


# Výbuchové parametry směsí alkoholů se vzduchem

 30.09.2019

## Explosion Characteristics of alcohol-Air Mixtures

Jan Živna<sup>1</sup>, Jan Skřínský<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Fakulta bezpečnostního inženýrství, VŠB-TU Ostrava, Lumírova 630/13, 700 30 Ostrava, Česká republika; tel. +420 601 338 916, e-mail: [jan.zivna.st@vsb.cz](mailto:jan.zivna.st@vsb.cz)

<sup>2</sup>Výzkumné energetické centrum, VŠB-TU Ostrava, 17. Listopadu 15/2172, 708 33 Ostrava, Česká republika; tel. +420 597 324 931, e-mail: [jan.skrinsky@vsb.cz](mailto:jan.skrinsky@vsb.cz)

Fischer-Tropschova syntéza

výbuchové charakteristiky

uhlovodíky

### Abstrakt

V článku jsou experimentálně stanoveny výbuchové parametry kapalně frakce směsi uhlovodíků vznikající testováním vlastností heterogenních tuhých katalyzátorů po konverzi syntetického plynu na alkoholy a další uhlovodíky. Práce dále zahrnuje stanovení výbuchových charakteristik samostatných čistých uhlovodíků na základě analýzy hlavních složek chromatografických záznamů směsi. Ke stanovení výbuchových charakteristik byla použita otápěná 20-litrová výbuchová komora, která je vybavena pro účely diplomové práce systémem pro dávkování kapalin, odsávání a provětrávání. Jako iniciační zdroj byla použita permanentní jiskra mezi dvěma elektrodami. Byla provedena validace a optimalizace zařízení pro měření výbuchových parametrů. V rámci práce byl standardní systém upraven pro potřeby vytváření páry a měření směsi kapalných uhlovodíků. Celkem bylo získáno přibližně 100 experimentálních záznamů a 65 predikovaných hodnot. Za nejvýznamnější výsledek lze považovat kompletní stanovení všech výbuchových charakteristik směsi uhlovodíků vyrobených Fischer-Tropschovou syntézou vůbec poprvé na světě.

**Klíčová slova:** Fischer-Tropschova syntéza, směs uhlovodíků, výbuchové charakteristiky

### Abstract

In the presented diploma thesis, the characteristics for the liquid fractionation of hydrocarbon mixtures for the tested properties of heterogeneous solid catalysts after the conversion of synthetic gas to alcohols and other hydrocarbons are experimentally determined. The work also includes determination of explosion parameters of separate pure hydrocarbons based on the analysis of the main components of chromatographic records. To determine the explosion parameters, a heated 20-liter explosion chamber was used, which is equipped with a system for dispersing liquids, suction and venting for the purpose of the diploma thesis. A series of permanent sparks between the two electrodes were used as the initiation source. For the purpose of this thesis, the standardly used system has been modified for the

measurement of liquid hydrocarbon mixtures. In total, approximately 100 experimental records and 65 predicted values were obtained. As the most significant result can be considered the complete determination of all hydrocarbon's mixtures explosion characteristics produced by Fischer-Tropsch synthesis for the first time in the world.

**Keywords:** explosion vessel, explosion characteristic, combustion phase

Přijat k publikování / Received for publication 15. 4. 2019

## 1. Úvod

V dnešní době existuje celosvětová poptávka po vývoji energeticky úsporných a ekonomických procesů pro udržitelnou výrobu alternativních chemických sloučenin a paliv jako náhrada těch, které jsou vyráběny z ropy. Nadměrná závislost světa na konvenčních fosilních palivech je hrozbou pro budoucnost zeměkoule. Dle různých vědeckých studií bude mít existence stávajícího stavu v roce 2100 za následek zvýšení průměrné teploty povrchů oceánů a půdy o 5 °C. To bude mít za následek zvýšení hladiny moří a oceánů, což způsobí příští globální krizi změny klimatu a globálního oteplování, v důsledku zvýšení koncentrace oxidu uhličitého v atmosféře vznikajícího při spalování fosilních paliv. Jejich spalování má nepříznivý vliv i na organismus člověka z důvodu znečištění ovzduší. V důsledku toho environmentální agentury na celém světě vydávají přísnější předpisy, které by splnily současné a budoucí hrozby způsobené emisemi do ovzduší. Všechny tyto skutečnosti mají za následek vrůst zájmu o Fischer-Tropschovu syntézu jako bez sirnou technologii produkující alternativní paliva na bázi alkoholů s potenciálem snížit emise škodlivých látek do atmosféry bez použití ropných produktů. Alkoholy jsou hořlavá paliva. Páry alkoholu mohou hořet i explodovat a způsobit tak havárie různého rozsahu. Takové havárie by se mohly stát např. v případě úniku a odpařování paliva, zejména při teplotách nad bodem varu kapaliny, což může mít za následek ztráty lidské, environmentální i materiálové. Proto je právě jejich nebezpečnost problém, který vyvolává znepokojení nad využíváním, skladováním a přepravou těchto látek. Tyto a další činnosti vyžadují, aby byly posouzeny jejich nebezpečné vlastnosti. Mezi nejzávažnější projevy kapalných hořlavých látek patří výbuchy. K charakterizaci výbuchových vlastností lze efektivně využít výbuchové parametry s cílem posoudit potenciální nebezpečí exploze s aplikací v různých typech technologií, kde se tyto látky vyskytují v množství dostatečném k vytvoření hořlavého souboru [1]. Na Obr. 1 je zobrazena závažná havárie, ke které došlo 17. července 2007 v areálu Barton Solvent v Kansasu, kde se věnují zpracování ropy. Vyšetřovatelé z Chemical Safety and Hazard Investigation Board (CSB) dospěli k závěru, že k počátečnímu výbuchu došlo ve vertikálním nadzemním uložení nafty. Při přečerpávání nafty z přistaveného vozidla do zásobníku se zvedá hladina, která rozhoupala plovák na měření hladiny [2].



**Obrázek 1: Požár v areálu Barton Solvent, Kansas**

## **2. Použitá experimentální zařízení a chemikálie**

### **2.1 Popis technologie Fischer-Tropsch**

Syntéza kapalných paliv představuje zajímavou alternativu využití syntézního plynu, tj. směsi oxidu uhelnatého a vodíku, běžně využívanou zejména pro pohon spalovacích motorů či turbín kogeneračních jednotek. Zatímco přímá spotřeba plynu k výrobě elektrické energie a tepla má v porovnání s jinými způsoby produkce těchto energií vyšší účinnost, stále se jedná o okamžité využívání tohoto média, které lze obtížně skladovat. Technická zařízení pro dlouhodobé uchování energie, která by měla být v budoucnu součástí inteligentních sítí (smart grids), jsou zatím ještě ve stavu vývoje. Proto představuje využití syntézního plynu pro výrobu kapalných biopaliv možnost, díky níž je možno i při dnešních znalostech a stavu techniky skladovat energii v podobě kapalných organických sloučenin s vysokým obsahem energie. V případě získávání plynu s biomasy či zemního plynu se navíc jedná o zvýšení energetické hustoty materiálu, čímž se snižují náklady spojené s transportem a skladováním těchto druhů paliv [3]. Na Obrázku 2 je zobrazena použitá technologie pro syntézu kapalných paliv.



**Obrázek 2: Technologie pro syntézu kapalných paliv dostupná na VEC, VŠB-TU Ostrava**

## **2.2 Analýza organických látek kapaliny**

Identifikace složité směsi, jakou je směs vyrobená FTS (Fischer-Tropsch Synthesis), je extrémně náročná, neboť některé obsažené analyty o rozdílných retenčních časech poskytují téměř identická hmotnostní spektra. Identifikace tedy nelze provést bez ověření nezávislým standardem. Identifikace složek směsi byla provedena na základě shody naměřeného hmotnostního spektra v porovnání s databází hmotnostních spekter z let 1989 - 2014 firmy Agilent Technologies (MassHunter GC/MS). Hmotnostní spektra jsou parametry silně závislé na použité instrumentaci a jejím subjektivním nastavením. Kvantitativní analýzu je opět možné získat pouze na základě identického analytického standardu provedené za identických podmínek stejným operátorem [4]. Výsledek zkoušek analýzy organických látek nehomogenní organické kapaliny vyrobené FTS ukázal, že hlavní zastoupení má v této směsi metanol a etanol. Dále jsou z alkoholů zastoupeny 1-hexanol, 1 heptanol a z uhlovodíků undecan, dodecan, tridecan.

## **2.3 Popis zkušebního zařízení**

Zkušební nádoba je kulová. Vnitřní objem zkušební nádoby je roven přibližně  $0,02 \text{ m}^3$ . Zkušební nádoba a všechna zařízení jsou konstruována tak, aby vydržela tlak 40 bar. Pracovní tlak konstrukce autoklávu je 30 bar. Zkušební nádoba je pro účely práce vybavena systémem pro dávkování kapalin, odsávání a provětrávání [5].



**Obrázek 3: Výbuchový autokláv a) systém odsávání a provětrávání (vlevo); b) systém dávkování kapalin (vpravo)**

Jako iniciační zdroj je použita série indukčních jisker mezi dvěma elektrodami. Elektrody jsou vyrobeny z nerezové oceli. Elektrody jsou umístěny ve středu nádoby a jsou tvořeny hroty s průměrem přibližně 3 mm. Úhel špiček je přibližně 60°. Vzdálenost mezi špičkami je přibližně  $5 \pm 0,1$  mm (stanoveno pomocným měřidlem). Elektrody jsou namontovány v nádobě tak, aby byly plynotěsné při nejvyšším tlaku, vznikajícím při zkouškách, tj. 30 bar. Zařízení pro přípravu zkušební směsi je navrženo tak, aby obsah hořlavých par ve zkušební směsi byl měřen s nejistotou měření do  $\pm 10$  % relativní hodnoty pro obsah hořlavých par do  $\pm 0,2$  % absolutní hodnoty pro obsah hořlavých par nad 2% mol. Pro zajištění spolehlivosti měření byly použity dva systémy pro měření tlaku. Systém pro měření tlaku má přesnost s odchylkou nejvýše  $\pm 0,05$  bar a rychlost vzorkování 0,02 ms. Pro zaznamenávání teploty je použit termočlánek s odpovídajícím záznamovým zařízením [5].

## 2.4 Postup Měření

Každá stejná sada dat, která byla získána při jednom postupu měření, se použila pro stanovení výbuchového tlaku a rychlosti nárůstu výbuchového tlaku. Před každým plněním zkušební směsi bylo provedeno vakuování zkušební nádoby a přívodního potrubí alespoň na tlak 5 mbar. Provětrání bylo prováděno tak, že byla úplně vyměněna atmosféra uvnitř zkušební nádoby a to vzduchem o objemu minimálně 10-ti násobku objemu zkušební nádoby. Po přivedení zkušební směsi do zkušební nádoby byl uzavřen vstupní a výstupní ventil. Zkušební směs se pak ponechala ve zkušební nádobě minimálně 2 minuty, tak aby bylo zajištěno její uklidnění. Poté se zkušební směs vznítla a zaznamenala se tlaková závislost tlaku při výbuchu. Při zkušební sérii nebylo oteplení nádoby vyšší než 15 K. Po zkoušce byl ze zkušební nádoby uvolněn zbytkový přetlak. Nádoba byla provětrána vzduchem a tím byly odstraněny spaliny. Při odvětrávání byly bezpečně odváděny spaliny a odvětrávaný vzduch. Pro zpracování výsledků zaznamenaného časového záznamu tlaku a určení nejvyššího tlaku byl použit počítačový program, který stanovil výbuchový tlak s přesností na 0,1 bar. Nejvyšší hodnota maximální rychlosti nárůstu výbuchového tlaku  $(dp/dt)_{exp}$  vypočtena počítačovým programem pro každou křivku časového záznamu se stanovila derivací časového záznamu tlaku z každé zkoušky a tím se získala nejvyšší hodnota směrnice (první derivace) pro každou zkoušku [5].

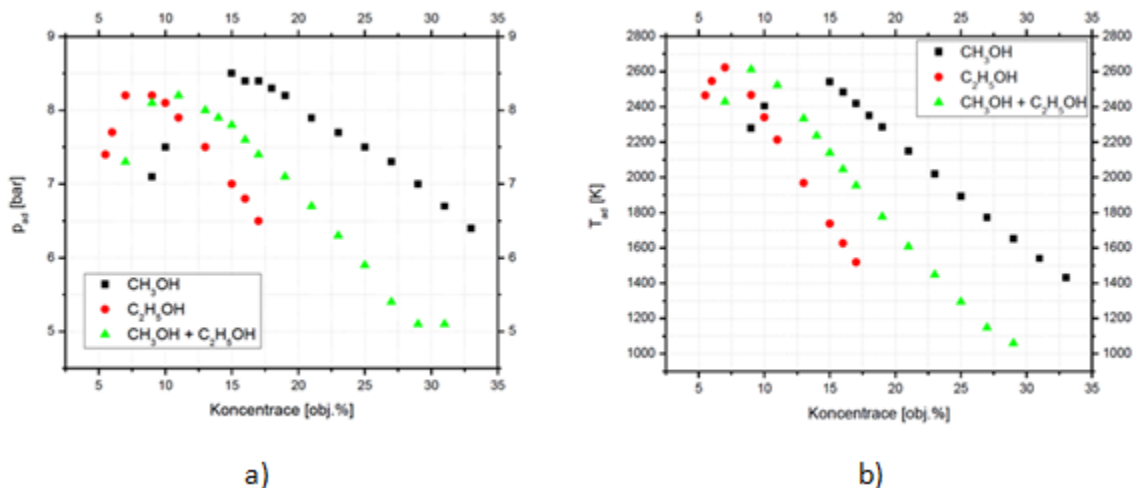
## 3. Výpočtová procedura

Výpočet adiabatického výbuchového tlaku a adiabatické teploty byl proveden výpočetním programem SAFEKINEX Explosion Pressure verze 1.3, který byl vyvinut na Varšavské technické univerzitě v roce 2004 [6]. Ke kvantifikaci adiabatických výbuchových tlaků  $p_{ad}$  a teplot při konstantním objemu a při různých koncentracích směsi byla použita

výpočetní metoda minimalizace volné Gibbsovy energie. Jako vstupní parametry byly použity soubory reakčních mechanismů a termodynamických dat ( $C_p$ ,  $S^0$ ,  $H^0$ ,  $G^0$ ). Vstupní parametry výpočtu byly získány z termodynamických dat programu. Zjednodušujícím předpokladem výpočtu bylo, že nedochází k tepelné výměně mezi plynem a okolím a dojde k chemické rovnováze. Za těchto podmínek, kdy je koncentrace reaktantů i produktů chemické reakce konstantní v čase nastane situace, kdy se reakční rychlost zpětné reakce vyrovná rychlosti reakce přímé. Kromě uvedeného programu lze k výpočtu využít programy Stanjan, CEC a GasEQ.

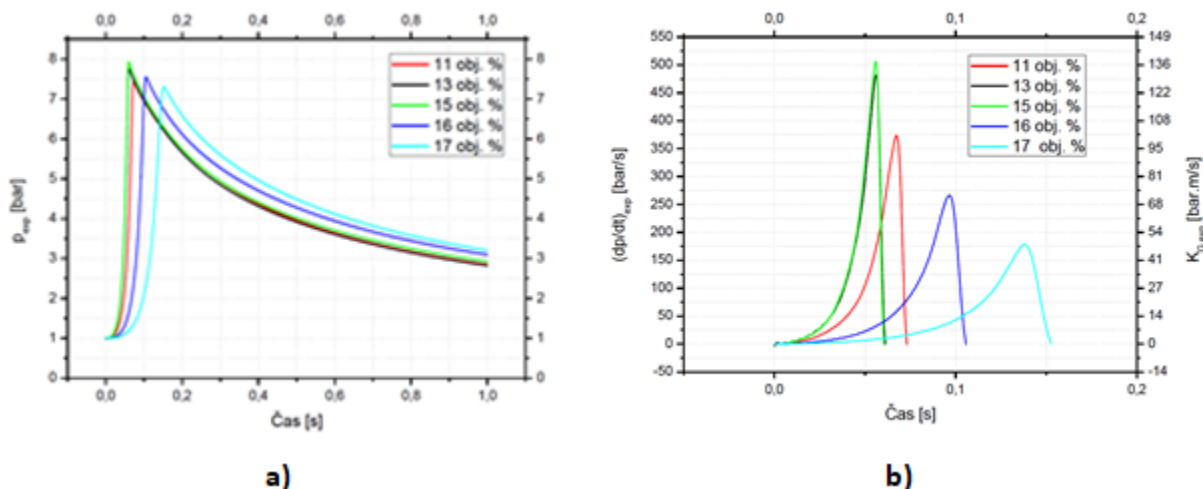
## 4. Výsledky

Na obrázku 4a je znázorněn vývoj velikosti výbuchového tlaku v závislosti na koncentraci. Jedná se o vypočtené hodnoty pro každý ze tří vzorků. Konkrétně jde o metanol, etanol a směs metanolu a etanolu. Nejvyšší maximální výbuchový tlak byl vypočten u metanolu při koncentraci 15 obj. % a činil 8,5 baru. Druhý nejvyšší maximální výbuchový tlak byl vypočten u etanolu při koncentraci 7,0 obj. % a činil 8,2 baru. Třetí nejvyšší maximální výbuchový tlak byl vypočten u směsi metanolu a etanolu při koncentraci 11,0 obj. % a činil 8,2 baru. Výbuchový tlak nejdříve prudce stoupá a po dosažení maximálního výbuchového tlaku začne pozvolna klesat. Na obrázku 1b je znázorněn vývoj velikosti adiabatické výbuchové teploty ( $T_{ad}$ ) v závislosti na koncentraci. Jedná se o vypočtené hodnoty pro každý ze tří vzorků. Konkrétně jde o metanol, etanol a směs metanolu a etanolu. Nejvyšší hodnota  $T_{ad}$  byla vypočtena pro etanol při koncentraci 6,0 obj. % a činila 2623 K. Druhá nejvyšší hodnota  $T_{ad}$  byla vypočtena pro směs metanolu a etanolu při koncentraci 9 obj. % a činila 2612 K. Třetí nejvyšší hodnota  $T_{ad}$  byla vypočtena pro metanol při koncentraci 15,0 obj.% a činila 2543 K. Hodnoty zpočátku rostou. Po dosažení nejvyšší hodnoty  $T_{ad}$  začínají opět pozvolna klesat.



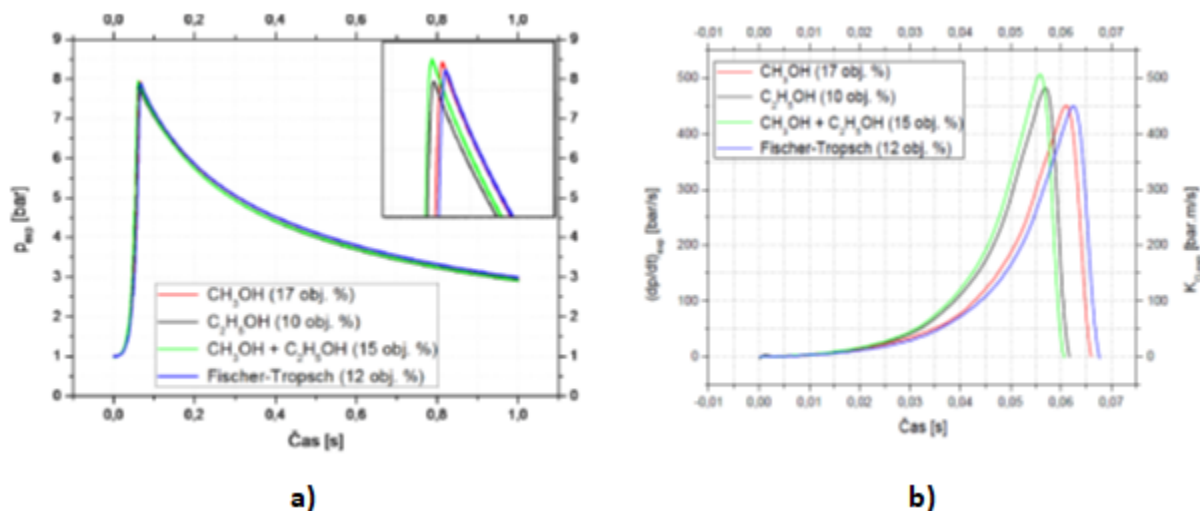
**Obrázek 4: a) Adiabatický výbuchový tlak a b) adiabatická teplota plamene metanolu, etanolu a směsi metanolu s etanolem v závislosti na koncentraci.**

Na obrázku 5 je znázorněn vývoj velikosti výbuchového tlaku ( $p_{exp}$ ) v závislosti na čase pro různé koncentrace směsi metanolu a etanolu měřených při teplotě 78 °C. Jedná se o výběr pěti naměřených hodnot. O koncentraci, při které byl naměřen maximální výbuchový tlak a o dvě hodnoty koncentrace od něho nižší a dvě hodnoty koncentrace od něho vyšší. Konkrétně se jedná o koncentrace 11, 13, 15, 16 a 17 obj. %. Maximální výbuchový tlak směsi metanolu s etanolem byl naměřen při koncentraci 15 obj. % v čase 61 ms a činil 7,9 baru. Výbuchový tlak nejdříve prudce stoupá a po dosažení maximálního výbuchového tlaku začne pozvolna klesat. Nejnižší hodnota maximálního výbuchového tlaku, z těch zobrazených v grafu, byla při koncentraci 17 obj. %. Výbuchový tlak zde stoupá prudce až do času 153 ms, kdy byl naměřen jeho nejvyšší výbuchový tlak 7,3 baru, a pak začal pozvolna klesat.



**Obrázek 5: Závislost  $p_{exp}$  na čase při různé koncentraci směsi  $CH_3OH + C_2H_5OH$**

Na obrázku 2b je znázorněn vývoj velikosti maximální rychlosti nárůstu výbuchového tlaku ( $(dp/dt)_{exp}$ ) v závislosti na čase pro různé koncentrace směsi metanolu a etanolu měřených při teplotě 78°C. Jedná se o výběr pěti naměřených hodnot. O koncentraci, při které byla změřena nejvyšší hodnota maximální rychlosti nárůstu výbuchového tlaku a o dvě hodnoty koncentrace od něho nižší a dvě hodnoty koncentrace od něho vyšší. Konkrétně se jedná o koncentrace 11, 13, 15, 16 a 17 obj. %. Nejvyšší hodnota maximální rychlosti nárůstu výbuchového tlaku byla naměřena při koncentraci 15 obj. % v čase 62 ms a činila 507 bar/s. Nejdříve maximální rychlost nárůstu výbuchového tlaku prudce stoupá a po dosažení nejvyšší maximální rychlosti nárůstu výbuchového tlaku začne prudce klesat. Nejnižší hodnota maximálního výbuchového tlaku, z těch zobrazených v grafu, byla při koncentraci 17 obj. %. Při koncentraci 17 obj. % maximální rychlost nárůstu výbuchového tlaku pozvolna roste až do času 153 ms, kdy byla naměřena jeho maximální rychlost nárůstu výbuchového tlaku 178 bar/s, pak začala pozvolna klesat.

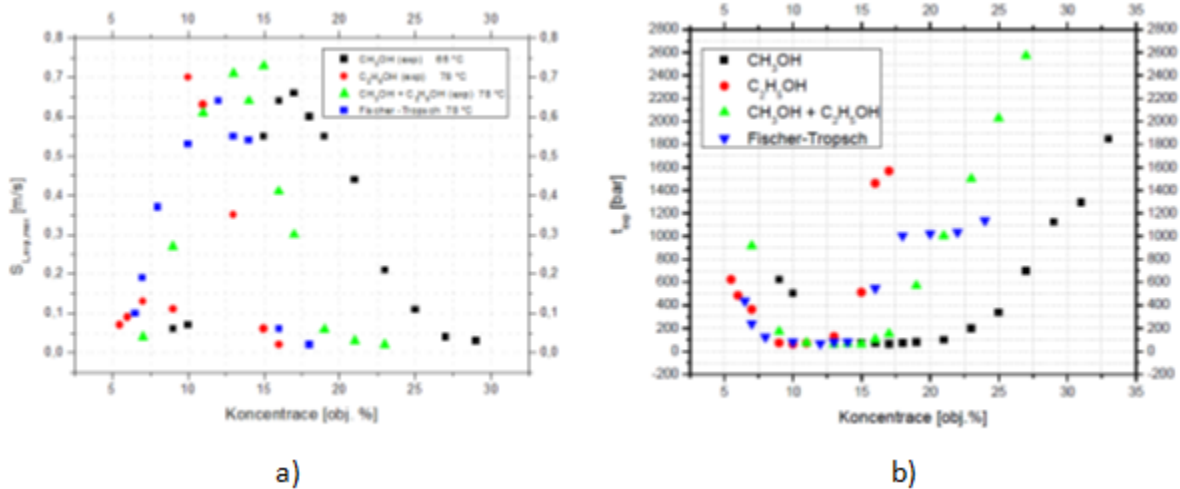


**Obrázek 6: a) výbuchový tlak a b) deflagrační index v závislosti na koncentraci.**

Na obr. 6a je znázorněn vývoj velikosti výbuchového tlaku ( $p_{exp}$ ) v závislosti na čase. Jedná se o výběr nejvyšších naměřených hodnot od každého z měřených vzorků. Konkrétně jde o metanol koncentrace 17 obj. %, etanol koncentrace 10 obj. %, směs metanolu a etanolu koncentrace 15 obj. % a směsi uhlovodíků vzniklých FTS koncentrace 12 obj. %. Nejvyšší maximální výbuchový tlak byl naměřen u směsi metanol a etanol v čase 61 ms, který činil 7,9 bar. Výbuchový tlak nejdříve prudce stoupá a po dosažení maximálního výbuchového tlaku začne pozvolna klesat. Na



obrázku 3b je znázorněn vývoj velikosti maximální rychlosti nárůstu výbuchového tlaku ( $(dp/dt)_{exp}$ ) v závislosti na čase. Jedná se o výběr nejvyšších naměřených hodnot od každého z měřených vzorků. Konkrétně jde o metanol koncentrace 17 obj. %, etanol koncentrace 10 obj. %, směs metanolu a etanolu koncentrace 15 obj. % a směsi uhlovodíků vzniklých FTS koncentrace 12 obj. %. Nejvyšší maximální rychlost nárůstu výbuchového tlaku byla naměřena u směsi metanol a etanol v čase 61 ms a činila 507 baru/s. Druhá maximální rychlost nárůstu výbuchového tlaku byla naměřena u etanolu v čase 62 ms a činila 482 baru/s. Třetí nejvyšší maximální rychlost nárůstu výbuchového tlaku byla naměřena u metanolu v čase 66 ms a činila 451 baru/s. Čtvrtá nejvyšší maximální rychlost nárůstu výbuchového tlaku byla naměřena u směsi uhlovodíků vzniklých FTS v čase 68 ms a činila 450 baru/s.



**Obrázek 7: a) Adiabatická teplota a b) rychlost šíření plamene v závislosti na koncentraci při 65 °C a 78 °C pro dvě směsi isomeru se vzduchem.**

Na obr. 7a je znázorněn vývoj velikosti laminární rychlosti hoření ( $S_{L,exp,max}$ ) v závislosti na koncentraci pro metanol, etanol a pro směs metanolu a etanolu a pro směsi uhlovodíků vzniklých FTS. Metanol byl měřen při 65 °C a etanol a směs metanolu a etanolu byly měřeny při 78 °C. Nejvyšší hodnota laminární rychlosti hoření byla vypočítána pro směs metanolu a etanolu při koncentraci 15 obj. % a činila 0,73 m/s. Druhá nejvyšší hodnota laminární rychlosti hoření byla vypočítána pro etanol při koncentraci 10,0 obj. % a činila 0,70 m/s. Třetí skončila hodnota laminární rychlosti hoření vypočítána pro etanol při koncentraci 17 obj. %, která činila 0,66 m/s. Hodnoty prudce stoupají až do nejvyšší laminární rychlosti hoření a pak opět prudce klesají. Na obrázku 4b je znázorněn vývoj doby od iniciace po dosažení maximálního výbuchového tlaku ( $t_{exp}$ ) v závislosti na koncentraci pro metanol, etanol a pro směs metanolu a etanolu a pro směsi uhlovodíků vzniklých FTS. Metanol byl měřen při 65 °C a etanol a směs metanolu a etanolu a směs Fischer-Tropsch byly měřeny při 78 °C. Nejnižší hodnota  $t_{exp}$  byla naměřena pro směs metanolu a etanolu při koncentraci 15 obj.% a činila 61 ms.

## 5. Závěr

Získané hodnoty lze využít zejména v energetickém průmyslu a v oblasti protivýbuchové prevence, například pro výpočet parametrů odvětrání. Cílem příspěvku bylo experimentálně stanovit výbuchové parametry samostatných čistých uhlovodíků, jejich binárních směsí a směsí uhlovodíků vzniklých Fischer-Tropschovou syntézou. Byly stanoveny maximální výbuchový tlak, maximální rychlost nárůstu výbuchového tlaku, čas do dosažení výbuchového tlaku, kubická konstanta a laminární rychlost hoření kapalné frakce směsi uhlovodíků vznikající po konverzi syntetického plynu na alkoholy (metanol, etanol a jiné) a dalších uhlovodíků, při různých koncentracích a dvou počátečních teplotách. Vzhledem k nestandardním podmínkám, které se běžně nacházejí v průmyslu, by bylo vhodné jako první budoucí studii provést experimentální kvantifikaci výbuchového charakteristik směsi uhlovodíku vznikajících FTS v



závislosti na reálných podmínkách tlaku (do 5 bar) a teploty (do 200 °C). Vzhledem k různým typům iniciačních zdrojů rozdělených podle výskytu v různých průmyslových aplikacích otestovat také různé hodnoty jiné než standardní iniciační energie. Na základě získaných výsledků ve shrnutí diplomové práce a velké odchylce adiabatických výbuchových tlaků při koncentracích blízkých horním a spodním koncentračním mezím výbušnosti vylepšit výpočtový program tak aby zahrnul vznik povýbuchových produktů obsahujících uhlík ve své molekule, jako jsou například sazové částice. Navrhnout výpočtový model pro simulaci jiných než standardních podmínek teplot a tlaků ke stanovení výbuchových charakteristik.

## 6. Poděkování

Tato práce byla vypracována v rámci projektu „Inovace pro efektivitu a životní prostředí - Growth“, identifikační kód LO1403 za finanční podpory MŠMT v rámci programu NPU I a specifického výzkumu SP 2019/89.

## 7. Literatura

[1] LI, Q.; CHENG, Y.; HUANG, Z. Comparative assessment of the explosion characteristics of alcohol-air mixtures. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 2015, vol. 37, s. 99-110. ISSN: 0950-4230.

[2] *Barton Solvents Explosions and Fire* [online]. CSB, U.S. Chemical Safety Board [cit. 2019-04-01]. Dostupné z: <https://www.csb.gov/barton-solvents-explosions-and-fire/>

[3] PEER, V.; NAJSER, J.; CHLOND, R. *Syntéza kapalných paliv*. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Výzkumné energetické centrum, 2013. 5 s.

[4] LACNÝ, Z. *Protokol o provedení zkoušek*. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita, Centrum nanotechnologií, 2018. 327/18. 8s.

[5] ČSN EN 15967. *Stanovení maximálního výbuchového tlaku a maximální rychlosti nárůstu výbuchového tlaku plynů a par*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012. 34 s.

[6] WOLANSKI, P.; KOBIERA, A.; KINDRACKI, J. *Explosion Pressure: the program for calculation of maximum pressure of explosion for chemical equilibrium conditions*. Warsaw: Warsaw University of Technology, Institute of Heat Engineering, 2004.

### Vzorová citace

ŽIVNA, Jan; SKŘÍNSKÝ, Jan. Výbuchové parametry směsí alkoholů se vzduchem. *Časopis výzkumu a aplikací v profesionální bezpečnosti* [online]. 2019, roč. 12, č. 2. Dostupný z: <https://www.bozpinfo.cz/josra/vybuchove-parametry-smesi-alkoholu-se-vzduchem-0>. ISSN 1803-3687.

---

Autor článku:

[Bc. Jan Živna](#)

[Ing. Jan Skřínský, Ph.D.](#)