

EXPERIMENTÁLNA A NUMERICKÁ ANALÝZA VPLYVU TRHLÍN NA UHOĽNATENIE DREVENÝCH PRVKOV

EXPERIMENTAL AND NUMERICAL ANALYSIS OF INFLUENCE OF FISSURES ON THE CHARRING OF TIMBER MEMBERS

Zuzana Kamenická, Jaroslav Sandanus, Tomáš Klas, Peter Rantuch, Jozef Martinka, Karol Balog

ABSTRAKT

Pri rôznych rozmeroch trhlín môže dochádzať k zmenšeniu reziduálneho prierezu a tým aj mechanickej odolnosti. V tomto článku je analyzovaná rýchlosť uhoľnatenia drevených prvkov s rôznymi trhlinami. Vzorky sú vystavené tepelnému toku v kónickom kalorimetri. Cieľom článku je popísať experiment drevených vzoriek s trhlinami a analyzovať výsledky získané pomocou numerickej analýzy. Z predbežných analýz vyplýva, že trhliny môžu mať významný vplyv na uhoľnatenie dreva v mieste trhliny a v prípade viacerých trhlín v priereze na celý prierez.

Kľúčová slova: drevo, trhliny, uhoľnatenie

ABSTRACT

In case of various dimensions of fissures, it is possible that as the cross-section reduces to the residual one, the mechanical resistance will be reduced as well. The charring rate of timber members with various fissures are analysed in this paper. The samples are exposed to heat flux in a cone calorimeter. The aim of the paper is to describe the experiment of timber samples with fissures and to analyse the results by means of a numerical analysis. Preliminary analysis shows that fissures can have a significant influence on the charring rate at a site of fissure and in case of several fissures they can have an influence on the whole cross-section.

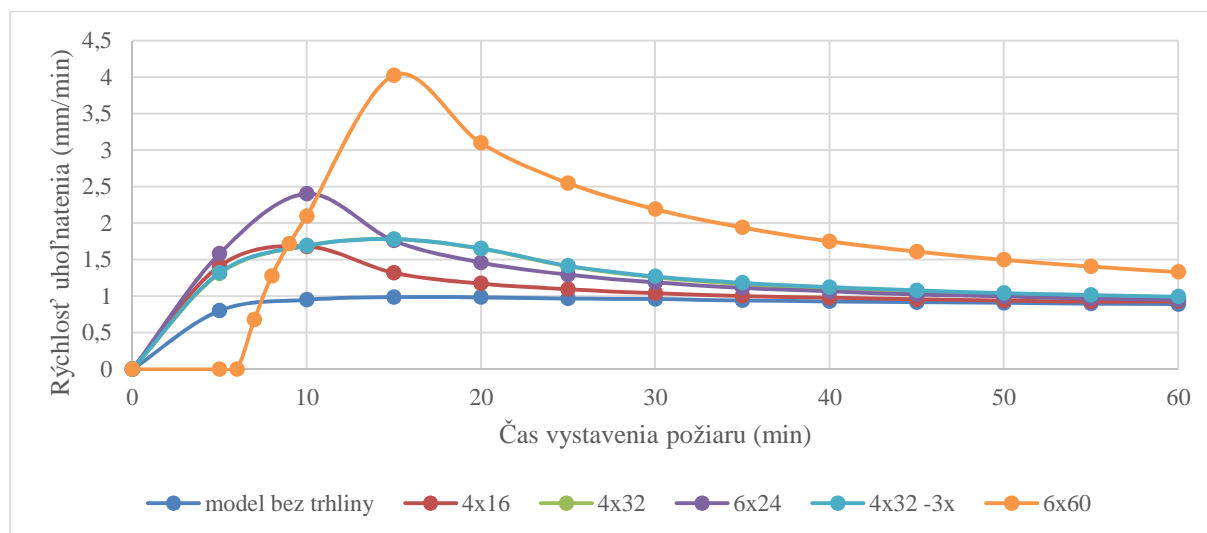
Key words: timber, fissures, charring

1 ÚVOD

Pre určenie reziduálneho prierezu je relevantné vypočítať hĺbku zuhoľnatenia (Werther, 2016), s ktorou súvisí aj rýchlosť uhoľnatenia. Hĺbka zuhoľnatenia je uvažovaná ako poloha izotermy určitej teploty, ktorá má rozdielne hodnoty podľa rôznych publikácií, a to od 260 do 350 °C (Erchinger, 2009). Najčastejšie sa uvažuje s izotermou 300 °C, čo je aj v súlade s normou (STN EN 1995-1-2, 2008). Rýchlosť uhoľnatenia je možné vypočítať tak, že hĺbka zuhoľnatenia bude podelená časom vystavenia požiaru. V Eurokóde 5, časť 2 sa nachádza tabuľka s hodnotami rýchlosti uhoľnatenia, ktoré sú pri zjednodušených pravidlách uvažované ako konštanty počas celého času vystavenia požiaru. Pre mäkké drevo a buk platí, že návrhová teoretická rýchlosť uhoľnatenia je $\beta_n = 0.7$ mm/min pre lepené lamelové drevo (s $\rho_k \geq 290$ kg/m³) a $\beta_n = 0.8$ mm/min pre rastené drevo (s $\rho_k \geq 290$ kg/m³). Tento rozdiel je spôsobený tým, že v rastenom dreve sa nachádza viac trhlín ako v lepenom lamelovom dreve (Frangi, 2010) a tak dochádza k rýchlejšiemu uhoľnateniu dreva. V publikácii (Fornather, 2001) je uvedené, že by mal byť zohľadnený vplyv trhlín a medzier so šírkou väčšou ako 4 mm, ale neexistuje žiadny návrh, ako zohľadniť tento účinok na uhoľnatenie dreva (Frangi, 2010).

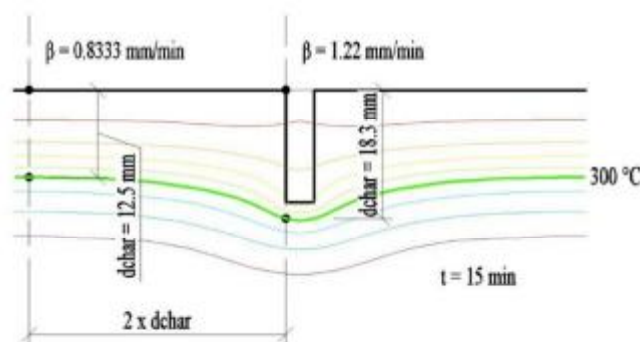
2 NUMERICKÁ ANALÝZA

V programe na báze MKP (Ansys Workbench) boli vytvorené modely s jednotlivými trhlinami. Tepelné vlastnosti dreva boli zadané podľa Eurokódu 5, časť 2 – príloha B (STN EN 1995-1-2, 2008). Tepelné vlastnosti vzduchu v trhlíne boli zadané podľa (Property tables and charts, ?), ale hodnoty tepelnej vodivosti boli prenasobené faktorom prebraným z tab. 3.9 publikácie (Erchinger, 2009) pre rôzne rozmery medzier.



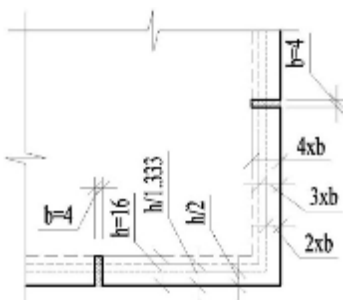
Obr. 1 Rýchlosť uhoľnatia pri rôznych rozmeroch trhlín

Na obr. 1 sú znázornené priebehy rýchlosti uhoľnatia v mieste trhliny v porovnaní s modelom bez trhlín (resp. s miestom neovplyvneným trhlinou). Na obr. 2 je zobrazený príklad priebehu teplôt v okolí trhliny. Sú tu určené rýchlosti uhoľnatia v mieste trhliny a v určitej vzdialenosti od trhliny, kde je priebeh teplôt neovplyvnený trhlinou. Táto vzdialenosť je vo väčšine prípadov približne $2 \times d_{\text{char}}$ ($2 \times$ hĺbka zuhoľnatia v mieste trhliny).

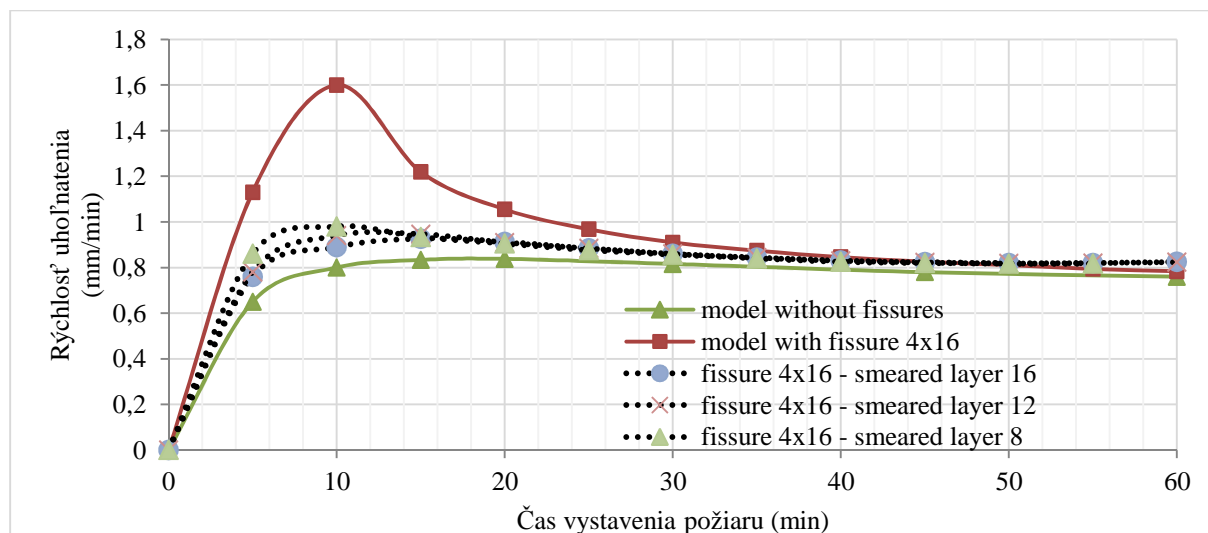


Obr. 2 Príklad priebehu teplôt v priereze s trhlinou 4x16 v 15. minúte požiaru s vyznačenou polohou izotermy 300 °C a rýchlosťou uhoľnatia na hrane trhliny a vo vzdialenosti, ktorá nie je ovplyvnená trhlinou

Pre zjednodušenie modelovania trhlín v dreve je možné vytvoriť tzv. „smeared layer“ („rozmazanú vrstvu“) (obr. 3), kde je použitá vrstva určitej hrúbky po celom obvode prierezu, ktorá má váhovo spriemerované vlastnosti dreva a vzduchu v trhlíne. Pri tejto vrstve nie je potrebné vedieť presnú polohu trhliny v priereze. Je potrebné poznať množstvo a rozmery trhlín a ich vplyv je tým „rozmazaný“ po celom obvode prierezu. Rýchlosť uhoľnatia s takýmto prierezom je v prvých cca 30 minútach vyššia ako pri priereze bez trhlín a po tomto čase je už takmer rovnaká (obr. 4).



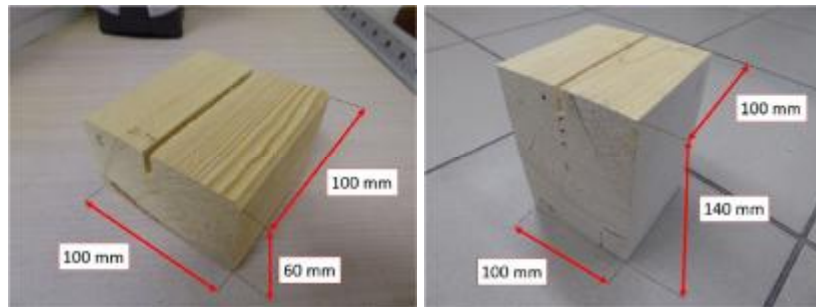
Obr. 3 „Smeared layer“ s použitím vrstiev s rôznou hrúbkou pre trhlinu 4x16



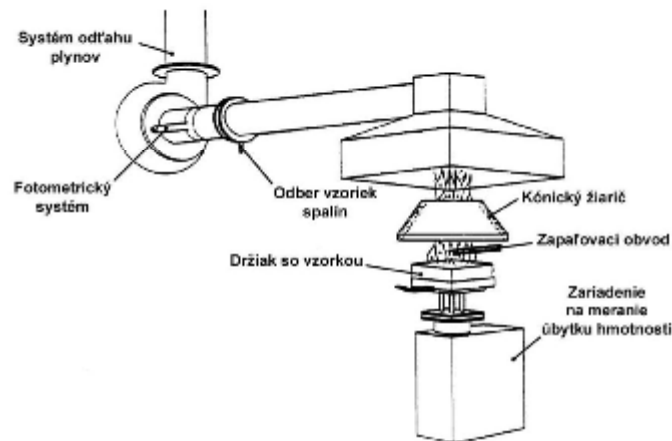
Obr. 4 Rýchlosť uhoľnatenia v závislosti od času pre model s lokálnou trhlinou 4x16 v porovnaní s modelmi „smeared layer“

3 EXPERIMENT

Pre stanovenie vplyvu odlišných rozmerov trhlín na rýchlosť uhoľnatenia bol plánovaný experiment v spolupráci s Materiálovotechnologickou fakultou so sídlom v Trnave (STU v Ba), kde prebieha celý experiment. Všetky vzorky sú z KVH reziva triedy C24 od firmy WHC. 30 vzoriek malo rozmery 60 x 100 x 100 mm (obr. 5 vľavo), ktoré boli skúšané v kónickom kalorimetri (obr. 6). Tento prístroj je používaný na meranie rýchlosti uvoľňovania tepla, pre poskytnutie potrebných údajov pre predpovedanie správania sa požiaru, pre zistenie kvality výrobkov alebo na iné využitia (Kormaníková, 2014). 30 vzoriek malo pôvodne rozmery 140 x 240 x 200 mm, ktoré mali byť skúšané v muffľovej peci. Avšak po poruche pece, ktorú sa nepodarilo včas opraviť, boli tieto vzorky rozrezané na viac kusov, aby mali rozmery 140 x 100 x 100 mm (obr. 5 vpravo) a dali sa použiť na skúšky v kónickom kalorimetri. Väčšie vzorky boli rozdelené do 6 skupín po 10 až 20 kusov a menšie vzorky do 6 skupín po 5 kusov, pričom jedna skupina je bez trhlín a zvyšné skupiny sú s rôznymi rozmermi trhlín. Prvá skupina vzoriek má jednu trhlinu 4 x 16 mm, druhá skupina je bez trhlín, tretia skupina s trhlinou 4 x 32 mm, štvrtá skupina 6 x 24 mm, piata skupina 6 x 60 mm (táto trhlina nebola uskutočnená pri menších vzorkách vzhľadom na rozmery vzoriek, a preto bola nechaná táto skupina bez trhlín) a šiesta skupina má tri trhliny 4 x 32 mm. Objemová hmotnosť väčších vzoriek je 416,74 kg/m³ a vlhkosť 9,5 %. Pri menších vzorkách je objemová hmotnosť 477,28 kg/m³ a 7,7 %.



Obr. 5 Menšie vzorky 60 x 100 x 100 mm (vľavo) a väčšie vzorky 140 x 100 x 100 mm (vpravo)



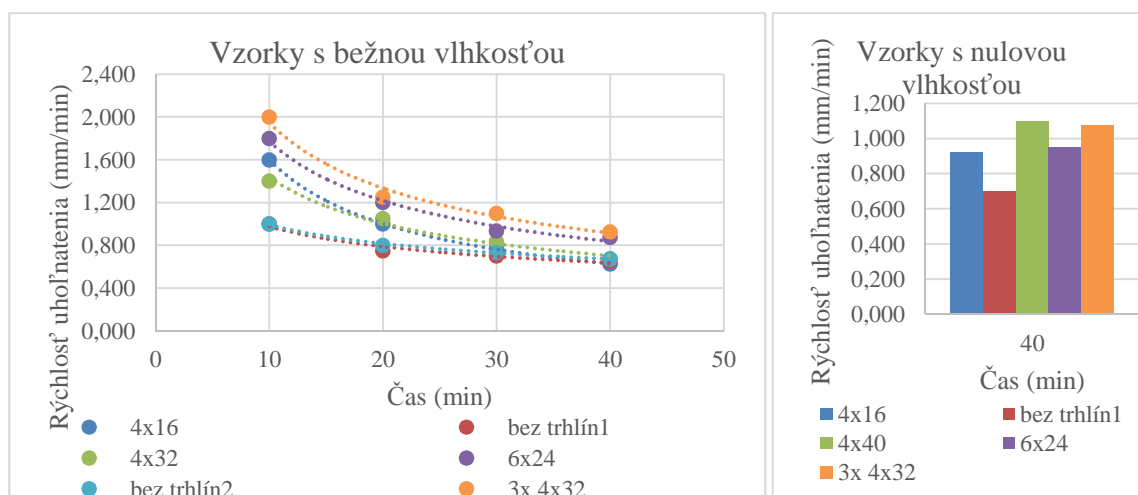
Obr. 6 Kónický kalorimeter (Rantuch a kol., 2015)

3.1 Vzorky 60 x 100 x 100 mm

Pri týchto vzorkách bol nastavený konštantný tepelný tok 25 kW/m^2 a boli sledované rôzne veličiny (rýchlosť uvoľňovania tepla, efektívne spaľovacie teplo, rýchlosť hmotnostného úbytku, celkové uvoľnené teplo, rýchlosť produkcie dymu, hmotnosť vzorky a iné). Vzorky boli umiestnené v špeciálnych kovových držiakoch na váhe v takej výške, aby povrch vzoriek bol 25 mm od žiariča kónického kalorimetra. Pri týchto vzorkách neboli použité termočlánky. Hĺbka a rýchlosť uhoľnatenia v čase bola určovaná tým, že pri každej skupine vzoriek bola jedna vzorka vystavená tepelnému zaťaženiu 10 min, druhá 20 min, tretia 30 min a štvrtá 40 min. Po tomto čase bola vzorka vždy uhasená a neskôr rozrezaná na polovicu kolmo na smer vláken, aby bola vizuálne určená hĺbka zuhoľnatenia v danom čase. Z toho bola následne vypočítaná rýchlosť uhoľnatenia (obr. 8 vľavo). Posledná piata vzorka z každej skupiny bola vysušená na nulovú vlhkosť a vystavená tepelnému zaťaženiu po dobu 40 min (obr. 8 vpravo). Na obr. 7 (vľavo) sú vzorky počas experimentu a na obr. 7 (vpravo) po experimente.



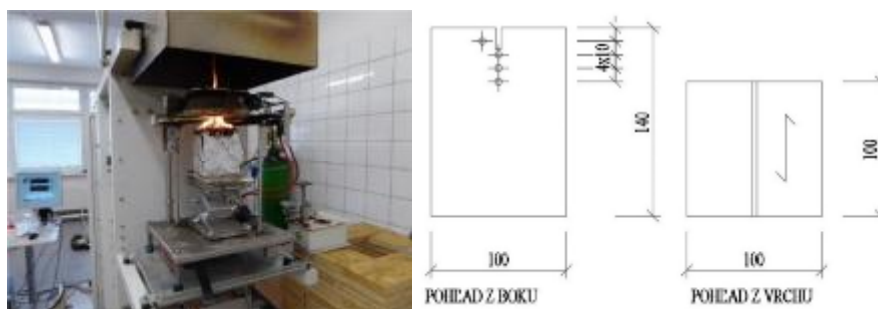
Obr. 7 Priebeh experimentu pri vzorkách 60 x 100 x 100 mm (vľavo) a príklad rozrezanej vzorky (vpravo)



Obr. 8 Rýchlosť uhoľnatia vzoriek 60 x 100 x 100 mm pri bežnej počiatkovej vlhkosťi (vľavo) a pri nulovej počiatkovej vlhkosťi (vpravo)

3.2 Vzorky 140 x 100 x 100 mm

Väčšie vzorky boli vystavené konštantnému tepelnému toku 50 kW/m^2 . Pri týchto vzorkách boli použité termočlánky pre sledovanie teplôt v daných vzdialenostiach od povrchu prierezu (obr. 9 vpravo) počas celého času. Vzorky boli vystavené tepelnému zaťaženiu po dobu 40 min. Vzorky neboli umiestnené v špeciálnych držiakoch a ani na váhe, ale boli na podstavci, ktorý umožňoval zdvíhanie vzorky pre zabezpečenie vzdialenosti 25 mm od povrchu vzorky po žiaric kónického kalorimetra (obr. 9 vľavo). Zachovanie tejto vzdialenosti bolo dôležité vzhľadom na udržanie konštantného tepelného toku. Výsledky z týchto vzoriek budú predmetom inej publikácie.



Obr. 9 Priebeh experimentu pri vzorkách 140 x 100 x 100 mm (vľavo) a schéma umiestnenia termočlánkov v týchto vzorkách (príklad pri vzorkách s trhlinou 4x16) (vpravo)

4 ZÁVER

Z predbežných analýz trhlín v dreve vyplýva, že trhliny môžu mať významný vplyv na uhoľnatie dreva v mieste trhliny a v prípade viacerých trhlín v priereze dokonca na celý drevený prierez. Vyššie uvedený postup pre analýzu jednotlivých trhlín v programe je možné využiť napr. pri určení požiarnej odolnosti už existujúcich drevených konštrukcií, na ktorých sa časom vyskytli rôzne výsušné trhliny. Vzhľadom na náročnosť modelovania trhlín v programe na báze MKP by bolo možnosťou zjednodušiť problematiku pomocou spomenutej „smeared layer“. Tento spôsob ale stále nie je dostatočne jednoduchý na bežné použitie v stavebnej praxi. Po získaní štatistických údajov o najčastejších trhlinách v dreve by bolo možné vytvoriť nové všeobecné odporúčania pre určenie rýchlosti

uhoľnatenia a hĺbky zuhoľnatenia, v prípade dokázania výskytu trhlín takých rozmerov a frekvencie výskytov, že by mali vplyv na uhoľnatenie dreva.

Použitá literatura

- [1] Erchinger, C.-D.: Zum Verhalten von mehrschnittigen Stahl-Holz-Stabdübelverbindungen im Brandfall [online]. Zürich, 2009 [cit. 2016-12-08]. Dostupné z: <http://e-collection.library.ethz.ch/eserv/eth:2352/eth-2352-01.pdf>. PhD. Thesis. Institut für Baustatik und Konstruktion Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
- [2] Fornather, J. - Bergmeister, K. - Hochreiner, G.: Versuchsbericht – Kleinbrandversuchsreihe 2 Teil 1 (KBV 2/1) – Versuche mit Rissen. Universität für Bodenkultur, Institut für konstruktiven Ingenieurbau. Vienna, 2001
- [3] Frangi, A. a kol.: Fire safety in timber buildings: Technical guideline for Europe [online]. 2010 [cit. 2015-09-09]. Dostupné z: http://eurocodes.jrc.ec.europa.eu/doc/Fire_Timber_Ch_5-7.pdf
- [4] Kormaníková, S.: Rýchlosť uvoľňovania tepla pri požiaroch osobných automobilov [online]. Praha, 2014 [cit. 2017-10-15]. Dostupné z: kps.fsv.cvut.cz/file_download.php?fid=5563. Diplomová práca. ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE, Fakulta stavební, Katedra konstrukcí pozemních staveb. Vedúci práce Ing. Marek Pokorný, Ph.D.
- [5] Property tables and charts (SI units) [online]. [cit. 2016-09-22]. Dostupné z: <https://www.researchgate.net/file.PostFileLoader.html?id=54c8f917cf57d749248b4689&assetKey=AS%3A273740741447683%401442276287686>
- [6] Rantuch, P. - Kačíková, D. – Martinka, J. – Balog, K.: Vplyv hustoty tepelného toku na termický rozklad osb. ACTA FACULTATIS XYLOLOGIAE ZVOLEN [online]. 2015, **57**(2), 125-134 [cit. 2018-03-14]. DOI: 10.17423/afx.2015.57.2.13.
- [7] STN EN 1995-1-2: Eurokód 5: Navrhovanie drevených konštrukcií. Časť 1-2: Všeobecné pravidlá. Navrhovanie konštrukcií na účinky požiaru, 2008
- [8] Werther N.: External and Internal Factors Influencing the Charring of Timber – an Experimental Study with Respect to natural Fires and Moisture Conditions. In: Structures in Fire: Proceedings of the Ninth International Conference [online]. Lancaster: DEStech Publications, 2016, pp. 650-658 [cit. 2017-01-23]. ISBN 98 506-1-9 023-5-5. Dostupné z: <http://www.destechpub.com/product/structures-fire-2016/>