

# ZKUŠENOSTI Z PODZEMNÍHO ZPLYŇOVÁNÍ HNĚDÉHO UHLÍ V PODMÍNKÁCH SEVEROČESKÉ HNĚDOUHELNÉ PÁNVE V ČR

Marcela Šafářová, Josef Valeš

Výzkumný ústav pro hnědé uhlí, a.s., Budovatelů 2830, 434 37 Most

*Příspěvek je věnován podzemnímu zplyňování hnědého uhlí, které bylo realizováno v několika lokalitách severočeské hnědouhelné pánve v 60. letech minulého století. Řadou experimentů in-situ byly již v té době definovány podmínky této technologie a její možnosti i omezení dané zejména geologickou skladbou ložiska uhlí, kvalitativními parametry uhelné slaje, nadloží a podloží i stavem techniky, která byla v té době používána.*

Došlo 4. 11. 10, přijato 26. 11. 10

## 1. Úvod

Podzemní zplyňování uhlí je dnes technologií, která je často zmiňována v souvislosti s těžbou uhlí jako technologie přijatelnější z hlediska ochrany životního prostředí [1,2]. Hlavně z pohledu rozsáhlé devastace krajiny, která doprovází zejména povrchový způsob těžby této energetické suroviny, jde o alternativní způsob využití ložiska uhlí v přirozených geologických podmínkách. Tento způsob těžby uhlí je však omezen celou řadou podmínek, které mohou významně ovlivnit aplikaci této, dnes moderní technologie v reálném geologickém prostředí. Těmito podmínkami jsou kromě kvalitativních parametrů uhlí zejména uložení ložiska, mocnost uhelné slaje, mocnost nadloží, jeho nepropustnost, hladina podzemních vod, výskyt kolektoru a řada dalších. Hlavně díky rozvoji progresivních technologií vrtání (materiály, horizontální vrty) se tak podzemní zplyňování stává ve specifických geologických podmínkách zajímavou alternativou k dobývání uhlí povrchovým způsobem [1]. Často je však považována za metodu doplňkovou, protože její aplikace je vhodná zejména pro geologické zásoby, které jsou z hlediska geologických podmínek uložení a kvality zásob (popelnatost, nízká mocnost, vysoká frekvence střídání uhelných a jalových poloh atp.) pro standardní dobývací techniku hlubinnou či povrchovou netěžitelné. Také v České republice byla tato technologie těžby a využití uhelné hmoty testována na několika lokalitách severočeské hnědouhelné pánve a to již v 60. letech minulého století. V provozu tak bylo v té době postupně několik podzemních generátorů a byly sledovány a vyhodnocovány nejen kvalitativní parametry vznikajícího plynu v závislosti na kvalitě zplyňovaného uhlí, ale také vlivy provozu generátoru v různých geologických podmínkách na okolí. Česká republika se tak řadí mezi několik málo zemí, kde se testovala technologie podzemního zplyňování již před více jak půl stoletím.

## 2. Experimentální část

### 2.1. Pokusný podzemní generátor Bořislav

První pokusné práce zaměřené na využití způsobu zplyňování uhlí in situ v podmínkách severočeské hnědouhelné pánve jsou datovány rokem 1956 na lokalitě Bořislav u Teplíc [3].

Pro pokusné práce a ověření technologického postupu podzemního zplyňování uhelné slaje byla zvolena izolovaná terciární uhelná pánvička v okolí obce Bořislav. Geologicky je struktura pánvičky z jihu omezena terciárními vulkanity. Ze severu, východu a západu je omezení denudační, kryté svahovými uloženinami. Hlava uhelné slaje se nacházela v hloubce cca 20 m a její mocnost kolísala od 3,5 do 4,0 m. Sloj měla jednotný vývoj, bez významných proplátek, byla rozpukaná ve směru SZ – JV a byla mírně ukloněná SZ směrem. Slojí v těchto místech probíhala tektonická porucha postihující výrazněji uhelnou slaj než nadložní komplex hornin. Nadloží uhelné slaje tvoří šedé a písčité jíly. Nadloží terciéru budují spraše, hlíny a šterky. Podloží uhelné slaje tvoří šedé a šedomodré jíly. Kvalitativní parametry uhelné hmoty byly stanoveny ze vzorků odebraných při realizaci budované vrtné linie podzemního generátoru (z vrtných jader) a jsou uvedeny v tabulce 1.

**Tabulka 1** Kvalitativní parametry uhlí v podzemním generátoru Bořislav [3]

Parametr	
Voda W (% hm.)	38,1 – 46,84
Popel A (% hm.)	12,19 – 22,0
Hořlavina (% hm.)	38,2 – 40,97
Polokoks (% hm.)	33,35 – 37,43
Dehet (Fischer) (% hm.)	5,20 – 7,70
Voda karbonizační (% hm.)	5,55 – 5,70
Plyn + ztráty (% hm.)	6,65 – 11,01
Počátek měknutí A (°C)	1124 - 1293
Bod tání A (°C)	1163 - 1327
Počátek tečení A (°C)	1200 - 1364
H (% hm.)	2,21 – 2,55
N (% hm.)	0,44 – 0,47
O (% hm.)	8,90 – 9,45
C (% hm.)	25,82 – 28,01
S <sub>vešk.</sub> (% hm.)	0,72 – 1, 13
S <sub>prch.</sub> (% hm.)	0,46 – 1,07
Spalné teplo Q <sub>v</sub> (MJ.kg <sup>-1</sup> )	10,5 – 11,3
Výhřevnost Q <sub>n</sub> (MJ.kg <sup>-1</sup> )	8,8 – 9,7

Poznámka: Značení kvalitativních parametrů odpovídá archivní dokumentaci roku 1958, spalné teplo a výhřevnost jsou vyjádřeny v jednotkách SI.

Z hlediska hydrogeologických poměrů infiltruje srážková voda propustným kvartérem a suťovým pokryvem až do uhelné sloje. Nadložní šterky jsou zvodnělé a uhelná sloj také. Pro snížení hladiny podzemní vody ve sloji byl v blízkosti podzemního generátoru vybudován odvodňovací vrt. V okolí generátoru, v prostoru denudačního omezení pánvičky, je pramenní vývěr vody procházející slojí (pramen u Žalan).

Podzemní generátor byl realizován sítí pěti vrtů, které byly uspořádány ve vzdálenosti 25 m od sebe v jedné linii (přímce). Technologicky byly vybudovány vrty vtláčečící, které sloužily pro přívod zplyňovacího média, tj. vzduchu do generátoru, vrty těžební pro odvod plynu z generátoru a dále vrty měřicí, pozorovací a odvodňovací. Vrty byly provedeny rotačním bezjádřovým vrtáním a vystrojeny ocelovými pažnicemi. Před zapálením uhelné sloje v generátoru probíhala tlaková zkouška průchodnosti sloje pro plynná média, která trvala cca 9 hod. Dále byla ověřována možnost předsoušení uhelné sloje průchodem tlakového vzduchu po dobu cca 24 hod.

Proces zplyňování byl zahájen vytvořením prorážky (ohňového kanálu) mezi sousedními vrty. To se provádělo tak, že do vtláčečícího (vzduchového) vrtu bylo nasypáno cca 80 kg žhavého koksu a uhlí, potom byl vrt uzavřen a byl do něj vháněn vysokotlaký vzduch. Těžební vrty (po obou stranách vrtu vzduchového) byly otevřeny do atmosféry. Po několika týdnech (832 hod.) došlo k prohoření uhelné sloje, vznikl ohňový kanál mezi vrtem vzduchovým a těžebními s celkovou délkou 50 m. Po vytvoření ohňového kanálu byl tlak vzduchu ve vzduchovém vrtu snížen na cca 0,15 – 0,2 MPa a začal probíhat proces zplyňování uhelné hmoty v okolí ohňové prorážky. Těžebními vrty byl ocelovým potrubím odváděn procesem vzniklý plyn.

Při provozu podzemního generátoru byly ověřovány technické a technologické možnosti řízení jeho chodu změnou množství a tlaku vzduchu vháněného do generátoru jako zplyňovacího média. V tabulce 2 je uvedeno složení plynu i jeho základní parametry [3].

**Tabulka 2** Kvalitativní parametry vyrobeného plynu

Složka	(% obj.)	Parametry plynu	
CO <sub>2</sub>	14,2– 19,5	Teplota plynu (°C)	61,9– 135,2
O <sub>2</sub>	0,2 –1,4	Vlhkost plynu (g.m <sup>-3</sup> )	184 – 781
CO	3,8 – 7,6	Množství plynu (m <sup>3</sup> )	(12 – 360).10 <sup>3</sup>
CH <sub>4</sub>	0,6 – 2,3	Množství vzduchu (m <sup>3</sup> )	(24 – 650).10 <sup>3</sup>
N <sub>2</sub>	54,4– 67,0	Výhřevnost plynu (MJ.m <sup>-3</sup> )	1,6 – 2,14

### 2.1.1 Vlivy provozu podzemního generátoru Bořislav na okolní prostředí

Provozem podzemního generátoru docházelo k ovlivnění okolního horninového prostředí, ale i samotného technického vybavení podzemní i nadzemní části generátoru.

#### *Poklesy terénu*

Při procesu podzemního zplyňování dochází k objemovým změnám uhelné hmoty uvnitř generátoru, kdy z jejího původního objemu zůstávají pouze popeloviny. Tato změna objemu má za následek poklesy nadložních hornin, které se na povrchu terénu projevují vznikem poklesové kotliny, jejíž rozsah závisí zejména na kvalitě a charakteru složení hornin [4].

Deformace povrchu terénu se projevily i v okolí generátoru Bořislav, nenastaly však bezprostředně po ukončení zplyňování uhelné hmoty v daném prostoru, ale až po 2,5 – 3 měsících. Při mocnosti nadloží okolo 20 m a mocnosti uhelné sloje okolo 4 m se poklesy terénu pohybovaly v rozmezí 0,85 – 1,75 m. Ty vedly zejména v okolí provozních vrtů (vzduchových i těžebních) k jejich enormnímu materiálovému namáhání a docházelo k deformacím, které měly za následek neprůchodnost vrtů. K těmto deformacím vrtů (pažnic) docházelo v různých hloubkách v závislosti na litologickém složení nadloží, resp. jejich rozhraní [5].

Poklesová kotlina se vytvářela i vně plochy, kterou vymezovaly hraniční (obvodové) vrty generátoru. Maximální dosah deformace za hranice plochy generátoru činil přibližně polovinu vzdálenosti dvou sousedních vrtů tj. asi 13 m. Tvorba rozhraní poklesové kotliny probíhala podle zálomového úhlu deformovaných hornin.

#### *Ovlivnění podzemních vod*

Provoz podzemního generátoru negativně ovlivňoval kvalitu podzemních vod v okolí a to zejména jejich celkovou mineralizaci a tvrdost vody. Z provozu generátoru se do vody dostávaly i organické látky, zejména fenoly a dehty, ale také sulfan a oxid uhličitý. Provoz generátoru ovlivňoval také teplotu podzemních vod, kdy docházelo k jejímu zvýšení. Dosah ovlivnění kvality vod byl až do vzdálenosti několika km od podzemního generátoru. Provoz generátoru v podstatě znehodnotil zdroj pitné vody v okolí, v níž byly zjištěny vysoké koncentrace fenolů, sulfanu a celkových rozpuštěných látek.

V roce 1960 byl ukončen monitoring změn chemického složení vod pramenu u Žalan ovlivněného provozem podzemního generátoru, který měl zjistit konečnou úroveň kvality vody a dobu potřebnou k poklesu koncentrací nežádoucích polutantů. Tímto monitoringem bylo zjištěno, že došlo ve vodě pramenu ke snížení koncentrace škodlivin z provozu podzemního generátoru po dvou letech. Změny chemického složení vod vyvolané provozem generátoru byly dočasné, ale vedly ke znehodnocení podzemní vody pro pitné účely. Po dvou letech od ukončení provozu podzemního gene-

rátoru byla v místech vývěřů vody koncentrace znečišťujících látek již tak nízká, že nehrozila kvalita vodních toků.

Provozem generátoru nedocházelo v zájmovém území ke změnám režimu podzemních vod [3].

### 2.1.2 Vyhodnocení provozu pokusného generátoru Bořislav

Pro ověření průběhu podzemního zplyňování v generátoru Bořislav bylo provedeno 1 rok po ukončení provozu jeho „otevření“ pomocí jedenácti vrtů, které vedly až do podloží uhelné sloje, a dále byla realizována průzkumná šachtice. Záměrem těchto prací bylo potvrdit některé předpoklady, které nebylo možné v době provozu generátoru ověřit přímo. Výsledky zjištěné vrtným průzkumem lze shrnout následovně:

- průměrná šířka zplyněné uhelné sloje byla 10 m (max. 13 m) a byla ovlivněna liniovým uspořádáním vrtů, které tvořily podzemní generátor,
- při vrtání nedocházelo k žádnému výronu plynů z prostoru generátoru,
- výplň zplyněné sloje byla nezpevněná.

Průzkumná šachtice prokázala následující skutečnosti:

- první trhliny způsobené průhybem nadloží byly zjištěny v hloubce 14 m, s narůstající hloubkou se k nim přidružovaly trhliny způsobené tepelnou (kaustickou) deformací,
- teplota hornin při hloubení šachtice začínala na 11 °C a stoupala až na 42 °C v hloubce 16 m, z toho lze soudit, že generátor ani po ročním ukončení provozu nebyl tepelně uklidněn,
- vyhořelé partie sloje byly vyplněny škvárou, vypálenými jíly ze závalu a polokoksem v nezpevněném stavu, lze tedy odvodit, že teploty v generátoru musely přesáhnout mez tečení popela,
- bezprostřední nadloží nad generátorem bylo silně zpevněno, tvořilo strop a nebylo spojeno s výplní vyhořelého prostoru,
- maximální teplota hoření sloje byla stanovena metodou DTA na hodnotách 1400 – 1450 °C,
- podle obsahu prchavé hořlaviny bylo zjištěno, že podložní nezplyněné lávky i uhlí uložené ve sloji vně generátoru se nezúčastnily zplyňování,
- kaustický účinek do podloží sloje byl prokazován do hloubky cca 1,5 m [5].

S ohledem na množství stanovených uhelných zásob ve sloji byla zjištěna účinnost podzemního generátoru, která dosahovala 63 – 66 %. Tato účinnost byla ovlivněna i úniky plynu z generátoru v prostoru tektonické poruchy, které byly pozorovány v průběhu provozu a prokazovaly netěsnosti podzemního generátoru. Dále bylo zjištěno, že přítomnost vody v generátoru byla žádoucí do 15 % hm., vyšší obsah vody zvyšoval vlhkost plynu, snižoval jeho výhřevnost a reakční teplotu. Rovněž bylo prokázáno, že přetlak plynných složek

v generátoru zabraňoval vnikání vody do generátoru a snižoval tak riziko jeho uhašení.

### 2.2. Podzemní generátor na lokalitě Březno

Po vyhodnocení informací a poznatků z provozu pokusného generátoru na lokalitě Bořislav bylo rozhodnuto o dalším ověřování technologie podzemního zplyňování na lokalitě Droužkovice – Březno u Chomutova, která se vyznačuje jinými geologickými podmínkami [6].

Zde byl navržen a vyprojektován generátor o teoretickém výkonu 6000 Nm<sup>3</sup>.hod<sup>-1</sup>. Tento výkon generátoru byl plánován tak, aby bylo možné kromě jiného posoudit využití vzniklého plynu v elektrárně o výkonu 50 – 100 MW. Provoz navrženého generátoru měl sloužit k ověření možnosti zplyňovat in-situ několik uhelných slojí nad sebou. A také měl stanovit kritéria pro uhelné zásoby vhodné k podzemnímu zplyňování atd.

Podzemní generátor byl situován do lokality, kde jsou dle geologického průzkumu vyvinuty dvě uhelné sloje nad sebou. Kvalitativní parametry uhlí a základní podmínky uložení uhelných slojí jsou uvedeny v tabulkách 3 a 4.

**Tabulka 3** Kvalitativní parametry uhlí a základní podmínky uložení 1. sloje [6]

Podmínky uložení 1. sloje		Parametry uhlí	
Hloubka	22,4 m	A <sup>d</sup> (% hm.)	19,5
Mocnost uhlí	1,4 m	Q <sub>i</sub> <sup>d</sup> (MJ.kg <sup>-1</sup> )	13,2
Mocnost nadloží	21 m	W <sub>i</sub> <sup>t</sup> (% hm.)	33
Zásoby uhlí	9 930 t		
Sloj není zvodnělá			

**Tabulka 4** Kvalitativní parametry uhlí a základní podmínky uložení 2. sloje [6]

Podmínky uložení 2. sloje		Parametry uhlí	
Hloubka	40 m	A <sup>d</sup> (% hm.)	32,0
Mocnost uhlí	2,5-2,6 m	Q <sub>i</sub> <sup>d</sup> (MJ.kg <sup>-1</sup> )	17,6
Mocnost nadloží	37,5 m		
Sloj je částečně zvodnělá			

Terén tohoto poměrně malého pokusného území, kde byl situován generátor, je nezvládnutý, mírně ukloněný cca 2° k jihu, až ke Střezovské rokli. Ta představuje nejvýznamnější morfologický prvek v nejbližším okolí generátoru a ohraničuje pokusný prostor na J a JZ. Rokle je přibližně 1 500 m dlouhá a místy až 20 m hluboká, v nižších částech značně členitá, rozvětvená. Vznikla jako důsledek působení srážek a následné eroze terénu a postihuje slojové i mezislojové souvrství miocenu. Ve střední části jsou obnaženy vrstvy středního a spodního slojového souvrství. V nejbližším okolí se nevyskytuje žádný vodní tok. V období tání sněhu a při

prudkých deštích rokle odvádí srážkovou vodu. Průměrný úhrn ročních srážek dosahuje 450 mm a z tohoto pohledu se jedná o jednu z nejsušších oblastí v Čechách s průměrnou roční teplotou 7,9 °C. Velká část území je budována propustnými terasovými štěrkopísky, které leží na nepropustných miocenních jílech.

Tato oblast byla v letech 1954 až 1959 prozkoumána sérií průzkumných vrtů (celkem 21 vrtů), aby byly zjištěny geologické poměry lokality. Realizovaným vrtným průzkumem bylo zjištěno, že sedimenty kvartéru jsou na tomto území tvořeny sprašovými hlínami a terasovými sedimenty – písčítými hlínami, písky, štěrkopísky a štěrky [6]. Tyto sedimenty jsou dobře propustné.

Nadloží je budováno šedými kaolinicko-illitickými miocenními jíly, které s hloubkou přecházejí v jíly žluté až rezavé barvy. Mocnost nadloží uhelného souvrství je v rozmezí 30 až 40 m a v prostoru generátoru dosahuje 20 m. Ve směru ke Střezovské roklí jsou nadložní vrstvy obnaženy v důsledku denudační činnosti srážkových vod. Nadložní jílové vrstvy byly z pohledu provozu podzemního generátoru vhodným materiálem, který je dokonale těsný jak z hlediska propustnosti srážkových vod infiltrujících do generátoru, tak pro plynné složky v generátoru vznikající.

Svrchní uhelné souvrství má v této oblasti průměrnou mocnost cca 3 - 4 m, která je velmi nepravidelná a kolísá až k hodnotám 0,4 m. Uhlenné souvrství je tvořeno oxyhumolity a xyliticko-detritickým uhlím, které je pórovité s vysokou propustností. Uhlenná sloj není zvodnělá.

Mezislojové souvrství pod svrchní slojí je budováno psamiticko-pelitickými sedimenty, které jsou často promíchány s proplástkou uhelných jílu. Mocnost mezislojového souvrství je místně proměnlivá.

Ložisko uhlí není tektonicky postiženo.

Z hlediska hydrogeologických poměrů se v pokusném území vyskytuje podzemní voda jak v kvartéřních sedimentech, tak v sedimentech miocénu. Podzemní voda kvartéřních sedimentů je vázána na terasové uloženiny hlinitých písků a štěrkopísků, které mají mocnost 2 - 4 m. Na litologických přechodech sprašových hlín a štěrkopísků dochází k mírnému vzdouvání hladiny podzemní vody, což má za následek vznik lokálních mokřadů. Vydatnost vod kvartéřních hornin je však nepatrná a neměla praktický význam pro záměr realizovat podzemní generátor [7].

V miocenním souvrství jsou dva horizonty artézských vod. První horizont nepostihuje svrchní slojové pásmo, v němž byl situován podzemní generátor. Druhý horizont – artézský se vyskytuje ve spodním písčitojilovitém souvrství s úrovní hladiny artézské vody v hloubce 43,7 m. Tento horizont zasahoval generátor. Zjištěné zvodnění bylo sice malé s ustálenými přítoky cca 0,2 l.sec<sup>-1</sup>, přesto bylo realizováno odvodnění této části oblasti tak, aby došlo ke snížení hladiny podzemních vod o 3 m [7].

V této lokalitě byly založeny dva pokusné podzemní generátory. První byl označen Březno I a byl

založen v 1. uhelné (svrchní) sloji, druhý generátor byl označen Březno II a byl založen ve 2. uhelné (střední) sloji. U těchto generátorů byl navržen a pomocí vrtů realizován tzv. boční (stranový) odtah vznikajícího plynu. Vrty vzduchové i těžební byly uspořádány v několika řadách, přičemž vnitřní vrty sloužily jako vrty vzduchové (vtlačecí) a vnější vrty byly těžební, kterými byl odváděn v generátoru vznikající plyn. Toto uspořádání umožnilo zplyňovat uhelnou sloj postupně v pracovních periodách jednotlivých řad vrtů směrem do „panenké“ sloje. Tento způsob nebyl do té doby nikde na světě testován a měl přispět hlavně k úsporám materiálu, jako jsou potrubí, armatury, dilatační prvky potrubí apod., potřebných pro provoz generátoru. Z technologického pohledu bylo predikováno zvýšení výhřevnosti vyrobeného plynu, vyšší účinnost zplyňování uhelné sloje a jednodušší způsob řízení výkonu generátoru s kontrolou produkce plynu [8].

Generátor Březno I byl tvořen devíti provozními vrty uspořádanými do čtvercové sítě s roztečí vrtů 25 m (3 řady po 3 vrtech) a 5 vrtů bylo pomocných.

Generátor Březno II byl založen v hloubce 40 m ve středním uhelném souvrství (střední sloji), kde toto souvrství tvoří 2 uhelné lávky o průměrné mocnosti 4,51 m, oddělené proplástkou o mocnosti 1,3 m. Generátor byl tvořen osmi řadami vrtů, z nichž první čtyři řady byly ukončeny ve svrchní látce, ostatní pak v počvě spodní lávky 2. sloje.

Současně byly vybudovány povrchové objekty technologického a správního charakteru jako kompresorovna, kotelna, strojovna turbíny, trafostanice, mechanické dílny, spalovací komora, potrubní řady, dílna měřící a regulační techniky, dopravní stroje a mechanizmy, správní budova.

## 2.2.1 Vlivy provozu podzemních generátorů Březno I a II na okolní prostředí

Opět se potvrdilo, že provozem podzemního generátoru docházelo k ovlivnění okolního horninového prostředí a to vznikem poklesové kotliny. Průběh vzniku poklesové kotliny v důsledku podzemního zplyňování uhelné sloje byl sledován a vyhodnocován pomocí opakovaných nivelačních měření ve čtvercové síti 100 x 130 m s hranou 10 m. Rozloha této sítě přesahovala plochu předpokládaného vlivu provozu generátoru. Cílem měření bylo nejen stanovit míru poklesu terénu a určit konečný, skutečný tvar generátoru, ale také stanovit dobu deformace a uklidnění nadloží po zplyňování.

### *Poklesy terénu*

Maximální pokles terénu u generátoru Březno I dosáhl 1,33 m při mocnosti sloje 1,55 m, tj. 88,7 % vztaheno na mocnost sloje. Měření bylo zdokumentováno, že uhlí v generátoru neprohořovalo všude stejně a pravidelně. To mělo za následek nepravidelný tvar poklesové kotliny, kdy v místech optimálních zplyňovacích podmínek byly poklesy terénu nejhlubší.

Maximální pokles u generátoru Březno II byl 5,87 m s doklesem 0,4 m. K uklidnění terénu docházelo

zhruba po půl roce po ukončení provozu generátoru. V následujícím období pak docházelo pouze k doklesům. U tohoto generátoru byly výrazné poklesy terénu zřejmě způsobeny prolomením nadloží mezi 1. a 2. slojí [9].

Poklesy terénu a jeho deformace odpovídaly charakteru a kvalitě nadložních hornin v závislosti na mocnosti zplyňované uhelné sloje.

### 2.2.2 Vyhodnocení provozu pokusného generátoru Březno I a II

Dosažené výsledky u generátoru Březno I nepotvrdily předpoklady vyšší kvality zplyněním získávaného plynu, jehož průměrná výhřevnost dosahovala  $2,5 \text{ MJ.m}^{-3}$ . Množství vytěženého plynu bylo menší než množství dmychaného vzduchu. V průběhu zplyňování docházelo v důsledku vysoké propustnosti sloje k únikům plynu a vzduchu mimo generátor a to i na poměrně velké vzdálenosti až 200 m. Unikajícím plynem bylo zasaženo široké území 1. sloje [10].

Nízká výhřevnost plynu měla příčiny v malé mocnosti sloje. Ta způsobovala, že tepelná energie vznikající hořením uhlí v generátoru byla odebírána okolními horninami nadloží a podloží. V důsledku toho docházelo ke snížení teploty v generátoru a zhoršení průběhu zplyňovacích reakcí.

Plyn z generátoru byl čištěn pouze od hrubých mechanických nečistot a potrubí nebylo tepelně izolováno. V důsledku toho docházelo ke kondenzaci dehtů a jemných mechanických nečistot v potrubí, což zpětně negativně ovlivňovalo provozní tlak v generátoru a tomu úměrně i ztráty plynu v něm.

Generátor Březno II byl v provozu celkem 1 157 hodin a bylo vyrobeno  $3\,060\,391 \text{ m}^3$  plynu o průměrné výhřevnosti  $3,6 \text{ MJ.m}^{-3}$ . Ztráty plynu byly stanoveny na 37,1 %. Průměrný hodinový výkon generátoru byl  $2\,501 \text{ m}^3$  plynu. Vyrobený plyn byl spalován v hořáku [11].

## 3. Výsledky a diskuse

Z provedených zplyňovacích pokusů vyplynulo, že jednou z rozhodujících veličin charakterizujících procesy zplyňování in-situ je propustnost uhelné sloje. Zplyňování slojí s vysokou propustností přináší problémy v nadměrné migraci vyrobeného plynu na velké vzdálenosti, což vede k nadměrným ztrátám a snižuje ekonomický efekt tohoto procesu.

Na základě komplexního vyhodnocení všech prací souvisejících s ověřováním podzemního zplyňování v podmínkách severočeské hnědouhelné pánve byla definována již v 60. letech minulého století kritéria bilančnosti pro posuzování vhodnosti zásob hnědého uhlí pro aplikaci této technologie a výrobu plynu v přirozených podmínkách uložení uhelných slojí. Z výsledků provedených experimentů vyplynuly následující podmínky:

- minimální mocnost uhelné sloje pro podzemní zplyňování 2,0 m,

- maximální obsah popela v uhlí  $A^d = 55 \text{ % hm.}$ ,
- maximální mocnost proplásktu 0,6 m,
- za bilanční jsou považovány lávky o mocnosti nejméně 0,5 m,
- voda vázaná v uhlí a výhřevnost uhlí nejsou považovány za kritéria,
- minimální mocnost nepropustného nadloží musí být nejméně 20 m, nejnižší lineární překryvný poměr 1:4,5,
- za nepropustné horniny nadloží jsou z hlediska provozu podzemního generátoru považovány horniny, jejichž koeficient propustnosti je menší nebo rovný hodnotě  $0,0132 \text{ Darcy}$  ( $1,346 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2$ ),
- přípustný kritický přítok vody do generátoru  $250 \text{ g H}_2\text{O}$  na  $1 \text{ m}^3$  plynu.

Z pohledu současné environmentální legislativy je z rámcového vyhodnocení provozu pokusných podzemních generátorů v severočeské pánvi zřejmě, že zplyňování hnědého uhlí in-situ ovlivňovalo negativně životní prostředí v jeho okolí a to jak z hlediska emisí, tak z hlediska kvality podzemních vod. Tyto pokusy však poskytly cenné informace nejen o možnostech zplyňování uhlí v geologických podmínkách severočeské hnědouhelné pánve, ale také o vlivu provozu podzemního generátoru na okolní přírodu. V té době však nebyla informacím o vlivu na životní prostředí věnována patřičná pozornost.

## 4. Závěr

Ve vybraných lokalitách severočeské hnědouhelné pánve probíhaly již v 60. letech minulého století experimenty podzemního zplyňování uhelných slojí různých mocností a v různých geologických podmínkách. Česká republika byla v té době jednou z mála zemí na světě, kde byly testovány podmínky provozu podzemního zplyňovacího generátoru s ohledem na bezpečnost a aplikační možnosti této technologie. Již v té době bylo prokázáno, že při použití této technologie musí být zohledněny okrajové podmínky, jako je příznivé strukturní uložení sloje a uzavřená geologická struktura, včetně dostatečné vzdálenosti generátoru od starých důlních děl prováděných hlubinnou činností.

Pro aplikaci technologie podzemního zplyňování přicházejí v úvahu takové části uhelného ložiska, které jsou nevhodné pro těžbu povrchoým způsobem. Obecně jde o ložiska, kde je změna kvality ve vertikálním profilu vysoká, sloj má nejednotný vývoj s vysokou frekvencí střídání proplásktů a uhelných lávek. Nejdůležitější fyzikální veličinou, která rozhoduje o efektivním výsledku zplyňování uhelné hmoty in situ a je v přímém vztahu ke geologickým podmínkám generátoru i kvalitě uhelné hmoty, je propustnost sloje charakterizovaná koeficientem propustnosti [12].

**Literatura**

1. Buton, E., Friedmann, J., Upadhye, R.: Best Practices in Underground Coal Gasification, Technical Report, Lawrence Livermore National Laboratory, W-7405-Eng-48, 2007, dostupné na: <http://www.purdue.edu/discoverypark/energy/pdfs/cctr/BestPracticesinUCG-draft.pdf> (30. 9.2010)
2. Shu-qin, L., Jun-hua, Y.: Environmental Benefits of underground coal gasification, Journal of Environmental Sciences, vol. 12, no. 2, pp. 284 - 288, 2002.
3. Koutník, J., Koranda, J., Glivický, O., Haas, K.: Podzemní zplyňování hnědého uhlí v prostoru Bořislav, Závěrečná zpráva VÚHU 39/58 D a 39a/58 – přílohy, Most, 1958.
4. Otta, S.: Vliv poddolování na povrch a povrchové stavby – účinky podzemního zplyňování uhlí v Bořislavi na povrch, zpráva VÚHU 5/60, Most, 1960.
5. Koutník, J., Glivický, O., Haas, K.: Podzemní zplyňování uhlí v prostoru Bořislav – dodatek zpráv 24/60, Most, 1960.
6. Koutník, J., Glivický, O., Haas, K.: Podzemní zplyňování uhlí v prostoru Droužkovice – Březno, výzkumná zpráva VÚHU 38/60, Most, 1960.
7. Koutník, J., Glivický, O., Haas, K.: Podzemní zplyňování hnědého uhlí v prostoru Březno – Zhodnocení čerpacího pokusu v 1. části podzemního generátoru závodu PZU Březno II, zpráva VÚHU 42/62, Most, 1962.
8. Koutník, J., Glivický, O., Koranda, J.: Podzemní zplyňování hnědého uhlí v prostoru Droužkovice, zpráva VÚHU 60/62, Most, 1962.
9. Pichler, E.: Sledování deformace nadloží vlivem podzemního zplyňování uhlí v generátoru PZU II -4 terestrickou fotogrammetrií, zpráva VÚHU 44/66, Most, 1966.
10. Veselý, K., Trýzna, P., Peniška, J.: Výzkum cest plynů v podzemním generátoru pro zplyňování pomocí xenonu 133, zpráva VÚHU 33/66, Most, 1966.
11. Koranda, J., Glivický, O., Haas, K., Košut, L.: Zhodnocení poloprovozních zkoušek PZU v oblasti Droužkovice – Březno, zpráva VÚHU 170/66, Most, 1966.
12. Valeš, J., Šafářová, M.: Zplyňování uhlí, zpráva VÚHU a.s. VV-123/06, Most, 2006.

**Summary**

*Marcela Šafářová, Josef Valeš*

*Brown Coal Research Institute, Budovatelů 2830, Most*

***Experience from brown coal underground gasification in the North Bohemian basin of the Czech Republic***

The paper deals with underground brown coal gasification which was tested at several sites in the North Bohemian Brown Coal Basin in the 1960's. Based on a series of in-situ experiments carried out at that time, operating conditions were defined as well as possibilities and limits of this technology determined especially by geological structure of coal deposit, qualitative parameters of both coal seam and overlying and underlying strata, and also by technological equipment conditions at that time.