

Ing. Marcela Šafářová, Jaroslav Kusý, Výzkumný ústav pro hnědé uhlí a.s., Most
RNDr. Václav Kocmich, Mostecká uhelná společnost, a.s., Hlavní báňská záchranná služba, Most

Laboratorní simulace dějů v požářišti hnědouhelných slojí

Laborsimulation der Prozesse in Brandstellen der Braunkohlenflöze

Die Forschungsaufgabe, die sich mit der thermischen Zersetzung der Kohlemasse unter Luftunzugänglichkeit befasst, wurde mit dem Ziel realisiert, genauere Kenntnisse über die Vorgänge in Brandstellen zu gewinnen, die quantifiziert werden und auf dem Brand in der Tiefgrube, sowie auf einem alten, im Tagebau aufgefahrenen Grubenwerk angewandt werden könnten. Die Pyrolyse wurde ohne und mit der Wasserzugabe, die in Prozess in einigen Temperaturniveaus eingespritzt wurde. Die Aufmerksamkeit wurde insbesondere den Gasprodukten der thermischen Zersetzung und ihren Konzentrationsänderungen in Abhängigkeit von der Pyrolysetemperatur gewidmet. Konzentrationen der Hauptbestandteile entstehender Gase, d.h. Wasserstoff, Kohlenoxid und -dioxid, Stickstoff, Methan und niedrigere Kohlenwasserstoffe in Abhängigkeit von der Pyrolysetemperatur wurden bestimmt, um deren Beitrag zur Gasexplodierbarkeit in Brandstellen der Braunkohlenflöze zu quantifizieren.

Es wurde festgestellt, dass das in den Pyrolyseprozess unter Laborbedingungen diskontinuierlich dosierte Wasser zur Senkung der Kohlenwasserstoffkonzentrationen führt, einschl. des Methans in Gaspyrolyseprodukten, und ruft die Erhöhung des Wasserstoffgehaltes im entstehenden Gas nicht hervor. Man kann voraussetzen, dass unter Temperaturen, die zu den Bedingungen der Pyrolyse erreicht werden, zu einer markanten Zersetzung in den Prozess der Wasserdosierung auf Wasserstoff und Sauerstoff nicht kommt.

Laboratory Simulation of Processes in Brown Coal Seam Combustion

A research task studying the thermal decomposition of coal in a limited air

supply has been implemented to get more detailed knowledge about combustion behaviour that can be quantified and applied to a fire in an underground mine and in redundant mines. Combustion was performed with and without the injection of water to the process at several temperature levels. Attention was paid mainly to gaseous products of combustion and to changing concentration with changing combustion temperature. Concentrations of main components of the emergent gas were determined, i.e. hydrogen, carbon monoxide and dioxide, methane and lower hydrocarbons for each depended on the combustion temperature to determine their contributions to the gas explosiveness from brown coal combustion.

It was found out that under laboratory conditions water, supplied intermittently into the process of brown coal combustion, resulted in lower concentration of hydrocarbons, including methane, and does not increase the content of hydrogen in the gaseous combustion products. We can assume that under the temperatures reached in this combustion, decomposition of water charged into the process to hydrogen and oxygen is not significant.

Лабораторная симмуляция процессов в пожарище буроугольных пластов

Научно-исследовательское задание, занимающееся пиролизом угольной массы при недоступе воздуха, было реализовано с целью получить более подробные сведения о процессах происходящих в пожарище, которые было бы возможно квантифицировать и применять как при пожаре в шахте, так и в старой горной выработке, перерабатываемой открытым способом добычи. Пиролиз проводился без прибавки и с прибавкой воды, прокачиваемой в процесс при нескольких уровнях температуры. Внимание уделялось в

особенности газообразным продуктам пиролиза, главным образом их изменениям по концентрации в зависимости от температуры пиролиза, чтобы было возможно квантифицировать их содействия взрывчатости газов в пожарище буроугольных пластов.

Было установлено, что вода перерывно дозированная при лабораторных условиях в процесс пиролиза бурого угля, ведет к снижению концентрации углеводородов, включительно метана в газообразных продуктах пиролиза и не способствует увеличению содержания водорода в возникающем газе. Можно также предполагать, что при температурах, достигаемых при условиях пиролиза, не доходит до очевидного разложения в процессе дозированной воды на водород и кислород.

Laboratorní simulace dějů v požářišti hnědouhelných slojí

Výzkumný úkol, zabývající se tepelným rozkladem uhelné hmoty za nepřístupu vzduchu, byl realizován s cílem získat podrobnější poznatky o dějích v požářišti, které by mohly být kvantifikovány

a aplikovány jak na požár v hlubinném dole, tak ve starém důlní díle, nafáraném v lomovém provozu. Pyrolýza byla prováděna bez přídavku a s přídavkem vody nastříkované do procesu při několika teplotních úrovních. Pozornost byla věnována zejména plynným produktům tepelného rozkladu a hlavně jejich koncentračním změnám v závislosti na teplotě pyrolýzy. Byly stanoveny koncentrace hlavních složek vznikajícího plynu, tj. vodíku, oxidu uhelnatého a uhlíčitého, dusíku, methanu a nižších uhlovodíků v závislosti na teplotě pyrolýzy, aby bylo možno kvantifikovat jejich příspěvky k výbušnosti plynů v požářišti hnědouhelných slojí.

Bylo zjištěno, že voda, diskontinuálně dávkovaná za laboratorních podmínek do procesu pyrolýzy hnědého uhlí, vede ke snížení koncentrace uhlovodíků včetně methanu v plynných pyrolýzních produktech a nezpůsobuje zvýšení obsahu vodíku ve vznikajícím plynu. Lze také předpokládat, že za teplot, dosahovaných za podmínek pyrolýzy, nedochází k výraznému rozkladu do procesu dávkované vody na vodík a kyslík.

1. Úvod

Predikce náchylnosti uhlí k samovolnému vznícování je dlouhodobým předmětem zájmu všude tam, kde je uhlí dobýváno, přepravováno a skladováno. V hornictví všeobecně, a hnědouhelné hornictví nevyjímaje, existuje vždy reálné nebezpečí vzniku požáru jak v hlubinných dolech, tak v lomovém provozu, neboť je to dáno samotným charakterem uhlí jako hořlavé látky s vysokým obsahem prchavé hořlaviny. Procesy záparů, samovznícení a vzniku požáru v hnědouhelných slojích obecně souvisejí s oxidací uhlí při relativně nízkých teplotách, reaktivitou uhlí ke kyslíku a s vnějšími podmínkami, jako jsou přístup vzdušného kyslíku, obsah vlhkosti paliva, akumulace tepla atd., neboť v obecné rovině je možné samovznícení považovat za výsledek exotermní reakce uhlí se vzdušným kyslíkem. Vnější fyzikální podmínky samovznícení závisejí zejména na geologických a báňsko-technických faktorech, mezi něž lze počítat hlavně úložní poměry a tlaky, propustnost, tlakové poměry důlních chodeb, způsob odklizu, způsob vedení větrů a především odvod tepla a chlazení stěn. Tyto faktory pak ovlivňují řešení problému samovznícení, zejména z hlediska preventivních opatření. Zmáhání těchto požárů je obvykle velmi náročné a způsob hašení požáru je závislý nejen na jeho lokalizaci, tj. místě vzniku, ale úzce a významně souvisí i s přístupem vzduchu v místě požáru, s vlastnostmi uhelné hmoty a s mnoha dalšími technologickými podmínkami těžebních provozů.

2. Problematika požárů hnědouhelných slojí

Ve spolupráci s Hlavní báňskou záchrannou službou v Mostě byl řešen zajímavý výzkumný úkol, zaměřený na laboratorní simulaci možných dějů v požářišti hnědouhelných slojí, který by umožnil bližší poznání těchto dějů, využitelné zejména ve fázi zdolávání požáru při použití tlakové požární vody, ať již ve formě proudu nebo vodní mlhy. Ve většině konkrétních případů zdolávání důlního požáru přímým zásahem a tam, kde je ohnisko požáru alespoň zčásti přístupné, jde o nejúčinnější způsob potlačení požáru, který při vhodném a především včasném použití vede ke zdolání ohně v nejkratší možné době. Je velmi účinný i v případech, kdy je přístupnost hořících ložisek minimální, nebo je požár již velmi rozsáhlý a musí se proto přistoupit k prostorové uzavírce požářiště. Účinně tlumí požár a podstatně zlepšuje mikroklima v místech budování protipožárních uzávěr.

V podmínkách hnědouhelného hlubinného dolu je však využití tohoto způsobu hašení požáru vždy komplikováno možnou tvorbou výbušných požárních plynů, zvláště v případě požáru důlního díla ovětrávaného průchozím větrným proudem, kdy je pro účinné tlumení požáru nutno přikročit také k omezování množství čerstvých větrů požářištěm (změny ve větrání), popř. k úplné izolaci požářiště protipožárními uzávěrami.

Z praxe je známo, že v určité fázi požáru dochází k obohacování požárních zplodin na výdušných stranách požářiště o hořlavé podíly, především vodík a methan, vedle oxidu uhelnatého a nižších uhlovodíků. Po smíšení takto obohacených požárních zplodin s čerstvými větry může dojít k vytvoření výbušné směsi. Tím se výrazně zvyšuje riziko pro zasahující báňské záchranáře a posádku dolu. Nejnebezpečnější složkou těchto požárních plynů je vodík, hlavně pro svoji nízkou iniciační energii, potřebnou k zažehnutí směsi vodíku se vzduchem, a pro velmi nízkou spodní mez obsahu kyslíku (asi 5 %), při níž je směs ještě schopna deflagračního vyhoření. Také koncentrační rozmezí vodíku ve výbušné směsi (5 % - 74 %) je z plynných složek, běžných v požárních zplodinách, největší. V určité fázi požáru vodík v hořlavině požárního plynu obvykle převažuje.

V závislosti na přístupu vzduchu může v požářišti docházet k dokonalému nebo nedokonalému hoření (spalování) uhlé hmoty, její pyrolýze (karbonizaci) nebo částečnému zplynění.

Z chemického hlediska lze charakterizovat tyto pochody zejména následujícími reakcemi:

Tab. 1 Charakteristické reakce uhlíku a vodíku

Reakce		Reakční entalpie (MJ/kmol)
Spalování uhlíku	$C + O_2 \rightarrow CO_2$	- 406,4
Částečná oxidace	$2C + O_2 \rightarrow 2CO$	- 246,4
Boudouardova reakce	$C + CO_2 \rightarrow 2CO$	+160,9
Reakce páry s uhlíkem	$C + H_2O \rightarrow CO + H_2$	+ 118,6
Reakce páry s uhlíkem	$C + 2H_2O \rightarrow CO_2 + 2H_2$	+ 16,2
Hydrogenace	$C + 2H_2 \rightarrow CH_4$	- 83,8
Oxidace CO	$2CO + O_2 \rightarrow 2CO_2$	- 567,3
Spalování vodíku	$2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$	- 482,2
Spalování methanu	$CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O$	- 801,1
Vodní přesmyk	$CO + H_2O \rightarrow CO_2 + H_2$	- 42,4
Methanace	$CO + 3H_2 \rightarrow CH_4 + H_2O$	- 206,7
Methanace	$CO_2 + 4H_2 \rightarrow CH_4 + 2H_2O$	

Výzkumný úkol, zabývající se tepelným rozkladem uhelné hmoty za nepřístupu vzduchu, byl realizován s cílem získat podrobnější poznatky o dějích v požářišti, které by mohly být kvantifikovány a aplikovány jak na požár v hlubinném dole, tak ve starém důlní díle, nafáraném v lomovém provozu.

V místech vzniku požáru, kde není zajištěn dokonalý přístup vzduchu, pak může docházet zejména ke karbonizačním pochodům (pyrolýze uhelné hmoty) za vzniku pevného produktu – polokoksu nebo koksu, dehtu a plynu, obsahujícího zejména vodík, vodní páru, methan, oxid uhelnatý, uhličitý a nižší uhlovodíky. Při likvidaci těchto požárů, zejména v souvislosti s jejich otevřením při hasebním zásahu, pak může hrozit reálné nebezpečí vzniku výbušných směsí uvolněných plynných produktů se vzduchem. Zejména s ohledem na tuto skutečnost byla v laboratorních podmínkách provedena řada testů tepelného rozkladu hnědouhelné hmoty za nepřístupu vzduchu, které by umožnily simulaci možných dějů v požářišti hnědouhelných slojí. Tato pyrolýza byla prováděna bez přídavku a s přídavkem vody nastříkované do procesu při několika teplotních úrovních. Pozornost byla věnována zejména plynným produktům tepelného rozkladu a hlavně jejich koncentračním změnám v závislosti na teplotě pyrolýzy. Byly stanoveny koncentrace hlavních složek vznikajícího plynu, tj. vodíku, oxidu uhelnatého a uhličitého, dusíku, methanu a nižších uhlovodíků v závislosti na teplotě pyrolýzy, aby bylo možno kvantifikovat jejich příspěvky k výbušnosti plynů v požářišti hnědouhelných slojí.

3. Změny hnědé uhlí při zahřívání

Zahříváním uhlí se mění jeho fyzikální a chemické vlastnosti. Míra a charakter změn nejsou u všech druhů uhlí stejné a ani u shodného druhu uhlí při jeho zahřívání na stejnou konečnou teplotu nenastávají stejné změny, pokud se mění rychlost zahřívání, prostředí, v němž se uhlí zahřívá apod.

Změny hnědé uhlí při zahřívání do teploty 100 °C - sušení uhlí

Účelem sušení uhlí jeho zahříváním je důkladné odstranění vody jako balastní látky v palivu. Při termickém sušení dochází pouze k fyzikálním změnám paliv, jejichž hlavním znakem je objemová kontrakce, probíhající vlivem odpařování vody na povrchu zrn uhlí a postupném uvolňování kapilár. Chemické změny, projevující se uvolňováním prchavých látek a oxidačně-redukčními pochody většinou neprobíhají.

Změny hnědé uhlí při zahřívání do teploty 350 °C

Zahřívání hnědé uhlí na teplotu do 350 °C lze již považovat za pochod, vedoucí ke změně vlastností původního uhlí. Tohoto způsobu zpracování se používá u hnědých uhlí zejména k obohacení paliva uhlíkem. Při zahřívání uhlí na teploty asi 280 – 340 °C se uvolňuje část kyslíku, což se projevuje vznikem vodní páry a oxidu uhličitého. Rovněž značná část síry, obsažené v uhlí, odchází jako sirovodík. Obsah uhlíku a vodíku se zvyšuje, což je provázáno zvýšením výhřevnosti paliva. Na tento způsob tepelného zpracování hnědé uhlí, který je označován jako bertinizace, lze tedy pohlížet jako na umělé prouhelnění. Při zahřívání uhlí do teploty 350 °C za atmosférického tlaku a nepřístupu vzduchu nenastává změna jeho struktury ani tvorba dehtu a tedy nenastávají zásadní změny charakteru uhelné hmoty.

Změny hnědé uhlí při zahřívání v rozmezí teplot 350 – 550 °C

Chování uhlí za teplot mezi 350 až 550 °C je nejvíce prostudováno, neboť se v těchto teplotních mezích objevují nejcharakterističtější změny uhelné hmoty, které mají rozhodující vliv na použitelnost paliv pro další technologické využití. Při zahřívání hnědé uhlí za nepřístupu vzduchu až do teploty 550 °C se získají hlavní produkty, kterými jsou polokoks, dehet a plyn. Tento proces, tzv. nízkotepelná karbonizace, dnes v odborné literatuře označovaný jako pyrolýza, sloužil k získávání dehtů jako surovin pro další chemické zpracování.

Změny hnědé uhlí při zahřívání za nepřístupu vzduchu v teplotním rozmezí 350 až 550 °C lze shrnout do několika zásadních bodů:

- a) Uhelná hmota prochází zásadními změnami, které jsou tím zjevnější, čím je vyšší teplota, na niž se uhelná hmota zahřívá.
- b) Nastává depolymerace původně nerozpustných bituminózních látek a destilace bitumenu.
- c) Dochází k rozkladu destilujících látek a tvoří se dehet. Tvorba dehtu dosahuje maxima mezi 370 - 425 °C a končí v rozmezí teplot 520 - 550 °C v závislosti na typu uhlí.
- d) Množství vznikajícího plynu se s teplotou zvyšuje a plyn se obohacuje zejména methanem, což má příznivý vliv na jeho výhřevnost. Plyn se obohacuje na úkor destilujících látek.
- e) Původní uhlí se mění na výhřevnější produkt a při probíhajících změnách vzniká mnoho kapalných a plyných látek.

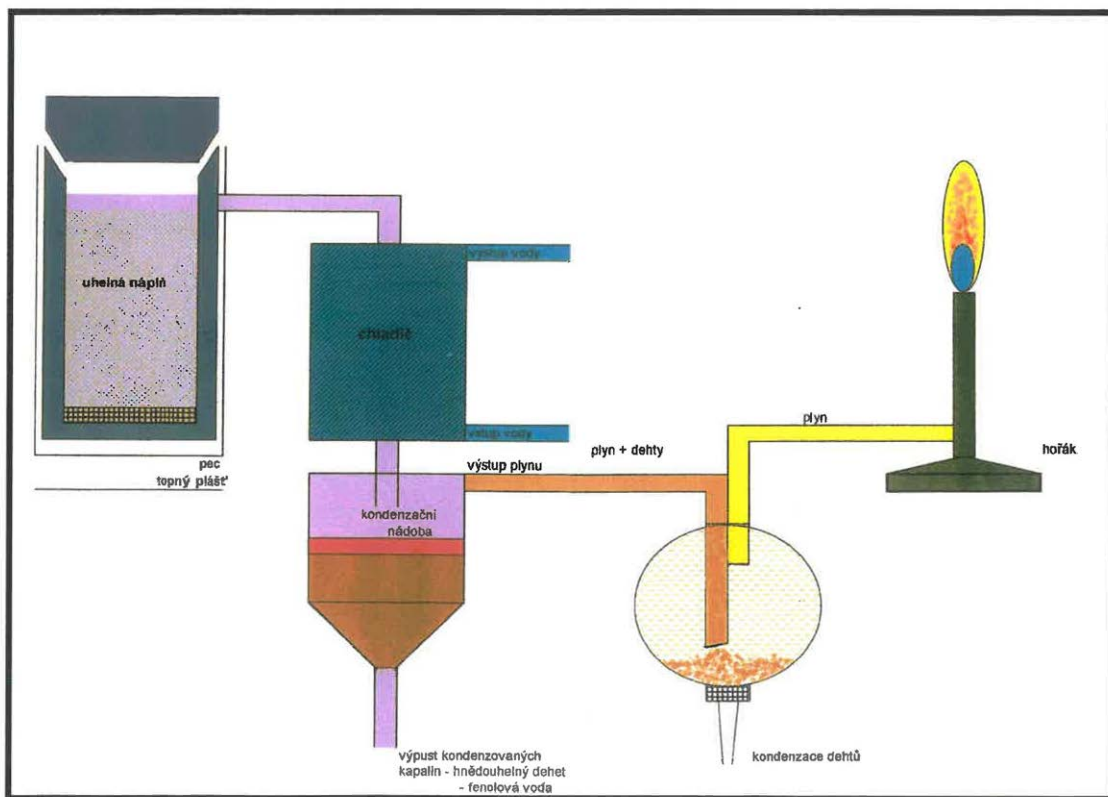
Změny uhlí při zahřívání v rozmezí teplot 550 až 800 °C

V tomto teplotním rozmezí lze chování uhelné hmoty stručně charakterizovat jako dokončování základních strukturálních změn, které nastaly zejména v oblastech teplot do 550 °C a jsou spojeny s maximálním rozkladem zbývajících uhelné hmoty, resp. přeměnami vytvořeného polokoks a hlavního vývoje chemických produktů karbonizace následkem štěpení tepelně nestabilních meziproductů pyrolýzy. Při těchto teplotách se vzniklý polokoks zejména odplyňuje, nastává tepelný rozklad uhlovodíků, rozkladné reakce však při těchto teplotách pomalu doznívají.

4. Experimentální část

Základní experimentální práce byly provedeny v akreditované zkušební laboratoři č. 1078, v laboratoři paliv, odpadů a vod Výzkumného ústavu pro hnědé uhlí, a.s., ve spolupráci s Hlavní báňskou záchrannou službou v Mostě. Byla vyvinuta zjednodušená laboratorní testovací karbonizační (pyrolýzní) jednotka s retortou ze speciálního materiálu pro tepelný rozklad hnědého uhlí o hmotnosti vsázky cca 1000 g, která je vybavena chladícím a odlučovacím okruhem a hořákem na spalování vznikajícího plynu. Základní schéma laboratorní karbonizační jednotky je uvedeno na obr. 1.

V rámci laboratorního testování probíhala řada zkoušek zaměřená na pyrolýzu hnědého uhlí za nepřístupu vzduchu a s přídavkem nebo bez přídavku vody do tohoto procesu při třech teplotních úrovních a bylo zjišťováno složení a koncentrace plynných produktů tohoto rozkladu. Tepelný rozklad hnědého uhlí byl proveden při teplotách do 700 °C a byly realizovány testy A - bez přídavku vody, B - s přídavkem vody v množství 3 x 10 ml a testy C - s přídavkem vody 3 x 30 ml.



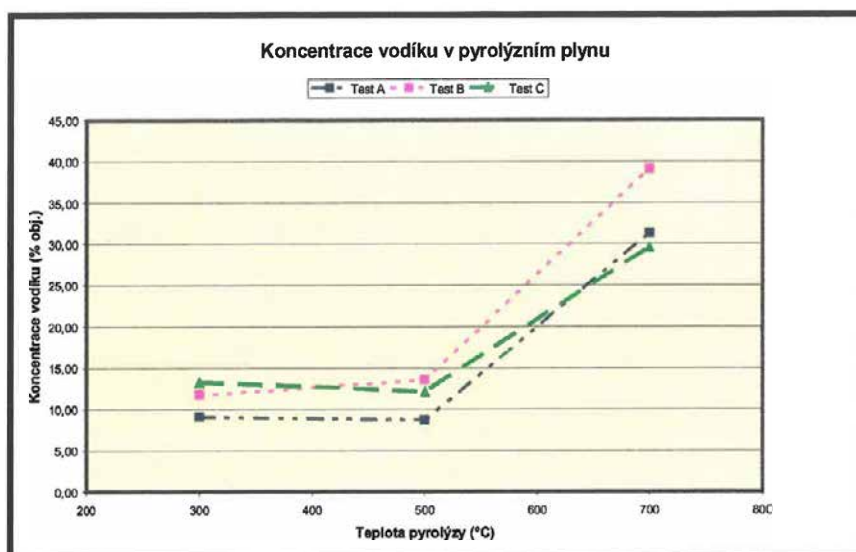
Obr. 1 Základní blokové schéma laboratorní karbonizační jednotky

Odběr vzorků vzniklého plynu u jednotlivých karbonizačních testů byl proveden vždy při teplotách 300, 500 a 700°C do antidifuzních vaků. Analýza plyných produktů byla prováděna metodou plynové chromatografie na přístroji CHROM 5 s tepelně-vodivostním detektorem (TCD) (vodík, kyslík, dusík, oxid uhelnatý a uhlíčitý) a na přístroji PU 304 s detektorem plameno-ionizačním (FID) (uhlovodíky). Výsledky pro testy „A“, „B“ a „C“ jsou uvedeny souhrnně v tabulce 2. Jak vyplývá z analýz hlavními složkami vznikajícího pyrolýzního plynu za podmínek laboratorního testování jsou zejména vodík, oxid uhelnatý, oxid uhlíčitý, methan a ethan. Vzhledem k obsahu síry v uhlí lze za podmínek tepelného rozkladu však očekávat, že s velkou pravděpodobností v plyných produktech pyrolýzy budou přítomny i sirné sloučeniny.

Tab. 2 Průměrné složení plyných produktů pyrolýzy

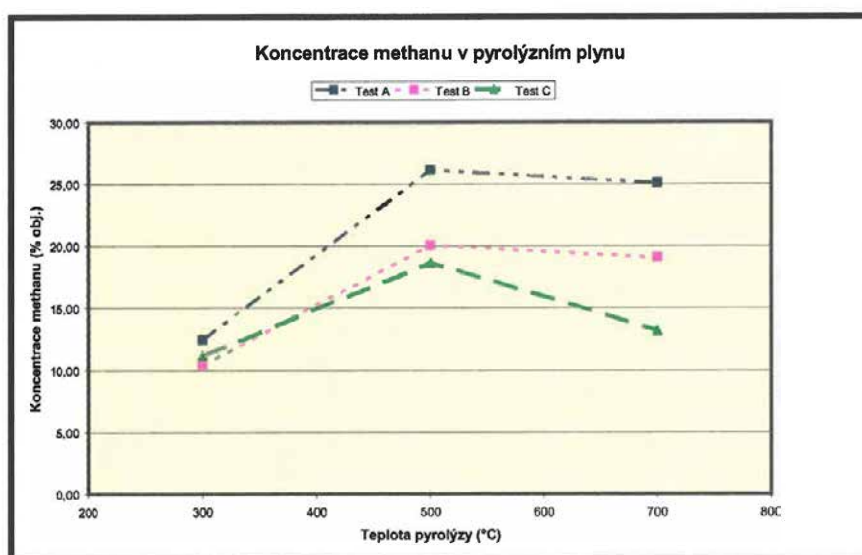
Parametr (% obj.)	Složení plyných produktů pyrolýzy								
	Test A			Test B			Test C		
	300°C	500°C	700°C	300°C	500°C	700°C	300°C	500°C	700°C
vodík	9,12	8,70	31,29	11,78	13,58	39,09	13,33	12,23	29,54
kyslík	2,63	0,31	0,10	6,71	0,24	0,35	1,43	0,17	0,07
dusík	16,95	4,83	2,48	30,24	12,54	3,52	24,63	4,09	0,30
oxid uhelnatý	11,77	11,80	9,54	10,34	15,20	10,36	10,85	15,01	10,61
oxid uhlíčitý	29,58	17,60	8,28	31,44	19,38	13,09	24,72	20,12	12,66
methan	12,47	26,13	25,10	10,48	20,05	19,08	11,22	18,63	13,19
ethen	1,14	1,74	0,92	0,74	1,65	0,69	0,74	1,26	0,49
ethan	3,46	5,81	2,18	1,78	5,24	1,26	1,64	3,11	0,60
propen	0,87	1,87	0,55	0,52	1,18	0,22	0,73	1,08	0,23
propan	1,36	1,65	0,19	0,80	1,79	0,09	1,01	1,50	0,09
2-methylpropan	0,07	0,12	0,01	0,05	0,10	0,01	0,06	0,08	0,01
2-methylpropen	0,41	0,59	0,16	0,26	0,47	0,08	0,33	0,33	0,07
n-butan	0,15	0,32	0,02	0,06	0,23	0,01	0,11	0,18	0,02
trans-buten-2	0,08	0,16	0,02	0,04	0,13	0,02	0,07	0,12	0,01

Do tabulky nebyly zahrnuty ty složky plyné směsi, jejichž koncentrace se v plynu pohybuje v desetinách až setinách % obj. (cis-buten-2; 3-methylbuten-1; 2-methylbutan; 1-penten; 2-methyl-1-buten; pentan). U všech testů (A- bez přídavku vody, B – s přídavkem vody 3 x 10 ml, C – s přídavkem vody 3x30 ml) je hlavní složkou plyných produktů vodík, jehož koncentrace se v plynu zvyšuje s rostoucí teplotou pyrolýzy, zejména při teplotě nad 500 °C, maxima pak dosahuje při odběru vzorku plynu za teploty 700°C. Vliv přídavku vody do procesu pyrolýzy na obsah vodíku v plyných produktech není možné jednoznačně prokázat (graf 1).



Graf 1 Závislost koncentrace vodíku v plynu na teplotě pyrolýzy pro testy A, B a C

U všech testů je další významnou složkou plyných pyrolýzních produktů methan, jehož koncentrace v plynu dosahuje maximálních hodnot při teplotě 500 °C (18,6 - 26,1 % obj. methanu), jak je patrné z grafu 2. Při teplotě 700 °C je pak jeho koncentrace u všech testů nižší. Nejvyšší koncentrace methanu byly zjištěny v pyrolýzním plynu u testu „A“ bez přídavku vody při všech sledovaných teplotách, tj. 300, 500 a 700 °C. Na základě získaných výsledků je možné předpokládat, že přídavek vody do procesu pyrolýzy vede ke snížení obsahu methanu v plyných produktech.



Graf 2 Závislost koncentrace methanu v plynu na teplotě pyrolýzy

Pro praktickou aplikaci řešeného úkolu bylo na základě provedených testů a zjednodušujících výpočtů odhadnuto hmotnostní a objemové zastoupení hlavních složek pyrolýzního plynu, vzniklého z 1000 g hnědé uhlí:

Hlavní složky plynu	Průměrné zastoupení v plynu z 1 kg uhlí	
	(g)	(m ³)
H ₂	3-4	0,03-0,04
CO	26-34	0,02-0,03
CO ₂	80-95	0,04-0,05
CH ₄	17-37	0,02-0,05

5. Závěr

Z analýz plyných produktů pyrolýzy vyplývá, že hlavními složkami plynu jsou zejména:

- vodík s koncentračním rozmezím 9 – 39 % obj.
- oxid uhelnatý s koncentrací 9,5 – 15 % obj.
- oxid uhličitý s koncentrací 8 – 31 % obj.
- methan s koncentračním rozmezím 10 – 26 % obj.
- ethan s koncentrací 1 – 6 % obj.

Voda, diskontinuálně dávkovaná za laboratorních podmínek do procesu pyrolýzy hnědé uhlí, vede ke snížení koncentrace uhlovodíků včetně methanu v plyných pyrolýzních produktech a nezpůsobuje zvýšení obsahu vodíku ve vznikajícím plynu. Lze také předpokládat, že za teplot, dosahovaných za podmínek pyrolýzy, nedochází k výraznému rozkladu do procesu dávkované vody na vodík a kyslík. Rostoucí koncentrace vodíku v plyných produktech se zvyšující se teplotou pyrolýzy je pravděpodobně způsobena štěpením uhlovodíků, vznikajících při tepelném rozkladu uhelné hmoty.

Byly vysloveny teorie, které se dlouho tradují, že vznik vodíku v rozvinuté fázi požáru souvisí hlavně s rozkladem vodní páry na žhavém uhlí a žhavých železných součástech důlní výstroje, přičemž zdrojem vodní páry je voda stříkaná do požářiště (analogie výroby vodního plynu, tj. směsi vodíku a oxidu uhelnatého). Z toho vyplynulo platné pravidlo o tom, že vychlazování přístupného ohniska požáru se musí provádět od jeho okraje ke středu, aby se zamezilo vzniku vodíku a vodíkovému třesku při jeho následném vyhoření. Nezanedbatelné není ani nebezpečí z prudkého až explozivního vývinu páry. Jak exploze vodního plynu, tak expanze vodní páry probíhají současně a v praxi nelze jejich důsledky oddělit. Taktické pravidlo o vychlazování požářiště přímým vodním proudem od jeho okraje je dlouhodobě prověřeno požární praxí a je zcela nezpochybnitelné.

Je však možné vyslovit domněnku, že vznik vodíku v požárních zplodinách má poněkud rozmanitější příčiny a rozklad vodní páry nemá v tomto mechanismu jednoznačně dominantní úlohu, alespoň ne ve všech časových a teplotních fázích průběhu požáru a jeho likvidace.

Skutečnost, že v určitých časových fázích zmáhání požáru existuje kvantitativně významnější zdroj vodíku, než je rozklad vodní páry, a to pyrolýza hnědouhelné hmoty, jejíž průběh a také intenzita tvorby vodíku především závisejí na teplotě uhelné masy, vede nutně k závěru, že výrazného omezení obsahu hořlaviny v požárních zplodinách lze v této fázi protipožárního zásahu docílit jen co nejrychlejším vychlazením uhelné hmoty. To je možné realizovat pouze využitím dostatečného množství zásahové vody. Z tohoto pohledu vyplývá taktický závěr u požárů na průchozím větrném proudu – v počátečních fázích požáru preferovat vždy přímý zásah tlakovou vodou v co největším množství se současnou přípravou protipožárních uzávěr pro případ, že by tento přímý zásah neměl dostatečnou účinnost z důvodu špatné přístupnosti požárního ložiska.

Základní otázkou bezpečnosti takto vedeného protipožárního zásahu zůstává, zda je v daném okamžiku dynamického vývoje požáru převažujícím procesem tvorby plynných hořavin v požárních plynech pyrolýza hnědouhelné hmoty a nebo, zda je jím rozklad vodní páry na žhavém a tedy již odplyněném hnědouhelném polokoks.

V rozsahu teplot, který byl experimentálně prověřen, tj. do 700 °C, je zřejmě jednoznačně převažujícím procesem pyrolýza. Bylo prokázáno, že za podmínek experimentu nevede vnášení další vody do procesu ke zvýšené tvorbě plynných zplodin.

Na tomto místě je nutné si uvědomit velký rozdíl v mechanismu obou sledovaných reakcí:

Množství plynné hořlaviny vygenerované pyrolýzou za časovou jednotku závisí na objemu uhelné hmoty, zahřáté na vyšší teplotu. Na počátku děje bude množství nejvyšší a v čase bude mít klesající tendenci (dojde k odplynění uhlí a jeho přeměnu na polokoks).

Na druhé straně množství plynné hořlaviny, vygenerované rozkladem vodní páry na žhavé uhelné hmotě, závisí na velikosti volného povrchu uhlí s dostatečně vysokou teplotou. Jedná se o kontaktní reakci typu plynná fáze/pevný povrch. Reakce sama je výrazně endotermní. Pokud by teplo nebylo v dostatečné míře generováno vlastními oxidačními procesy, reakce by nemohla probíhat nebo by došlo po určité době k jejímu zastavení. Pokud bude udržována teplota povrchu teplem vlastního hoření uhelné hmoty, tak se v průběhu času nebude intenzita této reakce a s tím související tvorba vodíku snižovat.

Jak je zřejmé z experimentální práce, nebyly nalezeny významné rozdíly v obsahu vodíku v závislosti na provedení karbonizačních testů s přídavkem vody nebo bez ní a tedy se zřejmě ve sledovaném teplotním rozmezí mechanismus tvorby vodního plynu ještě neuplatňuje a plynné zplodiny provedených experimentů jsou jednoznačně zplodinami pyrolýzními.

6. Literatura

1. Van Heek, K.H.: Fuel 79(1), 1 (1999)
2. Van Heek, K.H.: Erdöl und Kohle, Erdgas 116 (1), 34 (2000)
3. Zielinski, H.: Chemik 53(1), 13 (2000)
4. Golovin, G.S. a spol.: Chim. Tverd. Topl. 5, 26 (1996)
5. Stanczyk, K. Przem.: Chem. 79(2), 39 (2000)
6. Markvart, J.: Počátky výroby syntetických paliv v Čechách, Sborník ČSVTS 1973

7. Landa, S.: Paliva a jejich použití, Praha 1951
8. Jílek, J.: Nízkoteplotní karbonizace a tepelné zpracování hnědého uhlí, SNTL Praha (1954)
9. Stanczyk, K. a spol.: Przem. Chem. 77(1), 18 (1998)
10. Hautke, P., Kusý J.: Návrh provozního způsobu měření znečištění ovzduší v lomech, zpráva VÚHU a.s. Most, prosinec 1987
11. Medek, J., Weishauptová, Z.: Kohezní energie jako iniciátor samovolného zvyšování teploty uhlí, 2. celostátní konference „Samovolné vzněcování uhlí v teorii a praxi“, Smilovice 1989
12. Kusý, J., Šafářová, M.: Vliv typu hnědého uhlí na výtěžky nízkoteplotní karbonizace, zpráva VÚHU a.s. Most, prosinec 2001
13. Šafářová, M., Kusý, J.: Vliv typu hnědého uhlí na výtěžky nízkoteplotní karbonizace – 2. etapa, zpráva VÚHU a.s. Most, duben 2002
14. Šafářová, M., Kusý, J.: Tepelné zpracování hnědého uhlí – nauhličovadlo oceli, zpráva VÚHU a.s. Most, září 2001