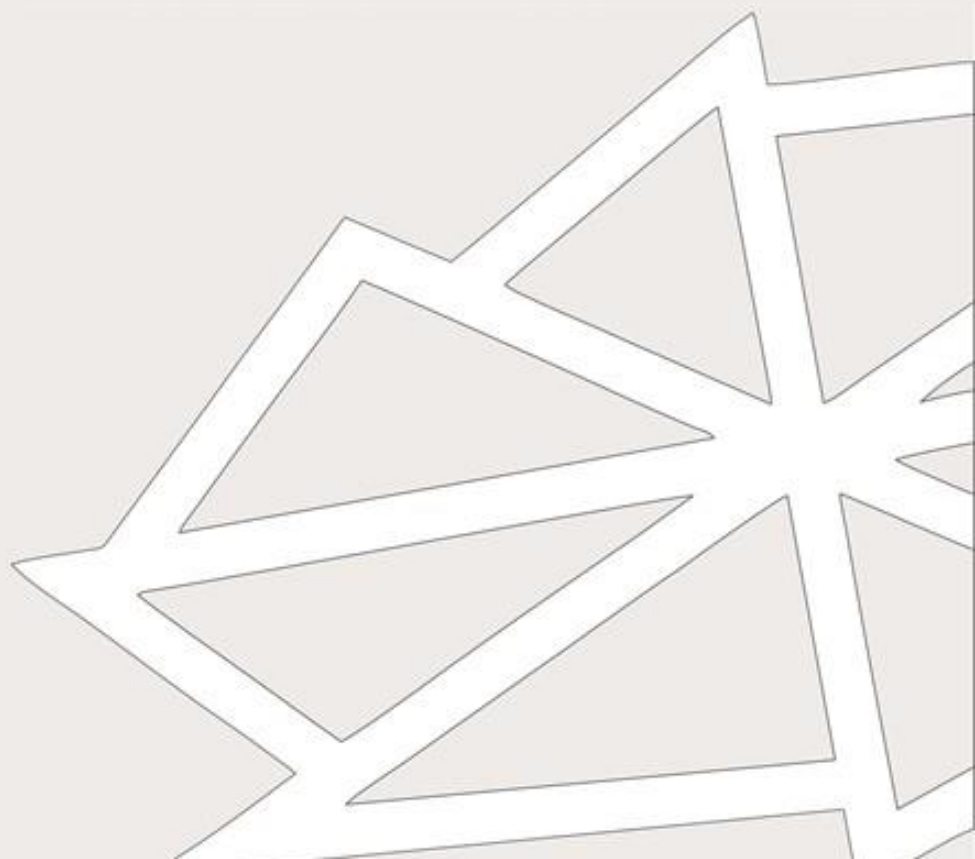


TECHNICAL UNIVERSITY IN ZVOLEN
FACULTY OF WOOD SCIENCES AND TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF FIRE PROTECTION

Δ Delta

FIRE PROTECTION & SAFETY
Scientific Journal

Vol. 12 Iss. 1
July 2018



ΔDelta is an international scientific journal, published twice a year, in electronic and print form, in two language mutations (English and first author mother tongue).

ΔDelta journal publishes reviewed original scientific papers, review papers, case studies and short communications devoted to research on fire protection and safety, occupational health and safety and protection of persons and property.

Journal topics:

Fire and Its Propagation

- Combustion and Fire Chemistry and Physics
- Fire Behaviour Modelling
- Fire Investigation
- Smoke Control and Combustion Toxicity

Effect of Heat and Fire on Materials and Products

- Fire Properties of Materials
- Fire Testing
- Thermal Stability and Thermal Degradation of Materials and Products

Fire Protection and Fire-Fighting

- Active and Passive Fire Protection Systems and Methods
- Fire-Fighting Equipment and Fire Tactics
- Fire Safety Design of Buildings and Technology
- Rescue Works and Rescue Equipment

Protection of persons, property and environment

- Environmental Impacts of Fires and Accidents
- Fire and Accident Risk Management
- Fire Safety Management
- Interaction Human – Fire – Environment

Occupational Health and Safety

- Injury Investigation Methods
- Safety Engineering

ΔDelta je medzinárodný vedecký časopis vydávaný 2-krát ročne, v elektronickej a printovej forme, súčasne v dvoch jazykových mutáciách (angličtina a materinský jazyk prvého autora).

Časopis *ΔDelta* uverejňuje recenzované pôvodné vedecké práce, prehľadové články, prípadové štúdie a krátke oznámenia z oblasti protipožiarnej ochrany a bezpečnosti, bezpečnosti a ochrany zdravia pri práci a ochrany osôb a majetku.

Tematické oblasti časopisu:

Požiar a jeho rozvoj

- Dynamika požiaru
- Chémia a fyzika horenia a požiaru
- Modelovanie správania sa požiaru
- Riadenie dymu a toxicita splođín horenia
- Zisťovanie príčin vzniku požiarov

Vplyv tepla a ohňa na materiály a výrobky

- Požiarne skúšobníctvo
- Požiarotechnické vlastnosti materiálov
- Termická stabilita a termická degradácia materiálov a výrobkov

Protipožiarne ochrana a bezpečnosť

- Požiarne bezpečnosť stavieb a technológií
- Požiarne taktika a hasičská technika
- Systémy a metódy aktívnej a pasívnej protipožiarnej ochrany
- Záchranne práce a záchranárska technika

Ochrana osôb, majetku a životného prostredia

- Environmentálne dopady požiarov a havárií
- Interakcia človek – požiar – prostredie
- Manažment požiarnej bezpečnosti
- Manažment rizík vzniku požiarov a havárií

Bezpečnosť a ochrana zdravia pri práci

- Bezpečnostné inžinierstvo
- Metódy zisťovania príčin vzniku úrazov

TECHNICAL UNIVERSITY IN ZVOLEN
FACULTY OF WOOD SCIENCES AND TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF FIRE PROTECTION

Δ Delta

FIRE PROTECTION & SAFETY
Scientific Journal

Vol. 12 Iss. 1
July 2018

Editorial Office of the *Delta* journal / Redakcia časopisu *Delta*

Contact / Kontakt

Technical University in Zvolen
Faculty of Wood Sciences and Technology, Department of Fire Protection
T.G. Masaryka 24, 960 53 Zvolen
Slovak Republic
e-mail: delta@tuzvo.sk
website: <https://kpo.tuzvo.sk/sk/delta-scientific-journal>

Editors / Editori

Eva FEKIAČOVÁ
František KAČÍK
Danica KAČÍKOVÁ
Andrea MAJLINGOVÁ
Jaroslava ŠTEFKOVÁ
Rastislav ŠULEK
Ľudmila TEREŇOVÁ

International Editorial Board / Medzinárodná redakčná rada

Editorial Board Chief / Predseda redakčnej rady

Danica KAČÍKOVÁ

Editorial Board Members / Členovia redakčnej rady

Karol BALOG, Slovak University of Technology in Bratislava, Slovak Republic
Andries JORDAAN, University of the Free State, Bloemfontein, South Africa
František KAČÍK, Technical University in Zvolen, Slovak Republic
Omer KUCUK, University Kastamonu, Turkey
Peter LOŠONCI, University of Security Management in Kosice, Slovak Republic
Andrea MAJLINGOVÁ, Technical University in Zvolen, Slovak Republic
Linda MAKOVICKÁ OSVALDOVÁ, University of Zilina, Slovak Republic
Jozef MARTINKA, Slovak University of Technology in Bratislava, Slovak Republic
Esko MIKKOLA, KK-Fireconsult Ltd., University of Helsinki, Finland
Andrei NIKULIN, National Mineral Resources University, Saint Peterburg, Russia
Anton OSVALD, Slovak Republic
Jiří POKORNÝ, VSB-TU Ostrava, Czech Republic
Ágoston RESTÁS, National University of Public Service, Budapest, Hungary
Marianna TOMAŠKOVÁ, Technical University in Košice, Slovak Republic
Ivana TUREKOVÁ, Constantine the Philosopher University in Nitra, Slovak Republic
Qiang XU, Nanjing University of Science and Technology, P. R. China

Publisher / Vydavateľ

Technical University in Zvolen, T.G. Masaryka 24, 960 53 Zvolen, Slovak Republic
Published twice a year.
ISSN (print) 1337-0863

Content / Obsah

1. Jozef Martinka, Peter Rantuch, Karol Balog, Denis Benko, Janka Sulová: Toxicity of Combustion Products of Electrical Cables	5
2. Rastislav Veľas, Danica Kačíková: Calculation of selected fire properties of flammable liquids and liquid mixtures	17
3. Jana Luptáková, František Kačík: The Influence of Thermal Modification on Selected Wood Properties	33
4. Andrea Majlingová, Radovan Hilbert, Ágoston Restás: GIS Applications in the Disaster Management – an Overview	44
5. Barbara Falatová, Marta Ferreiro-González, Danica Kačíková, Štefan Galla, Miguel Palma, Carmelo G. Barosso: Multivariate Statistical Analysis in Fire Debris Analysis	82
6. Juraj Bebej, Katarína Korísteková, Jaroslav Škvarenina: Impacts of forest fires on forest soils - Current state and the next research perspectives	91
7. Veronika Veľková, Tatiana Bubeníková: Earth in a trap? 2018 – International Scientific Conference	99
8. Earth in a trap? 2018 – Abstracts of Conference Contributions	101

Toxicity of Combustion Products of Electrical Cables

Toxicita produktov horenia elektrických káblov

Jozef Martinka^{1,*}, Peter Rantuch¹, Karol Balog¹, Denis Benko¹, Janka Sulová²

¹ Slovak University of Technology in Bratislava, Faculty of Materials Science and Technology in Trnava, Jána Bottu 2781/25, 917 24 Trnava, Slovakia; jozef.martinka@stuba.sk, peter.rantuch@stuba.sk, karol.balog@stuba.sk, xbenkod@stuba.sk

² VUKI a.s., Rybníčná 38, 831 07 Bratislava 36, Slovakia; sulova@vuki.sk

* Corresponding author: jozef.martinka@stuba.sk

Original scientific paper

Received: May 15, 2018; Accepted: July 04, 2018; Published: July 31, 2018;

Abstract

In the areas of high fire risk, especially assembly occupancies, the most member countries of the European Union require or recommend electrical cables with the minimum reaction to fire class of B2_{ca}, s1, d1, a1. Although the combustion products cause most fire victims, the reaction to fire class does not assess the toxicity of combustion products in any way. Therefore, the toxicity of combustion products of electric cables with reaction to fire class of B2_{ca}, s1, d1, a1 is a widely discussed issue in fire engineering. The aim of the present study is to determine the toxicity of the combustion products of selected electric cables with a reaction to fire class of B2_{ca}, s1, d1, a1. Two CHKE-R J3x1.5 and CHKE-V J3x1.5 power cables, as well as one J-H(St)H control cable, were examined. The cables were tested on a cone calorimeter in a horizontal position at a heat flux of 50 kW.m⁻². The cone calorimeter and test procedure were in accordance with ISO 5600-1:2015. The toxicity of the combustion products was expressed by the critical ratio of the length of the burning cable to the volume at which the combustion products were dispersed and the fractional effective dose reached 0.3 in less than 1,800 seconds. Examined electrical cables showed a given ratio in the range of 1:1.5 to 1:2 m.m⁻³.

Keywords: combustion products; electrical cable; fire risk assessment; fractional effective dose; toxicity

1 Introduction

Toxicity of combustion products is the most significant negative impact of the fire. According to scientific works [1-4], combustion products are the cause of most (50 to 90%) of the victims of fire.

Combustion products show a high risk especially in areas with high density of occupancy by persons (especially meeting place and evacuation routes), in areas with occurrence of children (particularly nurseries) and in health facilities (particularly anaesthesiology-resuscitation department and intensive care unit). An important source of combustion products in these areas are electrical cables.

1 Úvod

Toxicita produktov horenia je najvýznamnejším negatívnym dopadom požiaru. Podľa vedeckých prác [1-4] sú produkty horenia príčinou väčšiny (50 až 90 %) obetí požiaru.

Produkty horenia predstavujú vysoké riziko najmä v priestoroch s vysokou hustotou obsadenia osobami (najmä zhromažďovacie priestory a únikové cesty), v priestoroch s výskytom detí (hlavne jasle a škôlky) a v zdravotníckych zariadeniach (najmä anesteziologicko-resuscitačné oddelenia a jednotky intenzívnej starostlivosti). Významným zdrojom produktov horenia v týchto priestoroch sú elektrické káble.

STN 92 0203:2013 [5] requires in most areas with high fire risk for the lives and health of persons the use of electric cables with minimum reaction to fire class of B2_{ca}, s1, d1, a1. Similarly technical regulations TP 13/2015 [6] requires almost all electrical cables in tunnels minimum reaction to fire class of B2_{ca}, s1, d1, a1. Electric cables with the reaction to fire class of B2_{ca}, s1, d1, a1 are currently the most used in the Slovak Republic in areas with high fire risk for persons. At the same time, according to [7] prepared amendment to the federal state building regulations in the Federal Republic of Germany, so that virtually in all areas of high fire risk to persons may be used only electric cables with minimum reaction to fire class of B2_{ca}, s1, d1, a1. The same approach is expected in virtually all the member countries of the European Union.

The reaction to fire class of the electric cable quantifies its contribution to the development of the fire. Additional classification for smoke production reflects the optical density of the smoke, the additional classification for burning droplets quantifies the burning drops falling from the electric cable during a fire and the additional classification on the acidity of combustion products quantifies the acidity of the distilled water into which the combustion products are captured. The issue of the reaction to fire class of construction products is described in more detail in the scientific paper [8]. However, the reaction to fire class and the additional classifications do not in any way assess the toxicity of the combustion products. It has not yet been published scientific work investigating the toxicity of combustion products of electric cables with reaction to fire class of B2_{ca}, s1, d1, a1. Data on the toxicity of combustion products are particularly important for fire engineering (mainly for calculating the toxicity of combustion products in space and available safe egress time). This issue is described in detail in scientific papers [9-12].

The toxicity of combustion products is expressed by fractional effective dose (FED). The fractional effective dose depends on the concentration of the main combustion products (especially carbon monoxide, hydrogen cyanide, hydrogen compounds, carbon dioxide, and oxygen concentration decrease). FED

products of combustion from materials that do not contain nitrogen and halogens

Technická norma STN 92 0203:2013 [5] vyžaduje vo väčšine priestorov s vysokým požiar- nym rizikom pre životy a zdravie osôb použí- vanie elektrických káblov s triedou reakcie na oheň minimálne B2_{ca}, s1, d1, a1. Rovnako technický predpis TP 13/2015 [6] vyžaduje takmer pre všetky elektrické káble v tuneloch triedu reakcie na oheň minimálne B2_{ca}, s1, d1, a1. Elektrické káble s triedu reakcie na oheň B2_{ca}, s1, d1, a1 sú teda v súčasnosti v Slovenskej republike najpoužívanejšie v priestoroch s vysokým požiar- nym rizikom pre osoby. Súčasne sa podľa [7] pripravuje novelizácia federálnych štátnych stavebných predpisov v Spolkovej republike Nemecko, tak, aby prakticky vo všetkých priestoroch s vysokým požiar- nym rizikom pre osoby mohli byť používané len elektrické káble s triedou reakcie na oheň minimálne B2_{ca}, s1, d1, a1. Rovnaký postup je očakávaný prakticky vo všetkých členských štátoch Európskej únie.

Trieda reakcie na oheň elektrického kábla kvantifikuje jeho príspevok k rozvoju požiaru. Doplnková klasifikácia na tvorbu dymu vyjadruje optickú hustotu dymu, doplnková klasifi- kácia na tvorbu horiacich kvapiek kvantifikuje horiace kvapky opadávajúce z elektrického kábla počas požiaru a doplnková klasifikácia na kyslosť produktov horenia kvantifikuje kyslosť destilovanej vody, do ktorej sú zachy- tené produkty horenia. Problematika triedy reakcie na oheň stavebných výrobkov je po- drobnejšie opísaná vo vedeckej práci [8]. Trie- da reakcie na oheň a rovnako doplnkové klasi- fikácie však žiadnym spôsobom nehodnotia toxicitu produktov horenia. Doteraz nebola publikovaná vedecká práca skúmajúca toxicitu produktov horenia elektrických káblov s triedou reakcie na oheň B2_{ca}, s1, d1, a1. Úda- je o toxicite produktov horenia sú dôležité najmä pre požiarne inžinierstvo (predovšetkým pre výpočet toxicity produktov horenia v priestore a času dostupného na evakuáciu osôb). Táto problematika je podrobne opísaná vo vedeckých prácach [9-12].

Toxicita produktov horenia sa vyjadruje frakčnou efektívnou dávkou (FED). Frakčná efektívna dávka závisí od koncentrácie hlav- ných produktov horenia (predovšetkým oxid

in their structure are counted as sum of FED of carbon monoxide (FED_{CO}) and FED of oxygen concentration decrease (FED_{O_2}). FED_{CO} is calculated according to equation (1) ISO 13571: 2012 [13] and FED_{O_2} is calculated according to equation (2) that is stated e.g. in verification method C/VM2: 2013 with commentary [14].

$$FED_{CO} = \left(\sum_t^{t_0} \frac{[CO]}{35\,000} \Delta t \right) \exp\left(\frac{[CO_2]}{5}\right) \quad (-) \quad (1)$$

$$FED_{O_2} = \sum_t^{t_0} \frac{\Delta t}{(\exp(8.13 - 0.54(20.9 - [O_2])))} \quad (-) \quad (2)$$

FED_{CO} : fractional effective dose of CO (-)

CO: average concentration of CO (ppm)

Δt : time increment (min)

CO_2 : average concentration of CO_2 (vol. %)

FED_{O_2} : fractional effective dose of O_2 (-)

O_2 : average concentration of O_2 (vol. %)

The average concentration of CO_2 in equation (1) is taken into account only if it is higher than 2 vol. %.

$FED = 1$ means that 50% of people exposed to combustion products lose consciousness. Loss of consciousness has a higher predictive value than death; because the person has lost consciousness cannot get out from the danger area alone. Verification Method C/VM2: 2013 [14] requires that persons fleeing the fire have not been exposed FED exceeding 0.3.

An important input to equations (1 and 2) is the concentration of CO, CO_2 and O_2 . Concentrations of CO, CO_2 and O_2 depend not only on the rate of their release from the burning material to the space but also on the volume to which the combustion products dispersed. The volume to which the products of combustion dispersed is determined by the geometry and space ventilation and the heat release rate from the fire. The detailed calculation procedure is, for example, in scientific works [15-16]. In

uhoľnatý, kyanovodík, zlúčeniny vodíka s halogénmi, oxid uhličitý a pokles koncentrácie kyslíka). FED produktov horenia z materiálov, ktoré neobsahujú vo svojej štruktúre dusík a halogény sa počíta ako súčet FED oxidu uhoľnatého (FED_{CO}) a FED poklesu koncentrácie kyslíka (FED_{O_2}). FED_{CO} sa počíta podľa rovnice (1), ktorú uvádza napr. ISO 13571:2012 [13] a FED_{O_2} sa počíta podľa rovnice (2), ktorú uvádza napr. verifikačná metóda C/VM2:2013 s komentárom [14].

FED_{CO} : frakčná efektívna dávka CO (-)

CO: priemerná koncentrácia CO (ppm)

Δt : časový prírastok (min)

CO_2 : priemerná koncentrácia CO_2 (obj. %)

FED_{O_2} : frakčná efektívna dávka O_2 (-)

O_2 : priemerná koncentrácia O_2 (obj. %)

Priemerná koncentrácia CO_2 sa v rovnici (1) zohľadňuje len v prípade, ak je vyššia, ako 2 obj. %.

Hodnota $FED = 1$ znamená, že 50 % osôb exponovaných produktmi horenia stratí vedomie. Strata vedomia má vyššiu výpovednú hodnotu, ako úmrtie, nakoľko osoba ktorá stratila vedomie sa už nedokáže sama dostať z ohrozeného priestoru. Verifikačná metóda C/VM2:2013 [14] vyžaduje, aby osoby unikajúce pred požiarom neboli exponované FED s hodnotou nad 0,3.

Dôležitým vstupným údajom do rovníc (1 a 2) je koncentrácia CO, CO_2 a O_2 . Koncentrácie CO, CO_2 a O_2 nezávisia len od rýchlosti ich uvoľňovania z horiaceho materiálu do priestoru, ale aj od objemu do ktorého sa produkty horenia rozptýlia. Objem do ktorého sa produkty horenia rozptýlia je determinovaný geometriou a odvetraním priestoru a rýchlosťou uvoľňovania tepla z požiaru. Podrobný postup výpočtu je napr. vo vedeckých prácach [15-16]. Z dôvodu zachovania

order to maintain the possibility of applying the data calculated according to equations (1) and (2) for different

spaces with variable ventilation parameters, the FED is often determined for the different volumes to which the combustion products dispersed, for the different ratios of the area or of burning material (product) and the volume to which the products of combustion (emitted from the unit length or area of the burning material) dispersed.

The aim of this paper is to determine the fractional effective dose of combustion products from selected electric cables with reaction to fire class of B2ca, s1, d1, a1, for the ratio of the burning cable length to the volume at which the combustion products are dispersed 1:0.5, 1:1, 1:1.5 and 1:2 m.m⁻³, and to determine the critical ratio at which the fractional effective dose reaches value of 0.3 for 1,800 seconds.

2 Material and methods

The research was subjected to samples of three electric cables with the reaction to fire class of B2ca, s1, d1, a1, manufactured by VUKI, a.s., Slovak Republic. Electrical cables have been marked as CHKE-R 3Jx1.5 (CHKE-R), CHKE-V 3Jx1.5 (CHKE-V) and J-H(St)H 1x2x0.8 (J-H(St)H).

CHKE-R and CHKE-V electrical cables consist of three insulated copper conductors with a cross-section of 1.5 mm², the cable coating and the bedding between the insulated conductors and the cable coating. The insulation of the electrical conductors, the bedding and the cable coating are constituted by an ethylene-based polymer. Also, the insulated electric conductors in the CHKE-V cable are wound with mica tape. The CHKE-R and CHKE-V cable is a power cable designed to power electrical equipment. The CHKE-V cable is resistant to flame spread over the cable harness and maintains its functionality under fire conditions for at least 180 minutes. It is mainly used to power electrical equipment for which functionality is required during a fire. The CHKE-R cable is resistant to flame spread over the cable harness. It is mainly used in areas where non-flame spreading cables are

možnosti aplikácie údajov vypočítaných podľa rovníc (1) a (2) pre rôzne priestory s variabilnými parametrami odvetrania sa FED často stanovuje pre rôzne objemy do ktorých sa produkty horenia rozptýlia, resp. pre rôzne pomery plochy alebo dĺžky horiaceho materiálu (výrobku) a objemu do ktorého sa produkty horenia (uvoľňované z tejto jednotkovej dĺžky alebo plochy horiaceho materiálu) rozptýlené.

Cieľom predloženej vedeckej práce je stanovenie frakčnej efektívnej dávky produktov horenia z vybraných elektrických káblov s triedou reakcie na oheň B2ca, s1, d1, a1, pre pomery dĺžky horiaceho kábla k objemu do ktorého sú produkty horenia rozptýlené 1:0,5, 1:1, 1:1,5 a 1:2 m.m⁻³ a následne stanoviť kritický pomer pri ktorom frakčná efektívna dávka dosiahne hodnotu 0,3 počas 1 800 s.

2 Materiál a metódy

Výskumu boli podrobené vzorky troch elektrických káblov s triedou reakcie na oheň B2ca, s1, d1, a1, vyrobené spoločnosťou VUKI, a.s., Slovenská republika. Elektrické káble boli označené, CHKE-R 3Jx1.5 (CHKE-R), CHKE-V 3Jx1.5 (CHKE-V) a J-H(St)H 1x2x0.8 (J-H(St)H).

Káble CHKE-R a CHKE-V pozostávajú z troch izolovaných medených vodičov s prierezom 1,5 mm², plášť a výplňového materiálu medzi izolovanými vodičmi a plášťom. Izolácia elektrických vodičov, výplňový materiál aj plášť sú tvorené polymérom na báze etylénu. Izolované elektrické vodiče v kábli CHKE-V sú navyše ovinuté sľudovou páskou. Kábel CHKE-R aj CHKE-V je silnoprávový elektrický kábel na pevné uloženie určený na napájanie elektrických zariadení. Kábel CHKE-V je odolný voči šíreniu plameňa po zväzku elektrických káblov a zachováva svoju funkčnosť v podmienkach požiaru minimálne počas 180 minút. Používa sa najmä na napájanie elektrických zariadení u ktorých sa vyžaduje funkčnosť počas požiaru. Kábel CHKE-R je odolný voči šíreniu plameňa po zväzku káblov. Používa sa hlavne v priestoroch, kde sa vyžadujú elektrické káble nešíriace plameň po povrchu. Nominálne napätie elektrických káblov CHKE-R aj CHKE-V

required. The nominal AC voltage of the CHKE-R and CHKE-V electric cables is 600 V AC. The CHKE-R and CHKE-V electrical cables have an outer diameter of 8 and 9 mm, respectively.

Cable J-H(St)H contains two insulated copper conductors with a cross-section of 0.5 mm², cable coating and bedding between insulated conductors and cable coating. In addition, the insulated electric conductors are wrapped with shielding aluminium foil. The insulation of the electrical conductors, the bedding and the casing are constituted by an ethylene-based polymer. The cable is resistant to flame spread on the surface of the stand-alone cable. J-H(St)H is a control cable to fixed installation. It is mainly used to control technical devices for which there is no requirement for functionality during a fire. The nominal AC power of J-H(St)H is 225 V AC. The J-H(St)H cable diameter is 7.2 mm.

All of the examined cables were free of halogen compounds.

The fractional effective dose of the investigated cables calculated as the sum of FED_{CO} and FED_{O₂}, which were calculated from equations (1) and (2). The input data for the calculation (CO, CO₂ and O₂ concentration) were measured on a cone calorimeter. Both the cone calorimeter and the test procedure complied with the ISO standard 5660-1:2015 [17]. The orientation of the samples during the test was in accordance with ISO 5660-1:2015 [17] horizontal. The samples were subjected to a 50 kW.m⁻².

The combustion product concentrations were calculated from the measured data for the burner cable length ratios to the volume at which the combustion products dispersed 1:0.5, 1:1, 1:1.5 and 1:2 m.m⁻³. These ratios were chosen for the following reasons. At a lower ratio than 1:0.5 m.m⁻³ there would be a very rapid decrease in oxygen concentration and no flame burning, but thermal decomposition with very limited air access (for the simulation of these conditions is not a cone calorimeter according to ISO 5660-1:2015 [17] designed). Conversely, at a ratio greater than 1:2 m.m⁻³, the cables examined have not reached the critical value of the FED even after complete burning. The critical ratio of the length of

je 600 V AC. Priemer elektrických káblov CHKE-R a CHKE-V bol 8 a 9 mm.

Kábel J-H(St)H pozostáva z dvoch izolovaných medených vodičov s prierezom 0,5 mm², plášťa a výplňového materiálu medzi izolovanými vodičmi a plášťom. Izolované elektrické vodiče sú navyše ovinuté tieniacou hliníkovou fóliou. Izolácia elektrických vodičov, výplňový materiál aj plášť sú tvorené polymérom na báze etylénu. Kábel je odolný voči šíreniu plameňa po povrchu samostatne stojaceho kábla. J-H(St)H je ovládací kábel na pevné uloženie. Používa sa najmä na ovládanie technických zariadení, na ktoré nie sú kladené požiadavky na funkčnosť počas požiaru. Nominálne striedavé napätie elektrického kábla J-H(St)H je 225 V AC. Priemer elektrického kábla J-H(St)H je 7,2 mm.

Všetky skúmané káble boli bez obsahu halogénových prvkov.

Frakčná efektívna dávka skúmaných káblov bola vypočítaná akú súčet FED_{CO} a FED_{O₂}, ktoré boli vypočítané z rovníc (1) a (2). Vstupné údaje pre výpočet (koncentrácie CO, CO₂ a O₂) boli zmerané na kónickom kalorimetri. Kónický kalorimeter aj skúšobný postup boli v súlade s technickou normou ISO 5660-1:2015 [17]. Orientácia vzoriek počas skúšky bola v súlade s ISO 5660-1:2015 [17] horizontálna. Vzorky boli počas skúšky zaťažené tepleným tokom z kónického žiariča 50 kW.m⁻².

Koncentrácie produktov horenia boli zo zmeraných údajov vypočítané pre pomery dĺžok horiaceho kábla k objemu do ktorého sa produkty horenia rozptýlili 1:0,5, 1:1, 1:1,5 a 1:2 m.m⁻³. Uvedené pomery boli zvolené z nasledovných dôvodov. Pri menšom pomere, ako 1:0,5 m.m⁻³ by došlo k veľmi rýchlemu poklesu koncentrácie kyslíka a ďalej by neprebíhalo plameňové horenie, ale termický rozklad s veľmi obmedzeným prístupom vzduchu (na simuláciu týchto podmienok nie je kónický kalorimeter podľa ISO 5660-1:2015 [17] určený). Naopak, pri pomere väčšom, ako 1:2 m.m⁻³ už skúmané káble nedosiahli kritickú hodnotu FED ani po úplnom zhorení vzorky. Kritický pomer dĺžky horiaceho kábla k objemu do ktorého sú produkty horenia rozptýlené bol stanovený ako pomer, pri ktorom FED nedosiahla kritickú hodnotu ani po 1 800 s.

the burning cable to the volume to which the combustion products are dispersed was determined as the ratio at which the FED did not reach critical value even after 1,800 seconds.

3 Results and discussion

Concentrations of the main combustion products (CO, CO₂ and O₂) at the ratio of the length of the burning cable to the volume into which the products of combustion have dispersed 1:1 m.m⁻³ are shown in Tab. 1.

From data in the Tab. 1 fractional effective doses were calculated (FED), for the ratio of the length of the burning cable to the volume to which the combustion products are dispersed 1:0.5, 1:1, 1:1.5 and 1:2 m.m⁻³. The time dependence of calculated fractional effective doses for the cable CHKE-R is shown in the Fig. 1, for the cable CHKE-V is shown in the Fig. 2 and for the cable J-H(St)H is shown in the Fig. 3.

The Figs. 1 to 3 show that at the ratio of the length of the burning cable to the volume at which the combustion products are dispersed more than 1:2 m.m⁻³ the fractional effective dose value does not exceed the value 0.3 throughout the duration of the test (1 800 seconds), or even after a complete deterioration of the sample. The stated FED value considers the verification method C/VM2:2013 [14] to be critical. Therefore, the ratio of the length of the investigated electrical cables to the volume at which the combustion products are dispersed at 1:2 m.m⁻³ is considered to be critical in terms of endangering the lives and health of the persons by the combustion products.

The CHKE-R electric cable did not reach a critical value of FED = 0.3 nor for the ratio between the length of burning cable to the volume at which the combustion products dispersed 1:1.5 m.m⁻³ (throughout the test). This fact proves that this cable showed the lowest toxicity of the combustion products from the investigated electric cables.

Figs. 1 to 3 show the statistical dependencies of the FED on time together with the coefficient of determinations (R^2). The obtained statistical dependence proves that the FED of

3 Výsledky a diskusia

Koncentrácie hlavných zložiek produktov horenia (CO, CO₂ a O₂) pri pomere dĺžky horiaceho kábla k objemu do ktorého sa produkty horenia rozptýlili 1:1 m.m⁻³ sú znázornené v Tab. 1.

Z údajov v Tab. 1 boli vypočítané frakčné efektívne dávky (FED), pre pomery dĺžky horiaceho kábla k objemu do ktorého sú produkty horenia rozptýlené 1:0,5, 1:1, 1:1,5 a 1:2 m.m⁻³. Časová závislosť vypočítaných frakčných efektívnych dávok pre kábel CHKE-R ja na obr. 1, pre kábel CHKE-V na obr. 2 a pre kábel J-H(St)H na obr. 3.

Obr. 1 až 3 dokazujú, že pri pomere dĺžky horiaceho kábla k objemu do ktorého sa produkty horenia rozptýlia väčšom ako 1:2 m.m⁻³ hodnota frakčnej efektívnej dávky nepresiahne hodnotu 0,3 počas celého času trvania skúšky (1 800 s), resp., ani po úplnom zhorení vzorky. Uvedenú hodnotu FED považuje verifikačná metóda C/VM2:2013 [14] za kritickú. Preto môže byť pomer dĺžky skúmaných elektrických káblov k objemu do ktorého sa produkty horenia rozptýlia 1:2 m.m⁻³ považovaný za kritický z hľadiska ohrozenia životov a zdravia osôb produktmi horenia.

Elektrický kábel CHKE-R nedosiahol kritickú hodnotu FED = 0,3 ani pri vzájomnom pomere dĺžky horiaceho kábla a objemu do ktorého sa produkty horenia rozptýlili 1:1,5 m.m⁻³ (počas celého času trvania skúšky). Táto skutočnosť dokazuje, že zo skúmaných elektrických káblov vykázal tento kábel najnižšiu toxicitu produktov horenia.

Na obr. 1 až 3 sú znázornené štatistické závislosti FED od času spolu s príslušnými koeficientmi determinácie (R^2). Získané štatistické závislosti dokazujú, že FED produktov horenia skúmaných káblov závisí od času mocninovo. Koeficienty determinácie (R^2) sú vo všetkých prípadoch rovné alebo väčšie, ako 0,97. Získané mocninové štatistické závislosti sú teda veľmi silné.

Získané mocninové závislosti nájdú aplikáciu najmä pri výpočte času, kedy za konkrétnych podmienok (dĺžka horiacich káblov a objem do ktorého sa produkty horenia rozptýlia) bude dosiahnutá kritická hodnota frakčnej efektívnej dávky 0,3. Uvedený čas je dôle

the combustion products of the investigated cables depends on time by exponentiation dependency. The determination coefficients (R^2) are in all cases equal to or greater than 0.97. The acquired exponentiation dependencies are therefore very strong.

The acquired exponentiation dependencies finds application, especially when calculating

the time when under a specific condition (the length of the burning cables and the volume into which the combustion products dispersed), a critical fractional effective dose of 0.3 will be achieved. This time is an important input for calculating the available safe escape time. When calculating available safe escape time, however, in addition to the fractional effective dose of combustion products, a decrease in visibility in the area affected by combustion products has to be taken into account (this issue is described in detail in scientific papers [18-19]) and the temperature increase in the space [20-21]). The calculation of safe escape time is described in scientific papers [9-12].

Direct comparison of the data obtained with the results of other scientific work is complicated. The reason is the fact that in the prescriptive way of solving the fire safety of structures the only requirement (from the point of fire protection) for the electric cable is the reaction to fire class (and eventual functionality during a fire). As today most of the fire safety of structures projects have been designed in a prescriptive way, scientific studies to investigate the toxicity of burning products of electric cables with a reaction to fire class of B2_{ca}, s1, d1, a1 have not yet been published. However, to address the fire safety of complex and atypical structures and a large proportion of engineering structures that have to be dealt with on the basis of fire engineering principles, these data are missing. Comparison is therefore only possible with scientific papers examining the toxicity of polymers used to produce components of halogen-free electrical cables (insulation, bedding and cable coating) or the toxicity of electrical cable combustion products with properties similar to those of the investigated electrical cables. The polymer toxicity issues that are used to produce components of halogen-free electrical cables and electrical cables with properties similar to the investigated

žitým vstupným údajom pre výpočet bezpečného únikového času. Pri výpočte bezpečného únikového času je však okrem frakčnej efektívnej dávky produktov horenia potrebné zohľadniť aj pokles viditeľnosti v priestore zasiahnutom produktmi horenia (táto problematika je podrobne popísaná vo vedeckých prácach [18-19]) a nárast teploty v priestore (postup podrobne riešia vedecké práce [20-21]). Výpočet bezpečného únikového času je popísaný vo vedeckých prácach [9-12].

Priame porovnanie získaných údajov s výsledkami iných vedeckých prác je komplikované. Dôvodom je skutočnosť, že pri preskriptívnom spôsobe riešenia požiarnej bezpečnosti stavieb je jedinou požiadavkou (z hľadiska požiarnej ochrany) na elektrický kábel trieda reakcie na oheň (a prípadne funkčnosť počas požiaru). Nakoľko sa dnes väčšina stavieb z hľadiska požiarnej bezpečnosti projektuje preskriptívnym spôsobom neboli zatiaľ publikované vedecké práce skúmajúce toxicitu produktov horenia elektrických káblov s triedou reakcie na oheň B2_{ca}, s1, d1, a1. Pri riešení požiarnej bezpečnosti komplexných a atypických stavieb a veľkej časti inžinierskych stavieb, ktoré sa musia riešiť na základe princípov požiarneho inžinierstva však tieto údaje chýbajú. Porovnanie je preto možné len s vedeckými prácami, ktoré skúmali toxicitu polymérov používaných na výrobu komponentov bezhalogénových elektrických káblov (izolácia, výplň a plášť) alebo toxicitu produktov horenia elektrických káblov s podobnými vlastnosťami, ako majú skúmané elektrické káble. Problematiku toxicity polymérov, ktoré sa používajú na výrobu komponentov bezhalogénových elektrických káblov a elektrických káblov s vlastnosťami podobnými k skúmaným elektrickým káblov skúmali vedecké práce [22-25]. Porovnanie údajov získaných v predloženej vedeckej práci s výsledkami vedeckých prác [22-25] dokazuje, že toxicita produktov horenia zo skúmaných elektrických káblov leží v intervale toxicity produktov horenia polymérov používaných na výrobu komponentov bezhalogénových elektrických káblov a elektrických káblov s podobnými vlastnosťami ako mali skúmané káble.

electrical cables have been studied by scientific works [22-25]. Comparison of the data obtained in the present scientific work with the results of the scientific work [22-25] demonstrates that the toxicity of the combustion products from the investigated electric cables lies within the range of polymer burning toxicity of the polymers used for the manufacture of components of halogen-free electric cables and electric cables with properties like those examined.

The toxicity of electrical cable combustion products [26] also affects the interference of electrical cables. However, as long as the technical standard ISO 5660-1:2015 [17] requires the positioning of samples closely next to each other, only the toxicity of fire products burned during test (cone calorimeter tests) placed next to each other has been investigated in this scientific work. Further research will focus on assessing the effect of the interconnection of electric cables on the toxicity of combustion products.

Na toxicitu produktov horenia elektrických káblov má podľa [26] vplyv aj vzájomný rozstup elektrických káblov. Nakoľko však technická norma ISO 5660-1:2015 [17] vyžaduje pri skúške uloženie vzoriek tesne vedľa seba bola v tejto vedeckej práci skúmané len toxicita produktov horenia elektrických káblov uložených počas požiaru (skúšky na kónickom kalorimetri) tesne vedľa seba. Ďalší výskum bude zameraný na posúdenie vplyv vzájomného rozstupu elektrických káblov na toxicitu produktov horenia.

Tab. 1 Concentrations of CO, CO₂ and O₂ in combustion products from investigated electric cables dispersed in 1 m³.

Tab. 1 Koncentrácie CO, CO₂ a O₂ v produktoch horenia zo skúmaných elektrických káblov rozptýlených v 1 m³.

Time / Čas (s)	Electrical cable / Elektrický kábel (-)								
	CHKE-R			CHKE-V			J-H(St)H		
	CO (ppm)	CO ₂ (%)	O ₂ (%)	CO (ppm)	CO ₂ (%)	O ₂ (%)	CO (ppm)	CO ₂ (%)	O ₂ (%)
0	0	0	20.95	0	0	20.95	0	0	20.95
300	62	0.56	20.02	88	0.69	19.80	74	0.50	20.09
600	158	1.19	18.97	159	1.25	18.87	207	1.03	19.19
900	355	1.97	17.62	311	1.89	17.76	845	1.73	18.01
1200	592	2.52	16.72	583	2.76	16.27	897	1.83	17.86
1500	888	2.62	16.56	1054	3.02	15.85	982	1.85	17.84
1800	920	2.63	16.55	1310	3.10	15.71	1014	1.85	17.83

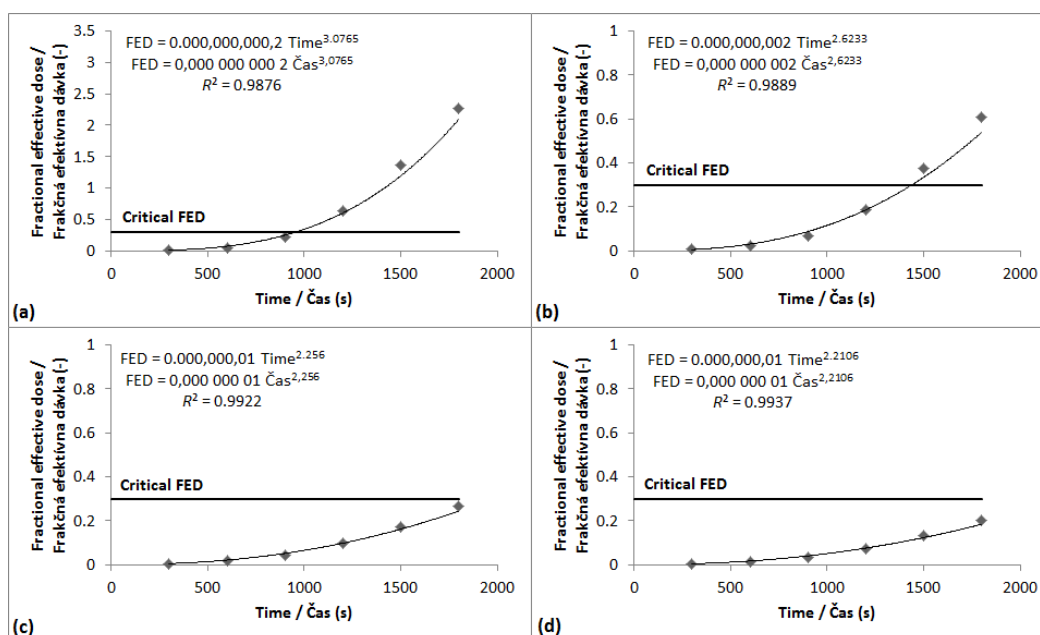


Fig 1. Fractional effective dose of combustion products from the CHKE-R electrical cable at the ratio of burning cable length to the volume at which the combustion products disperse: (a) 1:0.5 m.m⁻³; (b) 1:1 m.m⁻³; (c) 1:1.5 m.m⁻³; (d) 1:2 m.m⁻³.

Obr. 1 Frakčná efektívna dáva produktov horenia z elektrického kábla CHKE-R pri pomere dĺžky horiaceho kábla k objemu do ktorého sa produkty horenia rozptýlia: (a) 1:0,5 m.m⁻³; (b) 1:1 m.m⁻³; (c) 1:1,5 m.m⁻³; (d) 1:2 m.m⁻³.

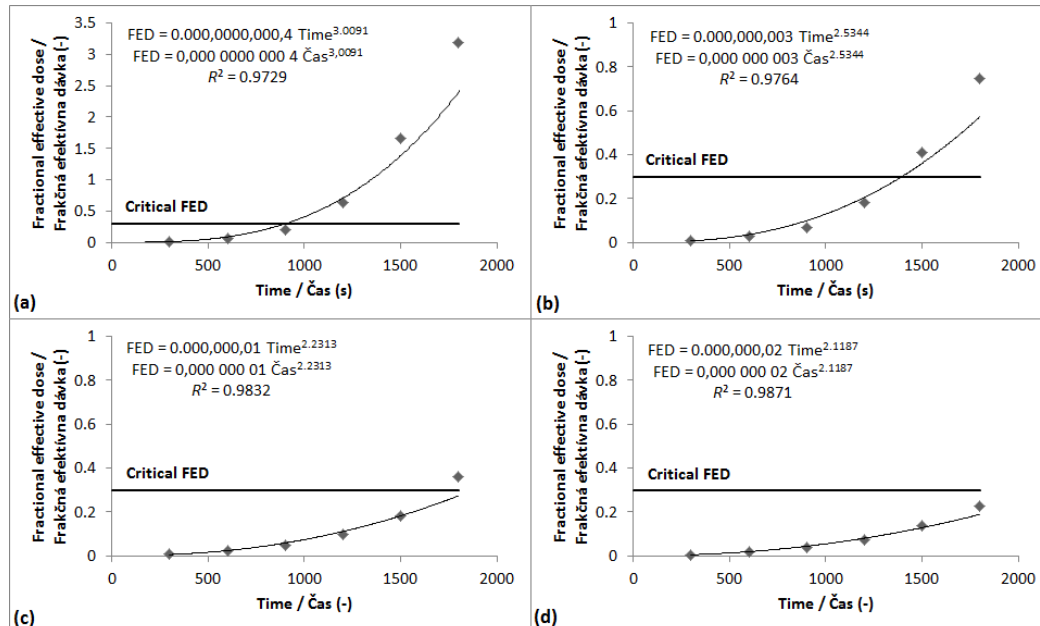


Fig 2. Fractional effective dose of combustion products from the CHKE-V electrical cable at the ratio of burning cable length to the volume at which the combustion products disperse: (a) 1:0.5 m.m⁻³; (b) 1:1 m.m⁻³; (c) 1:1.5 m.m⁻³; (d) 1:2 m.m⁻³.

Obr. 2 Frakčná efektívna dáva produktov horenia z elektrického kábla CHKE-V pri pomere dĺžky horiaceho kábla k objemu do ktorého sa produkty horenia rozptýlia: (a) 1:0,5 m.m⁻³; (b) 1:1 m.m⁻³; (c) 1:1,5 m.m⁻³; (d) 1:2 m.m⁻³.

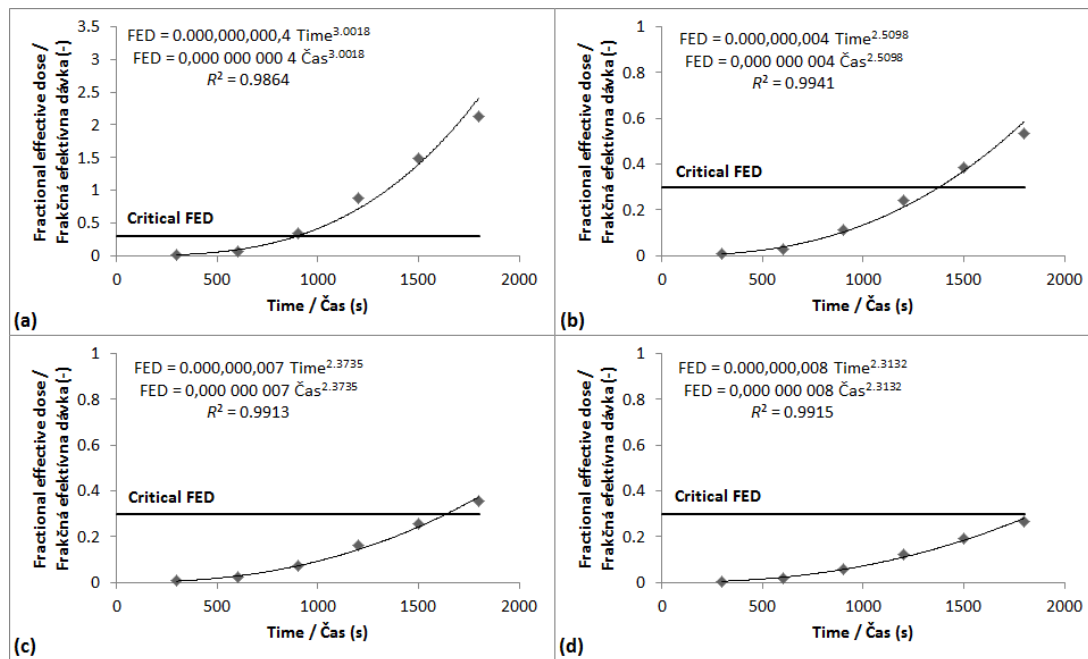


Fig 3. Fractional effective dose of combustion products from the J-H (St) H electric cable at the ratio of burning cable length to the volume at which the combustion products disperse: (a) 1:0.5 m.m⁻³; (b) 1:1 m.m⁻³; (c) 1:1.5 m.m⁻³; (d) 1:2 m.m⁻³.

Obr. 3 Frakčná efektívna dáva produktov horenia z elektrického kábla J-H(St)H pri pomere dĺžky horiaceho kábla k objemu do ktorého sa produkty horenia rozptýlia: (a) 1:0,5 m.m⁻³; (b) 1:1 m.m⁻³; (c) 1:1,5 m.m⁻³; (d) 1:2 m.m⁻³

4 Conclusion

Toxicity of combustion products is the most serious accompanying phenomenon of fire in terms of the total number of fire victims. The combustion product toxicity is determined by the amount of released main components of the combustion products (in particular CO and CO₂), the amount of oxygen consumed (O₂), the volume to which the combustion products disperse and the exposure time (persons). Toxicity of electrical cable combustion products can be quantified based on the critical ratio of the length of the burning cable to the volume at which the combustion products are dispersed, at which the critical fractional effective dose rate of 0.3 is not yet reached, at 1,800 seconds of fire.

Comparison of three different electrical cables (no flame spreading power cord, maintaining functionality under fire conditions for 180 minutes, no flame spreading power cord and no flame spreading control cable standing-

4 Záver

Toxicita produktov horenia je z hľadiska celkového počtu obetí požiarov najzávažnejší sprievodný jav požiaru. Toxicita produktov horenia je determinovaná množstvom uvoľnených hlavných zložiek produktov horenia (predovšetkým CO a CO₂), množstvom spotrebovaného kyslíka (O₂), objemom do ktorého sa produkty horenia rozptýlia a časom expozície (osôb). Toxicita produktov horenia elektrických káblov môže byť kvantifikovaná na základe kritického pomeru dĺžky horiaceho kábla k objemu do ktorého sú produkty horenia rozptýlené, pri ktorom ešte nie je dosiahnutá kritická hodnota frakčnej efektívnej dávky 0,3, počas 1 800 s požiaru (horenia).

Porovnanie troch rôznych elektrických káblov (napájací kábel nešíriaci plameň po povrchu so zachovaním funkčnosti za podmienok požiaru počas 180 min, napájací kábel nešíriaci plameň po povrchu a ovládací kábel nešíriaci plameň po povrchu samostatne

alone cable) with a reaction to fire class of B2_{ca}, s1, d1, a1 proves that electric cables with a reaction to fire class of B2_{ca}, s1, d1, a1 show a very similar toxicity of the combustion products (the critical ratio of the length of the burning cable to the volume at which the combustion products dispersed in the range from 1:1.5 to 1:2 m.m⁻³).

To reduce the risk of toxicity of combustion products of electrical cable with a reaction to fire class of B2_{ca}, s1, d1, a1 (free of halogen elements) to an acceptable level it is therefore necessary to ensure that the combustion products released from the burning of cable 1 m dispersed in a minimum volume of 2 m³ (this can be achieved, for example, appropriate dimensioning of fire ventilation). This conclusion on reduction the risk to an acceptable level applies to the toxicity of combustion products of halogen-free electric cables with a reaction to fire class of B2_{ca}, s1, d1 and a1 (with a diameter of up to 10 mm) may not apply to thermal load and visibility in the area affected by the combustion products.

Acknowledgement

This work was supported by the Slovak Research and Development Agency under the contract No. APVV-16-0223

References / Literatúra

- [1] Masarik I, Dvorak O, Charvatova V. 1999. Investigation of Combustion Products Toxicity. Technical Institute of Fire Safety of the Ministry of Interior of the Czech Republic.
- [2] Dvorak O, Charvatova V, Ruzicka M. 2007. Danger of Combustion Products of Materials. Ministry of Interior of the Czech Republic.
- [3] Gann RG, Bryner NP. 2008. Combustion products and their effects on life safety. Pages 749-772 in Cote AE, ed. Fire Protection Handbook. 20th ed. National Fire Protection Association.
- [4] Purser DA. 2016. Toxicity assessment of combustion products. Pages 300-388 in DiNenno PJ, ed. The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. 5th ed. Society of Fire Protection Engineers.
- [5] STN 92 0203:2013. Fire Protection of Buildings. Continuous Power Supply Responding for Fire. Office for Standardization, Metrology and Testing of the Slovak Republic.
- [6] TP 13/2015. Technical Requirements: fire safety of road tunnels. Ministry of Transport, Construction and Regional Development of the Slovak Republic.
- [7] Bayka 2018. Cables According to CPR. Bayerische Kabelwerke AG (15 March 2018; http://www.bayerische-kabelwerke.de/Produkte/BauPVO/Technische_Informationen_Bau_PVO/?lang=en&).
- [8] Mitterova I, Zachar M, Ruzinska E, Majlingova A. 2014. Ignitability of Unprotected and Retardant Protected Samples of Spruce Wood. Advanced Materials Research 1001:330-335.

stojaceho kábla) s triedou reakcie na oheň B2_{ca}, s1, d1, a1 dokazuje, že elektrické káble s triedou reakcie na oheň B2_{ca}, s1, d1, a1 vykazujú veľmi podobnú toxicitu produktov horenia (kritický pomer dĺžky horiaceho kábla k objemu do ktorého sú produkty horenia rozptýlené v intervale od 1:1,5 do 1:2 m.m⁻³).

Pre zníženie rizika toxicity produktov horenia elektrických káblov triedy reakcie na oheň B2_{ca}, s1, d1, a1 (bez obsahu halogénových prvkov) na akceptovateľnú úroveň je preto nutné zabezpečiť, aby sa produkty horenia uvoľnené z 1 m horiaceho kábla rozptýlili do objemu minimálne 2 m³ (toto môže byť dosiahnuté napr. vhodným dimenzovaním požiarného odvetrania). Uvedený záver o znížení rizika na akceptovateľnú úroveň platí pre toxicitu produktov horenia bezhalogénových elektrických káblov triedy reakcie na oheň B2_{ca}, s1, d1 a1 (s priemerom do 10 mm), nemusí platiť pre tepelné zaťaženie a viditeľnosť v priestore zasiahnutom produktmi horenia.

PodĎakovanie

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe Zmluvy č. APVV-16-0223.

- [9] Kucera P, Kaiser R, Pavlik T, Pokorny J. 2009. Fire Engineering: fire dynamics. SPBI.
- [10] Tang F, He Q, Shi Q. 2017. Experimental study on thermal smoke layer thickness with various upstream blockage–fire distances in a longitudinal ventilated tunnel. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 170:141-148.
- [11] Mozer V. 2014. An analysis of factors affecting available safe escape time. *Advanced Materials Research* 1001:267-271.
- [12] Boyce K. 2017. Safe Evacuation for All - Fact or Fantasy? Past Experiences, Current Understanding and Future Challenges. *Fire Safety Journal* 91:28-40.
- [13] ISO 13571:2012. Life Threatening Components of Fire: Guidelines for the Estimation of Time to Compromised Tenability in Fires. International Organisation for Standardisation.
- [14] C/VM2:2013. Verification Method: Framework for Fire Safety Design with Commentary. Ministry of Business, Innovation and Employment of the New Zealand.
- [15] Giachetti B, Couton D, Plourde F. 2016. Smoke Spreading Analysis from an Experimental Subway Scale Model. *Fire Safety Journal* 86:75-82.
- [16] Lai C, Chen CJ, Tsai MJ, Tsai MH, Lin TH. 2013. Determinations of the Fire Smoke Layer Height in a Naturally Ventilated Room. *Fire Safety Journal* 58:1-14.
- [17] ISO 5660-1:2015 Reaction to Fire Tests: Heat Release, Smoke Production and Mass Loss Rate — Part 1: Heat Release Rate (Cone Calorimeter Method) and Smoke Production Rate (Dynamic Measurement). International Organisation for Standardisation.
- [18] Collins BL, Dahir MS, Madrzykowski D. 1993. Visibility of Exit Signs in Clear and Smoky Conditions. *Fire Technology* 29:154-182.
- [19] Starr JW, Lattimer BY. 2014. Evaluation of Navigation Sensors in Fire Smoke Environments. *Fire Technology* 50:1459-1481.
- [20] Li D, Zhu G, Zhu H, Yu Z, Gao Y, Jiang X. 2017. Flame Spread and Smoke Temperature of Full-scale Fire Test of Car Fire. *Case Studies in Thermal Engineering* 10:315-324.
- [21] Walton WD, Thomas PH, Ohmiya Y. 2016. Estimating Temperatures in Compartment Fires. Pages 996-1042 in DiNenno PJ, ed. *The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*. 5th ed. Society of Fire Protection Engineers.
- [22] Tewarson A. 2002. Generation of Heat and Chemical Compounds in Fires. Pages 618-697 in DiNenno PJ, ed. *The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*. 3rd ed. Society of Fire Protection Engineers.
- [23] Hull TR, Quinn RE, Areri IG, Purser DA. 2002. Combustion Toxicity of Fire Retarded EVA. *Polymer Degradation and Stability* 77:235-242.
- [24] Hull TR, Lebek K, Pezzani M, Messa S. 2008. Comparison of Toxic Product Yields of Burning Cables in Bench and Large-scale Experiments. *Fire Safety Journal* 43:140-150.
- [25] Luche J, Mathis E, Rogaume T, Richard F, Guillaume E. 2012. High-density Polyethylene Thermal Degradation and Gaseous Compound Evolution in a Cone Calorimeter. *Fire Safety Journal* 54:24-35.
- [26] Meinier R, Sonnier R, Zavaleta P, Suard S, Ferry L. 2018. Fire Behavior of Halogen-free Flame Retardant Electrical Cables with the Cone Calorimeter. *Journal of Hazardous Materials* 342:306-316.

Calculation of selected fire properties of flammable liquids and liquid mixtures

Výpočet vybraných požiarotechnických parametrov horľavých kvapalín a kvapalných zmesí

Rastislav Veľas^{1*}, Danica Kačíková²

¹ Technical University in Zvolen, Faculty of Wood Sciences and Technology; Department of Fire Protection, xvelasr@tuzvo.sk

² Technical University in Zvolen, Faculty of Wood Sciences and Technology; Department of Fire Protection, kacikova@tuzvo.sk

Original scientific paper

Received: May 29, 2018; Accepted: July 20, 2018; Published: July 31, 2018;

Abstract

The storage of flammable liquids in tanks constitutes a significant fire-related threat. In the event of a major fire, a domino effect occurs causing neighbouring tanks and adjacent objects to be hit by fire and the fire will continue to spread. The main objective of this paper is to evaluate the usability of the calculation methods used to estimate the burning rate, flame height and intensity of released heat in the combustion of pure flammable liquids (n-Heptane) and liquid mixtures (gasoline, diesel fuel S-500) and compare them with experimental values which have been already published. The obtained results of the calculation methods indicated a better match with the experimental results of chemically pure liquids compared to the liquid mixtures. The burning rate is not a constant value; and in real fire conditions it varies depending on several factors, e.g. temperature, vessel diameter, the height of level liquid, liquid composition. In the case of the heat release rate, the water contained on the bottom of the tank affected the achieved results. In the case of a mean flame height of n-Heptane at a vessel diameter of 0.30 m, the experimental result at 96 % was consistent with the Thomas computation method.

Keywords: mass burning rate; mean flame height; heat release rate; calculation methods; flammable liquids

1 Introduction

The number of liquid fuel tanks and storage facilities due to the worldwide increase in demand for energy along with the development of modern industrial technologies is rapidly increasing. These tanks containing flammable liquids represent a significant threat associated with a fire [1]. In the past several theoretical and experimental studies have been conducted about burning flammable liquids stored in tanks. The experiments were carried out mainly with tanks with a diameter of few centimetres [2].

1 Úvod

Počet nádrží a skladov kvapalných palív vzhľadom na celosvetový nárast dopytu po energii spolu s rozvojom moderných priemyselných technológií rýchlo rastie. Tieto nádrže obsahujúce horľavé kvapaliny predstavujú významnú hrozbu súvisiacu s požiarom [1]. V minulosti bolo vykonaných niekoľko teoretických a experimentálnych štúdií horenia horľavých kvapalín skladovaných v nádržiach. Experimenty boli realizované najmä v nádobách s priemerom niekoľkých centimetrov [2].

Jiang, Lu [3] investigated the influence of the crosswind on the mass burning rate and flame tilt when burning aviation fuel in open-air tanks. They found that the course of the mass burning rates can be divided into three stages: a radiation dominant stage, combined radiation and convection dominant stage and a convection dominant stage.

Zhen, Xiaolin [4] based on experiments of burning crude oil in vessels analyzed several models in relation to burning rate, flame shape and radiation intensity. They conclude that the calculation model of the burning rate proposed by Babrauskas [5], with a diameter of about 10 m, is accurate. Thomas [6] model for flame calculation is suitable for tank diameter of 5 m. On the contrary, model Heskestad [7] is more suitable for diameters over 10 m. If the intensity of heat radiation is greater than $5 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$ the Shokri Beyler model is more suitable. But, if the heat radiation intensity is less than $1 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$ the point source model is more appropriate. Chatris et al. [2] conducted experimental studies of hydrocarbon combustion (gasoline, diesel) in vessels with diameter of 1 m, 5 m, 3 m and 4 m. They studied the mass burning rate, the temperature of the flame, and the influence of wind speed on the rate of combustion. They analyzed periods at the onset of burning and the end of the process, as well as determined the average burning rate during a steady fire as a function of the tank diameter. Kang et al. [8], based on experimental combustion tests of n-Heptane in vessels with a diameter of 0.10 m, 0.14 m, 0.20 m and 0.30 m, studied burning rate, flame height and fuel temperature. Based on the results, four phases of combustion have been established: the pre-steady burning stage; the quasi-steady stage; the boiling stage and the decay stage. Kong et al. [9] conducted experiments focusing the crude oil burning in the open space. They used three circular vessels with diameters of 0.1 m, 0.15 m and 0.2 m. During the experiments, they recorded the burning rate, flame height and fuel temperature distribution. Similarly, Kang's et al. [8] divided the burning process into four phases. They concluded that the mass burning rate and the height of the flame in the boiling phase are significantly higher than in the steady-burning phase. In the steady state of burning, the initial thickness of

Jiang, Lu [3] skúmali vplyv bočného vetra na hmotnostnú rýchlosť odhorievania a uhol sklonu plameňa pri spaľovaní leteckého paliva v nádobách v otvorenom priestore. Zistili, že priebeh zmeny hmotnostnej rýchlosti odhorievania je možné rozdeliť na tri stupne: radiačný dominantný stupeň, kombinovaný dominantný stupeň radiácie a konvekcie a stupeň dominantnej konvekcie.

Zhen, Xiaolin [4] na základe experimentov horenia ropy v nádobách analyzovali niekoľko modelov v súvislosti s rýchlosťou horenia, tvarom plameňa a intenzitou žiarenia. Dospeli k záverom, že výpočtový model rýchlosti horenia, ktorý navrhuje Babrauskas [5] je presný s priemerom okolo 10 m. Thomasov [6] model na výpočet plameňa je vhodný do priemeru nádrže 5 m, naopak model Heskestad [7] je vhodnejší pre priemery nad 10 m. Ak je intenzita tepelného žiarenia väčšia ako $5 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$ je vhodnejší model Shokri Beyler. Naopak, ak je intenzita tepelného žiarenia menšia ako $1 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$ je vhodnejší model bodového zdroja. Chatris et al. [2] realizovali experimentálne štúdie horenia uhľovodíkov (benzín, nafta) v nádobách s priermi 1 m, 5 m, 3 m a 4 m. Študovali rýchlosť odhorievania, teplotu plameňov a vplyv rýchlosti vetra na rýchlosť horenia. Analyzovali obdobia na začiatku horenia a zánik celého procesu, ako aj stanovenie priemernej rýchlosti horenia počas ustáleného požiaru ako funkcie priemeru nádrže. Kang et al. [8] na základe experimentálnych skúšok horenia n-Heptánu v nádobách s priermi 0,10 m, 0,14 m, 0,20 m a 0,30 m študovali rýchlosť horenia, výšku plameňa a teplotu paliva. Na základe výsledkov stanovili štyri fázy horenia. Fázu rozhorievania, fázu ustáleného stavu horenia, fázu varu a fázu dohorievania. Kong et al. [9] uskutočnili experimenty horenia surovej ropy v otvorenom priestore. Použili tri kruhové nádoby s priermi 0,1 m, 0,15 m a 0,2 m. Počas celej doby horenia zaznamenávali rýchlosť horenia, výšku plameňa a rozloženie teploty paliva. Podobne ako v práci Kang et al. [8] rozdelili proces horenia do štyroch fáz. Dospeli k záverom, že hmotnostná rýchlosť odhorievania a výška plameňa vo fáze varu sú výrazne vyššie ako vo fáze ustáleného horenia. Vo fáze ustáleného stavu horenia má pôvodná hrúbka palivovej vrstvy obmedzený vplyv na rýchlosť horenia a výšku plameňa.

the fuel layer has a limited effect on burning rate and flame height.

The boiling phase and intensity of boiling increase with the initial thickness of the fuel layer and decrease with the diameter of the tank. Ferrero et al. [10] conducted diesel fuel experiments and concluded that the burning rate and flame height has rising tendency with the increasing diameter of the vessel and increases when the liquid in boiling. Kuang et al. [11] examined the effect of ambient pressure on ethanol burning in round vessels. The results of the experiment showed that the mass burning rate is lower with decreasing ambient pressure. The flame height increased when the ambient pressure decreased, until it reached the turning point and then dropped.

The tanks of flammable liquids nowadays have much larger dimensions and store several times larger volume than the volumes studied under experimental conditions. One of the ways to get data at larger tank diameters are computational methods that can be used to obtain values that are useful for rating the burning of flammable liquids.

The aim of this study was to evaluate the applicability of the calculation methods used to estimate the burning rate, the flame height and the intensity of released heat in combustion of pure flammable liquids and liquid mixtures in vessels of different diameters and to compare them with experimental values published by other authors. In the case of pure combustible liquids, the combustion values of n-heptane will be compared, in the case of the combustion experiment of liquid mixtures, this will be gasoline and diesel fuel S-500.

2 Material and Methods

For the study the experiment published by Kang et al. [8], about combustion of pure combustible liquid n-Heptane in tanks of different diameters, was chosen. In experiment, four stainless steel circular vessels of 0.10 m, 0.14 m, 0.20 m and 0.30 m diameter were used, a vessel height of 0.04 m with a wall thickness of 0.003. Electronic scales, temperature measuring device and a CCD cameras were used. In each test, at each vessel, the following volume of n-Heptane was burnt: $1.02 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$ (for tank with diameter $D = 0.10 \text{ m}$), $2.0 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$ (for $D = 0.14$

Fázy nábehu varu a intenzita varu sa zvyšujú s počiatočnou hrúbkou palivovej vrstvy a klesajú s priemerom nádrže. Ferrero et al. [10] uskutočnili experimenty s motorovou naftou a dospeli k záveru, že rýchlosť horenia a výška plameňa majú stúpajúcu tendenciu so zväčšujúcim sa priemerom nádoby a zväčšujú sa taktiež v prípade výskytu varu kvapaliny. Kuang et al. [11] skúmali vplyv okolitého tlaku na horenie etanolu v okrúhlych nádobách. Výsledky experimentu ukázali, že hmotnostná rýchlosť odhorievania sa znižuje, keď tlak okolitého prostredia klesá. Výška plameňa pri znižovaní okolitého tlaku sa zvyšovala až do dosiahnutia bodu obratu a potom klesala.

Aktuálnosť témy článku vyplýva zo skutočnosti, že zásobníky horľavých kvapalín v súčasnosti predstavujú niekoľko násobne väčší objem, oproti objemom študovaných v experimentálnych podmienkach. Jedným zo spôsobov ako získať údaje pri väčších priemeroch nádrží sú výpočtové metódy, kde možno získať hodnoty, ktoré majú praktické využitie pri hodnotení horenia horľavých kvapalín.

Cieľom práce je hodnotenie aplikovateľnosti výpočtových metód používané na odhad rýchlosti odhorievania, výšky plameňa a intenzity uvoľneného tepla pri horení čistých horľavých kvapalín a kvapalných zmesí v nádobách rôznych priemerov a porovnať ich s experimentálnymi hodnotami publikovanými inými autormi. V prípade čistej horľavej kvapaliny budú porovnávané hodnoty horenia n-Heptánu, v prípade experimentu horenia kvapalných zmesí to bude benzín a motorová nafta S-500.

2 Materiál a metódy

Pre spracovanie experimentálnej časti bol vybraný experiment publikovaný Kangom et al. [8] horenia čistej horľavej kvapaliny n-Heptánu v nádobách rôznych priemerov. Experimentálne zariadenie pozostávalo z nádoby, prístroja na meranie hmotnosti, prístroja na meranie teploty a CCD kamier. Boli použité štyri kruhové nádoby z nehrdzavejúcej ocele s priermi 0,10 m, 0,14 m, 0,20 m a 0,30 m, výšky nádoby 0,04 m s hrúbkou steny 0,003 m. Pri každom teste a pri každom priemere nádoby bol spálený nasledovný objem n-Heptánu: $1,02 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$

m), $4,08 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$ (for $D = 0,20 \text{ m}$) and $9,19 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$ (for $D = 0,30 \text{ m}$).

The measurement was carried out at a temperature range from $5 \text{ }^\circ\text{C}$ to $14,5 \text{ }^\circ\text{C}$ with humidity of air from 10% to 54% (climatic conditions in the test room at the time of measurement). During the test, changes in the weight of the liquid were recorded by electronic scales every second. Flame height values were captured by CCD cameras.

In case of combustion of liquid mixtures (gasoline, diesel S-500) the experiment published by Leite, Centeno [1] was chosen. Five tanks with following dimensions (diameter D x height H) were used: $0,04 \text{ m} \times 0,012 \text{ m}$, $0,20 \text{ m} \times 0,06 \text{ m}$, $0,40 \text{ m} \times 0,12 \text{ m}$, $0,80 \text{ m} \times 0,24 \text{ m}$ and $4,28 \text{ m} \times 0,65 \text{ m}$. At each test and at each vessel diameter, there were burnt the following fuel volumes: $3,77 \cdot 10^{-3} \text{ L}$ (for tank with diameter $D = 0,04 \text{ m}$), $94,25 \cdot 10^{-3} \text{ L}$ (for $D = 0,20 \text{ m}$), $377 \cdot 10^{-3} \text{ L}$ (for $D = 0,40 \text{ m}$), $1,51 \text{ L}$ (for $D = 0,80 \text{ m}$) and $43,16 \text{ L}$ (for $D = 4,28 \text{ m}$). The total volume of liquid (fuel + water) was 80% of the volume for all tanks. During the burning, no influence of the presence of water under the fuel was observed, which is manifested by the sudden evaporation of water. The test with a $4,28 \text{ m}$ diameter vessel was performed in an open environment. Tests were conducted in days without wind, ambient temperature ranging from $20 \text{ }^\circ\text{C}$ to $25 \text{ }^\circ\text{C}$, ambient pressure was 1 atm. Gasoline density was $745 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ and diesel density was S-500 $840 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. The tanks were opened (without the roof) during the test, approaching the real fire conditions in the liquid tanks. The tests were repeated 6 times. The variation in fuel mass measurement was $\pm 0,1 \text{ g}$.

To calculate the selected fire properties were used the following calculation relations:

- The mass burning rate

The mass burning rate of the free burning splash depends on the diameter and the two empirical material constants that represent the specific fuel used and are a function of the heat flux from the flame to the surface of the fuel [12]. The dependence of the mass burning rate on the diameter of the burning area for a particular flammable liquid is expressed by the relation:

$$\dot{m}'' = \dot{m}''_{\infty} (1 - e^{-k \cdot \beta \cdot D}) \quad (1)$$

(pre nádrž s priemerom $D = 0,10 \text{ m}$), $2,0 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$ (pre $D = 0,14 \text{ m}$), $4,08 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$ (pre $D = 0,20 \text{ m}$) a $9,19 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$ (pre $D = 0,30 \text{ m}$). Meranie prebiehalo pri teplote od $5 \text{ }^\circ\text{C}$ do $14,5 \text{ }^\circ\text{C}$ s vlhkosťou vzduchu od 10 % do 54 % (klimatické podmienky v testovacej miestnosti v čase merania). V priebehu skúšky boli zmeny hmotnosti kvapaliny zaznamenávané elektronickými váhami v intervale raz za sekundu. Hodnoty výšky plameňa boli zachytené CCD kamerami.

V prípade horenia kvapalných zmesí (benzín, motorová nafta S-500) bol vybraný experiment publikovaný autormi Leite, Centeno [1]. Bolo použitých päť nádrží o veľkosti (priemer D x výška H): $0,04 \text{ m} \times 0,012 \text{ m}$, $0,20 \text{ m} \times 0,06 \text{ m}$, $0,40 \text{ m} \times 0,12 \text{ m}$, $0,80 \text{ m} \times 0,24 \text{ m}$ a $4,28 \text{ m} \times 0,65 \text{ m}$. Pri každom teste a pri každom priemer nádob boli spálené nasledovné objemy palív: $3,77 \cdot 10^{-3} \text{ L}$ (pre nádrž s priemerom $D = 0,04 \text{ m}$), $94,25 \cdot 10^{-3} \text{ L}$ (pre $D = 0,20 \text{ m}$), $377 \cdot 10^{-3} \text{ L}$ (pre $D = 0,40 \text{ m}$), $1,51 \text{ L}$ (pre $D = 0,80 \text{ m}$) a $43,16 \text{ L}$ (pre $D = 4,28 \text{ m}$). Celkový objem kvapaliny (palivo + voda) predstavoval 80 % objemu pre všetky nádrže. Počas horenia nebol spozorovaný vplyv prítomnosti vody pod palivom, čo sa prejavuje prostredníctvom náhleho odparovania vody. Skúška s nádobou o priemeru $4,28 \text{ m}$ bola vykonaná v otvorenom prostredí. Testy prebiehali v dňoch bez vetra, teplota okolia sa pohybovala v rozmedzí od $20 \text{ }^\circ\text{C}$ do $25 \text{ }^\circ\text{C}$, tlak okolitého prostredia bol 1 atm. Hustota benzínu bola $745 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ a motorovej nafty S-500 $840 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Nádrže počas testu boli otvorené (bez strechy), čím sa približovali k podmienkam reálnych požiarov v zásobníkoch kvapalín. Skúšky boli opakované 6-krát. Odchýlka pri meraní hmotnosti paliva predstavovala $\pm 0,1 \text{ g}$.

Na výpočet vybraných požiarotechnických charakteristík boli použité nasledujúce výpočtové vzťahy:

- Hmotnostná rýchlosť odhorievania

Rýchlosť úbytku hmotnosti voľne horiacej kaluže závisí od priemeru a od dvoch empirických materiálových konštánt, ktoré predstavujú konkrétne použité palivo a sú funkciou tepelného toku z plameňa k povrchu paliva [12]. Závislosť hmotnostnej rýchlosti odhorievania od priemeru plochy odhorievania pre konkrétnu horľavú kvapalinu vyjadruje vzťah:

where \dot{m}'' ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) is the mass burning rate, \dot{m}''_{∞} ($\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$) asymptotic mass burning rate of the liquid, $k\cdot\beta$ (m^{-1}) material constant of combustible liquid, D (m) diameter of the area of burning [13].

- Heat release rate

The course of the fire is generally characterized by the rate of heat release depending on time. This variable is the basic parameter for determining the burning intensity. It is true that the higher the rate of heat release, the greater the risk of fire [14, 15]. If we know the total area of burning A_f (m^2), one way of determining the rate of heat release \dot{Q} (kW), is the calculation using area velocity of burning, total combustion heat ΔH_c ($\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$) and combustion efficiency χ_s (%) [13]:

$$\dot{Q} = A_f \cdot \dot{m}'' \cdot \chi_s \cdot \Delta H_c \quad (2)$$

The rate of heat release can also be calculated in the following way [16]:

$$\dot{Q} = \dot{m}'' \cdot \Delta H_c \cdot A_f \cdot (1 - e^{-k\cdot\beta\cdot D}) \quad (3)$$

- Flame height

Flame height along with flame temperature are important parameters when assessing the possibility of ignition of inflammables [14]. In order to calculate the flame height, it is first necessary to define the mean flame height. This is best determined by averaging the visible flame height depending on time. The intermittency, denoted I , is shown on the vertical axis. The value of 1 on this axis indicates the complete appearance of the flame.

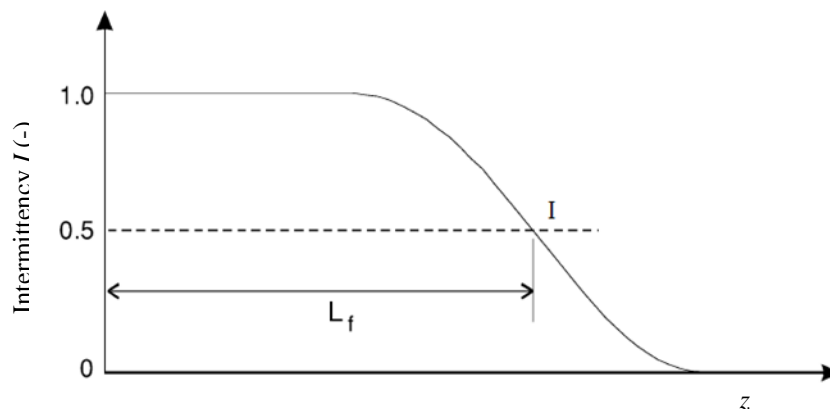


Fig. 1 The mean flame height [12]
Obr. 1 Stredná výška plameňa [12]

$$\dot{m}'' = \dot{m}''_{\infty} (1 - e^{-k\cdot\beta\cdot D}) \quad (1)$$

kde \dot{m}'' ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) je hmotnostná rýchlosť odhorievania, \dot{m}''_{∞} ($\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$) asymptotická hmotnostná rýchlosť odhorievania kvapaliny, $k\cdot\beta$ (m^{-1}) materiálová konštanta horľavej kvapaliny, D (m) priemer plochy odhorievania [13].

- Rýchlosť uvoľňovania tepelnej energie

Priebeh požiaru je všeobecne charakterizovaný rýchlosťou uvoľňovania tepla v závislosti na čase. Táto veličina je základným parametrom pre určenie intenzity horenia. Platí, že čím je rýchlosť uvoľňovania tepla vyššia, tým je väčšie nebezpečenstvo požiaru [14, 15]. Ak poznáme celkovú plochu odhorievania A_f (m^2), jedným zo spôsobov stanovenia rýchlosti uvoľňovania tepla \dot{Q} (kW), je výpočet pomocou plošnej rýchlosti odhorievania, celkového spaľovacieho tepla ΔH_c ($\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$) a účinnosti spaľovania χ_s (%) [13]:

$$\dot{Q} = A_f \cdot \dot{m}'' \cdot \chi_s \cdot \Delta H_c \quad (2)$$

Rýchlosť uvoľňovania tepla možno vypočítať aj nasledovným spôsobom [16]:

$$\dot{Q} = \dot{m}'' \cdot \Delta H_c \cdot A_f \cdot (1 - e^{-k\cdot\beta\cdot D}) \quad (3)$$

- Výška plameňa

Výška plameňa spolu s teplotou plameňa patria medzi dôležité parametre pri posudzovaní možnosti vznietenia okolitých horľavín [14]. Na výpočet výšky plameňa je potrebné najskôr definovať strednú výšku plameňa. Tá sa najlepšie určuje s priemerovaním viditeľnej výšky plameňa v závislosti od času.

The horizontal axis shows the distance above the fire source, z . At point 0.5 on the vertical axis is height at which the flame occurs in half the time. This flame height in Fig. 1 is defined as the mean flame height L_f [12].

Based on experimental correlations, Heskestad [7] deduced flame height in burning flammable liquids on a solid surface according to the following relation:

$$L_f = 0.23 \cdot \dot{Q}^{\frac{2}{5}} - 1.02 \cdot D \quad (4)$$

where L_f (m) is the flame height, \dot{Q} (kW) is the rate of heat release and D (m) is the diameter of the fire [17].

According to Thomas, the mean flame height can be calculated as follows:

$$L_f = 42 \cdot D \cdot \left(\frac{\dot{m}''}{\rho_a \cdot \sqrt{g \cdot D}} \right)^{0.61} \quad (5)$$

where L_f (m) is the height of the flame, \dot{m}'' ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) is the mass burning rate, ρ_a ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$) density of ambient air and g ($\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$) is gravitational acceleration [18].

3 Results and discussion

3.1 Results of calculated *n*-Heptane parameters

We used the equation (1) to calculate the mass burning rate by the calculation method, even though the calculation relation was derived for vessels with a diameter above 0.2 m. The variables that enter the calculation were taken over from the table reported by Stroup et al. [19] and that are listed in Tab. 1.

The value of the empirical constant $k\beta$ was taken from experimental data from the SFPE Handbook that Babrauskas determined [19].

Calculated values of the mass burning rate (\dot{m}'') and the rate of heat release (\dot{Q}) according to the relation (2) for the different vessel diameters are given in Tab. 2.

Prerušovaná čiara označená ako I je zobrazená na zvislej osi. Hodnotou 1 na tejto osi je označený celkový vzhľad plameňa. Horizontálna os znázorňuje vzdialenosť nad zdrojom požiaru, z . V bode 0,5 na vertikálnej osi je výška, v ktorej sa plameň objaví za polovicu času. Táto výška plameňa na obr. 1 je definovaná ako stredná výška plameňa L_f [12].

Na základe experimentálnych korelácií Heskestad [7] odvodil výšku plameňa pri horení horľavých kvapalín na pevnom povrchu podľa nasledujúceho vzťahu:

$$L_f = 0.23 \cdot \dot{Q}^{\frac{2}{5}} - 1.02 \cdot D \quad (4)$$

kde L_f (m) je výška plameňa, \dot{Q} (kW) je rýchlosť uvoľňovania tepla a D (m) je priemer požiaru [17].

Podľa Thomasa možno strednú výšku plameňa vypočítavať nasledovným spôsobom:

$$L_f = 42 \cdot D \cdot \left(\frac{\dot{m}''}{\rho_a \cdot \sqrt{g \cdot D}} \right)^{0.61} \quad (5)$$

kde L_f (m) je výška plameňa, \dot{m}'' ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) je hmotnostná rýchlosť odhorievania, ρ_a ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$) hustota okolitého vzduchu a g ($\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$) je gravitačné zrýchlenie [18].

3 Výsledky a diskusia

3.1 Výsledky vypočítaných parametrov *n*-Heptánu

Pre výpočet hmotnostnej rýchlosti odhorievania výpočtovou metódou sme použili vzťah (1), aj napriek tomu, že výpočtový vzťah bol odvodený pre nádoby s priemerom nad 0,2 m. Veľičiny, ktoré vstupujú do výpočtu sme odčítali z tabuľkových hodnôt, ktoré uvádzajú autori Stroup et al. [20] a sú uvedené v tab. 1.

Hodnota empirickej konštanty $k\beta$ bola prevzatá z experimentálnych údajov z príručky SFPE Handbook, ktoré určil Babrauskas [19].

Tab. 1 Characteristics of n-Heptane required for calculation [20]

Tab. 1 Charakteristiky n-Heptánu potrebné pre výpočet [20]

Flammable liquid / Horľavá kvapalina	\dot{m}''_{∞} ($\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$)	$k\cdot\beta$ (m^{-1})	ΔH_c ($\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$)	ρ ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	χ_s (-)
n-Heptane / n-Heptán	0.101	1.1	44 600	675	0.7

Experimental values of the mass burning rate are divided into several groups, depending on the burning rate and flame height, at a stable mass burning rate representing the second phase of steady combustion \dot{m}''_1 , the maximum mass burning rate at the boiling point of the liquid \dot{m}''_2 , the average mass burning rate during the entire process of burning \dot{m}''_3 , the mass burning rate in the second and third phases of combustion \dot{m}''_4 and the mass burning rate in the third stage of combustion \dot{m}''_5 .

Vypočítané hodnoty hmotnostnej rýchlosti odhorievania (\dot{m}'') a rýchlosti uvoľňovania tepla (\dot{Q}) podľa vzťahu (2) pri rozdielnych priemerov nádob sú uvedené v tab. 2.

Experimentálne hodnoty rýchlosti odhorievania sú v závislosti na rýchlosti horenia a výšky plameňa rozdelené do niekoľkých skupín, a to na stabilnú rýchlosť odhorievania predstavujúcu druhú fázu ustáleného horenia \dot{m}''_1 , na maximálnu rýchlosť odhorievania pri vare kvapaliny \dot{m}''_2 , na priemernú rýchlosť odhorievania počas celej doby horenia \dot{m}''_3 , na rýchlosť odhorievania v druhej a tretej fáze horenia \dot{m}''_4 a na rýchlosť odhorievania v tretej fáze horenia \dot{m}''_5 .

Tab. 2 Calculated values \dot{m}'' and \dot{Q} depending on vessel diameter required to calculate mean flame height

Tab. 2 Vypočítané hodnoty \dot{m}'' a \dot{Q} v závislosti od priemeru nádoby potrebné na výpočet strednej výšky plameňa

Vessels Diameter / Priemer nádoby D (m)	\dot{m}'' ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	\dot{Q} (kW)	\dot{Q} ($\text{kW}\cdot\text{m}^{-2}$)
0.10	0.011	2.747	343.375
0.14	0.014	6.556	437.067
0.20	0.020	19.356	624.387
0.30	0.028	62.065	874.155

Comparison of experimental values and results from the calculation relation are shown in Fig. 2. Calculated values of the mass burning rate \dot{m}'' obtained by the calculation method for vessels with diameter of 0.10 m and 0.14 m most closely approximated to the experimental value of average mass burning rate during the whole time of burning. Calculated values approximate the experimental values obtained in the third burning phase at the vessels with a

Porovnanie experimentálnych hodnôt a výsledkov z výpočtového vzťahu sú zobrazené na obr. 2. Nami vypočítané hodnoty hmotnostnej rýchlosti odhorievania \dot{m}'' výpočtovou metódou sa pri nádobách s priermi 0,10 m a 0,14 m najviac približujú k experimentálnej hodnote priemernej rýchlosti odhorievania počas celej doby horenia. Pri nádobách s priermi 0,20 m a 0,30 m sa vypočítané hodnoty približujú k experimentálnym hodnotám získané v tretej fáze

diameter of 0.20 m and 0.30 m. The experiment showed that the rate of burning is gradually increasing when the vessels with larger diameter, from 0.1 to 0.3 m are used. The calculated values of the mass burning rate were also gradually increasing.

Furthermore, in Fig. 2, we can see that the burning liquid rate in vessels of different diameters is not the same. As mentioned by Demidov [21], this change in the rate of burning is related to the character of the vapor flux, which processing from the surface of the liquid to the combustion zone. At a diameter of more than 0.1 m, the flame begins to change its shape in the upper position, pulsates and divides into sections of varying volumes, transition from laminar to turbulent flow. This results in more intense heat transfer from the burning area to the surface of the liquid and consequently in increase in the rate of burning.

According to Novotný and Tureková [22], the other parameters of the vessel, the thickness of the walls, the height of the vessel, filling of the vessel with combustible liquid, the material of the vessel and the temperature of the liquid also have a significant influence on the rate of burning. Last but not least, combustible liquid representing pure substance or liquid mixture has also the impact.

horenia. Z experimentu vyplýva, že rýchlosť horenia sa od priemeru 0,1 až 0,3 m postupne zvyšuje. Nami vypočítané hodnoty rýchlosti odhorievania sa taktiež postupne zvyšujú.

Ďalej na obrázku 2 môžeme vidieť, že rýchlosť horenia kvapaliny v nádobách rôznych priemerov nie je rovnaká. Ako uvádza Demidov [21] táto zmena rýchlosti horenia súvisí s charakterom prúdu pár, ktoré postupujú od povrchu kvapaliny do pásma horenia. Pri priemere viac ako 0,1 m plameň začína v hornej polohe meniť tvar, pulzuje a rozdeľuje sa na časti o rôznych objemoch, prechod z laminárneho do turbulentného toku. To má za následok intenzívnejší prenos tepla z priestoru horenia k povrchu kvapaliny a následne aj k zväčšeniu rýchlosti horenia.

Ako uvádza Novotný a Tureková [22], výrazný vplyv na rýchlosť odhorievania majú aj ostatné parametre nádoby definujúce hrúbku stien, výšku nádoby, zaplnenie nádoby horľavou kvapalinou, materiál nádoby a teplota kvapaliny. V neposlednom rade má vplyv aj samotná horľavá kvapalina predstavujúca čistú látku alebo kvapalnú zmes.

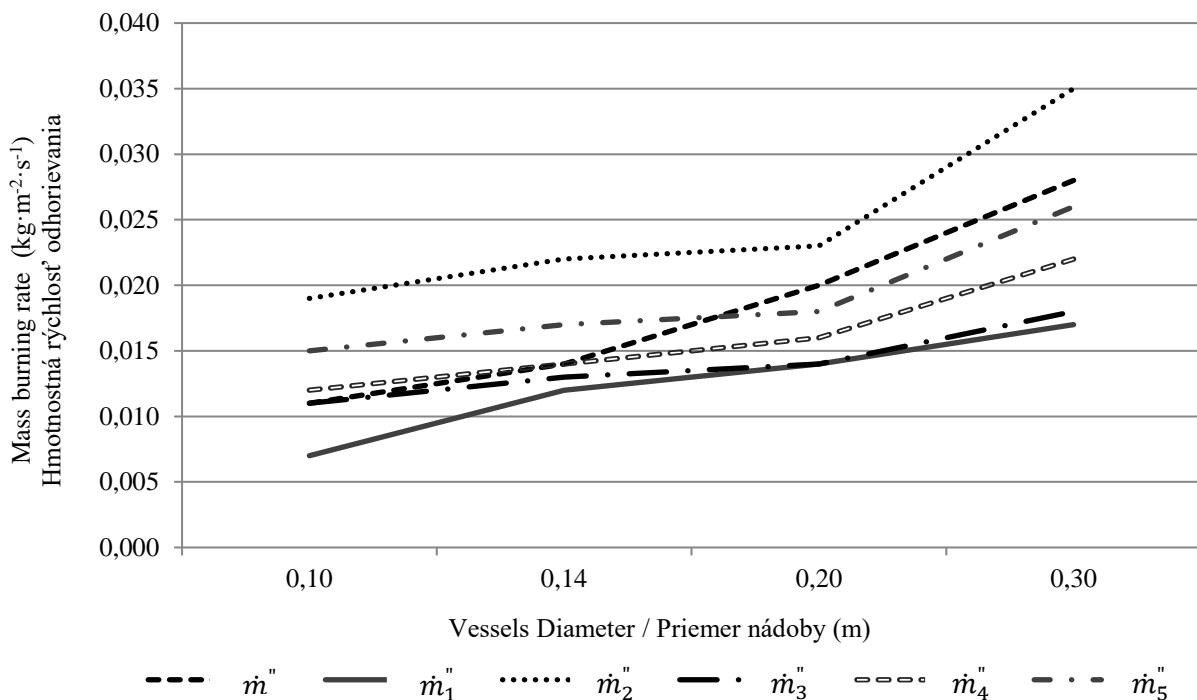


Fig. 2 Comparison of the experimental and calculation values of the mass burning rate
Obr. 2 Porovnanie experimentálnych a vypočítaných hodnôt hmotnostnej rýchlosti odhorievania

We used two methods to calculate the mean flame height. The method by Heskestad and the method by Thomas. The results of the calculation of the mean flame height depending on the vessel diameter, differ slightly, where the higher flame values are achieved by the Heskestad method. This difference may be due to the input variables considered in the calculation. Heskestad considers the rate of heat release and the diameter of the vessel at the calculation.

On the contrary, according to Thomas, the mean flame height can be determined based on the vessel diameter, mass burning rate, air density and gravitational acceleration. Differences in values are shown in Fig. 3.

Na výpočet strednej výšky plameňa sme použili dve metódy. Metódu podľa Heskestada a metódu podľa Thomasa. Výsledky výpočtových hodnôt strednej výšky plameňa v závislosti od priemeru nádoby sa mierne odlišujú, kde vyššie hodnoty plameňa sa dosahujú pri metóde podľa Heskestada. Tento rozdiel môže byť spôsobený vstupnými veličinami, s ktorými sa uvažuje pri výpočte. Heskestad uvažuje pri výpočte najmä s rýchlosťou uvoľňovania energie a priemerom nádoby. Naopak podľa Thomasa strednú výšku plameňa možno určiť na základe priemeru nádoby, hmotnostnej rýchlosti odhorievania, hustoty vzduchu a gravitačného zrýchlenia. Rozdiely v hodnotách sú znázornené na obr. 3.

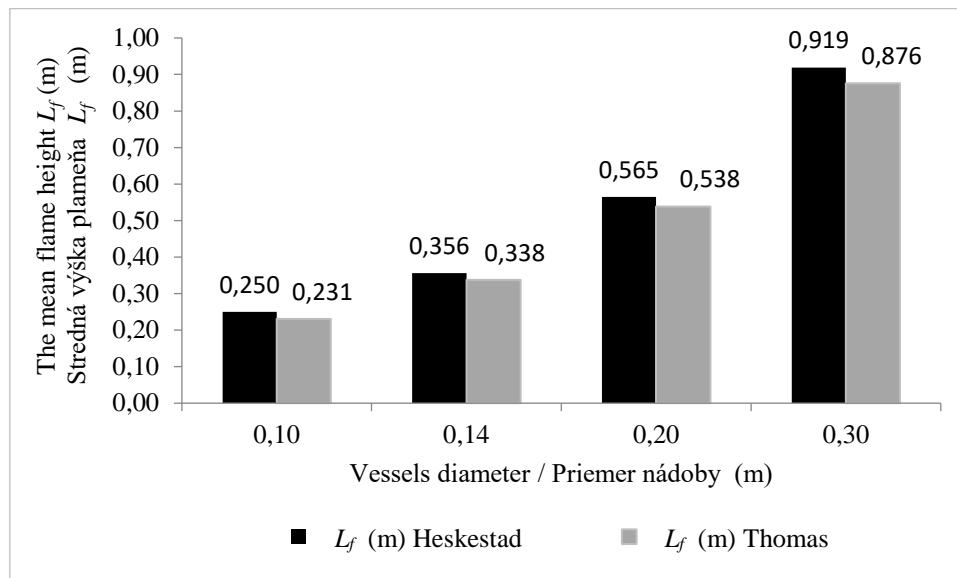


Fig. 3 Comparison of the mean flame height calculated by Heskestad and Thomas methods

Obz. 3 Porovnanie vypočítanej strednej výšky plameňa podľa metód Heskestada a Thomasa

In Table 3, we compared the results of the calculation methods with the experimental value for a 0.30 m diameter vessel. The experimental value obtained by Heskestad method corresponds to 96 % with the calculation method according to Thomas. The difference could be due to the values of the variables entering the calculation. The value of the combustion efficiency of 0.7 may differ from the actual burning value in the experiment. The difference can also be caused by the value of heat release rate entering the calculation.

V tabuľke 3 uvádzame porovnanie výsledkov výpočtových metód s experimentálnou hodnotou pri nádobe s priemerom 0,30 m. Experimentálna hodnota sa na 96 % zhoduje s výpočtovou metódou podľa Thomasa. Tento rozdiel mohol byť spôsobený hodnotami veličín vstupujúcimi do výpočtu. Nami dosadzovaná hodnota účinnosti spaľovania 0,7 sa môže líšiť od skutočnej dosiahnutej hodnoty pri horení v experimente. Taktiež môže byť rozdiel spôsobený hodnotou rýchlosti uvoľňovania tepla, ktorá vstupuje do výpočtu.

Tab. 3 Comparison of the mean height obtained by the calculation method with the experimental value

Tab. 3 Porovnanie strednej výšky plameňa získanej výpočtovou metódou s experimentálnou hodnotou

Flammable liquid / Horľavá kvapalina	Diameter / Priemer D (m)	Calculation method / Výpočtová metóda		Experimental value / Experimentálna hodnota L_f (m) [8]
		L_f (m) Heskestad	L_f (m) Thomas	
n-Heptane / n-Heptán	0.30	0.919	0.876	0.839

3.2 Results of S-500 diesel and gasoline calculation methods

We used the equation (1) to calculate the mass burning rate by the calculation method. The values of the variables entering the calculation were obtained from the experimental values and are presented in Tab. 4.

3.2 Výsledky výpočtových metód benzínu a motorovej nafty S-500

Pre výpočet hmotnostnej rýchlosti odhorievania výpočtovou metódou sme použili vzťah (1). Hodnoty veličín vstupujúce do výpočtu sme získali z experimentálnych hodnôt a sú uvedené v tab. 4.

Tab. 4 Gasoline and diesel S-500 fuel characteristics needed for calculation [20]

Tab. 4 Charakteristiky benzínu a motorovej nafty S-500 potrebné pre výpočet [20]

Flammable liquid / Horľavá kvapalina	\dot{m}''_{∞} ($\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$)	$k\cdot\beta$ (m^{-1})	ΔH_c ($\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$)	ρ ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)
Gasoline / Benzín	0.055	2.1	43 700	745
Diesel fuel S-500 / Motorová nafta S-500	0.045	2.1	44 400	840

Calculated values of the mass burning rate and (\dot{m}'') the rate of heat release (\dot{Q}) calculated according to the relation (3) at the different vessel diameters are given in Tab. 5 and 6.

Vypočítané hodnoty hmotnostnej rýchlosti odhorievania (\dot{m}'') a rýchlosti uvoľňovania tepla (\dot{Q}) vypočítanej podľa vzťahu (3) pri rozličných priemerov nádob sú uvedené v tab. 5 a 6.

Tab. 5 Comparison of calculated values (\dot{m}''), experimental and literature data

Tab. 5 Porovnanie hodnôt (\dot{m}'') vypočítaných, experimentálnych a údajov z literatúry

Diameter / Priemer D (m)	\dot{m}'' ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)				Data from literature / Údaje z literatúry [23, 18]	
	Calculated values / Vypočítané hodnoty		Experimental value / Experi- mentálna hodnota			
	Gasoline / Benzín	Diesel fuel S-500 / Motorová nafta S-500	Gasoline	Diesel fuel S-500	Gasoline	Diesel fuel S-500
0.04	0.0044	0.0036	0.0141	0.0162	-	-
0.20	0.0188	0.0154	0.0165	0.0085	0.019	-
0.40	0.0313	0.0256	0.0199	0.0133	0.030	-
0.80	0.0447	0.0366	0.0313	0.0252	0.045	-
4.28	0.0550	0.0450	0.0451	0.0306	0.055	0.044

As we can see in the Tab. 5, calculated values of the mass burning rate of fuel per unit surface area of the liquid mixtures increase with the

Ako môžeme vidieť v tab. 5, vypočítané hodnoty plošnej rýchlosti odhorievania kvapalných zmesí sa zvyšujú s priemerom nádob. Pre väčšie

diameter of the vessels. For larger diameters, the mass burning rate for gasoline is about $0.055 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, which is in line with the value in literature [23]. However, the comparison with the experimental value of $0.0451 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ differs substantially. This difference may be due to a different methodology for determining this parameter. Also, in the case of a liquid mixture, the combustion process is more complicated opposite pure flammable liquids.

Similar results can also be observed for smaller vessel diameters. Further, we can notice that in the case of a vessel ($D = 4.28 \text{ m}$), the gasoline and diesel fuel values approximate to the asymptotic mass burning rate.

priemery sa hodnota rýchlosti odhorievania pre benzín pohybuje okolo $0,055 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, čo je v zhode s hodnotou z literatúry [23]. Avšak porovnanie s experimentálnou hodnotou $0,0451 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ sa podstatne líši. Tento rozdiel môže byť spôsobený rozdielnou metodikou stanovenia tohto parametra. Taktiež v prípade kvapalnej zmesi je proces horenia komplikovanejší oproti čistým horľavým kvapalinám.

Obdobné výsledky hodnôt môžeme pozorovať aj v prípade menších priemerov nádob. Ďalej si môžeme všimnúť, že v prípade nádoby ($D = 4,28 \text{ m}$) sa hodnoty benzínu a motorovej nafty približujú k hodnote asymptotickej hmotnostnej rýchlosti odhorievania.

Tab. 6 Comparison of values (\dot{Q}) calculated, experimental data and from the literature

Tab. 6 Porovnanie hodnôt (\dot{Q}) vypočítaných, experimentálnych a údajov z literatúry

Diameter / Priemer D (m)	\dot{Q} (kW)					
	Calculated values / Vypočítané hodnoty		Experimental value / Experi- mentálna hodnota		Data from literature / Údaje z literatúry [23, 18]	
	Gasoline / Benzín	Diesel fuel S-500 / Motorová nafta S-500	Gasoline	Diesel fuel S-500	Gasoline	Diesel fuel S-500
0.04	0.0196	0.0163	0.0624	0.0718	-	-
0.20	8.853	7.3679	7.7881	4.0191	8.9458	-
0.40	97.677	81.169	62.229	41.577	93.623	-
0.80	799.432	655.054	559.42	451.13	804.25	-
4.28	34 574.84	28 741.64	28 347	19 227	34 575	28 103

A similar trend of values we can observe also in the case of the rate of heat release, where the calculated values according to the equation (3), approximate more the values introduced in available literature than the experimental values. This difference is mainly caused by the value of the mass burning rate, but also by the amount of water contained under the fuel. With increasing diameter of the vessels, the rate of heat release increased, what is the consequence of the larger volume of fuel in the combustion zone.

Tables 7 and 8 shows the results of the mean flame height values calculated by the above mentioned methods. Differences of calculated

Obdobný trend hodnôt môžeme pozorovať aj v prípade rýchlosti uvoľňovania tepla, kde nami vypočítané hodnoty podľa vzťahu (3) sa približujú viac k údajom z dostupnej literatúry ako k experimentálnym hodnotám. Tento rozdiel je ovplyvnený najmä hodnotou hmotnostnej rýchlosti odhorievania, ale i množstvom vody obsiahnutej pod palivom. So zväčšovaním priemeru nádob sa rýchlosť uvoľňovania tepla zvyšovala, čo je dôsledok väčšieho objemu paliva v zóne horenia.

V tabuľkách 7 a 8 uvádzame výsledky hodnôt strednej výšky plameňa vypočítané podľa spomínaných metód. Rozdiely vypočítaných hodnôt metódami Heskestada a Thomasa sú

values by the Heskestad and Thomas method are distinct especially at vessels with a diameter of 0.04 m and 4.28 m. Compared to a pure flammable liquid, where the flame height corresponded to 96 % with the calculated value, the differences are markedly different in case of liquid mixtures. The reason is that the process of burning in the case of liquid mixtures is more complicated and takes place in several phases. One of the processes is e.g. cracking, where during burning, a part of the energy is consumed to cleave hydrocarbons to radicals with shorter-chain. In addition, if a chemically pure liquid burns, the composition of the vapor above the level does not differ from the composition of the liquid. In the case of burning of the liquid mixtures, fractional distillation is carried out in the upper layer and the vapor composition differs from the composition of the liquid. In their burning, lighter fractions are evaporated more intensely and the liquid phase changes its composition and properties. Also, in the case of real fires, all real effects are considered, e.g. the presence of water at the bottom of the vessel.

zreteľné najmä pri nádobách s priemerami 0,04 m a 4,28 m. Oproti čistej horľavej kvapaline, kde sa hodnota výšky plameňa zhodovala na 96 % s vypočítanou hodnotou, v prípade kvapalných zmesí sú rozdiely markantne odlišné. Dôvodom je, že proces horenia v prípade kvapalných zmesí je komplikovanejší a prebieha vo viacerých fázach. Jedným z procesov je napr. krakovanie, kde počas horenia sa časť energie spotrebuje na štiepenie uhl'ovodíkov na radikály s kratšími reťazcami. Okrem toho, ak horí chemicky čistá kvapalina, zloženie pár nad hladinou sa nelíši od zloženia kvapaliny. V prípade horenia kvapalných zmesí prebieha v jej hornej vrstve frakčná destilácia a zloženie pár sa líši od zloženia kvapaliny. Pri ich horení dochádza k intenzívnejšiemu vyparovaniu ľahších frakcií, v dôsledku čoho kvapalná fáza mení svoje zloženie a vlastnosti. Takisto v prípade reálnych požiarov sú zohľadnené všetky reálne vplyvy napr. prítomnosť vody na dne nádoby.

Tab. 7 Comparison of the mean flame height of the gasoline obtained by the calculation method with the experimental value

Tab. 7 Porovnanie strednej výšky plameňa benzínu získanej výpočtovou metódou s experimentálnou hodnotou

Diameter / Priemer D (m)	Calculation method / Výpočtová metóda		Experimental value / Experimentálna hodnota L_f (m) [1]
	L_f (m) Heskestad	L_f (m) Thomas	
0.04	0.007	0.073	0.109
0.20	0.346	0.542	0.510
0.40	1.030	1.197	0.560
0.80	2.517	2.409	1.400
4.28	10.674	8.769	5.000

Tab. 8 Comparison of the mean flame height of the diesel S-500 obtained by the calculation method with the experimental value

Tab. 8 Porovnanie strednej výšky plameňa motorovej nafty S-500 získanej výpočtovou metódou s experimentálnou hodnotou

Diameter / Priemer <i>D</i> (m)	Calculation method / Výpočtová metóda		Experimental value / Experimentálna hodnota L_f (m) [1]
	L_f (m) Heskestad	L_f (m) Thomas	
0.04	0.004	0.065	0.074
0.20	0.307	0.480	0.270
0.40	0.927	1.059	0.455
0.80	2.262	2.132	1.160
4.28	9.602	7.759	3.800

4 Conclusions

In combustion process of flammable liquids, it is important to monitor their fire properties, especially the mass burning rate, the rate of heat release, the flame height, which are the main indicators of the fire hazard of flammable liquids.

In this work, we focused on implementation of calculation methods used to calculate the above-mentioned characteristics. We compared the calculation values with experimental values obtained from burning of pure flammable liquids (n-Heptane) and liquid mixtures (gasoline, diesel fuel S-500) in vessels of different diameters.

The mass burning rate of liquid mixtures varies in the course of a fire depending on their characteristic and the amount of heat transfer from the burning zone to the surface of the liquid. The burning rate is not a constant value and varies in real fire conditions depending on temperature, vessel diameter, vessel level, liquid composition, wind speed and many other factors. Therefore, it is important for the calculation relation also to take in account other factors, not just the diameter of the vessel.

Experimental values of the mass burning rate of n-Heptane are divided into several groups according to the burning phases. Calculated values of the mass burning rate at the vessel diameter of 0.10 m and 0.14 m corresponded to the average burning rate during the entire combustion process obtained by the experiment. With the vessels diameter of 0.20 m and 0.30 m, the calculated values approximately

4 Záver

Pri procese horenia horľavých kvapalín je dôležité sledovať ich požiarotechnické charakteristiky najmä rýchlosť odhorievania, rýchlosť uvoľňovania tepla, výšku plameňa, ktoré sú hlavnými ukazovateľmi nebezpečenstva pri požiaroch horľavých kvapalín.

V práci sme sa zamerali na zistenie zhody výsledkov výpočtových metód slúžiacie na výpočet vyššie uvedených charakteristík. Porovnávali sme výpočtové hodnoty s experimentálnymi hodnotami pri horení čistých horľavých kvapalín (n-Heptán) a kvapalných zmesí (benzín, motorová nafta S-500) v nádobách rôznych priemerov.

Rýchlosť odhorievania kvapalných zmesí sa v priebehu požiaru mení v závislosti na ich vlastnostiach a množstvom prestupujúceho tepla z pásma horenia na povrch kvapaliny. Rýchlosť horenia nie je konštantnou hodnotou a v reálnych podmienkach požiaru sa mení v závislosti na teplote, priemere nádoby, výške hladiny v nádobe, zloženia kvapaliny, rýchlosti vetra a mnoho ďalších faktorov. Preto je dôležité, aby výpočtový vzťah zohľadňoval i ostatné faktory, nie len priemer nádoby.

Experimentálne hodnoty hmotnostnej rýchlosti odhorievania n-Heptánu sme rozdelili do niekoľkých skupín podľa fáz horenia. Vypočítané hodnoty hmotnostnej rýchlosti odhorievania pri priemere nádoby 0,10 m a 0,14 m sa zhodovali s priemernou rýchlosťou odhorievania počas celej doby horenia získanej autormi experimentom. Pri priemere nádob 0,20 m a 0,30 m sa vypočítané hodnoty približne zhodovali

correspond with the experimental values obtained in the third combustion phase.

In case of the rate of heat release, the value increased with increasing the diameter of the vessel and the larger volume of fuel delivered. Differences in the results related to the calculation values, the experimental values and the values published in the literature can be attributed to the composition of mixed flammable liquids (gasoline, diesel fuel S-500).

In case of the mean flame height, the results of the calculation methods are consistent with the chemically pure liquids, compared to the liquid mixtures. In the case of n-Heptane at a vessel with diameter of 0.30 m, the experimental result at 96 % was consistent with the Thomas calculation method. As mentioned in the article, not only the diameter of the vessel has a major effect on the flame height, but there are other parameters that affect it considerably.

Acknowledgments

This work was supported by the KEGA Agency under the project No. 012TU Z-4/2016.

s experimentálnymi hodnotami získanými v tretej fáze horenia.

V prípade rýchlosti uvoľňovania tepla sa hodnota zvyšovala so zväčšením priemeru nádoby a väčším objemom dodaného paliva. Rozdiely výsledkov výpočtových hodnôt s experimentálnymi hodnotami a s hodnotami publikovanými v literatúre je možné pripísať zloženiu zmesných horľavých kvapalín (benzín, motorová nafta S-500).

V prípade strednej výšky plameňa sú výsledky výpočtových metód v zhode v prípade chemicky čistých kvapalín oproti kvapalným zmesiam. V prípade n-Heptánu pri priemere nádoby 0,30 m sa experimentálny výsledok na 96 % zhodoval s výpočtovou metódou podľa Thomasa. Ako už bolo v článku spomenuté, nie len priemer nádoby má hlavný vplyv na výšku plameňa, ale sú tu aj ostatné parametre, ktoré ju podstatne ovplyvňujú.

Pod'akovanie

Táto práca vznikla vďaka podpore KEGA č. 012TU Z-4/2016.

References / Literatúra

- [1] Leite RM, Centeno FR. 2018. Effect of tank diameter on thermal behavior of gasoline and diesel storage tanks fires. *Journal of Hazardous Materials* 342:544-552.
- [2] Chatris JM, Quintela J, Folch J, Planas E, Arnaldos J, Casal J. 2001. Experimental study of burning rate in hydrocarbon pool fires. *Combustion and Flame* 126:1373-1383.
- [3] Jiang P, Lu S-x. 2016. Pool Fire Mass Burning Rate and Flame Tilt Angle under Crosswind in Open Space. *Procedia Engineering* 135:261-274.
- [4] Zhen C, Xiaolin W. 2014. Analysis for Combustion Properties of Crude Oil Pool Fire. *Procedia Engineering* 84:514-523.
- [5] Babrauskas V. 1995. Designing products for fire performance: the State of the art of test methods and fire models. *Fire Safety Journal* 24:299-312.
- [6] Thomas PH. 1963. The size of flames from natural fires. *Symposium (International) on Combustion* 9:844-859.
- [7] Heskestad G. 1983. Luminous heights of turbulent diffusion flames. *Fire Safety Journal* 5:103-108.
- [8] Kang Q, Lu S, Chen B. 2010. Experimental study on burning rate of small scale heptane pool fires. *Chinese Science Bulletin* 55:973-979.
- [9] Kong D, Liu P, Zhang J, Fan M, Tao C. 2017. Small scale experiment study on the characteristics of boilover. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 48:101-110.
- [10] Ferrero F, Muñoz M, Arnaldos J. 2007. Effects of thin-layer boilover on flame geometry and dynamics in large hydrocarbon pool fires. *Fuel Processing Technology* 88:227-235.
- [11] Kuang C, Li Y, Zhu S, Li J. 2013. Influence of Different Low Air Pressure on Combustion Characteristics of Ethanol Pool Fires. *Procedia Engineering* 62:226-233.
- [12] Karlsson B, Quintiere JG. 2000. *Enclosure fire dynamics*. CRC Press.
- [13] Kučera P, Kaiser R, Pavlík T, Pokorný J. 2009. *Požární inženýrství: Dynamika požáru. Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství v Ostravě*.

- [14] Bursíková P, Dvořák, O. 2009. Předpověď parametrů požárů rozlitých hořlavých kapalin. *Spektrum* 9:11-14.
- [15] Kučera P, Pokorný J, Pavlík T. 2013. Požární inženýrství: Aktivní prvky požární ochrany. Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství v Ostravě.
- [16] Society of Fire Protection Engineers. 2002. *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*. National Fire Protection Association.
- [17] Stratton BJ, Spearpoint M, Fleischmann C, Engineering UoCDoC. 2005. Determining Flame Height and Flame Pulsation Frequency and Estimating Heat Release Rate from 3D Flame Reconstruction. Department of Civil Engineering, University of Canterbury.
- [18] Iqbal N, Salley MH. 2004. Fire Dynamics Tools (FDTs): Quantitative Fire Hazard Analysis Methods for the U.S. Nuclear Regulatory Commission Fire Protection Inspection Program : Final Report. United States Nuclear Regulatory Commission, Office of Nuclear Regulatory Research.
- [19] Babrauskas V. 1995. Burning rates. *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*, 2nd ed., National Fire Protection Association, Quincy, MA.
- [20] Stroup D, Taylor G, Hausman G. 2013. Fire Dynamics Tools (FDT^s): Quantitative Fire Hazard Analysis Methods for the U.S. Nuclear Regulatory Commission Fire Protection Inspection Program. Supplement 1. United States Nuclear Regulatory Commission, Office of Nuclear Regulatory Research.
- [21] Demidov PG. 1963. Horenie a vlastnosti horľavých látok. Slovenské vydavateľstvo technickej literatúry.
- [22] Novotný M, Tureková I. 2010. Vplyv hrúbky steny a výšky naplnenia modelovej nádoby na rýchlosť odhorievania etanolu. In *Environmentálne a bezpečnostné aspekty požiarov a havárií 2010: Konferencia s medzinárodnou účasťou*. Trnava: AlumniPress.226-236.
- [23] Babrauskas V. 1992. *Heat Release Rates in Fires*. E&FN Spon, Londres. 644 p.

The Influence of Thermal Modification on Selected Wood Properties

Vplyv termickej modifikácie na vybrané vlastnosti dreva

Jana Luptáková^{1*}, František Kačík^{1,2}

¹ Department of Chemistry and Chemical Technologies, Faculty of Wood Sciences and Technology, Technical University in Zvolen, T.G. Masaryka 24, 960 53 Zvolen, Slovakia; janabercikova@azet.sk kacik@tuzvo.sk

² Department of Wood Processing, Czech University of Life Sciences in Prague, Kamýcká 1176, Praha 6 - Suchbátka, 16521 Czech Republic; kacik@fd.czu.cz

* Corresponding author: janabercikova@azet.sk

Review

Received: June 13, 2018; Accepted: July 04, 2018; Published: July 31, 2018;

Abstract

The interest in the thermal modification of wood has been increasing in the last decades. The interest may be induced by various reasons, for example declining production of durable timber, an increasing demand for sustainable building materials, deforestation of especially subtropical forests, or increased introduction of governmental restrictive regulations reducing the use of toxic chemicals. This study focuses on the changes in wood properties caused by the temperature. Literature recherche was conducted in this review. There are investigated properties such as mass loss, chemical composition, mechanical properties, optical properties, surface quality and fire-technical characteristics. Most of the mentioned properties have been investigated thoroughly by many authors, but the research regarding fire properties of thermally modified wood is scarce. This review gives reader a view on the influence of the thermal modification on selected wood properties.

Keywords: thermal modification; mass loss; chemical composition, mechanical properties, fire-technical characteristics

1 Introduction

Wood is also used as an engineering and structural material. Unprotected wood after exposing to outdoor conditions undergoes a variety of degradation reactions caused by diverse environmental factors such as light, moisture, heat, oxygen, pollutants, pests, etc. [1-3]. There are various ways to protect the wooden parts of buildings, e.g. nano-metal impregnation [4], insecticide treatments [5], fungal metabolites [6], and thermal modification [7].

The thermal modification has been used to improve the properties of wood for nearly a century [8]. The advantage of the thermal modification is that the environmental impact of

1 Úvod

Drevo sa používa aj ako stavebný a konštrukčný materiál. Nechránené drevo po vystavení vonkajším podmienkam podlieha rôznym degradačným reakciám spôsobeným rôznymi faktormi životného prostredia, ako je svetlo, vlhkosť, teplo, kyslík, znečisťujúce látky, škodcovia atď. [1-3]. Existujú rôzne spôsoby ochrany drevených častí budov, napr. impregnácia kovovými nanočasticami [4], insekticídne ošetrenia [5], metabolitmi húb [6] a termickou modifikáciou [7].

Termická modifikácia sa na zlepšenie vlastností dreva používa už takmer sto rokov [8]. Jej výhoda spočíva najmä v malom nepriaznivom dopade na životné prostredie [9].

this process is low [9]. Heat is introduced into the treatment system and smoke released from wood during the thermal degradation can be retrieved, condensed and purified [10]. At the end of its lifecycle, heat treated wood can be recycled without detrimental impact on the environment to the contrary of chemically treated wood impregnated with biocidal active ingredients [11]. It is also held that the environmental credentials of thermally modified wood in terms of ecotoxicity are superior to that of untreated wood and may surpass those of several man-made materials [12]. Among positive changes in thermally modified wood are improved decay resistance [13-15], dimensional stability [16], surface hardness [17, 18], lower equilibrium moisture content [19, 20], and darker decorative colour [21-23].

The disadvantage of thermally modified wood is in deterioration of some of the mechanical properties such as: bending and compression strengths [24, 25], stiffness and shear strength [17], modulus of rupture and modulus of elasticity [7, 26], as well as the mass loss [19, 27].

2 Mass Loss

Mass loss depends on wood species, heating medium, temperature, and treatment time.

Kačíková *et al.* [28] treated Norway spruce wood at the temperature range of 113 °C – 271 °C. They found, that the mass loss increased with the temperature of the treatment, for example, the mass loss at the temperature of 158 °C was 1.53%, and at the temperature of 271 °C, it was 32.97%.

González-Pena *et al.* [29] investigated changes in beech (*Fagus sylvatica*), Scots pine (*Pinus sylvestris*) and Norway spruce (*Picea abies*) wood after the thermal modification at the temperature range of 190 °C – 245 °C at five treatment times (0.33 h, 1 h, 4 h, 8 h and 16 h). Beech specimens exhibited higher mass loss than softwoods at equivalent periods of treatment regardless of the exposure temperature; for the beech wood the mass loss varied between 0.3% (0.33 h) and 6.7% (16 h) at 190 °C, and between 12.2% (0.33 h) and 27.0% (16 h) at 245 °C, for the pinewood between 0.6% (0.33 h) and 4.5% (16 h) at 190 °C and between 5.6% (0.33 h) and 21.5% (16 h) at 245 °C, and for the spruce wood between 1.1% (0.33 h) and 3.6% (16 h)

Do systému sa pri termickej modifikácii dodáva teplo a uvoľnené plynné produkty tepelnej degradácie sa môžu získavať, kondenzovať a čistiť [10]. Na konci svojho životného cyklu môže byť tepelne ošetrované drevo recyklované bez nepriaznivého vplyvu na životné prostredie na rozdiel od chemicky upraveného dreva, ktoré bolo impregnované biocídnymi látkami [11]. Okrem toho je tepelne modifikované drevo vhodnejšie aj z hľadiska ekotoxicity ako neošetrený materiál a môže byť lepšie aj v porovnaní s niektorými umelými látkami [12]. Medzi pozitívne zmeny tepelne modifikovaného dreva patrí aj jeho zvýšená biologická odolnosť [13-15], rozmerová stabilita [16], tvrdosť povrchu [17, 18], nižšia rovnovážna vlhkosť [19, 20] a tmavšia dekoratívna farba [21-23].

Nevýhodou termicky modifikovaného dreva môže byť zhoršenie niektorých jeho mechanických vlastností, napr. pevnosť v ohybe a v tlaku [24, 25], tvrdosť a pevnosť v šmyku [17], pevnosť v ohybe, modul pružnosti [7, 26], ako aj úbytok na hmotnosti [19, 27].

2 Úbytok na hmotnosti

Úbytok na hmotnosti závisí od druhu dreveniny, prostredia, teploty a času pôsobenia.

Kačíková *et al.* [28] termicky upravovali drevo v rozsahu teplôt 113 °C – 271 °C. Zistili, že úbytok na hmotnosti vzrastal s teplotou pôsobenia, napr. pri teplote 158 °C bol 1.53%, a pri teplote 271 °C dosahoval hodnoty 32,97%.

González-Pena *et al.* [29] sledovali zmeny bukového (*Fagus sylvatica*), borovicového (*Pinus sylvestris*) a smrekového (*Picea abies*) dreva pri termickej modifikácii v rozsahu teplôt 190 °C – 245 °C pri rôznych časoch pôsobenia (0,33 h, 1 h, 4 h, 8 h a 16 h). Bukové vzorky mali vyšší úbytok na hmotnosti ako ihličnaté dreviny bez ohľadu na čas pôsobenia; pri bukovom dreve bol úbytok na hmotnosti 0.3% (0,33 h) a 6,7% (16 h) pri 190 °C, a 12,2% (0,33 h) a 27,0% (16 h) pri 245 °C, pri borovicovom dreve 0,6% (0,33 h) a 4,5% (16 h) pri 190 °C, pri teplote 245 °C sa pohyboval medzi 5,6% (0,33 h) a 21,5% (16 h). Pri smrekovom dreve bol v rozsahu 1,1% (0,33 h) a 3,6% (16 h) pri 190 °C a medzi 7,7% (0,33 h) až 26,7% (16 h) pri teplote 245 °C. Autori dospeli k záveru, že.

and between 7.7% (0.33 h) and 26.7% (16 h) at 245 °C. These authors concluded that sample weight is more affected by the temperature of the treatment than by the time irrespective of the species under study.

Kučerová *et al.* [30] treated Silver fir wood (*Abies alba*) at the temperature range of 100 °C – 280 °C for 1 hour. They found the mass loss in the range of 7.88% (100 °C) – 52.40% (280 °C).

Mazela *et al.* [31] treated Scots pine (*Pinus sylvestris*) at the temperatures of 160 °C, 190 °C, and 220 °C during 6 h and 24 h in the air and in an atmosphere with water vapour. They found that the mass losses in the presence of air and of water vapour for 6 h were similar, but with 24 h the mass losses in the air were higher, especially for the wood treated at 190 °C and 220 °C.

Kim *et al.* [32] found a correlation between the mass loss and the time of the treatment (P) of radiata pine (*Pinus radiata*) for several temperatures, with equation (1):

$$ML(\%) = A_1 + A_2 \ln(P) \quad (1)$$

where ML is the percent mass loss (%), P is the heating period (hours), and A_1 and A_2 are constants.

3 Chemical Changes

The thermal modification influences the chemical composition of wood. It was found that chemical changes are also more influenced by the treatment temperature than the time [25].

At low temperatures between 20 °C – 150 °C, the process of wood drying is occurring, beginning with the loss of free water and finishing with bound water, in the temperature range of 180 °C – 250 °C, the temperature range commonly used for heat treatments, wood undergoes important chemical transformations, and at the temperatures above 250 °C starts the carbonization processes with the formation of CO_2 and other pyrolysis products [8]. It was found that the pyrolytic decomposition of the wood in the inert atmosphere occurs at mild temperatures for hemicelluloses (250 °C – 300 °C) followed by cellulose (300 °C –

na hmotnosť dreva viac vplyva teplota pôsobenia ako čas pôsobenia a druh dreviny.

Kučerová *et al.* [30] termicky pôsobili na jedľové drevo (*Abies alba*) v teplotnom rozsahu 100 °C – 280 °C počas 1 hodiny. Úbytok na hmotnosti bol 7,88% (100 °C) až 52,40% (280 °C).

Mazela *et al.* [31] upravovali borovicové drevo (*Pinus sylvestris*) pri teplotách 160 °C, 190 °C, a 220 °C počas 6 h a 24 h vo vzduchu aj v atmosfére vodnej pary. Zistili, že v oboch prostrediach boli úbytky na hmotnosti podobné pri čase pôsobenia 6 h, ale pri 24-hodinovom pôsobení bol úbytok vyšší vo vzduchu, najmä pri teplotách úpravy 190 °C a 220 °C.

Kim *et al.* [32] zistili koreláciu medzi úbytkom na hmotnosti a časom pôsobenia (P) pre borovicové drevo (*Pinus radiata*) pri viacerých teplotách, so závislosťou (1):

kde ML je úbytok na hmotnosti (%), P je čas pôsobenia (h), a A_1 , A_2 sú konštanty.

350 °C) and finally lignin (300 °C – 500 °C) [33].

3 Chemické zmeny

Termická modifikácia ovplyvňuje aj chemické zmeny dreva. Tieto zmeny sú tiež viac ovplyvnené teplotou pôsobenia ako jeho trvaním [25].

Pri nízkych teplotách (20 °C – 150 °C) prebieha sušenie dreva, pričom dochádza k odstráneniu najskôr voľnej, neskôr aj viazanej vody, pri teplotách od 180 °C do 250 °C, ktoré sa bežne používajú na termickú modifikáciu, podlieha drevo významným chemickým zmenám, a pri teplotách nad 250 °C začína proces karbonizácie sprevádzaný vznikom CO_2 a iných pyrolytických produktov [8]. Pyrolytický rozklad dreva začína v inertnej atmosfére pri relatívne nízkych teplotách degradáciou hemicelulóz

Hemicelluloses are degraded by the organic-acid catalyzed process

Amorphous regions of cellulose are also rapidly decomposed, what leads to the molecular configurations less susceptible to reaction with water [25, 34]. Acid-catalyzed degradation leads to the formation of formaldehyde, furfural, and other aldehydes [16]. Furfural and hydroxymethylfurfural are degradation products of pentoses and hexoses, respectively [35]. At the same time, hemicelluloses undergo dehydration reactions with the decrease of hydroxyl groups [36]. The content of polysaccharides decreases with the severity of the treatment and depends on the wood species [8]. Lignin undergoes depolymerisation in a first, fast stage, and then repolymerises into a more condensed substance [8]. Crystalline cellulose is largely unaffected below 300 °C [25, 34].

(250 °C – 300 °C), neskôr celulózy (300 °C – 350 °C) a nakoniec lignínu (300 °C – 500 °C)

[33]. Degradáciu hemicelulóz katalyzujú organické kyseliny.

Amorfne oblasti celulózy sa rozkladajú rýchlo, čo vedie ku konfigurácii, ktorá je menej prístupná reakciám v roztoku [25, 34]. Degradáčne reakcie v kyslom prostredí vedú k tvorbe formaldehydu, 2-furaldehydu a ďalších aldehydov [16]. 2-Furaldehyd a 5-hydroxymetyl-2-furaldehyd sú degradačné produkty pentóz, príp. hexóz [35]. Súčasne hemicelulózy podliehajú dehydratačným reakciám, ktoré sú sprevádzané poklesom hydroxylových skupín [36]. Množstvo polysacharidov klesá v závislosti od podmienok pôsobenia a druhu dreveniny [8]. V prvej etape termickej úpravy nastáva depolymerizácia lignínu, ktorý potom repolymerizuje za vzniku kondenzovaných štruktúr [8]. Kryštalická celulóza je pomerne odolná pri teplotách do 300 °C [25, 34].

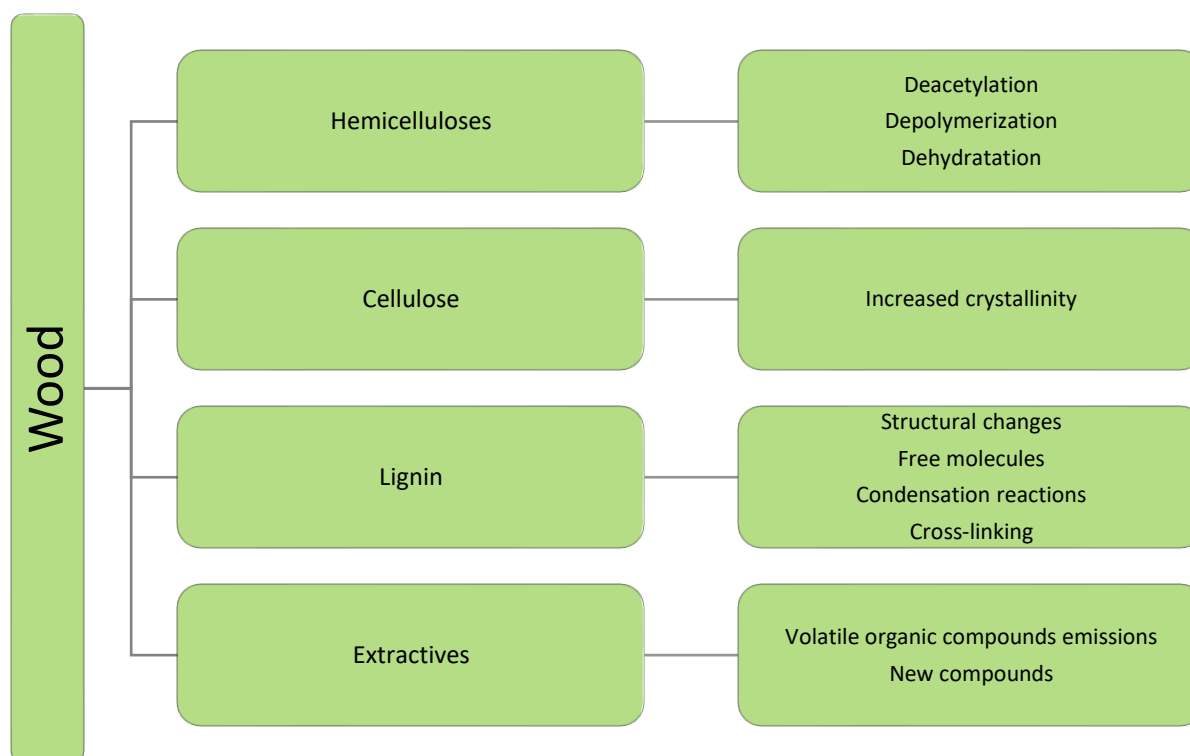


Fig 1. Chemical changes occurring in the main component of wood due to heat treatment (adapted from [8])

4 Mechanical Properties

One of the main disadvantages of heat-treated wood is the decrease of some mechanical properties, which makes this wood

unsuitable for some structural uses. The reduction depends on wood species and process conditions [8]. The modulus of elasticity seems to increase for softer treatments and decrease for more severe treatments [8]. Esteves *et al.* [19] found that in steam heat-treated pine (*Pinus pinaster*) and eucalypt (*Eucalyptus globulus*) wood the change in modulus of elasticity was small (maximum decrease of 5% for pine and 15% for eucalypt) but the bending strength was reduced significantly (by 40% at 8% mass loss for pine and 50% at 9% mass loss for eucalypt wood).

Kim *et al.* [32] studied the effect of the thermal treatment at the temperatures of 120 °C, 150 °C, and 180 °C during 4 hours to 96 hours on the bending properties of radiata pine (*Pinus radiata*) sapwood. Residual MOR of dry samples treated at 120 °C for 12 hours was 98.9%, and at 180 °C for 20 hours it was 72.1%. For green samples treated at 120 °C for 12 hours, residual MOR was 89.2%, and at 180 °C for 20 hours it was 68.5%. Residual MOE decreased less significantly. For dry samples treated at 120 °C for 12 hours it was 93.2%, and at 180 °C for 20 hours it was 91.7%. For green samples treated at 120 °C for 12 hours residual MOE was 94.6%, and at 180 °C for 20 hours it was 86.8%. They also found a correlation between the mechanical properties and the heat treatment conditions, expressed by equations (2) and (3).

$$RPB(\%) = B2 - B0(1 - e^{-(B1P)}) \quad (2)$$

$$RPB(\%) = A1e^{A2P} \quad (3)$$

where *RPB* is the percent residual bending properties (%), *P* is the heating period (hours), and *A1*, *A2*, *B0*, *B1* and *B2* are the parameters.

The decrease of the mechanical properties of the thermally modified wood was also described by many other authors [26, 28, 30].

4 Mechanické vlastnosti

Jednou z hlavných nevýhod termicky upraveného dreva je pokles niektorých mechanických vlastností, čo ho znevýhodňuje

pri jeho použití na konštrukčné účely. Zhoršenie týchto vlastností závisí od druhu dreveniny a podmienok úpravy [8]. Modul pružnosti vzrastá pri miernejších podmienkach a klesá pri drastickejšom pôsobení [8]. Esteves *et al.* [19] zistili pri úprave borovicového (*Pinus pinaster*) a eukalyptového (*Eucalyptus globulus*) dreva len malé zmeny modulu pružnosti (maximálny pokles o 5% pre borovicu a 15% pre eukalyptus), ale pevnosť v ohybe bola znížená významne (o 40% pri 8% úbytku na hmotnosti pre borovicu a 50% pri 9% úbytku na hmotnosti pre eukalyptus).

Kim *et al.* [32] skúmali vplyv termickej úpravy pri teplotách 120 °C, 150 °C a 180 °C a trvaní 4 až 96 hodín na ohybové vlastnosti beľového borovicového dreva (*Pinus radiata*). Výsledné hodnoty MOR suchých vzoriek upravovaných 12 h pri 120 °C klesli oproti pôvodným na 98,9% a na 72,1% pri teplote 180 °C počas 20 hodín. Pri vlhkých vzorkách upravovaných 12 h pri 120 °C bol pokles na 89,2% a na 68,5% pri teplote úpravy 180 °C počas 20 hodín. Pokles hodnôt MOE bol menej výrazný. Výsledné hodnoty MOE suchých vzoriek upravovaných 12 h pri 120 °C klesli oproti pôvodným na 93,2% a na 91,7% pri teplote 180 °C počas 20 hodín. Pri vlhkých vzorkách upravovaných 12 h pri 120 °C bol pokles na 94,6% a na 86,8% pri teplote úpravy 180 °C počas 20 hodín. Bola zistená korelácia medzi mechanickými vlastnosťami a podmienkami termickej úpravy, vyjadrená rovnicami (2) a (3).

kde *RPB* je hodnota výsledná hodnota ohybových vlastností (%), *P* je doba ohrevu (h), a *A1*, *A2*, *B0*, *B1* a *B2* sú parametre.

Pokles pevnostných vlastností termicky modifikovaného dreva bol pozorovaný aj inými autormi [26, 28, 30].

Boonstra *et al.* [37] studied the reasons for degradation of mechanical properties of thermally modified wood. They stated, that the degradation of hemicelluloses is the major factor for the loss of mechanical strength, affecting especially bending and tensile strength, but also the crystallization of amorphous cellulose might play an important role. Polycondensation reactions of lignin resulting in cross-linking, are proposed as having a positive impact mainly in the longitudinal direction. A close relationship between hemicellulose content and bending strength was also reported by other authors [7, 38].

5 Optical Properties

Colour is the very important property of wood for the final product, and in some cases, it is the determining factor for the selection of a specific wood since the visual decorative point of view is often prevailing [8]. Most researchers use CIELab system to determine the colour changes. The advantage of this system is that it is similar to human vision and very useful for camera or scanner imaging editing.

Kačíková *et al.* [28] studied the effect of the thermal treatment on colour changes in Norway spruce (*Picea abies*) wood. They found that surface colour of samples at the temperature of 221 °C was light brown, then brown to dark brown. At the temperature of 271 °C, the samples were black with a carbonized surface. Chen *et al.* [39] found that the black locust (*Robinia pseudoacacia*) wood flour changed its color characteristics in terms of L^* , a^* , and b^* values when subjected to heat treatment; the initial L^* value for control was 66.9, heat treatment induced a significant decrease in L^* values, measured at 42.8 (in oxygen) and 54.2 (in nitrogen), when the initial moisture content was 0%, the a^* values increased while b^* values decreased after heat treatment. Similar results were observed for Pedunculate oak (*Quercus robur*), Scotch pine (*Pinus sylvestris*), and Silver birch (*Betula verrucosa*) treated at temperatures 160 °C, 180 °C, 210 °C, and 240 °C [40].

Chen *et al.* [39] explained an increase of Δa^* by condensation of proanthocyanidin, lignin and other related extractives under low pH on the heat, and that the byproducts thus formed absorb the complementary light of reddish colour and contribute to the red colour of the wood.

Boonstra *et al.* [37] zistovali príčiny zhoršovania mechanických vlastností termicky modifikovaného dreva. Uvádzajú, že degradácia hemicelulózy je hlavným faktorom spôsobujúcim stratu mechanických vlastností, najmä pevnosti v ohybe a pevnosti v tlaku, ale takisto kryštalizácia amorfnej celulózy môže zohrávať významnú úlohu. Kondenzačné reakcie lignínu vedúce k jeho zosieťovaniu môžu mať pozitívny vplyv, najmä v pozdĺžnom smere. Významné korelácie medzi množstvom hemicelulózy a pevnosťou v ohybe zistili aj iní autori [7, 38].

5 Optické vlastnosti

Farba je veľmi dôležitá vlastnosť dreva v jeho finálnych produktoch a v niektorých prípadoch môže byť rozhodujúcim faktorom pre výber dreveniny, keďže vizuálne hľadisko je často rozhodujúce z estetického hľadiska [8]. Väčšina výskumníkov používa CIELab systém na sledovanie farebných zmien. Výhodou tohto systému je jeho podobnosť s ľudským videním a je tiež vhodné na spracovanie kamerou alebo skenerom.

Kačíková *et al.* [28] študovali vplyv termickej úpravy na farebné zmeny smrekového dreva (*Picea abies*). Zistili, že pri zvyšujúcej sa teplote do 221 °C sa farba menila od slabo hnedej až po tmavohnedú. Pri teplote 271 °C boli vzorky čierne so zuhoľnateným povrchom. Chen *et al.* [39] skúmali farebné zmeny termicky upraveného agátového dreva (*Robinia pseudoacacia*) hodnotami L^* , a^* , and b^* . Počiatočná hodnota L^* bola 66,9, termická úprava spôsobila jej významný pokles na 42,8 (v kyslíku) a na 54,2 (v dusíku) pri nulovej počiatočnej vlhkosti. Hodnota a^* vzrastala a hodnota b^* klesala vplyvom zvýšenej teploty. Podobné zmeny boli pozorované pri dubovom (*Quercus robur*), borovicovom (*Pinus sylvestris*) a brezovom (*Betula verrucosa*) dreve, ktoré boli upravené pri teplotách 160 °C, 180 °C, 210 °C a 240 °C [40].

Chen *et al.* [39] vysvetľujú vzrast Δa^* kondenzáciou proantokyanidínu, lignínu a niektorých extraktívnych látok vplyvom tepla pri nízkych hodnotách pH, pričom vznikajúce vedľajšie produkty absorbujú doplnkové žiarenie červenej farby a tým prispievajú k červenému zafarbeniu dreva. V prítomnosti vody kombinácia

In the presence of water, combining high temperature and oxygen atmosphere, heating generally induces hydrolysis reactions in wood, which could result in the formation of lower molecular weight yellow phenolic substances, such as flavonoids, which results in a decrease of Δb^* . Their results suggested that oxygen as an oxidation medium plays a vital role in the darkening of wood during heat treatment. The decrease in lightness (L^*) indicates that many components absorbing visible light are formed during heat treatment.

In general, colour could be used for predicting the properties of heat-treated wood. Todorovic *et al.* [41] observed that the majority of examined properties had a linear correlation with ΔL^* and ΔE^* , while ΔE^* was a better predictor for all properties, except for density of heartwood. Candelier *et al.* [11] reviewed the prediction of the durability of heat treated wood by colour measurement.

9 Surface Quality

The thermal modification also improves the surface quality of wood. This property is important in relation to wood flammability [8]. Priadi and Hiziroglu [42] treated Ceylon cedar (*Melia azedarch*), mahogany (*Swietenia macrophylla*), red oak (*Quercus falcate*), and Southern pine (*Pinus taeda*) wood at 130 °C and 200 °C for 2 h and 8 h. They observed that the oak showed the roughest surface with an average R_a value of 12.3 μm . Exposing the samples to the temperature of 130 °C for 2 h resulted in only 4.4% improvement in their R_a values. All specimens kept in the oven at 130 °C for 8 h had smoother surface quality. Average roughness values of the samples exposed to the temperature of 200 °C for 8 h had values lower about 17.8% than those of control samples. Eastern red cedar samples exposed to 190 °C for 8 h showed 85% lower values for above corresponding comparison.

Bakar *et al.* [17] reported that the surface quality of red oak (*Quercus rubra*), Eastern red cedar (*Juniperus virginiana*), and rubberwood (*Hevea brasiliensis*) treated at the temperatures of 120 °C and 190 °C for 2 h and 8 h improved with the increasing temperature and the exposure time. Among the average of surface roughness measurements for three species, red oak had the roughest surface quality, followed by

vysokej teploty a oxidačnej atmosféry spôsobuje hydrolyzálne reakcie v dreve, čo môže viesť k vzniku nízkomolekulových fenolických látok, napr. flavonoidov a výsledkom je pokles Δb^* .

Tieto výsledky naznačujú, že kyslík ako oxidačné médium hrá dôležitú úlohu pri tmavnutí dreva počas jeho tepelnej úpravy. Pokles svetlosti (L^*) poukazuje na vznik mnohých zlúčenín absorbujúcich viditeľné žiarenie počas termickej modifikácie dreva.

Zmeny farby môžu byť použité pre odhad vlastností termicky upraveného dreva. Todorovic *et al.* [41] zistili, že sledované vlastnosti majú lineárnu koreláciu s ΔL^* a ΔE^* , pričom ΔE^* vykazovalo lepšiu koreláciu so všetkými vlastnosťami, okrem hustoty jadrového dreva. Candelier *et al.* [11] skúmali závislosť medzi trvanlivosťou termicky upraveného dreva a zmenami farby.

9 Kvalita povrchu

Termická modifikácia takisto zlepšuje kvalitu povrchu dreva. Táto vlastnosť je dôležitá aj pri odolnosti voči jeho horľavosti [8]. Priadi a Hiziroglu [42] upravovali cédrové (*Melia azedarch*), mahagónové (*Swietenia macrophylla*), dubové (*Quercus falcate*) a borovicové (*Pinus taeda*) drevo pri teplotách 130 °C a 200 °C počas 2 a 8 hodín. Zistili, že dubové drevo malo najdrsnejší povrch s hodnotou R_a 12,3 μm . Úprava pri teplote 130 °C počas 2 h ho zlepšila len 4,4%. Všetky vzorky upravené pri teplote 130 °C počas 8 h mali hladší povrch. Priemerné hodnoty vzoriek upravených pri teplote 200 °C počas 8 h mali nižšie hodnoty o 17,8 % ako kontrolné vzorky. Cédrové drevo upravené pri teplote 190 °C počas 8 h malo o 85 % nižšie hodnoty v porovnaní s predchádzajúcimi.

Bakar *et al.* [17] uvádzajú, že kvalita povrchu dubového (*Quercus rubra*), cédrového (*Juniperus virginiana*) a kaučukového (*Hevea brasiliensis*) dreva upravovaného pri teplotách 120 °C a 190 °C počas 2 a 8 h sa zlepšovala so vzrastajúcou teplotou a dlhším trvaním úpravy. Dubové drevo malo najdrsnejší povrch (9,93 μm), hladší povrch mal kaučukovník (4,57 μm) a najhladší cédrové (2,60 μm).

Podľa Bakara *et al.* [17] zlepšenie kvality povrchu dreva upravovaného pri vyšších teplotách a dlhších časoch pôsobenia môže mať súvislosť so zmenami v biochemickom zložení

rubber wood and Eastern red cedar with average values of 9.93 μm , 4.57 μm and 2.60 μm , respectively.

Bakar *et al.* [17] stated, that the enhanced surface quality of the wood exposed to a higher temperature for a longer period of time could possibly be related to the changes of biochemical constituents in the cell wall.

10 Fire-technical Characteristics

Research on the influence of the thermal modification on fire-technical characteristics is scarce.

According to the Thermowood Handbook [43] the rate of the heat release level (RHR) of the heat-treated pine was about 10 kW greater than that of the untreated pine, in the total heat rate (THR), an increase of about 15% due to the heat treatment was observed, smoke production was roughly doubled, and the ignition time was shortened by 30%. However, they stated that ThermoWood does not differ significantly from normal wood when it comes to fire safety and that ThermoWood is in fire class D.

Čekovská *et al.* [44] studied the behaviour of the spruce wood treated at the temperatures of 160 °C, 180 °C, and 210 °C after the exposure to the direct flame. They found, that the open-flame burning caused a lower mass loss in the thermally modified spruce wood than in the untreated wood. After the direct flame was removed from the wood 10 min to 15 min into the test, there was no after-flame, and the mass loss was minimal, up to 0.54%.

Čekovská *et al.* [45] found that the same treatment of teak wood (*Tectona grandis*) caused the greater mass loss in open flame burning than in the untreated wood. Also, they found that thermally treated teak wood at all temperatures has higher burn rates than untreated wood.

Acknowledgement

This work was supported by the Slovak Research and Development Agency under the contract No. APVV-16-0326 (50%) and by the VEGA agency of the Ministry of Education, Science, Research and Sport of the Slovak Republic No. 1/0387/18 (50%).

bunkových stien.

10 Požiarno-technické vlastnosti

Vplyv termickej modifikácie na požiarno-technické vlastnosti dreva je v súčasnosti stále nedostatočne preskúmaný.

Podľa Thermowood Handbook [43] úroveň rýchlosti uvoľňovania tepla (RHR) tepelne upraveného borovicového dreva bola asi o 10 kW väčšia ako pri pôvodnom dreve, celkové uvoľnené teplo (THR) vzrástlo asi o 15%, tvorba dymu bola približne dvojnásobná a čas vznietenia sa skrátil asi o 30%. Autori uvádzajú, že ThermoWood sa významne nelíši od bežného dreva, pokiaľ ide o požiarnu bezpečnosť a že ThermoWood je v požiarnej triede D.

Čekovská *et al.* [43] skúmali zmeny smrekového dreva upraveného pri teplotách 160 °C, 180 °C a 210 °C po jeho vystavení priamemu plameňu. Zistili, že pôsobenie otvoreného plameňa spôsobilo menší úbytok na hmotnosti v termicky upravenom dreve ako v pôvodnom. Po odstránení priameho plameňa z dreva 10 min až 15 minút testu nedošlo k žiadnemu spätnému vzplanutiu a straty na hmotnosti boli minimálne, menej ako 0,54%.

Čekovská *et al.* [44] pri rovnako upravenom tиковom (*Tectona grandis*) zistili väčší úbytok na hmotnosti pri pôsobení priameho plameňa ako v prípade neupraveného dreva. Tíkové drevo modifikované pri všetkých teplotách malo vyššiu rýchlosť horenia v porovnaní s neupraveným drevom.

Pod'akovanie

Tento príspevok bol podporený Slovenskou agentúrou pre podporu výskumu a vývoja projekt číslo APVV-16-0326 (50%) a agentúrou VEGA Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu SR projekt číslo 1/0387/18 (50%).

References / Literatura

- [1] Evans PD, Michell AJ, Schmalzl KJ. 1992. Studies of the degradation and protection of wood surfaces. Wood Science and Technology 26(2):151-63. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00194471>
- [2] Hon DNS. 1994. Degradative effects of ultraviolet-light and acid-rain on wood surface quality. Wood and Fiber Science 26(2):185-91.
- [3] Teaca C-A, Rosu D, Bodirilau R, Rosu L. 2013. Structural Changes in Wood under Artificial UV Light Irradiation Determined by FTIR Spectroscopy and Color Measurements - A Brief Review. Bioresources 8(1):1478-507. DOI: <https://doi.org/10.15376/biores.8.1.1478-1507>
- [4] Huang H-L, Lin C-C, Hsu K. 2015. Comparison of resistance improvement to fungal growth on green and conventional building materials by nano-metal impregnation. Building and Environment 93:119-27. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.06.016>
- [5] Ahmed B, French JRJ, Vinden P. 2000. Boron protection of simulated wooden houses against *Coptotermes acinaciformis* (Froggatt) (Isoptera:Rhinotermitidae) in an accelerated field simulator. Material Und Organismen 33(4):289-318.
- [6] Yang D-Q, Wan H, Wang X-M, Liu Z-M. 2007. Use of fungal metabolites to protect wood-based panels against mould infection. Biocontrol 52(3):427-36. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10526-006-9022-8>
- [7] Esteves BM, Domingos IJ, Pereira HM. 2008. Pine wood modification by heat treatment in air. Bioresources 3(1):142-54.
- [8] Esteves BM, Pereira HM. 2009. Wood modification by heat treatment: A review. Bioresources 4(1):370-404.
- [9] Palanti S, Feci E, Torniai AM. 2011. Comparison based on field tests of three low-environmental-impact wood treatments. International Biodeterioration & Biodegradation 65(3):547-52. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2010.12.012>
- [10] Pétrissans M, Pétrissans A, Gérardin P. 2007. Check the durability of heat-treated beech wood. Tracés, Bulletin technique Technologie du bois de la Suisse Romande 17:12-6.
- [11] Candelier K, Thevenon M-F, Petrissans A, Dumarcay S, Gerardin P, Petrissans M. 2016. Control of wood thermal treatment and its effects on decay resistance: a review. Annals of Forest Science 13. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13595-016-0541-x>
- [12] Van Eetvelde G, De Geyter P, Marchal P, Stevens M. 1998. Aquatic toxicity research of structural materials. 29th Annual meeting, international research group on wood Protection.
- [13] Calonego FW, Durgante Severo ET, Furtado EL. 2010. Decay resistance of thermally-modified *Eucalyptus grandis* wood at 140 °C, 160 °C, 180 °C, 200 °C and 220 °C. Bioresource Technology;101(23):9391-4. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.06.119>
- [14] Hakkou M, Petrissans M, Gerardin P, Zoulalian A. 2006. Investigations of the reasons for fungal durability of heat-treated beech wood. Polymer Degradation and Stability 91(2):393-7. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2005.04.042>
- [15] Shi JL, Kocaefe D, Amburgey T, Zhang J. 2007. A comparative study on brown-rot fungus decay and subterranean termite resistance of thermally-modified and ACQ-C-treated wood. Holz Als Roh-Und Werkstoff 65(5):353-8. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00107-007-0178-4>
- [16] Tjeerdsma BF, Boonstra M, Pizzi A, Tekely P, Militz H. 1998. Characterisation of thermally modified wood: molecular reasons for wood performance improvement. Holz Als Roh-Und Werkstoff 56(3):149-53. DOI: <https://doi.org/10.1007/s001070050287>
- [17] Bakar BFA, Hiziroglu S, Tahir PM. 2013. Properties of some thermally modified wood species. Materials & Design 43:348-55. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2012.06.054>
- [18] Gunduz G, Korkut S, Aydemir D, Bekar I. 2009. The density, compression strength and surface hardness of heat treated Hornbeam (*Carpinus betulus*) wood. Maderas-Ciencia Y Tecnologia 11(1):61-70. DOI: <https://doi.org/10.4067/S0718-221X2009000100005>
- [19] Esteves B, Marques AV, Domingos I, Pereira H. 2007. Influence of steam heating on the properties of pine (*Pinus pinaster*) and eucalypt (*Eucalyptus globulus*) wood. Wood Science and Technology 41(3):193-207. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00226-006-0099-0>

- [20] Gunduz G, Niemz P, Aydemir D. 2008. Changes in specific gravity and equilibrium moisture content in heat-treated fir (*Abies nordmanniana subsp bornmulleriana* Mattf.) wood. *Drying Technology* 26(9):1135-9. DOI: <https://doi.org/10.1080/07373930802266207>
- [21] Bekhta P, Niemz P. 2003. Effect of high temperature on the change in color, dimensional stability and mechanical properties of spruce wood. *Holzforschung* 57(5):539-46. DOI: <https://doi.org/10.1515/HF.2003.080>
- [22] Brischke C, Welzbacher CR, Brandt K, Rapp AO. 2007. Quality control of thermally modified timber: Interrelationship between heat treatment intensities and CIE L*a*b* color data on homogenized wood samples. *Holzforschung* 61(1):19-22. DOI: <https://doi.org/10.1515/HF.2007.004>
- [23] Gonzalez-Pena MM, Hale MDC. 2009. Colour in thermally modified wood of beech, Norway spruce and Scots pine. Part 1: Colour evolution and colour changes. *Holzforschung* 63(4):385-93. DOI: <https://doi.org/10.1515/HF.2009.078>
- [24] Unsal O, Ayrilmis N. 2005. Variations in compression strength and surface roughness of heat-treated Turkish river red gum (*Eucalyptus camaldulensis*) wood. *Journal of Wood Science* 51(4):405-9. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10086-004-0655-x>
- [25] Yildiz S, Gezer ED, Yildiz UC. 2006. Mechanical and chemical behavior of spruce wood modified by heat. *Building and Environment* 41(12):1762-6. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.07.017>
- [26] Shi JL, Kocafe D, Zhang J. 2007. Mechanical behaviour of Quebec wood species heat-treated using ThermoWood process. *Holz Als Roh-Und Werkstoff* 65(4):255-9. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00107-007-0173-9>
- [27] Alen R, Kotilainen R, Zaman A. 2002. Thermochemical behavior of Norway spruce (*Picea abies*) at 180-225 °C. *Wood Science and Technology* 36(2):163-71. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00226-001-0133-1>
- [28] Kacikova D, Kacik F, Cabalova I, Durkovic J. 2013. Effects of thermal treatment on chemical, mechanical and colour traits in Norway spruce wood. *Bioresource Technology* 144:669-74. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.06.110>
- [29] Gonzalez-Pena MM, Curling SF, Hale MDC. 2009. On the effect of heat on the chemical composition and dimensions of thermally-modified wood. *Polymer Degradation and Stability* 94(12):2184-93. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.polyimdegstab.2009.09.003>
- [30] Kučerová V, Lagaňa R, Výbohová E, Hýrošová T. 2016. The effect of chemical changes during heat treatment on the color and mechanical properties of fir wood. *Bioresources* 11(4):9079-94. DOI: <https://doi.org/10.15376/biores.11.4.9079-9094>
- [31] Mazela B, Zakrzewski R, Grzeskowiak W, Cofta G, Bartkowiak M. 2003. Preliminary research on the biological resistance of thermally modified wood. *First European Conference on Wood Modification*. 113-9.
- [32] Kim GH, Yun KE, Kim JJ. 1998. Effect of heat treatment on the decay resistance and the bending properties of radiata pine sapwood. *Material Und Organismen* 32(2):101-8.
- [33] Carrier M, Loppinet-Serani A, Denux D, Lasnier J-M, Ham-Pichavant F, Cansell F, *et al.* 2011. Thermogravimetric analysis as a new method to determine the lignocellulosic composition of biomass. *Biomass & Bioenergy* 35(1):298-307. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2010.08.067>
- [34] Yildiz S, Gumuskaya E. 2007. The effects of thermal modification on crystalline structure of cellulose in soft and hardwood. *Building and Environment* 42(1):62-7. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.07.009>
- [35] Nuopponen M, Vuorinen T, Jamsa S, Viitaniemi P. 2004. Thermal modifications in softwood studied by FT-IR and UV resonance Raman spectroscopies. *Journal of Wood Chemistry and Technology* 24(1):13-26. DOI: <https://doi.org/10.1081/WCT-120035941>
- [36] Weiland JJ, Guyonnet R. 2003. Study of chemical modifications and fungi degradation of thermally modified wood using DRIFT spectroscopy. *Holz Als Roh-Und Werkstoff* 61(3):216-20. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00107-003-0364-y>

- [37] Boonstra MJ, Van Acker J, Tjeerdsma BF, Kegel EV. 2007. Strength properties of thermally modified softwoods and its relation to polymeric structural wood constituents. *Annals of Forest Science* 64(7):679-90. DOI: <https://doi.org/10.1051/forest:2007048>
- [38] Winandy JE, Lebow PK. 2001. Modeling strength loss in wood by chemical composition. Part I. An individual component model for southern pine. *Wood and Fiber Science* 33(2):239-54.
- [39] Chen Y, Fan YM, Gao JM, Stark NM. 2012. The effect of heat treatment on the chemical and color change of black locust (*Robinia pseudoacacia*) wood flour. *Bioresources* 7(1):1157-70.
- [40] Barcik S, Gasparik M, Razumov EY. 2015. Effect of temperature on the color changes of wood during thermal modification. *Cellulose Chemistry and Technology* 49(9-10):789-98.
- [41] Todorovic N, Popovic Z, Milic G, Popadic R. 2012. Estimation of heat-treated beechwood properties by color change. *Bioresources* 7(1):799-815.
- [42] Priadi T, Hiziroglu S. 2013. Characterization of heat treated wood species. *Materials & Design* 49:575-82. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2012.12.067>
- [43] ThermoWood Handbook. 2003. Finnish Thermowood Association; Helsinki, Finland.
- [44] Cekovska H, Gaff M, Osvald A, Kacik F, Kubs J, Kaplan L. 2017. Fire Resistance of Thermally Modified Spruce Wood. *Bioresources* 12(1):947-59.
- [45] Cekovska H, Gaff M, Osvaldova LM, Kacik F, Kaplan L, Kubs J. 2017. *Tectona grandis* Linn. and its Fire Characteristics Affected by the Thermal Modification of Wood. *Bioresources* 12(2):2805-17. DOI: <https://doi.org/10.15376/biores.12.2.2805-2817>

GIS Applications in the Disaster Management – an Overview

Aplikácie GIS v krízovom riadení - prehľad

Andrea Majlingová^{*1}, Radovan Hilbert¹, Ágoston Restás²

¹ Technical University in Zvolen, T. G. Masaryka 24, 960 53 Zvolen, Slovak Republic; majlingova@tuzvo.sk, xhilbert@is.tuzvo.sk

² National University of Public Service, Institute of Disaster Management, Hungaria krt. 9-11, H-1101 Budapest, Hungary; Restas.Agoston@nke-uni.hu

* Corresponding author: majlingova@tuzvo.sk

Review

Received: June 17, 2018; Accepted: July 5, 2018; Published: July 31, 2018

Abstract

In recent years, the world has been affected by massive disasters caused by natural disasters that required immense financial and physical support for the victims of these disasters. The geographical information systems, mobile geographical information systems, web-based geographical information systems, as integral parts of the geoinformation technologies, belong to the most progressive methods to support the three stages of disaster management: preparedness, analysis and response. A lot of scientific papers have been published presenting the ways how to implement geoinformation tools to support the disaster management and urban planning on the municipality level. This paper compiles the knowledge related to them and provides a review of geoinformation tools in the disaster management. There were one hundred scientific papers, mostly from the Web of Science Core Collection database, analysed to produce the overview. The aim of the overview was to analyze the current state-of-the-art technologies in this sphere and to find new trends in research focusing on the GIS-based disaster management. From the survey is evident the continual shift from the desktop solutions, server solutions to the web solutions allowing to use the mobile GIS technology, directly in the field. All these technologies are very helpful in managing the disaster, the relief works and rescue operations in a real crisis.

Keywords: crisis, disaster management; GIS, spatial decision support

1 Introduction

In a time of extraordinary human efforts to live harmoniously in the natural world, the global toll from extreme events, mostly of nature origin, is increasing. Loss in property from natural hazards is rising in most regions of the world, and loss of life is continuing or increasing, mostly in the economically poor regions.

Mostly climate change is a reason of those disasters, and it is also reasonably expected to increase the countries' vulnerability to natural hazards in the future [1].

1 Úvod

V čase mimoriadnej ľudskej snahy žiť harmonicky v prírodnom svete sa globálna daň z mimoriadnych udalostí, väčšinou prírodného charakteru, zvyšuje. Straty na majetku spôsobené hrozbami prírodného charakteru narastajú vo väčšine regiónov sveta, a rovnako straty na životoch neustále pretrvávajú alebo dokonca rastú, a to väčšinou v ekonomicky chudobných regiónoch.

Väčšinou je príčinou výskytu týchto mimoriadnych udalostí klimatická zmena a odôvodnene sa očakáva, že v jej dôsledku sa v

Since, those natural hazards do not become man-made disasters, there is a need to develop effective systems to identify needs, manage data provide spatial analyses and help calibrate responses.

The geographical information systems (GIS), and the geoinformation technologies at all, represent the best way to effectively manage the data related to the world's objects and to support the decision-making process of crises managers, in all the stages of disaster management, i.e. preparedness, analysing and response.

The traditional GIS was presented as the desktop system, in which people captured/ created/ edited, stored and visualized the data.

Since 1960s, the GIS moved first from the desktop solutions to server solutions, then to the web solutions, what allowed to use the mobile GIS technology, directly in the field, at present.

Very helpful in managing the disaster, the relief works, and rescue operations is the mobile GIS. Also, the contemporary web-based GIS and cloud computing [2] systems present possible challenges in a real crisis.

2 GIS applications in the disaster management in general

In the case of a serious disaster, GIS specialists are expected to provide a wide array of information with short deadlines for a variety of important tasks.

It is essential for everyone involved in coping with a disaster to have a clear sense of the current situation, and to receive updates on the situational picture as time progresses. This can be a serious challenge because often a disaster can impact what types of data are available.

GIS is used in several ways during a disaster:

- Mapping the extent of the disaster/emergency;
- Estimation of damage to a structure by percent loss and the mapping of damaged structures;
- Estimation of total community loss, taking into consideration housing and businesses [8];

budúcnosti zvýši zraniteľnosť krajín práve voči prírodným rizikám [1].

Pretože tieto prírodné hrozby nie sú závislé na činnosti človeka, je potrebné vyvinúť účinné systémy na identifikáciu potrieb, správu údajov, poskytovanie priestorových analýz a pomoc pri príprave na odozvu.

Geografické informačné systémy (GIS) a geoinformačné technológie predstavujú vôbec najlepší spôsob ako efektívne spravovať údaje týkajúce sa objektov sveta a podporovať rozhodovací proces krízových manažérov vo všetkých štádiách riadenia krízových situácií, t. j. pripravenosti, analýze i odozve.

Tradičný GIS bol reprezentovaný ako desktopový systém, v ktorom ľudia zaznamenávali / vytvárali / upravovali, ukladali a vizualizovali údaje.

Od 60. rokov minulého storočia sa GIS posunul z čisto desktopových riešení k serverovým riešeniam a následne k webovým riešeniam, ktoré v súčasnosti umožňujú využívať technológiu mobilného GIS priamo v teréne.

Veľmi užitočným v krízovom riadení, najmä riadení záchranných prác je mobilný GIS. Aj moderné webové GIS systémy a výpočty v cloude [2] predstavujú možné spôsoby podpory riadenia v čase reálneho výskytu mimoriadnej udalosti .

2 Aplikácie GIS v krízovom riadení vo všeobecnosti

V prípade závažnej mimoriadnej udalosti sa očakáva, že GIS špecialisti poskytnú širokú škálu informácií pre rôzne dôležité úlohy vo veľmi krátkom čase.

Je nevyhnutné, aby všetci, ktorí sa podieľajú na zvládaní udalosti, mali jasnú predstavu o súčasnej situácii a aby dostali aktualizácie situačného obrazu v reálnom čase. To však býva vážnym problémom, nakoľko samotná udalosť má často vplyv na to, aké typy údajov sú k dispozícii.

GIS je možné počas výskytu mimoriadnej udalosti využiť niekoľkými spôsobmi:

- na mapovanie rozsahu katastrofy/mimoriadnej udalosti;

- Estimate of displaced residents or effected citizens;
- Estimation of the amount of debris to be removed to disposal [3,4] and the cost to repair and replace city infrastructure [5], street signs, traffic lights, schools, etc.

Further, we introduce the ways of GIS/geoinformation technologies application in the individual steps of the disaster management:

- Planning and Analysis: e.g. modelling, analysing spatial data and displaying community vulnerability;
- Situational Awareness: e.g. providing locational information on the disaster;
- Data Management: e.g. data gathering, storing, cataloguing;
- Field Operations: e.g. using mobile GIS technology [6,7].

Disaster managers from different state, region or municipality level use the GIS and geographical data for disaster planning, forecasting and early warning of disastrous event, for relief works and rescue operations management.

3 GIS and geoinformation technologies application in the disaster management – a review

There is introduced a review of scientific works of several mostly foreign experts on implementation of GIS and geoinformatics tools to disaster management. Those works are introduced considering the year of their publishing.

Coutinho et al. [9] introduced a geographically based situation understanding and information management system GeoWorlds for disaster relief operations that integrated geographic information systems, spatial digital libraries and other information analysis, retrieval and collaboration tools that can be used in several applications ranging from intelligence gathering to urban planning, to crisis management and response.

- Fischer, Fusco and Brugnoli [7] described the integration of a demonstrator system, designed by European Space Agency (ESA), able to serve the need of real-time information exchange between a decision support centre and n-field clients, and GSM

na odhad poškodenia konštrukcie o percentuálnu stratu a mapovanie poškodených štruktúr;

- na odhad celkovej straty zo strany spoločnosti, s ohľadom na stavby na ubytovanie a výrobné, obchodné a kancelárske objekty [8];
- odhad vysídlených obyvateľov alebo poškodených občanov;
- odhad množstva odpadu, ktorý je potrebné odstrániť [3,4] a náklady na opravu a výmenu mestskej infraštruktúry [5], ulíc, dopravných značiek, škôl atď.

Ďalej uvádzame spôsoby aplikácie GIS / geoinformačných technológií v jednotlivých krokoch krízového riadenia:

- plánovanie a analýza: napr. modelovanie, analýza priestorových údajov a zobrazovanie zraniteľnosti komunity;
- situačné povedomie: napr. poskytovanie lokalizačných informácií vo vzťahu ku mimoriadnej udalosti/katastrofe;
- správa údajov: napr. zhromažďovanie, ukladanie, katalógizácia údajov;
- operácie v teréne: napr. pomocou technológie mobilného GIS [6,7].

Krízový manažéri na rôznych úrovniach štátu, regiónu alebo obce využívajú GIS a geografické údaje na krízové plánovanie, predpovedanie a včasné varovanie pred závažnými mimoriadnymi udalosťami a na riadenie záchranných prác.

Veľmi užitočným v krízovom riadení, najmä pri výkone záchranných prác, je mobilný GIS. Aj moderné webové GIS systémy predstavujú možné spôsoby podpory riadenia v čase výskytu reálnej mimoriadnej udalosti.

3 Aplikácie GIS a geoinformačných technológií v krízovom riadení - prehľad

Tu uvádzame literárny prehľad vedeckých prác niekoľkých, prevažne zahraničných odborníkov, na implementáciu nástrojov GIS a geoinformatiky do krízového riadenia. Tieto práce sú systematicky zoradené podľa roku ich vydania.

Coutinho et al. [9] predstavili informačný riadiaci systém GeoWorlds, založený na geografickom pochopení situácie, pre podporu výkone záchranných prác, integrujúci

based communication devices for disaster management operations. A client/server architecture was built. The light field-client was hosted on a hand-held communicator and connected to a positioning device (GPS/DGPS) and additional tools for in situ measurements. The server was hosting the decision support system build around a GIS environment. Using the GSM data calls and SMS protocol for near-real time information exchange (maps, images, text, etc.), the missions for these devices could be manifold, not only in the disaster domain.

Gunes and Kovel [10] described the use of a geographic information system (GIS) in emergency management efforts for disaster preparedness, mitigation, and response, and summarize an ongoing effort to build a GLS-based decision support system for the Douglas County Emergency Management Agency in the state of Kansas, to help emergency management officers in decision making, focusing on Douglas County's preparedness, mitigation, and response efforts for its most common disaster, flooding.

Bovalini et al. [11] introduced a computer supported approach to emergency planning, analysis and response. They applied the HARIA-2 methodology for external emergency planning and analysis. The main characteristic of HARIA-2 was that it considered both the physical phenomena and the sociological aspects of technological emergencies. The methodology was transferred in a software package named Demonstrator, which allowed quite fast simulations of various accident scenarios. It integrated databases and models needed for emergency planning, including those simulating population behaviour and evacuation plan, although in simplified mode.

Laben [12] presented activities and methods to integrate the knowledge, GIS and remote sensing data and tools, modelling and simulation technology, weather analysis, digital and information technology, and systems engineering processes for emergency managers and their applications at the U.S. Pacific Disaster Centre.

Tumay et al. [13] reviewed a subset of simulators developed to predict, track and minimize the effects of disasters in Turkey. Some technical details of the simulations, basic

geografické informačné systémy, priestorové digitálne knižnice a ďalšie nástroje na analýzu, vyhľadávanie, ktoré je možné použiť v rôznych aplikáciách od zhromažďovania informácií po plánovanie výstavby, krízového manažmentu a krízovej odozvy.

Fischer, Fusco a Brugnani [7] popísali integráciu demonštračného systému navrhnutého Európskou vesmírnou agentúrou (ESA), ktorý je schopný v reálnom čase zabezpečiť potrebu výmeny informácií medzi centrom na podporu rozhodovania a klientmi v n-terénoch a GSM komunikačnými zariadeniami pre operácie krízového riadenia. Vybudovaná bola architektúra klient / server. Tenký klient bol pripojený prostredníctvom ručného komunikátora pripojeného k polohovaciemu zariadeniu (GPS / DGPS) a ďalším prídavným zariadeniam určeným na meranie na mieste. Server obsahoval systém na podporu rozhodovania založený na prostredí GIS. Pomocou dátových volaní GSM a SMS protokolu používaného na výmenu informácií v reálnom čase (mapy, obrázky, text atď.) Tieto zariadenia možno využiť na zabezpečenie splnenia rôznych úloh, nielen tých, ktoré sa týkajú oblasti krízového riadenia.

Gunes a Kovel [10] popísali používanie geografického informačného systému (GIS) v krízovom riadení, a to v oblasti prípravy na mimoriadne udalosti, znižovaní dopadov a odozve, a sumarizovali pokračujúce úsilie o vybudovanie systému na podporu rozhodovania založeného na princípe GLS pre systém krízového riadenia Agentúry Douglas County v štáte Kansas, aby pomohla úradníkom v krízových situáciách pri rozhodovaní, zameriavajúc sa na pripravenosť a zmierňovanie dopadov mimoriadnych udalostí v oblasti Douglas County, a to pre najčastejšiu sa vyskytujúcu udalosť - povodeň.

Bovalini et al. [11] zaviedli počítačom podporovaný prístup ku krízovému plánovaniu, analýze a odozve. Aplikovali metodiku HARIA-2 pre externé krízové plánovanie a analýzu. Hlavnou charakteristikou HARIA-2 bolo to, že brala do úvahy fyzické javy a sociologické aspekty mimoriadnych udalostí technologického charakteru. Metodológia bola prevedená do softvérového balíka s názvom

underlying models of simulations, and extent of required remote sensing data were presented, too.

Erharuyi and Fairbairn [6] investigated and published the challenges of mobile geographic information handling for disaster management, particularly oil spill emergency response. They considered also measures to improve geographic information handling and to support rescue efforts during emergency response.

Montoya [14] pointed out the fact that for the management of urban disaster risk, periodic updating of building and lifeline geo-databases is crucial, particularly in developing countries where urbanisation rates are very high. In his work he explored the use of an off-the-shelf low-cost and rapid method of data collection for the development of a building inventory based on the combination of remote sensing, global positioning systems, digital video and geographic information systems. The method developed consisted of a sequence of stages, the first stage involved the use of remote sensing and GIS for stratification and mission planning purposes. The second stage consisted of using global positioning system and digital video for the creation of spatially referenced images and the third stage involved the use of GIS for display and analysis. The methodology developed was tested on the Costa Rican city of Cartago and its advantages and disadvantages were identified.

Bhaskaran et al. [15] focused integration of airborne hyperspectral sensor data and geographic information systems to develop a hailstones vulnerability map which had the potential to assist in decision making during post-disaster emergency operations in Sydney, Australia. A spectral library of surface materials from urban areas was created by using a full range spectroradiometer. The image was atmospherically corrected using the empirical line method. A spectral angle mapper (SAM) method, which is an automated method for comparing image spectra to laboratory spectra, was used to develop a classification map that shows the distribution of roofing materials with different resistances to hailstones. Spatial overlay technique was performed in a GIS environment where several types of cartographic data such as special hazard

Demonstrator, ktorý umožnil pomerne rýchle simulácie rôznych scenárov udalostí. Integroval databázy a modely potrebné na krízové plánovanie vrátane tých, ktoré simulujú správanie sa obyvateľov a plán evakuácie, hoci v zjednodušenom režime.

Tumay et al. [13] preskúmali podmnožinu simulátorov vyvinutých na predpovedanie, sledovanie a minimalizáciu dopadov mimoriadnych udalostí v Turecku. Prezentovali aj niektoré technické podrobnosti o simuláciách, základných modeloch simulácií a rozsahu údajov požadovaných zo zdrojov diaľkového prieskumu Zeme.

Erharuyi a Fairbairn [6] skúmali a zverejnili možnosti rozvoja týkajúce sa práce s geografickými informáciami z mobilných zariadení na účely krízového riadenia, najmä krízovej odozvy týkajúcej sa úniku ropnej látky. Navrhli aj opatrenia na zlepšenie manipulácie s geografickými informáciami a na podporu záchranných prác pri odozve na mimoriadne situácie.

Montoya [14] poukázal na skutočnosť, že pre riadenie rizika katastrof v meste je zásadnou pravidelná aktualizácia stavebných a záchranných geodatabáz, a to najmä v rozvojových krajinách, kde je miera urbanizácie veľmi vysoká. Vo svojej práci skúmal použitie lacného a rýchleho spôsobu zhromažďovania údajov pre vývoj inventarizácie budov, založeného na kombinácii údajov diaľkového prieskumu Zeme, globálnych polohovacích systémov, digitálnych videí a geografických informačných systémov. Vyvinutá metóda pozostávala zo série fáz. V prvej fáze sa používal diaľkový prieskum Zeme a GIS na účely stratifikácie a plánovania úloh. Druhá etapa pozostávala z použitia globálneho polohovacieho systému a digitálneho videa na vytvorenie priestorovo odkazovaných obrázkov a tretia etapa zahŕňala použitie GIS na zobrazenie stavu a jeho analýzu. Vyvinutá metodológia bola testovaná na príklade kostarického mesta Cartago. Identifikované boli jej výhody a nevýhody.

Bhaskaran et al. [15] sa zamerali na integráciu údajov získaných z leteckého hyperspektrálneho skenovania a geografických informačných systémov, za účelom vytvorenie

locations, population density, data about less mobile people and the street network were overlaid on the classified geo-referenced hyperspectral image.

Andreadis, Menicori and Pietrelli [16] introduced a real-time system for remote co-ordination of rescue teams. The system proposed has been developed for the "Operational Room" of the Civil Defence of the Siena Province (Italy), working primarily in emergency situations. It allowed the visualization and the real-time tracking of the rescue parties acting in the field, through an "Intelligent Board" installed in the Operational Room. The localization was visualized on Geographic Information System (GIS) maps and it could be implemented both through dedicated software, allowing high analysis capabilities, and through web browsers, enabling remote visualizations. The rescue teams were equipped with palmtop devices with networking capabilities, to communicate with the Operational Room and to point out in real time the occurrence of certain calamitous events (i.e. interrupted road, landslide, accident, etc.), thus allowing the coordination and distribution of these data to all the other rescue parties.

Cai et al. [17] introduced an approach to map-mediated geo-collaborative crisis management. They described a group interface for geographical information system, featuring multi-modal human input, conversational dialogues, and same-time, different place communications among teams.

Huyck et al. [8] introduced a centralized web-based loss estimation tool called INLET (Internet Map Servers) for disaster response. This was the first online real-time loss estimation system available to the emergency management and response community within Southern California. It incorporated extensive publicly available GIS databases and used damage functions simplified from FEMA's HAZUS (R) software. INLET was used to estimate building damage, transportation impacts, and casualties. The online model was used to simulate the effects of earthquakes, in the context of the larger RESCUE project, to test the integration of information technologies in evacuation routing. The simulation tool provided a "testbed" environment for

mapy zraniteľnosti voči krupobitiu, s cieľom poskytnutia podpory rozhodovania v súvislosti s realizáciou záchranných prác v období priamo po výskyte krupobitia v Sydney v Austrálii. Vytvorená bola spektrálna knižnica povrchových materiálov z mestských oblastí a to s pomocou spektrometra s plným rozsahom. Získané snímky boli atmosféricky korigované metódou empirickej čiary. Metóda mapovania spektrálneho uhla (SAM), ktorá je automatizovanou metódou na porovnávanie spektra obrazu s laboratórnymi spektrami bola použitá na vytvorenie mapy, ktorá na úrovni mesta ukazuje distribúciu strešných materiálov s rôznou odolnosťou voči krupobitiu. Technológia priestorového prekrytia sa vykonávala v prostredí GIS, kde bolo na klasifikovanom georeferencovanom hyperspektrálnom zobrazení prekrytých niekoľko typov kartografických údajov, ako sú špeciálne zdroje ohrozenia, hustota obyvateľstva, údaje o menej mobilných ľuďoch a siete ulíc.

Andreadis, Menicori a Pietrelli [16] predstavili systém pre použitie v reálnom čase, slúžiaci na diaľkovú koordináciu záchranných tímov. Navrhovaný systém bol vyvinutý pre "Operačnú miestnosť" civilnej ochrany v provincii Siena (Taliansko), ktorá pracuje predovšetkým počas krízových situácií. Tento systém umožnil vizualizáciu a sledovanie záchranných zložiek pôsobiacich v teréne v reálnom čase prostredníctvom "Inteligentnej Rady" nainštalovanej v Operačnej miestnosti. Lokalizácia bola vizualizovaná na mapách geografického informačného systému (GIS) a mohla byť implementovaná ako prostredníctvom špecializovaného softvéru, ktorý umožňuje analýzu údajov, tak aj prostredníctvom webových prehliadačov, umožňujúcich tvorbu vizualizácií na diaľku. Záchranné zložky boli vybavené malými mobilnými zariadeniami s možnosťou pripojenia do siete, s cieľom komunikovať s Operačnou miestnosťou a v reálnom čase poukázať na výskyt určitých mimoriadnych udalostí (napr. prerušená cesta, zosuvy pôdy, nehody atď.). Týmto spôsobom bola umožnená koordinácia a distribúcia týchto údajov všetkým ostatným záchranným zložkám.

Cai et al. [17] zaviedli prístup ku krízovému riadeniu na báze zdieľania máp a

researchers to model the effect that disaster awareness and route familiarity can have on traffic congestion and evacuation time.

Chandio et al. [18] described a GIS-based route guiding system for optimal path planning in-disaster/crisis management, which is based on spatio-temporal hazard mitigation modelling using GIS and geospatial data mining techniques.

Hussain et al. [19] introduced an overview of emerging geo-information technologies (GIT) used for natural disaster management in Pakistan.

Uto et al. [20] proposed an early stage image acquisition system for situation observation. The mobile system was designed on the assumption that the main operator of the system is a rescue staff, who is occupied in the search and rescue of sufferers. The system consisted of a small-sized balloon, a balloon control system, a data acquisition and transmission unit and the data receiving system. A video signal acquisition unit was for the utilization in rescue side and a still image acquisition unit was for the utilization in decision-making side and GIS.

Mansourian et al. [21] addressed the role of Spatial Data Infrastructure (SDI) as a framework for the development of a web-based system as a tool for facilitating disaster management by resolving current problems with spatial data. They pointed out the fact, that the design and implementation of an SDI model and consideration of SDI development factors and issues, together with development of a web-based GIS, can assist disaster management agencies to improve the quality of their decision-making and increase efficiency and effectiveness in all levels of disaster management activities.

Xiao-Yun and Wang [22] proposed a video real-time position approach based on GIS and applied this approach to monitoring systems of disaster prevention, forest fire prevention GIS and the management command system of panorama on seacoast for police defence army, successfully.

Abdalla, Tao and Li [23] highlighted application challenges for GIS interoperability for emergency management with emphasis on critical infrastructure sectors. They provided as

geospolupráce. Popísali skupinové rozhranie pre geografický informačný systém s multimedialným ľudským vstupom, konverzačnými rozhovormi, komunikáciou medzi tímami v tom istom čase ale na rôznych miestach.

Huyck et al. [8] zaviedli centralizovaný nástroj pre účely krízovej odozvy na odhad straty prostredníctvom webu s názvom INLET (Internet Map Servers). Išlo o prvý on-line systém na odhad straty v reálnom čase, dostupný komunitě krízových manažérov v oblasti južnej Kalifornie. Obsahoval rozsiahle verejne dostupné GIS databázy a bol založený na použití zjednodušenej funkcie poškodenia, prevzatej zo softvéru HAZUS (R) poskytovanom organizáciou FEMA. INLET bol použitý na odhad škôd na budovách, dopravnej infraštruktúre a strát na ľudských životoch. Na simuláciu vplyvu zemetrasení, v kontexte väčšieho projektu RESCUE, bol použitý na otestovanie integrácie informačných technológií v plánovaní evakuačných trás online model. Simulačný nástroj poskytol výskumným pracovníkom prostredie "testovacieho priestoru" na modelovanie vplyvu, ktorý môže mať pripravenosť na mimoriadnu udalosť a poznanie evakuačnej trasy na vznik dopravných zápch a celkový čas evakuácie.

Chandio et al. [18] popísali systém na plánovanie trasy založený na báze GIS za účelom plánovania optimálnej trasy cesty ako súčasť krízového riadenia, ktorý je založený na modelovaní postupov vedúcich k zmierneniu dopadov časovo-priestorových hrozieb pomocou technológií GIS a geopriestorovej hĺbkovej analýzy údajov.

Hussain et al. [19] uviedli prehľad nových geoinformačných technológií (GIT) používaných na krízové riadenie v prípade výskytu živelných pohrôm v Pakistane.

Uto et al. [20] navrhol systém včasného pre získavanie obrazu v reálnom čase pre účely monitorovania vzniknutej situácie. Mobilný systém vychádzal z predpokladu, že hlavným prevádzkovateľom systému je obsluha z radov záchranných zložiek, ktoré sú nasadzované pri vyhľadávaní a záchrane osôb v tiesni. Systém pozostával z malého balóna, riadiaceho systému tohto balóna, zbernej a prenosovej jednotky a

a comparative analysis of emergency management operations in the City of Vancouver the City of Toronto, the Kitchener Waterloo Region, and the Dufferin County, as a scenario-based case study, which was aimed to provide a demonstration of the utility of GIS interoperability, for disaster management. They also discussed the strengths and weaknesses of leveraging GIS interoperability for disaster management.

Beni, Mostafavi and Pouliot [24] attempted to overcome the GIS limitations to simulating such natural phenomenon by proposing a 3D dynamic data structure, based on 3D Delaunay tetrahedralization, that deals with objects and field representation of space at the same time, and provides an on-the-fly interactive topological mesh for numerical simulation. To analyse the different capabilities of the proposed data structure, its application to flood simulation they discussed, too.

Cioca, Cioca and Buraga [25] introduced a spatial elements decision support system used in disaster management to be used in Romania.

Fernando, Waidyasekara and Dias [26] proposed a system based on web-GIS for post-disaster recovery management.

Han, Zhao and Dai [27] described an approach for shortest paths finding in fire succour based on component GIS technology. A component GIS technology was applied to collect and record the data information (such as, the situation of this disaster, map and road status et al) of the reported fire firstly. The ant colony optimization was used to calculate the shortest path of fire succour secondly. The optimization results were sent to the pumpers, which can let pumpers choose the shortest paths intelligently and come to fire position with least time.

Pezanowski, Tomaszewski and MacEachren [28] introduced an open geospatial standards-enabled Google Earth application "Google Earth Dashboard", a web-based interface powered by open geospatial standards and designed for supplementing and enhancing the geospatial capabilities of GE, to support crisis management. The GED allows users to create custom maps through WMS layer addition to GE and perform traditional GIS analysis functions.

systemu prijímania údajov. Zariadenie na získanie signálu v podobe obrazu bolo určené na využitie na strane záchranej zložky a jednotka slúžiaca na získanie statických snímok bola určená pre stranu vykonávajúcu rozhodnutia a tiež v GIS.

Mansourian et al. [21] sa zaoberali úlohou infraštruktúry priestorových údajov (SDI) ako rámca pre vývoj webového systému a ako nástroja na uľahčenie procesov krízového riadenia, prostredníctvom riešenia aktuálnych problémov s využitím priestorových údajov. Zdôraznili skutočnosť, že návrh a implementácia modelu SDI a zváženie rozvojových faktorov a problémov SDI, spolu s vývojom webového GIS, môžu napomôcť agentúram krízového riadenia zlepšiť kvalitu ich rozhodovania a zvýšiť ich efektívnosť a účinnosť aktivít na všetkých úrovniach krízového riadenia.

Xiao-Yun a Wang [22] navrhli prístup získania video-pozície v reálnom čase založený na báze GIS a úspešne uplatnili tento prístup na monitorovacie systémy zamerané na prevenciu vzniku mimoriadnych udalostí, v GIS určenom na prevenciu vzniku lesných požiarov a veliteľskom riadiacom systém zachytávajúcom panorámu na pobreží pre potreby vojenskej polície.

Abdalla, Tao a Li [23] poukázali na problémy s aplikáciami pre interoperabilitu GIS v krízovom riadení, s dôrazom na odvetvia kritickej infraštruktúry. Poskytli, ako porovnávaciu analýzu operácií krízového riadenia v meste Vancouver; Toronto, región Kitchener Waterloo a okrese Dufferin, tak aj prípadovú štúdiu založenú na konkrétnom scenári, ktorej cieľom bolo poskytnúť ukážku možností využitia interoperability GIS v krízovom riadení. Tiež diskutovali o silných a slabých stránkach využívania interoperability GIS v krízovom riadení.

Beni, Mostafavi a Pouliot [24] sa pokúsili prekonať GIS obmedzenia simulácie prírodných javov tým, že navrhli 3D dynamickú dátovú štruktúru založenú na 3D Delaunayovej tetrahedralizácii, ktorá sa súčasne zaoberá objektmi a reprezentáciou priestoru v teréne a poskytuje interaktívnu topologickú sieť pre numerické simulácie. Na účely analýzy rôznych

Tahir [29] described the potential needs and geospatial technologies available for managing the initial disaster response phase in urban environment efficiently.

Wang, Alidaee and Altinakar [30] proposed a framework on developing a decision support tool for emergency management planning. This framework involved development of innovative dynamic risk and uncertainty analysis methods, and procedures making use of the visualization tools by integrating with GIS and other information support systems.

Furthermore, this framework involved building a knowledge base to improve the reliability and robustness of decision making.

Wang et al. [31] used the aerial photographs, Landsat TM, CBERS and the Quick Bird data, together with the technique of geography information system to investigate the landslides, rockfalls and debris flows on the Sichuan-Tibetan Highway in Tibet.

Weiser and Zipf [32] introduced an example of Web Service Orchestration of OGC Web Services application for disaster management purposes. As the example, a part of an evacuation scenario after a bomb was used. This scenario included the need for emergency route planning. They evaluated how the actions to be performed by the system supporting the rescue workers can be mapped onto a service chain of basic OWS. The service chain was represented as a BPEL (Business Process Execution Language) document and could be executed in a web service orchestration engine, such as Oracle BPEL-engine.

Xuan, Chen and Zhao [33] introduced some vivid examples of existing disaster early warning and management system and indicated their weakness. They also put forward some suggestions to improve the performance of analysed systems for early warning and monitoring and management of disasters.

Zou and Wang [34] discussed how to build a disaster information platform for urban crisis management with GIS technology support. Combined with remote sense and knowledge system the platform helps administrators in daily urban disaster inspection and prevention, disaster management and rescue operations as

možností navrhovanej dátovej štruktúry, diskutovali tiež o jej aplikácii na simuláciu povodní.

Cioca, Cioca a Buraga [25] zaviedli systém podpory rozhodovania o priestorových prvkoch, ktorý sa používa na krízové riadenie v Rumunsku.

Fernando, Waidyasekara a Dias [26] navrhli systém založený na webových GIS pre manažment obnovy po mimoriadnej udalosti.

Han, Zhao a Dai [27] opísali prístup k hľadaniu najkratšej cesty ciest pre poskytnutie pomoci pri požari, založený na komponentoch GIS technológie. Tento je v prvom rade založený na zbere a zaznamenávaní údajov o požari (ako napr. situácia týkajúca sa mimoriadnej udalosti, stav mapy a stav ciest atď.). Na výpočet najkratšej cesty pre príjazd hasičskej jednotky k požiaru bola použitá metóda optimalizácie na báze správania sa kolónii mravcov. Výsledky optimalizácie boli odoslané do hasičských vozidiel čím bolo možné následne inteligentne vybrať najkratšie trasy a dosiahnuť najkratší čas dojazdu.

Pezanowski, Tomaszewski a MacEachren [28] predstavili otvorenú, na báze geopriestorových štandardov založenú, Google Earth aplikáciu s názvom "Google Earth Dashboard". Ide o webové rozhranie založené na otvorených geopriestorových štandardoch a určené na doplnenie a rozšírenie geopriestorových kapacít Google Earth (GE) o podporu krízového riadenia. GED umožňuje používateľom vytvárať vlastné mapy prostredníctvom vrstvy WMS pridaného do GE a využívať tradičné funkcie GIS analýz.

Tahir [29] opísal potenciálne potreby a geopriestorové technológie, ktoré sú k dispozícii na efektívne riadenie v počiatočnej fáze odozvy na na vzniknutú krízu v mestskom prostredí.

Wang, Alidaee a Altinakar [30] navrhli rámec na vytvorenie nástroja na podporu rozhodovania pri krízovom plánovaní. Tento rámec zahŕňal vývoj inovatívnych dynamických metód analýzy rizík a neistôt a postupov využívajúcich vizualizačné nástroje, integrovaním s GIS a inými systémami na podporu poskytovania informácií. Okrem toho tento rámec zahŕňal budovanie poznatkovej well as rebuilding and reconstruction after the disaster.

Abed, Hongxia and Hongyan [35] examined the applicability of open source web-based GIS for sharing and distributing of data for emergency response operations. They support disas-

ter management as a powerful tool for collecting, storing, analysing, modelling, displaying large amount of data and decision making.

Coskun, Alganci and Usta [36] introduced the Geographic Information System (GIS) and Remote Sensing (RS) as an important tool to determine and help to solve described problems to monitor environment for risk assessment and management are needed to meet new challenges including terrorist attacks.

El-Korany and El-Bahnasy [37] presented a multi-agent-based approach, composed of a fire-control KADS-based expert system agents, GIS agent, and other sophisticated web-based services, for crisis management, especially fire-fighting and fire suppression.

Hu et al. [38] used the technique of spatial database engine to extend the spatial-data management function of the relational database. They established an emergency management system database model based on geodatabase, designed the structure of the system database, solved the problem of the association of the spatial data and the business data, and realized the seamless integration and unified storage and management of the spatial-data and the business data.

Peng, Li and Xu [39] developed an urban emergency rescue system prototype of natural hazards and its spatial database for Badong County, based on GIS spatial data management and analysis and remote sensing images. The system was constructed with a series of functions which include information inquiry, rescue searching, material delivery, person evacuation and settlement after disasters and further hazard information 3-D visualization through establishing 3-D feature images and building digital 3-D models.

Babitski et al. [40] proposed ontology-based integration of Sensor Web Services in disaster management, where the flow of information is

bázy, slúžiacej na zlepšenie spoľahlivosti a robustnosti rozhodovania.

Wang et al. [31] použili letecké snímky, družicové údaje Landsat TM, CBERS a Quick Bird, spolu s nástrojmi geografického informačného systému na zisťovanie zosuvov pôdy, skalných lavín a bahnotokov na Si-chuansko-tibetskej diaľnici v Tibete.

Weiser a Zipf [32] predstavili príklad aplikácie Web Service Orchestration ako súčasť aplikácie OGC Web Services na účely krízového riadenia. Ako príklad bola použitá časť scenára evakuácie po použití výbušniny. Tento scenár zahŕňal potrebu plánovania núdzových trás. Hodnotili, ako môžu byť činnosti vykonávané systémom na podporu

rozhodovania záchranárov zmapované do servisného reťazca základných OWS. Servisný reťazec bol predstavený ako dokument BPEL (Business Process Execution Language) a mohol by byť spracovaný v systéme riadenia webových služieb, ako napríklad Oracle BPEL.

Xuan, Chen a Zhao [33] predstavili niekoľko živých príkladov existujúceho systému včasného varovania a krízového riadenia a poukázali na ich slabé miesta. Predložili aj niekoľko návrhov na zlepšenie výkonnosti analyzovaných systémov včasného varovania, monitorovania a krízového riadenia.

Zou a Wang [34] diskutovali o tom, ako vybudovať platformu na informovanie o katastrofách pre účely krízového riadenia v mestách pomocou podpory GIS technológií. V kombinácii so systémom diaľkového prieskumu Zeme a poznatkovou bázou platforma pomáha administrátorom pri každodennej inšpekcii a prevencii vzniku mimoriadnych udalostí v mestskom prostredí, krízovom riadení a riadení a koordinácii záchranných prác, ako aj pri obnove a rekonštrukcii.

Abed, Hongxia a Hongyan [35] skúmali použiteľnosť webového GIS s otvoreným zdrojovým kódom na zdieľanie a distribúciu údajov pre operácie krízového riadenia. Potvrdili vhodnosť geografického informačného systému (GIS) na podporu krízového riadenia ako účinného nástroja na zber, ukladanie, analýzu, modelovanie, zobrazovanie veľkého množstva údajov a rozhodovanie.

overwhelming and sensor data must be easily accessible for non-experts (fire brigade officers). They proposed to support, in this context, sensor discovery and fusion by "semantically" annotating sensor services with terms from an ontology. In doing so, they employed several well-known techniques from the GIS and Semantic Web worlds, e.g., for semantic matchmaking and data presentation. The novel contribution of their work was a carefully arranged tool architecture, aimed at providing optimal integration support, while keeping the cost for creating the annotations at bay.

Baharin, Shibghatullah, Othman [41] introduced an application framework of integrated routing application for emergency response management system in Malaysia embedded with context-aware.

Abdalla and Li [42] provided an overview of the application of geospatial technologies for disaster and emergency management and an insight on the future directions of geospatial technologies for disaster management.

Al-Khudhairy [43] discussed the challenges in operational crisis management and described the role of information and geo-spatial technologies in meeting those challenges. He also discussed two main sources of data, Web and very high resolution (VHR) earth observation sensors, in terms of relevance to crisis management and techniques for information extraction and analysis.

Clark, Holliday and Chau [44] applied collaborative geospatial data to Haiti 2010 disaster relief. The application of geographic information (GIS) technology was a significant contribution to the relief efforts due to the centrality of location to issues of danger, resources, safety, communications, and so on, and due to the universal understanding of information rendered geospatially using 3-D globes. The U.S. Southern Command (SOUTHCOM) engaged Thermopylae to build a user-friendly GIS tool to reach a wide user base, fuse data from disparate sources, and immerse users in relevant content. The resulting SOUTHCOM 3D User-Defined Operational Picture united over 2,000 users to create, add, edit, update, and share data aggregated through GIS tools, existing databases, mobile

Coskun, Alganci a Usta [36] predstavili geografický informačný systém (GIS) a diaľkový prieskum Zeme (DPZ) ako dôležitý nástroj na určenie a pomoc pri riešení problémov s monitorovaním prostredia pre účely posudzovania a riadenia rizík, zahŕňajúc aj teroristické útoky.

El-Korany a El-Bahnasy [37] predstavili prístup založený na viacerých agentoch, ktorý pozostáva z agentov požiarnej kontroly KADS expertného systému, agenta GIS a ďalších sofistikovaných webových služieb slúžiacich ako podpora pre krízové riadenie a zdoľávanie požiaru.

Hu et al. [38] použili techniku priestorových databázových systémov na rozšírenie funkcie riadenia priestorových údajov relačnej databázy. Vytvorili databázový model systémov krízového riadenia, založený na geodatabáze, navrhli štruktúru systémovej databázy, vyriešili problém spojenia priestorových údajov a firemných údajov a realizovali bezproblémovú integráciu a jednotné ukladanie a správu priestorových údajov a firemných údajov.

Peng, Li a Xu [39] vytvorili prototyp systému mestskej záchranej služby obsahujúceho hrozby živelných pohrôm a priestorovú databázu pre provinciu Badong. Tento je založený na správe a analýze priestorových údajov GIS a údajov diaľkového prieskumu Zeme. Systém bol skonštruovaný so sériou funkcií, medzi ktoré patrí vyhľadávanie informácií, vyhľadávanie pre účely riadenia záchranných prác, dodávok materiálu, evakuácie osôb a obydľí po katastrofách a ďalšie informácie o hrozbe, 3D vizualizácie prostredníctvom vytvorenia 3D obrazov prvkov a budovania digitálnych 3-D modelov.

Babitski et al. [40] navrhli integráciu služieb Sensor Web Services na báze ontológie v oblasti krízového riadenia, kde prevláda tok informácií a údaje sensorov musia byť ľahko prístupné pre ne-odborníkov (dôstojníkov hasičských zborov). V tomto kontexte navrhli podporiť vyhľadávanie a fúziu sensorov pomocou "sémantickej" anotácie služieb sensorov s pojmami z ontológie. Týmto spôsobom využívali niekoľko známych techník z oblasti GIS a sémantického webu, napr. pre sémantické usporiadanie a prezentáciu údajov.

applications and other resources, geospatially. The UDOP was built on the enterprise geospatial framework, iSpatial (TM), which interacts with the Google Earth Plug-in (TM) browser application programming interface and provided SOUTHCOM's Joint Intelligence and Operations Center with interactive applications and an open platform for the integration of dynamic data for timely and publicly-accessible solutions.

Cosic et al. [45] proposed a method, implementing combined mathematical and 3D GIS tools, that was applied for the Danube River, Petrovaradin (the city of Novi Sad) area, for which data were available. The relationship between the risk parameters was calculated and graphically presented. They stated that the methods like this one should contribute to a shift from a passive disaster-related defense to a proactive disaster risk management, as well as from emergency management only, to disaster prevention, preparedness and mitigation activities, in Serbia and the Western Balkan Region.

Hazarika et al. [46] presented a capacity building project targeting most prevalent disasters in the south and south-east Asian countries by selecting relevant agencies, providing need-based technical support, imparting training for handling satellite data, conducting field verifications and guiding them to achieve tangible results. Several projects have been taken up in areas like flood, landslide, drought, earthquake, forest fire, tsunami, volcano monitoring etc. in 14 countries of the region involving national mapping agencies as well as disaster related or development agencies.

Wang and Yuan [47] introduced a high-mobility emergency system to demonstrate a good solution of the Sensor Web for multi-purpose disaster management.

Feng and Wang [48] in their study examined the current application of geospatial information technologies and highlighted the challenges of and constraints on GIScience research for emergency management that are particularly pertinent to Southeast Asia. Based on the generic GIScience research priorities noted by the University Consortium for Geographic Information Science, four topics

Novým prínosom ich práce bola starostlivo usporiadaná architektúra nástrojov zameraná na poskytovanie optimálnej integračnej podpory pri zachovaní nákladov na vytvorenie anotácií v čase tiesne.

Baharin, Shibghatullah, Othman [41] zaviedli aplikačný rámec integrovanej navigačnej aplikácie pre kontextovo založený systém riadenia krízovej odozvy v Malajzii.

Abdalla a Li [42] poskytli prehľad o aplikácii geopriestorových technológií pre krízové riadenie a prehľad o budúcich smeroch aplikácie geopriestorových technológií v krízovom riadení.

Al-Khudhairy [43] diskutoval o výzvach v operačnom krízovom riadení a opisuje úlohu informačných a geo-priestorových technológií pri riešení týchto problémov. Tiež diskutoval o dvoch hlavných zdrojoch údajov, údajov z webových zdrojov a zo senzorov diaľkového prieskumu Zeme s veľmi vysokým rozlíšením (VHR), a to vzhľadom na ich relevantnosť nasadenia v krízovom riadení a tiež technik používaných na získavanie a analýzu informácií.

Clark, Holliday a Chau [44] použili geopolitické údaje na účely riadenia záchranných prác na Haiti v roku 2010. Aplikácia technológie geografických informácií (GIS) bola významným príspevkom k úsiliu poskytnúť pomoc v tiesni a to najmä z dôvodu sústredenia pozornosti na problematiku nebezpečenstva, zdrojov, bezpečnosti, komunikácií atď. ,ako aj kvôli univerzálnemu pochopeniu informácií poskytovaných geograficky pomocou 3-D zobrazenia Zeme. Spoločnosť U.S. Southern Command (SOUTHCOM) sa spojila so spoločnosťou Thermopylae, aby vytvorili užívateľsky prívetivý GIS nástroj. Za účelom vytvorenia širokej užívateľskej základne, spojili údaje z rôznych zdrojov a vnorili užívateľov do relevantného obsahu. Výsledný užívateľom definovaný operačný obraz (UDOP) SOUTHCOM 3D spojil viac ako 2 000 používateľov a vytvoril, pridal, upravil, aktualizoval a zdieľal údaje agregované prostredníctvom nástrojov GIS, údaje z existujúcich databáz, mobilných aplikácií a iných zdrojov, geograficky. UDOP bol postavený na podnikovom geopriestorovom

most relevant to Southeast Asia were examined and discussed, including issues relating to use of spatial data, advancement and adoption of technology, dynamic representation of geographic processes, and public participation in emergency management.

Chen, Pena-Mora and Ouyang [5] presented a collaborative GIS based framework that facilitates equipment allocation in response to disasters. The framework was composed of three subsystems to facilitate information gathering and decision making for equipment distribution. First, an application that runs on mobile devices for on-field resource request was developed. Second, a resource repository was implemented with a geospatial database that enables spatial query of resources with a graphical interface. In addition, a GIS which enables automated decision making such as resource matching and route finding for resource distribution was presented. Integration of decision models into the framework to support complex decision making for equipment distribution was also proposed. With the framework in place, disaster response operations could become more efficient. Simulated test cases have been carried out for Champaign, IL the City of Chicago and the New York City.

Islam and Chik [49] described a case study of a disaster in Bangladesh and the role of an information management system for disaster management planning. They used a methodology that considers perceptions or constructions including the role of information systems to be dependent on the social and cultural structures, which is helpful in reducing destruction in disaster-prone areas. Advances in information technology in the form of the internet, geographic information systems (GIS), remote sensing, satellite communication, etc. Were found to be beneficial in many aspects of the planning and implementation of hazard reduction arrangements.

Wu, Su and Chu [50] constructed a location-based service network for mobile emergency management according to the application requirements and specific features of border public safety and emergency responding. The network realized mobile emergency monitoring and commanding based on the Beidou terminal,

rámci iSpatial (TM), ktorý interaguje s programovým rozhraním aplikácie prehliadača Google Earth Plug-in (TM) a poskytuje spoločnému informačnému a operačnému centru spoločnosti SOUTHCOR interaktívne aplikácie a otvorenou platformou pre integráciu dynamických údajov za účelom tvorby aktuálnych a verejne prístupných riešení.

Cosic et al. [45] navrhli metódu na implementáciu kombinovaných matematických a 3D GIS nástrojov, ktoré použili pre územie povodia rieky Dunaj, konkrétne Petrovaradinu (mesto Novi Sad), pre ktoré mali k dispozícii údaje. Vypočítali a graficky prezentovali vzťah medzi rizikovými parametrami. Uviedli, že takéto metódy by mali prispieť k posunu od pasívnej obrany voči mimoriadnou udalosťou k proaktívnemu riadeniu rizík vzniku mimoriadnych udalostí, ako aj k posunu z výlučne krízového riadenia k prevencii, pripravenosti a zmierneniu následkov mimoriadnych udalostí v Srbsku a v regióne západného Balkánu.

Hazarika et al. [46] predstavili projekt budovania kapacít zameraný na najrozšírenejšie katastrofy v krajinách južnej a juhovýchodnej Ázie, a to výberom príslušných agentúr, poskytovaním technickej podpory v zmysle definovaných potrieb, poskytovaním školení na spracovanie družicových záznamov, vykonávaním overovania v teréne a usmerňovaním za účelom dosiahnutia hmatateľných výsledkov. Problematikami ako sú povodne, zosuvy pôdy, sucho, zemetrasenie, lesné požiare, cunami, sledovanie sopiek atď. sa v 14 krajinách skúmaného regiónu zaoberalo niekoľko projektov, do ktorých boli zapojené národné mapovacie agentúry, ako aj agentúry krízového riadenia alebo rozvojové agentúry.

Wang a Yuan [47] zaviedli krízový systém s vysokou mobilitou na preukázanie vhodnosti aplikácie riešenia Sensor Web pre viacúčelové krízové riadenie.

Feng a Wang [48] vo svojej štúdií skúmali súčasnú aplikáciu geopriestorových informačných technológií a vyzdvihli problémy a obmedzenia výskumu GIScience pre oblasť krízového riadenia, ktoré sú relevantné osobitne pre oblasť juhovýchodnej Ázie. Na základe všeobecných výskumných priorít GIScience, ktoré uviedlo univerzitné konzorcium pre

GPS terminal, intelligent PDA, Beidou satellite communication networks, and China GSM network. Beidou vehicle-type receiver is used as the access module in the service center (instead of Beidou command-type receiver) to receive other Beidou terminals' location and information, in order to reduce the Beidou networking applications cost. The location and information fusing and exchanging technology between Beidou terminal and GPS terminal was developed and the networking method was studied to realize the functions such as task forcing, information exchanging, neighborhood location exchanging, command dispatching, etc. So the personnel, vehicles, and materials can be monitored in none ground mobile communication signal coverage areas. In the emergency location-based service network, PDA terminals can communicate with Beidou terminals, and can monitor and command other GPS and Beidou terminals based on mobile GIS. The network provides the viable solution for emergency management, which in face of the problems of location sharing, team cooperation, and mobile commanding in the accident and disaster site.

Zhang, Geng, Cheng [51] pointed out the significant demand for natural disaster emergency of Chinese nation and the need to develop the synthesis research of monitoring based on satellite navigation positioning, embedded GIS and sense technology, which will develop navigation mobile terminal oriented on national four-stage disaster emergency reduction platform to realize the seamless connection and application model of national disaster emergency response, the rescue command system, and disaster business evaluation system in order to offer the technique support for the enhancement of national overall reduction ability and built national four-stage disaster emergency response and rescue command system.

Neuvel, Scholten and van den Brink [52] developed a concept focusing the network-centric organisation of spatial decision support for risk and emergency management. The concept was made operational through the development of an information system and the exchange of geographical information within the system was facilitated by the use of peer-to-peer networking in combination with a client

geoinformatiku, boli preskúmané a diskutované štyri témy, ktoré sú najrelevantnejšie pre juhovýchodnú Áziu, vrátane otázok týkajúcich sa využívania priestorových údajov, pokroku a prijímania technológií, dynamického zobrazovania geografických procesov a účasti verejnosti na krízovom riadení.

Chen, Pena-Mora a Ouyang [5] predstavili spoločný GIS rámec, ktorý uľahčuje pridelovanie zdrojov v odozve na mimoriadnu udalosť. Tento rámec pozostával z troch podsystémov, ktoré uľahčujú zhromažďovanie informácií a rozhodovanie o distribúcii zdrojov. Ako prvá bola vyvinutá aplikácia, ktorá sa spúšťa na mobilných zariadeniach na účely vyžiadania zdrojov v teréne. Ako druhé bolo implementované úložisko zdrojov s geopriestorovou databázou, ktorá umožňuje priestorové vyhľadávanie zdrojov pomocou grafického rozhrania. Okrem toho bol predstavený GIS, ktorý umožňuje automatizované rozhodovanie pri porovnávaní zdrojov a hľadani trasy pre distribúciu zdrojov. Navrhnutá bola tiež integrácia rozhodovacích modelov do rámca na podporu komplexného rozhodovania o distribúcii zdrojov. So zavedeným rámcom by sa operácie odozvy na mimoriadnu udalosť mohli stať účinnejšími. Simulované testovacie prípady boli vykonané pre spoločnosť Champaign IL, mesto Chicago a mesto New York.

Islam a Chik [49] popísali prípadovú štúdiu mimoriadnej udalosti v Bangladéši a úlohu systému riadenia informácií pre krízové plánovanie. Použili metodológiu, ktorá berie do úvahy vnímanie a architektúru, vrátane úlohy informačných systémov, tak aby boli závislé na spoločenských a kultúrnych štruktúrach, čo považujú za užitočné pri znižovaní škôd v oblastiach náchylných na výskyt mimoriadnych udalostí. Pokrok v oblasti informačných technológií vo forme internetu, geografických informačných systémov (GIS), diaľkového prieskumu Zeme, satelitnej komunikácie atď., poukázal na ich prínos v mnohých aspektoch plánovania a implementácie opatrení na zníženie nebezpečenstva.

Wu, Su a Chu [50] vytvorili na poohovo lokalizovanú servisnú sieť pre účely mobilného krízového riadenia podľa požiadaviek aplikácie

server network. On the application level, the information was presented in both map and text forms to support the exchange of information between actors. This way of organising geographical information and technology leads to improved information and communication, better situational awareness and faster decision making.

Cao, Luo and Wang [53] designed a provincial disaster relief and emergency command GIS platform, and built integration geographic information online service system based on multi-node. This design of GIS emergency command system achieved vertical and horizontal connectivity and effective integration of geographic information resources for city, provincial, and state. It offered online geographic information services for the government's macroeconomic policy, emergency management, and social welfare services, and enhances geographic information and public service capacity and level under conditions of informatization.

Erden [54] proposed to improve disaster and emergency management activities using the geospatial tools with special reference to Turkey. He considered that GIS and spatial decision support systems (SDSS) can be powerful tools for analysis because each phase in the disaster and emergency management cycle is geographically and spatially related to one another.

Grecea, Musat and Vilceanu [55] described GIS role as an efficient management tool for a huge amount of spatial urban relevant data thus contributing to the optimization of the activity carried on by the local administrations. Accurate cartographic feature extraction, map updating, digital city models and 3D city models in urban areas they consider to be essential for many applications, such as mapping of buildings and their heights, simulation of new buildings, military operations, disaster management, updating and keeping cadastral databases current, and also for virtual reality.

Karnatak et al. [56] focused on spatial mashup solution for disaster management using open source GIS, mobile applications, web services in web 2.0, Geo-RDBMS and XML which are in the central of intelligent geo web

a špecifických vlastností verejnej bezpečnosti a odozvy na krízové situácie. Táto sieť pre územie Číny poskytuje mobilné krízové monitorovanie a riadenie na báze terminálu Beidou, terminálu GPS, inteligentného PDA, satelitných komunikačných sietí Beidou a siete GSM. Prijímač typu Beidou sa používa ako prístupový modul v servisnom stredisku (namiesto Beidou prijímača príkazového typu) na prijímanie informácií o polohe terminálov Beidou, za účelom zníženia nákladov na sieťové aplikácie spoločnosti Beidou. Vyvinutá bola technológia fúzie a výmeny informácií o polohe a výmene informácií medzi terminálom Beidou a terminálom GPS a skúmaná bola i metóda vytvárania sietí na realizáciu funkcií ako je pridelovanie úloh, výmena informácií, výmena informácií o polohe, dispečing príkazov atď. Týmto spôsobom je personál a materiál možné monitorovať aj v podmienkach prostredia bez pokrytia mobilnými komunikačnými signálmi. V krízovej polohe lokalizovanej servisnej sieti môžu terminály PDA komunikovať s terminálmi spoločnosti Beidou a môžu monitorovať a ovládať iné terminály GPS a Beidou na báze mobilného GIS. Sieť poskytuje životaschopné riešenie pre krízové riadenie, ktoré čelí problémom zdieľania polohy, tímovej spolupráce a mobilného velenia na mieste nehody a mimoriadnej udalosti.

Zhang, Geng, Cheng [51] poukázali na značný dopyt po vybudovaní systému krízového riadenia pre prípad živelných pohrôm v prípade čínskeho národa a na potrebu rozvinúť syntézu výskumu monitorovania územia založeného na satelitnej polohovej lokalizácii, integrácii GIS a senzorových technológií, ktorého výsledkom by bol vývoj navigačný mobilný terminál orientovaný na národnú štvorstupňovú platformu na znižovania dopadov mimoriadnych udalostí s cieľom realizovať bezproblémové prepojenie a aplikačný model národnej krízovej odozvy na mimoriadne udalosti, systém velenia pri záchranných prácach, podnikový systém hodnotenia kríz, s cieľom ponúknuť technickú podporu slúžiacu na zvýšenie celkových možností národa na znižovanie dopadov mimoriadnych udalostí a budovanie národných štvorstupňových systémov krízovej odozvy na

services. The geo-web application was developed to generate the actionable GIS products at user end during disaster event by consuming various data and information services from web and central server system and also real time ground observation data collected through a mobile device. The technological solution developed in this study was successfully demonstrated for disaster management in the Assam State of India during the floods in 2010.

Vescoukis, Doulamis and Karagiorgou [57] introduced a service-oriented architecture for decision support systems in environmental crisis management.

Wei et al. [58] proposed the basic structure of the decision-making and management system for the planning of urban hazard prevention based on ArcGIS. In comparison between two different ArcGIS

secondary development strategies, a similar software inclusive framework-based software structure of the decision-making and management system for the planning of urban hazard prevention has been proposed, where software interfaces and their realizations for the C++ classes and the main functions were developed and introduced.

The aim of the work of Xiong et al. [59] was to enhance the emergency response capacity of the traffic guidance system in disaster environment, discuss the framework of the traffic guidance system and the key technology of update electronic map, real time add disaster information, establish road impedance function, analysis optimal induction path. Based on the theoretical research, design and to develop the traffic guidance system for disaster emergency rescue using C# and ArcObject. The research results had important theoretical and practical significance in enhancing the ability of disaster rescue and administrative management to reply unexpected major disaster events.

Balbo et al. [60] published a case study scenario of setting up a Web platform based on GeoNode. It is a public platform called MASDAP and promoted by the Government of Malawi in order to support development of the country and build resilience against natural disasters. A substantial amount of geospatial

mimoriadne udalosti a systému velenia pri záchranných prácach.

Neuvel, Scholten a van den Brink [52] vytvorili koncepciu zameranú na organizáciu podpory priestorového rozhodovania v manažmente rizík a mimoriadnych udalostí. Táto koncepcia bola implementovaná prostredníctvom vývoja informačného systému a výmena geografických informácií v rámci systému bola uľahčená použitím siete peer-to-peer v kombinácii s klientskou serverovou sieťou. Na úrovni aplikácie, za účelom podpory výmeny informácií medzi aktérmi, boli informácie prezentované v mapových aj textových formách. Tento spôsob organizovania geografických informácií a technológií vedie k lepšej informovanosti a komunikácii, lepšiemu poznaniu situácie a rýchlejšiemu rozhodovaniu.

Cao, Luo a Wang [53] navrhli provinčnú príkazovú GIS platformu na pomoc pri odstraňovaní následkov mimoriadnej udalosti a vybudovali integráciu geografickej informácie a systému online služieb, založeného na viacerých uzloch. Táto koncepcia GIS príkazového systému má vertikálnu a horizontálnu konektivitu a poskytuje efektívnu integráciu geografických informačných zdrojov pre úroveň mesta, provincie a štátu. Poskytuje on-line geografické informačné služby pre vládnu makroekonomickú politiku, krízové riadenie a služby sociálneho zabezpečenia a zlepšuje geografické informácie a kapacity a úroveň verejných služieb v podmienkach informatizácie.

Erden [54] navrhol zlepšiť činnosti v oblasti krízového riadenia s využitím geopriestorových nástrojov, s osobitným dôrazom na Turecko. Domnieva sa, že GIS a systémy pre podporu priestorového rozhodovania (SDSS) môžu byť silnými nástrojmi na analýzu, pretože každá fáza cyklu krízového riadenia je geograficky a priestorovo navzájom prepojená.

Grecea, Musat a Vilceanu [55] popísali úlohu GIS ako účinného nástroja riadenia obrovského množstva údajov týkajúcich sa priestorových aspektov mestského prostredia, čím prispeli k optimalizácii činnosti miestnej správy. Presný výber kartografických funkcií, aktualizácia máp, digitálne modely mesta a 3D modely mesta v zastavaných oblastiach sa

contributed to get a good management of risks and their consequences.

Kawasaki, Berman and Guan [64] examined changes in disaster response and relief efforts and recent web-based geospatial technological developments through an evaluation of the experiences of the Center for Geographic Analysis, Harvard University, of the Sichuan (2008) and Haiti (2010) earthquake responses. They outlined how conventional GIS disaster responses by governmental agencies and relief response organisations and the means for geospatial data-sharing have been transformed into a more dynamic, more transparent, and decentralised form with a wide participation. It began by reviewing briefly at historical changes in the employment of geospatial technologies in major devastating disasters, including the Sichuan and Haiti earthquakes (case studies for our geospatial portal project). Then, it went on to assess changes in the available dataset type and in geospatial disaster responders, as well data has been collected about hydrogeological risk, as well as several other-disasters related information. Moreover this platform helps to ensure that the data created by a number of past or ongoing projects is maintained and that this information remains accessible and useful. An Integrated Flood Risk Management Plan for a river basin has already been included in the platform and other data from future disaster risk management projects were added as well.

Breen and Parrish [61] introduced the results of a multidisciplinary team participating in a research focusing the identification of differing aspects of GIS in disaster situations. Research findings were provided along with future implications and recommendations for understanding organizational cultures; a necessary step for increasing the effectiveness of first response agencies during the numerous phases of emergency operations.

Dahlan, Dahan and Saman [62] published the literature findings on success factors that ensure the quality of government information sharing (GIS) in supporting effectively DM. Accordingly, the identified factors were classified into major categories, namely political leadership support, inter-agency collaboration, individual agency capacity including ICT, and agency benefits.

považujú za nevyhnutné pre mnohé aplikácie, ako je napr. mapovanie budov a ich výšky, simulácia nových budov, vojenské operácie, krízové riadenie, aktualizácia a udržiavanie katastrálnych databáz, ale aj pre tvorbu virtuálnej reality.

Karnatak, Shukla, Sharma et al. [56] sa sústredili na riešenie priestorového riešenia mashupu pre krízové riadenie, a to pomocou open source GIS, mobilných aplikácií, webových služieb vo web 2.0, Geo-RDBMS a XML, ktoré sú v centre pozornosti inteligentných geo webových služieb. Geo-webová aplikácia bola vyvinutá na generovanie funkčných produktov GIS pre koncových užívateľov počas mimoriadnej udalosti, a to tak že používa rôzne údajové a informačné služby z webového a centrálného serverového systému a tiež údaje z terestriálnych pozorovaní v reálnom čase, získané prostredníctvom mobilného zariadenia. Technologické riešenie bolo úspešne demonštrované na príklade krízového riadenia v indickom štáte Assam počas povodní v roku 2010.

Vescoukis, Doulamis a Karagiorgou [57] zaviedli architektúru orientovanú na služby pre systémy na podporu rozhodovania v oblasti riadenia environmentálnych kríz.

Wei et al. [58] navrhli základnú štruktúru rozhodovacieho a riadiaceho systému báze ArcGIS pre plánovanie preventívnych opatrení za účelom predchádzania výskytu mimoriadnych udalostí v mestskom prostredí na. V porovnaní s dvoma rôznymi stratégiami sekundárneho rozvoja ArcGIS bola navrhnutá podobná softvérová štruktúra rámcovo založená na systéme rozhodovania a riadenia plánovania prevencie výskytu mimoriadnych udalostí v mestách, kde boli vytvorené softvérové rozhrania a ich realizácie pre triedy C++ a boli vyvinuté a zavedené aj ich hlavné funkcie.

Cieľom práce Xiong et al. [59] bolo zlepšiť kapacitu odozvy na krízové situácie v systéme riadenia dopravy v podmienkach krízy, prediskutovať rámec systému dopravného riadenia a kľúčovú technológiu aktualizácie elektronickej mapy, v reálnom čase pridávať informácie o katastrofe, vytvoriť funkciu cestnej impedancie, analýzu optimálnej trasy cesty. Na základe teoretického výskumu navrhnúť a vyvinúť systém riadenia dopravy

Hamani and Boudjema [63] introduced a generic model helps to transit from crisis management to natural disasters risk management and stabilize sustainable development in Algeria. The model helps to stabilize a base for sustainable development, by stimulating resilience and response capacity of the community to the risks. It is an informational and organizational tool based on the characterization of risks, considering the hazard and vulnerability. Therefore, a qualitative and quantitative analysis is required to identify and assess the risks to develop appropriate response plans. The proposed model integrated two systems; Geographic Information System (GIS) and the DataBase Management System (DBMS). This one provided the public with a real and concrete transmission of information. In addition, it ensured the optimal management of resources, by an intensive and efficient insertion of society in different plans. Finally, this model

as the impact of geospatial technological changes on disaster relief effort. Finally, they discussed lessons learned from recent responses and offers some thoughts for future development.

Negula et al. [65] described the potential of downstream copernicus service application for emergency management in Romania. The satellite imagery has a major contribution to all the phases of the emergency management process. Space-based information in support of disaster monitoring can be obtained through the International Charter on Space and Major Disasters, Copernicus (The European Earth Observation Programme) Emergency Management Service (EMS) and the United Nations Platform for Space-based Information for Disaster Management and Emergency Response (UN-SPIDER). All these services offer unified systems of space data acquisition and delivery to the countries affected by natural or man-made disasters, with a worldwide coverage. In this context, a downstream Copernicus service was built in Romania, acting like a geoinformation platform for local disaster and risk management, to provide value-added products that cover all the phases of a disaster.

Teeuw et al. [66] examined the disaster management applications of geographical

pre záchranné zložky pomocou C # a ArcObject. Výsledky výskumu mali dôležitý teoretický a praktický význam pri zvyšovaní možností včasného poskytnutia pomoci osobám v tiesni a administratívneho riadenia odozvy na neočakávané veľké katastrofy.

Balbo et al. [60] uverejnili scenár prípadovej štúdie zameranej na vytvorenie webovej platformy založenej na GeoNode. Je to verejná platforma s názvom MASDAP a podporovaná vládou Malawi s cieľom podporiť rozvoj krajiny a vybudovať odolnosť voči prírodným katastrofám. Zaznamenané bolo značné množstvo geopriestorových údajov o hydrogeologickom riziku, ako aj niekoľko informácií týkajúcich sa iných druhov mimoriadnych udalostí. Okrem toho táto platforma pomáha zabezpečiť zachovanie údajov vytvorených v rámci predchádzajúcich alebo súčasných projektov a tieto informácie zostávajú ďalej prístupné. Do tejto platformy už bol zahrnutý Integrovaný plán riadenia rizík povodní pre povodie rieky a prodané boli aj ďalšie údaje z pripravovaných projektov zameraných na manažment rizík mimoriadnych udalostí.

Breen a Parrish [61] predstavili výsledky multidisciplinárneho tímu, ktorý sa bol zapojený do výskumu zameraného na identifikáciu rôznych aspektov GIS v krízových situáciách. Autori poskytli výsledky výskumu, tieto boli doplnené o očakávané dôsledky a odporúčania týkajúce sa pochopenia organizačných kultúr. Ide zároveň o nevyhnutný krok k zvýšeniu účinnosti agentúr prvej odozvy vo viacerých fázach krízového riadenia.

Dahlan, Dahan a Saman [62] publikovali zistenia zo štúdia dostupných zdrojov literatúry o faktoroch úspechu, ktoré zabezpečujú kvalitu zdieľania vládnych informácií na účely efektívnu podpory krízového riadenia. Identifikované faktory boli zaradené do hlavných kategórií, konkrétne podpora politického vedenia, spolupráca medzi agentúrami, kapacity jednotlivých agentúr vrátane IKT a prínosy agentúry.

Hamani and Boudjema [63] zaviedli všeobecný model, ktorý pomáha pri prechode z krízového riadenia na riadenie rizík živelných pohrôm a stabilizácii trvalo udržateľného rozvoja v

information systems and remote sensing, relative to the disaster cycle, in pre-disaster, crisis and post-disaster contexts. They focused on the uses and limitations of free or low-cost data and software.

Tsai and Yau [67] proposed an approach for dealing with three problems associated with emergency situations, i.e., inadequate escape guidelines for people, incomplete geographical information for relief workers, and insufficient on-site information for disaster managers. They tested the approach in a simulated scenario, when serious debris flows occurred. The test results showed that the people rapidly finished self-evacuation, the relief workers effectively completed their on-site relief work, and the disaster managers successfully managed the on-site activities regarding the people and relief workers. Overall, the recommended approach improved information access for emergency response and provided a useful reference for similar applications in disaster management.

Atila, Karas and Rahman [68] designed a Knowledge Based Decision Support System and 3D navigation system for Indoor Visualisation and Routing Simulation. To implement the 3D visualization and navigation techniques and solutions for indoor spaces within 3D-GIS, they proposed a GIS implementation that can carry out 3D visualization of a building model stored in the CityGML format and perform analysis on a network model stored in Oracle Spatial. The proposed GUI also provided routing simulation on the calculated shortest paths with voice commands and visual instructions.

Brachman and Dragicevic [69] designed and implemented the Network Science Emergency Evacuation Model (NetSEEM), using spatially explicit network science principles. The developed NetSEEM model was applied to four evacuation scenarios in the City of Burnaby, BC, Canada. The results showed expected congestion patterns at the major transportation intersections and highlight NetSEEM as an exploratory management tool to anticipate and mitigate traffic congestion during context-dependent emergency evacuations.

Gaikwad, Wanjari and Kale [70] described the challenges of integration of Web Services with Geospatial Data Mining for disaster

Alžírsku. Tento model pomáha stabilizovať základ pre trvalo udržateľný rozvoj tým, že stimuluje odolnosť a schopnosť komunity reagovať na riziká. Ide o informačný a organizačný nástroj založený na charakterizácii rizík s ohľadom na hrozbu a zraniteľnosť. Preto je potrebná pri vypracovaní vhodných plánov odozvy kvalitatívna a kvantitatívna analýza za účelom identifikácie a hodnotenia rizík. Navrhovaný model integroval dva systémy; Geografický informačný systém (GIS) a systém riadenia databázy (DBMS). Toto poskytlo verejnosti skutočný a konkrétny prenos informácií. Okrem toho zabezpečila optimálne riadenie zdrojov, intenzívnym a efektívnym vkladáním spoločnosti do rôznych plánov. Nakoniec tento model prispel k efektívnemu manažmentu rizík a ich následkov.

Kawasaki, Berman a Guan [64] skúmali zmeny v odozve na mimoriadne udalosti a úsilie o pomoc a nedávny webový geopriestorový technologický rozvoj prostredníctvom hodnotenia skúseností Centra pre geografickú analýzu Harvardskej univerzity s riešením krízovej odozvy v prípade zemetrasenia v Sichuane (2008) a Haiti (2010). Poukazujú na to, ako GIS krízové odozvy na katastrofy v zo strany vládnych agentúr a organizácií nápomocných pri riešení problémov a prostriedky na zdieľanie geopriestorových údajov boli transformované do dynamickejšej, transparentnejšej a decentralizovanejšej formy so širokou participáciou. Proces začal krátkym preskúmaním historických zmien v používaní geopriestorových technológií pri veľkých ničivých katastrofách, vrátane zemetrasení v Sichuane a na Haiti (prípadové štúdie pre projekt geopriestorových portálov). Ďalej pokračoval v posúdení zmien v dostupnom súbore údajov a na užívateľoch geopriestorových údajov v čase výskytu mimoriadnej udalosti, ako aj na vplyv geografických technologických zmien na poskytovanie pomoci v tiesni, resp. výkon záchranných prác. Nakoniec diskutovali o poučeniach z nedávnych krízových odozviem a ponúkli pohľad na budúci vývoj v tejto oblasti.

Negula et al. [65] popísali potenciál aplikácie služby Copernicus pre riadenie krízových situácií v Rumunsku. Satelitné snímky majú významný prínos vo všetkých fázach procesu

management purposes. The disaster management system for accident, incorporating the GIS and spatial data mining, can identify the accidental spot and provide the optimal routes to reach the desired location. Web services can be used to show the routing path but this will not help to the need people who cannot reach to the facility by themselves. They also proposed a SMS alert system for government authorities so they can reach on the spot and also extraction of knowledge rules for further prediction and analysis of accidents by data mining.

Grzeda, Mazzuchi, Sarkani [4] described the use of binomial cluster analysis in potential disaster debris management sites identification in a case study conducted in Hamilton County, Indiana.

Ma et al. [71] proposed and tested the crowdsourcing-compatible disaster information management system based on GIS, including its' content, architecture, technical challenge and future development direction.

Musacchio, Russo [72] pointed out the need to develop an approach to the problem of civil defense emergency management that must be fully modernized, opened to new technologies and services available, so that the reaction to emergencies can take place in real time and emergency operators can actually interact with the outside world and with social media, managing external communications and rescue operations with the necessary authority.

Ahmadi, Seifi, Tootooni [73] proposed a multi-depot location-routing model considering network failure, multiple uses of vehicles, and standard relief time. The model determined the locations of local depots and routing for last mile distribution after an earthquake. The model was extended to a two-stage stochastic program with random travel time to ascertain the locations of distribution centers. A variable neighborhood search algorithm was devised to solve the deterministic model. Computational results showed that the unsatisfied demands can be significantly reduced at the cost of higher number of local depots and vehicles.

Arora et al. [74] provided a comparative analysis among the cadastral map, digitized map and GPS survey to demonstrate the difference between actual boundaries of the

krízového riadenia. Informácie z vesmíru na podporu monitorovania mimoroadných udalostí možno získať na základe Medzinárodnej charty pre vesmír a veľké katastrofy, a z programu Copernicus (Európsky program pozorovania Zeme) služby pre krízové riadenie (EMS) a Platformy OSN pre kozmické informácie pre krízové riadenie a krízovú odozvu (UN-SPI-DER). Všetky tieto služby ponúkajú zjednotené systémy získavania a dodávania kozmických údajov do krajín postihnutých prírodnými katastrofami alebo katastrofami spôsobenými ľudskou činnosťou s celosvetovým pokrytím. V tomto kontexte bola v Rumunsku vyvinutá nadväzujúca služba Copernicus, ktorá pôsobí ako geoinformačná platforma pre lokálne mimoriadne udalosti a riadenie rizík s cieľom poskytnúť produkty s pridanou hodnotou, ktoré pokrývajú všetky fázy vývoja mimoriadnej udalosti.

Teeuw et al. [66] skúmali aplikácie geografických informačných systémov a diaľkového prieskumu Zeme v súvislosti s krízovým riadením vo vzťahu k cyklu vývoja mimoriadnej udalosti v kontexte pred mimoriadnou udalosťou, v čase krízy a po udalosti. Zamerali sa na použitie a obmedzenia voľne dostupných alebo nízko nákladových údajov a softvéru.

Tsai a Yau [67] navrhli prístup k riešeniu troch problémov spojených s mimoriadnymi situáciami, t. j. neadekvátne usmernenia pre únik osôb, neúplné geografické informácie pre pracovníkov v teréne a nedostatočné informácie o mieste udalosti pre krízových manažérov. Testovali prístup na základe simulovaného scenára, v ktorom došlo k závažnému zosivu sutiny. Výsledky testov ukázali, že ľudia rýchlo ukončili sebaevakúáciu, terénny pracovníci efektívne dokončili svoju prácu na mieste a krízový manažéri úspešne riadili aktivity v mieste výskytu mimoriadnej udalosti, týkajúce sa záchranu ľudí a koordinácie pracovníkov v teréne. Celkovo tento prístup zlepšil prístup k informáciám o krízovej odozve a poskytol užitočné referencie pre podobné aplikácie v krízovom riadení.

Atila, Karas a Rahman [68] navrhli systém na podporu rozhodovania založený na poznatkovej báze a 3D navigačný systém pre vnútornú vizualizáciu a simulácie smerovania. Na implementáciu 3D vizualizácie a navigačných techník a riešení pre vnútorné priestory v 3D-GIS

village and its status in traditional revenue records system, in the framework of the case study of village Rahimpur. This led to conclusion that geographical revisions are required to be incorporated into the revenue record on regular basis. A web-based GIS model through leaflet technology and content management system has been developed to co-ordinate between the district authorities and villagers. The GIS model contained various digitized cadastral map, residential, agriculture details and other GIS scenarios related to Physical bodies and utilities of the village. This assists the government in decision making, disaster management and planning in rural areas of India.

Aydinoglu and Bilgin [75] developed the interoperable geographic data model for disaster management (ADYS), enabling up-to-date exchange of geographic data, was designed, compliant with the standards of ISO/TC211 Geographic Information/Geomatics, Open Geospatial Consortium (OGC), and the Turkish National GIS (TUCBS). An open source and free

analysis toolbox was developed and tested in the case study of activities such as landslide hazard analysis and a disaster warning system to support the Provincial Disaster Management Centres of Turkey.

Becker and Konig [76] proposed an optimized visualization of utility infrastructure for emergency response procedures. They further introduced a conceptual approach on how to simplify, aggregate, and visualize multiple utility networks and their components to meet the requirements of the decision-making process and to support Situational Awareness.

D'Uffizi et al. [77] introduced a simulation study of logistics for disaster relief operations. They used discrete event simulation as decision support for planning different strategies of action to apply in emergency and risk situations. Several scenarios have been developed as simulation models combining different initial hypothesis with the aim to build a generalized and flexible procedure to apply in different scenarios. As a result, the simulation was able to allocate efficiently different resources under emergency situations (multiple scenarios for specific events). Tests and sensitivity analysis have been performed using instances related to a GIS of

navrhli GIS implementáciu, ktorá je schopná realizovať 3D vizualizáciu modelu budovy uloženého vo formáte CityGML a vykonať analýzu na sieťovom modeli uloženom v Oracle Spatial. Navrhované grafické rozhranie poskytlo aj simuláciu smerovania na vypočítaných najkratších trasách doplnenú hlasovými príkazmi a vizuálnymi inštrukciami.

Brachman a Dragicevic [69] navrhli a implementovali sieťový núdzový evakuačný model (NetSEEM) s využitím priestorovo explicitných princípov vedy o sieťach. Vyvinutý model NetSEEM bol aplikovaný na štyri scenáre evakuácie v meste Burnaby, BC, Kanada. Výsledky preukázali očakávané modely preťaženia na hlavných dopravných križovatkách a zdôraznili vhodnosť nasadenia modelu NetSEEM ako prieskumného nástroja riadenia slúžiaceho na predvídanie a zmiernenie dopravných zápch počas kontextovo závislých núdzových evakuácií.

Gaikwad, Wanjari a Kale [70] popísali výzvy týkajúce sa integrácie webových služieb a geopriestorovej hĺbkovej analýzy údajov pre účely krízového riadenia. Systém krízového riadenia v prípade nehôd, ktorý zahŕňa GIS a hĺbkovú analýzu priestorových údajov, dokáže identifikovať náhodný bod a poskytnúť optimálne trasy na dosiahnutie požadovaného miesta. Webové služby môžu byť použité na zobrazenie smerovania trasy cesty, avšak tonepomôže potrebám ľudí, ktorí sa nemôžu dostať do zariadenia sami. Tiež navrhli systém SMS systém varovania pre vládne orgány, aby sa vedeli dostať na miesto evakuácie, ako aj znalostné pravidlá pre ďalšiu predikciu a analýzu nehôd prostredníctvom hĺbkovej analýzy údajov.

Grzeda, Mazzuchi, Sarkani [4] popísali použitie binomickej klastrovej analýzy v potenciálnych prípadoch identifikácie lokalít s potrebou odstraňovania trosiek a to na príkalde oripadovej štúdie situovanej do Hamilton County, Indiana.

Ma et al. [71] navrhli a otestovali crowdsourcingový kompatibilný systém riadenia informácií o mimoriadnych udalostiach založený na GIS, vrátane jeho obsahu, architektúry, technických problémov a smerovania budúceho vývoja.

the Italian Sicily region and a typical set of facilities and rescue team. The simulation system works considering the different typologies of vehicles and staff to choose the best solution available in that specific time.

Daniela et al. [79] published a study overlooking the Ghidici-Rast-Bistret-Nedeia-Jiu water basin, situated in south-field of Romania, over the Danube riverside, where flooding risks are determined by both high level of groundwater and Danube rate of water. Satellite images, taken during 2006-2014, at random moments, have been analyzed and integrated along with geological, geomorphologic, pedology, hydrological, infrastructure and land employment information, in vectorial special data formats. The purpose of this holistic rendering was to create a complex evaluation for the studied area, on flooding vulnerability. Using geographical information systems, to capture satellite images for this area, over eight consecutive years, pointed out the quantity and quality of investments needful in such risk water catchment areas. This modern solution, with good cost efficiency, outputs operative information on the spatial distribution of the flooded areas and provided data on the affected plantable acreage, after the 2006 flood. The regional geospatial maps acquired and interpreted in the study, resulted in risk and flood effects evaluation, along with solution and measures to minimize the natural disasters effects.

Haworth and Bruce [79] published a review of volunteered geographic information (VGI) for disaster management. They noted further research to be warranted in the pre-event phases of disaster management, where VGI may present an opportunity to connect and engage individuals in disaster preparation and strengthen community resilience to potential disaster events. Their investigation of VGI for disaster management provided broader insight into key challenges and impacts of VGI on geospatial data practices and the wider field of geographical science.

Hoskova-Mayerova [80] described geospatial data reliability and their use in crisis situations. Currently, computer equipment, geographic information systems (GIS), remote sensing, computer cartography, etc. in the hands of professionals, along with expert systems, can help much

Musacchio a Russo [72] poukázali na potrebu vyvinúť prístup k riešeniu problému krízového riadenia ako súčasť civilnej ochrany, ktorý musí byť úplne modernizovaný, otvorený novým technológiám a dostupným službám, tak aby odozva na mimoriadne udalosti mohla byť uskutočnená v reálnom čase a v prípade núdze mohli operátori skutočne komunikovať s vonkajším svetom a so sociálnymi médiami, riadiť komunikáciu novonok a záchranné práce s potrebnou autoritou.

Ahmadi, Seifi, Tootooni [73] navrhli multiplový model smerovania trás jazdy vozidiel, a to s ohľadom na zlyhanie siete, viacnásobné použitie vozidiel a štandardný čas dojazdu na miesto určenia. Model určil lokality miestnych diep a určenie poslednej míle distribúcie po zemetrasení. Model bol rozšírený na dvojstupňový stochastický program s náhodným generovaním času trasy cesty na zistenie vhodného umiestnenia distribučných centier. Na vyriešenie deterministického modelu bol navrhnutý algoritmus premenného vyhľadávania v susedstve. Výsledky výpočtov preukázali, že zvýšenie úrovne plnenia požiadaviek dopytu je priamo závislé na zvýšení počtu lokálnych diep a vozidiel.

Arora et al. [74] publikovali komparatívnu analýzu medzi katastrálnou mapou, digitalizovanou mapou a GPS prieskumom na preukázanie rozdielu medzi skutočnými hranicami obce a jej stavom v tradičnom systéme evidencie príjmov v rámci prípadovej štúdie obce Rahimpur. To viedlo k záveru, že geografické revízie sa musia pravidelne zapracovávať do výkazu príjmov. Na koordináciu komunikácie medzi okresnými úradmi a obcami bol vyvinutý webový GIS model založený na leaflet technológii a systéme správy obsahu. Model GIS obsahoval rôzne digitalizované katastrálne mapy, údaje o obydliach a obyvateľoch, poľnohospodárskych objektoch a ďalšie GIS scenáre súvisiace s fyzickými osobami a verejnými službami obce. Tieto údaje napomáhajú vláde pri rozhodovaní, krízovom riadení a plánovaní vo vidieckych oblastiach Indie.

Aydinoglu a Bilgin [75] vyvinuli interoperabilný geografický dátový model pre krízové riadenie (ADYS), ktorý umožňuje aktuálnu výmenu geografických údajov, navrhnutý v súlade

faster, more reliable and more When employing spatial data and information in decision-making processes, complex knowledge of their values is the prerequisite for assessing the credibility and accuracy of decisions made. By implementing the methods of value analysis and mathematical modeling it is possible to create an assessment system of spatial data complex usability. By comparing costs necessary for different variants of enhancement or for adjustment of database quality it is possible to optimize both the total usability and the costs put in securing the required data quality.

Chang and Wu [3] developed a mobile application for debris flow disaster prevention. They applied it in the case of Kaohsiung City affected by numerous slope disasters as a consequence of Typhoon Morakot in December 31, 2009. With the combination of 10-min updating-frequency rainfall data from Central Weather Bureau (CWB) and the debris flow warning data from Soil and Water Conservation Bureau (SWCB), the system utilizes Arc GIS Runtime SDK for code writing.

The general public can receive instant information including mapping of potential debris flow torrents, locations of nearby evacuation shelters, climate conditions and debris flow alerts through this application system. Moreover, this application's positioning and navigation function can provide the users' paths to closest refuge in emergency.

Chen et al. [2] achieved the infectious disaster prediction goal through establishing cloud computing, information, and planning abilities. The collection of big data in the hospital network was done through an IoT federation that can exchange patient documents and trace events based on smart items and Internet information. The federation architecture was fault tolerant, highly secure, flexible, and expandable. It had a low entry effort, and was designed for large scale analytics with quick response. Their solution was reckoned upon a rapid rebinding methodology that has provided insight into the problem of global pandemic visibility.

Takahagi et al. [81] proposed the Disaster Information Transmission Common Infrastructure System (DITCIS) intended to rapid sharing of information in a time of mega disaster. This Disaster Information Transmission

s normami ISO / TC211 Geografické informácie / Geomatics, Open Geospatial Consortium (OGC), a tureckého národného GIS (TUCBS). Vyvinuli voľne dostupný OpenSource súbor nástrojov pre analýzu, ktorý testovali na príklade prípadovej štúdie o činnostiach, ako je analýza nebezpečenstva zosuvu pôdy a systém varovania pred výskytom mimoriadnych udalostí, ktorý slúži ako podpora regionálnych centier krízového riadenia v Turecku.

Becker a König [76] navrhli optimalizovanú vizualizáciu verejnoprospešnej infraštruktúry pre postupy odozvy na mimoriadne situácie. Ďalej zaviedli koncepčný prístup k tomu, ako zjednodušiť, zhromaždiť a vizualizovať viac verejných sietí a ich komponentov tak, aby spĺňali požiadavky rozhodovacieho procesu a podporovali situačnú informovanosť.

D'Uffizi et al. [77] uviedla simulačnú štúdiu zaoberajúcu sa logistikou pri výkone záchranných prác. Použili simuláciu diskretných udalostí ako podporu rozhodovania pri plánovaní rôznych stratégií činností, ktoré sa aplikujú v mimoriadnych a rizikových situáciách. Niekoľko scenárov bolo vyvinutých vo forme simulačných modelov, kombinujúcich rôzne východiskové hypotézy s cieľom vytvoriť všeobecný a flexibilný postup, ktorý by bol uplatniteľný v rôznych scenároch. V dôsledku toho bola simulácia schopná efektívne pridelovať rôzne zdroje počas mimoriadnych situácií (viac scenárov pre konkrétne udalosti). Testy a analýza citlivosti boli vykonané v GIS, s použitím relevantných príkladov z talianskeho regiónu Sicília a súboru bežne používaných zariadení a nasadzovaných záchranných tímov. Systém simulácie pracuje s ohľadom na rôzne typy vozidiel a pracovníkov za účelom výberu najlepšieho riešenia dostupného v danom čase.

Daniela et al. [78] zverejnila štúdiu zameranú na vodnú nádrž Ghidici-Rast-Bistret-Nedeia-Jiu, ktorá sa nachádza na juhu Rumunska, situovanú v blízkosti rieky Dunaj, kde sú riziká povodní spôsobené vysokou hladinou podzemných vôd a vodou z Dunaja. V štúdiu analyzovali satelitné snímky získané v rokoch 2006 - 2014 a integrovali ich s geologickými, geomorfologickými, pedologickými, hydrologickými, infraštruktúrnymi údajmi a údajmi o využití krajiny. Všetky tieto údaje boli spracovávané vo

Common Infrastructure System consisted of the Relief Supplies Distribution Management System, the IC Card Authorization Safety Confirmation System, the Web-GIS Disaster Management System, the Disaster Information Registration System, the Disaster Information Sharing System, and the Disaster Information In detail, they introduced the Disaster Information Registration System, the Disaster Information Sharing System, and the Disaster Information Transmission Platform. The Disaster Information Registration System enables to register disaster information provided by the related institutions. And, the Disaster Information Sharing System enables to share exact disaster information in the disaster countermeasure headquarters. Moreover, the Disaster Information Transmission Platform enables to automatic upload or automatic delivery disaster information to various communication tool.

Tomaszewski et al. [82] provided an overview of the current state-of-the-art in GIS for disaster response and demonstrated progress in the data and people aspects of GIS for disaster response since previous literature reviews. The review was structured to serve as a metaphorical bridge between two reader groups - disaster management practitioners interested in understanding developing trends in GIS for disaster response and academic researchers with minimal to no understanding of GIS and/or mapping concepts within the disaster response context. With this readership in mind, they outlined definitions of GIS, disaster response and the need for GIS in disaster response, review interdisciplinary literature from a variety of spatially-oriented disaster management fields and demonstrate progress in various aspects of GIS for disaster response. The review concluded with a GIS for disaster response research agenda and provides a list of resources for researchers new to GIS and spatial perspectives for disaster management research.

Yagoub [83] showcased various studies that had been conducted on Volunteered Geographic Information (VGI) debating various aspects such as accuracy, legal issues, and privacy. This research also integrated Geographic Information System (GIS), VGI, social media tools, data mining, and mobile technology to design a conceptual framework for promoting public participation in UAE. The data gathered

forme vektorových reprezentácií. Cieľom tohto holistickej interpretácie údajov bolo vytvoriť komplexné analýzu študovanej oblasti z pohľadu zraniteľnosti voči povodňiam. Pomocou geografických informačných systémov boli spracované satelitné snímky zachytávajúce toto územie počas obdobia osem po sebe nasledujúcich rokov. Výsledky analýzy poukázali na výšku a kvalitu investícií potrebných na realizáciu protipovodňových opatrení v takýchto rizikových povodiach. Toto moderné riešenie, efektívne z pohľadu nákladovosti, prinieslo operatívne informácie o priestorovom rozložení zaplavených oblastí a poskytlo údaje o postihnutom území po roku 2006. Regionálne geopriestorové mapy získané a interpretované v štúdiu vyústili do hodnotenia rizík a dopadov povodní, a hodnotenia konkrétnych riešení a opatrení slúžiacich na minimalizáciu dopadov živelných pohrôm.

Haworth a Bruce [79] publikovali prehľad dobrovoľne vytvorených a ponúkaných geografických informácií (VGI) pre účely krízového riadenia. Upozornili na smerovanie ďalšieho výskumu, ktorého výsledky by mali byť aplikované vo fázach predchádzania výskytu mimoriadnych udalostí, v ktorých môže VGI predstavovať príležitosť spojiť a zapojiť jednotlivcov do prípravy na riešenie mimoriadnych udalostí a posilniť odolnosť komunít pred potenciálnymi katastrofami. Ich skúmanie jednotlivých VGI určených pre krízové riadenie poskytlo širší pohľad na kľúčové problémy a vplyvy VGI na praxi s geopriestorovými údajmi a širšiu oblasť zemepisných vied.

Hoskova-Mayerova [80] popísala spoľahlivosť geografických údajov a ich použitie v krízových situáciách. V súčasnosti môžu počítače, GIS, diaľkový prieskum Zeme, počítačom podporovaná kartografia atď., v rukách profesionálov, spolu s expertnými systémami, pomôcť oveľa rýchlejšie, spoľahlivejšie a účinnejšie riadiť a koordinovať proces krízového riadenia. Pri využívaní priestorových údajov a informácií v rozhodovacích procesoch, je nevyhnutným predpokladom komplexné poznanie ich hodnôt a hodnotenie dôveryhodnosti a presnosti prijatých rozhodnutí. Zavedením metód analýzy hodnôt a matematického modelovania je možné vytvoriť systém hodnotenia komplexnej použiteľnosti priestorových údajov. Porovnaním

through survey were helpful in correlating various aspects of VGI. Since there were diverse views about these aspects, policy makers were left undecided in many countries about how to deal with VGI. The assessment of the UAE case contributed to the age-long debate by examining the willingness of the public to participate. The results showed the public perception to be as sensors for data collection. Additionally, the potential of citizen involvement in the risk and disaster management process by providing voluntary data collected for VGI applications was also explored.

Yamamoto [84] tried to classify disaster risk management for natural disasters into three stages-normal times, disaster outbreak times, and times of recovery and reconstruction-to introduce the results of development and operation of social media GIS during each of these three stages. The social media GIS targeted residents who were more than 18 years old in the Tama region of Tokyo metropolis and the neighboring area in Japan for two months. Subsequently, the systems were evaluated based on the results of an online questionnaire survey to users, access surveys using log data during operation of the systems, and an analysis of the submitted information. Based on the results of the evaluation, measures for improvement of the development and operation of social media GIS can be summarized into three areas regarding (a) participation of various users and partnership with local communities, (b) usability, and (c) long-term actual operation.

Yasumiishi, Renschler and Bittner [85] focused on the application of cell phone usage data to disaster response management. Cell phones work as a communication link between emergency responders and victims during and after a major disaster. Their study recognized that there are two kinds of disasters, one with a warning, and one without a warning. Different movement distance between a day with a blizzard (advanced warning) and a normal weather day was identified. In the scenario of a day with an extreme event without advanced warning (earthquake), factors that alter the phone users' movements were analyzed. Lastly, combining both cases, a conceptual model of human movement factors was proposed. Human movements consist of four factors that are push factors, movement-altering factors, derived attributes and

nákladov potrebných pre rôzne varianty optimalizácie alebo úpravou kvality databázy je možné optimalizovať celkovú použiteľnosť a náklady na zabezpečenie požadovanej kvality dát.

Chang a Wu [3] vyvinuli mobilnú aplikáciu na prevenciu mimoriadnych udalostí spojených s bahnotkami Aplikovali ju v prípade Kaohsiung City, ktoré bolo postihnuté zosuvmi pôdy v dôsledku tajfúnu Morakota, dňa 31. decembra 2009. Vďaka kombinácii údajov z Centrálného meteorologického úradu (CWB) o frekvencii zrážok získavaných z v 10 minútových intervaloch a výstrah týkajúcich sa bahnotokov, vydávaných Úradom pre ochranu pôdy a vody (SWCB), systém využívajúca Arc GIS Runtime SDK na písanie kódu. Prostredníctvom tejto aplikácie môže verejnosť získať aktuálne informácie týkajúce sa mapovania potenciálnych miest výskytu bahnotokov, polohy evakuačných prístreškov v blízkosti týchto ohrozených miest, klimatických podmienok a výstrah týkajúcich sa bahnotokov. Vďaka funkcii určovania polohy a navigácie, ktorá je zahrnutá v tejto aplikácii, ju možno použiť aj na hľadanie najkratšej trasy k úkrytu.

Chen et al. [2] dosiahli cieľ predpovedania výskytu infekčných ochorení veľkého rozmeru prostredníctvom realizácie výpočtov v cloude, zlepšenie informovanosti a možností plánovania. Zhromažďovanie objemných údajov v nemocničnej sieti bolo vykonané prostredníctvom IoT federácie, ktorá dokáže vymieňať dokumenty pacientov a sledovať udalosti založené na počítačovom spracovaní položiek a internetových informáciách. Architektúra systému federácie bola tolerantná voči chybám, bola vysoko bezpečná, flexibilná a rozšíriteľná. Ich riešenie bolo založené na rýchlej reblinkovej metodológii, ktorá poskytla prehľad o probléme viditeľnosti globálnej pandémie.

Takahagi et al. [81] navrhli spoločný systém infraštruktúry na prenos informácií o katastrofách (DITCIS), ktorého cieľom je rýchle zdieľanie informácií v čase mega katastrofy. Tento systém spoločnej infraštruktúry na prenos informácií o katastrofách pozostával z systému riadenia distribúcie dodávok pre zabezpečenie záchranných prác, systému potvrdzovania bezpečnosti autorizácie IC karty, systému riadenia katastrof v sieti web-GIS, registračného systému

constraint factors. Considering each category of factors in case of emergency, it should be necessary that we prepare different kinds of emergency response plans depending on the characteristics of a disaster.

Abdalla [86] provided multidisciplinary scope to the utilization of geospatial data frameworks for urban disaster management with accentuation on emergencies. The emergency management presented in his review was universally known and represented high risk for different parts of the world. The goal of his study was to give conceptual coverage to appropriate solutions for emergency preparedness and response, using spatial analysis and GIS. He emphasized that among different issues that may confront the use of spatial analysis, is the accuracy of data and time of processing, in addition to collective coordination of stakeholders working in the field. The findings of his research conclude that a challenge to possible risk reduction is furnishing disaster managers with access to information and methodologies that may help them in analyzing, evaluating and mapping hazard models.

Jefferson and Johannes [87] explored a new approach for emergency managers to harness the capability of scientific modeling systems when responding to disasters. In disaster response, emergency managers need sound situational awareness to support critical decision-making. Obtaining situation awareness is difficult because of the gap that exists between the information that emergency managers have and the information that emergency managers need. However, comprehensive situational awareness is necessary to form accurate estimates of physical impacts and response requirements. They recommended the GIS applications to be used to narrow the gap between known information and required information. They developed a methodology for obtaining a common operating picture based on Hazus (Hazards U.S.), a GIS-based application that performs loss and risk assessments on multiple types of hazards. Hazus combines both scientific and engineering knowledge to model a disaster event.

Netek and Panek [88] introduced the See-Think-Do, a framework originally used as an approach focused on a service and product

informácií o katastrofách, systému zdieľania informácií o katastrofách a platformy na prenos informácií o katastrofách. Rovnako predstavili systém registrácie informácií o katastrofách, systém zdieľania informácií o katastrofách a platformu na prenos informácií o katastrofách. Systém registrácie informácií o katastrofách umožňuje registrovať informácie o katastrofách poskytované príslušnými inštitúciami. Systém zdieľania informácií o katastrofách umožňuje zdieľať informácie o katastrofách v centrále organizácie zaoberajúcej sa plánovaním protipatrení voči katastrofám. Okrem toho, platforma pre prenos informácií o katastrofách umožňuje automatické nahrávanie alebo automatické poskytovanie informácií o katastrofách s využitím rôznych komunikačných nástrojov. Tomaszewski et al. [82] poskytli prehľad súčasného stavu v oblasti GIS používaných na účely odzvy na mimoriadne udalosti a na základe výsledkov štúdia literatúry poukázali na pokrok z pohľadu údajov a ľudí a ich vedomostí o možnostiach aplikácie GIS v odozve na mimoriadnu udalosť pre reakciu na katastrofy. Rešerš literatúry bola štruktúrovaná tak, aby slúžila ako metaforický most medzi dvoma skupinami čitateľov - odborníkmi v oblasti krízového riadenia, ktorí majú záujem o pochopenie vývojových trendov v oblasti aplikácie GIS v odozve na mimoriadnu udalosť a akademickými a výskumnými pracovníkmi s minimálnym až žiadnym chápaním GIS a / alebo konceptov mapovania v kontexte odzvy na mimoriadnu udalosť. S ohľadom na čitateľa načrtli definície GIS, definíciu odzvy na mimoriadne udalosti a uviedli potrebu aplikácie GIS v odozve na mimoriadne udalosti, preštudovali interdisciplinárnu literatúru z rôznych priestorovo orientovaných oblastí krízového riadenia a preukázali pokrok v rôznych aspektoch GIS a jeho aplikácie v odozve na mimoriadnu udalosť. Na záver odporučili zamerať sa viac na výskum možností aplikácie GIS v krízovom riadení, nakoľko tento poskytuje širokú paletu zdrojov pre nových výskumníkov v problematike GIS a viaceru priestorových perspektív pre ďalší výskum v oblasti krízového riadenia.

Yagoub [83] prezentoval viaceré štúdie, ktoré sa uskutočnili na dobrovoľnej báze vytvorených a ponúkaných geografických informáciách (VGI) a diskutovali o rôznych aspektoch,

marketing on the Internet. Customers can be classified into three groups according to their involvement from potential users to real customers. They presented an idea of public involvement in community mapping in three levels: "See"-almost any user; "Think"-potential contributors; and "Do"-interested users. They also introduced a case study implementing the See-Think-Do framework as an awareness-based approach used for The Crisis Map of the Czech Republic. It is an Ushahidi-based crowdsourcing platform for sharing spatial and multimedia information during crisis situations, e.g. disaster floods in 2013. While the current crisis projects use public mapping just at the onset of the disaster, according to See-Think-Do any user can be considered as a potential contributor even during the dormant period. The focus is put on the "See" and "Think" groups of contributors, which are currently ignored.

Netek [89] presented the design and deployment of Crismapp, an application assisting in the elimination of loss of life and property, developed to support of decision-making processes of the rescue services. It was designed for strategic, tactical and operational management, available in three levels: visualization, enhanced editing mode and full administration. Technologically it was based on the WebGIS 2.0 principle, defined as the combination of WebGIS with Web 2.0 approaches. It supported a wide range of Web standards and a hybrid approach (GeoJSON). It was built under HTML5, mapping functionality was supported by Leaflet library. Besides basic map functionality it handled with a number of advanced features, especially edit mode for editing both spatial and attribute geographic data in real-time directly via the web browser, connection to cloud storage GitHub/Gist for versioning, complex administration, four predefined default scenarios on various contexts (default, fire, flood, Vrbitce blasts) as a real-life concept of adaptive cartography. The application was filled with real data for real purposes, it allowed centralized update and manage data in real-time by rescue services. Currently, it is under the pilot phase of testing by the Fire Department of the Olomouc region.

Petrovski, Naumova and Geobalcanica [90] proposed a model that will not allow drop links. Each smart phone will have application in the

ako sú presnosť, právne otázky a ochrana súkromia. Tento výskum zahŕňal aj GIS, VGI, nástroje sociálnych médií, hĺbkovú analýzu údajov a mobilné technológie na vytvorenie koncepčného rámca na podporu účasti verejnosti v Spojených Arabských Emirátoch (SAE). Údaje získané prieskumom pomohli pri korelácii rôznych aspektov VGI. Vzhľadom na rozdielne názory na tieto aspekty sa politickí tvorcovia v mnohých krajinách nedohodli, ako s VGI zaobchádzať. Posúdenie prípadu SAE prispelo k dlhodobej diskusii a prieskumu ochoty verejnosti zúčastňovať sa na dobrovoľnom zbere údajov. Výsledky preukázali záujem verejnosti zúčastňovať sa na zbere údajov. Okrem toho sa skúmal aj potenciál zapojenia občanov do procesu riadenia rizík a katastrof prostredníctvom poskytovania dobrovoľných údajov zhromaždených pre aplikácie VGI.

Yamamoto [84] sa pokúsil klasifikovať manažment rizík mimoriadnych udalostí v prípade živelných pohrôm do troch fáz – čas pokoja, vznik mimoriadnej udalosti a čas obnovy a rekonštrukcie – a tiež implementovať výsledky vývoja a prevádzky GIS ako aj sociálnych médií do každej z týchto troch fáz. Dvojmesačné testovanie využitia intergrácie GIS a sociálnych médií aplikovali na obyvateľov starších ako 18, žijúcich v Japonsku, v oblasti Tokama v Tokijskej metropole a susednej oblasti. Testované systémy boli vyhodnotené na základe výsledkov online realizovaného dotazníkového prieskumu, prieskumu zameraného na prihlasovanie sa účastníkov testovania do systému vychádzajúc z údajov operačného denníka systému a analýzy účastníkmi/užívateľmi systému nahratých informácií. Na základe výsledkov hodnotenia bolo možné zhrnúť opatrenia na zlepšenie rozvoja a prevádzky GIS a sociálnych médií do troch oblastí týkajúcich sa: a) účasti rôznych používateľov a partnerstva s miestnymi komunitami, b) ich využiteľnosti a c) dlhodobej prevádzky.

Yasumiishi, Renschler a Bittner [85] sa zamerali na aplikáciu údajov o využití mobilných telefónov na riadenie odozvy na mimoriadne udalosti. Mobilné telefóny fungujú ako komunikačné spojenie medzi osobami reagujúcimi na núdzové situácie a obeťami počas a po veľkej mimoriadnej udalosti/katastrofe. V ich štúdiu uviedli, že existujú dva druhy mimoriadnych

event of natural disaster and it switched due to the change of the vital function of man in trouble. This will help departments respond as soon as they can and save lives as many as they can and to reduce the percentage of people who could not call for help. They highlighted the design challenges and required technical innovations towards the goal of making GIS much more useful.

Radulescu et al. [91] proposed a model of how to involve the information system for management of emergencies, i.e. Emergency Management Information System (EMIS), an information system built on GIS databases, adapted to the conditions, possibilities and realities of current Romania.

Raj, Thapa and Balakrishnan [92] presented a technology for three real time applications of prime importance such as post disaster infrastructure-damage assessment using GPS, estimation of building strength and building movement. GPS sensor nodes installed on building roof-top, provided with relative position information from both pre-and post-earthquake periods and were superimposed on GIS. The changes were used for damage estimation, building movement scale, and parameters such as stress, strain, when applied to ARX and RARX helped to calculate damage precisely.

Xu et al. [93] introduced a participatory sensing-based model for mining spatial information of urban emergency events. Firstly, basic definitions of the proposed method were given. Secondly, positive samples were selected to mine the spatial information of urban emergency events. Thirdly, location and GIS information were extracted from positive samples. At last, the real spatial information was determined based on address and GIS information. Moreover, their study explored data mining, statistical analysis, and semantic analysis methods to obtain valuable information on public opinion and requirements based on Chinese microblog data. Typhoon Chan-hom was used as an example. Semantic analysis on microblog data was conducted and high-frequency keywords in different provinces were extracted for different stages of the event. With the geo-tagged and time-tagged data, the collected microblog data could be classified into different categories.

udalostí, jedna s upozornením a jedna bez predchádzajúceho upozornenia. Taktiež identifikovali odlišné vzdialenosti pohybu užívateľov mobilných telefónov pri dni s námrazou (pokročilé varovanie) a dni s normálnym počasím. V prípade scenára dňa s výskytom mimoriadnej udalosti bez pokročilého varovania (zemetrasenie) boli analyzované faktory, ktoré menia pohyby užívateľov telefónu. Napokon, v kombinácii oboch prípadov bol navrhnutý koncepčný model faktorov hýbania sa ľudí. Pohyb ľudí pozostáva zo štyroch faktorov, ktorými sú faktory posunu, faktory zmeny pohybu, odvodené atribúty a obmedzujúce faktory. Odporučili tiež, vzhľadom na každú kategóriu faktorov v prípade výskytu mimoriadnej udalosti pripraviť rôzne druhy plánov krízovej odozvy, v závislosti od charakteristík danej mimoriadnej udalosti.

Abdalla [86] poskytol multidisciplinárny pohľad na využitie geografických údajov pre účely krízového riadenia v mestách s dôrazom na mimoriadne udalosti. Riadenie mimoriadnych situácií, ktoré prezentoval vo svojej práci, je považované za všeobecne známe a predstavuje vysoké riziko pre rôzne časti sveta. Cieľom jeho štúdie bolo poskytnúť koncepčné zastrešenie pre riešenia aplikovateľné v oblasti pripravenosti na riešenie krízových situácií a to pomocou priestorovej analýzy a GIS. Zdôraznil, že medzi rôznymi problémami, ktoré sa spájajú s využívaním priestorovej analýzy, je aj presnosť údajov a času spracovania, okrem kolektívnej koordinácie zainteresovaných strán pôsobiacich v tejto oblasti. Z výsledkov jeho výskumu vyplynulo, že problémom možného zníženia rizika je poskytnutie prístupu k informáciám a metodikám krízovým manažérom, ktoré im môžu pomôcť pri analýze, hodnotení a mapovaní modelov ohrozenia.

Jefferson a Johannes [87] skúmali nový prístup krízových manažérov, vhodný na to, aby využili schopnosť systémov vedeckého modelovania pri odozve na mimoriadne udalosti. Pri odozve na mimoriadne udalosti potrebujú krízový manažéri dostatočnú situačnú informovanosť na podporu kritického rozhodovania. Získanie schopnosti uvedomenia si situácie je ťažké, pretože existuje medzera medzi informáciami, ktoré krízový manažéri majú k dispozícii, a informáciami, ktoré reálne potrebujú. Pre

Correspondingly, public opinion and requirements could be obtained from the spatial and temporal perspectives to enhance situation awareness and help the government offer more effective assistance.

Zhong et al. [94] developed a data analysis model by analyzing the large amount of data generated and collected from the previous earthquakes. Then, based on the model, they integrated all the necessary data and potential earthquakes estimations that are likely to strike Tokyo area in the near future, to calculate the mobile service area with probabilistic availability. Moreover, they could also predict the spatial and temporal changes of the service availability areas by building them into the geographic information system (GIS). They developed model and simulation platform is helpful for many decision-making bodies such as governments or network operators to assess the vulnerability of communication infrastructures and make better preparedness and fast response for large-scale disasters.

Luchetti et al. [95] explored the use of social networks for the management of disasters connected to meteorological/hydrogeological events or earthquakes, but without emphasis on the importance of an integrated system. The main feature of the Whistland system proposed by them is to make synergistic use of augmented reality (AR), crowd-mapping (CM), social networks, the Internet of Things (IoT) and wireless sensor networks (WSN) by exploiting technologies and frameworks of Web 2.0 and GIS 2.0 to make informed decisions about the chain of events. The system had been tested in the programmed maintenance of river basins, where it is necessary to log maintenance activities in order to keep the riverbank clean.

In Slovak Republic, there were also developed several tools and methodologies involving GIS to the particular crisis/disaster management phases.

Vlček [96] introduced the CIPREGIS project that was developed and approved in 2000. The system is controlled and coordinated by the Section of Crisis Management of the Ministry of Interior of the Slovak Republic. The aim of the project was to build and operate an integrated geographic information system that supports

vytvorenie presných odhadov fyzických vplyvov a požiadaviek na odozvu je však potrebné komplexné situačné povedomie. Autori vo svojej práci odporúčili, aby sa aplikácie GIS používali na obmedzenie medzery medzi známymi informáciami a požadovanými informáciami. Vyvinuli metodológiu na získanie spoločného prevádzkového obrazu založeného na Hazus (Hazards U.S.), aplikácii založenej na GIS, ktorá vykonáva hodnotenie strát a rizík na viacerých typoch hrozieb. Hazus kombinuje vedecké aj inžinierske poznatky a modeluje katastrofické udalosti.

Netek a Panek [88] predstavili systém See-Think-Do, ktorý bol pôvodne používaný ako prístup zameraný na marketing služieb a produktov na internete. Zákazníci môžu byť zaradení do troch skupín podľa ich zapojenia od potenciálnych používateľov až po reálnych zákazníkov. Autori predstavili predstavu o zapojení verejnosti do komunitného mapovania na troch úrovniach: "Pozri" - takmer každý užívateľ; "Mysli" - potenciálny prispievateľ; a "Urob" užívateľia so záujmom. Uviedli tiež prípadovú štúdiu implementujúcu rámec See-Think-Do ako prístup založený na informovanosti, ktorý sa používa aj v krízovej mape Českej republiky. Je to platforma založená na Ushahidi založenej platforme crowdsourcingu pre zdieľanie priestorových a multimediálnych informácií počas krízových situácií, napr. katastrofálne povodne v roku 2013. Zatiaľ čo súčasné krízové projekty využívajú verejné mapovanie práve na začiatku, po vzniku mimoriadnej udalosti, podľa See-Think-Do môže byť každý užívateľ považovaný za potenciálneho prispievateľa aj počas obdobia pokoja. Dôraz sa kladie najmä na skupiny prispievateľov "Pozri" a "Mysli", ktoré sú v súčasnosti ignorované.

Netek [89] predstavil návrh a samotné nasadenie aplikácie Crismapp, ktorá pomáha pri znižovaní strát na životoch a majetku. Táto bola vyvinutá na podporu rozhodovacích procesov záchranných služieb. Bol vytvorený pre strategické, taktické a operačné riadenie, A JE dostupná v troch úrovniach: vizualizácia, zdokonalený režim úprav a plná správa. Technologicky bola založená na princípe WebGIS 2.0 definovanom ako kombinácia WebGIS s prístupmi Web 2.0. Podporuje širokú škálu webových štandardov a hybridného prístupu (GeoJSON). Bolo vyvinutá na báze HTML5,

decision making in crisis management and integrated rescue system. It should be linked, compatible respectively, with the central subsystem at regional and local level and at international level. The established system provides a visual analysis of the implementation of interventions in the space and allows access for all management levels to substantial and necessary information.

Blišťanová et al. [97] published an article pointing out the importance of preparing and verification of input data for logistic modeling of flood crisis management in GIS systems. Appropriate data is essential for crisis management operations. GIS systems offer a wide range of possibilities for further data analysis, the results of which can be used for decision-making process. The purpose of these systems was to offer wide range of possibilities, starting from complex base of digital data available online whenever anytime in the field, through ordinary and also specific spatial analyses, to the composing of specific outputs required by particular units of the Integrated Rescue System.

Majlingová [98] published methodology and results of fire risk assessment for the area of Slovenska Lupca forest management unit, situated in the center of Slovak republic. The fire risk was expressed in terms of one of the risk components - the susceptibility to fire. To assess it, there were performed multicriterial analysis, taking into consideration two basic groups of factors – natural and social. The analysis of fire risk, susceptibility to fire respectively, was automated via its processing in decision making model built in NetWeaver environment. Linking the NetWeaver environment with Ecosystem management decision support system (EMDS), there was obtained the spatial visualisation of assessment results.

Majlingová, Buzalka and Galla [99] elaborated, in detail, the procedures leading to the assessment of individual components of risk in relation to the occurrence of fires and floods in natural and urban environment. The experimental area was Banska Bystrica district. For this area an assessment of the susceptibility to fire in a forest area and vulnerability assessment to the fire based on an example of a regressive forest fire that took place in the cadastral area of Stare Hory village in 2011, were carried out. In

funkcie mapovania boli podporované knižnicou Leaflet. Okrem základných funkcií mapy sa ponúka celý rad pokročilých funkcií, najmä režim úprav pre úpravu priestorových a atribútových geografických údajov v reálnom čase, priamo cez webový prehliadač, pripojenie ku cloudovému úložisku GitHub / Gist pre verziu, komplexnú správu, štyri vopred definované predvolené nastavenia scenáre v rôznych kontextoch (štandardné, požiarne, povodňové, Vrbetické výbuchy) ako skutočný koncept adaptívnej kartografie. Aplikácia bola naplnená reálnymi údajmi na skutočné účely, umožnila centralizovanú aktualizáciu a správu údajov v reálnom čase záchrannými službami. V súčasnosti sa nachádza v pilotnej fáze testovania vybranej hasičskej stanice v Olomouckom kraji.

Petrovski, Naumova a Geobalcanica [90] navrhli model, ktorý zmožní padnutie telefónnych liniek. Každý smart telefón bude mať aplikáciu pre prípad výskytu živelných pohromy, ktorá sa aktivuje v dôsledku zmeny vitálnej funkcie človeka v tiesni. To pomôže záchranným službám reagovať čo najskôr a zachrániť životy čo najviac ľudí, a znížiť počet tých ľudí, ktorí nemohli požiadať o pomoc. Zdôraznili problematiku miesta v oblasti návrhu riešenia a upozornili tiež na potrebu technických inovácií, s cieľom budovania efektívnejších GIS.

Radulescu et al. [91] navrhli model zapojenia informačného systému do krízového riadenia. Išlo o Informačný systém krízového riadenia (EMIS), ktorý je založený na databázach GIS a je prispôbený podmienkam, možnostiam a realite súčasného Rumunska.

Raj, Thapa a Balakrishnan [92] predstavili technológiu pre tri aplikácie v reálnom čase, ktoré majú prvoradý význam, ako napríklad posúdenie škôd po mimoriadnej udalosti v oblasti infraštruktúry pomocou GPS, odhad pevnosti a pohyb budov. Na strechách budov inštalovali jednotlivé uzly GPS senzorov GPS, ktoré boli vybavené relatívnou informáciou o polohe z obdobia pred a po zemetrasení a boli implementované do GIS. Identifikované zmeny boli použité na odhad škôd, stanovenie stupnice pohybu budovy a odhad parametrov ako zaťaženie, namáhanie, ktoré po vložení do ARX a RARX, napomohli presnejšiemu výpočtu poškodenia.

Xu et al. [93] zaviedli participatívny model založený na hĺbkovej analýze priestorových in-

terms of flooding, there an assessment of the risks associated with the district susceptibility to floods and the impact of floods in the city of Banska Bystrica was carried out. Results of analyses represent very valuable input for decision support of crisis managers not only at local level but also regional and national.

Majlingova and Hilbert [100] described the fundamental aspects of viewing GIS as well as opportunities for their wider application in crisis management in the Slovak Republic, particularly in the process of risk analysis, identification of causation with respect to the occurrence of potential domino effects, but also as a tool for the spatial decision support in the management of rescue works in real time.

Tajfún Chan-hom bol použitý ako príklad. Bola vykonaná sémantická analýza mikrobloginých údajov a extrahované boli vysokofrekvenčné kľúčové slová používané v rôznych provinciách pre rôzne fázy udalosti. Pomocou údajov označených geografickou značkou a časových značiek by bolo zhromaždené údaje mikrobloginých možno rozdeliť do rôznych kategórií. Týmto spôsobom je možné získať informácie o verejnej mienke a požiadavkách vychádzajúcich z priestorových a časových perspektív, za účelom zvýšenia informovanosť o situácii a podpore vlády pre poskytnutie účinnejšej pomoci.

Zhong et al. [94] vyvinuli model analýzy údajov založený na analýze veľkého množstva údajov, ktoré boli vytvorené a získané počas predchádzajúcich zemetrasení. Potom na základe modelu integrovali všetky potrebné údaje a potenciálne odhady zemetrasení, ktoré pravdepodobne v blízkej budúcnosti zasiahnu územie Tokia, aby vypočítali pravdepodobnú oblasť dostupnosti mobilných služieb. Okrem toho, vďaka zabudovaniu týchto údajov do prostredia GIS, môžu predpovedať priestorové a časové zmeny týkajúce sa oblastí dostupnosti služieb. Ich rozvinutá modelová a simulačná platforma je užitočná pre mnoho orgánov s rozhodovacími právomocami, ako sú vlády alebo prevádzkovatelia sietí, aby posúdili zraniteľnosť komunikačných infraštruktúr a zlepšili pripravenosť a rýchlu odozvu na veľké katastrofy.

Luchetti et al. [95] skúmali využívanie sociálnych sietí na riadenie katastrof súvisiacich s meteorologickými / hydrogeologickými udalosťami alebo zemetraseniami, ale bez dôrazu kladeného na význam integrovaného systému.

formácií o mimoriadnych udalostiach v mestskom prostredí. Ako prvé boli uvedené základné definície navrhovanej metódy. Následne boli vybrané pozitívne vzorky, aby sa vyhodnotili priestorové informácie mimoriadnych udalostiach v mestskom prostredí. Potom boli z týchto pozitívnych vzoriek získané informácie o polohe a doplnené o GIS údaje. Napokon boli odvodené reálne priestorové informácie na základe informácií o adresách a GIS údajov. Okrem toho sa autori zaoberali aj skúmaním metód na hĺbkovú analýzu údajov, štatistické analýzy a sémantické analýzy, s cieľom získať cenné informácie o verejnej mienke a požiadavkách založených na údajoch čínskych mikrobloginých.

Hlavným rysom systému Whistland, ktorý navrhujú, je synergické využívanie techník a technológií rozšírenej reality (AR), mapovania davom (crowd mapping), sociálnych sietí, Internet of Things (IoT) a bezdrôtových senzorových sietí (WSN), a rámcov Web 2.0 a GIS 2.0, aby mohli prijímať rozhodnutia vo vzťahu k reťazcu udalostí. Systém bol testovaný na príklade naplánovanej údržby povodí riek, kde je potrebné zaznamenávať činnosti spojené s udržiavaním čistých brehov riek.

Vlček [96] predstavil projekt CIPREGIS, ktorý bol vypracovaný a schválený v roku 2000. Systém je riadený a koordinovaný Sekciou krízového riadenia Ministerstva vnútra Slovenskej republiky. Cieľom projektu bolo vybudovať a prevádzkovať integrovaný geografický informačný systém, ktorý podporuje rozhodovanie v procese krízového riadenia a integrovaný záchranný systém. Je prepojený s centrálnym subsystémom na regionálnej a miestnej úrovni a na medzinárodnej úrovni. Zavedený systém poskytuje vizuálnu analýzu implementácie zásahovovej činnosti v priestore a umožňuje prístup ku dôležitým a potrebným informáciám všetkým úrovňam riadenia. Tento projekt je komplexný systém pre vizualizáciu, analýzu a modelovanie interných a externých dátových štruktúr v geografickom priestore.

Blišťanová et al. [97] publikovali príspevok, v ktorom poukazujú na dôležitosť prípravy a overovania vstupných údajov pre logistické modelovanie manažmentu povodňových kríz v systémoch GIS. Pre operácie krízového riadenia sú nevyhnutné vhodné údaje. Systémy GIS ponúkajú širokú škálu možností pre ďalšiu

analýzu údajov, ktorých výsledky je možné použiť pri rozhodovaní. Účelom týchto systémov bolo ponúknuť širokú škálu možností, počnúc zložitou základňou digitálnych údajov dostupných on-line kedykoľvek v teréne prostredníctvom bežných a tiež špecifických priestorových analýz až po zostavovanie špecifických výstupov požadovaných jednotlivými zložkami integrovaného záchranného systému.

Majlingová [98] publikovala metodiku a výsledky posúdenia rizika vzniku požiaru pre oblasť lesného hospodárskeho celku Slovenská Lupča, ktorý sa nachádza v centrálnej časti Slovenskej republiky. Riziko požiaru bolo vyjadrené ako jeden z komponentov rizika - náchylnosť územia na výskyt požiaru. Na účely posúdenia rizika bola vykonaná multikriteriálna analýza, pričom sa zohľadnili dve základné skupiny faktorov - prírodné a sociálne. Analýza rizika požiaru, resp. náchylnosti na výskyt požiaru bola automatizovaná pomocou spracovania v rozhodovacom modeli vybudovanom v prostredí NetWeaver. Prepojenie prostredia NetWeaver so systémom na podporu rozhodovania používaným pre správu ekosystémov (EMDS) bola získaná priestorová vizualizáciu výsledkov hodnotenia.

4 Conclusions

The aim of the paper was to provide an overview on current state of GIS and geoinformation technology application for disaster/crisis management purposes. To meet this objective one hundred scientific works introduced in the Web of Science Core Collection database were found, studied and presented. Those provide the world-wide information on GIS application in disaster management. For disaster management purpose not only GIS techniques, but also remote sensing, global positioning systems, web techniques and services are applied to support all the phases of the disaster management. Among the latest approaches to optimize the decision-making process based on the geospatial information belongs the crowdsourcing, too. This approach is used mostly abroad. In the conditions of the Slovak Republic it still represent a technique used mostly by research and academic institutions, but not the security practice.

Majlingová, Buzalka, Galla [99] bližšie rozpracovali postupy vedúce k posúdeniu jednotlivých komponentov rizika vo vzťahu k výskytu požiarov prírodného prostredia a povodní v prírodnom a mestskom prostredí. Experimentálnym územím bol okres Banská Bystrica. Pre územie okresu bolo realizované posúdenie náchylnosti územia na výskyt požiaru v lesnom prostredí a posúdenie zraniteľnosti územia na výskyt požiaru na príklade spätnej simulácie lesného požiaru, ktorý sa odohral v katastrálnom území obce Staré Hory v roku 2011. Z hľadiska povodní bolo vykonané posúdenie rizík spojených s náchylnosťou územia okresu na výskyt povodne ako aj dopadov povodne na území mesta Banská Bystrica. Výsledky analýz predstavujú veľmi cenné podklady pre podporu rozhodovania krízových manažérov nielen na lokálnej úrovni, ale aj regionálnej a národnej.

Majlingová a Hilbert [100] popisali základné aspekty nazerania na GIS, ako aj možnosti ich širšieho uplatnenia v krízovom manažmente v Slovenskej republike, a to najmä v procese analýzy rizík, identifikácie príčinných súvislostí vzhľadom na výskyt potenciálnych domino efektov, ale aj ako nástroja na podporu priestorového rozhodovania pri riadení záchranných prác v reálnom čase.

4 Záver

Cieľom príspevku bolo poskytnúť prehľad o aktuálnom stave aplikácií GIS a geoinformačných technológií na účely krízového riadenia. Na dosiahnutie tohto cieľa bolo v databáze Web of Science Core Collection nájdených sto vedeckých prác. Tieto poskytujú informácie o aplikácii GIS v oblasti krízového riadenia z celého sveta. Na účely krízového riadenia sa na podporu všetkých fáz krízového riadenia používajú nielen techniky GIS, ale aj diaľkového prieskumu Zeme, globálne polohové systémy, webové techniky a služby. Medzi najnovšie prístupy k optimalizácii rozhodovacieho procesu založeného na geopriestorových informáciách patrí aj crowdsourcing. Tento prístup sa používa prevažne v zahraničí. V podmienkach Slovenskej republiky stále predstavuje techniku používanú prevažne výskumnými a akademickými inštitúciami, avšak nie bezpečnostnou praxou.

Acknowledgments

This work was supported by the KEGA Grant Agency under the project KEGA 032PU-4/2018.

Táto práca vznikla vďaka podpore grantovej agentúry KEGA, projekt KEGA 032PU-4/2018.

Pod'akovanie

References / Literatúra

- [1] Amin S, Goldstein M. 2008. Data against natural disasters: establishing effective systems for relief, recovery and reconstruction. The International Bank for Reconstruction and Development/The World Bank.
- [2] Chen YMJ, Tseng FSC, Wang HT, Destech Publicat I. 2015. Federating Internet of Things and GIS Into Cloud Computing for Infectious Disaster Management. 2nd International Conference on Communication and Technology (Icct 2015):102-110.
- [3] Chang SH, Wu MH. 2015. The development of mobile application for debris flow disaster prevention - the case of Kaohsiung City.
- [4] Grzeda S, Mazzuchi TA, Sarkani S. 2014. Temporary disaster debris management site identification using binomial cluster analysis and GIS. *Disasters* 38:398-419.
- [5] Chen AY, Pena-Mora F, Ouyang YF. 2011. A collaborative GIS framework to support equipment distribution for civil engineering disaster response operations. *Automation in Construction* 20:637-648.
- [6] Erharuyi N, Fairbairn D. 2003. Mobile geographic information handling technologies to support disaster management. *Geography* 88:312-318.
- [7] Fischer P, Fusco L, Brugnioni G. 2000. Integration of portable information technology and GSM based communication devices for disaster management operations. Pages 177-181 in Schurmann B, ed. *Proceedings of the International Symposium - Geomark 2000*, vol. 458.
- [8] Huyck CK, Chung HC, Cho S, Mio MZ, Ghosh S, Eguchi RT, Mehrotra S. 2006. Centralized web-based loss estimation tool: INLET for disaster response - art. no. 61780B. Pages B1780-B1780 in Diaz AA, Wu HF, Doctor SR, BarCohen Y, eds. *Nonintrusive Inspection, Structures Monitoring, and Smart Systems for Homeland Security*, vol. 6178.
- [9] Coutinho M, Neches R, Bugacov A, Kumar V, Yao KT, Ko IY, Eleish R, Abhinkar S. 1999. GeoWorlds: A geographically based situation understanding and information management system for disaster relief operations.
- [10] Gunes AE, Kovel JP. 2000. Using GIS in emergency management operations. *Journal of Urban Planning and Development-Asce* 126:136-149.
- [11] Bovalini R, Mazzini M, Petea M, De Varti A. 2002. Computer supported approach to emergency planning, analysis and response. *Probabilistic Safety Assessment and Management, Vol I and II, Proceedings*:2057-2063.
- [12] Laben C. 2002. Integration of remote sensing data and geographic information system technology for emergency managers and their applications at the Pacific Disaster Center. *Optical Engineering* 41:2129-2136.
- [13] Tumay A, Dincer K, Tanyer SG, Ieee. 2002a. Usage of GIS and RS technologies in disaster management.
- [14] Montoya L. 2003. Geo-data acquisition through mobile GIS and digital video: an urban disaster management perspective. *Environmental Modelling & Software* 18:869-876.
- [15] Bhaskaran S, Datt B, Forster B, Neal T, Brown M. 2004. Integrating imaging spectroscopy (445-2543 nm) and geographic information systems for post-disaster management: a case of hailstorm damage in Sydney. *International Journal of Remote Sensing* 25:2625-2639.
- [16] Andreadis A, Menicori P, Pietrelli A. 2005. A real-time system for remote co-ordination of rescue teams in an emergency phase. Pages 713-720 in Brebbia CA, Bucciarelli T, Garzia F, Guarascio M, eds. *Safety and Security Engineering*, vol. 82.
- [17] Cai GR, MacEachren AM, Brewer I, McNeese M, Sharma R, Fuhrmann S. 2005. Map-mediated GeoCollaborative Crisis Management. Pages 429-435 in Kantor P, Muresan G, Roberts F, Zeng DD, Wang FY, Chen H, Merkle RC, eds. *Intelligence and Security Informatics, Proceedings*, vol. 3495.

- [18] Chandio A, Shu LY, Memon NM, Khawaja A. 2006. GIS based route guiding system for optimal path planning in disaster/crisis management.
- [19] Hussain M, Arsalan MH, Siddiqi K, Naseem B, Rabab U. 2005. Emerging Geo-information Technologies (GIT) for natural disaster management in Pakistan: An overview.
- [20] Uto K, Yoshinaga T, Hoshino S, Kosugi Y, Kakumoto S, Ieee. 2005. Development of early stage image acquisition system for disaster mitigation.
- [21] Mansourian A, Rajabifard A, Zoej MJV, Williamson I. 2006. Using SDI and web-based system to facilitate disaster management. *Computers & Geosciences* 32:303-315.
- [22] Xiao-Yun XY, Wang B. 2006. Video real-time position approach based on GIS and its applications in monitoring systems of disaster prevention. *Dynamics of Continuous Discrete and Impulsive Systems-Series a-Mathematical Analysis* 13:1464-1467.
- [23] Abdalla R, Tao CV, Li J. 2007. Challenges for the Application of GIS Interoperability in Emergency Management. Pages 389-405 in Li J, Zlatanova S, Fabbri A, eds. *Geomatics Solutions for Disaster Management*.
- [24] Beni LH, Mostafavi MA, Pouliot J. 2007. 3D Dynamic Simulation within GIS in Support of Disaster Management. Pages 165-184 in Li J, Zlatanova S, Fabbri A, eds. *Geomatics Solutions for Disaster Management*.
- [25] Cioca M, Cioca LL, Buraga SC, Ieee. 2007. Spatial Elements decision support system used in disaster management. Pages 235-+. 2007 Inaugural Ieee International Conference on Digital Ecosystems and Technologies.
- [26] Fernando N, Waidyasekara S, Dias D, Ieee. 2007. A system based on web-GIS for post-disaster recovery management.
- [27] Han J, Zhao Y, Dai KW. 2007. The approach for shortest paths in fire succor based on component GIS technology in Gong P, Liu YX, eds. *Geoinformatics 2007: Geospatial Information Technology and Applications*, Pts 1 and 2, vol. 6754.
- [28] Pezanowski S, Tomaszewski B, MacEachren AM. 2007. An Open GeoSpatial Standards-Enabled Google Earth Application to Support Crisis Management. Pages 225-238 in Li J, Zlatanova S, Fabbri A, eds. *Geomatics Solutions for Disaster Management*.
- [29] Tahir MA, Ieee. 2007. The needs and geospatial technologies available for disaster management in urban environment.
- [30] Wang HB, Alidaee B, Altinakar M. 2007a. A decision support tool for emergency management planning. Univ Academic Press T
- [31] Wang LH, Lu AX, Ja ZY, Yu LQ, 2007b. The study of disaster investigation by using remote sensing on the Sichuan-Tibet Highway in Tibet. Ieee.
- [32] Weiser A, Zipf A. 2007. Web Service Orchestration of OGC Web Services for Disaster Management. Pages 239-254 in Li J, Zlatanova S, Fabbri A, eds. *Geomatics Solutions for Disaster Management*.
- [33] Xuan WL, Chen XW, Zhao G, Ieee. 2007. Early warning monitoring and management of disasters. Pages 2996-+. *Igarss: 2007 Ieee International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, Vols 1-12: Sensing and Understanding Our Planet.
- [34] Zou ZC, Wang YW. 2007. Urban crisis information platform model based on spatial data mining. *Proceedings of 2007 International Conference on Construction & Real Estate Management*, Vols 1 and 2:524-527.
- [35] Abed FH, Hongxia Z, Hongyan Z, Ieee. 2008. Open Source Web-based GIS and Database Tools for Emergency Response.
- [36] Coskun HG, Alganci U, Usta G. 2008. The role of remote sensing and GIS for security. Pages 337-351 in Coskun HG, Cigizoglu HK, Maktav MD, eds. *Integration of Information for Environmental Security*.
- [37] El-Korany A, El-Bahnasy K. 2008. A multi-agent cooperative model for crisis management system.
- [38] Hu FH, Chen HM, Chen T, Zhang Z. 2008. Research on Integration of Spatial-Data and Business-Data in Disaster Emergency Management System based GIS.
- [39] Peng L, Li JF, Xu LN. 2008. Urban emergency rescue system prototype for natural hazards based on GIS and RS in mountainous regions.
- [40] Babitski G, Bergweiler S, Hoffmann J, Schon D, Stasch C, Walkowski AC. 2009. Ontology-Based

Integration of Sensor Web Services in Disaster Management. Pages 103-+ in Janowicz K, Raubal M, Levashkin S, eds. Geospatial Semantics, Proceedings, vol. 5892.

[41] Baharin SSK, Shibghatullah AS, Othman Z. 2009. Disaster Management in Malaysia: An Application Framework of Integrated Routing Application for Emergency Response Management System.

[42] Abdalla R, Li J. 2010. Towards effective application of geospatial technologies for disaster management. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 12:405-407.

[43] Al-Khudhairy DHA. 2010. Geo-spatial information and technologies in support of EU crisis management. *International Journal of Digital Earth* 3 (art. Pii 919781602):16-30.

[44] Clark AJ, Holliday P, Chau R, Eisenberg H, Chau M. 2010. Collaborative Geospatial Data as Applied to Disaster Relief: Haiti 2010. Pages 250-+ in Kim TH, Fang WC, Khan MK, Arnett KP, Kang HJ, Slezak D, eds. *Security Technology, Disaster Recovery and Business Continuity*, vol. 122.

[45] Cosic D, Popov S, Sakulski D, Pavlovic A. 2011. GEO-INFORMATION TECHNOLOGY FOR DISASTER RISK ASSESSMENT. *Acta Geotechnica Slovenica* 8:65-74.

[46] Hazarika MK, Samarakoon L, Senevirathne N, Fowze JSM, de Silva R. 2010. CAPACITY BUILDING IN APPLICATIONS OF REMOTE SENSING AND GIS FOR DISASTER MANAGEMENT. Pages 11-13 in Molenaar M, Woldai T, Tempelman S, eds. *Cross-Border Education for Global Geo-Information*, vol. 38.

[47] Wang F, Yuan HY. 2010. Challenges of the Sensor Web for disaster management. *International Journal of Digital Earth* 3 (art. Pii 925995889):260-279.

[48] Feng CC, Wang YC. 2011. GIScience research challenges for emergency management in Southeast Asia. *Natural Hazards* 59:597-616.

[49] Islam SMT, Chik Z. 2011. Disaster in Bangladesh and management with advanced information system. *Disaster Prevention and Management* 20:521-530.

[50] Wu CC, Su HH, Chu TX, Cai YP, SciRes. 2011. Beidou Based Mobile Emergency Monitoring and Commanding Technology. *Csnc 2011: 2nd China Satellite Navigation Conference*, Vols 1-3:126-130.

[51] Zhang FZ, Geng JZ, Cheng P, Zhang B. 2011. Research for Mobile Satellite Navigation Application Service Platform System Framework Based On Disaster Reduction and Emergency Response.

[52] Neuvel JMM, Scholten HJ, van den Brink A. 2012. From Spatial Data to Synchronised Actions: The Network-centric Organisation of Spatial Decision Support for Risk and Emergency Management. *Applied Spatial Analysis and Policy* 5:51-72.

[53] Cao L, Luo HF, Wang XB. 2012. Building and application of GIS platform in the provincial disaster relief and emergency command system. *Advances in Environmental Science and Engineering*, Pts 1-6 518-523:5684-5687.

[54] Erden T. 2012. Disaster and Emergency Management Activities by Geospatial Tools with special reference to Turkey. *Disaster Advances* 5:29-36.

[55] Grecea C, Musat CC, Vilceanu CB, Sgem. 2012. GIS, EFFICIENT SUPPORT FOR URBAN PLANNING - FRAMEWORK OF TIMISOARA, ROMANIA. Pages 1057-1064. 12th International Multidisciplinary Scientific Geoconference, Sgem 2012, Vol. II.

[56] Karnatak HC, Shukla R, Sharma VK, Murthy YVS, Bhanumurthy V. 2012. Spatial mashup technology and real time data integration in geo-web application using open source GIS - a case study for disaster management. *Geocarto International* 27:499-514.

[57] Vescoukis V, Doulamis N, Karagiorgou S. 2012. A service-oriented architecture for decision support systems in environmental crisis management. *Future Generation Computer Systems-the International Journal of Grid Computing and Escience* 28:593-604.

[58] Wei W, Su JY, Ma DH, Guo XD, Wang ZT. 2012. Software-Framed Interface of GIS-Aided System of Decision and Management for Planning of Urban Hazard Prevention. *Disaster Advances* 5:1627-1632.

[59] Xiong JN, Liu S, Wang ZG, Li ZP, Yang YM, Ma DY. 2012. Research on the Key Technology of Traffic Guidance System for Disaster Emergency Rescue based on GIS. *Disaster Advances* 5:1414-1419.

[60] Balbo S, Boccardo P, Dalmasso S, Pasquali P. 2013. A PUBLIC PLATFORM FOR GEOSPATIAL DATA SHARING FOR DISASTER RISK MANAGEMENT. Pages 189-195 in Pirotti F, Guarnieri A, Vettore A, eds. *Role of Geomatics in Hydrogeological Risk*, vol. 40-5-W3.

- [61] Breen JJ, Parrish DR. 2013. GIS in Emergency Management Cultures: An Empirical Approach to Understanding Inter- and Intra-agency Communication During Emergencies. *Journal of Homeland Security and Emergency Management* 10.
- [62] Dahlan ARA, Dahan HM, Saman MYM, Ieee. 2013. The Government Information Sharing (GIS) in Natural Disaster Management and Risk Reduction - The Success Factors. 5th International Conference on Information and Communication Technology for the Muslim World (ICT4M). Rabat, MO-ROCCO.
- [63] Hamani A, Boudjema L. 2013. A generic model helps to transit from crisis management to natural disasters risk management and stabilize sustainable development. *Terragreen 13 International Conference 2013 - Advancements in Renewable Energy and Clean Environment* 36:977-984.
- [64] Kawasaki A, Berman ML, Guan W. 2013. The growing role of web-based geospatial technology in disaster response and support. *Disasters* 37:201-221.
- [65] Negula ID, Craciunescu V, Virsta A, Badea A, Moise C, Manea R, Calin M, Irimescu A. 2013. DOWNSTREAM COPERNICUS SERVICE FOR EMERGENCY MANAGEMENT IN ROMANIA. Pages 403-+. *Geoconference on Informatics, Geoinformatics and Remote Sensing - Conference Proceedings, SGEM 2013, Vol I*.
- [66] Teeuw RM, Leidig M, Saunders C, Morris N. 2013. Free or low-cost geoinformatics for disaster management: Uses and availability issues. *Environmental Hazards-Human and Policy Dimensions* 12:112-131.
- [67] Tsai MK, Yau NJ. 2013. Improving information access for emergency response in disasters. *Natural Hazards* 66:343-354.
- [68] Atila U, Karas IR, Rahman AA. 2014. A Knowledge Based Decision Support System: 3D GIS Implementation for Indoor Visualisation and Routing Simulation.
- [69] Brachman ML, Dragicevic S. 2014. A spatially explicit network science model for emergency evacuations in an urban context. *Computers Environment and Urban Systems* 44:15-26.
- [70] Gaikwad DB, Wanjari YW, Kale KV, Ieee. 2014. Disaster Management by Integration of Web Services with Geospatial Data Mining. 2014 Annual IEEE India Conference.
- [71] Ma L, Chen XW, Xu YB, Gao Y, Liu W, Ieee. 2014. Study on Crowdsourcing-Compatible Disaster Information Management System based on GIS. 2014 International Conference on Information Science, Electronics and Electrical Engineering (Iseee), Vols 1-3:1976-+
- [72] Musacchio E, Russo F. 2014. An emergency management system: Sistema informativo gestione emergenze protezione civile. *Lrec 2014 - Ninth International Conference on Language Resources and Evaluation*.
- [73] Ahmadi M, Seifi A, Tootooni B. 2015. A humanitarian logistics model for disaster relief operation considering network failure and standard relief time: A case study on San Francisco district. *Transportation Research Part E-Logistics and Transportation Review* 75:145-163.
- [74] Arora PK, Bhatia R, Parkash S, Sekhon BJS, Ieee. 2015. Web based GPS and GIS Model for Rural Areas. 2015 4th International Conference on Reliability, Infocom Technologies and Optimization (Icrito) (Trends and Future Directions).
- [75] Aydinoglu AC, Bilgin MS. 2015. Developing an open geographic data model and analysis tools for disaster management: landslide case. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 15:335-347.
- [76] Becker T, Konig G. 2015. GENERALIZED CARTOGRAPHIC AND SIMULTANEOUS REPRESENTATION OF UTILITY NETWORKS FOR DECISION-SUPPORT SYSTEMS AND CRISIS MANAGEMENT IN URBAN ENVIRONMENTS. Pages 19-28 in Rahman AA, Isikdag U, Castro FA, eds. *Isprsr Joint International Geoinformation Conference 2015, vol. II-2*.
- [77] D'Uffizi A, Simonetti M, Stecca G, Confessore G. 2015. A Simulation study of logistics for disaster relief operations. Pages 157-162 in Teti R, ed. 9th Cirp Conference on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering - Cirp Icme '14, vol. 33.
- [78] Daniela B, Doru M, Radu M, Catalina B, Cimpeanu SM, Sgem. 2015. NATURAL DISASTER MANAGEMENT USING GEOSPATIAL INFORMATION SYSTEMS - CASE STUDY ROMANIAN SOUTH - WEST FIELD, 2006-2014. Pages 995-1002. *Informatics, Geoinformatics and Remote Sensing, Vol II*.

- [79] Haworth B, Bruce E. 2015. A Review of Volunteered Geographic Information for Disaster Management. *Geography Compass* 9:237-250.
- [80] Hoskova-Mayerova S. 2015. GEOSPATIAL DATA RELIABILITY, THEIR USE IN CRISIS SITUATIONS. Pages 694-698 in Carutasu V, ed. 21st International Conference the Knowledge-Based Organization, vol. 21.
- [81] Takahagi K, Ishida T, Sakuraba A, Sugita K, Uchida N, Shibata Y. 2015. Proposal of the Disaster Information Transmission Common Infrastructure System intended to Rapid Sharing of Information in a time of Mega Disaster. Pages 505-510. 18th International Conference on Network-Based Information Systems (NBIS). Taipei, TAIWAN.
- [82] Tomaszewski B, Judex M, Szarzynski J, Radestock C, Wirkus L. 2015. Geographic Information Systems for Disaster Response: A Review. *Journal of Homeland Security and Emergency Management* 12:571-602.
- [83] Yagoub MM. 2015. PUBLIC PERCEPTION ON DISASTER MANAGEMENT USING VOLUNTEERED GEOGRAPHIC INFORMATION (VGI): CASE OF UAE. Pages 241-246 in Rahman AA, Isikdag U, Castro FA, eds. ISPRS Joint International Geoinformation Conference 2015, vol. II-2.
- [84] Yamamoto K. 2015. Development and Operation of Social Media GIS for Disaster Risk Management in Japan. Pages 21-39 in Geertman S, Ferreira J, Goodspeed R, Stillwell J, eds. *Planning Support Systems and Smart Cities*.
- [85] Yasumiishi M, Renschler CS, Bittner TE. 2015. SPATIAL AND TEMPORAL ANALYSIS OF HUMAN MOVEMENTS AND APPLICATIONS FOR DISASTER RESPONSE MANAGEMENT UTILIZING CELL PHONE USAGE DATA. ISPRS International Workshop on Spatiotemporal Computing:217-224.
- [86] Abdalla R. 2016. Evaluation of spatial analysis application for urban emergency management. *Springerplus* 5 (art. 2081).
- [87] Jefferson TL, Johannes TW. 2016. Using geographic information systems to support decision making in disaster response. *Intelligent Decision Technologies-Netherlands* 10:193-207.
- [88] Netek R, Panek J. 2016a. FRAMEWORK SEE-THINK-DO AS A TOOL FOR CROWDSOURCING SUPPORT - CASE STUDY ON CRISIS MANAGEMENT. Pages 13-16 in Halounova L, et al., eds. Xxiii Isprs Congress, Commission VI, vol. 41.
- [89] Netek R. 2016. ADVANCED GIS APPLICATION FOR REAL-TIME CRISIS MANAGEMENT SUPPORT VIA INTERNET PLATFORM. Pages 27-33. *Informatics, Geoinformatics and Remote Sensing Conference Proceedings, Sgem 2016, Vol III*.
- [90] Petrovski A, Naumova S, Geobalcanica S. 2016a. GIS in Crises Management Use of Smart Phone GIS Application in the Event of Natural Disaster in Vital Function of Man in Trouble. 2nd International Scientific Conference Geobalcanica 2016:147-152.
- [91] Radulescu M, Radulescu C, Radulescu A, Radulescu GMT, Nas S, Sgem. 2016. ISSUES ON THE CONTRIBUTION OF GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM IN THE HANDLING OF EMERGENCIES CAUSED BY NATURAL DISASTERS. Pages 295-302. *Informatics, Geoinformatics and Remote Sensing Conference Proceedings, Sgem 2016, Vol III*.
- [92] Raj KJS, Thapa KNK, Balakrishnan R, Ieee. 2016. Post Disaster Damage Estimation Using Integrated GPS Sensor Network & GIS. *Proceedings of the 2016 Ieee International Conference on Wireless Communications, Signal Processing and Networking (Wispnet):1234-1238*.
- [93] Xu Z, Zhang H, Sugumaran V, Choo KKR, Mei L, Zhu YW. 2016. Participatory sensing-based semantic and spatial analysis of urban emergency events using mobile social media. *Eurasip Journal on Wireless Communications and Networking* (art. 44).
- [94] Zhong L, Takano K, Ji YS, Yamada S. 2016. Big Data based Service Area Estimation for Mobile Communications during Natural Disasters. *Ieee 30th International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops (Waina 2016):687-692*.
- [95] Luchetti G, Mancini A, Sturari M, Frontoni E, Zingaretti P. 2017. Whistland: An Augmented Reality Crowd-Mapping System for Civil Protection and Emergency Management. *Isprs International Journal of Geo-Information* 6 (art. 41).
- [96] Vlček, P. 2008. CIPREGIS. 2008. [online] [cit. 25-5-2013] Available online: http://www.itapa.sk/data/att/6109_prezentacia.pdf

- [97] Blistanova, M., Katalinic, B., Kiss, et al. 2014. Data Preparation for Logistic Modeling of Flood Crisis Management. In 24th Daaam International Symposium on Intelligent Manufacturing and Automation, 2013, 69: 1529-1533.
- [98] Majlingová, A. 2015. Multicriterial forest fire risk assessment applicable in Central Europe – Case Study. In International Journal of Engineering & Applied Sciences (IJEAS), 2015, Vol. 2, Issue 2, p. 45 – 50.
- [99] Majlingová, A., Buzalka, J., Galla, Š. 2016. Využitie údajov a nástrojov GIS, SDSS a dynamického modelovania v manažmente rizík vybraných druhov mimoriadnych udalostí = Application of data and GIS, SDSS and dynamic modelling tools in risk management of selected emergencies. 1. vyd. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 133 s.
- [100] Majlingová, A., Hilbert, R. 2017. Geoinformatika ako nástroj podpory priestorového rozhodovania v krízovom riadení = Geoinformatics as a spatial decision support tool for crisis management. In Zborník z 11. ročník medzinárodnej vedeckej konferencie Bezpečné Slovensko a Európska únia 2017, Košice, 09.-10.11.2017, 23 s.

Multivariate Statistical Analysis in Fire Debris Analysis

Viacrozmerné štatistické metódy pri analýze vzoriek z požiariska

Barbara Falatová^{1*}, Marta Ferreiro-González², Danica Kačíková¹, Štefan Galla³, Miguel Palma², Carmelo G. Barosso²

¹ Department of Fire Protection, Faculty of Wood Sciences and Technology, Technical university in Zvolen, ul.T. G. Masaryka 2117/24, 960 53 Zvolen, Slovak Republic; barbara.falatova@gmail.com; danica.kacikova@tuzvo.sk;

² Department of Analytical Chemistry, Faculty of Sciences, University of Cadiz, Agrifood Campus of International Excellence (ceiA3), IVAGRO, P.O. Box 40, 11510 Puerto Real, Cadiz, Spain; marta.ferreiro@uca.es; miguel.palma@uca.es; carmelo.garcia@uca.es;

³ Fire Research Institute of the Ministry of Interior, Rožňavská 11, 831 04 Bratislava, Slovak Republic; stefan.galla@minv.sk;

* Corresponding author: barbara.falatova@gmail.com

Short Communication

Received: June 18, 2018; Accepted: July 7, 2018; Published: July 31, 2018;

Abstract

An U. S. national study demonstrated an increased reliance on statistical methods to data analysis in Forensic Sciences. The multivariate statistical analysis is recommended, in order to simplify the processing and understanding the data obtained from analytical techniques. In recent years, there has been an increasing interest in applying chemometric tools for data interpretation in fire investigation. The paper aims to present a progressive approach to data analysis by a brief description of multivariate statistical methods that are widely used for data analysis and data interpretation of fire debris. The paper describes chemometric approach to data analysis and gives examples of successful application of chemometrics to fire debris analysis.

Keywords: Multivariate statistical analysis; Chemometrics; Fire Debris Analysis

1 Introduction

Fire investigation also referred to as origin and cause determination is a forensic science that covers knowledge from many other disciplines. Preliminary scene examination, evidence collection and laboratory analysis, hypothesis evaluation and conclusion belong to basic steps of the fire investigation process [1].

The laboratory analysis is an important step in the process of fire investigation and plays a key role in determining the purpose of a fire. The main challenge faced by many forensic chemists is data interpretation from fire debris samples. The data interpretation plays an important role in addressing the role of the

1 Úvod

Zisťovanie príčin vzniku požiarov (ZPP) je multidisciplinárna veda, ktorá zahŕňa v sebe vedomosti z viacerých oblastí. Medzi základné kroky v procese ZPP patrí: obhliadka požiariska, odoberanie vzoriek a laboratórna analýza, tvorba a hodnotenie hypotéz a tvorba záveru [1].

Vzorky odobrané z požiariska sú počas ZPP podrobené laboratórnej analýze. Zisťuje sa napríklad, prítomnosť zvyškov urýchľovačov horenia. Pre relevantnosť výsledkov, vydala medzinárodná organizácia pre rozvoj a normalizáciu (ASTM) normy a štandardy týkajúce sa metodiky prípravy, extrakcie a analýzy vzoriek z požiariska.

possible use of an accelerant. Gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) is the analytical method, most widely used around the globe [2, 3].

Studies over the past two decades have provided important information on distortion effects and interfering compounds that may hinder or entangle the interpretation of chromatographic data [2]. However, a major problem with data analysis is, that it is subjected to human interpretation, caused by visual comparison of obtained chromatograph with the reference database [4].

There are three methods of data analysis for ignitable liquid (IL) classification – chromatographic pattern recognition (by using total ion chromatogram), extracted ion profiling, and target compound analysis.

One of the strains of fire debris classification from different laboratories may be caused by comparison of chromatographic data, specifically total ion chromatograms (TICs) [5]. On the other hand, total ion spectrum (TIS) provides an alternative approach for data analysis. The previous study proved [5], that the TIS is identical to an average mass spectrum covering the complete chromatographic range.

The aim of the study is to describe multivariate statistical analysis and their application on fire debris.

2 Novelties in fire debris analysis

The concept of interpretation has been challenged by U. S. national study [6] demonstrating an increased reliance on statistical methods to data analysis among forensic sciences. The multivariate statistical analysis is recommended, in order to simplify the processing and understanding of data obtained from analytical techniques.

In recent years, there has been an increasing interest in applying chemometric tools for data interpretation in fire investigation. Previous research has established that chemometrics is a useful tool in data analysis and may successfully determine the presence of ignitable liquid residues [2].

Nevertheless, the most of forensic laboratories perform fire debris analysis by GC-MS, several authors have been working on alternative methodologies that can complement or may become an alternative to traditional methods because of advantages they provide.

Plynová chromatografia s hmotnostnou spektrometriou (GC-MS) je analytická metóda, ktorá sa vo forenzných laboratóriách využíva najčastejšie [2,3]. V priebehu posledných rokov došlo k niekoľkým zlepšeniam v súvislosti s touto metodikou. Boli navrhnuté alternatívne prístupy, aby sa prekonali niektoré nevýhody, ktoré táto metodika predstavuje [2]. Podľa Borusievitz [4] je táto metodika podrobená prevažne subjektívnej interpretácii, pretože je založená na vyhodnotení celkového iónového chromatogramu (TIC) alebo extrahovaného iónového chromatogramu (EIC) hlavných zlúčenín vizuálnym porovnaním vzoriek s referenčnou databázou [4]. Okrem toho, táto metodika je časovo náročná a interpretácia výsledkov sa stáva zložitejšou, pretože vzorky nie sú čisté kvapaliny, ale obsahujú veľké množstvo materiálov.

Problémy súvisiace s interpretáciou dát sú napríklad: zvetrávanie, mikrobiologická aktivita alebo interferujúce zlúčeniny. Okrem toho je komplikované klasifikovať vzorky aj kvôli prítomnosti iných prchavých zlúčenín pochádzajúcich zo substrátu, produktov spaľovania alebo pyrolýzy [2].

Cieľom príspevku je popis viacrozmerných štatistických metód a ich aplikácia na analýzu vzoriek z požiariska.

2 Progres v analýze vzoriek z požiariska

Podľa americkej národnej štúdie [6], sa odporúča a kladie sa dôraz na použitie štatistických metód vo forenzných vedách. Viacrozmerné štatistické analýzy môžu zjednodušiť spracovanie a interpretáciu dát získaných z analytických techník [2]. Použitie chemometrických nástrojov analýzy sa v posledných rokoch zvýšilo.

Waddell *et al.* [5] uviedli, že jeden z aspektov sťaženej detekcie akceleratorov môže byť spôsobený porovnaním údajov z chromatogramu, konkrétne TIC. Na druhej strane, celkové iónové spektrum (TIS) poskytuje alternatívny prístup k analýze údajov [11]. TIS je totožný s priemerným hmotnostným spektrom pokrývajúcim celý chromatografický rozsah.

Napriek tomu väčšina forenzných laboratórií vykonáva analýzu vzoriek z požiariska prostredníctvom GC-MS. Viacerí autori pracujú na alternatívnych metodikách, ktoré môžu doplniť alebo sa môžu stať alternatívou k tradičným metódam najmä z dôvodu ich výhod.

In this sense, Ferreiro-González *et al.* [7] successfully optimized an electronic nose based on mass spectrometry (HS-MS eNose).

The HS-MS eNose was also applied for analysis of fire debris samples without any pre-treatment [8] and the results were validated by reference method [9].

The alternative HS-MS eNose proved to be useful in the analysis of fire debris with the same discrimination power as GC-MS.

3 Chemometrics

Chemometrics (multivariate statistical analysis) can be used to interpret results of forensic analyses, especially those involving pattern recognition. By using multivariate statistical methods, the statistical significance of the differences in these patterns can be established. When using multivariate statistical techniques, replicate sample measurements should be made to allow for experimental uncertainty and determine the significance of between-sample differences [12,13].

Fortunately, the use of multivariate statistical analysis is a growing practice in forensic chemistry. Forensic scientists often have to identify patterns and interpret differences in data. Chemometrics makes this task more accurate, objective, and manageable. It is especially useful when the scientist is presented with large quantities of data. For example, comparing hundreds of spectra, chromatograms, etc. by inspection was never a valid scientific technique, but was widely used (and sometimes still is) until the adoption of multivariate statistical techniques by increasing numbers of forensic chemists. Multivariate statistics has been used on many types of forensic trace evidence, including accelerants, inks, fibers, smokeless powder, glass, and paint [13,14].

In general, a chemometric approach to a large data set follows a number of distinct steps: Acquire data of the highest quality possible.

- Carry out data preprocessing to remove any systematic (and unimportant) differences between samples.
- Utilize unsupervised (pattern recognition) chemometric methods to visualize

V tomto zmysle Ferreiro-González *et al.* [7] úspešne optimalizovali analytickú techniku - elektronický nos s headspace a hmotnostnou spektrometriou (HSMS eNose) za účelom detekcie zvyškov horľavých kvapalín.

HS-MS eNose bola úspešne aplikovaná pri tepelnej desorpcii zvyškov horľavých kvapalín ako alternatíva k použitiu CS₂ rozpúšťadla [8]. Táto metóda bola úspešne aplikovaná aj na analýzu simulovaných vzoriek z požiariska bez akejkoľvek predprípravy [9].

3 Chemometria

Chemometria (viacrozmerné štatistické metódy) môže byť použitá na interpretáciu výsledkov z forénznych analýz, najmä tých, ktoré zahŕňajú rozpoznávanie špecifických profilov / vzorov. Použitím chemometrie je možné stanoviť štatistickú významnosť premenných a ich rozdielov v študovaných modeloch. Pri použití chemometrie by sa mali vykonať opakované merania vzoriek s cieľom umožniť experimentálne odchýlky a určiť ich význam medzi jednotlivými vzorkami [12,13].

Našťastie použitie chemometrických metód narastá v praxi forénznej chémie. Forenzní vedci musia často identifikovať špecifické profily a interpretovať ich rozdiely v rámci získaných údajov. Chemometria robí túto úlohu presnejšou a objektívnejšou. Tieto metódy sú obzvlášť užitočné, ak je vedec vystavený veľkému množstvu údajov, napríklad pri analyzovaní chromatografických údajov, spektier, a pod. Vizuálne porovnávanie chromatogramov nebolo nikdy platnou vedeckou metodikou, ale bolo široko používané (a niekde stále je) až do implementácie viacrozmerných štatistických metód.

Viacnásobná štatistika sa používa na objasnenie mnohých typov súdnych dôkazov vrátane akcelerátorov, atramentov, vlákien, farbív, bezdymového prášku, skla a farby [13,14].

Všeobecne platí, že chemometrický prístup k veľkej množine údajov pozostáva z viacerých krokov:

- Získanie údajov najvyššej možnej kvality.
- Predbežné spracovanie údajov na odstránenie všetkých systematických (a nedôležitých) rozdielov medzi vzorkami.

- The underlying structure of the data (e.g., the number of classes).
- Utilize supervised (pattern recognition) chemometric techniques to predict the class membership of unknown samples [13,15].

In order to make data interpretation less subjective and avoid masking the presence of ILRs, in recent years chemometric tools and multivariate statistical analysis have been successfully applied to fire debris analysis [16]. In this sense, Hierarchical Cluster Analysis (HCA), Principal Component Analysis (PCA), Linear Discriminant Analysis (LDA), as well as Soft Independent Modelling of Class Analogies (SIMCA) have been applied to unburned and to burned ignitable liquid samples [17,18] and Artificial neural networks (ANN) has been applied to gasoline classification due to near-infrared data [19]. Tan *et al.* [17] were successful in classifying 51 liquids into classification system provided by ASTM. Baerncopf *et al.* [20] investigated light and heavy conditions of burn on carpet with six different ignitable liquids. By applying PCA and Pearson product moment correlation (PPMC) coefficients the authors were able to associated with neat ILs.

4 Cluster Analysis

Cluster analysis is considered an unsupervised method in that the algorithm does not rely on any inputs from the user, so no prior knowledge of groupings is known. The purpose of cluster analysis is to determine whether individual samples fall into groupings and what those groupings might be [21].

Hierarchical clustering methods produce a set of nested clusters organized in a hierarchy tree (Fig. 1). The cluster hierarchy is typically visualized using dendrograms. Such approaches are applied either to provide multiresolution data organization or to alleviate computational challenges when clustering big data sets. In general, two approaches are applied to build nested clusters:

- The divisive approach starts with the entire data as one cluster, and then iteratively split clusters until a stopping criterion (e.g., k clusters or tight enough clusters) is satisfied.
- The agglomerative approach starts with small tight clusters, or even with single-

- Aplikácia štatistických metód (bez prvého určenia kategórií) na vizualizáciu základnej štruktúry údajov (napr. počet tried).
- Aplikácia metód na rozpoznávanie vzorov a na predpovedanie členstva v triedach neznámych vzoriek [13,15].

Aby sa interpretácia údajov stala menej subjektívnou a aby sa zabránilo maskovaniu prítomnosti zvyškov horľavých kvapalín, v posledných rokoch došlo k úspešnej aplikácii chemometrických nástrojov a viacrozmerných štatistických analýz v rámci interpretácie dát zo vzoriek z požiariska [16]. V tomto zmysle boli na spálené a nespálené vzorky horľavých kvapalín aplikované analýzy: Hierarchická zhluková analýza (HCA), Analýza hlavných komponentov (PCA), Lineárna diskriminačná analýza (LDA) a SIMCA (Soft Independent Modelling Class Analogue) [17,18]. Umelé neuronové siete (ANN) sa použili na klasifikáciu benzínu prostredníctvom dát pochádzajúcich z infračervených údajov [19]. Tan *et al.* [17] boli úspešní pri klasifikácii 51 horľavých kvapalín do klasifikačných tried určených ASTM. Baerncopf *et al.* [20] skúmali spálený koberec so šiestimi rôznymi horľavými kvapalinami. Použitím PCA a Pearsonových koeficientov korelácie momentu produktu (PPMC) sa autorom podarilo prepojiť spálené zvyšky horľavých kvapalín s ich čistými podobami.

4 Zhluková analýza

Zhluková analýza sa považuje za metódu „bez dozoru“ pretože algoritmus nezávisí od žiadnych vstupných informácií, takže nie sú známe žiadne predchádzajúce znalosti o klastroch (skupín). Cieľom zhlukovej analýzy je určiť, či jednotlivé vzorky spadajú do klastrov a aké sú tieto zoskupenia [21].

Metódy zhlukovej analýzy vytvárajú súbor klastrov usporiadaných v hierarchickom strome (obrázok 1). Hierarchia klastra sa zvyčajne vizualizuje pomocou dendrogramov. Takýto prístup sa uplatňuje pri organizovaní dát s viacerými riešeniami alebo na pri zhromažďovaní veľkých dátových súborov. Vo všeobecnosti sa na budovanie klastrových zoskupení používajú dva prístupy:

- Rozdeľovací prístup začína celým údajom ako jeden klaster a potom sa iteračne prerozdeľujú klastre, až kým nie je splnené

point clusters, and then iteratively merge close clusters until only a single one remains [22].

kritérium zastavenia (napr. k počet klastrov alebo tesné usporiadanie klastrov).

- Aglomeratívny prístup začína malými tesnými klastrami, alebo dokonca s jednobodovými klastrami, a potom sa iteračne zhľukujú blízke klastre, kým zostane len jeden [22].

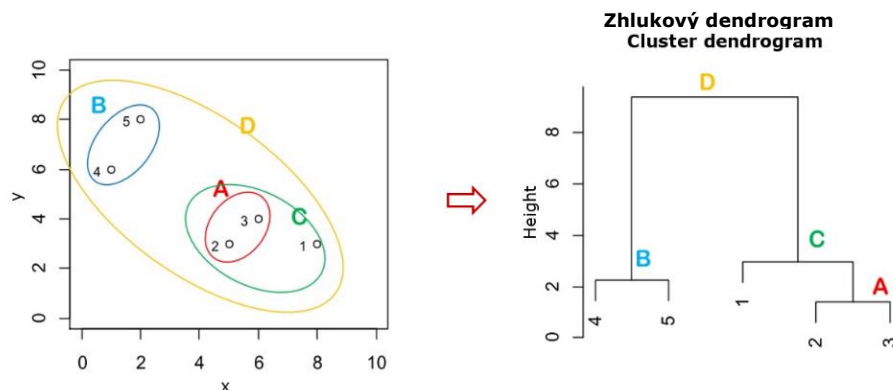


Fig. 1 Hierarchical clustering organized in a hierarchy tree

Obr. 1 Hierarchické zoskupenie zorganizované do hierarchického stromu

5 Principal component analysis

Principal component analysis (PCA) is a mathematical algorithm that reduces the dimensionality of the data while retaining most of the variation in the data set [23].

In general terms, PCA uses a vector space transform to reduce the dimensionality of large data sets (Fig. 2). Using mathematical projection, the original data set, which may have involved many variables, can often be interpreted in just a few variables (the principal components) by their linear combinations. It is therefore often the case that an examination of the reduced dimension data set will allow the user to spot trends, patterns and outliers in the data, far more easily than would have been possible without performing the principal component analysis [24,25].

The first principal component is the direction along which the samples show the largest variation. The second principal component is the direction uncorrelated to the first component along which the samples show the second largest variation. Each component

5 Analýza hlavných komponentov

Analýza hlavných komponentov (PCA) je matematický algoritmus, ktorý znižuje rozmernosť údajov pri zachovaní väčšiny variácií v súbore údajov [23].

Vo všeobecnosti sa PCA využíva na transformáciu vektorového priestoru a zmenšenie rozmerov veľkých dátových súborov (Obr. 2). Pomocou matematickej projekcie môže byť pôvodný set údajov obsahujúcich veľa premenných, interpretovaná len niekoľkými premennými (hlavnými zložkami) a ich lineárnymi kombináciami. Z toho dôvodu preskúvanie súboru údajov v zmenšenom rozmere umožní používateľovi zistiť trendy, vzory a odchýlky v údajoch oveľa ľahšie, než by bolo možné bez vykonania analýzy hlavných zložiek [24,25].

Prvou hlavnou zložkou je smer pozdĺž ktorého vzorky vykazujú najväčšiu odchýlku. Druhou hlavnou zložkou je smer nekorelovaný k prvému komponentu, pozdĺž ktorého vzorky vykazujú druhú najväčšiu variáciu. Každá zložka môže byť interpretovaná ako smer,

can then be interpreted as the direction, uncorrelated to previous components, which maximizes the variance of the samples when projected onto the component [26].

ktorý nie je v korešpondencii s predchádzajúcimi komponentmi, čo maximalizuje odchýlky vzoriek pri projektovaní na komponent [26].

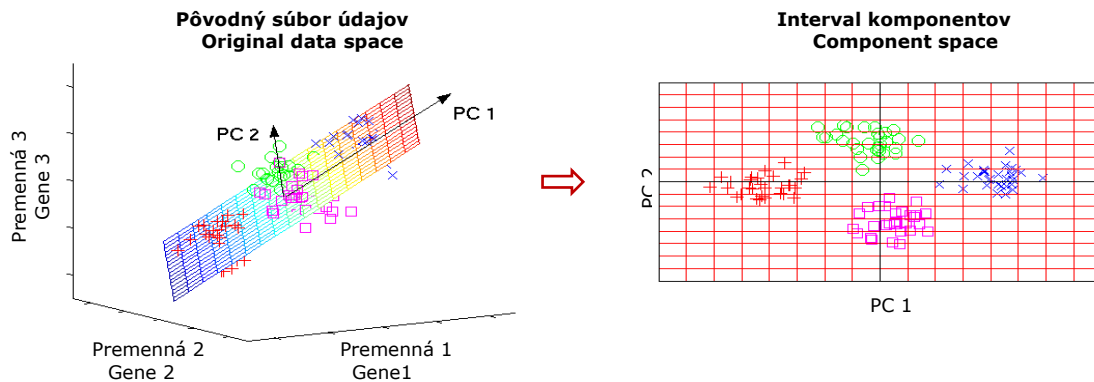


Fig. 2 Dimension reduction from original data set to principal components
Obr. 2 Eliminácia dimenzií z pôvodného súboru dát do hlavných komponentov

6 Discriminant analysis

Discriminant analysis (DA) as a whole is concerned with the relationship between a categorical variable and a set of interrelated variables. In discriminant analysis, the existence of the groups is known a priori. An entity of interest is assumed to belong to one (and only one) of the groups.

Discriminant analysis is widely used also in the field of pattern recognition [27][28]. There are several purposes for discriminant analysis (Fig. 3):

- To classify cases into groups using a discriminant prediction equation.
- To test theory by observing whether cases are classified as predicted.
- To investigate differences between or among groups.
- To determine the most parsimonious way to distinguish among groups.
- To assess the relative importance of the independent variables in classifying the dependent variable.
- To discard variables which are little related to group distinctions [29].

6 Diskriminačná analýza

Diskriminačná analýza (DA) sa ako celok zaoberá vzťahom medzi kategorickou premennou a súborom vzájomne súvisiacich premenných. V diskriminačnej analýze je existencia skupín známa. Predpokladá sa, že skúmaná jednotka patrí k jednej (a iba jednej) skupine.

Diskriminačná analýza je široko používaná aj v oblasti rozpoznávania vzorov / profilov [27][28]. Existuje niekoľko účelov diskriminačnej analýzy (Obr. 3):

- Zatriedenie dát do skupín pomocou diskriminačnej predikčnej rovnice.
- Testovanie teórie tak, že analyzujete, či sú dáta klasifikované tak ako boli predpovedané.
- Preskúvanie rozdielov medzi skupinami alebo v rámci nich.
- Určenie najrelevantnejšieho spôsobu určenia rozdielov medzi skupinami.
- Zhodnotenie relatívnej dôležitosti nezávislých premenných pri klasifikácii závislej premennej.
- Odstránenie premenných, ktoré majú malý vzťah k skupinovým rozdielom [29].

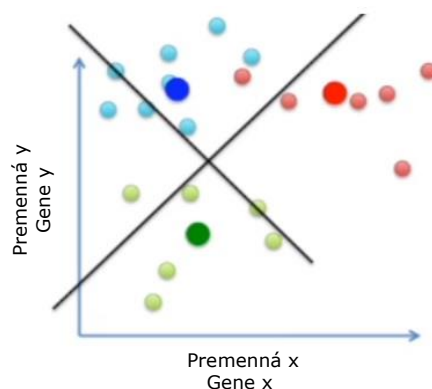


Fig. 3 Axis that maximize the distance among the means for the three categories
Obr. 3 Osi ktoré maximalizujú vzdialenosti medzi stredmi troch skupín

Discriminant analysis has basic two steps: (1) an F test (Wilks' lambda) is used to test if the discriminant model as a whole is significant, and (2) if the F test shows significance, then the individual independent variables are assessed to see which differ significantly in mean by group and these are used to classify the dependent variable.

7 Conclusion

The paper deals with a brief description of multivariate statistical analysis and specify chemometric approach to a data set. Application of chemometrics to fire debris seems to be a promising tool in data interpretation and determination of ignitable liquid residues, as it is more objective and accurate.

Acknowledgments

This work was funded by the projects KEGA 012/TU Z-4/2016 (50 %) and KEGA 030UMB-4/2017 (50 %)

References / Literatúra

1. TURVE, Brent E. ; Crowde; Stan. *Forensic Investigations: An Introduction*. Academic Press, 2017. ISBN 978-0-12-800680-1.
2. MARTÍN-ALBERCA, Carlos, ORTEGA-OJEDA, Fernando Ernesto and GARCÍA-RUIZ, Carmen. Analytical tools for the analysis of fire debris. A review: 2008-2015. *Analytica Chimica Acta* [online]. 2016. Vol. 928, p. 1–19. DOI 10.1016/j.aca.2016.04.056.
3. STAUFFER, E., et al. *Fire Debris Analysis*. Boston : Academic Press, 2008. ISBN 978-0126639711.
4. BORUSIEWICZ, Rafał, GRZEGORZ, Zadora and ZIĘBA-PALUS, Janina. Application of Head-Space Analysis with Passive Adsorption for Forensic Purposes in the Automated Thermal

Diskriminačná analýza má dva základné kroky: 1. test F (Wilksova lambda) sa používa na testovanie, či je diskriminačný model ako celok významný a 2. ak test F vykazuje významnosť, potom sa hodnotia jednotlivé nezávislé premenné aby sa zistilo, ktoré sa výrazne líšia v priemere podľa skupín a tieto sa používajú na klasifikáciu závislej premennej.

7 Záver

Príspevok sa zaoberá stručným opisom viacrozmerných štatistických metód a špecifikuje chemometrický prístup k analýze dát. Aplikácia chemometrie na vzorky z požiariska sa zdá byť sľubným nástrojom pri interpretácii údajov a stanovení zvyškov horľavých kvapalín, z dôvodu vyššej objektívnosti a presnosti.

PodĎakovanie

Táto práca bola financovaná z projektov KEGA 012/TU Z-4/2016 (50 %) a KEGA 030UMB-4/2017 (50 %).

- Desorption-Gas Chromatography-Mass Spectrometry System. *Chromatographia*. 2004. Vol. 60, no. S1, p. 133–142. DOI 10.1365/s10337-004-0299-4.
5. WADDELL, Erin E., WILLIAMS, Mary R. and SIGMAN, Michael E. Progress toward the determination of correct classification rates in fire debris analysis II: Utilizing Soft Independent Modeling of Class Analogy (SIMCA). *Journal of Forensic Sciences*. 2014. Vol. 59, no. 4, p. 927–935. DOI 10.1111/1556-4029.12417.
 6. NATIONAL ACADEMY OF SCIENCE. *Strengthening Forensic Science in the United States: A Path Forward*. 2009. ISBN 9780309131353
 7. FERREIRO-GONZÁLEZ M.; AYUSO, J.; ÁLVAREZ, J. A.; PALMA, M.; BARROSO, C. G. New headspace-mass spectrometry method for the discrimination of commercial gasoline samples with different research octane numbers. *Energy & Fuels*. 2014. Vol. 28, no. 10, p. 6249–6254. DOI 10.1021/ef5013775.
 8. FERREIRO-GONZÁLEZ, Marta, BARBERO, Gerardo F., PALMA, Miguel, AYUSO, Jesús, ÁLVAREZ, José A. and BARROSO, Carmelo G. Determination of ignitable liquids in fire debris: Direct analysis by electronic nose. *Sensors (Switzerland)*. 2016. Vol. 16, no. 5. DOI 10.3390/s16050695.
 9. FERREIRO-GONZÁLEZ, Marta, BARBERO, Gerardo F., AYUSO, Jesús, ÁLVAREZ, José A., PALMA, Miguel and BARROSO, Carmelo G. Validation of an HS-MS method for direct determination and classification of ignitable liquids. *Microchemical Journal* [online]. 2017. Vol. 132, p. 358–364. DOI 10.1016/j.microc.2017.02.022.
 10. WILLIAMS, Mary R., SIGMAN, Michael E., LEWIS, Jennifer and PITAN, Kelly McHugh. Combined target factor analysis and Bayesian soft-classification of interference-contaminated samples: Forensic Fire Debris Analysis. *Forensic Science International* [online]. 2012. Vol. 222, no. 1–3, p. 373–386. DOI 10.1016/j.forsciint.2012.07.021.
 11. SIGMAN, M.E., WILLIAMS, M.R., CASTELBUONO, J.A., COLCA, J.G., CLARK, C.D. Ignitable liquid classification and identification using the summed-ion mass spectrum. *Instrum. Sci. Technol.* 2008. DOI 36:375–393.
 12. LAVINE, Barry K and WORKMAN, Jerome. Chemometrics. *Analytical chemistry*. 2012. Vol. 80, no. 12, p. 4519–4531. DOI 10.1021/ac303193j.
 13. MENDLEIN, A., SZKUDLAREK, C. and GOODPASTER, J.V. Chemometrics. *Encyclopedia of Forensic Sciences*. 2013. P. 646–651. DOI 10.1016/B978-0-12-382165-2.00259-2.
 14. BRERETON, Richard G. *Applied Chemometrics for Scientists*. John Wiley & Sons, Ltd., 2007. ISBN 978-0-470-01686-2.
 15. OTTO, M. Chemometrics. *Chemometrics*. 2007. P. 1–11. DOI 10.1002/9783527699377.
 16. MARTÍN-ALBERCA, Carlos, ORTEGA-OJEDA, Fernando Ernesto and GARCÍA-RUIZ, Carmen. Analytical tools for the analysis of fire debris. A review: 2008-2015. *Analytica Chimica Acta*. 2016. Vol. 928, p. 1–19. DOI 10.1016/j.aca.2016.04.056.
 17. TAN, Beijing, HARDY, James K. and SNAVELY, Ralph E. Accelerant classification by gas chromatography/mass spectrometry and multivariate pattern recognition. *Analytica Chimica Acta*. 2000. Vol. 422, no. 1, p. 37–46. DOI 10.1016/S0003-2670(00)01050-3.
 18. SANDERCOCK, P. M.L. and DU PASQUIER, E. Chemical fingerprinting of unevaporated automotive gasoline samples. *Forensic Science International*. 2003. Vol. 134, no. 1, p. 1–10. DOI 10.1016/S0379-0738(03)00081-1.
 19. DOBLE, Philip, SANDERCOCK, Mark, DU PASQUIER, Eric, PETOCZ, Peter, ROUX, Claude and DAWSON, Michael. Classification of premium and regular gasoline by gas chromatography/mass spectrometry, principal component analysis and artificial neural networks. *Forensic Science International*. 2003. Vol. 132, no. 1, p. 26–39. DOI 10.1016/S0379-0738(03)00002-1.
 20. BAERNCOFF, Jamie M., MCGUFFIN, Victoria L. and SMITH, Ruth W. Association of Ignitable Liquid Residues to Neat Ignitable Liquids in the Presence of Matrix Interferences Using Chemometric Procedures. *Journal of Forensic Sciences*. 2011. Vol. 56, no. 1, p. 70–81. DOI 10.1111/j.1556-4029.2010.01563.x.
 21. MENDLEIN, A., SZKUDLAREK, C. and GOODPASTER, J.V. Chemometrics. *Encyclopedia*

- of Forensic Sciences* [online]. 2013. P. 646–651. DOI 10.1016/B978-0-12-382165-2.00259-2.
22. SHALIZI, Cosma. Distances between Clustering , Hierarchical Clustering. *Data Mining* [online]. 2009. No. September, p. 36–350.
 23. STANGL, Dalene K. Principal Component Analysis. *Journal of the American Statistical Association* [online]. 2002. Vol. 103, no. 482, p. 881–882. DOI 10.1007/b98835.
 24. RINGNÉR, Markus and RINGNER, M. What is principal component analysis? *Nat Biotechnol* [online]. 2008. Vol. 26, no. 3, p. 303–304. DOI 10.1038/nbt0308-303.
 25. ABDI, Hervé and WILLIAMS, Lynne J. Principal component analysis. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics*. 2010. Vol. 2, no. 4, p. 433–459. DOI 10.1002/wics.101.
 26. HATCHER, Larry. Principal Component Analysis. *A Step-By-Step Approach to Using the SAS System for Factor Analysis and Structural Equation Modeling* [online]. 1994. P. 1–56. DOI 10.1002/ibd.21544.
 27. HUBERTY CARL J.; OLEJNIK S. 2005 *Applied MANOVA and Discriminant Analysis*. John Wiley & Sons. 2005. 488 p. ISBN: 978-0-471-46815-8
 28. MCLACHLAN, Geoffrey J. *Discriminant analysis and statistical pattern recognition*. 2004. Wiley-Interscience. ISBN 9780471691150.
 29. GARSON., G. DAVID *Discriminant Function Analysis*. Statistical Associates Oublishing, 2012. 142 p. ISBN 9781626380097.

Impacts of forest fires on forest soils - Current state and the next research perspectives

Vplyv lesných požiarov na pôdu – súčasný stav a perspektívy výskumu

Juraj Bebej¹, Katarína Koristeková^{2*}, Jaroslav Škvarenina¹

¹ Faculty of Forestry, Technical University in Zvolen, TG Masaryka 24, Zvolen SK-96053, Slovakia; bebej@tuzvo.sk

² Faculty of Wood Sciences and Technology, Technical University in Zvolen, TG Masaryka 24, Zvolen SK-96053, Slovakia; katarina.koristekova@gmail.com

¹ Faculty of Forestry, Technical University in Zvolen, TG Masaryka 24, Zvolen SK-96053, Slovakia; jaroslav.skvarenina@tuzvo.sk

* Corresponding author: katarina.koristekova@gmail.com

Review

Received: July 7, 2018; Accepted: July 20, 2018; Published: July 31, 2018;

Abstract

The methodology of laboratory-controlled experiments widely used to study the direct effects of forest fires regarding the both, the organic matter and the forest soil, should be expanded by studying the spatial-temporal framework of transformation processes, that are conditioned driven by the interactions of between the ash with and the forest-modified modified forest soil that will start in the forest environment immediately after the fire. Based on this knowledge, it will be possible to manage implement effective adaptation and remediation measures measurement in the areas affected by forest fires.

Keywords: forest fire; soil; the laboratory-controlled experiments

1 Introduction

The results of expertise carried out on climate change impacts in the conditions of Slovakia (The 6-th National Communication SVK on Climate Change 2013) show that in the future, the most important abiotic natural origin harmful agents in this country will include land and forest fires and landslides. These assumptions have also been confirmed by the Report issued by the Intergovernmental Panel on Climate Change [1]. Consequently, there may be expected serious commercial losses, mainly in the Central and Eastern Europe [2-4].

These risks will cause negative impacts on the quality, health condition, resistance and overall fitness of forest ecosystems, which will reduce their hydric, production and eco-

1 Úvod

Podľa expertnej analýzy dopadov zmeny klímy v podmienkach Slovenska (6. Národná správa o zmene klímy 2013), k najvýznamnejším abiotických prírodným škodlivým činiteľom budú v budúcnosti patriť okrem iných aj krajinné a lesné požiare a zosuvy pôdy. Tieto predpoklady boli potvrdené aj správou medzinárodného panelu pre klimatickú zmenu [1], na základe čoho možno predpokladať vznik významných hospodárskych škôd, najmä v strednej a východnej Európe [2-4].

Dôsledkami týchto rizík budú negatívne dopady na kvalitu, zdravotný stav, rezistenciu a celkovú konštitúciu lesných ekosystémov vedúcich k zníženiu hydrických, produkčných, ako aj ekostabilizačných schopností lesných

stabilisation potential – resulting in yields decreasing, costs increasing and shortening the optimum rotation period [5, 6].

For these reasons, it is necessary not only to analyse the forest ecosystems vulnerability by the specific natural disasters [7], but also to recognise the potential negative impacts of such disasters on forest ecosystems, including problems related to the effective management of the fire-devastated land. Solving of these problems requires innovation of the commonly used research methods and complementing them with research in laboratory-controlled experiments.

2 Problems review and Discussion

The impacts of fires on physical-chemical and biological parameters of soils depend on the intensity and duration of the heat transfer into soil [8]. Biological changes in the soil are initiated in the upper soil horizons just at low temperatures from 40–121 °C [9], while the soil surface temperature accompanying forest fires ranges within 200–300 °C [10], in shrubby areas 500–700 °C, in meadows and pastures 200–300 °C [9]. The fire-induced soil modifications depend on the temperature and time.

The identification of the maximum fire temperature is necessary not only for recognising the direct fire impact on the surrounding ecosystem, but also for effective management of the fire-devastated land [11]. The fire impact on soil is complex, consequently, the study of this impacts needs comprise all the key soil properties (organic matter content, soil material repellence, grain size structure), along with the acting factors (fire intensity and type); as omitting a single one can cause misinterpretation of the results obtained [12]. Today, it becomes obvious that the best-fitting methods for investigating the fire impacts on forest soil are the methods used in laboratory-controlled conditions. These methods are the only ones allowing to control the temperature and time influencing the processes running in soils [13], and to compare the results obtained in this way with the results obtained at field works in forest-fire-affected forest ecosystems [12]. The methods applied in laboratory-controlled experiments on forest fires impacts on forest soils are based on analysing heat processes accompanying the organic matter (mainly litter-fall) combustion at temperatures 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450,

ekosystémov, čo bude viesť k znižovaniu výnosov, zvyšovaniu nákladov a skracovaniu optimálnej rubnej doby [5, 6].

Z uvedených dôvodov je potrebné nielen analyzovať zraniteľnosť lesných ekosystémov jednotlivými prírodnými živlami [7], ale aj spoznať negatívne dôsledky ich potenciálnych vplyvov na lesné ekosystémy, vrátane otázok efektívneho manažmentu požiarom devastovaných území. Riešenie takejto problematiky vyžaduje aktualizovať doposiaľ zavedené postupy výskumu a tieto rozšíriť aj o problematiku výskumu v laboratórnych podmienkach.

2 Prehľad problematiky a diskusia

Vplyv požiarov na fyzikálno-chemické a biologické parameter pôd je determinovaný intenzitou a dĺžkou trvania transferu tepla do pôdy [8]. Biologické zmeny v pôde sa spúšťajú pri nízkych teplotách a v najvrchnejších pôdnych horizontoch v intervale 40–121 °C [9], pričom teploty dosahované na povrchu pôd pri lesných požiaroch sú v rozmedzí 200–300 °C [10], v krovinatom území 500–700 °C, zatiaľ čo na lúkach a pasienkoch v rozsahu 200–300 °C [9]. Zmeny v pôdach spôsobené požiarom závisia od dosiahnutej teploty a časovej dĺžky jej pôsobenia.

Určenie maximálnej teploty požiaru je potrebné nielen z pohľadu poznania jej priameho vplyvu na okolitý ekosystém, ale rovnako dôležité je aj pre efektívny manažment krajiny postihnutej požiarom [11]. Nakoľko vplyv požiaru na pôdu je komplexný, štúdium jeho pôsobenia na pôdu sa musí zamerať na všetky kľúčové pôdne vlastnosti (napr. obsah organickej hmoty, repelenciu pôdneho materiálu, zrnitostné zloženia), ruka v ruke s pôsobiacimi faktormi (napr. intenzita a druh požiaru), nakoľko opomenutie niektorých z nich môže viesť k chybnéj interpretácii získaných výsledkov [12]. V súčasnosti sa ukazuje, že najlepšou metodológiou výskumu vplyvov požiarov na pôdu je výskum uskutočňovaný v laboratórnych podmienkach, nakoľko iba v tomto prípade je možné kontrolovať teplotné a časové vplyvy na priebeh procesov v pôdach [13], a takto získané údaje konfrontovať s výsledkami získanými pri terénnych prácach v požiarom postihnutých lesných ekosystémoch [12]. Aplikované metódy laboratórneho výskumu vplyvov požiarov na pôdu sú

500 and 550 °C, which result in study of percentage changes in the weight of the combusted material, ash colour changes, CaCO₃ concentration, Ph values, electric conductivity (EC) values and nutrient elements (Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ a Na⁺) contents in ash leachates [14] obtained by combusting qualitatively various litter-fall types from various tree species. Processing of these data will provide information of how the litter-fall combustion can affect the forest soil threats by erosion, how ash substances can influence the soil aggregates stability and on the maximum temperature of organic material (OM) combustion [15].

Much more intricate is study of the fire impacts on the soil itself, as the research results obtained at low fire intensities or during specific fire types (crown fire) manifest that there have been no significant changes to the soil properties [8]. On the other hand, there have been documented several cases showing that the temperature changes induced by fire-heat improved stability of soil aggregates, such as due to thermal fusion of soil particles or due to re-crystallisation of the soil mineral components, particularly clay minerals [16]. Another possible contributing factor is the condensation of hydrophobic substances into bigger aggregates [17]. It is, however, necessary to note that in most cases, certain soil properties related to the soil particles aggregation are directly influenced by heat released during fires. In case of OH content, there has been found [18] that the soils with OH as the principal compaction material for soil aggregates creation manifested improved aggregates stability under heating until 170 °C, followed by a decrease starting from 220 °C.

Soil water repellence (WR) is also sensitive to the heat released at fires [19]. The research [20] has confirmed an increase in WR values over a temperature interval of 175–200 °C, and conversely a WR decrease over 270–300 °C. There has also been identified certain soil parameters, such as clay fraction content and specific mineral composition of hygrophilous soil, suspect to back up the repellence values unchanged during fires [21, 22].

založené na analyzovaní teplotných procesov pri spaľovaní organickej hmoty (hlavne opadu) pri teplotách 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500 a 550 °C, výsledkom ktorých je štúdium % zmien v hmotnosti spaľovaného materiálu, zmena farby popoloviny, zmena koncentrácie CaCO₃, pH, elektrickej vodivosti (EC) a nutričných prvkov (Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ a Na⁺) vo výluhoch z popoloviny [14] získanej zo spaľovania kvalitatívne rozdielnych druhov opadu z rôznych drevín. Spracovaním takto dostupných údajov možno získať informácie o vplyve spaľovania opadu na ohrozenosť lesných pôd eróziou, vplyve popolovín na stabilitu pôdných agregátov, ako aj o maximálnej teplote spaľovania OH [15].

Značne komplikovanejšia je štúdia vplyvu požiarov na samotnú pôdu, nakoľko na základe terénnych pozorovaní pri slabej intenzite požiaru, resp. pri špecifických druhoch požiaru (napr. korunový požiar) často nedochádza k významným zmenám pôdných vlastností [8]. Na strane druhej existuje viacero zdokumentovaných prípadov, kedy teplotné zmeny vyvolané požiarom spôsobujú zvýšenú stabilitu pôdných agregátov, napr. v dôsledku teplotnej fúzie pôdných častí, ako aj rekryštalizácie minerálneho podielu pôd, osobitne predovšetkým ílových minerálov [16]. Na uvedených skutočnostiach sa môže podieľať aj kondenzácia hydrofóbných substancií do väčších agregátov [17]. Avšak, je potrebné zdôrazniť, že vo väčšine prípadov niektoré pôdne vlastnosti súvisiace so spájaním pôdných častí sú priamo ovplyvnené teplom uvoľňovaným pri požiaroch. V prípade obsahu OH bolo zistené [18], že v pôdach, v ktorých je OH hlavným cementačným materiálom pôdných agregátov, zahrievanie pôd do cca 170°C zvyšovalo stabilitu agregátov, kým pri teplotách nad 220 °C dochádzalo naopak k poklesu tohto ukazovateľa.

Repelencia pôd je taktiež citlivá na teplotu uvoľňovanú pri požiaroch [19]. Výskum [20] potvrdil, že v teplotnom intervale 175–200 °C dochádzalo k nárastu hodnôt WR, kým naopak, jej pokles nastával pri 270–300 °C. Taktiež sa zistilo, že niektoré pôdne parametre, ako napr. obsah ílovej frakcie a špecifické mineralogické zloženie hydrofilných pôd môžu byť zodpovedné za skutočnosť, že u takýchto pôd nedochádza pri požiaroch k zmene repelencie [21, 22].

Remarkable is a positive correlation between the soil water repellence and the soil aggregates stability [12, 19, 21, 23], due to release and subsequent condensation of hydrophobic substances on the soil aggregates surface.

The fire-induced soil mineral transformation takes place at gibbsite at about 200 °C [24] in case of goethite, at about 300 °C in case of hematite [25] and from 500 to 700 °C in case of kaolinite [26]. The fire-induced soil aggregation leading to improving the soil aggregations stability is frequently caused by the decomposition of clay materials [16] and at temperature > 500–600 °C, these processes can induce changes to the soil grain structure [27, 28].

The analysis of the results obtained in laboratory-controlled experiments with fires on forest soils indicates existence (Table 1) of a “void space” in this area, concerning two substantial issues:

- Combustion processes relating to organic matter from organic horizons of forest soils, comprising, unlike the homogenised litter-fall material, also the material from the understorey and grassy material of varied species composition and different humification grades,
- Leachates of ash substances interacting with mineral fractions from the fire-modified soils, which can modify substantially the soil properties caused by the direct fire impact.

It becomes evident, however, that the “*per partes*” analysis of the litter-fall combustion processes and the heat-induced transformation processes running in soil can only provide the knowledge base for recognising the immediate and direct fire-induced effects on soils and OM; nevertheless, such analysis does not provide solutions for problems connected with the subsequent “post-processing” soil modifications – interactions between the leachates from the ash materials and the fire-affected soil. This is the only possible way how to assess the fire impacts on forest ecosystems over longer time periods and how to optimize remediation measures, if any, for restoring the complete functionality of forest ecosystems.

Pozoruhodné je zistenie o pozitívnej korelácií medzi repelenciou pôd a stabilitou pôdnych agregátov [12, 19, 21, 23] spôsobené uvoľňovaním a následným kondenzovaním hydrofóbných substancií na povrchu pôdnych agregátov.

Minerálna transformácia pôd vplyvom požiarov prebieha pri gibbsite pri cca 200 °C [24] u goethite transformácia na hematite sa odohráva pri cca 300 °C [25] kaolinite v rozmedzí 500 až 700 °C [26]. Agregácie pôd pri požiaroch vedúca k rastu stability pôdnych agregátov je často zapríčinená dekompozíciou ílových minerálov [16] pričom tieto procesy môžu často viesť pri teplotách > 500 - 600 °C k zmene zrnitostného zloženia pôd [27, 28].

Analýza výsledkov prác laboratórneho výskumu požiarov na lesných pôdach naznačuje (Tab. 1), že v súčasnosti existuje v tejto oblasti “biele územie”, ktoré sa dotýka dvoch zásadných oblastí:

- Problematiky procesov spaľovania organickej hmoty z organických horizontov lesných pôd, ktoré na rozdiel od spaľovania materiálovo homogénneho opadu pozostávajú aj z materiálu podrastu a trávovín rôzneho zloženia v rôznom stupni humunifikácie,
- Problematiky interakcie výluhov z popolovín s minerálnym podielom požiarom pozmenených pôd, ktoré môžu v zásadnej miere modifikovať pôdne vlastnosti podmienené priamym pôsobením požiaru.

Ukazuje sa totiž, že “*per partes*” analýza procesov spaľovania opadu a transformačných procesov v pôde, podmienených požiarom vedie len k poznaniu okamžitých a priamych efektov požiarov na OH a pôdu, ale nerieši otázky súvisiace s ďalšími “post-procesingovými” zmenami v pôdach - interakciou výluhov z popolovín s požiarom postihnutou pôdou. Je zrejmé, že jedine takýmto spôsobom je možné zhodnotiť vplyv požiarov na lesný ekosystém v dlhšom časovom rámci a optimalizovať prípadné remediačné opatrenia na obnovu plnej funkcionality lesných ekosystémov.

3 Conclusion

The causal link fire – forest ecosystem needs parallel solving of the problem concerning the prevention of fire outbreaks in forest environment and the problem of immediate and delayed impacts of the fire on the forest ecosystems – based on the interactions between the leachates from ash substances and the fire-affected soil. Considerable promises have been offered thanks to the methodology used in the laboratory – controlled experiments.

Implementation of these approaches will enable to recognize the temporal-spatial dimensions of transformation processes causing the changes in the hydro-physical, hydrological and soil-chemical parameters of the fire-affected forest soils, influencing the land vulnerability against erosion and this land hydrologic regimen over the affected area. Only such knowledge will enable an effective control of adaptation and remediation measures implemented in forest-fire-affected areas.

Acknowledgement

This work has been supported by the Slovak Research and Development Agency based on the Agreement No. APVV-15-0425.

3 Záver

V kauzálnom reťazci požiar-lesný ekosystém je potrebné súbežne riešiť problematiku prevencie vzniku požiarov v lesnom prostredí s problematikou priameho, ako aj následného vplyvu požiarov na lesný ekosystém podmieneného interakciou výluhu z popolovín s požiarom postihnutou pôdou. Veľké možnosti v tejto oblasti ponúka zavedená metodológia laboratórne kontrolovaných experimentov. Aplikáciou takýchto postupov bude možné poznať časovo-priestorový rozmer transformačných procesov zmien hydrofyzikálnych, hydrologických a pedochemických parametrov lesných pôd zasiahnutých požiarom, ovplyvňujúcich zraniteľnosť území voči pôsobeniu erózie a hydrologický režim v takomto území. Až na základe takto získaných poznatkov bude možné efektívne riadiť adaptačné a remediačné opatrenia v územiach zasiahnutých lesnými požiarimi.

PodĎakovanie

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe Zmluvy č. APVV-15-0425.

References / Literatura

- [1] IPCC, 2013: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- [2] Silva, M. C. S., Naozuka, J., da Luz, J. M. R., de Assunção, L. S., Oliveira, P.V., Vanetti, M. C. D., Bazzolli, D. M. S., Kasuya, M. C. M., 2012: Enrichment of *Pleurotus ostreatus* mushrooms with selenium in coffee husks. Food chemistry. 131: 558-563. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.09.023>.
- [3] Keenan, T., Serra, J. M., Lloret, F., Ninyerola, M., Sabate, S. 2011: Predicting the future of forests in the Mediterranean under climate change, with niche- and process-based models: CO₂ matters. Global Change Biology. 17: 565-579. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2010.02254x.
- [4] Luterbacher, J., Dietrich, D., Xoplaki, E., Grosjean, M., Wanner, H. 2004: European seasonal and annual temperature variability, trends, and extremes since 1500. Science. 303: 1499-1503.
- [5] Loisel, P. 2011: Faustmann rotation and population Dynamics in the presence of a risk of destructive events. Journal of Forest Economics. 17(3): 235-247.
- [6] Loisel, P. 2014: Impact of storm risk on Faustmann rotation. Forest Policy and Economics. 16(1): 191-198.
- [7] Holecý, J. 2010: The paradigm of risk and measuring the vulnerability of forests by natural hazards. In Bioclimatology and Natural Hazards. Štřelcová, K., Matyas, C., Kleidon, A., Lapin, M., Matějka, F., Blaženec, M., Škvarenina, J., Holécý, J. (eds.). Springer Science + Business Media. p. 231-247.
- [8] Mataix-Solera, J., Cerdà, A., Arcenegui, V., Jordán, A., Zavala, L.M., 2011: Fire effects on soil aggregation: A review. Earth-Science Reviews 109: 44–60.
- [9] Neary, D., Klopatek, C.C., DeBano, L.F., Ffolliott, P.F., 1999. Fire effects on belowground sustainability: a review and synthesis. Forest Ecology and Management 122: 51–71.
- [10] Rundel, P.W., 1983. Impact of fire on nutrient cycles in Mediterranean-type ecosystems with reference to chaparral. In: Kruger, F.J., Mitchell, D.T., Jarvis, J.U.M. (Eds.), Mediterranean- Type Ecosystems: The Role of Nutrients. Springer-Verlag, New York, USA, pp. 192–2207.
- [11] Bento-Gonçalves, A., Vieira, A., Úbeda, X., Martín, D., 2012: Fire and soils: Key concepts and recent advantages. Geoderma 191: 3 – 13.
- [12] Mataix-Solera, J., Doerr, S.H., 2004. Hydrophobicity and aggregate stability in calcareous topsoil from fire affected pine forests in southeastern Spain. Geoderma 118: 77–88.
- [13] Bento-Gonçalves, A. J., Vieira, An, Ubeda, X., Martín, D., 2012. Fire and soils: Key concepts and recent advances. Geoderma 191: 3 – 13.
- [14] Úbeda, X., Pereira, P., Outeiro, L., Martín, D. A., 2009: Effects Of Fire Temperature On The Physical And Chemical Characteristics Of The Ash From Two Plots Of Cork Oak (*Quercus Suber*). Land Degrad. Develop. 20: 589–608.
- [15] Gray, D.M., Dighton, J., 2006: Mineraliyation of forest litter nutrients by heat and combustion. Soil Biology & Biochemistry 38: 1469-1477.
- [16] Giovannini, G., Lucchesi, S., 1997. Modifications induced in soil physico-chemical parameters by experimental fires at different intensities. Soil Science 162: 479–486.

- [17] Terefe, T., Mariscal-Sancho, I., Peregrina, F., Espejo, R., 2008. Influence of heating on various properties of six Mediterranean soils. A laboratory study. *Geoderma* 143: 273–280.
- [18] Soto, B., Benito, E., Diaz-Fierros, F., 1991. Heat-induced degradation processes in forest soils. *International Journal of Wildland Fire* 1: 147–152.
- [19] García-Corona, R., Benito, E., de Blas, E., Varela, M.E., 2004. Effects of heating on some soil physical properties related to its hydrological behaviour in two north-western Spanish soils. *International Journal of Wildland Fire* 13: 195–199.
- [20] DeBano, L.F., 1981. *Water Repellent Soils: A State-of-the-Art*. US Department of Agriculture Forest Service General Technical Report, PSW-46, Berkeley, CA, p. 21.
- [21] Giovannini, G., Lucchesi, S., 1983. Effect of fire on hydrophobic and cementing substances of soil aggregates. *Soil Science* 136: 231–236.
- [22] Zornoza, R., Mataix-Solera, J., Fuerrero, C., Arcenegui, V., García-Orenes, F., Mataix-Beneyto, J., Morugán, A. Evaluation of soil quality using multiple lineal regression based on physical, chemical and biochemical properties. *Science of The Total Environment* 378: 233–237.
- [23] Jordán, A., Zavala, L.M., Mataix-Solera, J., Nava, A.L., Alanís, N., 2011. Effect of fire severity on water repellency and aggregate stability on Mexican volcanic soils. *Catena* 84: 136–147.
- [24] Rooksby, H.P., 1972. Oxides and hydroxides of aluminium and iron. In: Brown, G. (Ed.), *The X-Ray Identification And Cristal Structures Of Clay Minerals*. Miner. Soc, London, pp. 354–392.
- [25] Cornell, R.M., Schwetmann, U., 1996. *The Iron Oxides: Structure, Properties, Reactions, Occurrence and Uses*. VCH Weinheim, Berlin.
- [26] Richardson, H.M., 1972. Phase changes which occur on heating kaolin clays. In: Brown, G. (Ed.), *The X-Ray Identification And Cristal Structures Of Clay Minerals*. Miner.Soc., London, pp. 132–142.
- [27] Almendros, G., González-Vila, F.J., Martin, F., 1990: Fire-induced transformation of soil organic matter from an oak forest: an experimental approach to the effects of fire on humic substances. *Soil Science* 149: 158–168.
- [28] Ketterings, Q.M., Bigham, J.M., Laperche, V., 2000. Changes in soil mineralogy and texture caused by slash-and-burn fires in Sumatra, Indonesia. *Soil Science Society of America Journal* 64: 1108–1117.

Earth in a trap? 2018 – International Scientific Conference Zem v pasci? 2018 – medzinárodná vedecká konferencia

Veronika Veľková^{1*}, Tatiana Bubeníková²

¹ Technical University in Zvolen, Faculty of Wood Sciences and Technology, Department of Fire Protection, T. G. Masaryka 24, 960 53 Zvolen, Slovakia; veronika.velkova@tuzvo.sk

² Technical University in Zvolen, Faculty of Wood Sciences and Technology, Department of Chemistry and Chemical Technologies, T. G. Masaryka 24, 960 53 Zvolen, Slovakia; tatiana.bubenikova@tuzvo.sk

* Corresponding author: veronika.velkova@tuzvo.sk

Information

Received: June 15, 2018; Accepted: July 7, 2018; Published: July 31, 2018;

The conference “Earth in Trap? 2018” was held in Salamandra Hotel, Horný Hodrušský tajch, Hodruša-Hámre, Slovak Republic, on 23rd – 25th May, 2018.

The conference “Earth in Trap?” began writing its history in 2006 with the main theme “Analysis of components of environment“. The aim of the conference was to create a forum for the exchange of knowledge and discussion of experts in the field of environment contamination solution. The event found a positive response in the scientific community, both in research and practice.

Each year of the conference brought presentations of quality scientific work, stimulated discussion, opened new possibilities for problem solving, new contacts were established, and cooperation started on projects.

The year 2016 opened new era of the conference direction. Applications of analytical methods in environmental engineering expanded also to fire engineering. Quality analysis is a basic element of identifying and defining the problem and the basis of its solution. Protection of the environment, fire protection of persons and property, fire and

Konferencia „Zem v pasci? 2018“ sa konala v hoteli Salamander, Horný Hodrušský tajch, Hodruša-Hámre, Slovenská republika, v dňoch 23. – 25. mája 2018.

Konferencia „Zem v pasci?“ začala písať svoju históriu v roku 2006 s hlavnou témou „Analýza zložiek životného prostredia“. Cieľom konferencie bolo vytvoriť fórum pre výmenu poznatkov a diskusiu expertov v oblasti riešenia kontaminácie životného prostredia. Konferencia našla pozitívnu odozvu vo vedeckej komunite, a to vo výskume i praxi.

Každý rok konania konferencie priniesol prezentácie kvalitnej vedeckej práce, podnietil diskusiu, otvoril nové možnosti riešenia problémov, nadviazali sa nové kontakty a začala sa spolupráca na projektoch.

Rok 2016 otvoril novú éru smeru konferencie. Aplikácie analytických metód v environmentálnom inžinierstve sa rozšírili aj o požiarne inžinierstvo. Analýza kvality je základným prvkom identifikácie a vymedzenia problému a základom jeho riešenia. Ochrana životného prostredia, protipožiarna ochrana osôb a majetku, zisťovanie požiarov a nehôd, testovanie nových materiálov, ktorých dynamický vývoj a používanie sa rozširuje do všetkých sfér ľudského života, sú oblasťami, kde je potreba

accident investigation, testing of new materials whose dynamic development and use extends to all spheres of human life are areas where the need for quality analytical methods is becoming more and more striking.

The aim of the conference in 2018 was to provide a space for scientific and professional community to present new knowledge and discussion on the use of modern analytical methods in fire and environmental sciences, to point out to problems in developing new methods, innovation of classical methods to satisfy the needs of science and practice. There was published a Book of Proceedings consisting of scientific papers of authors from five countries. It presents the latest state of the knowledge at the area of applications of analytical methods in fire and environmental engineering.

aplikácie kvalitných analytických metód čoraz výraznejšia.

Cieľom konferencie v roku 2018 bolo poskytnúť priestor vedeckej a profesijnej komunite na prezentáciu nových poznatkov a diskusi o používaní moderných analytických metód v oblasti požiarnych a environmentálnych vied, s cieľom poukázať na problémy pri vývoji nových metód, inovácii klasických metód na uspokojenie potrieb vedy a praxe. Publikovaný bol „Book of Proceedings“, t. j. konferenčný zborník, obsahujúci vedecké práce autorov z piatich krajín. Prezentuje najnovší stav poznatkov v oblasti aplikácie analytických metód v požiarnom a environmentálnom inžinierstve.

Earth in a trap? 2018 – Abstracts of Conference Contributions

Zem v pasci? 2018 – Abstrakty príspevkov z konferencie

The influence of modification of spruce wooden sawdust on heavy metal absorption

Magdalena Balintova^{a*} – Stefan Demcak^a

^aTechnical University of Kosice, Faculty of Civil Engineering, Institute of Environmental Engineering, Vysokoskolska 4, 042 00 Kosice, Slovakia

Abstract

The contamination of wastewater by heavy metal is a world-wide environmental problem. For these purposes low-cost adsorbents obtained from plant wastes or semi-products of various industries as a replacement of costly conventional methods as precipitation, ion exchange, and adsorption are also applied. The removal of heavy metals by adsorption onto low-cost waste materials has recently become the subject of considerable interest. Natural materials that are available in large quantities, or certain waste products from industrial or agricultural operations, can be used as inexpensive adsorbents. The aim of this article is a study of absorption properties of natural and modified spruce wooden sawdust. Modification of spruce sawdust was carried out by sodium hydroxide and potassium hydroxide. The efficiency of heavy metals removal was tested on the model solutions with concentration of 10 mg.L⁻¹ copper, zinc, and iron, respectively. Changes of the functional groups of sorbents was analysed by infrared spectrometry. Absorption properties of spruce wood sawdust and their two modifications were studied by colorimetric method. Changes of pH values in solutions after the absorption experiments were determined too.

Keywords: Biosorption; alkaline treatment; heavy metals removal.

Changes of expanded polystyrenes macromolecular characteristics at thermal degradation

Martin Bednár^{a*} – Tatiana Bubeníková^a – Danica Kačíková^a – František Kačík^{a,b}

^aFaculty of Wood Sciences and Technology, Technical University in Zvolen, T. G. Masaryka 24, 960 53 Zvolen, Slovakia

^bFaculty of Forestry and Wood Sciences, Czech University of Life Sciences in Prague, Kamýcká 1176, Praha 6 - Suchbátka, 16521 Czech Republic

Abstract

The study of expanded polystyrenes degradation is important because of their possible deterioration at higher temperatures. The influence of thermal loading in the temperature range from 140 °C to 200 °C on the expanded polystyrenes EPS 100F and EPS-Grey Wall (EPS GW) molecular weight changes was investigated. Size exclusion chromatography (SEC) with two PLgel MIXED B columns and tetrahydrofuran as a mobile phase were used for determination of molecular weights, degree of polymerisation (DP), polydispersity index (PDI) and molecular weight distribution (MWD). The degree of polymerisation (DP) decreases at the temperature above 140 °C in EPS 100F, polystyrene EPS GW has relatively good stability up to temperature of 180 °C, then its DP value rapidly drops. At 200 °C, molecular weight dropped by 90% for EPS 100F, and by 73% for EPS GW, respectively. At lower temperatures the polystyrene depolymerisation is slow and chain-end reaction prevails, at higher temperatures (140 °C for EPS 100F, and 180 °C for EPS GW, respectively) the drop of molecular weight is rapid and random cleavage of bonds is dominant.

Keywords: SEC; polystyrene.

Examination of Fuels of Selected Cellulose Materials on the Basis of Determination the Flash Point Ignition Temperature and Self-ignition Temperature

Iveta Coneva^{a*}

^a*Department of Fire Engineering, Faculty of Security Engineering, University of Žilina, Str. 1. mája 32, 026 01 Žilina, Slovak Republic*

Abstract

of fires and their consequences, and even in different categories of buildings such as: industrial, manufacturing and technological buildings, warehouses and others. In the technologies of production and processing of cellulosic materials, e.g.: paper - namely tissue paper from basic raw materials, associated with treatment and disposal of unwanted printing dyes belongs, to the most-risky in terms of fire. During bleaching process contact of flammable input raw materials (e.g. waste paper, cellulose) with strong oxidizing agent – hydrogen peroxide takes place. Hydrogen peroxide itself is not flammable but significantly supports burning process and thus increases fire danger in pulping operation at pulp cellulose preparing and in technological process of production tissue paper products: hygienic toilet paper, hygienic napkins and handkerchiefs. Used bleaching agent, hydrogen peroxide, is possible to substitute by other more suitable and more fire safety substance in practice. This substance is an enzyme that causes more effective enzymatic bleaching of waste paper input raw material. The goal of experimental investigation was verification and comparison of effect of bleaching agents (hydrogen peroxide and enzyme) on cellulose material inflammability. Subjects of tests were input raw material samples – waste paper, wood pulp and intermediary product – tissue paper. Namely, following fire technical parameters: flash ignition temperature and self-ignition temperature of selected cellulose materials were determined and compared by method in STN ISO 871:1999 Plastics. Determination of ignition temperature using a hot-air furnace. Theoretical and practical investigations based on experiments concerning combustion of cellulose materials bring new knowledge.

Keywords: burning of cellulose materials; waste paper; tissue paper; flash ignition temperature; self-ignition temperature.

Influence of the temperature on the load-bearing capacity of timber connections with steel fasteners

Tomasz Domański^{a*} – Kamil Kmiecik^a

^a*Cracow University of Technology, The Faculty of Engineering, ul. Warszawska 24, Cracow 31-155, Poland*

Abstract

This paper presents a summary of results from numerical studies on the fire behaviour of timber connections with steel members. The finite element software ANSYS was used to make a three-dimensional thermal model of the connections. Then the FE model was used to analyse the heat flow within the connections under standard ISO-fire exposure. To estimate the load-bearing capacity of the connections exposed to the standard fire, the failure modes from the literature were used. The calculations take into account the reduction of the cross-section caused by charring and the reduction of steel strength at elevated temperatures.

Keywords: fire safety; timber joints; thermal analysis; steel plates; fastener.

The impact of the exterior wall surface finish on the separation distance

Katarína Dúbravská^a – Jaroslava Štefková^b

^a*Department of fire protection, Technical University in Zvolen, T. G. Masaryka 24, Zvolen, Slovakia*

^b*Institute of foreign languages, Technical University in Zvolen, T. G. Masaryka 24, Zvolen, Slovakia*

Abstract

Surface finish of the outer side of an external wall is not considered at its classification as a construction member, however it is considered at demining clearances. It is considered when separation distances are determined. It is also taken into account when the size of the partially fire open exterior wall area is determined in case if there is more than 100 MJ heat released from 1 m². The paper discusses the impact of the surface finish of an external wall on the final separation distance. The comparison of five alternatives was evaluated – mineral wool insulating system, 120 mm polystyrene insulation system, 200 mm polystyrene insulation system, exterior siding - wooden and stone veneer placed on a part of the exterior wall. The procedure of determination of separation distances is described in STN 920 0201-4. The standard states that separation distance from the fire compartment is determined on the base of a length and height of the exterior wall due to the fire compartment, the type of construction member, the ratio of the fire open exterior walls and fire risk. It is clear that the lowest values of separation distance were achieved by the alternatives whose surface finish was formed from non-combustible materials (insulation system with mineral wool, exterior cladding from artificial stone). In case of the alternatives where polystyrene was used, the separation distances vary. This insulation material suggests that beside the kind of material used for surface finish, it is necessary to look at its thickness, density, calorific value and heat release per unit area (HRRPUA).

Keywords: surface finish; separation distance; heat release per unit area; partial fire open exterior area.

Investigation of zones of fatigue failure of screws

K. Epifantsev^{a*} – T. Mishura^a

^a St. Petersburg State University Aerospace Instrumentation 190000, St. Petersburg, Russia. Bolshaya Morskaya Street 67

Abstract

In recycling technology screw - the main working element for processing waste machines - extruders. From the quality of its production depends the productivity of the shop and the integrity of the machine body. When refining a multicomponent raw material, which is Refuse Derived Fuel - this is the general name for alternative fuels obtained from recycling. As raw material, almost any organic material is used: cellulose, rubber, plastic, leather, its substitutes. The study used an example based on work with RDF-raw materials of the Janino Refuse Processing Plant. Leningrad region. It is when working with such highly abrasive waste that it becomes necessary to increase the service life of screw augmentedly by using new processing technologies, since metal components and hard-to-break silicates can occur in the composition of this raw material. It research very important, because the priority project of the Russian Government, will be implemented from 2017 to 2025 with the key aim of reducing the environmental footprint from municipal solid waste disposal and mitigating environmental risks of an accumulated environ-mental damage [4]. The priority project involves the construction of five environment-friendly facilities for the thermal processing of municipal solid waste (waste incineration plants), four of them to be built in the Moscow Region and one facility to be built in the Republic of Tatarstan. An alternative to waste incineration is municipal waste recycling by moulding in extrusion machines to make pellets to be further used in the fuel or construction industries. The profitability of a waste recycling facility is dependent on a sound choice of extrusion equipment with the best value for money [5].

Keywords: fatigue failure; screw; refuse processing; deflected mode; mode of deformation.

Thermal analysis as a useful analytical tool in environmental and civil engineering

Adriana Estokova^{a*}

^a Technical University of Kosice, Faculty of Civil Engineering, Institute of Environmental Engineering,

Abstract

Thermal analysis is a set of methods that are used for various purposes in a whole range of areas. Recently, its importance and practical application also increase in environmental engineering. This contribution aims to highlight the use of these techniques for research purposes on selected issues in the field of environmental science. The paper presents an application of thermal analysis to study the durability of concrete in aggressive environments, to examine hemp fibers prior to their application to light composites, or to analyze the resistance of polystyrene boards to thermal stress. The results confirm that thermal analysis could be also used in non-traditional areas of research.

Keywords: concrete; DSC; TGA; DTA; building materials; durability.

Compositions of volatile organic compounds emitted from natural and synthetic polymers

Aleš Ház^{a*} – Michal Jablonský^a – Anton Lisý^a

^a Department of Wood, Pulp and Paper, Institute of Natural and Synthetic Polymers, Faculty of Chemical and Food Technology, Slovak University of Technology in Bratislava, Radlinského 9, Bratislava 812 37, Slovakia,

Abstract

Analysis of volatile organic compounds (VOCs) is an important method for understanding the chemical processes involved in polymer degradation and for the identification of materials. Many times is this type of analysis closely connected with thermal degradation during processing or during unwanted conditions. VOCs emitted during thermal treatment of plastics were analyzed to indicate compounds which can cause unpleasant odor. In this work were compared different techniques for analyzing VOCs from lignin and lignin composite. Identification was focused on comparison emitted sulphuric compounds. Screening analysis were made at 80, 160 and 200°C by different atmospheres. To confirm which compounds are emitted from samples, experiments were conducted and volatile organic compounds (VOCs) emitted from samples were trapped by Tenax/Carbograph adsorption tubes and analyzed by TD-GC/MS or directly analyzed by py-GC/MS. In the present study rubber, lignin/PLA/PHB composite and lignin were tested.

Keywords: TD-GC/MS; VOC; polymers; thermal desorption.

Comparison of Forces and Means at the Fire of Selected Petroleum Large-Capacity Tanks

Ján Horváth^{a*} – Jaroslava Štefková^b – Martin Zachar^a

^a Technical University in Zvolen, Department of Fire Protection, T. G. Masaryka 24, 960 53 Zvolen, Slovakia

^b Technical University in Zvolen, Institute of Foreign Languages, T. G. Masaryka 24, 960 53 Zvolen, Slovakia

Abstract

Fires of petroleum in large-capacity storage tanks belong to the most demanding fire interventions from the viewpoint of deploying the sufficient amount of forces and means. The article deals with forces and means necessary for a successful suppression of such fires for three real bulk storage tanks. The selected tanks are of a similar make but of different dimensions. The forces and means are calculated for the two most complicated scenarios. The calculations were performed according to the Regulation of the President of the Fire and Rescue Corps of the SR No. 39/2003. The results given in the table show that the necessary amount of forces and means grows directly with the dimensions of the tanks. In the present, it is not possible to exclude the risk of a real fire; therefore, it is necessary to consider the necessary deployment of the forces and means already at the beginning of its construction and/or installation.

Keywords: fire scenarios; fire suppression; large-capacity storage tank.

Input factor analysis for the use of special LKT for the transport of water to a forest fire area

Ivan Chromek^{a*} – Richard Hnilica^b – Michaela Hnilicová^c – Jaroslav Matej^d – Valéria Messingerová^c

^a Department of Fire Protection, Faculty of Wood Sciences and Technology, Technical University in Zvolen, T. G. Masaryka 24, 960 53 Zvolen, Slovak Republic

^b Department of Manufacturing Technology and Quality Management, Faculty of Environmental and manufacturing Technology, Technical University in Zvolen, Študentská 26, 960 53 Zvolen, Slovak Republic

^c Department of Forest Harvesting, Logistics and Ameliorations, Technical University in Zvolen, T. G. Masaryka 24, 960 53 Zvolen, Slovak Republic

^d Department of Mechanics, Mechanical Engineering and Design, Faculty of Environmental and Manufacturing Technology, Technical University in Zvolen, Študentská 26, 960 53 Zvolen, Slovak Republic,

Abstract

The forest wheeled skidder has been developed from its beginnings as a single-purpose machine for the needs of skidding in the forest. The paper deals with the analysis of input factors that predispose this type of construction to ensure the transport of water supply in case of fire brigades in forest fires. The input factors for the use of LKT mainly include analysis of the terrain, which is capable of this type of equipment to move, analyze the appropriateness of placing the adapter for the transport of water, the selection of appropriate materials, design and construction solutions. The aim of these analytical procedures is to conservation the original features and to extend the target use of special machines.

Keywords: forest wheeled skidder; adapter; duty of water; forest; forest fire fighting.

Reduction of fire risk indicators at oil and gas industry companies by use modified water-gel compositions for thermal protection of oil products tanks

Alexey Ivanov^a – Farid Dali^a – Valeria Mikhaylova^a – Alexey Smirnov^a – Grigory Ivakhnyuk^{a*}

^a University of State Fire Service of Emercom, Moskovskiy Avenue, 149, Saint-Petersburg, 196105, Russia

Abstract

There are represented the researching physical properties of modified hydrogel, prepared by polymers of acrylic acid marked «Carbopol ETD 2020», in conditions of thermal and electro-physical modification by the variable frequency modulated potential (VFMP). Data on changes of hydrogels density was came into the procession of gelling agent concentration, thermal and electrophysical modification by VFMP. Determined, that comparative time of modified hydro-gels heating increases with increasing gel agent concentration in conditions of VFMP, also the comparative time of heating increases with thermal influence for modified hydrogels near the critical temperature value 4 °C. Concluded, that modified hydrogels may be used to improve the efficiency of the thermal protection of oil products tanks.

Keywords: hydrogel; electrophysical and thermal modification; thermal protection; variable frequency modulated potential; oil products fires scenarios; fire suppression; large-capacity storage tank.

Environmentally Sustainable Access: Research Developments with a Focus on Softwood Bark Waste/By-products

Michal Jablonsky^{a*} – Ales Haz^a – Jozef Jablonsky^b – Nikola Chupacova^a

^a Department of Wood, Pulp, and Paper, Institute of Natural and Synthetic Polymers, Slovak University of Technology, Radlinského 9, 812 37 Bratislava, Slovak Republic

^b Central Military Hospital SNP Ruzomberok - Teaching Hospital, Gen. Miloša Vesela 21, 03426 Ružomberok, Slovak Republic

Abstract

In recent times, focus on waste bark research has increased all over the world and a large number of evidence has collected to show immense potential of bark waste used in various pharmacological, food or protection systems. Over the last few years, researchers have aimed at identifying metabolic plant-derived substances which can be used as drugs or as leads for drug discovery. Phytochemical compounds, particularly polyphenols, are the most active compounds that are naturally present in softwood barks and show a unique combination of chemical, biological, and physiological, antioxidant, antibacterial, antiinflammation, and cytotoxic activities.

Keywords: bark; softwood; waste; by-product.

Effect of aging on reaction-to-fire of fibreboards

Juraj Jancík^{a*} – Linda Makovická Osvaldová^a

^a University of Žilina, Faculty of Security Engineering, ul. 1.mája 32, 010 26 Žilina, Slovakia

Abstract

This paper theoretically describes the observation process of changes in reaction-to-fire of fibreboards as insulation materials exposed under natural conditions of buildings. Samples are modified with flame retardant "Ohňostop", that have proved to enhance their reaction-to-fire. Research focuses on monitoring the ability to preserve this attribute in time.

Keywords: Fiberboards; Aging; Insulation; Reaction-to-fire; Flame-retarding.

Tropical wood facing material under fire conditions

Patricia Kadlicová^{a*} – Linda Makovická Osvaldová^a

^a University of Žilina, Faculty of Security Engineering, ul. 1.mája 32, 010 26 Žilina, Slovakia

Abstract

This article describes the flammability of selected tropical wood. Data required for analysis are outputs of laboratory tested small wood samples. Experimental equipment was non-standardized laboratory equipment using a flame source of higher intensity (flame burner - propane-butane) affecting the test sample in an open environment. The above-mentioned laboratory outputs are presented by numerous clear graphs. Statistical analysis of dependence of important parameters and use of an appropriate analytical method reveals important parameters in assessing the flammability of the test sample.

Keywords: tropical wood; relative burning rate; flammability; analyze of dependence.

Portable Multifunctional Equipment for Control of the Employees Working Activity

Gennady Korshunov^a – Anatoly Romanov^a – Andrei Nikulin^a – Iliya Dolzhikov^a – Qiang Xu^b

^a Saint-Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russian Federation

^b Nanjing University of Science and Technology, China

Abstract

The article presents the results of the review of a workplace-related mortality record provided by the International Labour Organisation. More than 240,000 fatalities have been found to be caused by human error. The article contains examples of managerial and engineering solutions aimed at increasing the employee's accountability in the work process and describes the algorithms of interaction between portable multifunctional equipment and various personal protective equipment types used by employees. A universal structure has been determined for the equipment designed to control the use of personal protective equipment with 17 indicators that characterise the possibility of using and implementing a communication system based on portable multifunctional equipment for control of the employees' working activity.

Keywords: working activity; PPE; ILO; equipment; working conditions; arrangement of working time; statistics; labour.

Kettle thermal damage monitoring by thermovision

Ivan Kubovský^{a*} – Peter Lačný^a

^a Technical University in Zvolen, Faculty of Wood Sciences and Technology, T.G.Masaryka 24, Zvolen 960 53, Slovak Republic

Abstract

The paper deals with monitoring the temperature of the plastic kettle. The simulated fault has been induced on the kettle thermostat, which has led to its gradual overheating to the state of thermal degradation of its vessel. Non-contact temperature fields measurement and their visualization were performed using the FLIR i7 thermal camera. Monitoring has lasted 17 minutes. The maximum pot surface temperature reached approximately 154 °C.

Keywords: kettle; temperature; thermal camera; thermal degradation.

Current trends in flame-retardant treatment of selected polymers – a review

Andrea Majlingová^{a*} – Danica Kačíková^a – Qiang Xu^b – Cong Jin^b

^a Technical University in Zvolen, T.G. Masaryka 24, 960 53 Zvolen, Slovakia

^b Nanjing University of Science and Technology, 200 Xiao Ling Wei, Nanjing 210014, P.R. China

Abstract

Polymer based materials are used as in industry as in households. They are rapidly developing. Due to their cost, they often replace the traditional materials. The disadvantage of its use, both natural and synthetic polymers, is their sensitivity to flame because of their main constitute element, i.e. carbon. In general, the flammability of polymer materials depends on their chemical composition. Their flammability can be reduced by interfering the combustion process at any stage. A common approach to improve the flame-retardant properties of polymers is to apply the flame retardants. Those are used to prevent, minimize, suppress or stop the combustion process of polymer materials. They act to break the self-sustaining polymer combustion cycle and consequently reduce the burning rate or extinguish the flame in several ways. This paper compiles current research findings and results related to wood and wood composites, fabrics and PU/PUR foams flammability reduction, applying the flame-retardant treatment.

Keywords: fabrics; flammability; flame retardant; PU/PUR foam; wood; wood composite.

Specification of a representative value for fire load density accumulated in building compartment

Mariusz Maslak^{a*} – Michal Pazdanowski^a

^a Cracow University of Technology, Warszawska 24, 31-155 Cracow, Poland

Abstract

Two alternative approaches to the specification of fire load density representative for the considered fire zone are considered in this paper. The first approach is based on the direct inventory of combustible materials stockpiled in the fire zone. Here the nominal value obtained by direct measurements constitutes the measure of sought density. The possible inventory taking methods and the interpretation of results obtained are described in detail. The second approach is based on the statistically justified characteristic value. This measure seems to be more universal in application, though not so individualized as the first one. It is calculated as the appropriate quantile of the fire load density probability distribution, treated as the random variable. Procedure of this type takes into account the statistical variation of densities determined in zones used in the same manner. Thus, the obtained value is interpreted as authoritative for fire zone of particular type, instead of being associated with analyzed zone in a specific building.

Keywords: building compartment; fire load density; inventory of combustible materials; nominal value; random variable; probability distribution; quantile; characteristic value.

Alternative approaches to critical temperature evaluation for axially compressed steel column exposed to fire

Mariusz Maślak^a – Michał Pazdanowski^a – Maciej Suchodoła^a

^a Cracow University of Technology, Warszawska 24, 31-155 Cracow, Poland

Abstract

Four alternative procedures used to estimate the critical temperature of axially compressed steel column exposed to the direct action of a fully developed fire with equalized temperature of combustion gases in the nearest vicinity of this column are presented and compared in detail. The first two procedures are based on the recommendations of the code EN 1993-1-2 with application of the so-called degree of utilization, computed for the accidental load combination rule. The difference between the first and the second method lies in the fact, that the critical temperature is determined without and with application of an iterative algorithm. The third procedure, applied by the authors to verify the results obtained by the analytical approaches presented above is based upon the application of nonlinear numerical analysis performed within the ANSYS computational environment for a column model discretized with 3D finite elements. In the last approach a purely bar model of the column is analyzed, but the conventional stability analysis is replaced by a second order bearing capacity analysis conducted for an imperfect element and taking into account the amplification of initially assumed bow imperfections.

Keywords: Axially compressed steel column; fully developed fire; critical temperature; degree of utilization; iterative procedure; numerical analysis; bow imperfection; second-order bearing capacity analysis.

Evaluation of the TETRA K board for the fire protection and safety needs

Iveta Mitterová^a – Václav Kasan^a

^a Technical University in Zvolen, Faculty of Wood Sciences and Technology, T.G.Masaryka 24, Zvolen 960 53, Slovak Republic

Abstract

The process of waste reuse also leads to a significant saving of natural resources, energy and, finally, efforts to ensure a clean environment. An interesting solution in this regard is the recycling and processing of Tetra Pak (beverage cartons) for products that find use in the construction of tile boards, or so-called dry construction products. It is precisely the type of product that has become our study object, to find out what properties of the Tetra Pak boards, such as the Tetra K standard board, have in terms of fire. For this purpose, experiments were carried out, where samples of the material were subjected both to the ignition testing according to STN EN ISO 11925-2 and evaluated for their ability to spread a flame on their surface, as well as a non-standard testing method for the detection of mass loss and ignition time. The work methodology and the results achieved are the content of the paper. When, on the basis of the same evaluation criteria (mass loss, ignition time, flame propagation) and constant testing conditions, we mutually compare the Tetra K boards with e.g. OSB boards, having a similar use, we can say that both materials at the same time of thermal loading have the relative mass loss: Tetra K board of $70.3 \pm 6.9\%$ and OSB board of $67.7 \pm 5.6\%$ on average; average ignition time: Tetra K of 81 ± 14 s and OSB of 63 ± 11 s. The both materials, according to STN EN 13501-1 + A1, met reaction to fire classification criterion $F_s \leq 150$ mm in 60 s. This means that the two materials do not differ significantly from the point of view of the comparison of the fire properties. The advantage of the Tetra K board is probably a lower price.

Keywords: Flame spreading; mass loss; one-flame source; radiant source; recycling; Tetra Pak boards.

Comparison of synthetic and natural sorbents in engine oil spills

Miroslav Mojžiš^a – Miriama Šuleková^a – Martin Zachar^a – Danica Kačíková^a

^a Technical University in Zvolen, Slovak Republic

Abstract

The leak of petroleum substances has harmful effects and negative impact on the ecosystem. The most frequent petroleum pollutants with a small range (up to 1 dm³.h⁻¹) or spills which do not exceed 1 m² and thickness of 1 mm, include leakage due to various accidents or negligence. Prevention or intervention that employs sorbents to handle oil leakage situations. The paper is focused on sorbents in bulk state and on their quantitative use by leakage of petroleum substances, especially in traffic accidents on roads. Bulk sorbents were chosen based on their origin: natural and synthetic. Synthetic sorbents include Absodan plus, PeWaS Sorb, Sorp Reo and Spilkleen Plus. Sawdust, leaves residues, needles and mosses were used as natural sorbents. Sorbents were tested for sorption capacity according to standardized method ASTM F 726. Sorbent samples were tested for engine oil 10W 40, which is the most commonly used oil in motor vehicles. According to the sorption properties due to the standard, sorption capacity of adsorbents were measured in the short term. Based on the obtained results, it was found that synthetic sorbents have better sorptive capacity represented by Sorptive Grass Reo with a value of 14.98 g/g. Among natural sorbents, leaves residues of 7.43 g/g have better capacity. In the accordance of obtained results, synthetic sorbents have higher sorption capacity than natural sorbents as they are manufactured for sorption purposes.

Keywords: oil spills; natural sorbents; synthetic sorbents; ecosystem.

Evaluation of selected food dusts from the standpoint of fire safety

Eva Mračková^{a*} – Emília Orémusová^a – Michal Danek^a

^a Technical University in Zvolen, T.G.Masaryka 24, Zvolen 960 53, Slovak Republic

Abstract

The article deals with dust – air mixtures of selected food dusts and the determination of their selected fire – technical characteristics. The aim of this thesis is to experimentally determine the lower explosive limit of food powder samples consisting of smooth flour, powdered sugar and cocoa using the VK 100 explosion chamber and the gross calorific value measurement using the IKA C5000 calorimeter according to the methodology given in STN ISO 1928. State exams belong analytical methods used in fire and safety engineering. By conducting experiments and evaluating samples, it was concluded that all samples of food dusts examined are explosive and present a high risk of explosion and fire in technologies. The test sample of cocoa showed the most reactive, with the lowest lower explosive limit and the highest gross calorific value. Gross calorific value values contribute to the spread of fire, therefore the manufacturing operations of food products must be assured by the design elements of the explosion protection.

Keywords: dust explosion; lower explosion limit; explosion chamber; gross calorific value; calorimetric apparatus.

A scientific approach to determination of the cause of fire

Miroslava Nejtková^{a*}

^a Ministry of the Interior – Directorate General Fire Rescue Service Czech republic, Population Protection Institute, Czech republic

Abstract

The paper deals with a scientific approach to determination of the cause of fire. It focuses on one of the most important tasks – collection of veritable information relevant to proposing versions of the causes of fire. The first part of the paper deals with the tools for documentation and digitization of the fire scene. The second part of the paper focuses on sampling, laboratory investigation and subsequent elaboration of a Fire-Technical Expertise. The also paper mentions non-destructive X-ray testing, which is a great contribution in investigations.

Keywords: cause of fire; analysis; documentation; fire scene; sample; investigation.

Testing of Alginite as a sorbent of heavy metals from soil and above – ground biomass of plants

Jana Oravcová^a – Martin Dráb^b – Hana Ollerová^b – František Kačík^{a,c*}

^a Technical University in Zvolen, Faculty of Wood Sciences and Technology, Zvolen, Slovakia

^b Technical University in Zvolen, Faculty of Ecology and Environmental Science, Zvolen, Slovakia

^c Czech University of Life Sciences in Prague, Department of Wood Processing, Praha, Czech Republic

Abstract

The aim of the thesis is to determine the content of mercury in soil and in plants grown in contaminated soil with the addition of Alginite. Samples of soil contaminated with mercury were taken from locality of Malachov and then mixed with Alginite in a 1: 3 and 1: 1 ratio. In these substrates, we performed an experiment with *Brassica napus* L. var. *napus*. (rape). Plant and soil samples were analyzed on a dedicated spectrophotometer - AMA 254. In the samples of substrates used for growing rape we found a mercury content from 0.0929 mg.kg⁻¹ to 2.9085 mg.kg⁻¹. The mercury content in the above – rape biomass from 0.0425 mg.kg⁻¹ to 0.3302 mg.kg⁻¹. The sorption properties of Alginite were most pronounced in the above – mentioned rape biomass when a drop-in mercury content of 0.2005 mg.kg⁻¹ was recorded. We compared the resulting values with the limit values that were exceeded in many cases. From the values we have found, we can say that Alginite has confirmed its sorption properties, which can be further used in the treatment of the physical – chemical properties of lighter soils, the decontamination of soils devastated by anthropogenic activity.

Keywords: mercury; Alginite; *Brassica napus* L. var. *napus*; AMA 254.

Assessment of biological degradability of agricultural substrates

Juraj Poništ^a –Dagmar Samešová*

^a Department of Environmental Engineering, Faculty of Ecology and Environmental Sciences, Technical University in Zvolen, T. G. Masaryka 24, 960 53 Zvolen

Abstract

This work focuses on research of the biological degradation of the agricultural substrates, name-ly the cattle manure and the corn silage. We evaluated the suitability and on the contrary unsuitability of the selected substrates in the process of the biodegradability. Research methods used activated sludge from the wastewater plant to evaluate the potential of selected substrates in the process of the biodegradability. The significant indicators, which include O₂, CO₂, BOD₅ and CODCr were used for analysis on biological degradability of agricultural substrates. The corn substrate achieved the highest decomposition rate. Used tests and deviations between them, confirmed the requirements for a combination of the different tests of biodegradation. It was problematic to have only respirometric assays that showed a very similar pattern, although the percentage of biodegradation was different. According to determination of selected indicators, corn silage and cattle manure can be defined as average biodegradable substrates. Addition of the active sludge made degradation faster of both samples.

Keywords: manure; anaerobic digestion; biodegradability; corn silage.

Preliminary results of “Environmental biomonitoring by bees” network at University of Sopron

Tamás Rétfalvia* – Ferenc Lakatos^b – Piroska Szabó^a – Zoltán Kovács^c

^aUniversity of Sopron, Faculty for Forestry, Institute of Chemistry, Bajcsy-Zs. 4. Sopron, 9400, Hungary

^bUniversity of Sopron, Faculty for Forestry, Institute of Silviculture and Forest Protection, Bajcsy-Zs. 4. Sopron, 9400, Hungary

^cForestexpert Ltd, Jókai 7. Bajna, 2525, Hungary

Abstract

Activity of Honey bees (*Apis mellifera*) has many beneficial properties, which make them particularly suitable for environmental biomonitoring. Examination of vital signs, chemical analysis of collected and stored materials, such as pollen, honey, propolis and wax provide us lots of information for evaluation of environmental status. For this purpose, University of Sopron started a new project in 2015. We are developing an environmental monitoring system based on bee families. Our target is to establish the basic parameters and methods of a novel monitoring network, which is appropriate for fast, reliable indication and detection of contaminants with relatively low costs. Concerning the foregoing results Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAH) were correlated with the pollution originated from waste combustion, while in case of metal content significant effects of road traffic were found. Our future plans include installation and development of “smart beehives” equipped different measuring instruments in order to implement real-time environmental biomonitoring.

Keywords: biomonitoring; bee; honey; propolis; wax; heavy metal content.

Automatic Control of Using Safety Helmets by Workers

Anatoly Romanov^a – Andrei Nikulin^a – Dmitry Ikonnikov^a – Iliya Dolzhikov^a

– Stanislav Kovshov^a

^a St. Petersburg Mining University, St. Petersburg, Russian Federation

Abstract

The article addresses ways to automate the process of controlling compliance with the rules for safety helmet use to improve the safety of employees working in harmful or hazardous conditions. Authors have proposed to consider the employee/safety helmet system as a physical object/biotechnical system. It has been shown that in cases when only the information that characterises a physical object is controlled, the information can be imitated by unprincipled workers. It has been resolved that the process should be complemented with the information that characterises the employee's activity (as a biological object). A suggestion has been made that proposed information spaces should be combined to improve the reliability of a control result. The article offers a method to generate a decision rule that integrates the assessment obtained based on the review of information from different sources. A structure of information process interaction has been developed to solve the task. The scope and purpose of main hardware that implement long-term automatic control over compliance with the rules for safety helmet use have been determined.

Keywords: occupational safety; Industrial safety helmets; smart PPE; safer equipment; health; safety.

Emission Modeling of Exhaust Gases from Typical Parking House Operation

Jozef Salva^a – Miroslav Vanek^a – Marián Schwarz^a – Miroslav Dado^b

^a Department of Environmental Engineering, Faculty of Ecology and Environmental Sciences, Technical University in Zvolen (Slovakia), jsalva@gmail.com, Tel: (+421) 455 206 830

^b Department of Manufacturing Technologies and Quality Management, Technical University in Zvolen (Slovakia), dado@tuzvo.sk, Tel: +421 455 206 864

Abstract

This paper deals with air emissions modeling of exhaust gases associated with a standard parking house during its operation. The dispersion study evaluates the immission load from the mobile sources of air pollution and from stationary sources of air pollution (operating air-conditioning). The pollutants were evaluated as CO, NO₂, SO₂, PM₁₀ and benzene. The authors also point to the possible side effects associated with ototoxicity of CO and NO₂ (as a part of a group of asphyxiants within ototoxic substances) and benzene (as part of solvent group within ototoxic substances). Outputs of the modeling software did not detect the exceedance of the limit values under the legislation on human health protection.

Keywords: exhaust gases; emissions modeling; MODIM; ototoxicity; parking house.

Human thermal comfort in miner's overalls

Ilya F. Sidakov^a – Andrei Nikulin^b – Lyudmila V. Stepanova^b
– Nikulina Anni Yulievna^b

^a Kovcheg-Ural LLC, 29-1 Timiryazeva Str., Chelyabinsk 454091, Russian Federation

^b St. Petersburg Mining University, St. Petersburg, Russian Federation

Abstract

The article presents the results of the experimental surveys of the thermal conductivity of two types of fabrics used to make special clothes for mine workers (miner's overalls) depending on the degree of clothes contamination with coal dust. Thermographs of the cooling process have been obtained and a thermal conductivity factor has been calculated for each sample. The impact of miner's overall contamination on the miners' thermal comfort has been reviewed.

Keywords: human resources; Arctic; special clothes; safety; corporate social responsibility coal dust; thermal comfort; fabric thermal conductivity.

Comparison of the Gross Caloric Value of the Selected Wood Species

Nikoleta Szirmaiová^{a*} – Danica Kačíková^a – Martin Lieskovský^b

^a Faculty of Wood Sciences and Technology, Technical University in Zvolen, T. G. Masaryka 24, 960 53 Zvolen, Slovak Republic

^b Faculty of Forestry, Technical University in Zvolen, T.G. Masaryka 24, 960 53 Zvolen, Slovak Republic

Abstract

The article deals with the defining of the parameter influencing the ignition and the speed of the fire spreading in the woodland area. The aim of this paper is to experimentally define gross caloric value using the calorimeter IKA C200. The procedures of measurements were carried out according to the STN ISO 1928. Spruce wood and beech wood was used for the experiment. Samples from selected tree species were extracted in the area of Zvolen. Roots, trunks and branches were examined. The representative samples were dried at the temperature 103 ± 2 °C before the testing to ensure humidity 0%. The highest gross caloric values were observed with spruce wood branches (21 150 J/g), spruce wood roots (20 939 J/g), and a spruce wood trunk (20 386 J/g). The representative samples of beech wood (root, trunk and branches) showed lower gross caloric values than spruce samples. The results confirm that soft wood (like spruce) shows remarkably higher gross caloric values than hard wood. Based on obtained results, it can be said that spruce wood is easily combustible and shows higher values of gross caloric value and thus more dangerous according to forest fires than beech wood.

Keywords: Beech; Forest fires; Gross caloric value; Spruce.

Reaction to fire of façade heat insulating materials

Ľudmila Tereňová^a – Emília Orémusová^{b*}

^a Department of Fire Protection, Faculty of Wood Sciences and Technology, Technical university in Zvolen, T. G. Masaryka 24, 960 53 Zvolen, Slovak Republic

Abstract

Nowadays the most important requirements for construction of buildings are energy economics and heat saving. The market offers many thermal insulation materials used in the external thermal insulation composite systems of buildings which also need to comply with the requirements of the fire safety. In the paper are evaluated two samples of the insulation cork boards and boards from the expanded polystyrene (EPS) from the point of view of the reaction to fire. The reaction to fire is the basic coefficient of their possible use in the external thermal insulation composite systems of renewed buildings. For both thermal insulation materials were used the testing method for evaluation of ignitability according to the standard STN EN 11925-2 and for the determination of the gross calorific value according to the standard STN EN 1716. Based on the results of the test of ignition were both materials ranked in the class of reaction to fire E. With the expanded polystyrene EPS sample appeared extensive deformation of shape. Higher or in other words less favourable values of the gross calorific value were detected with the samples from EPS. Cork insulation boards reached from the overall evaluation of their reaction to fire more favourable results than the boards from the expanded polystyrene. The cork boards had better results also in the regard of the gross calorific value evaluation. The average rate of the gross calorific value of two different cork boards in the reference state i.e. considering actual humidity varied from 25 711 J/g to 29 248 J/g. Meanwhile, the EPS samples had markedly higher average rates of gross calorific value namely from 40 673 J/g to 40 839 J/g.

Keywords: reaction to fire, cork boards, expanded polystyrene, ignitability, gross calorific value, external thermal insulation composite systems.

Effective Prevention of Hazardous Waste Industrial Dusts

Ivana Tureková^a – Eva Mračková^{b*}

^a Constantine the Philosopher University in Nitra, Tr. A. Hlinku 1, 949 74 Nitra, Slovakia

^b Technical University in Zvolen, Masaryka 24, 960 53 Zvolen, Slovakia

Abstract

Development of new technologies along with the use of new materials also requires new approaches to risk assessment. In practice, it means that by processing new materials, particular types of waste with characteristics involving environmental, as well as health and safety risks emerge. This paper deals with technologies related to the occurrence of abrasive dusts from processing of plastics related to the environmental protection, health protection of workers and explosion protection. These seemingly different fields require common and complex approach to protection solutions. It is proven that only by testing of dust characteristics and by determining their most significant hazards which have shown to be explosion characteristics as well, it is possible to suggest effective technological measures.

Keywords: dust clouds; plastic; hazard; safety characteristics.

METAL flammable dust as dangerous substances

Miroslava Vandlíčková^a

^a University of Žilina, Faculty of Security Engineering, 1st May Street 32, 010 01, Žilina, Slovak Republic

Abstract

A number of industrial technologies are accompanied by the presence of flammable metal dust, which can occur in the seated or whirled state. From the point of view of occupational safety, their fire-technical characteristics, their impact on workers' health and the environment must be taken into account. This article deals with the properties of chosen flammable industrial metal dusts, especially from the point of view of fire safety, anti-explosion protection and environmental risk. The group of toxicological properties of metallic dusts is also included in the article as mankind is also an inseparable part of the environment. The conclusion of this article deals with preventive measures to prevent fire and explosion of such flammable metal dusts as effectively as possible, and also to prevent acute and chronic diseases caused by human exposure to metal dust in factories or at another possible space.

Keywords: metal; flammable dust; environmental hazard; fire; explosion; occupational safety; dangerous substances.

Safecast bGeigie Nano as a tool for teaching students to understand monitoring environmental radioactivity

Jozef Salva^a – Miroslav Vanek^a – Marián Schwarz^a – Miroslav Dado^b

^a Technical University in Zvolen, Faculty of Ecology and Environment, Department of Environmental Engineering, T.G. Masaryka 24, 960 53 Zvolen, Slovakia

Abstract

Safecast is a volunteered geographic information project based on the public participation in data collection and upload to a publicly available online database. This paper provides brief introduction to the Safecast database and bGeigie Nano device, with the detailed information available in the relevant references. While the main purpose of the Safecast database and bGeigie Nano is to provide publicly available data on the environmental radioactivity, we believe, that this concept is also a valuable tool for teaching university students to understand the complex aspects of environmental radioactivity monitoring, through unique personal experience. Proposed activities have a potential to become a part of the education process for the course of Radioecology. We intend to provide the opportunity for students to use the bGeigie Nano device to collect data and participate in the worldwide environmental radioactivity monitoring network. This experience itself would be a valuable asset, besides the obvious benefit of contributing to the database with our own new data.

Keywords: Safecast; bGeigie Nano; environmental radioactivity.

Study of forest fire behaviour under the meteorological conditions changed

Rastislav Veľas^{a*} – Andrea Majlingová^a – Danica Kačíková^a

^a Technical University in Zvolen, Faculty of Wood Sciences and Technology, T.G.Masaryka 24, Zvolen 960 53, Slovak Republic

Abstract

In recent years, the forest fires issue has been addressed by many experts, who contributed a development of knowledge on forest fire behaviour. For forest fire behaviour modelling, it is especially important to have the information on meteorological conditions, weather conditions and the influence of fuel and topography. The main objective of this work is to describe and evaluate the effect of selected meteorological and weather conditions on the area of the fire site. For modelling and simulation, we used the data on forest fire that occurred in the Koč locality, situated in the National Park Slovenský raj, in 2007. In the FARSITE programme, the input data related to the air temperature, wind speed, precipitations totals were changed to study the effect of the increasing values of meteorological factors studied. The forest fire behaviour was modelled for the first 24 h of its duration. The computer modelling results and analyses of the courses of fire site area growth showed that with the increasing wind speed the fire site area grows. However, wind speed had the most significant influence on the development of the fire during the day. During the night the area of fire site was growing very slowly (only few m²/h), probably because the fire intensity significantly decreased. There was almost no effect of change in air temperature on forest fire behaviour. When studying the effect of precipitations totals on forest fire spreading, we also considered the impact of the time of precipitations occurrence, either from 5.00 a.m. to 7.00 a.m. or from 12.00 p.m. to 14.00 p.m., before the fire ignition, except the precipitations totals. Larger fire site area occurred in the case of precipitations totals of 0 mm/m²/h than 3 mm/m²/h and when the precipitations occurred before the fire initiation, i.e. from 12.00 p.m. to 2.00 p.m. When considering the precipitation totals of 8 and 40 mm mm/m²/h, the fire was not initiated in FARSITE programme, due to the high moisture content of forest fuel available in the study area. We also performed a correlation analyses between wind speed (precipitations totals) and fire site area to statistically confirm the dependency between the meteorological factors change and the fire site area growth. The results showed the very tight dependence between all the meteorological factors considered and the fire site area growth.

Keywords: forest fire; modelling; FARSITE; fire behaviour; meteorological conditions.

Assessing the adsorbents suitability for removing of solid surface oil pollution

Veronika Veľková^{a*} – Tatiana Bubeníková^a – Patrik Tajnai^a

^a Technical University in Zvolen, Faculty of Wood Sciences and Technology, T.G.Masaryka 24, Zvolen 960 53, Slovak Republic

Abstract

The article is dealing with the assessment of the effectiveness of selected adsorbents to remove oil pollution. In the experiment was simulated leakage of diesel oil and engine oil on a solid surface. On the oil compounds were three kinds of adsorbents (Cansorb, Josyp Plus and Experlit) applicate. Application of selected adsorbents determines the effect of kinematic viscosity on the efficiency of adsorption. The influence of the origin of the adsorbent was also confirmed. It was the most effective adsorbent of organic origin CANSORB applied at leakage of engine oil and even diesel. Adsorbent of natural origin JOSYP PLUS with an efficiency of 55.86% not recommended for use to remove escaped diesel from a solid surface.

Keywords: adsorbent; engine oil; diesel oil; solid surface; oil pollution.

Impact of foaming agents on vegetation

Veronika Veľková* – Danica Kačíková^a – Viera Špureková^a

^a Technical University in Zvolen, Department of Fire Protection

Abstract

In the article, we have reported about experimental monitoring of the effects of foaming agents on plant organisms. Three kinds of foaming concentrates (protein, synthetic and AFFF) were used for low-expansion foam production. Prepared low-expansion foam was applied on grass samples. Visual changes in grass samples and changes that have led to grass samples drying have been observed. The seasonal effects of meteorological factors were also observed in the experiment. We determined massive differences between foam stability of AFFF foam in the summer and winter time (foam was compact in December 20 times longer than in August). Also the impact of AFFF foam on the grass samples was influenced by the surrounding temperature conditions (extinction of grass after 2 days in summertime and 6 days in wintertime)

Keywords: aqueous film forming foaming agent; protein foaming agent, synthetic foaming agent, low-expansion foam, grass.

Research of fabric air permeability for miner's overalls

Oksana A. Vigelina^a – Irina V. Andreeva^a – Andrei Nikulin^b –

Lyudmila V. Stepanova^b – Anni Yu. Nikulina^b

^a St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, 18, Bolshaya Morskaya Str., St. Petersburg 191186, Russian Federation

^b St. Petersburg Mining University, St. Petersburg, Russian Federation

Abstract

The article describes an algorithm of fabric contamination with coal dust and presents the results of the experimental surveys of the air permeability of two types of fabrics used to make special clothes for mine workers depending on the degree of clothes contamination. The peculiarities of coal dust particle distribution in material fibres have been identified and the impact of contamination on fabric physical and hygiene properties has been evaluated.

Keywords: human resources; safety; Arctic; corporate social responsibility; PPE; coal dust; fabric air permeability; fabric; OHSAS; labour.

Agroforestry as a tool for sustainable land use in Central European countries

Andrea Vityi^{a*} – Nóra Kiss Szigeti^a – Tamás Rétfalvi^b – Emes Dominkó^b – Bohdan Lojka^c – Radim Kotrba^{d,e} – Jaroslav Jankovič^f – Michal Pástor^f – Robert Borek^g

^a University of Sopron, Faculty for Forestry, Institute of Forest and Environmental Techniques., Bajcsy-Zs. 4. Sopron, 9400, Hungary

^b University of Sopron, Faculty for Forestry, Institute of Chemistry, Bajcsy-Zs. 4. Sopron, 9400, Hungary

^c Czech University of Life Sciences Prague, Faculty of Tropical AgriSciences, Department of Crop Sciences and Agroforestry, Kamycka 129, Praha 6, 165 00, Prague, Czech Republic

^d Czech University of Life Sciences Prague, Faculty of Tropical AgriSciences, Department of Animal Science and Food Processing, Kamycka 129, Praha 6- Suchdol, 165 00, Prague, Czech Republic

^e Institute of Animal Science, Department of Ethology, Pratelstvi 815, Praha- Uhřetěves, 104 00, Prague, Czech Republic

^f National Forest Centre, Forest Research Institute in Zvolen, Department of Silviculture and Forest Production, T. G. Masaryka 22, 960 92 Zvolen, Slovak Republic

^g Institute of Soil Science and Plant Cultivation, State Research Institute, ul. Czartoryskich 8, 24-100 Pulawy, Poland

Abstract

Agroforestry systems can increase resource efficiency, enhance productivity, and improve the overall resilience of agroecosystems. Agroforestry has a long tradition, however their widespread use has been interrupted by introduction of industrial agriculture and in some countries by political changes connected with collectivization and land consolidation. As reflection to unsustainable use of land by post-communist co-operations/enterprises, agroforestry has become a rediscovered practice of mainly family farmers in the countries of Central Europe in the last years. Traditional agroforestry systems in this region represent traditional land use systems with a high environmental and cultural value. This region also has a high potential for establishment of modern agroforestry systems which could be a great source of inspiration to learn about interactions, symbioses, biodiversity and agroforestry strategies and practices in such multifunctional systems under adaptation to climate change. The paper gives a general overlook of the role of agroforestry in Hungary, Slovak Republic, Czech Republic and Poland with special regard on the following issues:

-
- the main reasons that make it necessary to investigate the potential of modern agroforestry practices and technologies to alleviate/mitigate the environmental problems in the Central European region
 - the new initiatives with the aim of preserving traditional and establishing modern agroforestry systems
 - main drivers and barriers regarding the adaptability and legalisation of agroforestry systems
 - the potential of agroforestry practices in sustainable land management.

Keywords: agroforestry; sustainable land use; efficiency, productivity.

Study of thermal degradation of selected materials using ATR-FTIR spectroscopy

Eva Výbohová^{a*} – Veronika Veľková^b

^a Department of Chemistry and Chemical Technologies, Technical University in Zvolen, T.G. Masaryka 24, 960 53 Zvolen, Slovakia

^b Department of Fire Protection, Technical University in Zvolen, T.G. Masaryka 24, 960 53 Zvolen, Slovakia

Abstract

This paper focuses on the possibility to use attenuated total reflectance - Fourier transform infra-red (ATR-FTIR) spectroscopy in fire engineering. The key advantages and limitations of this technique are discussed. As examples, the study of thermal degradation of PUR foam, and wood are used. The assignment of characteristic absorption bands in the investigated materials is presented. Additionally, the changes in spectra due to thermal degradation of examined materials were discussed. In the case of PUR foam, the degradation of NCO, formation of new carbonyl groups, loss of CH₂ groups, and the loss of aromatic rings were observed. In samples of wood the structural changes in lignin macromolecule as well as the degradation of polysaccharides, mainly hemicelluloses were occurred.

Keywords: ATR-FTIR spectroscopy; thermal degradation; PUR foam; wood.

Assessment of possible environmental risks of old dumps

Ivana Knapcová^a – Dagmar Samešová^a

^a Department of Environmental Engineering, Faculty of Ecology and Environmental Sciences, Technical University in Zvolen, T. G. Masaryka 24, 960 53 Zvolen

Abstract

The environmental risk study of the gudron's dump. The technological stream, which is the most environmentally harmful during the refinery production, are wastes from acid refining - gudrons. Gudrons are produced in the processing plant at the treatment and pretreatment of crude oil by the use of sulphonation technologies. In the past, gudrons have been landfilled without security, and the problem of contamination remains as an environmental burden. The risk of contamination spreading has some migration pathways in general: land, surface runoff, groundwater, air. The aim of the paper is to assess the potential risk of dumps by means of ecotoxicological tests (acute toxicity test on daphnias - *Daphnia magna* and the growth inhibition test of the root of the higher cultural crops - *Sinapis alba*) of the aqueous and solid waste phases. There was evaluated the dependence of inhibition and immobilization on the concentration of the oil which was defined as unpolar extractable oil content (NEL). The results show that the waste is toxic to both aquatic and terrestrial organisms. In terrestrial tests, 50% inhibition was confirmed at NEL values of 79 mg.L⁻¹ for the solid phase and 0.2 mg.l-1 for the aqueous phase. In the aqua test, 50% immobilization was confirmed at NEL concentrations of 5.4 mg.L⁻¹ (solid phase) and 0.1 mg.L⁻¹ (aqueous phase).

Keywords: ecotoxicity, dump, environmental risks.

Guide to Authors

The Authors guarantee that the paper is original and fully in correspondence with the scope of the *ΔDelta* journal. They are also responsible for the language, terminological and metrological consistency of their papers. Both American and British usage is accepted, but not a mixture of these.

The **Corresponding author** must be familiar with the *ΔDelta* journal's publication ethics. He is solely responsible for communication with the journal and managing communication between the co-authors.

The scientific papers are reviewed by a minimum of two reviewers.

All papers are subject to proof-reading. The editors will require authors to modify the text in the light of the recommendations made by reviewers and they reserve the right to suggest text improvements.

Paper submitting

The Authors should upload their submission directly to the *ΔDelta* journal editorial system website. To submit your paper, use the following link: <http://194.160.170.33/index.php/delta>

Paper text formatting

The papers submitted shall consist of no more than 10 A4 sheets including both language mutation of the paper, tables and figures. To write your paper, use the Delta journal paper template. Longer papers should be separated to two or more parts.

Proof-reading process

Before publishing, the paper will be sent to the author for revisions accepting all the reviewer's requirements and recommendations. The revised paper, together with the list of corrections made and the subscribed form for the transfer of copyrights from the author to the publisher, should be sent back to the Editor's Office in specified time.

Offprints

Corresponding author will receive 1 print copy of the journal on request. The electronic form of the journal is published at the journal website.

Pokyny pre autorov

Autori zodpovedajú za originalnosť článku a jeho súlad so zameraním časopisu *ΔDelta*. Autori sú zodpovední aj za jazykovú, terminologickú a metrologickú konzistenciu svojich článkov. Akceptovaná je britská aj americká angličtina, avšak nie ich kombinácia..

Korešpondujúci autor je povinný oboznámiť sa s etikou publikovania časopis u *ΔDelta*. Je výhradne zodpovedný za komunikáciu s časopisom a so spoluautormi.

Vedecké články sú recenzované minimálne dvomi recenzentmi.

Všetky články podliehajú dodatočným úpravám. Redakcia od autorov vyžaduje, aby upravili text na základe odporúčaní recenzentov a vyhradzuje si právo navrhovať vylepšenie textu.

Podanie článku

Autori nahrávajú svoje príspevky priamo na webovú stránku redakčného systému časopisu *ΔDelta*. Pre podanie článku použite nasledovný link: <http://194.160.170.33/index.php/delta>.

Formátovanie textu článku

Rozsah článku je najviac 10 strán, a to vrátane oboch jazykových mutácií článku (anglický jazyk a materinský jazyk prvého autora), tabuliek a obrázkov. Pre písanie článku použite šablónu pre písanie príspevkov časopisu *ΔDelta*. Dlhšie príspevky je potrebné rozdeliť na dve alebo viac pokračujúcich častí.

Ďalšie úpravy článku

Príspevok bude pred zverejnením zaslaný autorovi na kontrolu a opravu v zmysle požiadaviek recenzentov. Opravený príspevok, spolu so zoznamom (popisom) vykonaných opráv a vyplneným a podpísaným formulárom obsahujúcim súhlas s prevodom autorských práv od autora na vydavateľa, je potrebné poslať späť do redakcie v stanovenom termíne.

Autorské výtlačky

Korešpondujúci autor obdrží na požiadanie jednu tlačенú kópiu časopisu. Elektronická forma časopisu je zverejnená na webovej stránke časopisu.

