ANALÝZA RIZÍK PROSTREDNÍCTVOM ŠTÚDIE HAZOP V PROCESE PODZEMNÉHO SPLYŇOVANIA UHLIA

Gabriela Bogdanovská, Milan Durdán

Ústav riadenia a informatizácie výrobných procesov, Fakulta BERG, Technická Univerzita v Košiciach

E-mail: gabriela.bogdanovska@tuke.sk

ABSTRAKT

Štúdia nebezpečenstva a prevádzkovateľnosti známa pod označením HAZOP (Hazard And Operatibility Study) patrí v súčasnosti k uznávaným európskym štandardom. Úlohou HAZOP je identifikovať zdroje nebezpečenstva, ktoré môžu predstavovať riziko pre personál alebo prevádzkové zariadenie. Cieľom štúdie HAZOP popísanej v príspevku je odhaliť potenciálne nebezpečné situácie, zistiť ich príčiny a stanoviť možné následky, ktoré sa môžu vyskytnúť v procese podzemného splyňovania uhlia realizovanom v laboratórnych podmienkach na experimentálnom splyňovači.

Kľúčové slová: *riziko, prevádzkovateľnosť, odchýlka, identifikácia, HAZOP, splyňovanie*

ÚVOD

Metóda HAZOP je jednou z najjednoduchších a najrozšírenejších prístupov, ktorú je možné použiť na identifikáciu nebezpečenstva a prevádzkyschopnosti. Je používaným štandardom pri posudzovaní nebezpečenstva v etape návrhu a vývoja, čiže etape plánovania, taktiež ju môžeme použiť pri výrobe a uvedení zariadenia do prevádzky, ale aj počas samotnej prevádzky zariadenia. Nekvalifikuje predpokladaný rozsah ani pravdepodobnosť vzniku nežiaducej udalosti. Je založená na systematickom prístupe preverovaného procesu. Celková doba potrebná na vypracovanie štúdie je závislá od zložitosti posudzovaného systému a schopnostiach a znalostiach vedúceho pracovnej skupiny a celého odborného tímu. Vlastníkovi, resp. prevádzkovateľovi zariadenia prináša finančné výhody tým, že minimalizuje čas a financie vynaložené na zavedenie kontrolných a bezpečnostných systémov, ktoré by boli potrebné v čase uvedenia zariadenia do prevádzky, resp. v čase prevádzky.

Pri procese podzemného splyňovania uhlia môže dôjsť k poškodeniu výstupného potrubia a následne úniku produkovaného plynu (syngasu), taktiež napríklad k poruche napájania okysličovadla v dôsledku poškodenia elektrickej siete. Skúmanie tohto procesu splyňovania v reálnych podmienkach je nákladné, preto sa daný proces skúma v laboratórnych podmienkach. Z toho dôvodu bol vytvorený laboratórny fyzikálny model reálneho uhoľného sloja (experimentálny splyňovač). Pre posúdenie bezpečnostných rizík vznikajúcich pri jeho prevádzke bola použitá metóda HAZOP. Experimentálny splynovač simuluje podmienky skutočného uhoľného sloja v geometrickej podobnosti.

METODIKA HAZOP

Metóda HAZOP si vyžaduje tímovú prácu. Vykonáva sa prostredníctvom brainstomingu pracovného tímu. Úspech tejto metódy veľmi často závisí od schopností a skúsenosti vedúceho štúdie a na vedomostiach a skúsenostiach členov skupiny.

Je potrebné uvažovať, že hodnoty podstatných veličín sa nachádzajú v bezpečných medziach. Nebezpečenstvo je spôsobené významnými odchýlkami od stanovených hodnôt.

Pri aplikácií metódy HAZOP pracovný tím pomocou vodiacich slov analyzuje jednotlivé časti zariadenia, tzv. uzly. Pre každý uzol sa hľadajú odchýlky od správnej funkcie zariadenia, od správnych hodnôt požadovaných veličín a zisťuje sa, či tieto odchýlky môžu spôsobiť nebezpečenstvo. [1], [2], [3], [4].

Odchýlky je možné určovať dvoma spôsobmi:

1. Aká udalosť nastane, ak vznikne určitá odchýlka?
2. Aká odchýlka spôsobí, že určitá udalosť nastane?

Niektoré odchýlky môžu byť tak nepravdepodobné, že odvodené následky sa zamietnu. Niektoré následky môžu byť triviálne. Môžu sa však vyskytnúť určité odchýlky s možnými príčinami a následkami, ktoré sú potenciálne závažné. V takomto prípade pracovný tím stanovuje bezpečnostné opatrenia a odporučí nápravne opatrenia.

Odchýlky je možné rozdeliť do troch skupín [5]. Odchýlky, ktoré:

- *nemajú negatívny vplyv na bezpečnú prevádzku* – v niektorých prípadoch môžu tieto odchýlky znamenať iba časovú predĺženie daného procesu.
- *vyžadujú zásah obsluhy* - môžu spôsobovať v menšej miere únik nebezpečných látok, ktoré sa dajú zvládnuť. Spôsobujú aj ekonomické straty. Neoddeliteľnou časťou bežných postupov alebo postupov pri odstavení zariadenia podľa prevádzkových a havarijných predpisov sú postupy pri riešení týchto stavov.
- *vedú k nekontrolovateľnému úniku* – vedú k úniku veľkého množstva nebezpečnej látky. Tie môžu spôsobiť ohrozenie ľudských životov, životného prostredia, ale aj veľkú stratu na majetku.

Všetky prijaté rozhodnutia sa musia zaznamenať a výsledky štúdie sa predložia vo forme správy HAZOP [2], [3], [6].

POPIS PROCESU A EXPERIMENTÁLNEHO ZARIADENIA

Splyňovanie je čiastočná oxidácia, v ktorej surové – nespracované palivo je premenené na spáliteľný (horľavý) syntetický plyn – syngas, ktorý obsahuje výhrevné zložky ako napr. CO a H_2. Navyše produkty splyňovania obsahujú teplo, oxid uhličitý a vodu. Spaľovanie je kompletná oxidácia, v ktorej surové palivo je premenené len na teplo, oxid uhličitý a vodu. Hlavné chemické procesy, ktoré prebiehajú počas splyňovania uhlia sú: sušenie, pyrolýza, spaľovanie a splyňovanie pevných uhľovodíkov.

Procedúra splyňovania uhlia „in situ“ pozostáva z troch krokov.

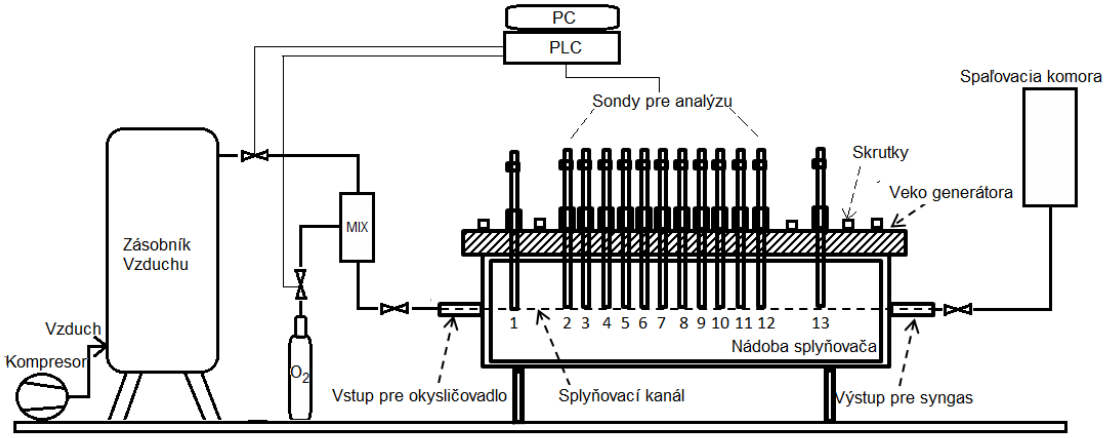
1. Vyvŕtanie injekčného a produkčného vrtu zo zemského povrchu do uhoľného sloja. Následne môže začať proces vytvorenia vysoko priepustnej cesty vo vnútri uhoľného sloja medzi dvoma vrtmi (injekčným a produkčným) pred začatím splyňovania. Toto prepojenie vrtov je potrebné z toho dôvodu, že „in situ“ vlastnosti uhoľného sloja neumožňujú taký prietok plynu aký je požadovaný pre ekonomické splyňovanie.
2. Zapálenie uhoľného sloja po úspešnom prepojení vrtov.

   Proces splyňovania nastáva vtedy, keď okysličovadlo vháňané cez injekčný vrt vyvolá chemické reakcie s uhlím a dochádza k vzniku syntetického plynu (syngas). Generovaný syngas sa uvoľňuje cez produkčný vrt. Na povrchu je surový, vyrobený plyn očistený a ďalej sa používa ako palivo alebo ako východiskový chemický

produkt. Počas ťaženia uhlia splyňovaním dochádza k formovaniu dutiny vo vnútri sloja. Voda z okolitých vrstiev vstupuje do dutiny a zúčastňuje sa na procese splyňovania, čo následne vedie k poklesu lokálnej hladiny vôd. Po určitom čase je uhlie v blízkosti injekčného vrtu vyťažené, a preto by sa kroky jeden a dva mali zopakovať, aby bolo sprístupnené čerstvé uhlie, ktoré podporuje výrobu plynu.

3. Návrat životného prostredia naspäť do pôvodného stavu po skončení procesu splyňovania. Pre tento účel sa dutiny vzniknuté po splyňovaní vyplnia parou alebo vodou a parou tak, aby sa odstránili emisie z uhoľného ložiska a aby sa predišlo ich difúzii do okolitých vodonosných vrstiev. Po čase sa vodné vrstvy vrátia na úroveň susedných, ktoré existovali aj pred začatím splyňovania.

Simulácia procesu vo vytvorenom experimentálnom splyňovači (Obr. 1) je založená na princípe regulácie injektovaného okysličovadla (zmes vzduchu a O_2) do horiaceho uhoľného sloja a extrakcii produkovaného syngasu (zmes CO_2, CH_4, CO, H_2, atď.). Sondy určené pre miestny odber a analýzu syngasu sú umiestnené na povrchu laboratórneho splyňovača. Teploty sú merané s termočlánkami, ktoré sú prevedené cez tieto sondy. Tým je zabezpečené meranie teplôt a zloženia produkovaného plynu po celej dĺžke splyňovača. Model uhoľného sloja vložený do splyňovača pozostáva z nadložia, podložia a samotného uhoľného sloja. Vrstvy sú usporiadané tak, aby bol zabezpečený prietok okysličovadla cez celý uhoľný sloj (splyňovací kanál je vyvŕtaný cez celú dĺžku uhoľného sloja). Počas splyňovania je meraných 13 teplôt v splyňovacom kanály a 8 teplôt v uhlí. Hodnoty nameraných teplôt, prietok okysličovadla a syngasu s údajmi o jeho zložení sú prenesené zo splyňovača do PC. Tieto hodnoty sú spracované a zobrazené v tomto PC. Riadenie procesu je založené na monitorovaní a vyhodnocovaní týchto hodnôt [7], [8], [9], [10].



Obr. 1 Schéma experimentálneho splyňovača

APLIKÁCIA METÓDY HAZOP

Cieľom metódy HAZOP je zistiť potenciálne nebezpečenstvá, odhaliť ich príčiny a stanoviť možné následky, ktoré sa môžu vyskytnúť v procese podzemného splyňovania uhlia realizovaného v laboratórnych podmienkach. Analyzované nebezpečenstva môžu predstavovať riziko pre personál alebo zariadenie, prípadne zabraňovať efektívnej prevádzke.

Vytvorený experimentálny model splyňovania schematický zobrazený na Obr. 1 bol rozdelený na štyri skúmané uzly:

- Vstupný prietok vzduchu /O_2 do systému – uzol E1;

- Splyňovací systém (Experimentálny splyňovač) – uzol E2;
- Prietok produkovaného plynu na výstupe systému – uzol E3;
- Riadiaci a monitorovací systém – uzol E4.

I. Terminológia a kľúčové slová

Pre pochopenie metodiky HAZOP je potrebné definovať základnú terminológiu [1], [2], [3], [4], [6].

- Odchýlka - odklon od konštrukčného a prevádzkového zámeru;
- Nebezpečenstvo - potenciálny zdroj, ktorý môže spôsobiť poškodenie, zranenie alebo inú formu straty;
- Uzol - logická časť operácie alebo časti procesu;
- Vodiace slová – slovo alebo slovné spojenie, ktoré popisuje špecifický typ odchýlky od cieľa. Často sa používa iba obmedzený počet kombinácií sprievodných slov a parametrov procesu. Vodiace slová použité v štúdii HAZOP a parametre procesu sú uvedené v Tab. 1.

Tab. 1 Vodiace slová

Parameter	**Vodiace slovo**			
Prietok	Žiadny	Viac	Menej	Spätný
Tlak	Viac	Menej	Nie je	
Teplota	Vyššia	Nižšia		
Tepelná izolácia	Menej			
Nečistoty	Plynné	Kvapalné		
Zapnutie / Vypnutie	Chyba			

II. Pracovný tím HAZOP

Pracovný tím HAZOP by mal byť zložený zo štyroch až šiestich členov, spolu s predsedom a tajomníkom. Väčší počet pracovníkov môže spôsobiť sťaženú časovú kontrolu počas pracovných stretnutí. Na druhej strane, ak je skupina príliš malá, môže mať nedostatok znalostí potrebných na zaistenie dôkladnosti preskúmania zariadenia [1], [3], [7].

Do tímu sa vyberajú špecialisti z rôznych vedných a technologických odborov s vhodnými vedomosťami a skúsenosťami, ktorí preverujú intuíciu a dobrý úsudok. Od členov skupiny sa vyžaduje:

- dynamické myslenie,
- zmysel pre realitu,
- prístupnosť argumentom,
- predvídavosť,
- duch spolupráce.

Pracovný tím by mal pozostávať z nasledovných členov:

- Predseda – vedúci tímu;
- Sekretár – zapisovateľ;
- Odborný tím - projektový manažér, hlavný technológ, projektant zodpovedný za príslušné zariadenie, vedúci montáže, bezpečnosti, inžinier údržby, atď.

III. Analýza hlavných zistení

Hlavné zistenia boli vytvorené nasledujúcou metodikou. Výsledok každej možnej poruchy bol vyhodnotený, aby sa overilo, či by následok predstavoval nebezpečné podmienky pre zariadenie, prevádzku alebo okolie. Ak bolo nebezpečenstvo a možná príčina považovaná za dôveryhodnú, analýza pokračovala tvorbou bezpečnostného opatrenia. V prípade, ak ešte existovala možnosť vzniku ďalších nebezpečenstiev (aj keď bola znížená), boli odporúčané ďalšie alarmy, resp. vypnutie zariadenia. Výsledky štúdie sú uvedené v tabuľkách.

Popis pracovných hárkov zo správy HAZOP (Obr. 2): Vodiace slová sú v prvom stĺpci. Vzniknuté poruchy (odchýlky) uvedené v druhom stĺpci sú spôsobené možnými príčinami uvedenými v treťom stĺpci. Vo štvrtom stĺpci sú popísané následky. V piatom stĺpci sú navrhnuté bezpečnostné opatrenia na odstránenie príčin. Ak by vzniknuté následky predstavovali potenciálne nebezpečnú situáciu alebo stratu (napríklad finančnú a časovú), zvážili by sa prípadné zmeny v systéme, s cieľom ich odstránenia alebo minimalizácie a navrhli by sa potrebné odporúčania. V jednoduchých prípadoch sa odporúčaná zmena nápravných opatrení (NO) zadala do šiesteho stĺpca.

Navrhnuté odporúčania vychádzajúce zo štúdie HAZOP len pre uzol E2 – Experimentálny splyňovač sú:

1. Prietok privádzaného okysličovadla – vzduch/O_2
   - Zaviesť kontrolu stavu ventilov do postupu údržby.
   - Vykonať kontrolu prietoku oxidačnej zmesi bez závislosti na riadiacom systéme.
   - Zaistiť priebežné doťahovanie skrutiek veka.
   - Zaviesť technické opatrenia, ktoré pri normálnej prevádzke zabránia manipulácii s ručným ventilom.
2. Teplota v experimentálnom splyňovači
   - Vymeniť poškodené termočlánky v meracích sondách.
   - Vybrať vhodný izolačný materiál.
3. Tepelná izolácia na povrchu splyňovača
   - Vybrať vhodný izolačný materiál.
4. Nečistoty vychádzajúce z procesu splyňovania
   - Vybrať vhodné tesnenie.
   - Používať osobný bezpečnostný analyzátor plynov.
   - Zaistiť priebežne doťahovanie skrutiek na veku splyňovača.
   - Inštalovať vypúšťací ventil pre decht.

Názov uzla: Experimentálny splyňovač					
Uzol E2 - NO 1 Prietok privádzaného vzduchu /O2 do systému					
Vodiace slovo	**Odchýlka**	**Príčina**	**Následok**	**Bezpečnostné opatrenie**	**Odporúčanie/ Poznámky**
Žiadny	Žiadny prietok	Poškodený ručný ventil - porucha.	Zlá regulácia procesu splyňovania	Kontrola ventilov pred začiatkom procesu splyňovania	NO 1.1 Zaviesť kontrolu stavu ventilov do postupu údržby
		Zatvorený ručný ventil - chyba obsluhy.			
		Poškodený regulačný ventil vzduchu/ O_2.			
		Nefunkčný kompresor prívodu vzduchu.		Kontrola tlaku vzduchu v zásobníku vzduchu	NO 1.2 Inštalovať indikátor tlaku v zásobniku vzduchu
		Poškodený zásobník vzduchu/ O_2		Kontrola zásobníka vzduchu	
Viac	Väčší prietok	Poškodený regulačný ventil vzduchu/ O2	Zníženie splyňovacej teploty	Kontrola pomocou riadiaceho systému	NO 1.3 Vykonávať kontrolu prietoku oxidačnej zmesi bez závislosti na riadiacom systéme
			Únik plynu v dôsledku vyššieho tlaku cez veko splyňovača	Vizuálna kontrola tesnosti veka	NO 1.4 Zaistiť priebežne doťahovanie skrutiek veka.
Menej	Menší prietok	Poškodený regulačný ventil vzduchu/ O2	Zníženie splyňovacej teploty Zlá regulácia procesu splyňovania	Kontrola pomocou riadiaceho systému	NO 1.3 Vykonávať kontrolu prietoku oxidačnej zmesy bez závislosti na riadiacom systéme.
					NO 1.5 Zaviesť technické opatrenia, ktoré pri normálnej prevádzke zabránia manipulácii s ručným ventilom
					NO 1.1 Zaviesť kontrolu stavu ventilov do postupu údržby
		Poškodený zásobník vzduchu/ O_2		Kontrola zásobníka vzduchu.	
		Nefunkčný kompresor prívodu vzduchu		Kontrola tlaku vzduchu v zásobníku vzduchu	
Spiatočný	Spätný prietok	Zatvorený ručný ventil na výstupe - chyba obsluhy	Únik plynu do vstupného systému	Kontrola ventilu na výstupe zo systému.	
Uzol E2 - NO 2 Teplota v splyňovači					
Viac	Výššia teplota	Poškodenie termočlánkov	Zlá regulácia procesu Ohrev veka splyňovača	Kontrola pomocou riadiaceho systému	NO 2.1 Vymeniť poškodené termočlánky v meracích sondách
		Porucha dodávky oxidačnej zmesy (vzduch / O2)			NO 2.2 Vybrať vhodný izolačný materiál
Menej	Nižšia teplota	Poškodená/ neprimeraná izolácia	Zlá regulácia procesu Tvorba kvapalných nečistôt		
		Porucha dodávky oxidačnej zmesy (vzduch / O2)			
Uzol E2 -NO 3 Tepelná izolácia na povrchu splyňovača					
Menej	Nedostatočná tepelná izolácia	Neprimeraná izolácia	Ohrev veka splyňovača Únik tepla - Zníženie splyňovacej teploty Nedodržanie reálnych podmienok splyňovania		NO 3.1 Vybrať vhodný izolačný materiál
Uzol E2 - NO 4 Nečistoty vznikajúce z procesu splyňovania					
Plynné	Plynné nečistoty	Zlé tesnenie	Znečistenie prostredia	Meranie plynov v okolí splyňovača	NO 4.1 Vybrať vhodné tesnenie
		Uvoľnenie skrutiek na veku splyňovača			NO 4.2 Používať osobný bezpečnostný analyzátor
					NO 4.3 Zaistiť priebežne doťahovanie skrutiek veka.
Kvapalné	Kvapalné nečistoty	Zlé tesnenie	Zniženie kvality procesu splyňovania		NO 4.4 Inštalovať vypúšťací ventil pre decht

Obr. 2 Výsledná tabuľka štúdie pre uzol E2

IV. Závery vyplývajúce zo štúdie

Štúdia bola aplikovaná na proces podzemného splyňovania uhlia realizovaný v laboratórnych podmienkach na experimentálnom splyňovači. Zo štúdie vyplynulo, že je potrebné zaviesť pravidelnú kontrolu ventilov a kontrolu zásobníka vzduchu. Taktiež je potrebné zabrániť neoprávnenej manipulácii s ručnými ventilmi. Tieto opatrenia si nevyžadujú žiadne finančné náklady.

Na kontrolu prietoku je navrhnuté nainštalovať indikátor tlaku v zásobníku, ktorý zabezpečí monitorovanie vstupného prietoku bez závislosti od riadiaceho systému. Vplyvom nízkej teploty vzniká v procese splyňovania nežiaduci decht. Pracovný tím odporúča namontovať do spodnej časti nádoby splyňovača výpustný ventil pre decht. Je potrebné prihliadať aj na ochranu zdravia a bezpečnosti pri práci. Obsluhujúci personál by mal používať osobný bezpečnostný analyzátora plynov a taktiež osobné ochranné prostriedky.

Odporúčaním tímu HAZOP boli upravené všeobecné postupy údržby a návod na obsluhu (prevádzkový manuál), aby sa zabezpečilo, že konečné odporúčania HAZOP budú overené v každej vhodnej fáze.

Zo štúdie nevyplynuli žiadne významne nebezpečenstvá, ktoré by mohli vážne ohroziť obsluhujúci personál, verejnosť alebo životné prostredie.

ZÁVER

Cieľom štúdie HAZOP je identifikovať zdroje rizika, ktoré môžu predstavovať nebezpečenstvo pre personál alebo zariadenie, prípadne zabraňovať efektívnej prevádzke. Štúdia popísaná v príspevku analyzovala proces podzemného splyňovania realizovaný v laboratórnych podmienkach. Vytvorením fyzikálneho modelu (experimentálneho splyňovača) sa šetria náklady potrebné pri skúmaní v reálnych podmienkach.

Pracovný tím HAZOP vybral štyri uzly, kde môžu poruchy vzrásť do nebezpečenstva. Uzly boli vybrané na základe schémy experimentálneho splyňovača. V príspevku je analyzovaný uzol Splyňovací systém (Experimentálny splyňovač) na ktorom pracovný tím identifikoval potenciálne nebezpečenstvá, ktoré môžu spôsobiť poruchu. Pre vybraný uzol boli zvolené parametre – prietok, teplota, tepelná izolácia a nečistoty a následne aplikované vodiace slová, ktoré určovali typ odchýlky od prevádzkového stavu. To umožnilo odhaliť možné príčiny porúch a zhodnotiť ich následky. Na odstránenie príčin vzniku týchto porúch boli navrhnuté bezpečnostné opatrenia a odporúčania.

Zo štúdie HAZOP nevyplynuli žiadne opatrenia, ktoré by mohli byť považované za potenciálne nebezpečné pre obsluhujúci personál, pre verejnosť alebo pre životné prostredie. Pracovný tím HAZOP odporúčal upraviť všeobecné postupy údržby, nainštalovať indikátor prietoku pre zmes oxidačného činidla, indikátor tlaku v zásobníku vzduchu, ventil pre decht, vhodnú tepelnú izoláciu veka splyňovača a zabezpečiť používanie osobných ochranných prostriedkov.

Návrh a realizácia uvedených odporúčaní nie je nákladná a môže výrazne pomôcť zlepšiť proces podzemného splyňovania uhlia realizovaný nielen v laboratórnych, ale aj v reálnych podmienkach ako súčasť prevádzkových a bezpečnostných opatrení.

POĎAKOVANIE

Tento príspevok vznikol za podpory projektov COGAR–RFCR-CT-2013-00002, APVV-14-0892, VEGA 1/0273/17, VEGA 1/0529/15 a Slovenskej spoločnosti aplikovanej kybernetiky a informatiky (SSAKI), ktorá je členom Zväzu Slovenských vedeckotechnických spoločností (ZSVTS).

REFERENCES

[1] Crawley F., Tyler B., HAZOP: *Guide to Best Practice*, 3rd Edition, Elsevier: 2015, 172 p. ISBN 978-0-32339-460-4.

[2] *HAZOP Guidelines, Hazardous Industry Planning Advisory*. Paper No 8, State of New South Wales: 2011.43 p. ISBN 978-0-73475-872-9.

[3] Bogdanovská, G., *Štandardy pre bezpečnosť a ochranu zdravia pri práci*. Košice: Technická univerzita v Košiciach, 2013. 91 s. ISBN 978-80-553-1107-4.

[4] AS IEC 61882-2003 *Hazard and operability studies. Application guide*.

[5] PLURA, J.: *Plánování a neustále zlepšování jakosti*. Praha: Computer Press, 2001, ISBN 80-7226-543-1.

[6] *Hazard Operability Studies*, Safety & Risk Management Services, Germanischer Lloyd, Operating 24/7. Dostupné z: http://www.gl-group.com

[7] Kačur J., Laciak M., Durdán M., *Meranie relevantných veličín v procese podzemného splyňovania uhlia*, In: AT&P Journal, vol. 17/issue 11, pp. 51-55, 2010.

[8] Kačur J., Durdán M., *The investigation of UCG control methods*, In: SGEM 2015: 15th International Multidisciplinary Scientific Geoconference, STEF92 Technology Ltd., Albena, Bulgaria – Sofia, June 18-24, Book2, vol. 1, pp. 375-382, 2015.

[9] Durdán M., Kostúr K., *Modeling of temperatures by using the algorithm of queue burning movement in the UCG Process*, In: Acta Montanistica Slovaca. vol. 20, no. 3, pp. 181-191, 2015.

[10] Škvareková, E., Wittenberger, G., Šofranko, M., *Tar related issues in underground coal gasification*, Acta Montanistica Slovaca, 21 (4), 2016, pp. 298-305.