná se především o oblast Alum Basin a kambricko-ordovickou pánev, která se rozprostírá v oblastech od Norska po Estonsko, dosahuje až na sever Německa a zasahuje do severního Polska. Hornina v této oblasti má vysoký organický podíl a neobvykle vysoké koncentrace uranu. Alum Shale je hluboká cca 1100 m a v průměru dosahuje hloubky až 100 m. V této zmíněné oblasti bylo vydáno několik licencí na 3 vrty v první fázi, na které navazovalo následné provedení průzkumných činností. Zahájení činností bylo opožděno z důvodů protestů. Alum Shale je též studováno ve výzkumném projektu GASH. Na tomto projektu se také podílí Dánská geologická služba (GEUS) a GFZ (GeoForschung Centrum Potsdam). Dohromady by měly tyto instituce pracovat na odvrtání mělkého průzkumného vrtu na ostrově Bornholm v Dánsku [23] [42].

6.1.6 Německo

V Německu se hydraulická těžba provádí kolem 15 let, ale je na velmi nízké úrovni. Nadnárodní korporace Exxonmobil se sídlem ve státě Texas odstartovala průzkum v roce 2008 v Severním

Porýní-Vestfálsko a v Dolním Sasku, kde vyvrtala 6 vrtů. Celkem tato korporace chtěla investovat do tohoto průzkumu v letech 2010-2015 až miliardu dolarů. V březnu roku 2011 Spolková země Severní Porýní-Vestfálsko uvalila moratorium na průzkumné vrty a překazila korporaci ExxonMobil její plány. Tento krok byl uskutečněn z důvodů protestů ochránců životního prostředí. Spolková země v září v roce 2012 doporučila z důvodu možného rizika ohrožení životního prostředí, aby průzkum již nepokračoval do doby, než se prozkoumají ostatní rizika a souvislosti s těžbou břidlicového plynu.

Ministerstvo životního prostředí v Německu si nechalo vypracovat studii o právních aspektech frakování a o těžbě břidlicového plynu a methanu z uhelných ložisek. Tato studie byla zveřejněna v dubnu v roce 2012 a navrhla zakázat tuto těžbu s procesem hydraulického štěpení, které jsou v blízkosti zdrojů minerálních pramenů a pitné vody [23] [42].

6.1.7 Velká Británie

Dalším příkladem je Velká Británie, která má dobré geologické podmínky pro těžbu plynu z břidlic. V roce 2011, kdy byla prováděna první snaha o průzkum zásob břidlicového plynu, bylo zjištěno menší zemětřesení, které vyvolalo vrtání do země.

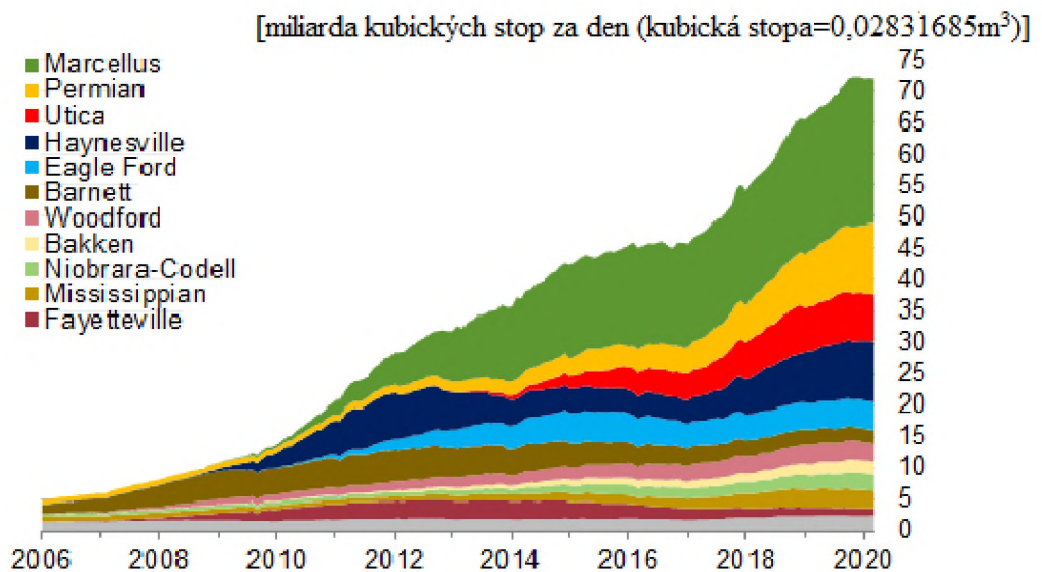
Největší ložiska ve Velké Británii se vyskytují v jihovýchodní Anglii, středním Skotsku, Severním Irsku a v severozápadní Anglii (Humberside po Lancashire). Jedna ze čtyř amerických firem, jež se zabývají těžbou břidlicového plynu je firma Cuadrilla Resources. Tato soukromá firma dostala povolení k frakování v severozápadní Anglii. V Lancashire byly touto firmou objeveny velké zásoby plynu cca 5,6 bilionů m³. Toto množství by Velké Británii stačilo až na 60 let. Mocnost břidlic se v těchto lokalitách pohybuje od 960-1890 m a průměr hloubky v celé oblasti se pohybuje kolem 1440 m. Mocnost břidlic bohatých na organické látky se uvádí cca 150 m. Firma Cuadrilla Resources kvůli otřesům, které způsobila průzkumem, musela v roce 2011 přerušit činnost [23] [42].

6.2 Významné pánve s břidlicovým plynem v USA

Mezi největší producenty břidlicového plynu v současné době patří USA. První těžba břidlicového plynu byla uskutečněna v USA v oblasti Apalačského pohoří v roce 1821. Jednalo se o horniny mesozoika a paleozoika. První těžba v průmyslovém měřítku se uskutečnila už v 70. letech 20 století na území Bossier a následovala další těžba v 90. letech 20 století v břidličné hornině na území Antrim. Kolem roku 2005 došlo k velkému rozvoji těžby břidlicového plynu, zejména pak v Texasu, který se nachází v oblasti Barnett. Během pěti let zde bylo provedeno skoro 15 000 vrtů. Mezi další oblasti, kde se těžilo patří, i Marcellus, jež

se nachází v Pensylvánii a leží především na devonských černých břidlicích [23] [42].

Díky velkému zájmu o těžbu břidlicového plynu jsou už v některých oblastech USA zásoby plynu zcela vyčerpány. Společnosti jsou proto častěji nuceny dělat vrty i v méně produktivních oblastech. Během tohoto přechodu se postupně zvyšoval počet prováděných vrtů, ale produkce břidlicového plynu zůstávala stejná. Postupem času se produkce čím dál více snižovala v poměru k počtu provedených vrtů. V návaznosti na to byly stále častěji prozkoumávány hůře propustné horniny. Na obrázku 10 je znázorněna produkce břidlicového plynu z jednotlivých pánví USA [23] [42].



Obrázek 10 - Produkce BP v jednotlivých břidlicových formacích v USA [48]

6.2.1 Barnett Shale

Tato oblast patří mezi nejvýznamnější ložiska pro těžbu břidlicového plynu a nachází se ve státě Texas. Patří rovněž i mezi nejprozkoumanější ložisko břidlicového plynu v USA. Vyrvalo se zde nejméně 10 000 vrtů. V této oblasti bylo v začátcích otestováno několik různých technologií na těžbu břidlicového plynu, včetně postupů hydraulického štěpení a horizontálního vrtání. Barnett Shale se rozkládá na ploše velké přes 8 000 km². Průměrná mocnost břidlic se zde pohybuje kolem 30-180 m [23] [40] [42].

6.2.2 Marcellus Shale

Ložisko Marcellus Shale se rozkládá na území mnoha států USA. Jedná se o státy New York, Pennsylvania, New Jersey, Virginia, West Virginia, Maryland a zasahuje až do Apalačského pohoří (obrázek 11). Jeho rozloha činí 152 000 km² a v současné době toto ložisko zažívá

největší rozmach, co do počtu provedených vrtů. Tyto vrty jsou prováděny tzv. 3 D seismickým měřením a hydraulickým štěpením. V hloubkách od 1200 m do 2590 m se zde nachází produktivní část se zásobami břidlicového plynu.

Během 80. let z důvodů nižších cen plynu došlo v této oblasti ke snížení těžebních a vrtných aktivit. Toto období trvalo až do 90. let. Tato situace se však v nedávné době opět zlepšila, když firma Range Resources Corp kolem roku 2003 vyvrtala opět produktivní vrt v Pensylvánii za použití horizontálního vrtání a hydraulického štěpení podobně jako u ložiska Barnett Shale.

Jeho těžba byla zahájena už v roce 2005. O tři roky později v září v Pensylvánii bylo uděleno 518 licencí k provedení vrtů. Ve stejném roce 2008 bylo následně provedeno 277 horizontálních vrtů. Ložisko Marcellus Shale dosahuje mocnosti kolem 15-60 m. Na obrázku 11 je vrtná základna v Marcellus [23] [40] [42].



Obrázek 11 - Vrtná základna ložiska Marcellus v oblasti Pensylvánie [49]

6.2.3 Antrim Shale

Antrim Shale se nalézá na Michiganském poloostrově v Michigenské pánvi. Ložisko se nachází v hloubkách okolo 180-670 m. Jeho rozloha činí přibližně 19 200 km². Antrim Shale společně s ložiskem Barnett patří mezi první ložiska, kde byl zahájen průzkum během 80. let [23] [40] [42].

6.2.4 Haynesville Shale

Nachází se v hloubkách kolem 3 200-4 100 m v oblasti severní Louisiany a části východního Texasu. Jeho rozloha se pohybuje kolem 14 400 km² a mocnost zde dosahuje až 90 m. Toto ložisko se v roce 2007 stalo po dlouhých letech testování a vrtání nadějným zdrojem břidlicového plynu. Přesně určené vytěžitelné množství bude známé, až po provedení následných testování a vrtů. Předpokládané množství vytěžitelných zásob se pohybuje okolo 6,7 bilionu m³ břidlicového plynu [23] [40] [42].

6.2.5 Fayetteville Shale

Fayetteville Shale se rozkládá v severním Arkansasu a ve východní Oklahomě s rozlohou 14 400 km². Hloubka ložiska se pohybuje od 304 do 2 133 m. Průzkum tohoto ložiska byl zahájen kolem roku 2 000 z důvodu úspěšného průzkumu podobně geologicky stavěné oblasti v Barnett Shale.

Od roku 2004 do 2007 se prudce zvýšilo množství průzkumných vrtů z 13 až na 600. Díky vzrůstu se těžba břidlicového plynu zvýšila až na 9 679 miliard m³/rok. V současné době USA patří mezi nejproduktivnější a nejaktivnější oblasti s ložisky břidlicového plynu. Předpokládané množství vytěžitelných zásob je kolem 1,1 bilionů m³ břidlicového plynu [23] [40] [42].

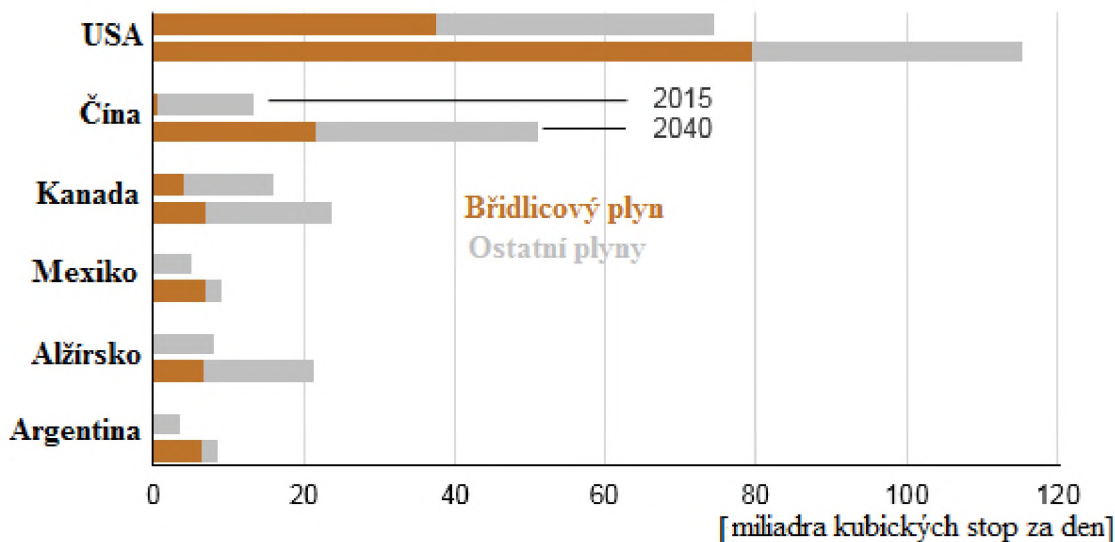
6.3 Ostatní státy

Kromě USA, které se řadí mezi největší producenty břidlicového plynu patří i další státy, jako například Čína. Ta je druhým největším spotřebitelem břidlicového plynu na světě, a množstvím vytěžitelných zásob se vyrovná USA. Dalšími státy jsou Argentina a Alžírsko, které mají podobné množství vytěžitelných zásob. O něco nižší množství vytěžitelných zásob má Kanada, Mexiko, Austrálie, Jižní Afrika, Rusko a v neposlední řadě i Brazílie. V tabulce 9 jsou zmíněné všechny země vzhledem k množství technicky vytěžitelných zásob BP [23] [40] [41] [42].

Tabulka 9 - Souhrn deseti států s technicky vytěžitelnými zásobami BP [41]

Země	Technicky vytěžitelné zásoby (bilionů m ³)
USA	32,8
Čína	31,5
Argentina	22,7
Alžírsko	20,0
Kanada	16,2
Mexiko	15,4
Austrálie	12,3
Jižní Afrika	11,0
Rusko	8,0
Brazílie	6,9

Na obrázku 12 je uvedena produkce těžby BP v několika státech, které patří mezi největší producenty břidlicového plynu. Tyto státy jsou porovnány podle produkce břidlicového plynu s ostatními typy zemního plynu. Dále je zde uvedeno, jaké jsou jejich předpoklady do roku 2040.



Obrázek 12 - Srovnání těžby břidlicového plynu s ostatními plyny [50]

6.3.1 Čína

Čína byla mezi prvními zeměmi kromě Severní Ameriky, kde se začala rozvíjet těžba břidlicového plynu. V posledních pěti letech vyvrtala přes 600 vrtů břidlicového plynu. U Číny se očekává, že břidlicový plyn bude představovat do konce roku 2040 více než 40 % celkové produkce zemního plynu [50].

Sichuan společně s Tarim Basin patří mezi nejvýznamnější pánve s břidlicovým plynem v Číně. Obsahují organicky bohaté a velmi mocné břidlice, především paleozoické s mořským původem. Americký prezident Barack Obama podepsal během návštěvy Číny v říjnu 2009 americko-čínskou dohodu o kooperaci během výzkumu břidlicového plynu a jeho zdrojů.

Kromě dvou hlavních pánví se zde nachází i pět dalších ložisek s břidlicovým plynem. Většinou se jedná o břidlice sladkovodního původu, které jsou relativně nízko uložené, termálně nezralé, a hlavně s vyšším obsahem jílovité složky. Tyto břidlice představují určité riziko při průzkumech. Odhadované technicky vytěžitelné zásoby jsou cca kolem 31,5 bilionů m³ [23] [40] [42].

6.3.2 Argentina

Argentina patří mezi země, které mají velký potenciál, co se týká nekonvenčních zdrojů břidlicového plynu. Řadí se mezi tři země s největšími technicky vytěžitelnými zásobami na světě, spolu s Čínou a USA.

Mezi nejvíce nadějná ložiska patří Neuquen Basin. Toto ložisko je v současnosti ve fázi testů a průzkumných činností. Jako další možnost se jeví ložiska z křídové břidlice, která se nacházejí v pánvích Austral-Magallanes Basin a Golfo San Jorge Basin. Tyto horniny však obsahují vysoký podíl jílovité složky, což představuje jistá rizika při těžbě. Celkové množství vytěžitelných zásob se odhaduje na 22,7 bilionů m³ břidlicového plynu [23] [40] [42].

6.3.3 Kanada

Mezi nejvýznamnější ložiska břidlicového plynu v Kanadě patří Utica Shale v Quebecu. V oblasti tohoto ložiska bylo od roku 2006 po dobu tří let uskutečněno 24 vrtů. Jednalo se o vertikální i horizontální vrty. U mnoha z těchto vrtů byly zaznamenány pozitivní výsledky. Dalšími vhodnými lokalitami jsou například Montney Shale a Muskwa Shale, které se nacházejí v Britské Kolumbii. Celkové množství vytěžitelných zásob v Kanadě se odhaduje na 16,2 bilionů m³ břidlicového plynu [23] [40] [42].

Kanada produkuje břidlicový plyn od roku 2008, a předpokládá se, že těžba břidlicového plynu

bude nadále stoupat do roku 2040. V tomto roce se odhaduje podíl z celkové produkce zemního plynu až 30 % [50].

6.3.4 Mexiko

Členitá oblast Sierra Madre patří mezi pohoří, kde se těží společně s břidlicovým plynem i konvenční zemní plyn a ropa. Jejich mocné vrstvy dosahují šířky až 5000 m. Přesněji se nachází ve středním a severovýchodním Mexiku. Množství vytěžitelných zásob se odhaduje na 15,4 bilionů m³ břidlicového plynu. V Mexiku se začátek těžby břidlicového plynu očekává po roce 2030 [23] [42] [50].

6.3.5 Austrálie

Studie amerického ministerstva pro energetiku před 2 lety zveřejnila množství technicky vytěžitelných ložisek v Austrálii. Zásoby břidlicového plynu jsou odhadovány na 12,4 bilionů m³, to je desetkrát více, než se doposud předpokládalo. Americká vládní energetická informační agentura odhaduje zásoby břidlicového plynu v tomto státě jako sedmé největší na světě. Nejmenší kontinent je již tak největším exportérem uhlí na světě, významným producentem uranu [51].

6.3.6 Brazílie

Mezi tři nejdůležitější pánve, které mají v této zemi potenciál k těžbě BP, patří Amazonas a Solimoes na severu Brazílie a Paraná na jihu. Obsahují černé břidlicové horniny mořského původu. V těchto pánvích se rovněž těží konvenční ropa a zemní plyn. Počet pánví v Brazílii je daleko vyšší, ale u ostatních nejsou zatím dostatečné informace o zásobách BP. Odhadují se cca na 6,9 bilionů m³ vytěžitelných zásob [23] [42].

7 ZÁVĚR

Technologie těžby břidlicového plynu je známa již 50 let a je založena na horizontálním vrtání a hydraulickém štěpení. Tento způsob těžby má negativní dopady na životní prostředí. Nejzávažnějším z těchto dopadů je znečištění vod, zejména pak podzemních. K tomu dochází během procesu hydraulického štěpení, kdy se do vrtu vhání štěpící kapalina obsahující chemikálie, které pronikají do podzemních vod a mohou způsobit kontaminaci. Mezi další negativní vlivy patří znečišťování ovzduší a vyšší riziko vzniku zemětřesení.

Z hlediska legislativy existují v EU směrnice a vyhlášky, které se týkají těžby břidlicového plynu pouze okrajově a environmentální dopady jsou řešeny stávajícími zákony.

Ve světě se nejvíce těží v USA a Číně. V Evropě má největší ložiska břidlicového plynu Polsko, Německo, Rakousko a Francie, kde v současnosti probíhá i těžba.

V České republice se nachází bohatá ložiska břidlicového plynu v chráněných krajinných oblastech a odhaduje se, že by pokryla asi 3 % naší spotřeby energie. V současnosti jeho těžba neprobíhá a je považován pouze za nouzový zdroj energie do budoucna.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] AITKEN, Greig, Helen BURLEY, Darek URBANIAK, Antoine SIMON, Sarah WYKES a Lisette VAN VLIET. *Břidlicový plyn: Nekonvenční a nechtěný: případ břidlicový plyn* [online]. In: 2012, s. 32 [cit. 2020-04-21]. Dostupné z: https://aa.ecn.cz/img_upload/eafd8382e68de047a49213a9ed52af69/nekonvencni-a-nechteny-pripad-bridlicovy-plyn.pdf
- [2] BENADA, Stanislav, Pavla DVOŘÁKOVÁ, Leo EISNER, Miroslav ZAJÍČEK, Václav KLAUS, Tomáš CHALUPA, Matt RIDLEY a Vlastimila DVOŘÁKOVÁ. *Břidlicový plyn: Energetická revoluce?* Institut Václava Klause, 2015, 171 s. ISBN 8087806271, 9788087806272.
- [3] BUCHTA, Tomáš. *Tzb-info* [online]. 2015 [cit. 2020-04-20]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/vytapime-plynem/12754-bridlicovy-plyn-legislativa>
- [4] KAZEROUNI, Afsoon Moatari. *Strategic Advances in Environmental Impact Assessment: Challenges of Unconventional Shale Gas Extraction* [online]. Nova Science Publishers, 2019 [cit. 2020-04-20]. ISBN 1536144339, 9781536144338. Dostupné z: https://books.google.cz/books?id=j2aruwEACAAJ&dq=Air-contaminated+shale+gas+extraction&hl=cs&sa=X&ved=0ahUKEwiphan5u6ToAhVD_qQKHWOjBLgQ6AEligEwCQ
- [5] TAWONEZVI, Josepf. The legal and regulatory framework for the EU' shale gas exploration and production regulating public health and environmental impacts. *Springer Link* [online]. 2017 [cit. 2020-04-20]. Dostupné z: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40974-016-0044-5#citeas>
- [6] FORSTER, Daniel a Jonathan PERKS. *Climate impact of potential shale gas production in the EU: Final Report* [online]. In: . 2012 [cit. 2020-04-22]. Dostupné z: https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/eccp/docs/120815_final_report_en.pdf
- [7] STEFAN M. LUTHI. *The Geology of Shale Gas* [online]. 2013 [cit. 2020-04-20]. Dostupné z: https://www.knaw.nl/shared/resources/actueel/bestanden/20130612Scha-liegas_Luthi_KNAW.pdf
- [8] *NATURAL GAS FROM SHALE: What is shale gas?* [online]. In: . [cit. 2020-04-27]. Dostupné z: https://www.energy.gov/sites/prod/files/2013/04/f0/what_is_shale_gas.pdf

- [9] DAYAL, Anurodh Mohan a Devleena MANI. *Shale Gas: Exploration and Environmental and Economic Impacts* [online]. 2017, 192 s. [cit. 2020-04-22]. ISBN 978-0-12-809573-7. Dostupné z: <https://books.google.cz/books?id=knjUDAAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=shale+gas&hl=cs&sa=X&ved=0ahUKEwj164ub3rzmAhWHHxQKHRZC6QQ6AEIQ TAD#v=onepage&q=shale%20gas&f=false>
- [10] *Shale Gas and Other Unconventional Sources of Natural Gas* [online]. 2014 [cit. 2020-04-20]. Dostupné z: <https://www.ucsusa.org/resources/how-natural-gas-formed>
- [11] *Geological Characteristics of Shale Gas Deposits* [online]. 2014 [cit. 2020-04-20]. Dostupné z: <http://shalegas.in.ua/en/geologichni-osoblyvosti-pokladiv-slantsevogo-gazu/>
- [12] *Natural Gas: Schematic Geology of Natural Gas Resources* [online]. 2010 [cit. 2020-04-30]. Dostupné z: https://www.eia.gov/oil_gas/natural_gas/special/ngresources/ngresources.html
- [13] QUASCHNING, Volker. *Obnovitelné zdroje energií*. Praha 7: Grada, 2010, 296 s. ISBN 978-80-247-3250-3.
- [14] *Natural gas explained* [online]. 2019 [cit. 2020-04-22]. Dostupné z: <https://www.eia.gov/energyexplained/natural-gas/>
- [15] *Background* [online]. 2015 [cit. 2020-04-30]. Dostupné z: <http://naturalgas.org/overview/background/>
- [16] BUDÍN, Jan. *Zemní plyn-těžba, vlastnosti a rozdělení* [online]. 2015 [cit. 2020-04-22]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/plyn/zemni-plyn-tezba-vlastnosti-a-rozdeleni>
- [17] MUSIL, Petr. *Globální energetický problém a hospodářská politika: Se zaměřením na obnovitelné zdroje*. Praha: C.H.Beck, 2009, 224 s. ISBN 978-80-7400-112-3.
- [18] SPELLMAN, Frank R. *Environmental Impacts of Hydraulic Fracturing* [online]. CRC Press, 2013, 477 s. [cit. 2020-04-20]. Dostupné z: <https://books.google.cz/books?id=zXjNBQAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=environmental+impacts+of+shale+gas+extraction+on+the+environment&hl=cs&sa=X&ved=0ahUKEwi2r53z2rzmAhVp5OAKHWHnBewQ6AEIKDAA#v=onepage&q=environmental%20impacts%20of%20shale%20gas%20extraction%20on%20the%20environment&f=false>
- [19] HELMENSTINE, Anne Marie. *Key Facts to Know about Shale Rock: Geology, Composition, and Uses* [online]. 2019 [cit. 2020-04-30]. Dostupné z: <https://www.thoughtco.com/shale-rock-4165848>

- [20] KING, Hobart. M. *Shale* [online]. [cit. 2020-04-30]. Dostupné z: <https://geology.com/rocks/shale.shtml>
- [21] BUCHTA, Tomáš. Břidlicový plyn-Těžba. *Tzb-info* [online]. 2015 [cit. 2020-04-22]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/vytapime-plynem/12610-bridlicovy-plyn-tezba>
- [22] XING, Liang, Zhang JIEHUI, Shu HONGLIN a Ye XI. *Petroleum Exploration and Development: Reservoir forming conditions and favorable exploration zones of shale gas in the Weixin Sag, Dianqianbei Depression* [online]. In: . 2011 [cit. 2020-04-27]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876380412600044>
- [23] DVOŘÁKOVÁ, Vlastimila, Juraj FRANČŮ, Bohdan KŘÍBEK, Jan PAŠAVA a Ivo SITENSKÝ. *Nekonvenční zemní plyn z břidlic (NZPB): Potenciální zásoby a technologie jeho těžby* [online]. In: . 2011 [cit. 2020-04-22]. Dostupné z: <http://www.geology.cz/extra-net/vav/prirodni-zdroje/nerostne-suroviny/bridlicny-plyn.pdf>
- [24] KUNA, Petr. Geologický průzkum a případná těžba břidlicového plynu – UFO V CHKO [online]. [cit. 2020-05-23]. Dostupné z: <http://www.cbks.cz/Upice2012/103.pdf>
- [25] KING, Hobart M. *Directional and Horizontal Drilling in Oil and Gas Wells* [online]. [cit. 2020-04-22]. Dostupné z: <https://geology.com/articles/horizontal-drilling/>
- [26] FLYNN, Daniel. *Back-to-basics: A guide to the different types of wells used by oil & gas companies* [online]. 2019 [cit. 2020-04-30]. Dostupné z: <https://www.valuethemarkets.com/2019/09/11/back-to-basics-a-guide-to-the-different-types-of-wells-used-by-oil-gas-c>
- [27] HOFMAN, A., G. OLSON a A. LINDSTRÖM. *Shale Gas and Hydraulic Fracturing: Framing the Water Issue* [online]. In: . 2014, s. 34 [cit. 2020-04-22]. ISBN 978-91-981860-1-7. Dostupné z: https://www.siwi.org/wp-content/uploads/2015/09/2014_Fracking_Report_web.pdf
- [28] ZUPPANN, Charles W. a John C. STEINMETZ. *Indiana University Bloomington: Hydraulic Fracturing: An Indiana Assessment* [online]. 2014 [cit. 2020-06-07]. Dostupné z: <https://igws.indiana.edu/OilGas/HydraulicFracturing>
- [29] ARTHUR, J. Daniel, Brian BOHM, Bobbi Jo COUGHLIN a Mark LAYNE. *Evaluating the Environmental Implications of Hydraulic Fracturing in Shale Gas Reservoirs* [online]. In: . 2008 [cit. 2020-04-22]. Dostupné z: <http://www.all-llc.com/publicdownloads/ArthurHydrFracPaperFINAL.pdf>
- [30] ZHANG, Dongxiao a Tingyun YANG. *Petroleum Exploration and Development: Environmental impacts of hydraulic fracturing in shale gas development in the United*

- States* [online]. In: . 2015 [cit. 2020-04-27]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876380415300859>
- [31] ROZELL, Daniel J. a Sheldon J. REAVEN. *Water Pollution Risk Associated with Natural Gas Extraction from the Marcellus Shale* [online]. 2011 [cit. 2020-04-22]. Dostupné z: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1539-6924.2011.01757.x>
- [32] MAŠTÁLKA, Jiří, Jiří MALÍK a Kolektiv Koalice STOP HF. *Břidlicový plyn: Energetická naděje nebo špinavá záležitost?* [online]. In: . 2013 [cit. 2020-04-22]. Dostupné z: http://stophf.cz/wp-content/uploads/2016/09/Bridlicovy_plyn-Energeticka_nadeje_nebo_spinava_zalezitost.pdf
- [33] MONKS, Paul a David CARRUTHERS. *AIR QUALITY EXPERT GROUP: Potential Air Quality Impacts of Shale Gas Extraction in the UK* [online]. In: . 2015 [cit. 2020-04-27]. Dostupné z: https://uk-air.defra.gov.uk/assets/documents/reports/cat09/1807251315_AQEG_Shale_Gas_Extraction_Advice_Note_vfinal_for_publishing.pdf
- [34] KEMENYOVÁ, Zuzana. *Kolem plynu z břidlic to stále víc jiskří. Česko není USA, křičí ekologové (Hospodářské noviny)* [online]. 2012 [cit. 2020-04-22]. Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/articles_120319_bridlice
- [35] TŮMOVÁ, Štěpánka. *Průzkum ložisek břidlicového plynu byl povolen chybně, uznal ministr* [online]. 2012 [cit. 2020-04-22]. Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/articles_120410_hradecko
- [36] *Ministr Tomáš Chalupa zrušil rozhodnutí o stanovení průzkumného území „Trutnovsko“* [online]. 2012 [cit. 2020-04-22]. Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/news_120410_trutnovsko
- [37] KUNA, Petr. *Těžba břidlicového plynu – nové ohrožení přírody a krajiny v ČR?* [online]. 2012 [cit. 2020-04-22]. Dostupné z: <https://www.casopis.ochranaprirody.cz/zpravy-recenze/tezba-bridlicoveho-plynu-nove-ohrozeni-prirody-a-krajiny-v-cr/>
- [38] VOBOŘIL, David. *Břidlicový plyn-USA vs Evropa* [online]. 2015 [cit. 2020-04-22]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/plyn/bridlicovy-plyn-usa-vs-evropa>
- [39] MACHÁČEK, Jaroslav. *Diskuse k těžbě břidlicových plynů* [online]. 2012 [cit. 2020-04-30]. Dostupné z: <http://abicko.avcr.cz/2012/09/05/bridlice.html>
- [40] LUKÁŠEK, Libor, Zdeněk HRUBÝ a Kolektiv. *Energetická bezpečnost České republiky*. Karolinum, 2015, 160 s. ISBN 978-80-246-2974-2.

- [41] *Shale oil and shale gas resources are globally abundant* [online]. 2014 [cit. 2020-04-30]. Dostupné z: <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=14431>
- [42] BUCHTA, Tomáš. *Břidlicový plyn – Severní a jižní Amerika* [online]. 2015 [cit. 2020-04-22]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/vytapime-plynem/12435-bridlicovy-plyn-severni-a-jizni-amerika>
- [43] KUUSKRAA, Vello A., Scott H. STEVENS, Tyler Van LEEUWEN a Keith D. MOODHE. ADVANCED RESOURCES INTERNATIONAL, Inc. *World Shale Gas Resources: An Initial Assessment of 14 Regions Outside the United States* [online]. 2011 [cit. 2015-04-06]. Dostupné z: <http://www.eia.gov/analysis/studies/worldshalegas/archive/2011/pdf/fullreport.pdf>
- [44] KUUSKRAA, Vello A., Scott H. STEVENS a Keith D. MOODHE. ADVANCED RESOURCES INTERNATIONAL, Inc. *Technically Recoverable Shale Oil and Shale Gas Resources: An Assessment of 137 Shale Formations in 41 Countries Outside the United States* [online]. 2013 [cit. 2015-04-06]. Dostupné z: <http://www.eia.gov/analysis/studies/worldshalegas/pdf/fullreport.pdf>
- [45] *Poland: Natural gas* [online]. In: . 2016 [cit. 2020-04-27]. Dostupné z: <https://www.eia.gov/international/analysis/country/POL>
- [46] HRUBAN, Robert. *Vídeňská pánev* [online]. 2014 [cit. 2020-04-22]. Dostupné z: <http://moravske-karpaty.cz/prirodni-pomery/geomorfologie/videenska-panev-2/>
- [47] PETRÁNEK, Jan. *Geologická encyklopedie* [online]. [cit. 2020-04-22]. Dostupné z: <http://www.geology.cz/aplikace/encyklopedie/term.pl?panev>
- [48] *Natural Gas: Schematic Geology of Natural Gas Resources* [online]. 2010 [cit. 2020-04-30]. Dostupné z: https://www.eia.gov/oil_gas/natural_gas/special/ngresources/ngresources.html
- [49] SLYDER, Jake. *Natural gas explained: Painting a Clearer Picture of Shale Gas Development* [online]. 2015 [cit. 2020-04-30]. Dostupné z: <https://www.esri.com/about/newsroom/arcnews/painting-a-clearer-picture-of-shale-gas-development/>
- [50] ALOULOU, Faouzi a Victoria ZARETSKAYA. *Shale gas production drives world natural gas production growth* [online]. 2016 [cit. 2020-04-22]. Dostupné z: <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=27512>

[51] ANON. *Australské energetické zásoby jsou větší, než se předpokládalo díky břidlicovému plynu a ropě* [online]. 2016 [cit. 2020-05-23]. Dostupné z: https://www.mzv.cz/sydney/cz/obchod_a_ekonomika/australske_energeticke_zasoby_jsou_vetsi.html.