

## ŠTÚDIUM PODZEMNÉHO SPLYŇOVANIA UHLIA V LABORATÓRNYCH PODMIENKACH

MAREK LACIAK<sup>a</sup>, ERIKA ŠKVAREKOVÁ<sup>b</sup>,  
MILAN DURDÁN<sup>a</sup>, KAROL KOSTÚR<sup>a</sup>  
a GABRIEL WITTENBERGER<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Ústav riadenia a informatizácie výrobných procesov, B. Nemcovej 3, 042 00 Košice, <sup>b</sup> Ústav montánných vied a ochrany životného prostredia, Fakulta baníctva, ekológie, riadenia a geotechnológií, Park Komenského 19, 042 00 Košice

marek.laciak@tuke.sk, erika.skvarekova@tuke.sk,  
milan.durdan@tuke.sk, karol.kostur@tuke.sk,  
gabriel.wittenberger@tuke.sk

Došlo 28.2.11, prijaté 23.6.11.

Kľúčové slová: podzemné splyňovanie uhlia, experimentálne zariadenie, syngas, decht, životné prostredie

### Úvod

Vzrastajúca uhoľná produkcia vyvoláva v posledných 10 rokoch požiadavky na zníženie emisií a na výskum alternatívnych zdrojov energie. Medzinárodná energetická asociácia predpokladá zvýšenie využitia uhlia až o 55 % do roku 2030, v dôsledku vytvárania národných energetických priemyselných infraštruktúr a v dôsledku svetových pohybov rastu cien ropy a plynu.

Celkové svetové energetické zdroje fosílnych palív, ktoré obsahujú tenké uhoľné ložiská ako aj uhoľné ložiská vo veľkých hĺbkach, by mohli dosiahnuť až 18 triliónov ton uhlia. To znamená, že 95,5 % zo svetových energetických zdrojov fosílnych palív je viazaných v uhlí<sup>1</sup>.

Napriek veľkým svetovým uhoľným rezervám je možné súčasnými technológiami vytážiť len menšiu časť uhlia. Približne 85 % známych uhoľných rezerv tvoria tzv. neťažiteľné uhoľné zdroje, ktoré je podľa mnohých expertov možné sprístupniť použitím novej technológie podzemného splyňovania uhlia (PSU). Tato metóda je založená na podzemnom „horení“ uhlia priamo v ložisku.

Pri priemyselnom splyňovaní je potrebné vybudovať sústavu vrtov – minimálne jeden injekčný a jeden produkčný vrt a systém na čistenie a uskladňovanie vyrobeného plynu. Pomocou injekčného vrtu sa ložisko zapáli a vháňa sa doň splyňovacie médium. Vyprodukovaný plyn sa na povrch dostáva produkčným vrtom. Cieľom tohto procesu je vygenerovať z uhlia čo najviac plynu s maximálnou výhrevnosťou. K nadobudnutiu tohto cieľa vedie cesta založená na algoritmoch riadenia vstupných oxidovadlých a odtáhu vyprodukovaného plynu.

Proces podzemného splyňovania uhlia môžeme rozdeliť do 3 fáz:

- Konštrukčná fáza – je potrebné odvŕtať injekčný a produkčný vrt. Pred zapálením je dôležité overiť priepustnosť sloja. Ak je priepustnosť nedostatočná treba ju umelo zvýšiť.
- Operačná fáza – uskutočňuje sa zapálením uhlia. Splyňovanie sa začína, až keď je splyňovacie médium vtlačené do sloja prostredníctvom injekčného vrtu a chemické reakcie prebiehajú medzi splyňovacím médium a uhlím.
- Záverečná fáza – táto fáza likviduje vrty. Ak nastane znečistenie, odporúča sa pred likvidáciou vrtov prepĺňať dutinu vodou, čím sa minimalizuje možné znečistenie prostredia a vody v okolí dutiny.

Technológia PSU je v zahraničí prezentovaná ako technológia s menším negatívnym dopadom na životné prostredie ako všetky doteraz používané techniky podzemného a povrchového dobývania uhlia. Proces je bezpečný a z ekonomického hľadiska efektívny, čo je jeho najväčšou výhodou. Umožňuje pružne reagovať na trh s energiou, pretože premena hlavného produktu tzv. syngasu na elektrickú energiu je dnes realizovateľná bez väčších problémov. Ďalšie možnosti využitia syngasu sú v priemysle a domácnostiach ako plyné palivo.

PSU je tiež považovaná za čistú technológiu. Stáva sa atraktívnejšou zvlášť ak zdôrazníme, že umožňuje viazať a ukladať uhlíkové emisie do uvoľnených priestorov po ukončení PSU.

Príspevok reprezentuje štúdiu PSU v laboratórnych podmienkach. Uhlie z handlovského ložiska bolo splyňované v rámci projektu APVV v dvoch rôzne konštrukčne riešených generátoroch (laboratórnych zariadeniach). Tieto generátory simulovali reálne podmienky uloženia uhoľného sloja.

Príspevok na základe rozboru produkovaného plynu (syngas) a zmesi dechtu a vody poukazuje na energetické vlastnosti produktov a tiež na nebezpečné látky, ktoré majú negatívny vplyv na životné prostredie.

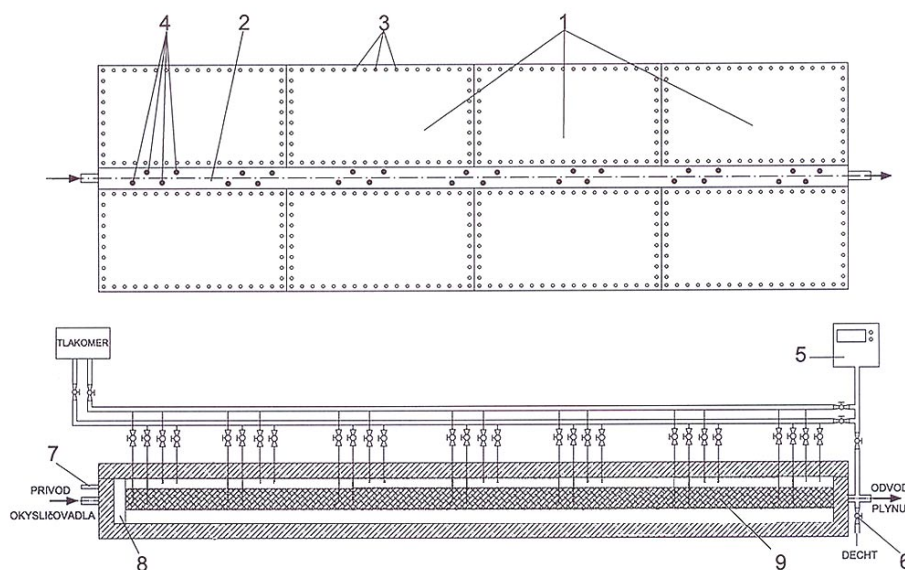
### Experimentálna časť

Pre štúdium procesu podzemného splyňovania uhlia z hľadiska syngasu a vedľajšieho produktu (zmes dechtu a vody), boli zrealizované dva experimenty v laboratórnych podmienkach (experiment 1 a experiment 2).

Experiment 1 bol uskutočnený v generátore G1 a experiment 2 v generátore G2. Vzorky vedľajšieho produktu boli odobraté ihneď po ukončení procesu splyňovania.

#### Experimentálne zariadenia

Generátor G1 – bol navrhnutý a skonštruovaný v tvare viacdielnej oceľovej nádoby (obr. 1). Uloženie uhlia v generátore bolo navrhnuté ako fyzikálny model pre podzemné splyňovanie uhlia. Proces PSU v skonštruovanom generátore je založený na princípe ria-



Obr. 1. Schéma generátora G1; 1 – diely otváracieho veka, 2 – rampa, 3 – spojovacie skrutky veka a nádoby generátora, 4 – sondy pre meranie tlaku resp. odber syngasu, 5 – analyzátor plynu, 6 – potrubie pre vypúšťanie zmesi dechtu a vody, 7 – zapalovací otvor, 8 – zapalovacia komora, 9 – uhlie

deného privodu oksyličovadla do horiaceho uhoľného ložiska a odvodu produkovaného plynu. Základným predpokladom je adekvátne uloženie hornín nadložia, podložia a uhoľného sloja tak, aby vzduch prechádzal celým ložiskom. Hlavným cieľom procesu podzemného splyňovania uhlia je produkovať syntetický plyn – syngas, s čo najvyššou výhrevnosťou.

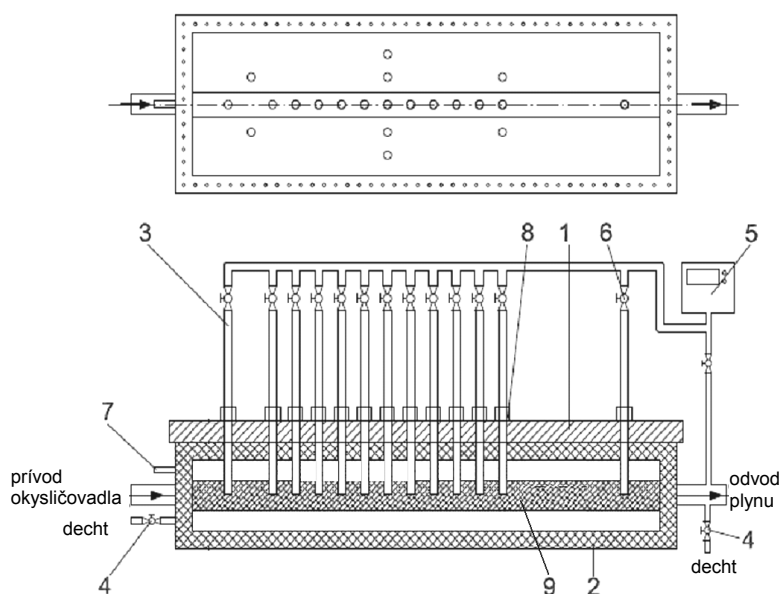
Generátor G1 má tvar oceľovej plechovej nádoby, ktorá je 5 m dlhá, 1,5 m široká a 0,5 m vysoká. Na jej vrchnej strane je otváracie veko zložené z niekoľkých dielov (1). Jednotlivé diely veka sú medzi sebou a zároveň s nádobou generátora pospájané skrutkami (3). V mieste dotyku jednotlivých dielov veka s nádobou generátora je umiestnené tesnenie pre minimalizovanie plynopriepustnosti generátora. Stredom konštrukcie generátora prechádza tzv. rampa (2), ktorá predstavuje oceľovú konštrukciu pre uchytenie jednotlivých dielov veka. Na rampe sú zo spodnej strany smerom do vnútra generátora privarené oceľové rúrky – sondy (4), ktoré slúžia pre meranie tlakov v generátore a zároveň je pomocou nich možný odber syngasu po dĺžke generátora. Spolu je na rampe 26 sond, resp. možných meracích a odberných miest. Na vstupe generátora je vytvorená tzv. zapalovacia komora (8), ktorá slúži pre zapálenie uhoľného sloja na začiatku experimentu. Zapalovanie prebieha cez zapalovací otvor (7) pomocou plynového horáka, ktorý sa po zapálení sloja uzatvorí<sup>2</sup>.

Generátor G2 sa oproti generátoru G1 odlišuje hlavne v jeho konštrukcii a rozmeroch a pozostáva z dvoch hlavných častí: nádoby (2) a veka generátora (1) (obr. 2).

Nádoba generátora je polvalcovitého tvaru a skladá sa z predného a zadného čela a plášťa nádoby. Jej dĺžka je

3 m a výška 0,5 m. Po celej vnútornej ploche nádoby je izolácia (SIBRAL) o hrúbke 0,1 m, na ktorej je umiestnený krycí plech. Na vstupe nádoby generátora sú tri otvory. Prvý slúži ako vstup pre oksyličovadlo, druhý (7) ako zapalovací pre zapálenie uhoľného sloja na začiatku experimentu a tretí (4) pre vypúšťanie zmesi dechtu a vody v priebehu experimentu. Na výstupe nádoby (generátora) je potrubie pre odber produkovaného plynu, v ktorom sa nachádza výpustný otvor pre vypúšťanie zmesi dechtu a vody (4).

Veko generátora je vyrobené z oceľovej konštrukcie a jeho dĺžka je rovnaká ako dĺžka nádoby generátora (3 m) a výška je 0,1 m. Vo výške samotného veka generátora je taktiež uložená sibalová izolácia o hrúbke 0,1 m, na ktorej je umiestnený krycí plech. Vo veku sa nachádza 21 otvorov pre umiestnenie sond, slúžiacich pre meranie teplôt a analýzu plynu v priebehu procesu splyňovania. Trinásť otvorov je tzv. kanálových (1–13) a nachádza sa v strede veka generátora. Slúžia pre analýzu plynu a meranie teplôt v kanáli resp. osi uhoľného sloja. Ďalších osem otvorov je rozmiestnených napravo (4 sondy) a naľavo (4 sondy) od kanálových otvorov (14–21) a tieto slúžia pre analýzu plynu a meranie teplôt v uhoľnom sloji po priereze generátora. Sondy (3) pre odber syngasu sú rúrkovitého tvaru o priemere 8 mm a dĺžke 750 mm. Termočlánky pre meranie teplôt v generátore sú umiestnené v ochrannnej keramickej rúrke, ktorá je vložená do sondy. Na konci sondy je ventil (6), s vyústením pre napojenie hadice do analyzátoru plynu (5). Hĺbka umiestnenia sondy je nastaviteľná pomocou matice na jej vonkajšej strane (8).



Obr. 2. Schéma generátora G2; 1 – veko generátora, 2 – nádoba generátora, 3 – sondy pre odber syngasu, 4 – potrubie pre vypúšťanie zmesi dechtu a vody, 5 – analyzátor plynu, 6 – ventil, 7 – zapalovací otvor, 8 – matica pre nastavenie polohy odberovej sondy, 9 – uhlie

#### Použité vstupné suroviny

Uvedené experimenty sa od seba odlišovali okrem experimentálneho zariadenia aj množstvom vstupných surovín. Základné vstupné suroviny pre proces splyňovania uhlia môžeme rozdeliť na:

- uhoľnú vsádzku,
- vstupné oxidovadlá.

Uhoľná vsádzka pozostávala z uhlia, uhoľného prachu a gudronu (zostatková látka po destilácii ropy), ktorý spolu s uhoľným prachom slúžil na spojenie uhoľných kúskov do jedného monolitného sloja.

Prehľad množstiev jednotlivých zložiek uhoľnej vsádzky a výsledky analýzy uhlia z laboratórnych skúšok pre obidva experimenty sú uvedené v tab. I. Experiment 1 môžeme charakterizovať väčším množstvom uhoľnej vsádzky oproti experimentu 2, čo vyplýva z objemov generátorov. U experimentu 2 nebola prevedená analýza celkového obsahu síry v uhlí. Z pohľadu obsahu vody a popolu v uhlí môžeme konštatovať, že zloženie uhlia

u oboch experimentov bolo takmer rovnaké.

Pri procese splyňovania boli u oboch experimentov použité ako oxidovadlá vzduch a kyslík, príp. zmes vzduchu a kyslíka. V tab. II je uvedená spotreba ( $S_{vzd}$ ,  $S_{kys}$ ) a priemerný objemový prietok ( $V_{vzd}$ ,  $V_{kys}$ ) týchto oxidovadiel, ako aj celková doba experimentu v hodinách. Vzhľadom k väčšiemu množstvu uhoľnej vsádzky u experimentu 1 (väčší objem generátora) bola spotreba oxidovadiel a doba experimentu u tohto experimentu vyššia. Spotreba vzduchu bola 2659 Nm<sup>3</sup> a kyslíka 486 Nm<sup>3</sup>, pričom pri experimente 2 bola spotreba vzduchu 662 Nm<sup>3</sup> a kyslíka 11 Nm<sup>3</sup>.

#### Výsledky a diskusia

Analýza procesu splyňovania uhlia v laboratórnych podmienkach bola realizovaná z hľadiska zloženia:

- produkovaného plynu – syngasu (hlavný produkt splyňovania),
- zmesi dechtu a vody (vedľajší produkt splyňovania).

Tabuľka I

Množstvá uhoľnej vsádzky a analýza uhlia pre experiment 1 a experiment 2

| Experiment č. | Uhlie<br>[kg] | Uhoľný prach<br>[kg] | Gudron<br>[kg] | Spolu<br>[kg] | Obsah vody<br>[%] | Obsah popola<br>[%] | Obsah síry<br>[%] |
|---------------|---------------|----------------------|----------------|---------------|-------------------|---------------------|-------------------|
| 1             | 684           | 110                  | 110            | 904           | 26                | 13,8                | 2,5               |
| 2             | 236           | 2,5                  | 5,0            | 243,5         | 24,3              | 13,4                | –                 |

Tabuľka II  
Prehľad spotreby oxidovadiel

| Experiment č. | Doba splyň. [h] | $S_{\text{vzd}} [\text{Nm}^3]$ | $V_{\text{vzd}} [\text{Nm}^3 \text{ h}^{-1}]$ | $S_{\text{kys}} [\text{Nm}^3]$ | $V_{\text{kys}} [\text{Nm}^3 \text{ h}^{-1}]$ | Spolu $[\text{Nm}^3]$ |
|---------------|-----------------|--------------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------|
| 1             | 169,3           | 2659                           | 15,7                                          | 486                            | 2,8                                           | 3145                  |
| 2             | 62,2            | 662                            | 10,6                                          | 11,0                           | 0,2                                           | 673                   |

### Analýza produkovaného plynu – syngas

Analýza výsledkov z experimentov z hľadiska syngasu bola zameraná na jeho kvalitu, ktorú môžeme charakterizovať jeho výhrevnosťou. Ako už bolo uvedené, hlavným cieľom procesu splyňovania uhlia je produkovať plyn – syngas s čo najväčšou výhrevnosťou<sup>3,10</sup>. Na obr. 3 a 4 sú uvedené priebehy objemového prietoku vstupných oxidovadiel (vzduch a kyslík), syngasu a výhrevnosti syngasu počas obidvoch experimentov. Dvojnásobne vyššia výhrevnosť syngasu bola dosiahnutá u experimentu 1, čo je dokumentované v tab. III, v podobe priemernej výhrevnosti ( $H_{\text{SYN}}$ ) počas experimentov.

Z pohľadu vstupných oxidovadiel, vzduchu a kyslíka bol objemový prietok vzduchu u oboch experimentov približne rovnaký, u experimentu 1 o niečo vyšší (tab. II). Základný rozdiel medzi experimentmi z pohľadu oxidovadiel je v spotrebe kyslíka. U experimentu 1 bolo ako hlavné oxidovadlo použitá zmes vzduchu a kyslíka cca od 1800 do 7700 min. V dôsledku použitia tejto zmesi bola v tomto časovom úseku experimentu dosiahnutá aj najvyššia výhrevnosť syngasu a to od 10 do 14  $\text{MJ Nm}^{-3}$ . U experimentu 2 bola krátkodobo nameraná výhrevnosť 12

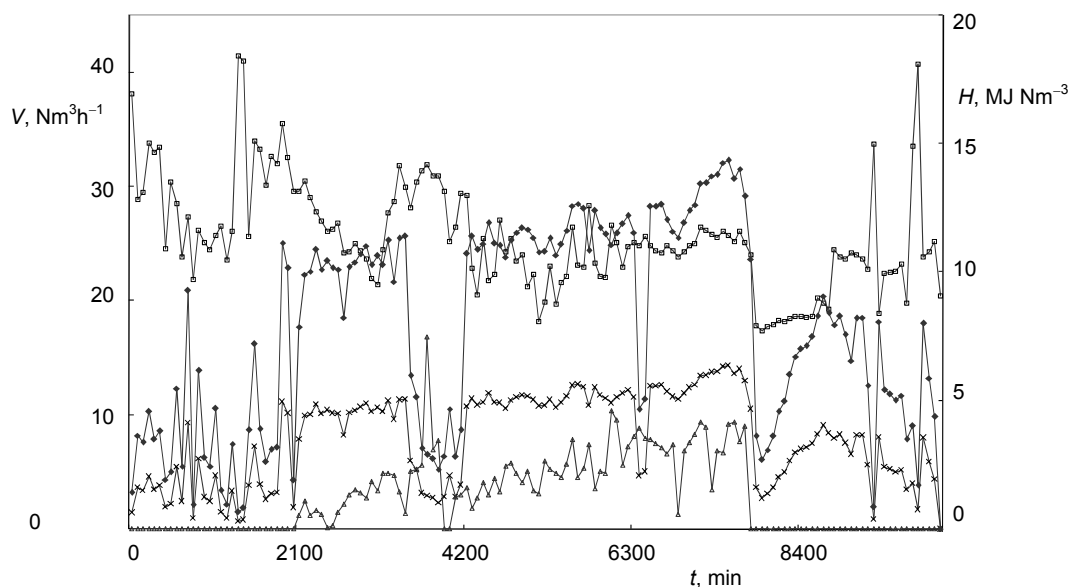
až  $16 \text{ MJ Nm}^{-3}$  v prvej časti experimentu, vplyvom vyššieho prietoku vzduchu na vstupe a v závere experimentu, vplyvom obohatenia oxidačnej zmesi o kyslík. V ostatnej časti experimentu dosahovala výhrevnosť syngasu hodnoty do  $8 \text{ MJ Nm}^{-3}$ , čo je menej v porovnaní s prvým experimentom<sup>4</sup>.

Tabuľka III okrem priemernej výhrevnosti ( $H_{\text{SYN}}$ ) dosiahnutej u oboch experimentoch udáva aj údaje ako doba splyňovania, množstvo vyprodukovaného plynu ( $Q_{\text{SYN}}$ ) a jeho priemerný hodinový prietok ( $V_{\text{SYN}}$ ). Priemerná výhrevnosť aj množstvo syngasu sú väčšie u experimentu 1, čo súvisí s väčším množstvom vsádzky, oxidovadiel a dlhšej doby splyňovania.

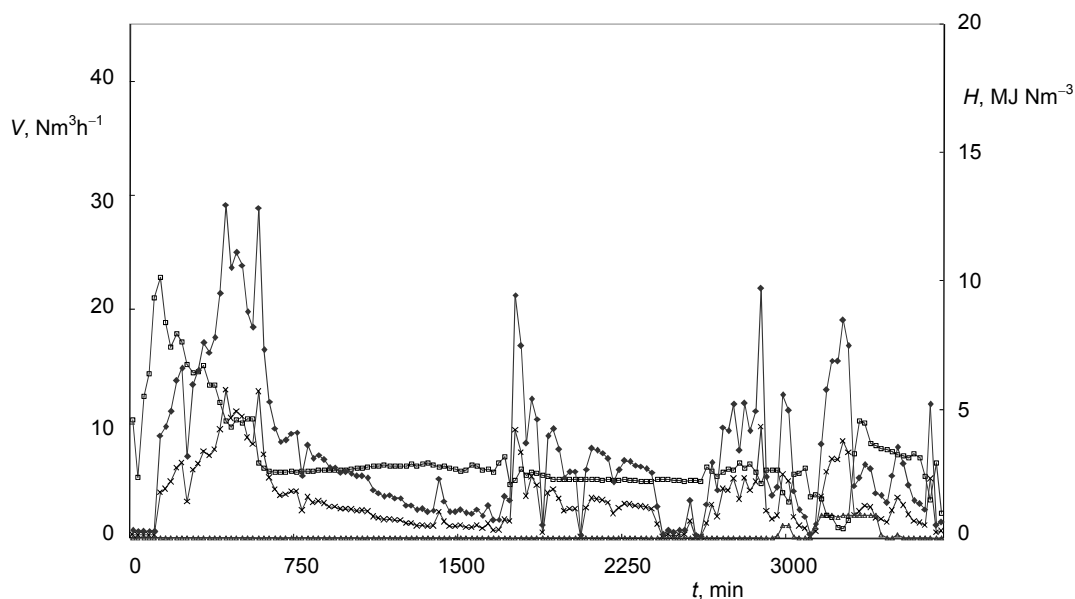
V tab. IV sú uvedené priemerné a maximálne hodnoty jednotlivých zložiek syngasu v percentách u oboch experimentov. Priemerné hodnoty výhrevných zložiek, ktorými sú  $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}$  a  $\text{CH}_4$ , sú u experimentu 1 vyššie, čo potvrdzuje väčšiu kvalitu produkovaného plynu u tohto experimentu.

### Analýza zmesi dechtu a znečisťujúcich látok

K negatívnym vplyvom pôsobiacim počas technológie splyňovania na prvky životného prostredia na povrchu



Obr. 3. Priebehy relevantných veličín u 1. experimentu; objemový prietok vzduchu (x), objemový prietok kyslíka ( $\Delta$ ), objemový prietok syngasu ( $\square$ ), výhrevnosť syngasu ( $\diamond$ )



Obr. 4. **Priebehy relevantných veličín u 2. experimentu;** objemový prietok vzduchu (×), objemový prietok kyslíka (Δ), objemový prietok syngasu (□), výhrevnosť syngasu (◇)

Tabuľka III

Množstvo a výhrevnosť vyprodukovaného plynu – syngas

| Experiment č. | Doba splyň. [h] | $Q_{\text{SYN}}$ [Nm <sup>3</sup> ] | $V_{\text{SYN}}$ [Nm <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> ] | $H_{\text{SYN}}$ [MJ Nm <sup>-3</sup> ] |
|---------------|-----------------|-------------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| 1             | 169,3           | 4456                                | 26,3                                                | 6,4                                     |
| 2             | 62,2            | 504                                 | 8,1                                                 | 3,3                                     |

Tabuľka IV

Priemerné a maximálne hodnoty zložiek syngasu

| Experiment č. |         | H <sub>2</sub> [%] | CO [%] | CH <sub>4</sub> [%] | CO <sub>2</sub> [%] | O <sub>2</sub> [%] |
|---------------|---------|--------------------|--------|---------------------|---------------------|--------------------|
| 1             | priemer | 14,40              | 9,09   | 14,74               | 18,37               | 3,34               |
|               | max     | 35,57              | 31,69  | 20,67               | 31,39               | 21,00              |
| 2             | priemer | 2,89               | 5,30   | 6,55                | 15,01               | 4,59               |
|               | max     | 32,23              | 39,50  | 52,10               | 49,85               | 20,94              |

a v podzemí môžeme zaradiť zmenu morfológiu prostredia, znečistenie plynmi, aromatickými uhľovodíkmi, prchavými horľavinami, tuhými zvyškami po splyňovaní a stopovými prvkami.

Poklesy terénu sú jediným vplyvom podzemného splyňovania, ktoré je možné pozorovať na povrchu. Počas splyňovacieho procesu dochádza k objemovým zmenám hornín. Z pôvodnej uhľovej hmoty zostanú vo vzniknutej dutine iba nesplynuté zvyšky a decht. Zmena objemu má za následok poklesy nadložných hornín, ktoré na povrchu vedú k vytvoreniu poklesovej kotliny v závislosti od typu hornín. Deformácia povrchu nenastáva bezprostredne po-

čas splyňovania, ale až po 2,5–3 mesiacoch v závislosti na intenzite splyňovania, hrúbke sloja, obsahu popola v uhlí, typu nadložia atď. Poklesová kotlina sa spravidla vytvára vnútri priestoru geometrickej plochy, ktorú vymedzujú hraničné (obvodové) vrty generátora a najvýraznejšie sú v okolí vrtov.

Vznik znečisťujúcich plynov (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, C<sub>2</sub>S, NO, NO<sub>2</sub> a merkaptány) podmieňuje vysokú toxicitu a výrazný zápach<sup>6</sup>.

Polycyklické aromatické uhľovodíky (PAU) sú organické zlúčeniny zložené z dvoch a viacerých aromatických kruhov, ktoré obsahujú len uhlík a vodík. Vznikajú pri

Tabuľka V

Hodnoty znečisťujúcich látok vo vzorkách dechtu (NEL IR, TOC, BTEX, PAU)

| Experiment ukazovateľ                                                      | Exp. č. 1<br>[g l <sup>-1</sup> ] | Exp. č. 2<br>[g l <sup>-1</sup> ] | Prahové hodnoty pre synteticky vyrábané znečisťujúce látky <sup>8</sup> [g l <sup>-1</sup> ] |
|----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| NEL – IR                                                                   | 1,324                             | 0,145                             |                                                                                              |
| TOC                                                                        | 2,824                             | 22,656                            |                                                                                              |
| Benzén                                                                     | 3,80·10 <sup>-6</sup>             | 0,394·10 <sup>-3</sup>            | 0,75·10 <sup>-6</sup>                                                                        |
| <i>o</i> -Xylén                                                            | 3,00·10 <sup>-6</sup>             | 0,041·10 <sup>-3</sup>            | 0,312·10 <sup>-3</sup>                                                                       |
| <i>m,p</i> -Xylén                                                          | 4,75·10 <sup>-6</sup>             | 0,076·10 <sup>-3</sup>            |                                                                                              |
| Toluen                                                                     | 3,20·10 <sup>-6</sup>             | 0,20·10 <sup>-3</sup>             | 0,437·10 <sup>-3</sup>                                                                       |
| Acenaftén                                                                  | 3,08·10 <sup>-6</sup>             | 1,022·10 <sup>-3</sup>            |                                                                                              |
| Acenaftylén                                                                | 2,36·10 <sup>-6</sup>             | 3,766·10 <sup>-3</sup>            |                                                                                              |
| Antracén                                                                   | 2,61·10 <sup>-6</sup>             | 0,88·10 <sup>-3</sup>             |                                                                                              |
| Benzo(b)flourantén                                                         | 0                                 | 0,029·10 <sup>-3</sup>            |                                                                                              |
| Benzo(a)antracén                                                           | 0,34·10 <sup>-6</sup>             | 0,358·10 <sup>-3</sup>            |                                                                                              |
| Benzo(k)flourantén                                                         | 0                                 | 0,015·10 <sup>-3</sup>            |                                                                                              |
| Benzo(g,h,i)perylén                                                        | 0                                 | 0,011·10 <sup>-3</sup>            |                                                                                              |
| Benzo(a)pyrén                                                              | 0                                 | 0,044·10 <sup>-3</sup>            | 0,00625·10 <sup>-6</sup>                                                                     |
| Dibenzo(a,h)antracén                                                       | 0                                 | 0,005·10 <sup>-3</sup>            |                                                                                              |
| Fenatrén                                                                   | 16,72·10 <sup>-6</sup>            | 2,3·10 <sup>-3</sup>              |                                                                                              |
| Flourantén                                                                 | 3,20·10 <sup>-6</sup>             | 1,037·10 <sup>-3</sup>            |                                                                                              |
| Flourén                                                                    | 4,92·10 <sup>-6</sup>             | 1,162·10 <sup>-3</sup>            |                                                                                              |
| Chryzén                                                                    | 0,38·10 <sup>-6</sup>             | 0,363·10 <sup>-3</sup>            |                                                                                              |
| Indeno(1,2,3-c,d)pyrén                                                     | 0                                 | 0,021·10 <sup>-3</sup>            |                                                                                              |
| Naftalén                                                                   | 1,77·10 <sup>-6</sup>             | 2,894·10 <sup>-3</sup>            |                                                                                              |
| Pyrén                                                                      | 2,26·10 <sup>-6</sup>             | 0,660·10 <sup>-3</sup>            |                                                                                              |
| ΣPAU                                                                       | 41,1·10 <sup>-6</sup>             | 14,784·10 <sup>-3</sup>           | 0,0625·10 <sup>-6</sup>                                                                      |
| Množstvo zmesi dechtu a vody pri splyňovaní <sup>6</sup> , dm <sup>3</sup> | 21,8                              | 10                                |                                                                                              |

tepelnom rozklade a nedokonalom spaľovaní koksu, čierneho uhlia, asfaltu a nafty.

Niektoré PAU častice sa ľahko vyparujú do ovzdušia z pôdy alebo povrchovej vody. Väčšina PAU nie je rozpustná vo vode a viažu sa na pôdne častice a sediment na dne riek a jazier a následne kontaminujú podzemnú vodu. Ich obsah charakterizuje zaťaženie prostredia. Činnosťou mikroorganizmov sa PAU rozkladajú v pôdnej alebo vodnej zložke v priebehu niekoľkých týždňov až mesiacov. Akumulujú sa v telách rastlín a živočíchov, mnohé z nich sú toxické alebo majú mutagénne účinky.

Ide o látky, ktoré podliehajú monitorovaniu v rámci SR za účelom dodržiavanie limitných hodnôt znečistenia priemyselných odpadových vôd vypúšťaných do povrchových vôd s obsahom škodlivých látok. Odporúčané hodnoty pre povrchové vody je 1,0 g l<sup>-1</sup> a hodnota pre vody určené na závlahy je 0,05 μg l<sup>-1</sup> (cit.<sup>10</sup>).

DHHS (The Department of Health and Human Services) klasifikuje PAU ako potenciálny karcinogén pre zdravie človeka.

Environmental Protection Agency USA (US EPA) ich uvádza na zozname prioritných polutantov, ktorých prítomnosť je potrebné monitorovať v zemských aj vodných

zložkách životného prostredia<sup>8</sup>.

US EPA navrhla stanovovať 16 PAH ako štandardov pre rizikové PAH, ktoré najviac kontaminujú pôdu a vodu, sú to: naftalén, *acenaftylén*, acenaftén, fluorén, fenantrén, antracén, fluorantén, pyrén, benzo(a)antracén, chryzén, benzo(b,k)fluorantén, benzo(a)pyrén, dibenzo(a,h)antracén, benzo(g,h,i)perylén, indeno(1,2,3-c,d)pyrén<sup>10</sup>.

Pre životné prostredie môžu byť nebezpečné aj prchavé horľavé látky, ktoré sa môžu vyskytnúť počas splyňovania uhlia a to sú: BTEX (benzén), toluén, xylény, fenol.

Čierne a hnedé uhlie obsahuje určité koncentrácie stopových prvkov, vrátane ťažkých kovov. Väčšina ťažkých kovov sa v procese spaľovania odparuje a neskôr v priebehu procesu kondenzuje na povrchu tuhých pevných častíc (popol).

Pri nedokonalom splyňovaní vzniká tuhý zvyšok, ktorým môže byť popol prípadne škvara. Chemické zloženie popolov je veľmi premenlivé, závisí od druhu a kvality uhlia a od podmienok spaľovania. Rozdelenie chemických zložiek uhlia hornonitrianskeho ložiska sa nachádza v rozmedzí hodnôt SiO<sub>2</sub> 35–55 %, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 20–30 %, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 3–30 %, CaO 1–7 %, MgO 1–4 %, SO<sub>3</sub> 0,2–3 %, K<sub>2</sub>O + Na<sub>2</sub>O 1–8 %. Toxické prvky, ktoré obsahujú popoly

## Tabuľka VI

Množstvo uhlíka v uhlí, dechte a jeho percentuálny podiel v dechte

| Experiment č. | „C“ vstup uhlie [kg] | „C“ výstup zmes dechtu a vody [kg] | Celkový „C“ v zmesi dechtu a vody [%] |
|---------------|----------------------|------------------------------------|---------------------------------------|
| 1             | 277                  | 0,615                              | 0,22                                  |
| 2             | 84                   | 2,266                              | 2,70                                  |

vo významnejšom množstve, sú najmä: As, B, Be, V a Cd. Popol môže byť svojou podstatou kremičito-hlinitý alebo kremičito-vápenatý. Obidva typy sa od seba líšia obsahom aktívneho CaO, aktívneho SiO<sub>2</sub> a Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Prvý má pucolánové vlastnosti, druhý môže mať navyše hydraulické vlastnosti<sup>7</sup>.

V tab. V sú množstvá znečisťujúcich látok nachádzajúcich sa v odobratých vzorkách zmesi dechtu a vody, z rozboru akreditovaného laboratória (NEL IR, TOC, BTEX, PAU). Hodnoty znečisťujúcich látok sú tu porovnané s prahovými hodnotami pre synteticky vyrábané znečisťujúce látky<sup>8</sup>.

V tab. VI je uvedené množstvo uhlíka v uhlí [kg], v zmesi dechtu a vody [kg] a percentuálny podiel uhlíka v dechte u oboch experimentov. Množstvo uhlíka v uhlí sme vypočítali z množstva uhlia a jeho percentuálneho obsahu. Množstvo uhlíka v dechte je z analýzy vzoriek dechtu uvedenej v tab. V (TOC). Z analýzy vyplýva, že oveľa väčšie množstvo uhlíka sa nachádza v dechte u experimentu 2 až 2,266 kg, čo predstavuje percentuálny podiel 2,7 % z celkového množstva uhlíka v uhlí.

## Záver

Výraznejší pokrok vo vývoji technológie PSU nastal práve v posledných rokoch a súvisí s vývojom nových technológií, ako napríklad nové metódy vŕtania, dokonalejšie technológie úpravy produktov podzemného splyňovania, taktiež environmentálnejšie zmysľovanie spoločností, ratifikácia Kjótskeho protokolu a s tým súvisiaca podpora čistých technológií v rámci programov EÚ a OSN.

V prípade výberu vhodného ložiska pre podzemné splyňovanie je dôležité poznať geologicko-úložné a ekonomické podmienky daného uhľového ložiska.

Celkovo je na posúdenie ložiska uhlia pre podzemné splyňovanie potrebné prehodnocovať napr. hĺbku uloženia sloja, hrúbku sloja, úklon sloja, kvalitatívne parametre – výhrevnosť uhlia, popolnatosť uhlia, tektonické podmienky ložiska a sloja, hydrogeologické podmienky ložiska a sloja, geomechanické vlastnosti nadložných hornín, permeabilitu sloja a nadložia, plastické vlastnosti uhlia, termické vlastnosti uhlia, prítomnosť plynov v ložisku, charakteristiky popola. Vymenované parametre potrebné pre podrobnejšie posudzovanie ovplyvňujú rozmiestenie jednotlivých generátorov, potrebné práce ako odvodňovanie, zvyšovanie permeability a ovplyvňujú aj samotný proces alebo prípadné znečistenie. Tektonické podmienky ovplyv-

ňujú najmä rozdelenie ložiska na samotné generátory. Hydrogeologické podmienky ako charakter priepustnosti, obsah plynu, charakter zvodnenia a pod. sú dôležité pre posudzovanie ložiska pre klasickú ťažbu ako aj pre technológiu PSU. Pri posudzovaní je potrebné zohľadňovať aj prítomnosť ochranných pásiem vodných zdrojov, obývaných oblastí, aktívnej banskej činnosti, plynovodov a pod<sup>9</sup>.

Tabuľky V, VI, poukazujú na možné množstvo vznikajúcich znečisťujúcich látok pri použití tejto, tzv. čistej technológie podzemného splyňovania uhlia.

Najvýraznejší vplyv má podzemné splyňovanie uhlia na podzemné vody. Prevádzka podzemného generátora môže narušiť anorganickú rovnováhu a celkovú mineralizáciu a tým aj tvrdosť podzemných vôd. Z prevádzky generátora sa do vody môžu dostať napr. sírovodík, oxid uhličitý a decht<sup>9</sup>. Dôležitý je aj vplyv teploty podzemného generátora na okolité prostredie. Vzhľadom na vysoké teploty je zrejmé, že sa budú zahrievať tak okolité horniny, ako aj podzemné vody.

Experimentálne splyňovanie uhlia potvrdilo možnosť získania energie z uhlia v podobe syngasu. Zloženie uhlia bolo u oboch experimentov rovnaké (tabuľka I), aj napriek tomu, nebol produkovaný plyn rovnako kvalitný. Spotreba oxidovadiel na objem použitej uhľovej vsádzky bola u experimentu 1 vyššia ako u experimentu 2, čím bol vyšší aj objem vstupnej energie. Z hľadiska kvality syngasu bola dosiahnutá dvojnásobne vyššia výhrevnosť u experimentu 1 (tab. III a obr. 3 a 4) v porovnaní s druhým experimentom.

Z uvedených poznatkov vyplýva, že veľký podiel na kvalite syngasu má objem použitých oxidovadiel a efektívne riadenie procesu splyňovania. V prvej fáze procesu je potrebné vytvoriť podmienky pre vznik oxidačnej zóny a to hlavne zvýšením teplôt nad 1000 °C. Zvýšenie teplôt je možné dosiahnuť zvýšením objemového prietoku oxidovadiel resp. zvýšením podielu kyslíka v oxidačnej zmesi. V druhej fáze procesu, v tzv. redukčnej zóne dochádza k uvoľňovaniu horľavých zložiek syngasu a to hlavne CO a H<sub>2</sub> pri teplotách nižších ako v oxidačnej zóne (650–900 °C). Z toho dôvodu je potrebné sledovať pohyb postupu horenia, odberné miesta syngasu a zamerať sa na riadenie objemu a pomeru vstupných oxidovadiel.

*Práca vznikala za podpory agentúry na podporu výskumu a vývoja projekt APVV-0583-06 a HBP a.s. Prievádzka a taktiež za podpory grantovej agentúry VEGA grantu č.1/0370/10 „Skúmanie vplyvov technológií podzemného splyňovania uhlia na životné prostredie v podmienkach Slovenska“.*

## LITERATÚRA

1. Couch G.: *Global UCG Summit: Progress with underground coal gasification*. London, 5.-6. October 2009, Plenary Lecture <http://www.iqpc.com/presentations/login.aspx>, stiahnuté 25.2.11.
2. Laciak M., Kačur J.: ATP J. 4, 47 (2010).
3. Horbaj P.: Chem. Listy 6, 374 (2001).
4. Vaszi Zs, Varga A.: Acta Metall. Slov. 1, 352 (2009).
5. Horovčák P., Dugáček D., Cirbes P.: Chem. Listy, 104, 1029 (2010).
6. Sasvári T., Blišťanová M. (ed.): *Možnosti získavania energetického plynu z uhoľných ložísk*. Edičné stredisko, TU v Košiciach, Fakulta BERG, Košice 2007.
7. Zelenák Š.: *Dizertačná práca*. Technická univerzita v Košiciach, Fakulta BERG, Košice 2003.
8. Zákon č. 282/2010, Z.z. nariadenie vlády SR, ktorým sa ustanovujú prahové hodnoty a zoznam útvarov podzemných vôd, Zbierky zákonov 2010 čiastka 110, str. 2328.
9. Blišťanová M., Škvareková E.: Doprava a log., TRANSP. & LOG., 6. mimoriadne číslo, 185, (2008).
10. J. Kizek, L. Lazič: Acta Metall. Slov. 38, 119 (1999).

**M. Laciak<sup>a</sup>, E. Škvareková<sup>b</sup>, M. Durdán<sup>a</sup>, K. Kostúr<sup>a</sup>, and G. Wittenberger<sup>b</sup>** (<sup>a</sup> Institute of Control and Informatization of Production Processes, <sup>b</sup> Institute of Mining Sciences and Environment Protection, Faculty of Mining, Ecology, Process Control and Geotechnology, Technical University, Košice, Slovak Republic): **Study of Underground Coal Gasification (UCG) Technology in Laboratory Conditions**

The UCG technology shows a less detrimental environmental impact as all coal remains underground in the process and leaves less emissions and traces as no above-ground gasifiers are required. The gas is processed to remove harmful particulates and CO<sub>2</sub>. Coal gasification is safe and economical in particular for large power stations. UCG, a recognized low-carbon technology, is even more attractive when combined with carbon dioxide capture and storage.

WWW.NAD2012.COM



# International Congress Natural Anticancer Drugs

Olomouc, Czech Republic, June 30 - July 4, 2012

## Preliminary Topics

Microtubule binding compounds | DNA interacting compounds | Topoisomerase inhibitors  
Protein kinase inhibitors | Epigenetic modulators | Proteosynthesis and proteasome inhibitors  
Chemoprevention and chemoprotection | Screening campaigns | Biodiversity and chemodiversity  
Biotechnological production of anticancer compounds | Myxobacterial compounds  
Drug development & clinical trials | Successfull Stories

evropský  
sociální  
fond v ČR

EVROPSKÁ UNIE

MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVYOP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

CZ.1.07/2.3.00/09.0035