VEĽKO-ROZMEROVÝ TEST POŽIARU TRIEDY B FOSÍLNYCH PALÍV TYPOVÉHO SCENÁRA POOL FIRE

Iveta Marková[1)], Jozef Lauko[2)]

ABSTRACT
Fosílne palivá sú ropné produkty, konkrétne horľavé kvapaliny, a predstavujú trvalo prítomné riziko vzniku požiaru. Sú to kvapaliny s nízkym bodom vzplanutia, nízkym bodom varu a vhodnými hodnotami výparnosti. Uvedené parametre vytvárajú výborné predpoklady pre vzplanutie, čiže vznik a rozvoj požiaru. K horeniu kvapalín v praxi pri požiaroch dochádza obyčajne pôsobením vonkajších zápalných zdrojov (rozžeravených telies, plameňa, iskier) a horia pary horľavej kvapaliny nad jej voľným povrchu. V článku sa hodnotí podľa STN EN 3 jeden z typových scenárov triedy požiaru B „Pool Fire“ s rôznym priemerom skúšobných nádrží. Kľúčová pozornosť výskumu je zameraná na sledovanie fázy vzplanutia a rýchlosti odhorievania. Vzorky fosílnych palív sú v súčasnosti používané biopalivá. Výsledok poukazuje na výrazne odlišný priebeh vzniku požiaru jednotlivých druhov biopalív.

Kľúčové slová: ropné produkty, oheň, rýchlosť horenia, hmotnostný prietok

ABSTRACT
Fossil fuels are petroleum products, particularly flammable liquids, and are permanently present a risk of fire. These are liquids with a low flash point, low boiling point and the appropriate values of vaporization. Those parameters create excellent conditions for the flare, ie the emergence and development of fire. The burning liquids in practice the fires usually occur by external sources of ignition (hot compartment bodies, flame, sparks) and burning vapor flammable liquid over the free surface. The article evaluates according to EN 3 one type of fire scenarios Class B "Pool Fire" with different diameter test tank. Key research attention is focused on the monitoring phase flash and speed of burning. Samples of fossil fuels currently used biofuels. The result highlights the significantly different course of fire various types of biofuels.

Key words: oil products, fire, speed of burning, mass flow rate

1 ÚVOD

Pri hodnotení chemického zloženie horľavých kvapalín sa vychádza z ich elementárneho zloženia. Väčšina horľavých kvapalín sa skladá z uhlíka, vodíka a kyslíka. Ide predovšetkým o látky organického pôvodu. Okrem týchto elementov môžu zahrňovať v sebe síru, fosfor, dusík, niektoré kovy a ich chemické prvky. [1,2,3] Fyzikálne vlastnosti horľavých kvapalných látok v podstate podporujú proces horenia. V dôsledku vyparovania sa kvapalín z ich voľného povrchu (hodnotené tlakom nasýtených pár nad ich voľným povrchom), vznikajúce pary, ktoré sa miešajú so vzduchom a vytvárajú horľavú zmes (na základe difúzie molekúl pár s molekulami kyslíka). Horľavé kvapaliny v tekutom stave nehoria, horia len ich pary zmiešané so vzduchom na voľnom povrchu kvapaliny. [3,4] Parameter hodnotiaci proces horenia kvapalín je rýchlosť horenia a závisí na počiatočnej teplote, priemeru nádrže, výške hladiny, prúdeniu vzduchu. [5,6]

Cieľom príspevku je špecifikovať správanie sa biopaliva, konkrétne Benzín Super 95 (BS95) (nepolárnej kvapaliny) v prípade jeho vonkajšieho zapálenia. Prezentovať druh požiaru triedy B, konkrétne model podľa STN EN 3-7+A1 a sledovať ich parametre v závislosti na veľkosti nádrže a času realizácie požiaru formou veľko-rozmerových skúšok modelujúcich požiar Pool Fire.

2 POŽIARE HORĽAVÝCH KVAPALÍN

Typové scenáre pre uskladnené horľavé kvapaliny vytypovali odborníci pre závažné priemyselné havárie do stanovených variant. [5,7]

Požiar kaluže Pool Fire je determinovaný vybranými parametrami, a to objemom rozliatej kvapaliny, ohraničenosťou vytvorenej mláky a objem voľného povrchu kvapaliny a v neposlednom rade prítok s podmienkou rýchlosti vtoku väčšej ako je rýchlosť horenia, a odhorievanie pár nad kvapalinou.

Jeden z najzákladnejších a najdôležitejších údajov, ktoré charakterizujú horenie horľavých kvapalín, je rýchlosť odhorievania. Tento parameter sa využíva pri hodnotení horenia horľavých kvapalín. V odbornej literatúre sú veľakrát uvedené rôzne rýchlosti odhorievania tej istej látky. Pod tieto rozdiely sa podpisuje nejednotná metodika stanovenia tohto parametra, čo je dôsledok rôznych výsledkov od rôznych autorov. [5,8,9,10] Rýchlosť odhorievania kvapalín je definovaná ako množstvo kvapaliny odhorenej za jednotku času. Určujú sa dve základné rýchlosti odhorievania (horenia), a to lineárna a hmotnostná. [8]

Novotný a Tureková [8,9,10] zdôrazňujú parameter - rýchlosť odhorievania ako jednu z primárnych hodnôt, ktorú potrebnú pre výpočet ďalších potrebných údajov pri horení horľavých kvapalín.

3 EXPERIMENTÁLNA ČASŤ

3.1 CHARAKTERISTIKA VZORIEK A POŽIARU TRIEDY B

Pre účely experimentu boli vybraté konkrétne vzorky horľavej nepolárnej kvapaliny Benzín Super 95 (BS95). Vďaka zvyšujúcej sa spotrebe pohonných hmôt,

narastá aj záujem o biopalivá ako obnoviteľných zdrojov energie [11]. Vlastnosti BS95 uvádza karta bezpečnostných údajov. [18]

3.1.1 EXPERIMENTÁLNY MODEL POŽIARU TRIEDY B:

Pre experimentálne merania budú vytvorené tri skúšobné modely požiarov triedy B zo vzorky Benzín Super 95. Na realizáciu modelov požiaru triedy B, boli použité skúšobné vane podľa STN EN 1568-4 bod I.1.1 [19] (tab.1 a obr.1) s prezentovaným množstvom paliva. V každej skúšobnej nádrži bola výška hladiny paliva minimálne 20 mm.

Tab. 1 Charakteristika nádrži modelujúcich plochu požiaru triedy B.

Po-žiar	Charakteristika skúšobných nádrži			Označenie plochy požiaru	Spotreba paliva [liter]
	Skúšobná vaňa	Priemer D [m]	Plocha S [m^2]		
1.	na malú skúšku hasiacej schopnosti podľa STN EN 1568-4 bod I.1.1 [25]	0,565	0,25	MB (obr. 1a)	25
2.	skúšobná vaňa podľa STN EN 3-7+A1 [26]	0,92	0,66	21B (obr. 1b)	101
3.	skúšobná vaňa podľa STN EN 3-7+A1 [26]	1,89	2,8	89B (obr. 1c)	136

3.2 EXPERIMENTÁLNE METÓDY PRE SLEDOVANIA POŽIAROV TRIEDY B - SLEDOVANIE MODELU POŽIARU TRIEDY B PODĽA STN EN 3-7+A1.

Pre výskum sledovania rýchlosti odhorievania kvapalín bola zvolená metóda kombinovaná s podmienkami normy STN EN 3-8 [20]. Na základe sledovania času horenia a množstva vyhoreného paliva boli vypočítané a vzájomne porovnané rýchlosti odhorievania, a lineárna rýchlosť odhorievania (výška vodného stĺpca odhoreného paliva) pre modeli požiarov triedy B (tab.1). Pri uvedených javoch, ktoré sa realizujú v nádrži, je nutné akceptovať prehriatie nádrže v dôsledku prestupu tepla vedením na steny nádrže. Veľko-rozmerové testy sa realizovali pri teplote okolitého prostredia (10-12°C), pri rýchlosti prúdenia vzduchu 1,5-2,0 $m.s^{-1}$ a hustote paliva 0,78 $g.cm^3$. Experimenty boli realizované na Hasičskej stanici ZHU Slovnaft v Bratislave. Zopakované dvakrát pre materiálovú a ekonomickú náročnosť. Zároveň, pri realizácií experimentov vznikal čierny nepríjemný dym, ktorý zamoroval okolité prostredie. Množstvo zhoreného paliva, čiže horľavej kvapaliny a čas horenia bol určený tak, aby vždy zostávajúce množstvo horľavej kvapaliny pokrylo dno skúšobnej nádrže súvislou vrstvou, aby bol dodržaný požiar na celej rozliatej ploche nádrže. [5]

Rýchlosť šírenia plameňa závisí od koncentrácie horľavej látky, tlaku a teploty a ďalších nami sledovaných parametrov. V tab. 2 sú zhrnuté údaje z merania vzorky BS 95 pre dve plochy požiaru 0,25 m^2 a 0,66 m^2.

4 VÝSLEDKY A DISKUSIA

4.1 EXPERIMENTÁLNE VÝSLEDKY PRE POŽIAR MB A 21B

Počas realizácie experimentov bol sledovaný len turbulentný plameň ako to charakterizovali [19,20]. Získané výsledky vychádzali z pôvodného objemu paliva V_0, sledujeme objemu vyhoreného paliva V_H, a zvyšku paliva po prerušení horenia V_Z.

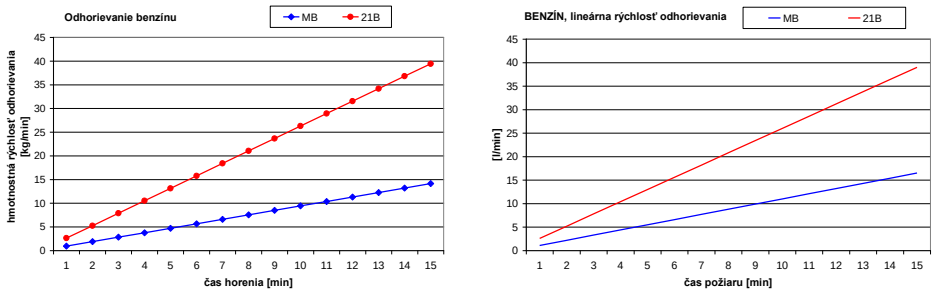
Vypočítaná hmotnostná rýchlosť odhorievania a hmotnostnú rýchlosť $\dot{m}$ odhorievania na jednotkovú plochu $\dot{m}_H$. s určením smerodajnej odchýlky poukázala na vzniknutý rozptyl v dôsledku náročnosti realizácie experimentu. S nárastom času horenia narastá objem odhoreného paliva lineárne, ale rýchlosť odhorievania pre jednotlivé časy je relatívne rovnaká a narastá rýchlosti odhorievania v závislosti na ploche požiaru (tab.2).

Tab. 2. Priemerné hodnoty rýchlosti odhorievania benzínu pri ploche požiarov 0,25m^2, 0,66 m^2.

Plocha požiaru triedy B [m^2]	Čas horenia t [min]	Množstvo odhoreného paliva V_H [m^3]	Odhorievanie	
			$\dot{m}$	$\dot{m}_H$
			[kg.min^{-1}]	[kg..m^{-2} .min^{-1}]
MB 0,25	1	1,01 ±0,108	1,28 ±0,352	5,21 ± 0,561
	3	2,68 ±0,05	1,145±0,0025	4,58± 0,085
	5	4,78±0,28	1,27±0,087	4,90± 0,285
	X	**Priemer**	**1,23**	**4,89**
21B 0,66	1	2,7 ± 0,090	3,48±0,105	5,28± 0,155
	3	7,905±0,362	3,36±0,134	5,09± 0,28
	5	13,13±0,204	3,37±0,178	5,105± 0,095
	X	**Priemer**	**3,40**	**5,02**

V experimente bol postupne zvyšovaný čas horenia (1, a 5 min.) pre sledovanie rýchlosti odhorievania [kg.min^{-1}] a hmotnostnej rýchlosť odhorievania (Mass flow rate) [kg.min^{-1}.m^2], v niektorých literatúrach uvádzaná ako „hmotnostná rýchlosť šírenia požiaru“ [21]. V literatúre [13] sa uvádza pre ropné produkty Mass flow rate 2,19 kg.min^{-1}.m^2. Uvádza sa aj ako parameter vyparovania (evaporation rates), čo v našom prípade tiež vystihuje daný proces. Pre všetky sledované plochy požiaru vychádza relatívne porovnateľná hodnota.

S nárastom plochy požiaru, dochádza k intenzívnejšiemu odhorievaniu u modelu požiaru triedy B na ploche 0,66 m^2, v tom istom čase ako u modelu požiaru triedy na ploche 0,25 m^2. Pri extrapolácií získaných výsledkov je možné predpokladať že s príslušným časom dôjde k odhorievaniu paliva benzínu podľa lineárnej závislosti y=0,9426x (obr. 2a) pri ploche požiaru MB 0,25 m^2 a y=2,6288x pre plochu 21B 0,66 m^2 . Z uvedených výsledkov nie je možné vyvodiť extrapoláciu nárastu alebo poklesu lineárnej závislosti množstva odhorievaného paliva od plochy požiaru. Je možné orientačne predpokladať na základe času horenia akou rýchlosťou bude palivo vyhorievať v príslušnom časovom intervale (obr. 2a).



a) b)

Obr. 2a) Lineárna závislosť hmotnostnej rýchlosti odhorievania benzínu v modeli požiaru triedy MB a 21B (plocha požiaru 0,25m^2 a 0,66 m^2).

Obr. 2b) Lineárna závislosť nárastu vyparovania benzínu v modeli požiaru triedy MB a 21B (plocha požiaru 0,25m^2 a 0,66 m^2).

Pri sledovaní rýchlosti vyparovania by bol výhodnejší parameter „l.min^{-1}“, ktorý by poukazoval na množstvo vyhoreného paliva za minútu (tab.3). Pre požiar MB vychádza rýchlosť oveľa menšia, rádovo 1,5-krát, voči ploche požiaru triedy 21B.

Tab.3. Vyparovanie „ml.min^{-1}“ Benzínu pri modely požiaru MB a 21B.

Vyparovanie / lineárna rýchlosť odhorievania	MB (Plocha požiaru 0,25m^2,)	21B (Plocha požiaru 0,66m^2)
„l.min^{-1}“	1,1 ±0,12	2,63 ± 0,73

Vytvorená grafická závislosť správania sa benzínu v nádrži pri požiari (do 15 min) z hľadiska množstva vyhoreného paliva (obr.2a) má význam z hľadiska hodnotenia zásahu vzniknutého požiaru triedy B, kde veliteľ zásahu musí zvažovať, či sa mu „oplatí“ vstúpiť do požiaru s hasiacou technikou a hasiť alebo je už požiar v štádiu rozvinutého požiaru a množstvo vyhoreného paliva v nádrži je minimálne, lineárna rýchlosť požiaru vysoká, čiže je výhodnejšie pod dozorom nechať palivo Benzín vyhorieť (obr. 2b). [14,15,16,17]

4.2 EXPERIMENTÁLNE VÝSLEDKY PRE POŽIAR 89B

Zvolil sa postup postupného a úplného vyhorenia paliva – ropného produktu a sledoval sa čas, za ktorý sa uvedený proces realizuje s určením hmotnostnej rýchlosti odhorievania. Odhorievanie vykazuje určité odchýlky od merania v požiari 21B resp. MB, čo môže byť spôsobené orientačným prevedením experimentov. V rámci postupného odhorievania paliva sa stanovil čas 2 minúty. Horenia. Benzín bol následne zapálený na vodnej hladine. Sledoval sa efekt vretie vody, ktorý pôsobilo teplo z požiaru. Čo vzbudzuje dojem, že sa uvoľňuje energia, ktorá podporuje samotné horenie.

5 ZÁVER

Na základe získaných experimentov je možné konštatovať:

- benzín je ľahko zápalná kvapalina (I. tr. nebezpečnosti podľa Vyhl. 96/2004 Z.z. [4])

- rýchlosť odhorievania benzínu je výrazne ovplyvnená tvarom nádoby a veľkosťou plochy hladiny benzínu, pričom je možné sledovať príslušnú závislosť,
- s narastajúcou plochou požiaru triedy B narastá rýchlosť odhorievania platí, pričom u benzínu pri náraste plochy požiaru o 2,5 násobok dochádza k nárastu rýchlosti trojnásobne.

Poďakovanie
Táto práca bola podporovaná Vedeckou grantovou agentúrou MŠVVaŠ a SAV SR projekt č. VEGA 1-0547-15 „Experimentálne meranie a modelovanie fugitívnych emisií“.
Táto práca bola podporovaná Kultúrnou a edukačnou grantovou agentúrou MŠVV a ŠSR projekt č. KEGA 035UMB-4/2015 „Environmentálne manažérstvo vo výrobnej sfére“.

LITERATÚRA

[1] MARKOVÁ, I. et al. 2012. *Ochrana osôb a majetku pred požiarom*. Zvolen : ES TU vo Zvolene.

[2] KAČÍKOVÁ, D. et al. 2007. *Materials in Fire Protection.* Zvolen : Technická univerzita vo Zvolene, 2005[2006]. - 124 s. ISBN 80-228-1530-6.

[3] DEMIDOV, P. G. 1963. *Burning and Properties of flammable substances.* Bratislava : SVTL, 1963, 284 s.

[4] MONOŠI, M. 2009. *Accidents and accident with hazardous substances in the Žilina Region*. In: Environmental and safety aspects of fire and accidents [CD-rom] : conference with international participation, 12th Februára 2009, MtF STU Trnava. - Trnava: AlumnilPress, 2009. - ISBN 978-0-8096-080-3. - S. 117-126.

[5] LAUKO, J. 2012. *Hodnotenie hasiacej účinnosti ťažkej peny pri jej aplikácií na veľko-rozmerové požiare triedy B nepolárnych kvapalín*: dizertačná práca. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene. Drevárska fakulta. 2012. 170 strán, 7 príloh.

[6] MARKOVÁ, I. 2004. *Horľavé kvapaliny I. Všeobecná charakteristika*. In: I. vedecko-odborná konferencia s medzinárodnou účasťou Ochrana pred požiarmi a záchranné služby. ŽU Žilina, 4. - 5. máj 2004, CD-room.

[7] CPR 16E: *Methods for the determination of possible damage to people and objects from releases of hazardous material*. First edition 1992, TNO (The Netherlands Organisation of Applied Scientific Research).

[8] NOVOTNÝ, M. - TUREKOVÁ, I. 2009. *Štúdium rýchlosti odhorievania etanolu.* In Požární ochrana 2009. Ostrava : VŠB-TU 9.-10.9.2009. s. 400-410.

[9] NOVOTNÝ, M. - TUREKOVÁ, I. 2010. *Rýchlosť odhorievania alkoholov pre malé priemery požiarov.* In Požární ochrana 2010. Ostrava : VŠB-TU v Ostravě, 2010, s. 229-232. ISBN 978-80-7385-087-6.

[10] NOVOTNÝ, M. - TUREKOVÁ, I. 2011. *Vplyv výšky hladiny horľavej kvapaliny na rýchlosť odhorievania.* Spektrum : Ostrava : FBI a SPBI. Roč. 9, č. 2. s. 18--22. ISSN 1211-6920.

[11] HRONCOVÁ, E. – LADOMERSKÝ, J. – PUSKAJLER, J. 2014. *Emission of pollutants from torrefaction of wood*. In: European Journal of Environmental and Safety Sciences. 2014 Vol. 1, Issue 2, p. 19-22. ISSN: 1339-4797.

[12] KVARČÁK, M., ROGOWSKI, J.: *Hašení požárů směsných paliv*. Spektrum, roč. 5, číslo 12/2005.

[13] Smernica 2003/30/EC

[14] MONOŠI, M., KAPUSTNIAK, J.: *Opatrenia na zvýšenie účinnosti hasenia požiarov*. In: Sustainability - Environment – Safety 2012. Bratislava . - Žilina: Strix/Edícia ESE-11, 1. vydanie, ISBN 978-80-89281-84-8. 339 s.

[15] J.-Y. CHEN,. 2008. *Pool Fire and Fire Storms*, dostupné na : http://www.me.berkeley. edu/ME140/F07/lab-F07/Lab7.pdf (10.12.2008)

[16] HAMINS, A., KASHIWAGI,T., BURCH , R.R. 1996. *Characteristics of Pool Fire Boorning*. American Society for Testing and Materials (ASTM), Philadelphia USA, 1996.

[17] Pokyn Prezidenta HaZZ 39/2006 Z.z. o výpočte síl a prostriedkov pre účinné zdolávanie požiaru.

[18] KBU Benzín Super 95 [on-line] Dostupné na internete: www.slovnaft.sk/repository/678169.pdf

[19] STN EN 1568-4 Fire extinguishing media - Foam concentrates - Part 4: Specification for low expansion foam concentrates for surface application to water-miscible liquids.

[20] EN 3-7 + A1: 2008. Portable fire extinguishers. Part 7: Characteristics, performance requirements and test methods.

[21] CSN EN 3-8: 2006. Portable fire extinguishers - Part 8: Additional requirements to EN 3-7 for the construction, resistance to pressure and mechanical tests for extinguishers with a maximum allowable pressure equal to or lower than 30 bar

Článok recenzovali dvaja nezávislí recenzenti.