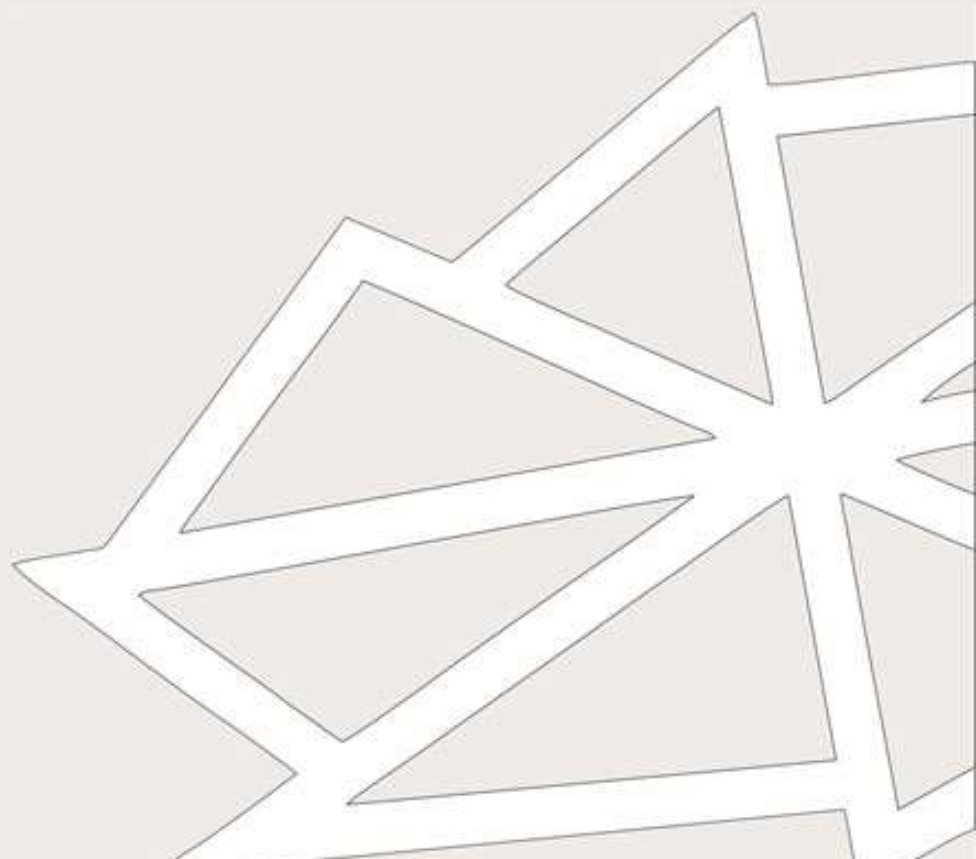


TECHNICAL UNIVERSITY IN ZVOLEN
FACULTY OF WOOD SCIENCES AND TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF FIRE PROTECTION

Δ Delta

FIRE PROTECTION & SAFETY
Scientific Journal

Vol. 13 Iss. 1
July 2019



Delta 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

Časopis *Delta* 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
- Záchranné práce a záchranná 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. 13 Iss. 1
July 2019

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>

Technical Editor / Technický redaktor

Eva FEKIAČOVÁ

Editors / Editori

František KAČÍK, Danica KAČÍKOVÁ, Andrea MAJLINGOVÁ, Jaroslava ŠTEFKOVÁ, Rastislav ŠULEK, Ludmila 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

Branko SAVIĆ, Higher Education Technical School of Professional Studies in Novi Sad, Serbia

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, IČO 00397440

Published twice a year / Vychádza 2-krát ročne

Vydanie I. – July 2019

EV 3857/09

ISSN (print) 1337-0863

ISSN (online) 2585-9730

Print // Tlač

Technical University in Zvolen / Technická univerzita vo Zvolene

T. G. Masaryka 24

960 01 Zvolen

Slovak Republic / Slovenská republika

Content / Obsah

1. Bendegúz Papp: Disaster Risk Data and Its Terminological Difficulties – A Statistical Review	5
2. Dmitry Toropov, Alexey Ivanov, Farid Dali, Andrey Perlin, Andrey Lebedev, Grigory Shidlovsky: Extinguishing Characteristics of Water Suspensions with Carbon Nanostructures at Extinguishing Liquid Hydrocarbons Fires (Oil and Gas Industry)	22
3. Václav Petráš: Calculation of Critical Intensity of Radiant Flux for Definition of Fire Hazard Area Using Numerical Iteration Methods and Software Application	32
4. Marianna Tomašková, Michaela Balážiková, Lubomír Ambriško: Increasing the Safety of Fire Lifts	46
5. Peter Rantuch, Martina Hladová, Jozef Martinka, Hana Kobetičová: Comparison of Ignition Parameters of Oven-Dried and Non-Dried OSB	63
6. Iveta Mitterova, Robert Racsko: Change in Mass Loss of Thermally Loaded Spruce Wood Due to Its Flame Retardant Treatment	80

Disaster risk data and its terminological difficulties – A statistical review

A katasztrófakockázat-adat és terminológiai problémái – Egy statisztikai vizsgálat

Bendegúz Papp^{1,*}

¹ Ph.D. Student, National University of Public Service, Hungary; papp.bend@gmail.com

* Corresponding author: papp.bend@gmail.com

Review paper

Received: May 27, 2019; Accepted: July 17, 2019; Published: July 31, 2019

Abstract

In international disaster science, disaster data is an indispensable source for conducting research related to life and economic loss. Economic and demographic impacts can be investigated with disaster data, inter alia, destruction and cost of the events. Nevertheless, there is no standardization in disaster measuring, and no unified methodology is accepted in the disaster science. While introducing to existing literature on topic, this research attempts to define the most frequently presented concepts of disaster risk data, namely ‘death’, ‘affected’, and ‘economic loss’. Furthermore, the most important statistical issue, the determination of ‘disaster’ is investigated. This paper categorizes previous definitions into three main groups: intersubjective, (semi) objective, and numerical approach. After the theoretical framework, the most frequently cited disaster databases’ (EM-DAT, NatCat, Sigma) data collection methodology is compared. Finally, this paper presents the main statistical problems related to disaster risk data, underlying the fact that objectivity cannot be determined in the disaster statistics. Hopefully with its terminological clarification, this paper will contribute to the conceptualization and operationalization in disaster science.

Keywords: disaster, measuring, statistics, disaster data

1 Introduction

Disaster science is a relatively new academic field, hence it does not have a unified and widely accepted methodology. However in order to develop policies, empirical studies, and to test its preconceptions, data and statistical analysis are needed. Without these, understanding disaster costs and impacts is not possible. Disaster analysis is used for examining emergency events, also, its results make recommendations for political decision-making as well as for practical level of disaster management. Data collection helps to identify regional and global disaster risk, besides it helps to develop short-term and long-term goals of coping with emergencies.

Due to climate change, ordinary natural environment is constantly changing [1] [2],

1 Bevezetés

A katasztrófatudomány egy új tudományterület, így nincs egységes, széles körben elfogadott módszertana. Mindazonáltal a politikai döntéshozatal fejlesztése, az empirikus kutatások és az előfeltevések tesztelése végett szükséges mind az adatgyűjtés és a statisztikai elemzés. Ezek nélkül a katasztrófák költségeit és hatásait nem lehet megérteni. Katasztrófaelemzés használatos veszélyhelyzetek vizsgálatára, és annak eredményei alapján ajánlások tehetők a politikai döntéshozatal és a katasztrófavédelem gyakorlati szintje számára is. Az adatgyűjtés segít azonosítani a regionális és globális katasztrófaveszélyt, emellett segít fejleszteni a veszélyhelyzetekkel való megközdés rövid- és hosszú távú céljait.

along which disaster management has more and newer challenges [3] [4]. These challenges can be answered through focusing on prevention [5], international collaboration [6] [7] as well as by improving proper data collection and analysis of disaster events. This paper is a research note which attempts to address the complex task of disaster risk management data collection, emphasizing its difficulties and possible standardization forms.

2 Material and Methods

Firstly, this paper provides a short theoretical framework for defining basic terms related to the conducted research. These necessary concepts are: ‘death’, ‘affected’, and ‘economic loss’. This section is based on relevant international literature review.

Secondly, the most important term ‘disaster’ tries to be determined. Besides its theoretical aspects, particular statistical problems emerge. As several works were published attempting to define the word ‘disaster’ [8] [9], a unified determination might be created. Moreover, according to the most important statistical databases [10]–[12], some objective criteria can be drawn as well.

The third section is the core point of this research note. Here, the main problems in disaster measuring are concluded, which cover the comparing and collating difficulties in disaster attributes as life and economic losses based on information extracted from the above mentioned databases [10]–[12]. The further measuring problems are presented and confirmed by tables with statistical data extracted from EM-DAT [12].

3 Results and Discussion

3.1 Theoretical framework

In these section, the main concepts related to disaster measuring is defined based on previous theoretical principles. When the question is asked: “how big/desperate/fatal was this/that disaster event?”, simple answer cannot be given. Disasters cannot be ranked according to objective criteria, only the most important index may be mentioned: total deaths, deaths per million of population, total affected people, affected people per region, total cost, cost as a

A klímaváltozás miatt a természeti környezet folyamatosan változik [1] [2], ezzel együtt a katasztrófavédelemnek is újabb kihívásokkal kell megküzdenie [3] [4]. Ezek a kihívások megválaszolhatók, ha többek között a katasztrófaadatokkal kapcsolatos megfelelő adatgyűjtésre koncentrálnak. Jelen tanulmány egy olyan kutatási feljegyzés, amely a katasztrófavédelmi célú adatgyűjtés összetett feladatát taglalja, hangsúlyozva annak nehézségeit és lehetséges sztenderizálását.

2 Adatgyűjtés és módszertan

A tanulmány először egy rövid elméleti keretet vázol fel, amelyben definiálja a kutatással kapcsolatos alapvető fogalmakat. Ezek a szükséges terminusok a következők: ‘haláleset’, ‘érintett’ és ‘gazdasági veszteség’. Ez az alfejezet releváns nemzetközi szakirodalomelemzésen alapul.

A második alfejezetben a legfontosabb kifejezés, a ‘katasztrófa’ kerül meghatározásra. Emellett az elméleti aspektus mellett konkrét statisztikai problémák is felmerülnek. Mivel számos mű megpróbálta definiálni a ‘katasztrófa’ szót [8] [9], elviekben egy egységesített meghatározás is megvalósulhat. Sőt, a legmeghatározóbb statisztikai adatbázisok szerint [10]–[12] néhány további objektív kritérium is megfogalmazható.

A harmadik szakasz a tanulmány fókuszpontja. Itt néhány nagyobb katasztrófamérési probléma van részletezve, amelyek lefedik az olyan változókkal kapcsolatos összehasonlítási nehézségeket, mint az emberi és gazdasági veszteségek, mindezt a fent említett adatbázisokra alapozva [10]–[12]. A további mérési problémákat a Nemzetközi Katasztrófaadatbázisból (EM-DAT) [12] kinyert adatokkal szemléltetjük.

3 Eredmények és Értekezés

3.1 Elméleti keret

Ebben az alfejezetben a katasztrófavédelmi kockázatelemzéssel kapcsolatos főbb fogalmakat határozzuk meg korábbi elméleti munkák alapján. Amikor a következő kérdés merül fel: „mekkora/mennyire halálos volt ez/az a katasztrófaesemény?”, egyszerű válasz nem adható. A katasztrófák nem rangsorolhatók

percentage of total GDP, etc. As it can be seen, disasters might be measured by many indicators [14] [15]. In the followings, the most important attributes will be clarified. As all of them are considered differently by the international databases, this paper argues that standard classification cannot be drawn.

The first definable term is ‘death’ which is maybe the most frequently used concept in disaster measuring. Dead people due to direct disaster impact – in other words: killed – are clearly in category ‘death’ of the event. EM-DAT [16] determines ‘killed’ as “persons confirmed as dead and persons missing and presumed dead”. This statement is not clear, furthermore, loss due to indirect impact (e. g. death in hospital three weeks after the event, one year after the event, etc.) is not mentioned. Category ‘death’ might be extended with this indirect human loss. If the term ‘death’ is mentioned, another ethical question arises: are all life equal in disaster loss? As old, ill or disabled persons are more hugely affected than young and healthy people. According to Etkin and McGregor [17], a new concept, the ‘loss of life expectancy’ could be introduced counted with potential life span. The author of this paper accepts this concepts, however, as other disaster statistical problems are more important, the method of using disaster data ought to be improved rather than introducing a new concept.

The second most important term under human loss is people ‘affected’ in disasters. Mostly, injured and evacuated persons are counted in this category. However, over these attributes, other factors can be indexed [18]. A patient, whose operation is delayed due to an electrical blackout caused by extreme wheatear, may be addressed as an affected person? Or someone, whose relative passed away during the event? How can we determine the borders of ‘affected’ population? These questions are really difficult to answer. Moreover, each database differs whether under ‘affected’, they include dead population or not. The term ‘affected’ is the most questionable category of each database [19].

Economic loss is obviously more difficult to determine. The simplest way for counting economic damage after a disaster event, government spending ought to be taken into

objektív kritérium alapján, ebben az esetben csak a nagyobb változók említhetők meg: összes haláleset, haláleset millió főre számolva, összes érintett személy, érintett személyek régióra számolva, összes költség, költség a GDP arányában, stb. Belátható, a katasztrófák sokféle indikátor alapján mérhetők [14] [15], a következőkben a legfontosabb attribútumokat tisztázzuk. Ahogy a fogalmak meghatározását a különböző adatbázisok eltérő módon magyarázzák, jelen tanulmány amellettt érvel, hogy egységes osztályozás nem kivitelezhető.

Az első definiálandó terminus a ‘haláleset’, amely a legszélesebb körben használt fogalom a katasztrófamérésben. A katasztrófák közvetlen halottjai egyértelműen ebbe a kategóriába tartoznak, őket az EM-DAT [16] a következőkben határozza meg: „azok a személyek, akikről megerősítették a haláleset tényét, illetve akiket eltűnésük után halottnak nyilvánítottak”. Ez a meghatározás viszont nem világos, továbbá a közvetett hatás miatt bekövetkező haláleset (pl.: kórházban három héttel vagy akár egy évvel az esemény után) sincs megemlítve. A ‘haláleset’ kategóriáját ki kell egészíteni közvetett emberi veszteséggel. Ha már megemlítjük a ‘haláleset’ fogalmát, még egy etikai probléma is felmerül: minden haláleset statisztikai értelemben egyformának számít? Az idősebb, beteg vagy hátrányos helyzetű személyek sokkal inkább veszélyeztetettek, mint a fiatal vagy egészséges személyek. Etkin és McGregor szerint [17] egy új fogalmat, a ‘várható élettartambeli veszteség’-et is be kellene vezetni, amely a potenciális élettartamot számolja. Jelen tanulmány elfogadja ezt a koncepciót, azonban mivel más katasztrófastatisztikai problémák sokkal fontosabbak, a jelenleg használatos katasztrófaadatgyűjtést és –értékelést kellene fejleszteni, inkább mint egy újabb fogalmat bevezetni.

A második legfontosabb emberi veszteséggel kapcsolatos szó az ‘érintett’. Leginkább a sérült és evakuált személyeket számolják ebbe a kategóriába. Viszont ezeken a tulajdonságokon túl más tényezőket is ide számíthatunk [18]. Egy páciens ide számítana, akinek az operációja késik egy extrém időjárás miatt bekövetkező áramszünet miatt? Vagy valaki, akinek a hozzátartozója hűnyt el az

account which cover inter alia reconstruction, restoration work, aid for the affected population [20]. Further problem is caused by the economic effects of humanitarian aid received from international community, as those may not be measured properly. Impacts might be divided into direct and indirect losses, although, indirect losses require a complex, long-term study, therefore its analysis is an almost impossible task. These measured losses might be the base for further planning and resilience-analysis, so their importance is apparently high [21] [22]. Moreover, according to Clay and Benson [23], besides their harm, disasters have also long-term positive economic affects which are not included in databases.

3.2 Defining the undefinable: what is a disaster?

For measuring emergencies and for building a disaster database, the most important criterion has to be drawn: what do we mean by a disaster? What events might be included in our study and what might be excluded? These questions need to be clarified before starting building statistics, or even before starting analyzing any statistical data. This section describes three different disaster-concept: intersubjective, (semi)objective and numerical determination. This paper argues that every definitions in the literature falls into one of the above categories.

This paper cannot undertake to investigate disaster as a scientific phenomenon due to its length, however firstly we have to start with the science-related intersubjective category. This expression ought to imply that depending on the framework used in disaster science, different disaster concept may be used. These might stay far from each other, although they are referring to the same phenomenon. There are several theoretical school with different disaster concepts, obviously all of them are relevant for the used methods, and therefore their approaches also vary. A few works negotiated these intersubjective disaster concepts [8] [9] [24], and as their approaches were applied for qualitative analysis, may not be used for disaster statistics. The objective or semiobjective category of disaster is used in official documents, political and legal conventions, agreements, as well as in the communication of different organizations and associations specialized on disaster management.

esemény alatt? Hogy határozhatjuk meg az érintett népesség határait? Ezeket a kérdéseket nagyon nehéz megválaszolni. Ezen felül minden adatbázis különbözik az 'érintett' meghatározása miatt: már eleve a halálesetek 'érintett'-ként való elfogadásában sincs egyetértés. Az 'érintett' kategória minden adatbázis legmegkérdőjelezhetőbb kategóriája [19].

A gazdasági veszteséget nyilvánvalóan még nehezebb meghatározni. A legegyszerűbb mód, ha a katasztrófaesemény után összesítjük a kormány ezzel kapcsolatos kiadásait, többek között az újjáépítésre, a helyreállításra, valamint a segélyezésre folyósított összegeket [20].

További problémát jelent a nemzetközi közösség által felajánlott humanitárius segély, mivel ezek mérése majdhogynem lehetetlen. A hatások elkülöníthetők közvetlen és közvetett veszteségekre – habár a közvetett veszteségek vizsgálata egy nagyon hosszú folyamat –, ezek összesítése egy lehetetlen vállalkozás. A mért veszteségek további tervezés és rezilienciamérés alapját jelenthetik, így a mérés fontossága megkérdőjelezhetetlen [21] [22]. Továbbá Clay és Benson szerint [23] a katasztrófák az okozott kár mellett hosszútávú pozitív gazdasági hatással bírnak, amelyek az adatbázisokba nem kerülnek be.

3.2 Definiálni a definiálhatatlant: mi a katasztrófa?

A vészhelyzetek méréséhez és egy katasztrófaadatbázis kialakításához a legfontosabb kritériumot kell először megfogalmazni: mit értünk 'katasztrófa' alatt? Milyen eseményeket vehetünk figyelembe kutatásunkban és melyeket kell kizárnunk? Ezeket a kérdéseket tisztázni kell az adatbázis építése előtt, sőt a felhasználónak is, mielőtt a statisztikai adatok elemzését megkezdi. Ez az alfejezet három különböző katasztrófakoncepciót vázol fel: interszubjektív, (fél)objektív és numerikus meghatározás. Úgy véljük, a szakirodalomban fellelhető definíciók mind beleesnek az egyik kategóriába a háromból, így ez a csoportosítás kizárólagosnak mondható. Jelen tanulmány terjedelmi korlátok miatt nem vállalkozhat arra,

Blanchard's glossary [25] collects disaster definitions from numerous reference work for approximately ten pages. In summary, these definitions differs, but all of them are based on at least two of the following criteria: (1) rapid, sudden event, with (2) great economic and/or human loss, and (3) exceeds the community's ability in coping with it. So, this group of terms can be understood as the most broadly used official definition of the disaster concept, as it can be agreed on, referred to, as well as explained easily. However, these three pillars imply also some difficulties: if all the three pillars are included (as at most cases), the concept of 'disaster' is clear. On the other hand, if only two of the pillars can be found, the determination is not easy at all. As some examples, the following events might be mentioned (with the existing pillars in brackets): a huge bus accident with human loss, which does not exceed the community's ability (1; 2), the emerging water level in Bangladesh due to global warming (2; 3), a hurricane in Pacific Ocean which is a potential danger but does not cause great loss (1; 3). These events exist in the "grey zone" of the semiobjective disaster determination, therefore its definition is not applicable at all cases. The 'semi'-prefix in 'semiobjective' is justifiable, as these concepts might not be determined easily, and they cannot be used for objective statistical analysis.

The numerical determination of disasters is used only in statistical context, and it varies by database. Each approach takes a few indicators, mostly related to human and economic loss. But as the methodology for measuring fatality differs, the databases also show huge differences. According to Etkin and McGregor [17], the following ways might be taken into account:

- Deaths per million people in a political or geographical boundary
- Total number of deaths per event
- Average number of deaths per decade
- Total number of years of life expectancy lost
- Deaths per million people within an affected area
- Total number of deaths within an affected area
- Deaths per facility

hogy a katasztrófákat mint tudományos jelenséget vizsgálja, mindazonáltal először a tudomány által használt interszubjektív kategóriával kell kezdenünk a rövid bemutatást. Ez a kifejezés arra hivatott utalni, hogy a különböző katasztrófaelméleti iskolák eltérő katasztrófakoncepciót alkalmaznak kutatás közben. Ezek fogalmilag távol eshetnek egymástól, habár mind ugyanarra a jelenségre utal. Létezik néhány ilyen elméleti iskola saját katasztrófafogalmakkal, ezek mindegyike nyilvánvalóan a használt módszertanhoz illeszkedik, és így megközelítésük is nagyban eltérhet. Csupán néhány mű próbálta meg összefoglalni ezeket az interszubjektív katasztrófafogalmakat [8] [9] [24]. Mivel ezek a megközelítések kvalitatív elemzésre alkalmasak csak, a címben is említett statisztikai elemzésre nem használhatók, ezért nem taglaljuk őket tovább.

Az objektív vagy félobjektív kategória az, amely hivatalos dokumentumokban, politikai és jogi egyezményekben, különböző katasztrófavédelmi szervezetek kommunikációjában fordul elő leginkább. Blanchard szógyűjteménye [25] megközelítőleg tíz oldalon keresztül sorolja fel az elérhető katasztrófameghatározásokat. Összességében ezen definíciók mindegyike, bár különbözik egymástól, tartalmaz legalább kettőt a következő kritériumokból: (1) gyors lefolyású esemény, amely (2) nagy gazdasági vagy emberi veszteséggel jár és (3) meghaladja a közösség képességét, hogy megküzdjön vele. Szóval ezen három kritérium úgy értendő, mint a katasztrófa fogalmának legszélesebb körben használatos, hivatalos definíciója. Tartalmában a definíciók nagy része egyezik, a tudománynak lehet rá hivatkozni, illetve egyszerűen el lehet magyarázni laikusoknak is. Mindazonáltal ez a három pillér is maga után von néhány problémát: amennyiben mindhárom elemet tartalmazza a definíció (ahogy a legtöbb esetben), a meghatározás egyértelmű. Másrésztől, ha csak két pillért tartalmaz, a meghatározás egyáltalán nem könnyű. Néhány példán keresztül bemutatjuk a pilléreken keresztüli meghatározást (zárójelben található a pillér sorszáma): egy nagy buszbaleset emberi veszteséggel, amely nem haladja meg a közösség megküzdési képességét (1; 2), a globális felmelegedés következtében lassan emelkedő vízszint

- Deaths per unit of concentration of a toxin
- Deaths per ton of toxin released
- Deaths per ton of toxin absorbed by people
- Deaths per ton of chemical produced
- Deaths per million dollars of product produced.

Based on this, different disaster concepts may be drawn up due to the variance of measuring methods, nevertheless, each determination is created on losses or on the affected state's reactions. For example, the CRED database specifies the following criteria for disaster events:

- Ten (10) or more people reported killed,
- Hundred (100) or more people reported affected,
- Declaration of a state of emergency,
- Call for international assistance [12].

This is a methodology used by International Disaster Database, as well as a few other international organization such as UN agencies. Nevertheless, other databases' approaches are totally different, they take different criteria which might cause huge differences in disaster statistics [18]. Thus the question arises: how should we define disasters? Is there any possible standardized concept? To this question, the answer is a clear 'no', namely, disaster can be an intersubjective, a semi-objective, and a numerical phenomenon depending on the context. However, a further problem appears: how can we measure disaster data, if even 'disaster' may not be determined obviously? The following section reflects to this problem.

3.3 Measuring the unmeasurable: disaster risk statistics

Measuring disasters is essential for the three main pillars of disaster management: political decision-making, practitioners as well as disaster science. However, analyzing statistical ought to be a really careful process, as disaster data means a significant support for management. When discussing disaster fatalities, threat, and risk, the previously outlined theoretical concepts might be used: 'disaster (occurrence)', 'death', 'affected population' and 'total economic loss'.

Bangladesben (2; 3), egy hurrikán a Csendes-óceánon, amely potenciális veszélyt hordoz magában, viszont nem jár veszteséggel (1; 3). Ezek az események a félobjektív katasztrófameghatározás „szürke zónájában” vannak, így nem alkalmazhatók az összes esetben. A „fél”-előtag azért indokolt, mert meghatározásuk nem könnyű, és nem alkalmazhatók objektív statisztikai elemzéshez.

A numerikus katasztrófameghatározás csak statisztikai kontextusban használható, a tartalma adatbázisonként eltér. Mindegyik megközelítés több mutatót használ, többségében az emberi vagy gazdasági veszteséggel kapcsolatosan. Bár mivel a veszteség mérésének módszertana eltér, az egyes adatbázisok is nagy eltéréseket mutatnak. Etkin és McGregor szerint [17] a következő mutatók jöhetnek számításba adatbázisépítésnél:

- Haláleset millió főre egy bizonyos politikai vagy földrajzi határon belül
- Összes haláleset eseményenként
- Átlagos haláleset egy évtizedre
- Teljes várható élettartambeli veszteség
- Érintett területen belüli haláleset millió főre
- Érintett területen belüli összes haláleset
- Haláleset létesítményenként
- Halálesetek egy mérge koncentrációs egységére vonatkoztatva
- Haláleset a kiszabaduló mérge tonnájára vonatkoztatva
- A lakosság által belélegzett/benyelt mérge tonnájára vonatkoztatva
- Haláleset az előállított vegyi anyagok tonnájánként
- Haláleset az előállított termék értékének millió dollárára vonatkoztatva.

Ezek alapján különböző katasztrófafogalmak határozhatók meg a mérési módszerek eltérésének fényében, mindazonáltal minden meghatározás változik az érintett állam reakciójának függvényében. Például a CRED adatbázisa katasztrófaesemények meghatározásához a következő kritériumokat állapítja meg:

- Tíz (10) vagy több haláleset,
- Száz (100) vagy több érintett,
- Veszélyhelyzet kihirdetése,

First of all, the following table is intended to present some differences between the biggest international disaster databases: EM-DAT, NatCat, and Sigma databases.

- Nemzetközi segítségkérés [12].

Ezt a módszertant alkalmazza a Nemzetközi Katasztrófaadatbázis (EM-DAT), ahogyan néhány más nemzetközi szervezet is, mint pl. a legtöbb ENSZ szervezet. Mindazonáltal más adatbázisok megközelítése teljesen különbözik ettől, más kritériumokat állapítanak meg, ami hatalmas eltéréseket okozhat az adatbázisok tartalmában [18]. Ezért felmerülhet a következő kérdés: hogy definiáljuk a katasztrófát? Van lehetőség bármilyen szűkebb meghatározásra? Erre a kérdésre válasz egy egyértelmű „nem”, mivel katasztrófa fogalmát meghatározhatjuk interszubjektív, félobjektív és numerikus alapon is kontextustól függően. Viszont ezzel egy következő probléma is felmerül: hogy mérhetünk katasztrófakockázati adatot, ha annak alapszavát, a „katasztrófát” sem tudjuk definiálni? A következő alfejezet erre keresi a választ.

3.3 Mérsni a mérhetetlent: katasztrófakockázati statisztika

A katasztrófamérés a katasztrófavédelem mindhárom fő pillérének elengedhetetlen eszköze: a politikai döntéshozatalnak, a gyakorlati szintnek és a katasztrófatudománynak is. Viszont a statisztikai elemzés egy nagyon óvatos folyamat kellene, hogy legyen, mert az ilyen adatelemzés jelentős támogatást jelent a katasztrófavédelemnek. Amikor katasztrófakárról, veszélyről vagy kockázatról van szó, a korábban felvázolt elméleti fogalmakat alkalmazzuk: „katasztrófa(előfordulás)”, „haláleset”, „érintett lakosság”, „összes gazdasági veszteség”.

Mindenekelőtt a következő (1.) táblázat bemutat néhány különbséget a legnagyobb katasztrófavédelmi adatbázisok, az EM-DAT, a NatCat és a Sigma között.

Table 1: Summary table of EM-DAT, NatCat and Sigma databases. Source: [19]

1. táblázat: Az EM-DAT, NatCat és Sigma adatbázisok összefoglaló táblázata. Forrás:

[19]

Variable / Változó	EM-DAT (CRED)	NatCat (Munich Re)	Sigma (Swiss Re)
Period covered / Lefedett időszak	1900 – present / 1900 – jelenleg	79 – present / 79 – jelenleg	1970 – present / 1970 – jelenleg
Number of entries / Tételek száma	12,000 (700 new entries/year) / (700 új tétel évente)	15,000+ (approx. 700 new entries/year) /megközelítőleg 700 új tétel évente)	7,000 (300 entries/year) / (300 tétel évente)
Type / Típus	Natural (including epidemics) and man- made disasters + conflicts / Természeti (beleértve a járványokat is) és civilizációs katasztrófák + konfliktusok	Natural disasters (excluding drought and man made, i.e. technical disasters) / Természeti katasztrófák (aszály és civilizációs kivételével)	Natural and man-made disasters (excluding drought) / Természeti és civilizációs katasztrófák (aszály kivételével)
Criterion / Kritérium	10 or > deaths and/or 100 or > affected and/or Declaration of a state of emergency/call for international assistance / 10 vagy >haláleset és/vagy 100 vagy > érintett és/vagy veszélyhelyzet kinyilvánítása/nemzetközi segítségkérés	Entry if - any property damage, any person sincerely affected (injured, dead) Before 1980, only major event / Új tétel, ha: - bármilyen tulajdon károsult, bármilyen személy érintett (sérült vagy halott) 1980 előtt csak a nagyobb események	> 20 deaths and/or > 50 injured and/or > 2000 homeless and/or insured losses >14 million US\$ (Marine), >28 million US\$ (Aviation), >35 million US\$ (all other losses) and/or total losses in excess of 70 million US\$ / > 20 haláleset és/vagy > 50 sérült és/vagy > 2000 hajléktalanná vált és/vagy sebesült >14 millió US\$ (haditengerészeti veszteség), >28 millió US\$ (légi veszteség), >35 millió US\$ (minden más veszteség) és/vagy összes költség meghaladja a 70 millió US\$-t

Methodology / Módszertan	Country entry / Országokénti tétel	Country and event entry, all disasters geocoded for GIS evaluation / Országokénti és esemény szerinti tétel, minden katasztrófa geokódolva GIS értékelés végett	Event entry Esemény szerinti
Sources / Források	UN agencies, US Government Agencies, official governmental sources, IFRC, research centres, Lloyd's, Reinsurance sources, press, private / ENSZ ügynökségek, USA kormányzati ügynökségek, hivatalos kormányzati források, Nemzetközi Vöröskereszt és Vörösfélföld Szervezetek, kutatóközpontok, Lloyd's Reinsurance forrásai, sajtó	Insurance related media and publications, online databases and information systems from news agencies, governmental and nongovernmental organisations (REUTERS, IFRC, OCHA, USGS etc.), media reports, world wide network of scientific and insurance contacts, technical literature, Munich Re clients and branch offices / Biztosításokkal kapcsolatos média és publikáció, online adatbázisok és információs rendszerek sajtóügynökségektől, kormányzati és nemkormányzati szervezetektől (Reuters, Vöröskereszt, OCHA, USGS, stb.), médiajelentések, széleskörű tudományos és biztosítási kapcsolatok, műszaki szakirodalom, Munich Re partnerek, fiókirodák	Daily newspapers, Lloyd's list, Primary insurance and reinsurance periodicals, internal reports, online databases / Napi sajtó, Lloyd's lista, elsődleges biztosítási folyóiratok, belső jelentések, online adatbázisok
Priority source / Elsődleges források	Priority given to the UN agencies / Prioritás az ENSZ ügynökségeknek	Priority given to Lloyd's list, Reuters, Reports from clients and branch offices, Insurance press / Prioritás a Lloyd's listának, Reutersnek, partnerek jelentéseinek, fiókirodáknak és biztosítási sajtónak	Not specified / Nem meghatározott
Access / Elérhetőség	Public / Nyilvános	Not public / Nem nyilvános	Not public / Nem nyilvános

Users/public	Research centres, governmental institutions, UN agencies, media, private, humanitarian agencies / Kutatóközpontok, kormányzati intézmények, ENSZ ügynökségek, media, magán szektor, humanitárius ügynökségek	Munich Re Underwriter, clients, governments, NGO's, scientific bodies, Universities, media etc. / Munich Re részvényesek, partnerek, kormányok, NGO-k, tudományos területek, egyetemek, media, stb.	Database not public. Annual sigma catastrophe publication available to whoever is involved in natural hazards issues, insurance companies, brokers, global companies, banks, media, scientific institutions / Adatbázis nem nyilvános. Éves sigma katasztrófákról készített publikációk elérhetők bárkinek, aki részt vesz természeti katasztrófákkal kapcsolatos ügyekben, biztosítótársaságok, brókerek, globális vállalatok, bankok, media, tudományos intézmények
Web address/Weboldal	www.cred.be	www.munichre.com	www.swissre.com

Based on Table 1, the lack of standardization can be stated. The three databases use significantly different methodology and sources, thus the output of our research may vary depending on the applied database. This chaotic situation affects disaster statistics as well: proof, clear and evident conclusion must not be drawn based on statistics. Only some tendencies might be stated, keeping in mind that the received information highly depends on the source applied during research.

Furthermore, there is a questionable data called disaster occurrence which is represented by Figure 1:

Az 1. táblázat alapján megállapítható a sztenderizáltság teljes hiánya. A három adatbázis teljesen más módszertant és forrásokat használ, ezáltal a használt adatbázistól függően a folytatott kutatás is teljesen eltérő eredményt hozhat. Ez a katotikus helyzet hatással van a katasztrófastatisztikára is: bizonyított, világos és evidens konklúzió nem fogalmazható meg. Csak néhány tendencia állapítható meg, észben tartva a tényt, hogy a kapott információ nagyban függ a kutatáshoz felhasznált forrástól.

Továbbá van egy megkérdőjelezhető változó, a katasztrófaelőfordulás, amelyet az 1. ábra mutat be részletesebben:

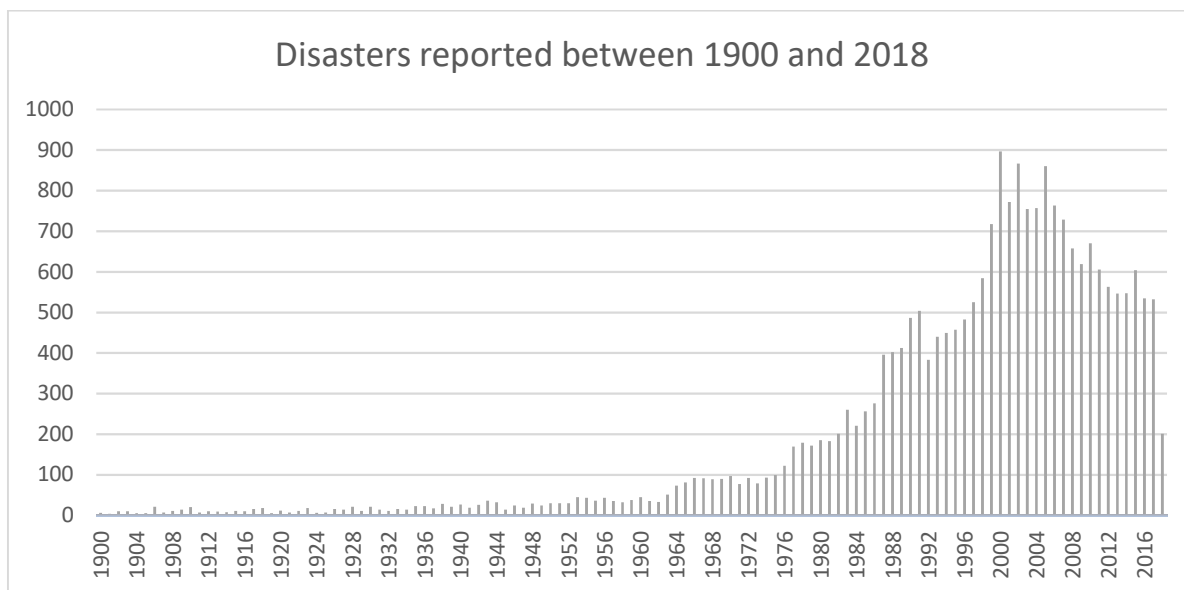


Figure 1: Reported natural and technological disasters. Edited by the author based on [12].

1. ábra: Jelentett természeti és technológiai katasztrófák. Szerkesztette a szerző [12] alapján.

As it might be observed, disaster occurrence is always counted as an entry in disaster database. Which means that the 2011 Tohoku earthquake and a car accident with 10 deaths both are counted as one disaster event, however their size, loss, significance are far not equal. A further major problem may be noticed: disaster as a phenomenon is depending on several factors: demography, population dense, geographical environment, infrastructure, emergency management system and operation, etc. Otherwise, disaster is not at all only a natural or technological phenomenon: disaster becomes disaster due to these certain factors. This complex problem holds another question: what can be stated on disaster occurrence? What tendencies can be drawn? This paper argues that almost no consequence can be drawn based on disaster frequencies: only the needed disaster management operation may be found. Any other observation must be handled with caution and with critical attitude.

Megfigyelhető, hogy a katasztróaelőfordulás jelenti az adatbázisok egyik legalapvetőbb tételét. Ez maga után vonja azt a tényt, hogy a 2011-es Tohoku földrengés és egy autóbaleset tíz halottal is ugyanúgy egy katasztrófaeseményként számolandó, habár azok mérete, az okozott veszteség és jelentőségük messze nem egyenlő. Egy következő probléma is megfigyelhető: a katasztrófa mint jelenség számos egyéb tényezőtől függ: demográfia, népsűrűség, földrajzi környezet, infrastruktúra, veszélyhelyzet-kezelési rendszer és működés, stb. Máskülönben a katasztrófa nem egy egyedüli természeti vagy technológiai jelenség, hanem pont a fenit tényezők által válik katasztrófává. Ez a komplex rendszer még egy kérdést felvet: milyen következtetést vonhatunk le ezek után? Jelen tanulmány amellet érvel, hogy majdhogynem nem vonható le semmilyen következtetés katasztrófa gyakoriságra alapozva: csupán a megtett katasztrófavédelmi műveletek száma állapítható meg. Minden más megfigyelést óvatossággal és kritikus hozzáállással kell kezelni.

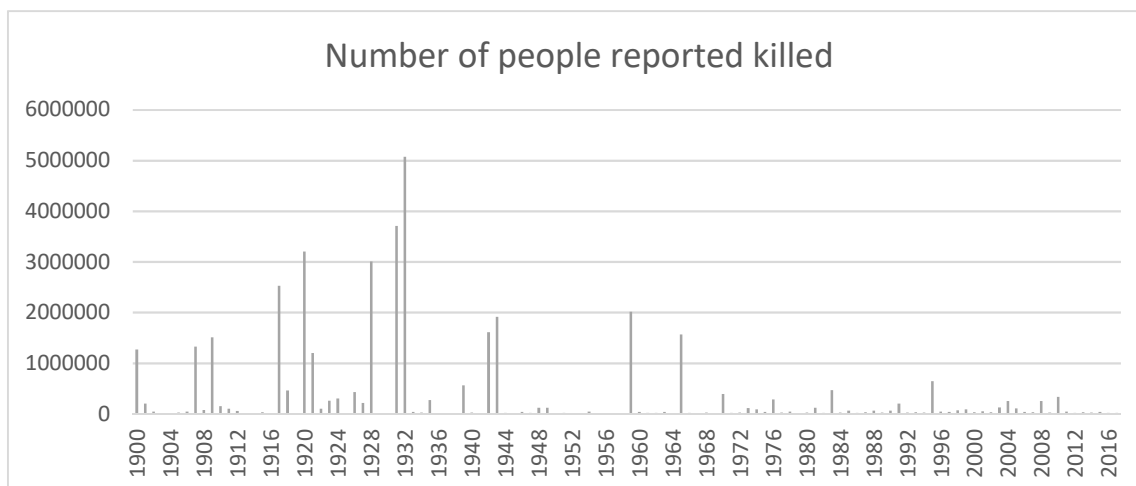


Figure 2: Number of people reported killed between 1900 and 2017. Edited by the author based on [12].

2. ábra: Jelentett halálesetek száma 1900 és 2017 között. Szerkesztette a szerző [12] alapján.

On Figure 2, some interesting things might be marked. There are several years which have significantly huge value (e. g. 1909; 1920; 1932; etc.), while a general decrease may be observed. According to Etkin and McGregor [17], this is due to the improvement of warning system and better health care. However, this paper argues that this improvement was not developed at the same rate, moreover, the previously mentioned data collection is not worldwide standardized even nowadays. The salient elements are caused by some catastrophic events in developed countries, where data collection could be done properly. This kind of events happened previously and later as well, although, countries without proper warning system, health care, and prevention system are not able to practice appropriate data collection either. So, the described decreasing tendency is due to the improvement of warning and disaster prevention system, health care only in countries with efficient emergency and disaster management where data collection may be operated.

A 2. ábrán néhány érdekes adat figyelhető meg. Néhány év jelentősen magas értékkel bír (pl. 1909, 1920, 1932, stb.), miközben megfigyelhető egy általánosan csökkenő tendencia. Etkin és McGregor szerint [17] ez a riasztási és figyelmeztetési rendszer fejlődésének, illetve a jobb egészségügynek köszönhető. Ennek ellenére jelen tanulmány szerint ez a fejlődés nem egyezik meg a statisztikai adatok változásának arányával, sőt, a korábban említett adatgyűjtés sem volt eléggé fejlett a történelem során. A kiugró értékek oka inkább a nagyobb katasztrófaeseményekre vezethető vissza olyan országokban, ahol már abban az időben többé-kevésbé megfelelő adatgyűjtést végeztek. Ilyen események bekövetkeztek már korábban is, viszont a megfelelő tájékoztatással, egészségüggyel és megelőzéssel nem rendelkező országok manapság sem képesek megfelelő adatgyűjtésre. Így a leírt csökkenő tendencia inkább annak tudható be, hogy a megfelelő adatgyűjtést végző államokban javult a tájékoztatás, az egészségügy, és a megelőzési rendszer.

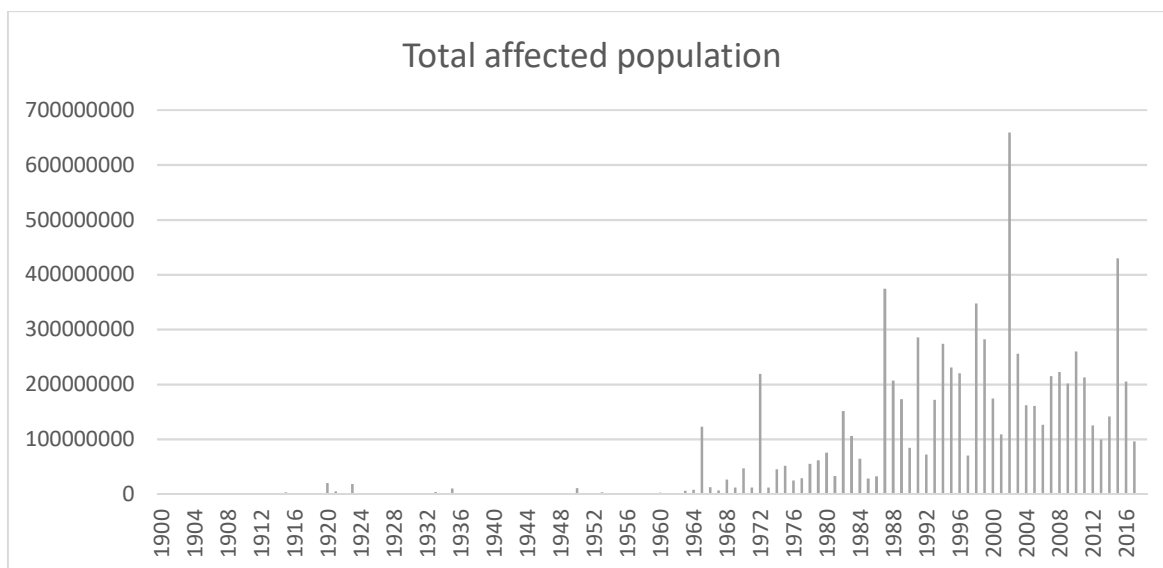


Figure 3: Total affected population between 1900 and 2017. Edited by the author based on [12].

3. ábra. Az összes érintett lakosság 1900 és 2017 között. Szerkesztette a szerző [12] lapján.

Figure 3 shows people affected by disasters, where the trends imply some conclusion unlike our possible expectations. Namely, the term 'affected' in disaster statistics was not used before the 80's, and it became a common, worldwide used term only in the 2000's. Furthermore, as previously mentioned, it is not standardized even nowadays. That is to say that based on these statistics, the only possible identifiable tendency could be the events during the saliently high values (e. g. year 1987; 1998; 2002, 2015 etc.) which probably happened in large or highly populated area. Other trends should be considered with caution.

A 3. ábra mutatja a katasztrófák által érintett lakosságot, ahol az adatok az elvárásainkkal ellentétes tendenciákra utalhatnak. Tudniillik, az 'érintett' kategória a 80-as évek előtt nem volt használatos a katasztrófastatistikákban, általánosan használt kifejezéssé csak a 2000-es években vált. Továbbá, ahogyan korábban említettük, még manapság sem sztenderizált a tartalma. ezáltal elmondható, hogy statisztikára alapozva csak az mondható el, hogy a kimagasló értékek (pl. 1987, 1998, 2002, 2015) magas népsűrűségű területen történtek. Más következtetéseket csak óvatossággal vonhatunk le.

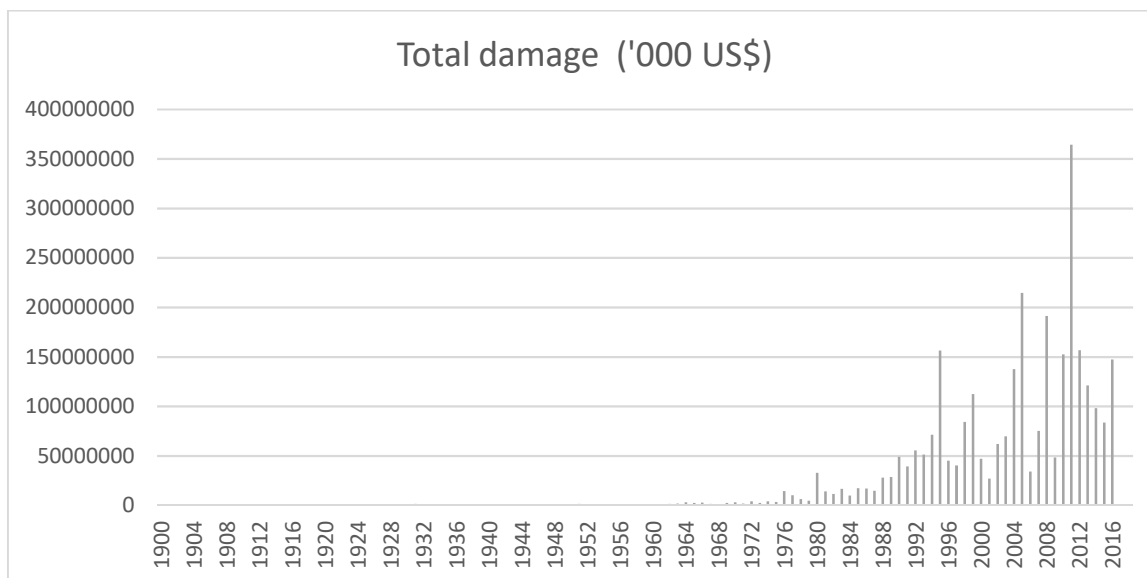


Figure 4: Total damage in 1000 US\$ between 1900 and 2017. Edited by the author based on [12].

4. ábra: Összes kár 1000 dollárban 1900 és 2017 között. Szerkesztette a szerző [12] alapján.

On Figure 1, 2, and 3, the problems regarding to human loss were outlined, on the other hand, Figure 4 presents economic loss. This graph is even more diversified than the previous ones, as even after the 90's, really low and high values may be observed. This means that the peak points can be analyzed as single events, however, global tendencies may not be drawn. One more remark ought to be added: comparison between human and economic loss is not possible. On the one hand, disaster ethics states that firstly the vulnerable population needs to be saved. On the other hand, economic damage is much more measurable, while some industrial and economic interests suggest that at little human loss, protection of economic values must be kept in mind [26] [27]. Due to ethical principle of human life being more valuable, in practice, these ethical problems cannot be solved [28]. That is to say that due to situation, comparing events with different human and economic loss leads to false and truthless results. This kind of statistical outcome might not provide basis for political decision-making, neither for practical disaster management.

Besides, one more significant problem might be mentioned: data collection after disaster events is a new phenomenon, also it is not a common practice all over the world. On the above figures, it can be seen that previously,

Az 1., 2. és 3. ábrán az emberi veszteségekkel kapcsolatos problémákat ábrázoltuk, ezzel szemben a 4. ábrán a gazdasági veszteség látható. A grafikon még a korábbiaknál is változatosabb, mivel a 90-es évektől kezdve rendkívül alacsony és rendkívül magas értékek is megfigyelhetők. Ez azt jelenti, hogy a csúcspontok egyéni értékeként magában értelmezhetők, viszont globális kontextusban nem vizsgálhatók. Egy megjegyzés is szükséges: emberi és gazdasági veszteségeket nem lehet összehasonlítani. Egyfelől a katasztrófaetika szerint elsődlegesen a veszélyeztetett lakosságot kell kimenteni. Másfelől viszont a gazdasági veszteségeket könnyebb mérni, és bizonyos ipari vagy gazdasági érdekek kevés emberi veszteség mellett a gazdasági javak védelmét preferálja [26] [27]. Az emberi élet értékességének etikai alapelve miatt a gyakorlatban ezek az etikai dilemmákon nem lehet felülkerekedni [28]. Ezért elmondható, hogy ebben a helyzetben két eseményt összehasonlítani különböző emberi vagy gazdasági veszteséggel hamis és valótlan eredményekhez vezet. Ez a fajta statisztikai eredmény nem lehet alapja politikai döntéshozatalnak, sem a gyakorlati katasztrófavédelemnek.

Emellett még egy jelentős problémát meg kell említeni: a katasztrófaesemények utáni

less occurrence, deaths, and affected persons were reported. Also, data collection is put into effect by totally different organization in Southeast Asia as e. g. in Western Europe [29] [30]. It implies that comparing different areas or different geographical regions can cause huge differences in disaster reports.

4 Conclusions

Disaster statistics have several problems, mostly due to data collection and methodological issues. There is no standardized measuring method for disaster events. The term disaster itself does not have a unified definition. This means that different organizations, which collect disaster data, have significantly different consideration of catastrophic events all over the world. That makes disaster research excessively difficult.

Additionally, the concepts of ‘death’, ‘affected’, and ‘economic loss’ are not clear either. Thus, the complexity of disaster measuring cannot support disaster management, properly, neither the political, nor the practical level. This research note argues that due to these problems and the lack of worldwide standardization of data interpretation, disaster statistics need to be considered with caution, as well as to be used only for presenting some minor tendencies and trends.

adatgyűjtés egy új jelenség, és nem egy általános globális gyakorlat. A fenti ábrákon látható, hogy korábban kevesebb előfordulást, halálesetet és érintettet jelentettek világszerte. Sőt, jelenleg is az adatgyűjtést is teljesen más szervezet valósítja meg pl. Délkelet-Ázsiában, mint Nyugat-Európában [29] [30]. Ebből következik, hogy különböző területek vagy földrajzi régiók összehasonlítása a katasztrófajelentésekben óriási különbségeket eredményezhet.

4 Konklúzió

A katasztrófastatisztikának számos problémája van, leginkább adatgyűjtési és módszertani okokból kifolyólag. Katasztrófaeseményekhez nem létezik egységes mérési módszer, még a ‘katasztrófának’ sincs egységes definíciója. Ez azt jelenti, hogy különböző szervezeteknek, amelyek katasztrófakockázati adatgyűjtéssel foglalkoznak, teljesen más elképzeléseik vannak a megtörtént katasztrófaeseményekről. Ez a katasztrófa kutatást roppant bonyolulttá teszi. Emellett a ‘haláleset’, ‘érintett’ és ‘gazdasági veszteség’ koncepciója sem egyértelmű. Ezért a katasztrófa mérés összetettsége nem támogathatja megfelelően a katasztrófavédelmet, sem annak politikai, sem annak gyakorlati szintjén. Ez a tanulmány amellett érvel, hogy emiatt a problémák miatt és az adatértelmezés globális sztenderdjének hiányában a katasztrófavédelmi statisztikát mindig óvatossággal kell kezelni, rá alapozva csupán néhány alapvető tendencia állapítható meg.

References / Felhasznált irodalom

- [1] Teknős L. Exploring The Possibilities Of Citizen Preparation For Extreme Weather Events—An International Outlook. *Hadmérnök* 2019; 13:241–60.
- [2] Kuti R, Nagy Á. Weather Extremities, Challenges and Risks in Hungary. *Academic and Applied Research In Military and Public Management Science* 2015; 14:299–306.
- [3] Dobor J, Kuk E, Kóródi G, Kocsis Z. Industrial Safety Analysis of Accidents Involving Ammonia, with Special Regard to Cold-Storage Facilities II. *Academic and Applied Research in Military and Public Management Science* 2016; 15:37–49.
- [4] Endródi I, Teknős L. New possibilities of emergency communication and information in the protection phase of disaster management. *Academic and Applied Research In Military and Public Management Science* 2014; 13:235–49.

- [5] Ambrusz J. The System of Disaster Preparedness in Hungary. In: SENSES-OZYURT S, Klein S, Nemeskéri Z, editors. *Educating for Democratic Governance and Global Citizenship*. San Diego: World Council for Curriculum and Instruction; 2016. page 231–5.
- [6] Teknós L. The Psychological Effects of Extreme Weather Conditions – The Importance of Crisis Intervention in Disaster Management. In: NISP Acee, editor. *Government vs. Governance in Central and Eastern Europe: From Pre-Weberianism to Neo-Weberianism? Presented Papers from the 22nd NISP Acee Annual Conference*. Pozsony: NISP Acee; 2014. page 1–8.
- [7] Plebán JK, Endrődi I. Cross-Border Voluntary Network for Disaster Prevention (Hungary-Slovakia). *International Journal of Engineering Research and Applications* 2018; 8:1–11.
- [8] Perry RW, Quarantelli EL, editors. *What is a disaster? new answers to old questions*. Philadelphia, Pa.: Xlibris; 2005.
- [9] Etkin D. *Disaster theory: an interdisciplinary approach to concepts and causes*. Amsterdam ; Boston: Butterworth-Heinemann; 2016.
- [10] Munich Re Institute. NatCat [Internet]. Available from: <https://natcatservice.munichre.com/>
- [11] Swiss Re Intitute. Sigma [Internet]. Available from: <http://institute.swissre.com/>
- [12] Guha-Sapir D, Below R, Hoyois P. EM-DAT: The CRED/OFDA International Disaster Database [Internet]. Available from: <http://www.emdat.be/>
- [13] Quarantelli EL. Statistical and conceptual problems in the study of disasters. *Disaster Prevention and Management: An International Journal* 2001; 10:325–38.
- [14] Kátai-Urbán L, Érces G, Sibalin I, Vass G. Risk assessment in the field of disaster management in Hungary. In: Branko S, editor. *13. Међународно Саветовање Ризик И Безбедносни Инжењеринг Зборник Радова*. Novi Sad, Serbia: Visoka Technicka Skola (VTS); 2018. page 340–5.
- [15] Rabby MF, Haque DME, Selim M. Flood Inundated Agricultural Damage and Loss Assessment Using Earth Observation Technique. *International Journal of Excellence Innovation and Development* 2018; 1:60–9.
- [16] Centre for Research on the Epidemiology of Disasters. Expert Consultation on Collection and Validation of Economic Data related to Disasters – Agenda [Internet]. Available from: https://www.emdat.be/sites/default/files/Report_list_of_participants_agenda.pdf
- [17] Etkin D, McGregor S. *Disaster Data: A Global View of Economic and Life Loss*. In: Etkin D, editor. *Disaster Theory*. Oxford: Elsevier; 2016. page 23–52.
- [18] Tschoegl L, Below R, Guha-Sapir D. An Analytical Review of Selected Data Sets on Natural Disasters and Impacts [Internet]. 2006; Available from: <https://www.emdat.be/sites/default/files/TschoeglDataSetsReview.pdf>
- [19] Guha-Sapir D, Below R. The Quality and Accuracy Of Disaster Data - A Comparative Analyses Of Three Global Data Sets [Internet]. Available from: http://www.cred.be/sites/default/files/Quality_accuracy_disaster_data.pdf
- [20] Cohen C, Werker E. The Political Economy of “Natural” Disasters [Internet]. 2008; Available from: <https://www.hbs.edu/faculty/Publication%20Files/08-040.pdf>
- [21] Rose A. *Defining and measuring economic resilience from a societal, environmental and security perspective*. New York, NY: Springer Berlin Heidelberg; 2016.
- [22] Plebán JK, Endrődi I. The role of a disaster prevention policy plan in the improvement of the civil protection structures’ work. In: Konferencia Szervezőbizottsága, editor. *11th International Conference on “Environmental Legislation, Safety Engineering and Disaster Management”* Elsedima: Building Disaster Resilience in a Changing World (Book of abstracts). Kolozsvár: Babes-Bolyai University, Faculty of Environmental Science and Engineering; 2016. page 65.

- [23] Clay E, Benson C. Aftershocks: Natural Disaster Risk and Economic Development Policy [Internet]. 2015; Available from: <https://www.odi.org/sites/odi.org.uk/files/odi-assets/publications-opinion-files/2596.pdf>
- [24] Hajdú C, Kuti R. Designing Complex Technical Rescues with a Proprietary Application (Computer Program). *Academic and Applied Research In Military and Public Management Science* 2018; 17:45–52.
- [25] Blanchard BW. Guide to Emergency Management and Related Terms, Definitions, Concepts, Acronyms, Organizations, Programs, Guidance, Executive Orders & Legislation [Internet]. 2007; Available from: [https://training.fema.gov/hiedu/docs/terms and definitions/terms and definitions.pdf](https://training.fema.gov/hiedu/docs/terms%20and%20definitions/terms%20and%20definitions.pdf)
- [26] Kathleen Geale S. The ethics of disaster management. *Disaster Prevention and Management: An International Journal* 2012; 21:445–62.
- [27] Pántya P, Majlingová A, Galla S, Zachar M, Buzalka J. Evaluation of Dynamic Modelling Applications to Support the Disaster Risk Management at Local Level. *Bolyai Szemle* 2015; 3:70–80.
- [28] Restás Á, Pántya P, Horváth L. Disaster management from the viewpoint of fire protection in Hungary: From the effectiveness of fire prevention to the safety of firefighters: Complexity of the firefighters' work in crisis situations. *Advances In Environmental Sciences: International Journal of The Bioflux Society* 2015; 7:272–6.
- [29] Klemensits P. Geopolitical Consequences of the 21st Century New Maritime Silk Road for the Southeast Asian Countries. *Contemporary Chinese Political Economy and Strategic Relations* 2018; 4:107–38.
- [30] Klemensits P. Economic Development or Environmental Protection? The Dilemmas of the Developing Countries through the Case of the Philippines. *European Journal of Sustainable Development* 2019; 8:281–9.

Extinguishing characteristics of water suspensions with carbon nanostructures at extinguishing liquid hydrocarbons fires (oil and gas industry)

Огнетушащие характеристики суспензий воды с углеродными наноструктурами при пожаротушении жидких углеводородов (нефтегазовая отрасль)

Dmitry Toropov ¹, Alexey Ivanov ², Farid Dali ³, Andrey Perlin ^{4,*}, Andrey Lebedev ⁵, Grigory Shidlovsky ⁶

¹ Saint-Petersburg University of the State Fire Service of EMERCOM of Russia; dmitrytoropov2012@yandex.ru

² PhD, Saint-Petersburg University of the State Fire Service of EMERCOM of Russia; spark002@mail.ru

³ PhD, Saint-Petersburg University of the State Fire Service of EMERCOM of Russia; dalee@igps.ru

⁴ Saint-Petersburg University of the State Fire Service of EMERCOM of Russia; perlin@igps.ru

⁵ PhD, Saint-Petersburg University of the State Fire Service of EMERCOM of Russia; lebedev@igps.ru

⁶ PhD, Saint-Petersburg University of the State Fire Service of EMERCOM of Russia; shidlovsky.g@igps.ru

* Corresponding author: perlin.85@mail.ru

Original scientific paper

Received: May 30, 2019; Accepted: June 17, 2019; Published: July 31, 2019

Abstract

The process of fire extinguishing of liquid hydrocarbons by water suspensions with multiwall carbon nanotubes and astralene is investigated. It is shown that dispersion of carbon nanostructures in water intensifies heat exchange in liquids that gives to faster warming up them up to the boiling temperature in the conditions of thermal influence of a flame. During the experiment it is revealed that extinguishment time of liquid hydrocarbons by nanosuspensions is on average 3.5-5.0 times less than extinguishment time of liquid by sprayed water. Existence of carbon nanostructures in water established by the method of atomic and power microscopy. The specific discharge of fire extinguishing agent at suppression of the standardized fire source class "B" is defined. The conclusion is drawn that increase of fire extinguishing efficiency is reached due to high thermal resistance of carbon nanostructures.

Keywords: extinguishing agent; multiwall carbon nanotubes; astralene; superficial tension; vaporization; extinguishment time; specific discharge.

1 Introduction

When extinguishing fires of liquid hydrocarbons with atomized water, splashing and convective entrainment of water droplets occurs and its penetration into a subsurface layer of the burning liquid happens. Low efficiency of using water as fire extinguishing agent is associated with the insufficient heat removal in a burning zone [1].

1 Введение

При тушении пожаров жидких углеводородов распыленной водой происходит разбрызгивание, конвективный унос капель воды, и ее проникновение в подповерхностный слой горячей жидкости. Низкая эффективность применения воды в качестве огнетушащего состава связана с недостаточным теплоотводом в зоне

Wetting agents and additives increase the intensity of heat removal; create a scum on the surface of the burning oil product.

Carbon nanotubes increase thermal conductivity and change the rheological properties of liquids at low concentrations (0.01 ... 1.00 %) [2]. The purpose of research was to determine the fire extinguishing characteristics of water suspensions with carbon nanostructures when extinguishing of a flammable liquid.

2 Material and Methods

Purified multiwall carbon nanotubes (MWCNT) and astralenes in distilled water (DW) were used as the object of research (fig. 1).

MWCNT obtained by catalytic pyrolysis [3]. Parameters of nanoparticles: $d = 25...180$ nanometer, $l = 1...3$ microns. MWCNT purified from the synthesis-by-products according to the method described in [4]. MWCNT was placed in concentrated nitric acid (HNO_3) 65 % (1 g MWCNT to 50 ml HNO_3) and 35 % sulfuric acid (H_2SO_4). After boiling, the oxidized MWCNT was filtered and washed with distilled water until the pH of filtrate become neutral, and dried at 70-80 °C.

Astralenes are obtained by the method of evaporation of graphite anodes in an electric arc discharge [5]. They represent a structure of curved graphite layers with a diameter of 10 ... 150 nm, a distance between graphene layers of 0.336 nm, an average pore size of 20 ... 60 nm. Astralenes are characterized by high thermal stability and, in powder form, are large agglomerates with a size of about 0.5 ... 3 microns [6]. The preparation of suspensions was carried out by dispersing carbon nanostructures with a volume concentration of 0.05-1.60% by volume. in DW when exposed of source of ultrasonic source (power 1.2 kW, frequency 50-60 Hz, processing time 30 min). DW suspensions with a low concentration of MWCNT ($\varphi = 0.01$ vol.%) were used as a testing specimen. The following methods used in the work: atomic force microscopy (AFM) [7]; measurements of the surface tension coefficient by the method of drops detachment [8]; studies of the heating rate of suspensions up to boiling point [9]; measurements of the

горения [1].

Смачиватели и добавки увеличивают интенсивность теплоотвода, создают пленку на поверхности горящего нефтепродукта.

Углеродные нанотрубки повышают теплопроводность и изменяют реологические свойства жидкостей при малых концентрациях (0,01...1,00 об. %) [2].

Целью исследования было определение огнетушащих характеристик суспензий воды с углеродными наноструктурами при тушении пламени легковоспламеняющейся жидкости.

2 Материалы и методы

Функционализированные многослойные углеродные нанотрубки (MWCNT) и астралены в дистиллированной воде (DW) использовались в качестве объекта исследования (рис. 1).

MWCNT получены методом каталитического пиролиза [3]. Параметры наночастиц: $d = 25...180$ нм, $l = 1...3$ мкм. MWCNT отчищали от побочных продуктов синтеза по методике, описанной в [4]. MWCNT помещали в концентрированную азотную кислоту (HNO_3) 65 % (1 г MWCNT на 50 мл HNO_3) и 35 % серной кислоты (H_2SO_4). Окисленные MWCNT после кипячения отфильтровывали и промывали дистиллированной водой до нейтрального pH фильтрата, и высушивали при температуре 70-80 °C.

Астралены получены методом испарения графитовых анодов в электродуговом разряде [5]. Они представляют структуру из изогнутых графитовых слоев, диаметром 10...150 нм, расстоянием между слоями графена 0,336 нм, средний размер пор 20...60 нм. Астралены характеризуются высокой термической устойчивостью и в порошкообразном виде представляют собой крупные агломераты размером порядка 0,5...3 мкм [6].

Подготовку суспензий проводили путём диспергирования углеродных наноструктур с объемной концентрацией

specific heat of evaporation of suspensions [10]; measurements of time of extinguishing standardized fire source class "B", described in [11].

3 Experimental part

Researching of nanostructures in suspension by atomic force microscopy. On the AFM scan of the solid residue, MWCNT represents structures with a diameter of ~ 110 nm and a length of 1–3 microns (Fig. 2a). In the study of the topology of the solid residue of Astralens, cluster of particles 200–300 nm in diameter are observed (Fig. 2, b).

Measurement of surface tension of suspensions. The experimental results showed (Fig. 3) that the surface tension of the suspension DW + MWCNT increases linearly with increasing MWCNT concentration from 0.4 and at a concentration $\varphi = 1.6$ vol. % reaches 30%. For the DW + Astralens suspension, a logarithmic nature of the change of function observed. At the initial stage, a rapid growth of the surface tension coefficient occurs at concentrations of Astralens $\varphi = (0.05 \dots 0.5)$ vol. % relative to the suspension DW + MWCNT, but with a further increase of concentration reaches 25% in comparison with the testing specimen. Earlier, in [12], it was noted that the surface tension of nanofluids based on water increases with increasing concentration of carbon nanostructures.

Study of thermophysical properties of suspensions. During the study of thermophysical properties revealed (Fig. 4), that with an increase of concentration of MWCNT up to 1.0 vol. % there is an insignificant increase of specific heat of evaporation of the suspension DW + MWCNT by 10-15%, but at the same time, the rate of heating up to the boiling point increases linearly up to 50 %. Increase of the specific heat of evaporation of the suspension DW + Astralens with increasing concentration of Astralens up to 0.5 vol. % reaches 20% in comparison with the testing specimen, but with a further increase of concentration it decreases sharply by 30-40%.

At the same time, the kinetics of heating up to the boiling point increases over the entire observed concentration range and reaches 50-

0,05-1,60 % об. в DW при воздействии источника ультразвука (мощность 1,2 кВт, частота 50-60 Гц, время обработки 30 мин). Суспензии DW с малой концентрации й MWCNT ($\varphi = 0,01$ vol. %) применяли в качестве контрольного образца.

В работе применялись методы: атомно-силовой микроскопии (АСМ) [7]; измерения коэффициента поверхностного натяжения методом отрыва капле [8]; исследования скорости нагрева суспензий до температуры кипения [9]; измерения удельной теплоты парообразования суспензий [10]; измерения времени тушения модельных очагов пожара класса «В», изложенной в работе [11].

3 Экспериментальная часть

Исследование наноструктур в суспензии методом атомно-силовой микроскопии. На АСМ-скане твердого остатка MWCNT представляют собой протяженные структуры диаметром ~110 нм, длиной 1-3 мкм (рис. 2,а). В ходе исследования топологии твердого остатка Astr наблюдаются скопления частиц диаметром 200-300 нм (рис. 2,б).

Измерение поверхностного натяжения суспензий. Результаты экспериментов показали (рис. 3), что поверхностное натяжение суспензии DW+MWCNT линейно растет при увеличении концентрации MWCNT с 0,4 и при концентрации $\varphi = 1,6$ vol. % достигает 30 %. Для суспензии DW+Astr наблюдается логарифмический характер изменения функции. На начальной стадии происходит резкий темп рост коэффициента поверхностного натяжения при концентрациях Astr $\varphi = (0,05 \dots 0,5)$ vol. % относительно суспензии DW+MWCNT, но при дальнейшем увеличении концентрации достигает 25 % в сравнении с контрольным образцом.

Ранее в [12] отмечено, что поверхностное натяжение наножидкостей на основе воды возрастает при увеличении концентрации углеродных наноструктур.

Исследование теплофизических свойств суспензий. В ходе исследования

70% at an Astralens concentration of 1.0 vol. %. Thus, an increase of the specific heat of evaporation is caused by an increase of the surface tension coefficient of water suspensions with carbon nanostructures [13].

Measurement of time of extinguishing standardized fire source class "B".

Evaluation of the fire-extinguishing capability of suspensions during the liquidation of the combustion of a flammable liquid was carried out on a laboratory facility described in [11]. The preburn time of a flammable liquid was at least 60 s. The fire extinguishing of the standardized fire source (diameter of the tray is 450 mm, the combustible mixture — motor gasoline with an octane rating of 95 and water in a ratio of 7: 3) was carried out with a sprayed jet of suspension with a droplet diameter of 100-300 μm and pressure of 1.0-1.5 MPa. Extinguishment time was recorded at the time of complete elimination of combustion. For each type of extinguishing agent, 5 tests were conducted, the data were averaged.

During the study of fire extinguishing characteristics revealed (Fig. 5), with increasing concentration of MWCNT up to 1.0 vol. % in suspension DW + MWCNT was observed reduction of the extinguishment time by 70% compared with the testing specimen. The extinguishment time of the suspension DW + Astralens at concentrations up to 0.5 vol. % decreased to 80-90%. An increase of extinguishment time at concentrations $\varphi > 0.5$ (for DW + Astralens) and $\varphi > 1.0$ (for DW + MWCNT) is associated with intense aggregation of nanostructures [3] and leads to a decrease of the fire-extinguishing efficiency of suspensions.

During extinguishing with suspensions of water with carbon nanostructures, more intensive evaporation is observed in the combustion zone as compared with the testing specimen.

4 Results and Discussion

The mechanism of fire extinguishing of liquid hydrocarbons by spraying suspensions of water with a CNS is based on lowering the temperature in the combustion zone to the extinction temperature, at which a sufficient

теплофизических свойств выявлено (рис.4), что при увеличении концентрации MWCNT до 1,0 об. % наблюдается незначительное увеличение удельной теплоты парообразования суспензии DW+MWCNT на 10-15 %, но одновременно с тем, скорость нагрева до температуры кипения линейно возрастает до 50 %. Увеличение удельной теплоты парообразования суспензии DW+Astr при увеличении концентрации Astr до 0,5 об. % достигает 20 % в сравнении с контрольным образцом, но при дальнейшем увеличении концентрации — резко снижается на 30-40 %. При этом кинетика нагрева до температуры кипения возрастает во всем наблюдаемом интервале концентраций и достигает 50-70 % при концентрации Astr 1,0 об. %. Таким образом, увеличение удельной теплоты парообразования, вызвано увеличением коэффициента поверхностного натяжения суспензий воды с углеродными наноструктурами [13].

Измерение времени тушения модельного очага пожара класса «В».

Оценка огнетушащей способности суспензий при ликвидации горения легковоспламеняющейся жидкости проводилась на лабораторной установке, описанной в [11]. Время свободного горения легковоспламеняющейся жидкости составляло не менее 60 с. Тушение модельного очага пожара (диаметр противня 450 мм, горючая смесь — бензин автомобильный с октановым числом 95 и вода в пропорции 7:3) проводилось распыленной струей суспензии с диаметром капель 100-300 мкм и давлением 1,0-1,5 МПа. Время тушения фиксировалось в момент полной ликвидации горения. Для каждого вида огнетушащего вещества проводилось по 5 испытаний, данные усредняли.

В ходе исследования огнетушащих характеристик выявлено (рис. 5), что с ростом концентрации MWCNT до 1,0 об. % в суспензии DW+MWCNT наблюдалось сокращение времени тушения на 70 % в сравнении с контрольным образцом. Время тушения суспензией DW+Astr при концентрациях до 0,5 об. % сократилось до

amount of hydrocarbon vapors, necessary for further combustion, do not evolve.

A significant factor in changing the properties of nanostructures are giant resonances of electromagnetic fields on the surface of nanoparticles [14], which determines a significant change in the properties of nanomaterials with a low concentration of CNS due to van der Waals interactions [15]. The mechanism of heat transfer in suspensions with a CNS is based on the effect of Brownian motion of carbon nanoparticles and the formation of a highly heat-conducting liquid layer at the phase interface “liquid - solid particle”. The boiling process of nanosuspensions depends on the properties of the base fluid, the type and concentration of nanoparticles contained in it, which largely determines the nature of heat and mass transfer with phase transformations, the heat transfer process on the surface of evaporating droplets, and the nature of boiling (film or bubble) in the liquid volume [16]. The phenomenon of evaporation depends on the forces of surface tension in a liquid in the process of breaking the connection between adjacent molecules of the liquid and the movement of molecules into the gaseous medium [12]. It can be concluded that water-based suspensions with CNS are fire extinguishing agents with a predominantly cooling and diluting effect.

When droplets of suspensions get into the combustion area, intense heating to the boiling point occurs, with followed evaporation and cooling of the combustion zone.

With a sufficient amount of water vapor in the combustion zone, flame extinction is observed. Therewith an increase of the specific heat of vaporization leads to an increase of the amount of selected thermal energy from the combustion zone.

Increase Astralens concentration to 0.5 about. % and MWCNT to 1.0 vol. % in suspensions significantly increases the fire extinguishing efficiency of extinguishing agent. A further increase of the concentration of nanoparticles leads to the aggregation of CNS, which reduces the values of the effective thermal conductivity of suspensions and the specific heat of vaporization.

80-90 %. Увеличение времени тушения при концентрациях $\varphi > 0,5$ (для DW+Astr) и

$\varphi > 1,0$ (для DW+ MWCNT) связано с интенсивной агрегацией наноструктур [3] и приводит к снижению огнетушащей эффективности суспензий.

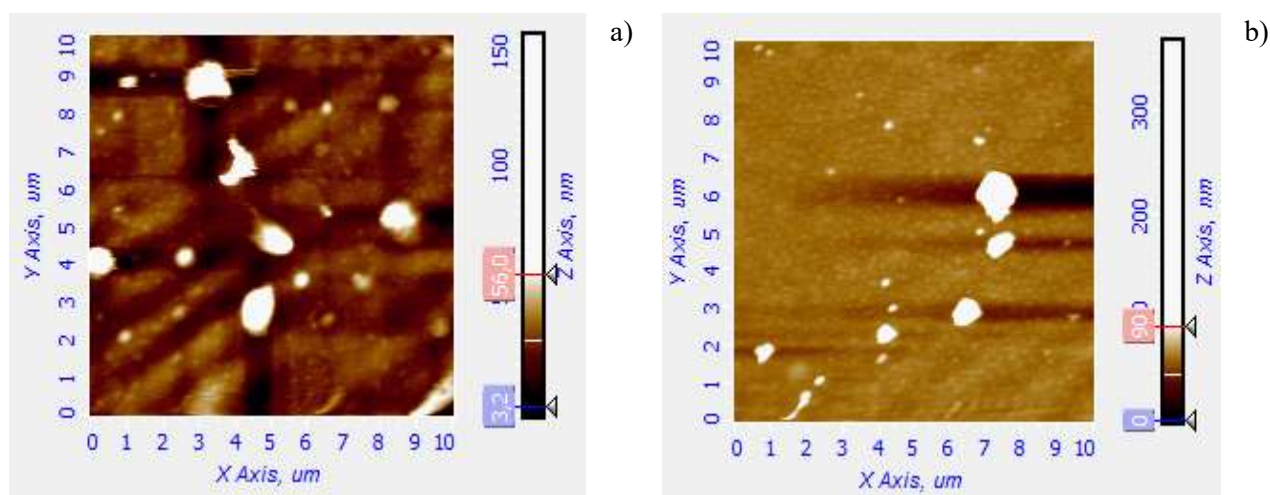
Отмечено, что удельный расход огнетушащего вещества при тушении пожара суспензией DW+ MWCNT снизился в 3,5 раза, а для суспензии DW+ Astr в 4,5-5 раз.

При тушении суспензиями воды с углеродными наноструктурами наблюдается более интенсивное парообразование в зоне горения по сравнению с контрольным образцом.

4 Результаты и Обсуждения

Механизм тушения пожаров жидких углеводородов распыленными суспензиями воды с УНС основан на снижении температуры в зоне горения до температуры потухания, при которой не происходит выделения достаточного количества паров углеводородов, необходимых для дальнейшего продолжения горения. Значимым фактором в изменении свойств наноструктур являются гигантские резонансы электромагнитных полей на поверхности наночастиц [14], что определяет значительное изменение свойств наноматериалов с малой концентрацией УНС за счет ван-дер-ваальсовых взаимодействий [15].

Механизм переноса тепла в суспензиях с УНС основан на влиянии броуновского движения углеродных наночастиц и образования высокотеплопроводного жидкого слоя на границе раздела фаз «жидкость – твердая частица». Процесс кипения наносуспензий зависит от свойств базовой жидкости, вида и концентрации содержащихся в ней наночастиц, что во многом определяет характер тепломассопереноса с фазовыми превращениями, процесс теплоотдачи на поверхности испаряющихся капель, и характер кипения (пленочное или пузырьковое) в объеме жидкости [16].

**Fig. 1** Suspension with carbon nanostructures / Суспензия с углеродными наноструктурами**Fig 2.** AFM-scans of agglomerations of carbon nanostructures during dispersion in the DW:
a – DW+MWCNT; b – DW+Astr

Явление парообразования зависит от сил поверхностного натяжения в жидкости в процессе разрыва связи между соседними молекулами жидкости и перемещения молекул в газовую среду [12].

Можно сделать вывод, что суспензии на основе воды с УНС являются огнетушащими веществами преимущественно охлаждающего и разбавляющего действия. При попадании в область горения капля суспензий происходит интенсивный разогрев до температуры кипения, с последующим испарением и охлаждением зоны горения.

При достаточном количестве паров воды в зоне горения наблюдается потухание пламени. При этом рост значений удельной теплоты парообразования влечет увеличение количества отобранной тепловой энергии из зоны горения.

Увеличение концентрации Astr до 0,5 об. % и MWCNT до 1,0 об. % в суспензиях существенно повышает огнетушащую эффективность ОТВ. Дальнейшее увеличение концентрации наночастиц приводит к агрегации УНС, что уменьшает значения эффективной теплопроводности суспензий и удельной теплоты парообразования.

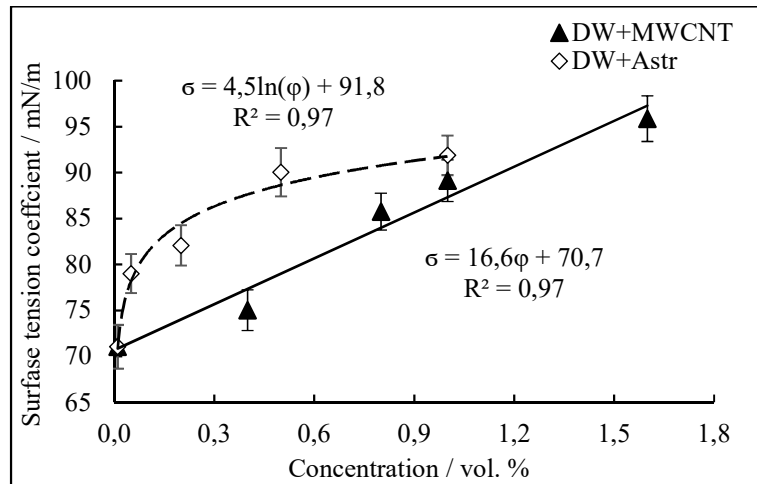


Fig 3. Surface tension suspensions

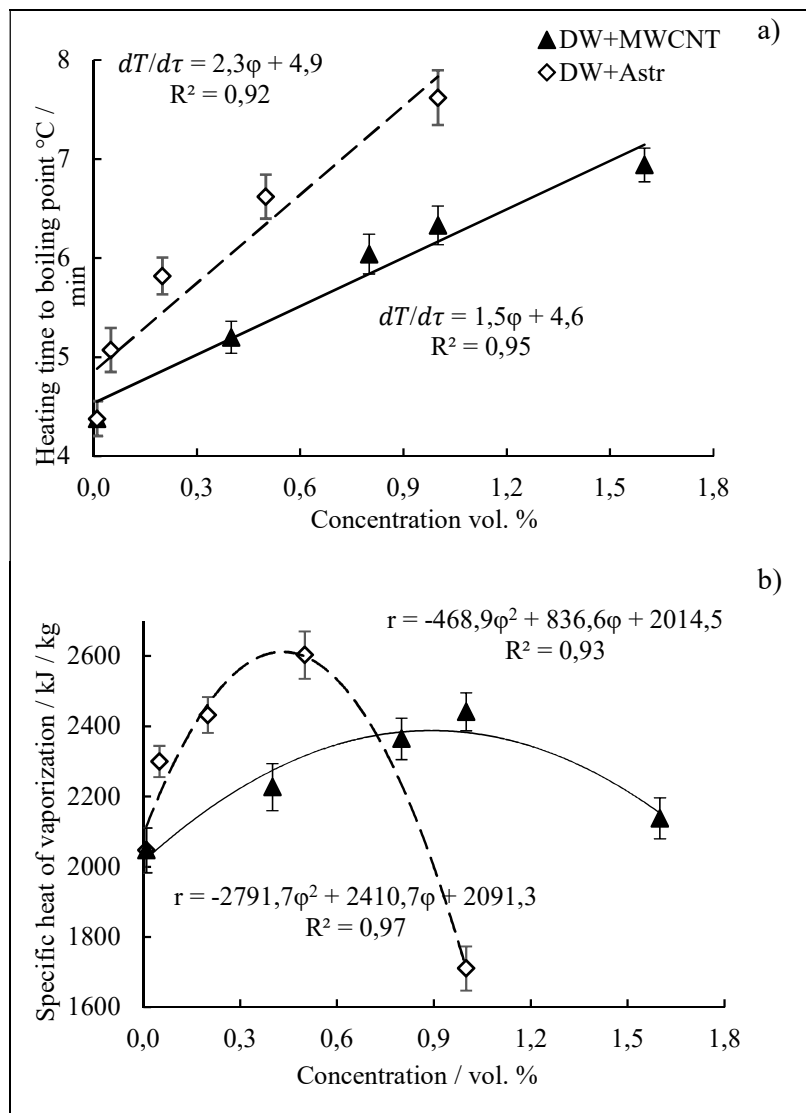
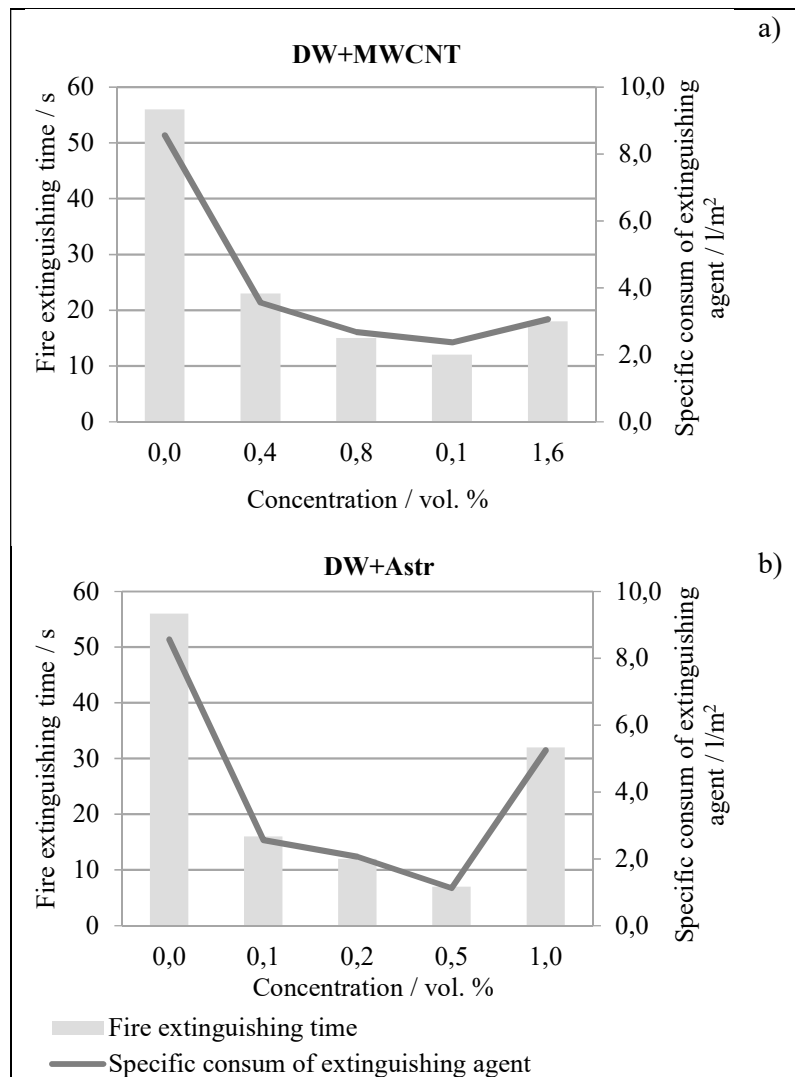


Fig 4. Thermophysical properties of suspensions


Fig. 5. Extinguishing characteristics suspensions

5 Conclusion

The dependence of the specific consumption and time of extinguishing of burning liquid hydrocarbons on the concentration of CNS (MWCNT, astralenes) is obtained. The results indicate that suspensions are effective extinguishing agents for extinguishing burning liquid hydrocarbons at relatively low concentrations of carbon nanostructures. Dispersing of CNS intensifies heat transfer in the sprayed drops of extinguishing agent, which leads to their more rapid heating under conditions of heat exposure against the fire.

5 Выводы

Получена зависимость удельного расхода и времени тушения пламени горящих жидких углеводородов от концентрации УНС (MWCNT, астралены). Результаты свидетельствуют, что суспензии являются эффективными огнетушащими веществами для тушения горящих жидких углеводородов при относительно малой концентрации углеродных наноструктур. Диспергирование УНС интенсифицирует теплообмен в распыленных каплях ОТВ, что ведет к более быстрому их разогреву в условиях теплового воздействия пламени.

References / Литература

- [1]. Nolan D. P. Handbook of fire and explosion protection engineering principles: for oil, gas, chemical and related facilities. – William Andrew, 2014.
- [2] Yu W., Xie H. A review on nanofluids: preparation, stability mechanisms, and applications. Journal of Nanomaterials, 2012, vol. 2012, no. 1, 1 p. DOI: 10.1155/2012/435873.
- [3] Zhao Q., Jiang T., Li C., Yin H. Synthesis of multi-wall carbon nanotubes by Ni-substituted (loading) MCM-41 mesoporous molecular sieve catalyzed pyrolysis of ethanol. Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 2011, vol. 17, no. 2, pp. 218-222. DOI:10.1016/j.jiec.2011.02.009.
- [4] Sun Y. P., Fu K., Lin Y., Huang W. Functionalized carbon nanotubes: properties and applications. Accounts of chemical research, 2002, vol. 35, no 12, pp. 1096-1104. DOI: 10.1021/ar010160v.
- [5] Shames A. I., Katz E. A., Panich A. M., Mogilyansky D., Mogilko E., Grinblat J., Belousov V.P., Belousova I. M., Ponomarev A. N. Structural and magnetic resonance study of astralen nanoparticles. Diamond and Related Materials, 2009, vol. 8, no. 2-3, pp. 505-510. DOI: 10.1016/j.diamond.2008.10.056.
- [6] Ponomarev A., Iudovich M. Multi-layered carbon nanoparticles of the fulleroid type. US Patent N 9,090,752. 28 Jul, 2015.
- [7] Voigtländer B. SCANNING PROBE MICROSCOPY. – SPRINGER-VERLAG BERLIN AN, 2016. DOI 10.1007/978-3-662-45240-0.
- [8] Ding Y., Alias H., Wen D., Williams R. A. Heat transfer of aqueous suspensions of carbon nanotubes (CNT nanofluids). International Journal of Heat and Mass Transfer, 2006, vol. 49, no. 1-2, pp. 240-250. DOI: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2005.07.009.
- [9] Khaleduzzaman S. S., Mahbulul I. M., Shahrul I. M., Saidur R. Effect of particle concentration, temperature and surfactant on surface tension of nanofluids. International Communications in Heat and Mass Transfer, 2013, vol. 49, pp. 110–114. DOI:10.1016/j.icheatmasstransfer.2013.10.010.
- [10] Suriyawong A., Wongwises S. Nucleate pool boiling heat transfer characteristics of TiO₂-water nanofluids at very low concentration. Experimental Thermal and Fluid Science, 2010, vol. 34, no. 8, pp. 992–999. DOI: 10.1016/j.expthermflusci.2010.03.002.
- [11] Ivanov A.V., Toropov D. P., Ivakhnyuk G. K., Kuzmin A. A., Fedorov A.V. Investigation of the fire extinguishing properties of water and hydrogels with carbon nanostructures at the elimination of burning oil. // Pozharovzryivobezopasnost / Fire and Explosion Safety. — 2017. — T. 26. — №. 8. — P. 31-34. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.08.31-44.
- [12] Tanvir S., Qiao L. // Nanoscale research lett., 2012., V. 7. No. 1. P. 226–236. DOI: 10.1186/1556-276X-7-226.
- [13] Amiri A., Shanbedi M., Amiri H., Zeinali H.S., Kazi S. N., Chew B. T., Eshghi H. // Appl. Therm Eng. 2014. V. 71. No.1. P. 450 – 459. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2014.06.064.
- [14] Ponomarev A. N., Yudovitch M. E., Gruzdev M. V., Yudovitch V. M. A nonmetallic nanoparticles in a superficial electromagnetic field. Topological factor of mesostructures interference. Voprosy materialovedeniya / Material issues, 2008, vol. 60, no. 4, pp. 59-64. URL: <http://www.crismprometey.ru/science/editions> (in Russian).
- [15] Dzyaloshinsky I. E., Lifshits E. M., Pitaevsky L. P. The General Theory of the Van der Waals Forces. Uspekhi Fizicheskikh Nauk / Successes of physical sciences, 1961, no. 3, vol. 123, pp. 381-422 (in Russian).
- [16] Das S. K., Choi S. U. S., Yu W., Pradeep T. Nanofluids: science and technology. John Wiley & Sons, 2007, 397 p. DOI: 10.1002/9780470180693.ch1.
- [17] F. Dali, A. Perlin. Special equipment of vehicles and mobile control post for fire extinguishing oil

and gas industry. Scientific Journal FIRE PROTECTION & SAFETY (Delta) 12(23): 1-10, 2018 DOI: 10.17423/delta.2018.12.2.52. https://kpo.tuzvo.sk/sites/default/files/delta_122_2018_final.pdf

[18] F. Dali, A. Ivanov. Proc. Earth in a Trap? 2018 Analytical Methods in Fire and Environmental Sciences. International Scientific Conference. Reduction of fire risk indicators at oil and gas industry by use modified water-gel compositions for thermal protection of oil products tanks. May 23 – 25, 2018. Technical University in Zvolen, Slovak Republic, Department of Fire Protection.pg.79-85. https://kpo.tuzvo.sk/sites/default/files/earth_in_a_trap_2018.pdf

[19] F. Abdulaliev , Proc. 1th Fire Protection, Safety and Security 2017. Conf., Scientific, Electrophysical method of improving the fire-extinguishing and heat-shielding characteristics of water-based materials, 03-05 May., 2017; Technical University in Zvolen. C. Slovak Republic, Department of Fire Protection. pg. 86-92. WoS №.000417346400011.

Calculation of critical intensity of radiant flux for definition of fire hazard area using numerical iteration methods and software application

Výpočet kritické intenzity sálavé tepelné složky pro vymezení požárně nebezpečného prostoru za použití numerických iteračních metod a softwarové aplikace

Václav Petráš^{1,*}

¹ Technical University of Ostrava, Faculty of Safety Engineering, Lumírova 13/630, 700 30 Ostrava-Výškovice, Czech Republic; v.petras@email.cz

* Corresponding author: v.petras@email.cz

Original scientific paper

Received: June 10, 2019; Accepted: July 02, 2019; Published: July 31, 2019

Abstract

The extent of the fire hazard area from open fire areas in the perimeter of structures significantly limits the use of space close to the structure, affects the location of buildings, escape routes, construction economy, structure's use and many other contexts. This generally applies to both new buildings and renovations. The article describes the search for points of fire hazard area boundary more efficiently and for finding a suitable approximation to the critical node with critical intensity at the boundary of the fire hazard area uses advanced mathematical methods and the application of numerical iterative methods for the exact definition of the fire hazard area from the open fire areas. Subsequently, the data were used to create a software tool for the accurate determination of fire hazard areas. Aside from speed and reduction in fire hazard area visible at first glance compared to simplified solution, a giant benefit is also the economic potential in the areas of radiant component impact on persons within escape routes, radiant component impact on flammable materials and structures, EW/EI glass structure plans, determination of mutual building distance, overlap of fire hazard areas on other property or in mutually influencing fire sections.

Keywords: Fire hazard area, radiation, numerical iteration method, Lambert law

1 Introduction

The calculation of clearance distances and the definition of the fire hazard area is one of the key tasks of fire prevention with consideration towards the completion of requirements for ensuring the fire safety of buildings. It concerns these areas in particular:

- the impact of radiant component on persons for example within escape routes,
- mutual clearance distances between buildings,

1 Úvod

Výpočet odstupových vzdáleností a vymezení požárně nebezpečného prostoru je jeden z klíčových úkolů požární prevence s ohledem na splnění požadavků na zajištění požární bezpečnosti staveb. Jde zejména o tyto oblasti:

- dopad sálavé složky na osoby např. na únikových cestách,
- vzájemné odstupy staveb,

- building placement,
- the impact of radiant component on flammable materials and structures,
- mutual influence of fire sections,
- proposal of glass structures (cheaper type EW instead of EI),
- the overlap of fire hazard space.

To define the fire hazard area from the open fire areas we use the radiant component as a basis. This component can transfer fire over fairly large distances and threaten for example neighbouring structures, fire sections, escaping persons, animals, etc. The clearance distance from the open fire area is determined using traditional procedure based on the construction system fire risk and the percentage of open fire areas. Subsequently, the fire hazard area with a potential risk of fire transfer, is defined. If we pass over this practical, simplifying point of view and if we are to prevent fire transfer and the ignition of flammable materials, it is necessary for the intensity of the radiant component to be lower than the critical intensity value. The methodology of defining clearance distances was seen as key already in former Czechoslovakia and was incorporated into norms in the 1970s. Those norms derived knowledge especially from experimental researches abroad. Between years 1976 and 1979 an extensive experimental program aiming to refine the basis for the creation of clearance distance norms also took place at the Research Institute of Structural Engineering in Prague [9]. During these years 45 fire tests in total were realized, 29 of which were aimed at detailed monitoring of the intensity of radiant components from open fire areas [9]. The tests simulated a fully developed fire and records of these tests, as well as numeric simulations, provided valuable knowledge and information. Materials gained by this program were additionally evaluated for several years starting in 1980, and furthermore the methodology for the determination of fire intensity within a burning area, which influences the definition of clearance distances through the radiant component, was refined. Experiments of this magnitude are even today valuable source of information and the basis for the ever more refined defining of fire hazard area using computer technology. Determination of the

- umístění staveb,
- dopad sálavé složky na hořlavé materiály a konstrukce,
- vzájemné ovlivňování požárních úseků,
- návrh prosklených konstrukcí (levnější typ EW místo EI),
- přesah požárně nebezpečného prostoru.

Pro vymezení požárně nebezpečného prostoru od požárně otevřených ploch vycházíme ze sálavé složky, která dokáže přenést požár na poměrně velké vzdálenosti a ohrozit tak např. sousední objekty, požární úseky, unikající osoby, zvířata apod. Tradičním postupem se zjistí odstupová vzdálenost od požárně otevřené plochy a to na základě požárního rizika, konstrukčního systému a procenta požárně otevřených ploch. Následně se vymezení požárně nebezpečný prostor ve kterém je potenciální riziko přenesení požáru. Pokud pomineme tento praktický, zjednodušující pohled a pokud máme zabránit přenesení požáru a zabránit vznícení hořlavých materiálů, je nutné, aby intenzita sálavé složky byla nižší než hodnota kritické intenzity. Již v bývalém Československu byla metodika určování odstupových vzdáleností vnímána jako klíčová a začleněna do normativů v 70. letech 20. století. Tehdejší normativy čerpaly poznatky zejména ze zahraničních experimentálních výzkumů. Mezi lety 1976-1979 se i ve Výzkumném ústavu pozemních staveb v Praze realizoval rozsáhlý experimentální program s cílem zpřesnění podkladů pro tvorbu normativů odstupových vzdáleností [9]. V průběhu těchto let bylo uskutečněno celkem 45 požárních zkoušek z nichž 29 bylo zaměřeno na podrobné sledování a monitoring intenzity sálavé složky od požárně otevřených ploch [9]. Zkoušky simulovaly plně rozvinutý požár a záznam z těchto zkoušek a numerické simulace poskytly cenné poznatky a informace. Podklady získané z tohoto programu byly ještě od roku 1980 a v průběhu několika následujících let vyhodnocovány a dále probíhalo zpřesňování metodiky pro určení intenzity požáru v hořícím prostoru, který má vliv na stanovení odstupových vzdáleností prostřednictvím sálavé složky. Experimenty tohoto rozsahu jsou i dnes cenným zdrojem informací a podkladem pro zpřesňující vymezení požárně

border of the fire hazard area was with regard to simplicity of the practical use simplified to a formation marked by a parallel with the open fire area within the established clearance distance, on the sides marked by cylindrical areas with deflection of 20° - see Fig.1.

The norms allowed a more detailed determination of the fire hazard area, however with the knowledge that this solution is complicated and very time consuming.

nebezpečného prostoru s využitím výpočetní techniky. Vymezení hranice požárně nebezpečného prostoru bylo s ohledem na jednoduchost praktického použití zjednodušeno na útvar ohraničený rovnoběžkou s požárně otevřenou plochou ve stanovené odstupové vzdálenosti, po stranách ohraničený válcovými plochami s odklonem 20° - viz. Obr.1.

Podrobnější vymezení hranice požárně nebezpečného prostoru normativy připouštěly, ovšem s tím, že jde o řešení složité a časově velmi náročné.

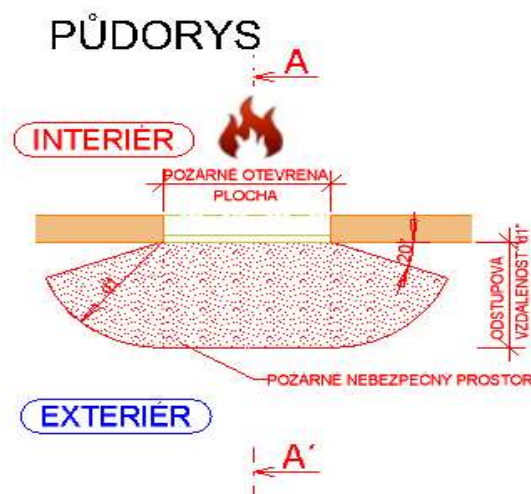


Fig. 1 Simplified determination of the fire hazard area from the open fire area.

Obr. 1 Zjednodušené vymezení požárně nebezpečného prostoru od požárně otevřené plochy.

2 Material and Methods

Stefan – Boltzmann law defines radiation intensity as directly proportional to absolute temperature of a body, hence we can express intensity of a radiant component from a burning object as:

$$I = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \quad (\text{kW.m}^{-2}) \quad (1)$$

where:

ε ...body emissivity (-),

σ ...Stefan-Boltzmann constant

$5,67 \cdot 10^{-8} \text{ (W.m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4})$,

T ...absolute body temperature,

i.e.. $T = T_n + 273 \text{ (K)}$,

T_n ...temperature within a burning area ($^\circ\text{C}$).

During a fire, temperature T_n in a burning area changes as time progresses, usually in the range from approx. 20°C to approx. 1200°C depending on the fire risk, which we normatively express with computing fire load p_v

2 Materiál a metody

Stefan – Boltzmannův zákon definuje intenzitu sálání přímo úměrnou absolutní teplotě tělesa, pak můžeme intenzitu sálavé složky z hořícího objektu vyjádřit jako:

kde:

ε ...emisivita tělesa (-),

σ ...Stefan-Boltzmannova konstanta

$5,67 \cdot 10^{-8} \text{ (W.m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4})$,

T ...absolutní teplota tělesa,

tj. $T = T_n + 273 \text{ (K)}$,

T_n ...teplota v hořícím prostoru ($^\circ\text{C}$).

Teplota při požáru v hořícím prostoru T_n se mění v průběhu času, zpravidla od cca 20°C do cca 1200°C a to v závislosti na požárním riziku, které normově vyjadřujeme

[kg.m⁻²] or with equivalent fire duration period τ_e [min.].

We can find out the temperature within space and time t by performing a detailed gas analysis, using a parametric solution of with the help of simpler nominal scenarios. To establish T_n we use normative fire scenario – nominal temperature curve ISO 834:

$$T_n = 20 + 345 \cdot \log_{10}(8t + 1) \quad (^\circ\text{C}) \quad (2)$$

To establish critical radiation intensity, i.e. the value of radiant component I_0 landing on flammable material, a sample of wood, a common building material, was chosen as a representative. Threshold value I_0 for wood is expressed by value 18,5 kW.m⁻² [9]. The value of critical radiation intensity I_0 differs depending on the desired computation. The value is different for example when computing radiant component towards escaping persons, stored materials, etc., where the I_0 value is lower. After that we search for the distance where the radiation intensity I falls to the value of critical radiation intensity I_0 . Most engineering tasks rest in the solution to so called surface radiator. It represents open fire areas (common filler material such as a window or door). Radiation intensity by itself is then dependent on the shape and mutual positioning of the radiator and the irradiated place. This state is illustrated in Fig.2.

výpočtovým požárním zatížením p_v [kg.m⁻²] nebo ekvivalentní dobou trvání požáru τ_e [min.].

Teplotu v prostoru a čase t můžeme získat podrobnou analýzou plynů, parametrickým řešením nebo pomocí jednodušších nominálních scénářů. Pro stanovení T_n použijeme normový požární scénář – nominální teplotní křivku ISO 834:

Pro stanovení kritické intenzity sálání, tj. hodnoty sálavé složky I_0 dopadající na hořlavý materiál byl jako reprezentant stanoven vzorek dřeva, tedy častý materiál staveb. Mezní hodnota I_0 pro dřevo je vyjádřena hodnotou 18,5 kW.m⁻² [9]. Hodnota kritické intenzity sálání I_0 se liší podle požadovaného výpočtu. Hodnota je odlišná např. při výpočtech sálavé složky vůči unikajícím osobám, skladovanému materiálu apod., kdy je hodnota I_0 nižší. Následně hledáme vzdálenost při které poklesne intenzita sálání I na hodnotu kritické intenzity sálání I_0 . Většina inženýrských úloh spočívá v řešení tzv. plošného zářiče. Ten představuje požárně otevřenou plochu (běžná výplň jako je okno či dveře). Samotná intenzita sálání je následně závislá na tvaru a vzájemné orientaci zářiče a ozařovaného místa. Tento stav znázorňuje Obr. 2.

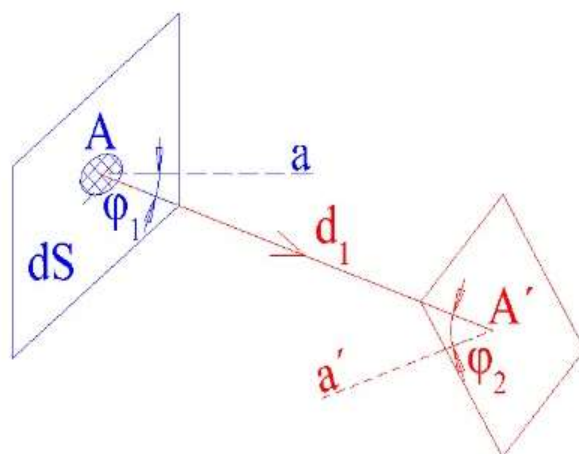


Fig. 2 Spatial dependence of the radiator and irradiated point in 3D.

Obr. 2 Prostorová závislost zářiče a ozařovaného bodu ve 3D.

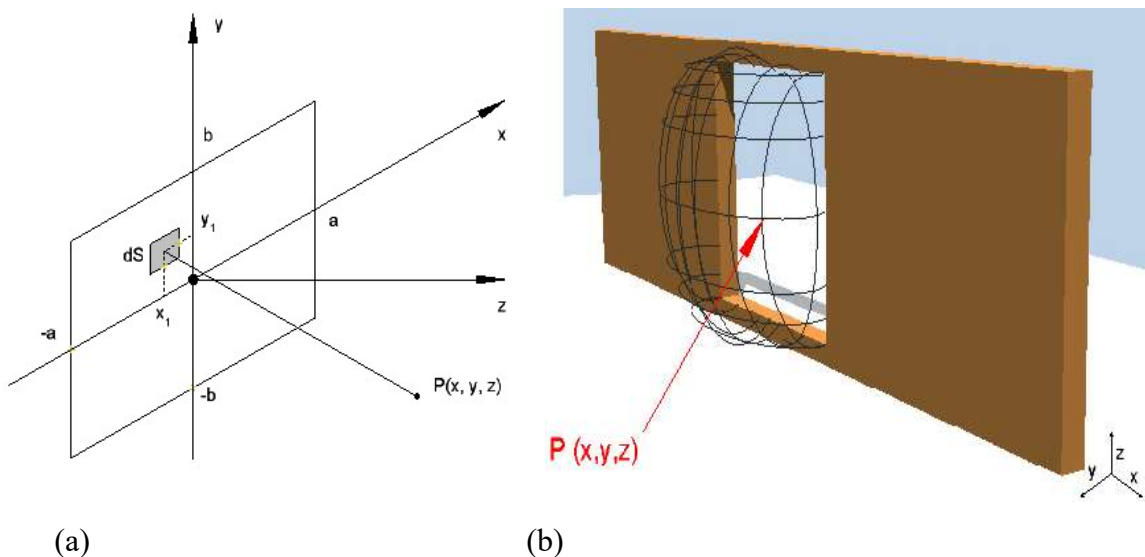


Fig. 3 The relationship between the radiator and irradiated point: (a) Computational model; (b) Spatial model

Obr. 3 Vztah mezi zářičem a ozařovaným bodem: (a) Výpočtový model; (b) Prostorový model

Radiant component intensity is expressed as radiant power per spatial angle unit and thus we can write:

Intenzita sálavé složky je vyjádřena jako zářivý výkon na jednotku prostorového úhlu a proto můžeme psát:

$$I_0 = \frac{dq}{\cos\theta \cdot dA_1 \cdot d\Omega} \tag{3}$$

Then we express radiation power and intensity with following equation:

Sílu a intenzitu záření pak vyjádříme vztahem:

$$I_0 = \frac{E}{\pi} = \frac{\varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4}{\pi} \tag{4}$$

Now we are searching coordinates of a point lying on a curve which defines the border of fire hazard area at known threshold critical value I_0 – see Fig.3. Radiant component intensity around the open fire area in arbitrary point P – Fig.3(a) is expressed in accordance with Lambert law as:

Nyní hledáme souřadnice bodu, ležícího na křivce definující hranici požárně nebezpečného prostoru při známé mezní hodnotě kritické I_0 – viz. Obr.3. Intenzita sálavé složky okolo požárně otevřené plochy v libovolném bodě P - Obr. 3(a) se vyjádří podle Lambertova zákona jako:

$$I(x, y, z) = \int_s \frac{I_0 \cdot \cos\theta}{r^2} dS \tag{5}$$

In the following need of a definition of irradiated point P we use as a basis variables x, y, z in equation (5), which describe the position of irradiated point P and x_l, y_l define the position of element dS . Thus we must find a surface Ω where the following applies:

$$I(x, y, z) = I_r, \text{ pro všechny } (x, y, z) \in \Omega \quad (6)$$

i.e. I in (x, y, z) for coordinates $(x, y, z) \in \Omega$, where I_r is the desired radiant component intensity threshold value see Fig.3. Equation (5) can be rewritten into the following form:

$$H(u) = 0 \quad (7)$$

where $u = (x, y, z)$ and

Při následné potřebě definice ozářeného bodu P vyjdeme z proměnných x, y, z ve vztahu (5), které nám popisují umístění ozářeného bodu P a x_l, y_l definují pozici prvku dS . Musíme proto najít takový povrch Ω , kde platí:

tj. I v (x, y, z) pro souřadnice $(x, y, z) \in \Omega$, kde I_r je požadovaná hraniční hodnota intenzity sálavé složky viz. Obr. 3. Rovnice (5) může být přepsána do tohoto tvaru:

kde $u = (x, y, z)$ a

$$H(u) = I_r - \int_S \frac{I_0 \cdot \cos \theta}{r^2} dS \quad (8)$$

For the determination of a specific point of searched specific intensity we use numerical iteration methods. Iteration methods [1], [2], [3] are used for a broad range of computations of non-linear systems. They are usually used for equations of the following form:

Pro nalezení konkrétního bodu o hledané určité intenzitě využijeme numerické iterační metody. Iterační metody [1], [2], [3] se používají pro širokou škálu výpočtů nelineárních soustav. Většinou se používají pro rovnice tohoto tvaru:

$$H(u) = 0, H: \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}^p \quad (9)$$

The principle of iteration method is very simple: to calculate part of a number of solutions close to one solution, then to choose a different solution from this set and to repeat the whole process. In case this new step covers new part of possible solutions, the calculation moves forward. Therefore, the following questions form the basis:

- how to calculate possible solutions close to point u_i : ($F(u_i) = 0$),
- how to select a new point,
- how to avoid calculating the same part.

Princip iterační metody je velmi jednoduchý: vypočítat část z množství řešení blízkých jednomu řešení, poté vybrat jiné řešení z tohoto souboru a celý proces opakovat. Pokud tento nový krok pokryje novou část možných řešení, výpočet postupuje kupředu. Takže základem jsou otázky:

- jak vypočítat možná řešení blízko bodu u_i : ($F(u_i) = 0$),
- jak vybrat nový bod,
- jak se vyhnout počítání té samé části.

There are many approaches towards reaching the final, desired solution. Various methods of numerical iteration thus also differ depending on these approaches. When using pseudo arc-length iteration method we can view equations (9) as equations describing the curve precisely defined by an implicit value.

Let's assume that we have a point $u_0 \in R^{n+1}$, therefore $H(u_0) = 0$

Projection H represents curve $c(s)$. We will attempt to find point sequence $u_1, u_2 \dots u_i$, approaching this curve so that $\|H(u_i)\| < \varepsilon$ for sufficiently small ε . Let's further assume, that we have a tangent vector $t_i = t(H'(u_i))$. Curve $c(s)$ is defined here according to Cauchy in the following form:

$$\dot{v} = t(H'(u_i)) \quad (10)$$

$$v(0) = u_0 \quad (11)$$

This task can be solved using predictor-corrector method. We will select indicator of the type Euler in the following form:

$$\tilde{u}_{i+1} = u_i + ht_i \quad (12)$$

Corrector is of Newton type with the first initial approximate estimation:

$$U^{k+1} = \tilde{u}_{i+1} \quad (13)$$

Because matrix H' is not usually a square matrix, it is not possible to use Newton method in its standard form:

$$F^{k+1} = U^k - (F'(U^k))^{-1} F(U^k) \quad (14)$$

We need to add an additional equation:

Je mnoho přístupů jak ke konečnému, hledanému řešení dospět. Různé metody numerické iterace se pak podle těchto přístupů i odlišují. Při využití pseudo arc-length iterační metody můžeme rovnice (9) chápat jako rovnice popisující křivku přesně určenou implicitní hodnotou.

Předpokládejme, že máme bod $u_0 \in R^{n+1}$, takže $H(u_0) = 0$

Zobrazení H představuje křivku $c(s)$. Zkusíme najít posloupnost bodů $u_1, u_2 \dots u_i$, přibližujících se této křivce tak, že $\|H(u_i)\| < \varepsilon$ pro dostatečně malé ε . Dále předpokládejme, že máme tečný vektor $t_i = t(H'(u_i))$. Křivka $c(s)$ je zde definována podle Cauchyho ve tvaru:

Tato úloha se může řešit s použitím predictor-corrector metody. Indikátor vybereme typu Euler ve tvaru:

Korektor je Newtonova typu s prvním počátečním přibližným odhadem:

Protože matice H' obvykle není čtvercová matice, není možné použít Newtonovu metodu ve standardním tvaru:

Potřebujeme přidat dodatečnou rovnici:

$$g(u) = 0 \quad (15)$$

In case of pseudo arc-length iteration the condition is defined as:

V případě pseudo arc-length iterace je podmínka definovaná jako:

$$g(u) = \langle u - U^0, t_i \rangle \quad (16)$$

This condition expresses the fact that we are finding a new point in a hyperplane perpendicular to a tangent vector. Now we can already write:

Tato podmínka vyjadřuje skutečnost, že nalézáme nový bod v nadrovině kolmé k tečnému vektoru. Nyní již můžeme napsat:

$$F'(U^k)(U^{k+1} - U^k) = -F(U^k) \quad (17)$$

where :

kde :

$$F(U) = \begin{pmatrix} H(U) \\ \langle u - U^0, t_i \rangle \end{pmatrix} \quad (18)$$

and

a

$$F'(U) = \begin{pmatrix} H'(U) \\ t_i^T \end{pmatrix} \quad (19)$$

After designation $\delta = \langle u - U^0, t_i \rangle$, we receive a set of equations $n+1$ for $n+1$ unknown variables in the following form:

Po označení $\delta = \langle u - U^0, t_i \rangle$ obdržíme soustavu rovnic $n + 1$ pro $n + 1$ neznámých ve tvaru:

$$\begin{pmatrix} H'(U^k) \\ t_i^T \end{pmatrix} \delta = - \begin{pmatrix} H'(U^k) \\ 0 \end{pmatrix} \quad (20)$$

After resolving this equation set for δ we receive the next point as:

Po vyřešení tohoto souboru rovnic pro δ dostáváme další bod jako:

$$U^{k+1} = U^k + \delta \quad (21)$$

Furthermore, we establish new tangent vector t_{i+1} . This vector must be perpendicular to matrix series $H'(u_{i+1})$ and must keep their direction. This eventually leads to following equation set:

Dále určíme nový tečný vektor t_{i+1} . Tento vektor musí být kolmý k řadám matic $H'(u_{i+1})$ a musí zachovávat směr. Toto následně vede k souboru rovnic:

$$\begin{pmatrix} H'(U_{i+1}) \\ t_i^T \end{pmatrix} \bar{t}_{i+1} = - \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} \quad (22)$$

The last step is bringing the new tangent vector into normal:

Posledním krokem je uvedení do normálu nový tečný vektor:

$$t_{i+1} = \frac{\bar{t}_{i+1}}{\|\bar{t}_{i+1}\|} \bar{t}_{i+1} \quad (23)$$

Pseudo arc-length method principle and one step is illustrated in Fig.4:

Princip metody Pseudo arc-length a jeden krok zobrazuje Obr. 4:

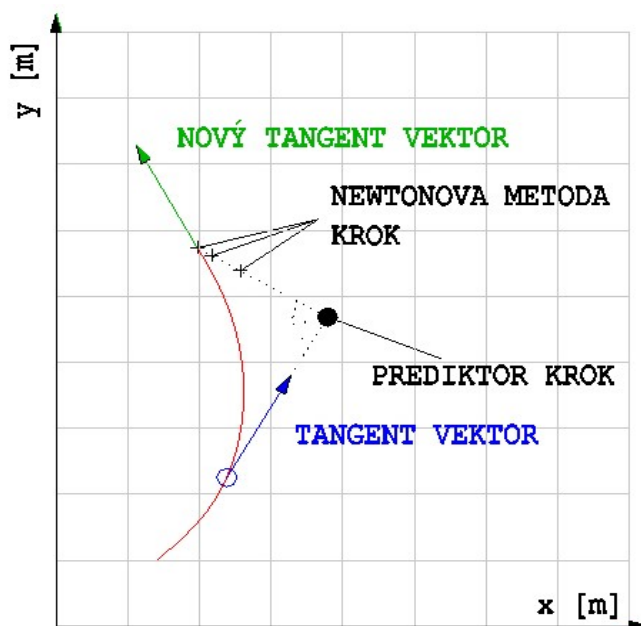


Fig. 4 Pseudo Arc-length method – principle

Obr. 4 Pseudo Arc-length metoda - princip

3 Results and Discussion

3 Výsledky a diskuse

The Radiation theory is elaborated in scientific publications, for example [6], [7], [8]. Publication [8] in particular and publication [7] partially also served as a basis for Ing. Vladimír Reichl, DrSc, when he elaborated his doctoral thesis and fire safety norms in a part concerning clearance distances. These scientific publications from abroad also served as a basis for domestic publications “Preventing damages” No. 11, 12, 13 by Ing. Vladimír Reichl, DrSc, which are also dedicated to the radiant component and defining of fire hazard area, for example in No. 12, pgs. 47 – 67.

Teorie sálání je zpracovaná ve vědeckých publikacích např. [6], [7], [8]. Zejména pak publikace [8] a částečně [7] sloužila také jako podklad Ing. Vladimíru Reichlovi, DrSc., při zpracování jeho doktorské práce a normativů požární bezpečnosti v části věnující se odstupovým vzdálenostem. Z těchto vědeckých zahraničních publikací rovněž vycházely domácí publikace Ing. Vladimíra Reichla, DrSc. Zabraňujeme škodám č. 11, 12, 13, kde je věnován prostor sálavé složce a vymezení požárně nebezpečného prostoru, např. v č. 12, str. 47-67.

The basis of these publications is the Stefan – Boltzmann law (1) and Lambert – Kosin law, where:

Základem těchto publikací je Stefan-Boltzmannův zákon (1) a Lambert-Kosinův zákon, kde:

$$dI_0 = dS \cdot \cos \alpha_1 \cdot \cos \alpha_2 \cdot \varepsilon \cdot \sigma \cdot \theta^4 \tag{24}$$

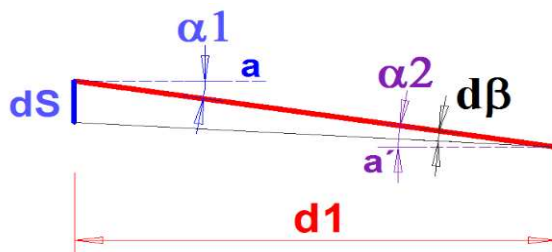


Fig. 5 The relationship between the radiator and the irradiated point in 2D

Obr. 5 Vztah zářiče a ozářeného bodu 2D

and furthermore, also for surface S (with constant angle, because of neglectability of changes) in point A' the following relation applies:

a následně i pro plochu S (s konstantním úhlem, pro zanedbatelnost změn) v bodě A' platí:

$$I_0 = I \int_a^S \cos \alpha_2 \cdot d\beta \tag{25}$$

Because radiation intensity between the radiator and the receiver (points A and A') is dependent on the shape of the object and relative distance, so called position factor Φ is introduced and the following relation applies:

Protože intenzita sálání mezi zářičem a příjemcem (bodem A a A') závisí na tvaru tělesa a poměrné vzdálenosti, zavádí se t.zv. polohový součinitel Φ a platí:

$$I_0 = I \cdot \Phi \tag{26}$$

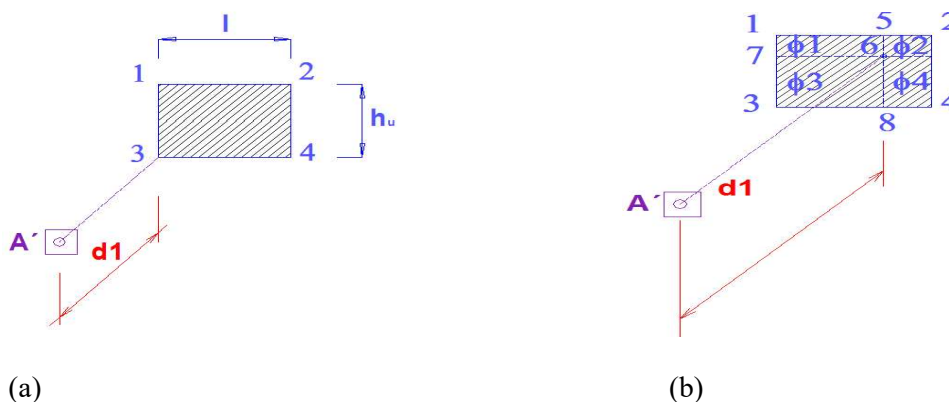


Fig. 6 Representation of Φ using h_w , l and d_1 ratios

Obr. 6 Vyjádření Φ pomocí poměrů h_w , l , d_1

The situation in Fig.6 illustrates a surface containing point A' , which is concurrently parallel to the radiator surface (points 1234), thus it applies relation:

$$\phi = \phi_1 + \phi_2 + \phi_3 + \phi_4 \quad (27)$$

The advantage for practical use lies in the fact, that we can add and subtract position factors. For the situation in **Fig. 6**, the ratios h_u , l , d_1 are deducted like this:

$$X = \frac{h_u}{d_1} \quad a \quad Y = \frac{l}{d_1} \quad (28)$$

Furthermore, for the expression of the position factor is applied relation:

$$\phi = \frac{1}{2\pi} \cdot \left[\frac{X}{\sqrt{1+X^2}} \cdot \operatorname{tg}^{-1} \left(\frac{Y}{\sqrt{1+X^2}} \right) + \frac{Y}{\sqrt{1+Y^2}} \cdot \operatorname{tg}^{-1} \left(\frac{X}{\sqrt{1+Y^2}} \right) \right] \quad (29)$$

The described procedures are based on searching for the X and Y values in equations (28), respectively the d_1 clearance distance. The calculation is repeated for each case several times until a match between the position factor Φ in equations (27) and (29) is found. Considering what was described above, this procedure is very laborious and time consuming.

The article "Calculation of critical intensity of radiant flux for definition of fire hazard area using numerical iteration methods and software application" describes the search for points of fire hazard area boundary more efficiently and for finding a suitable approximation to the critical node with critical intensity at the boundary of the fire hazard area uses advanced mathematical methods. Border element method - BEM is not appropriate due to unknown border and limited usefulness for linear relationships with subsequent density of resulting matrix, which leads to high memory and computational requirements. Final element method - FEM is inappropriate for the purpose of finding correctly converging root due to very small differences. Only numerical iteration methods thus come into consideration.

Situace na Obr.6 znázorňuje plochu s bodem A' , která je rovnoběžná s plochou zářiče (body 1234), pak platí:

Výhodou pro praktické použití je, že polohové součinitele můžeme sčítat a odečítat. Pro situaci na **Obr. 6** jsou pak dovozeny poměry h_u , l , d_1 takto:

Následně pro vyjádření polohového součinitele platí:

Uvedené postupy pak spočívají v hledání hodnot X a Y v rovnicích (28), respektive odstupové vzdálenosti d_1 . Pro každý případ se výpočet několikrát opakuje tak, až se dosáhne shody v polohovém součiniteli Φ v rovnicích (27) a (29). S ohledem na výše uvedené je tento postup velmi pracný a časově náročný.

Článek „Výpočet kritické intenzity sálavé tepelné složky pro vymezení požárně nebezpečného prostoru za použití numerických iteračních metod a softwarové aplikace“ popisuje hledání bodů hranice požárně nebezpečného prostoru efektivněji a pro nalezení vhodného přiblížení k hledanému uzlovému bodu s kritickou intenzitou na hranici požárně nebezpečného prostoru využívá pokročilé matematické metody.

Metoda hraničních prvků-BEM není vhodná z důvodu neznámé hranice a omezené použitelnosti na lineární vztahy s následnou hustotou výsledné matice, což vede na vysokou paměťovou a výpočetní náročnost. Metoda konečných prvků - FEM je k nalezení korektně konvergujícího kořenu nevhodná vzhledem k velmi malým diferencím.

The suitability of a specific mathematical solutions was solved based on publications [1], [2], [3]. Originally two paths of solution, i.e. direct solution methods (for example the Gauss elimination method or modified frontal method) and iteration methods, were narrowed down to only methods of iteration character [3] considering the non – linear conduct of the environment and also taking into account the relatively large memory requirements and low solving speed of direct methods. Equation (9) of used pseudo arc-length method describes a curve precisely defined by the implicit value. The pseudo Arc-length method is used in combination with the Newton method [1] and the solution principle is very good apparent in Fig. 4. The combination of both methods, their practical application (described in the article) and use in software tool leads to high calculation speed and locating the desired point of specific coordinates with the desired critical radiation intensity value (for example 18,5; 15; 12,5; 10 kWm^{-2} – depends on the type of calculation). The procedure described in this article was reviewed by calculations and confronted with theory published in [6], [7], [8] and by Ing. Vladimír Reichl, DrSc. and a very good match was found with higher efficiency.

On the basis of described theory and experiments undertaken in the 1970s, software “Sálání” (Radiation) 2018[5] was developed in numerical code Agros2D[4] for the purposes of precise generation of fire hazard area.

Software Sálání (Radiation) 2018 [5] on the basis of entered geometric parameters (the dimensions of open fire area – for example windows), critical intensity (for example 18,5 kWm^{-2}), fire scenario – temperature within flaming area T_n over the course of time (2) in dependence on the entered fire risk p_v [kg.m^{-2}] or τ_c [min.], construction system surcharges and entered emissivity generates the boundaries of the fire hazard area, see Fig.7. After clicking on the border of the fire hazard area curve, the coordinates of this point of entered critical intensity are generated – see Fig.7.

Software [5] was among other things used to evaluate and precisely define the fire hazard area from the open fire area of the belt window of the “A” building of the Faculty of civil engineering of VŠB in Ostrava. The results gained from this program allowed for a more efficient solution of planned modifications.

Vhodnost konkrétního matematického řešení byla řešena na základě publikací [1], [2], [3]. Původně dvě možné cesty řešení, tj. přímé metody řešení (např. Gaussova eliminační metoda či modifikovaná frontální metoda) a iterační metody byly zúženy pouze na metody iteračního charakteru [3] vzhledem k nelineárnímu chování prostředí a vzhledem k relativně velkým paměťovým nárokům a pomalosti řešení u metod přímých. Rovnice (9) u použité pseudo arc-length iterační metody nám pak popisuje křivku přesně určenou implicitní hodnotou. Metoda pseudo Arc-length je použita v kombinaci s Newtonovou metodou [1] a princip řešení je velmi dobře patrný z Obr. 4. Kombinace obou metod, jejich praktická aplikace (popsaná v článku) a využitá v softwarovém nástroji vede k rychlému výpočtovému řešení a nalezení hledaného bodu o konkrétních souřadnicích s požadovanou hodnotou kritické intenzity sálání (např. 18,5; 15; 12,5, 10 kWm^{-2} – dle typu výpočtu). Postup popsáný v tomto článku byl výpočtově ověřen a konfrontován s teorií publikovanou [6], [7],[8] a Ing.Vladimírem Reichlem DrSc. a bylo dosaženo velmi dobré shody při vyšší efektivitě.

Na základě popsané teorie a experimentů prováděných v 70. letech vznikl v numerickém kódu Agros2D [4] software pro přesné generování požárně nebezpečného prostoru Sálání 2018[5].

Software Sálání 2018 [5] na základě zadané geometrie (rozměrů požárně otevřené plochy – např.okna),kritické intenzity (např.18,5 kWm^{-2}), požárního scénáře - teploty v hořícím prostoru T_n v průběhu času (2) v závislosti na zadávaném požárním riziku p_v [kg.m^{-2}] nebo τ_c [min.], přírážky na konstrukční systém a zadávané emisivité vygeneruje hranici požárně nebezpečného prostoru Obr. 7. Po kliknutí na hranici křivky požárně nebezpečného prostoru se nám vygenerují souřadnice tohoto bodu o zadané kritické intenzitě – viz Obr. 7.

Software [5] byl použit mimo jiné na posouzení a přesné stanovení požárně nebezpečného prostoru od požárně otevřené plochy pásového okna budovy “A” fakulty stavební VŠB v Ostravě. Výsledky získané tímto programem umožnily ekonomičtější řešení plánovaných úprav.

(Modifications of FAST FAST buildings, VŠB TU Ostrava, PBŘ, Ing. Isabela Bradáčová, CSc.). An example of “Sálání” (Radiation) 2018 [5] software output is shown in Fig. 7.

(Úpravy budov FAST, VŠB TU Ostrava. PBŘ. Ing. Isabela Bradáčová, CSc.). Ukázka výstupu ze software Sálání 2018 [5] je uveden na Obr.7.

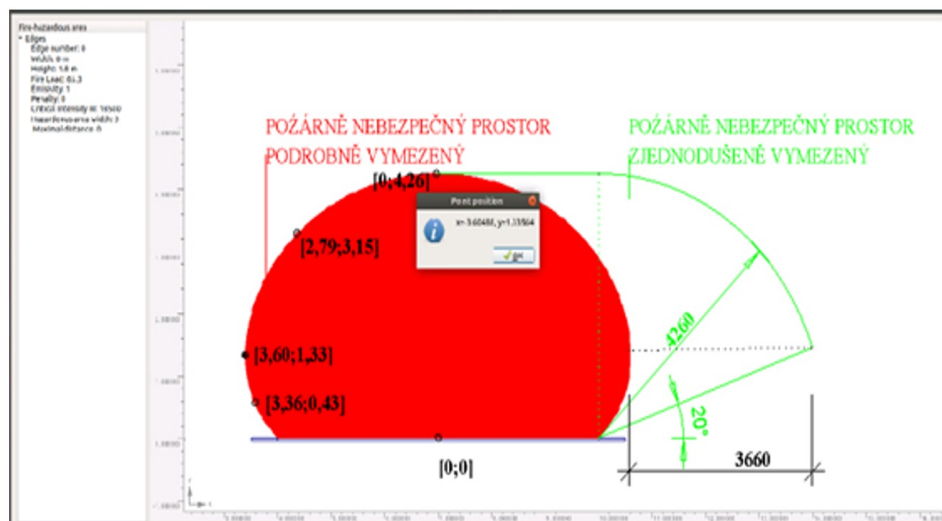


Fig. 7 Comparison of fire hazard area defined in detail and in a simplified way – output of “Sálání” (Radiation) 2018 [5] software

Obr. 7 Porovnání požárně nebezpečného prostoru podrobně a zjednodušeně vymezeného – výstup ze softwarové aplikace Sálání 2018 [5]

It is apparent from Fig. 7 that there is a substantial difference between fire hazard area as defined by normative simplified procedure and area as defined by the detailed procedure, which makes use of advanced mathematical methods. For individual points of the border curve of the fire hazard area as defined by the detailed procedure we seek converging roots – coordinates (in 2D or 3D) considering critical intensity of radiant heat, which depends on the type of calculation. Preciseness and smoothness of the border curve is determined by the number of its border points. The long duration of manual calculation is handily replaced by computer technology, which allows for quick generation of the border curve with elected number of points. Another indisputable advantage of the software tool is its quick response to a change in entered calculation parameters such as for example fire risk, size and shape of open fire are, fire scenario type etc.

Z Obr. 7 je patrný podstatný rozdíl mezi požárně nebezpečným prostorem vymezeným normativním zjednodušeným postupem a postupem podrobně vymezeným, který využívá pokročilé matematické metody. U jednotlivých bodů obalové křivky požárně nebezpečného prostoru podrobně vymezeného hledáme konvergující kořeny-souřadnice (ve 2D nebo 3D) vzhledem ke kritické intenzitě sálavého tepla, která je odvislá od typu výpočtu. Přesnost a hladkost hraniční křivky je pak dána počtem jejích hraničních bodů. Časovou náročnost manuálního výpočtu vhodně nahrazuje výpočetní technika, která umožňuje rychlou generaci hraniční křivky o zvoleném počtu bodů. Další nespornou výhodou softwarového nástroje je rychlá odezva na změnu zadávaných výpočtových parametrů jako je např. požární riziko, velikost a tvar požárně otevřené plochy, druh požárního scénáře a pod.

4 Conclusion

Scientific benefits described in this article lie in the application of numerical iteration methods for the purpose of precise definition of fire hazard area. Software tool “Sálání” (Radiation) 2018[5], which allows for practical and quick use in practice, was then developed in combination with available experiments.

Practical benefits are indisputable considering the areas mentioned in the introduction of this article. Aside from speed and reduction in fire hazard area visible at first glance compared to simplified solution, a giant benefit is also the economic potential in the areas of radiant component impact on persons within escape routes, radiant component impact on flammable materials and structures, EW/EI glass structure plans, determination of mutual building distance, overlap of fire hazard areas on other property or in mutually influencing fire sections.

4 Závěr

Přínosy pro vědu popsané v tomto článku spočívají v uplatnění numerických iteračních metod pro přesné vymezení požárně nebezpečného prostoru. V kombinaci s dostupnými experimenty pak vznikl softwarový nástroj Sálání 2018 [5], který umožňuje praktické a rychlé využití v praxi.

Přínosy pro praktické použití jsou nesporné s ohledem na již uvedené oblasti v úvodu tohoto článku. Kromě rychlosti a na první pohled úspore požárně nebezpečného prostoru oproti zjednodušenému řešení je obrovským přínosem i ekonomický potenciál v oblastech dopadu sálavé složky na osoby na únikových cestách, dopadu sálavé složky na hořlavé materiály a konstrukce, návrhu prosklených konstrukcí EW/EI, určování vzájemného odstupu staveb, přesahu požárně nebezpečného prostoru na cizí pozemek či při vzájemném ovlivňování požárních úseků.

References/Literatura

- [1] ALLGOWER, E., GEORG, K.: Introduction to Numerical Continuation Methods, Society for Industrial and Applied Mathematics, 2003.
- [2] RHEINBOLDT, W. C.: “Numerical continuation methods: a perspective”, Journal of Computational and Applied Mathematics, vol. 124, no. 1, pp. 229–244, Dec. 2000.
- [3] HENDERSON, E. H.: “Continuation Methods.” [Online]. Available: [http://www.research.ibm.com/people/h/henderson/henderson/Continuation/Continuation Methods.html](http://www.research.ibm.com/people/h/henderson/henderson/Continuation/Continuation%20Methods.html). [Accessed: 24-Nov-2017].
- [4] KARBAN, P., MACH, F., KUS, P., PANEK, D., DOLEZEL, I.: “Numerical solution of coupled problems using code Agros2D”, Computing, Vol. 95, No. 1 Supplement, pp 381–408, DOI 10.1007/s00607-013-0294-4, 2013.
- [5] PETRÁŠ V., PANEK, D.: 2. verze software Sálání 2018 pro zpřesněné vymezení požárně nebezpečného prostoru, verze Linux, červen 2018.
- [6] JONES, H. R. N.: *Radiation Heat Transfer*, 1 edition. Oxford, New York: Oxford University Press, 2000.
- [7] SIEGEL, R.: *Thermal radiation heat transfer*, 2nd edition. Washington: Hemisphere Pub. Corp, 1981.
- [8] HUBBELL, J. H., BACH, R. L., and LAMKIN, J. C.: “Radiation Field from a Rectangular Source,” J. Research Natl. Bur. Standards, Vol. 64C, 1960.
- [9] REICHEL, V.: “Navrhování požární bezpečnosti staveb - Odstupové vzdálenosti”, Zabraňujeme škodám, Svazek 16, strana 4-22, SNTL Praha 198.

Increasing the Safety of Fire Lifts

Zvyšovanie bezpečnosti požiarnych výťahov

Marianna Tomašková^{1,*}, Michaela Balážiková¹, Ľubomír Ambriško²

¹ Technical University of Košice, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Safety and Quality of Production, Letná 9, 042 00 Košice; marianna.tomaskova@tuke.sk; michaela.balazikova@tuke.sk

² FBERG TUKE Institute of Logistic and Transport, Transport Logistic Department, Park Komenského 147, 043 84 Košice
lubomir.ambrisko@tuke.sk

* Corresponding author: marianna.tomaskova@tuke.sk

Original scientific paper

Received: June 26, 2019; Accepted: July 03, 2019; Published: July 31, 2019

Abstract

The fire lift is intended for the transport of persons or persons and goods and their evacuation. Its operation must be maintained for as long as required by the hazard. An evacuation lift must be provided in the premises in accordance with the requirements of the building fire safety provisions. Incorporating fire elevators as part of smart buildings has a positive impact on safety levels. Lifts are among the active intelligence of these buildings. Flame retardation standards and test methods used for conveyor belts are becoming more stringent. WAZAU is used to determine and evaluate the flammability of conveyor belts and allows tests to be carried out on the basis of the international standard STN EN ISO 13688: 2013-11.

Keywords: fire lifts; risk; fire; testing

1 Introduction

In the Slovak Republic at present there are lifts which are more than 25 years of age and lifts that are even older than 30. For more than 98 % of these lifts the expected service life is about 31 years if the lift was in normal operation and during that time underwent two medium and one general repair. Apartment owners are very often not aware that in case of an accident they are held fully liable for its consequences. A lift is considered to be safe if its structure doesn't pose such safety hazards that can cause dangerous situations. A firefighting lift in comparison with a normal lift must be operated until it is necessary if there is a fire in the building. The lift may be used as a passenger lift when there is no fire.

1 Úvod

V Slovenskej republike sú v súčasnosti výťahy, ktorých vek je viac ako 25 rokov a ďalšie, ktorých vek je dokonca viac ako 30 rokov. U viac ako 98 % týchto výťahov sa predpokladala životnosť výťahu cca 31 rokov, ak výťah bol v bežnej prevádzke a boli na ňom vykonané počas jeho životnosti dve stredné a jedna generálna oprava. Vlastníci bytov si mnohokrát ani neuvedomujú, že v prípade nehody nesú plnú zodpovednosť za následky nehody. Výťah je považovaný za bezpečný vtedy, pokiaľ jeho konštrukcia neobsahuje také prevádzkové riziká, ktoré môžu vyvolať nebezpečné situácie. Požiarny výťah musí byť na rozdiel od normálneho výťahu určený na prevádzku dovtedy, kým je to potrebné, ak je požiar niekde v budove. Keď v budove nie je požiar, výťah sa môže používať ako osobný.

Inclusion of firefighting lifts as part of intelligent buildings has positive impact on the level of safety. Lifts constitute a part of active intelligence of these buildings. The issue of the safety of intelligent buildings encompasses the use of firefighting lifts with the information on their operational status included in the comprehensive control systems so that the relevant data are available in the central control unit of the building. Fires pose serious dangers in buildings. [13] At the end of the article, the methodology of testing conveyor belts within the laboratory experimental investigation of flammability is presented, from the preparation of test samples to the evaluation of the results of experiments.

Začlenenie požiarnych výťahov ako súčasti inteligentných budov, má pozitívny dopad na úroveň bezpečnosti. Výťahy patria medzi aktívnu inteligenciu týchto budov. Problematika bezpečnosti inteligentných budov predpokladá používanie požiarnych výťahov, pričom informácie o ich prevádzkovom stave sú začlenené do komplexných riadiacich systémov, tak že v centrálnom riadiacom centre budovy sú k dispozícii relevantné údaje. Požiare patria k výrazným rizikám v budovách. [13]. V závere článku je uvedená metodika testovania dopravných pásov v rámci realizovaného laboratórneho experimentálneho výskumu zápalnosti a to od prípravy testovacích vzoriek až po zhodnotenie výsledkov experimentov.

Tab. 1 Overview of serious hazards and dangerous situations – space in firefighting lifts [13]

Tab. 1 Prehľad závažných nebezpečenstiev a nebezpečných situácií – prostredie požiarnych výťahov [13]

Oheň /teplo/horúce plyny sa môžu šíriť do šachty / priestoru pre strojové zariadenia
Fire/Heat/Hot gasses may spread into the shaft/machinery area
Nechránené, alebo zatarasené výťahové zariadenia
Unprotected or obstructed lifts
Výťah nie je použiteľný dostatočne dlho pre hasičov
The lift is not usable long enough for firefighters
Hasiči majú oneskorenie dlhšie ako 2 min.
Firefighters have more than 2 minutes of delay
Natekanie vody do šachty
Ingress of water into the lift shaft
Uväznenie v požiarnej predsieni pre poruchu výťahu
Trapping in the firefighting lobby due to the lift breakdown
Nebezpečné prostredie pre hasičov/osoby čakajúce na vyslobodenie
Dangerous environment for firefighters/persons waiting to be rescued
Zrútenie konštrukcie budovy skôr, ako hasiči skončili vyslobodzovanie výťahom
Collapse of the building structure before rescue operation using a lift is over
Nedostatok, alebo nesprávne umiestnené požiarné výťahy na dopravu hasičov v budove
Insufficient or wrongly located firefighting lifts for transportation of firefighters in the building

Tab. 2 Serious hazards and situations - a firefighting lift [13]

Tab. 2 Závažné nebezpečenstvá a nebezpečné situácie- požiarny výťah [13]

Závažné nebezpečenstvá a situácie pre požiarny výťah
Serious hazards and situations for a firefighting lift
Riziko uväznenia
Risk of being trapped
Oneskorenie hasičov dlhšie ako 2 minúty
Firefighters are more than 2 minutes late
Porucha, alebo chyba rozvádzača
Breakdown or defect in the switchboard
Ľudská chyba, alebo správanie
Human error or behaviour
Porucha napájania z elektrickej siete
Power supply fault

2 Specification of selected safety requirements or protective measures for a firefighting lift

2.1 Requirements on the environment/building

Lifts can be used for the purpose and environment they are designed and must be maintained in a good state of repair. A firefighting lift is installed in the shaft with firefighting lobbies in front of every shaft door of the lift. The area of each firefighting lobby is given by the requirements for the transportation of stretchers and the location of the doors in every single case. If there is another lift in the same shaft, then the shaft as a whole must meet the fire resistance requirements for firefighting lifts shafts.

This level of fire resistance must also be applied to the door of the firefighting lobby and the machine room. [14]

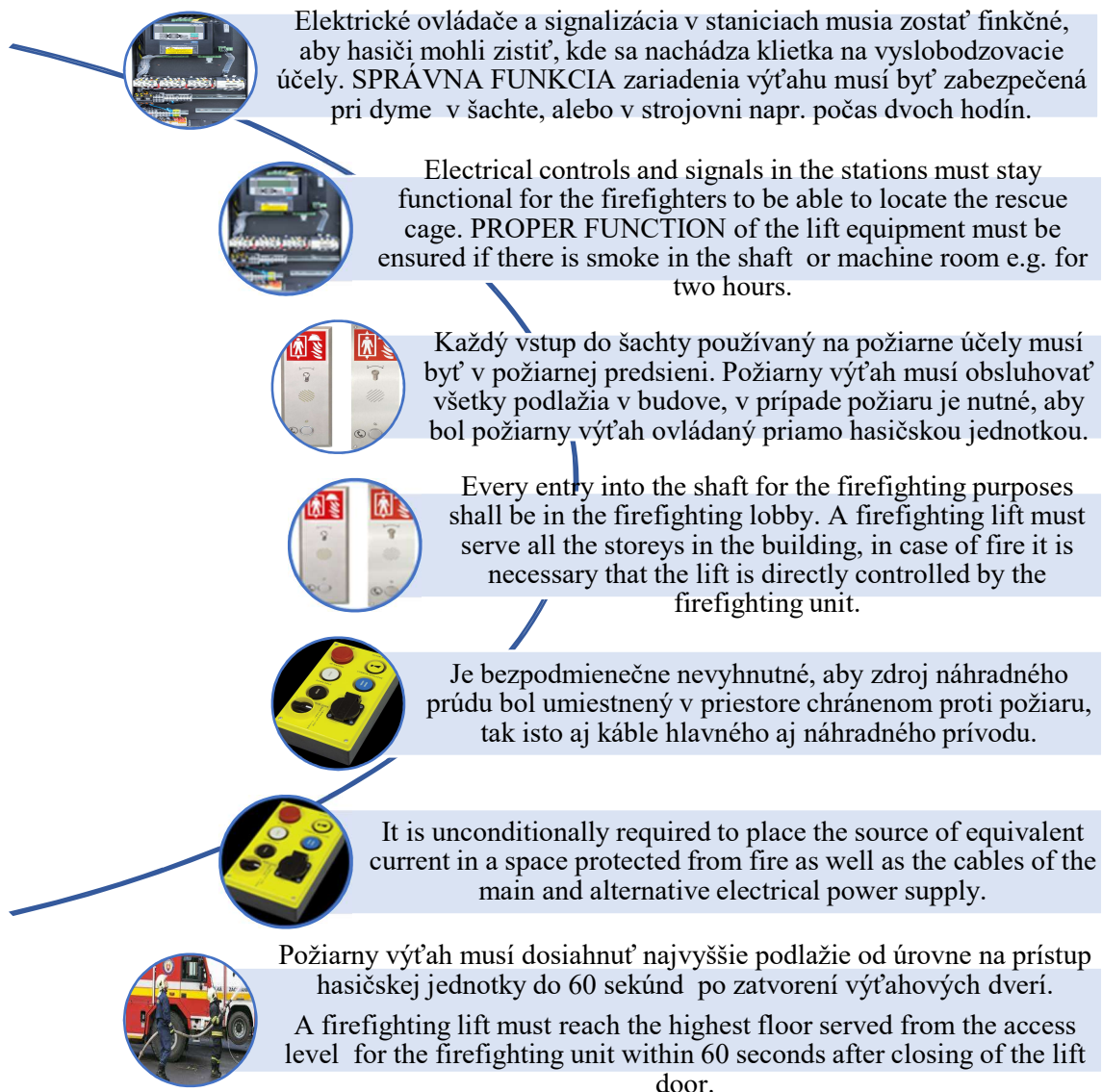
A lift must be designed in such a way as to ensure proper functioning under the following conditions: [14]

Výťah musí byť navrhnutý tak, aby správne fungoval za týchto podmienok: [14]

2 Špecifikácia vybraných bezpečnostných požiadaviek, alebo ochranných opatrení pre požiarny výťah

2.1 Požiadavky na prostredie/budovu

Výťahy sa môžu používať len pre účel a prostredie, pre ktoré boli konštruované a musia byť udržiavané v dobrom prevádzkovom stave. Požiarny výťah sa umiestňuje v šachte s požiarnymi predsienami pred každými šachtovými dverami výťahu. Priestor každej požiarnej predsiene je daný požiadavkami na dopravu nosidiel a umiestnením dverí v každom jednotlivom prípade. Ak je iný výťah v tej istej šachte, potom celá spoločná šachta musí spĺňať požiadavky na požiarnu odolnosť šachtiet požiarneho výťahov. Tento stupeň požiarnej odolnosti sa musí uplatniť aj na dvere požiarnej predsiene a strojovňu. [14]

**Fig. 1** Conditions for the lift operation [14]**Obr. 1** Podmienky fungovania výťahu [14]

2.2 Protection of electrical equipment against water

Electrical equipment in the shaft of firefighting lifts and on the cage installed up to 1 m far from the wall, on which the shaft door is positioned, must be protected against dripping water by covering it in accordance with the applicable standard. Equipment in the machinery area outside the shaft and in the well must be protected against faulty functioning caused by water. [14]

2.2 Ochrana elektrického zariadenia proti vode

Elektrické zariadenia v šachte požiarneho výťahu a na kľetke umiestnené do 1 m od steny, na ktorej sú šachtové dvere, musia byť chránené pred kvapkajúcou vodou, alebo musia byť chránené krytmi skrytím podľa príslušnej normy. Zariadenie v priestore strojového zariadenia mimo šachty a v priehtbni musí byť chránené pred chybnou funkciou spôsobenou vodou. [13]

2.3 Rescue of firefighters

Rescue of firefighters trapped in a lift cage is mentioned in [13].

2.3 Vyslobodzovanie hasičov

Vyslobodzovanie hasičov uväznených v kletke výťahu je uvedené v [13].



V streche kletky musí byť umiestnený núdzový poklop s minimálnymi rozmermi 0,5m x 0,7 m s výnimkou výťahu s nosnosťou 630kg, kde núdzový poklop môže byť minimálne 0,4m x 0,5m.



In the ceiling of the cage there must be an escape hatch of minimum dimensions 0,5m x 0,7 m except a lift with load capacity 630kg, where the escape hatch may be minimum 0,4m x 0,5m.



Pri vyslobodzovaní z priestoru mimo kletky sa môžu použiť tieto prostriedky vyslobodzovania: pevné rebríky, prenosné rebríky, lanové rebríky, systémy bezpečnostného lana.



When rescuing from a space outside the cage the following rescue devices can be used: fixed ladders, portable ladders, rope ladders, rope safety systems.



Pri vyslobodzovaní z vnútra kletky bez cudzej pomoci, ak sa použijú rebríky, musia zodpovedať EN 131 a musia byť umiestnené tak, aby sa mohli bezpečne rozmiestniť. Vzájomná poloha rebríka s veľkosťou a umiestnením poklopu musí umožniť hasičom ich použitie.



When rescuing from the inside of the cage without help from others, the ladders, if used, need to comply with EN 131 and must be located so that they can be safely positioned. The mutual position of the ladder and the size and location of the hatch must enable firefighters to use them.

Fig. 2 Rescue of firefighters from the lift [14]
Obr. 2 Vyslobodzovanie hasičov z výťahu [14]

2.4 Control systems

To ensure there is no significant delay in using the lift by firefighters, it must be equipped with a sound alert which provides a notification signal if the real time of the opened door is longer than 2 minutes. The acoustic signal stops once the door is shut completely. The sound level of the acoustic warning signal is in the range 35 dB (A) - 65dB (A). A firefighting operation has two phases: [14]

2.4 Riadiace systémy

Kvôli zabezpečeniu, že nedôjde k výraznému oneskoreniu v ovládaní výťahu hasičmi, výťah musí byť vybavený akustickým signálom, ktorý signalizuje, ak skutočný čas otvorených dverí je dlhší ako 2 min. Akustický signál prestane znieť, až keď sú dvere úplne zatvorené. Hladina zvuku akustického varovného signálu je v rozsahu 35 dB (A) až 65dB (A). Zásah hasičskej jednotky má dve fázy: [14]

FÁZA 1 Prednosť privolania požiarneho výťahu

PHASE 1 Priority call for a firefighting lift

- Fáza sa začína ručným spôsobom, alebo samočinne.
- The phase begins manually or automatically.
- Ovládač na otváranie dverí a núdzový ovládač ALARM musia zostať funkčné.
- The door opening control button and the emergency control button ALARM must stay functional.
- Reverzačné zariadenie šachtových a kľetkových dverí pož.výťahu, ktorého funkcia by mohla byť ovplyvnená dymom, alebo teplom, nesmie brániť zatvoreniu dverí.
- The reversal system of the shaft and cage doors of the firefighting lift, whose function could be affected by smoke or heat, must not interfere with the door closing.
- Komunikačný systém pre požiarne zásah musí zostať funkčný.
- Communication system for the firefighting operation must stay functional.
- Požiarne výťah idúci smerom od prístupovej úrovne pre hasičskú jednotku, musí vykonať normálne zastavenie v najbližšej možnej stanícii bez otvorenia dverí sa musí vrátiť na prístupovú úroveň pre hasičskú jednotku.

FÁZA 2 Používanie výťahu s ovládaním pre hasičov

PHASE 2 Use of a lift with control by firefighters

Ak požiarne výťah stojí v prístupovej úrovni pre hasičskú jednotku s otvorenými dverami, ovládanie je možné len kľetkovými ovládačmi určenými pre hasičov a musí byť zabezpečené:

- If a firefighting lift is at the access level for the firefighting unit with open doors, it can be operated only by using cage control buttons designated for firefighters and the following must be provided:
- Požiarne výťah nesmie byť v prevádzke, kým nebol zapnutý spínač požiarneho výťahu.
- A firefighting lift must not operate until a fire-service key switch is on.
- Požiadavka na jazdu musí vyvolať jazdu kľetky do požadovaného podlažia a zastaviť na zvolenom podlaží so zatvorenými dverami. reverzačné zariadenie kľetkových dverí musí a ovládač na otváranie dverí musia zostať funkčné.
- By pressing the call button, the lift cage must ride to the required storey and stop at the selected floor with the doors closed. The reversal mechanism of the cage door and the door opening button must stay functional.
- Komunikačný systém na požiarne zásah musí zostať počas fázy dva funkčný. Ďalšie požiadavky sú uvedené v norme.

Fig. 3 Control systems of the lift [14]

Obr. 3 Riadiace systémy výťahu [14]

2.5 Lift modernisation

Similarly, as it is for cars, lift maintenance and servicing are essential to ensure that they are kept working properly. Even the smallest component part could cause failure of the lift if not replaced in time.

2.5 Modernizácia výťahov

Rovnako, ako napríklad pri automobiloch, aj pri výťahoch je potrebné vymeniť niektoré súčiastky za nové. Aj tá najmenšia súčiastka môže spôsobiť vyradenie zariadenia z prevádzky, ak sa nevymení včas.

Why modernise a lift?

Prečo modernizovať výťah:

Zvýšenie bezpečnosti prevádzky aj údržby výťahu
Improvement of the safety of lift operation and its maintenance
Odstránenie bezpečnostných rizík
Elimination of safety hazards
Zvýšenie spoľahlivosti prevádzky
Improvement of operation reliability
Úspora finančných nákladov na údržbu zariadení
Reduction of maintenance costs
Zníženie energetickej náročnosti.
Lowering energy costs
Minimalizácia poruchovosti.
Keeping breakdowns to a minimum
Zvýšenie pohodlia cestujúcich.
Improvement of passengers' comfort
Zvýšenie estetickéj úrovne zariadení.
Improvement of the esthetical appearance of lifts

Fig. 4 Reasons for lift modernisation [11]

Obr. 4 Dôvody modernizácie výťahu [11]

One of the lift parts that is modernised are steel ropes replaced by polyurethane belts. Flat polyurethane belts have triple durability compared to classical steel ropes and require no lubrication. In the OTIS Company, they use a gearless machine with permanent magnet which is 50 % smaller and up to 75% more economical than classical machines. [11]

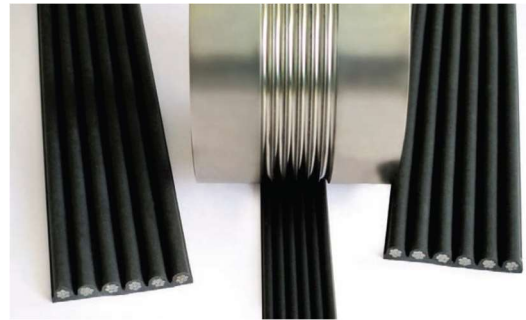
The lift manufacturer MSV Liberec Company relies on composite flat ropes Polyrope of Continental ContiTech. For over 100 years, steel ropes were considered indispensable as suspension means for lifts. [12]

Jednou z častí výťahu, ktorá sa modernizuje je náhrada oceľových lán vo výťahoch polyuretánovými pásmi. Ploché polyuretánové pásy majú trojnásobnú životnosť oproti klasickým oceľovým lanám a nevyžadujú mazanie. Vo firme OTIS je bezprevodový stroj s permanentným magnetom o 50 % menší a až o 75% úspornejší ako klasické stroje. [11]

Výrobca výťahov firma MSV Liberec spolieha na kompozitné ploché pásy Polyrope od firmy Continental ContiTech. Viac než 100 rokov si nebolo možné predstaviť nahradenie oceľových lán ako závesného prostriedku u výťahov. [12]



(a)



(b)

Fig. 5 (a) Flat belts for suspension of the lift cage, (b) Horizontal adjustment of steel ropes which gives them flat shape [12]

Obr. 5 (a) Ploché pásy určené k zaveseniu výt'ahovej kľetky, (b) Vodorovné usporiadanie oceľových lán dáva remeňom plochý tvar [12]

3 Testing of conveyor belts flammability

Replacement of the classical steel ropes by flat polyurethane belts results in minimizing noise caused by the contact of steel parts. A silent gearless machine placed on rubber dampers along with the suitable design of the lift shaft walls reduces vibrations transmitted to the building as well as the noise level in the adjacent rooms to a minimum. [6].

An example of flammability is the testing of conveyor belts. In the publication, Pulbere presents the results of laboratory tests of the resistance of the conveyor belts to fire, which he carried out in accordance with the fire safety standards used in the world [7].

Rowland reviewed four different types of fire suppression systems, four different types of suppression systems such as water sprayers, sprayed water sprays, and two different dry suppression systems.

Each fire protection system was tested at air speeds of 500-550 feet per minute (fpm) and 1350-1500 fpm. Tests were performed with a fire-resistant conveyor belt. Large-scale testing has shown that air velocity has in fact a significant impact on the detection, activation and suppression of the fire suppression system. The overall design of the fire protection system can affect the performance of each system [1].

3 Testovanie zápalnosti dopravných pásov

Nahradením klasických oceľových lán plochými polyuretánovými pásmi je minimalizovaný hluk spôsobený dotykom kovových častí. Spolu s vhodným prevedením, stien výt'ahovej šachty obmedzuje tichý bezprevodový stroj vsadený na pryžových tľmičoch vibrácie prenášané do budovy a hladinu hluku v príľahlých miestnostiach na minimum. Výt'ahová šachta pri požari funguje ako komín, zároveň môže dôjsť k výpadku elektrického prúdu a môže dôjsť k uväzneniu vo výt'ahu. [6].

Ako príklad zápalnosti uvádzame testovanie dopravných pásov. Autor Pulbere v publikácii prezentuje výsledky laboratórnych testov odolnosti dopravných pásov proti horeniu, ktoré vykonal v súlade s normami požiarnej bezpečnosti používanými vo svete [7].

Autor Rowland v publikácii hodnotil štyri rôzne typy systémov potlačenia požiaru, štyri rôzne typy potlačacích systémov ako vodné postrekovače, striekané vodné postreky a dva rôzne systémy na potlačenie požiaru.

Každý protipožiarny systém bol testovaný pri rýchlostiach vzduchu 500-550 stôp za minútu (fpm) a 1350-1500 fpm [1]. Testy boli vykonané s dopravným pásom odolným voči požiaru. Vo veľkom meradle testovanie ukázalo, že rýchlosť vzduchu má v skutočnosti významný vplyv na detekciu, aktiváciu a potlačenie schopnosti systému na potlačenie

3.1 WAZAU equipment

The WAZZAU flammability measuring device is used to measure and test rubber. It is possible to test rubber-textile, steel-cord belts and lifts belts in this equipment. [9,10]. In Fig. 6, the WAZAU can be seen.

Test Procedure on WAZAU

Step 1 – Verify the air flow rate

Using the TESTO 425 fig. 7, which measures the air flow rate, an average value of 1,2 m / s was measured, which complies with STN EN ISO 13688:2013-11. [15]

požiaru. Celkový dizajn protipožiarneho systému môže mať vplyv na výkon každého systému [1].

3.1 Zariadenie WAZAU

Zariadenie WAZZAU na meranie zápalnosti, slúži na meranie a testovanie gummy. V tomto zariadení je možné testovať gumotextilné, oceľovokordové pásy aj pásy pre výťahy. [9,10] Na obrázku č. 6 je možné vidieť zariadenie WAZAU.

Postup skúšky na zariadení WAZAU

Krok 1 – overenie rýchlosti prúdu vzduchu

Pomocou anemometra typu TESTO 425 obr. 7, ktorý slúži na meranie rýchlosti prúdenia vzduchu bola nameraná priemerná hodnota 1,2 m/s, čo vyhovuje norme STN EN ISO 13688:2013-11. [15]



Fig. 6 Device WAZAU [9]
Obr. 6 Zariadenie WAZAU [9]



Fig. 7 Anemometer [9]
Obr. 7 Anemometer [9]

Step 2 – Burner ignition

- opening the gas supply to the propane bomb. According to STN EN ISO 13688:2013-11, the overall level must be between 150 and 180 mm, with an inner jacket length of 50 mm. Therefore, it is necessary to finish with the overall height and length of the interior space 0.

Step 2a – gas detector control

- based on the STANDARD GD-3000 gas detector, a check has been made to ensure that propane leaks from the propane bomb in terms of safety.

Step 2b – Measure the temperature using a digital thermometer

- on the basis of the temperature measuring device, by means of a thermocouple placed in the hottest part of the flame (that is, directly above the inner flame cone, and check that the temperature is $1000\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ [15]. The average measured temperature was $1002\text{ }^{\circ}\text{C}$. Figure 8 shows a thermometer and a gas detector.

Krok 2 – zapálenie horáka

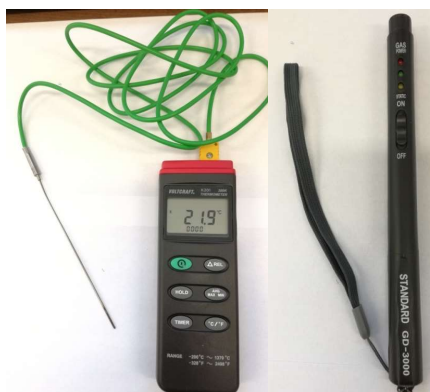
- otvorenie prívodu plynu propánovej bomby. Podľa normy STN EN ISO 13688:2013-11 je potrebné nastaviť prietok plynu tak, aby sa dosiahla celková výška plameňa od 150 do 180 mm, s dĺžkou vnútorného plameňa 50 mm. Preto je potrebné pred skúškou skontrolovať celkovú výšku a dĺžku vnútorného plameňa 0.

Krok 2a – kontrola detektorom plynu

- na základe detektora plynu typu STANDARD GD-3000 bola urobená kontrola, či neuniká propán z propánovej bomby z hľadiska bezpečnosti.

Krok 2b – meranie teploty pomocou digitálneho termometra

- na základe zariadenia na meranie teploty sa pomocou termočlánku, ktorý sa umiestni do najhorúcejšej časti plameňa (to znamená priamo nad vnútorný kužeľ plameňa a skontroluje sa, či je teplota $1000\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ [15]. Priemerná nameraná teplota bola $1002\text{ }^{\circ}\text{C}$. Obr. 8 zobrazuje teplomer a detektor plynu.



Obr. 8 Termometer a detektor plynu [9]

Fig. 8 Thermometer and gas detector [9]

Step 3 – Clamp the sample into the holder**Krok 3 – upnutie vzorky do držiaka**

Obr. 9 Clamped specimen holder [9]

Fig. 9 Upnutie vzorky do držiaka [9]

Step 3a – Clamping the sample into the chamber**Krok 3a – upnutie vzorky do komory****Fig. 10** Clamped specimen in chamber [author]**Obr. 10** Upnutá vzorka do komory [autor]**Step 4 – Tilt the burner to a given test sample****Krok 4 – sklopenie horáka na danú skúšobnú vzorku**

The burner shall be placed at an angle of 45° immediately below the center vertical axis in the median plane of the test specimen Fig.11 with the burner top edge 50 mm below the lower edge of the test specimen [9,15].

Horák sa umiestni pod uhlom 45° bezprostredne pod stredovú vertikálnu os v strednej rovine skúšobného telesa (viď obr.11), s vrchným okrajom horáka 50 mm pod spodným okrajom skúšobného telesa 0.

**Fig. 11** Burner Down [9]**Obr. 11** Sklopenie horáka [9]**Step 5 – Burner removal****Krok 5 – odtiahnutie horáka**

After 45 seconds, the burner is removed from the test apparatus without extinguishing (Figure 12). The burner should be kept protected from the air stream. Any burning of the test specimen and the time of any incineration should be immediately noticed and the additional burning time and additional heater time recorded [15].

Po 45 sekúnd sa bez zhasnutia horák odstráni od skúšobného zariadenia (obr. 12). Horák je potrebné držať chránený pred prúdom vzduchu. Okamžite si treba všimnúť akékoľvek spaľovanie skúšobného telesa a čas akéhokoľvek spaľovania a zaznamenať čas dodatočného horenia a čas dodatočného žeravenia 0.

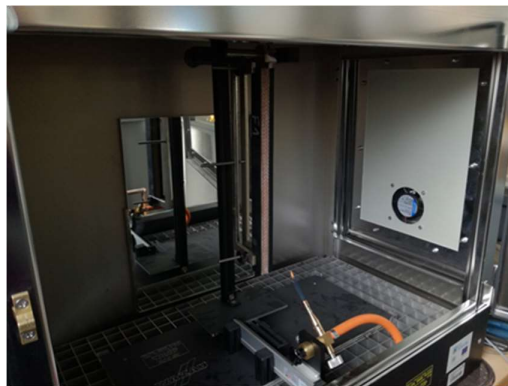


Fig. 12 Burner Removal [9]
Obr. 12 Odstránenie horáka [9]

Step 6 – Turn on the airflow device

Within $60\text{ s} \pm 5\text{ s}$ after burner removal, an air stream (Fig. 14) is applied at right angles to the sample face for 1 min. Any re-occurrence of the test sample fire and its duration should be noted and recorded [15]. Stopwatches are used to measure time throughout the test.

Krok 6 – zapnutie zariadenia na prúdenie vzduchu

V priebehu $60\text{ s} \pm 5\text{ s}$ po odstránení horáka sa aplikuje prúd vzduchu (obr. 13) v pravom uhle k čelu vzorky počas 1 min. Je potrebné všimnúť si a zaznamenať akékoľvek opätovné objavenie sa horenia skúšobnej vzorky a čas jeho trvania [9]. Na meranie času v priebehu celej skúšky sa používajú stopky.



Obr. 13 Air Flow Device [9,15]
Fig. 13 Zariadenie na prúdenie vzduchu [9,15]

3.1 Evaluation of testing

When assessing the quality based on the test results, two types of conveyor belts were compared (Belt No.1 and Belt No.2) and, in view of their flammability, it was determined which conveyor belt is suitable for operation where there is a risk of fire. In the flammability tests, 3 trials were performed for lane 1 and 3 trials for lane 2. Each sample had dimensions of 300 x 25 cm. In addition, additional heating

3.1 Vyhodnotenie testovania

Pri hodnotení kvality na základe výsledkov skúšky, sa porovnávali 2 typy dopravných pásov (Pás č.1 a Pás č.2) a z hľadiska ich zápalnosti sa určí, ktorý dopravný pás je vhodný do prevádzky, kde hrozí nebezpečenstvo požiaru. Pri skúškach zápalnosti boli vykonané 3 pokusy pre pás č.1 a 3 pokusy pre pás č.2. Každá vzorka mala rozmery 300x25 cm. V jednotlivých pokusoch

and additional combustion were monitored in the individual measurement experiments. The sum of the combustion times of each test specimen after burner removal (additional heating) shall be less than 45 seconds and no value greater than 15 seconds. The individual results of the additional heating and the burning process after completion of the test are shown in Tab. 3 and tab. 4. [9]

merania sa sledovalo dodatočné žeravenie a dodatočné horenie. Súčet časov spaľovania každej skúšanej vzorky po odstránení horáka (dodatočné žeravenie) musí byť menšia ako 45 sekúnd a žiadna hodnota nesmie byť vyššia ako 15 sekúnd. Jednotlivé výsledky dodatočného žeravenia a procesu horenia po ukončení skúšky sú zobrazené v tab. 3 a tab. 4. [9]

Tab. 3 Additional heater samples [9]

Tab. 3 Dodatočné žeravenie vzoriek [9]

Dopravný pás č.1, Conveyor Belt No.1		
	Dodatočné žeravenie vzoriek, Additional heater samples [s]	Dodatočné horenie Additional burning [s]
Vzorka F1 F1 sample	11.5	0
Vzorka F2 F2 sample	13.88	0
Vzorka F3 F3 sample	14.91	0
Súčet časov Sum of times	40.29	-

Tab. 4 Burning process of samples [9]

Tab. 4 Proces horenia vzoriek [9]

Dopravný pás č.2, Conveyor Belt No.2		
	Dodatočné horenie vzoriek Additional burning of samples [s]	Proces horenia Burning process [s]
Vzorka T1 T1 sample	0	180
Vzorka T2 T2 sample	0	180
Vzorka T3 T3 sample	0	180

**Fig. 14** Pás č.1, Skúšobné vzorky po skúške [9]**Fig. 14** Belt No.1, Test samples after test [9]**Fig. 15** Belt No.2, Test samples after test [9]**Fig. 15** Pás č.2, Skúšobné vzorky po skúške [9]

It should be emphasized that conveyor belts used to drive lifts are derived from conveyor belts known from belt conveyors. Their inner structure is identical with respect to the rubber-textile or rope-belt structure used in both cases of the pulling means.

The author [7] reviewed the flammability characteristics of rubber materials that are common to vehicle tires, conveyor belts and electrical cable insulation.

Standard flammability tests were used to measure the critical ignition flow, critical ignition temperature, and heat release rate that are common to tire materials and conveyor belt covers. Critical ignition flow and vertical flame distribution data for rubber-based electrical insulation were determined using a modified ASTM E-162 radiant panel radiant panel.

The results confirm that the rate of heat release from the rubber materials is directly proportional to the intensity of the exposure flow.

Je potrebné zdôrazniť, že dopravné pásy používané na pohon výtahov sú odvodené od dopravných pásov, známych z pásových dopravníkov.

Ich vnútorná štruktúra je identická vzhľadom na používanú gumo-textilnú, alebo lano-pásovú konštrukciu v oboch prípadoch ťažného prostriedku.

Autor [7] sa v publikácii zaoberal charakteristikami horľavosti gumových materiálov, ktoré sú bežné pre pneumatiky vozidiel, dopravné pásy a izoláciu elektrických káblov.

Štandardné testy horľavosti sa použili na meranie kritického toku vznietenia, kritickej teploty vznietenia a rýchlosti uvoľňovania tepla, ktoré sú spoločné pre materiály pneumatík a kryty dopravných pásov. Údaje o kritickom toku zapalovania a vertikálnom rozložení plameňa pre elektrické izolácie na báze gummy boli stanovené s použitím sálavého panelu z modifikovaného zariadenia ASTM E-162 na šírenie plameňom.

Výsledky potvrdzujú, že rýchlosť uvoľňovania tepla z gumových materiálov je priamo úmerná intenzite toku expozície.

Tab. 5 Summary of the data obtained during ignition tests. The time to ignition and the surface temperature at the time of ignition are shown in order of decreasing radiation intensity for different tests. The time to ignition and the corresponding surface temperature are also included in this table for the 60 kW / m² HRR test. [7]

Tab. 5 Sumarizácia údajov získaných počas testov zapálenia. Čas do zapálenia a teplota povrchu v čase zapálenia sú uvedené v poradí klesajúcej intenzity žiarenia pre rôzne testy. Čas do zapálenia a zodpovedajúca povrchová teplota sú tiež zahrnuté v tejto tabuľke pre skúšku rýchlosti uvoľňovania tepla HRR 60 kW / m². [7]

	Spôsob vznietenia [3] Method of Ignition		
	Expozičný tok Exposure flow (kW/m ²)	Čas do zapálenia Time to light (s)	Teplota zapálenia Ignition temperature (°C)
Vzorka 1 Sample no.1	60	75	670
Vzorka 2 Sample no.2	40	154	600
Vzorka 3 Sample no.3	30	763	611
Vzorka 4 Sample no.4	25	947	643
Vzorka 5 Sample no.5	20	340	407

Standard flammability testing procedures have been used to measure the critical flux for ignition, critical ignition temperature, and heat release rate (HRR) of rubber compounds that are common to conveyor belt materials. Tab. 5, tests were carried out to measure the rate of heat release of the samples. The results confirm that the heat release area of the rubber materials is directly proportional to the intensity of the exposure flow. The critical exposure flow for firing various rubber-based materials is about 20 kW / m² to 30 kW / m² and the critical ignition temperature was independent of the exposure intensity at 400 °C and 600 °C. [7]

4 Conclusion

The first part of the article focuses on specifying the selected safety requirements or protective measures for a fire elevator. Fig. 1 describes the conditions for proper operation of the elevator, as well as a description of the elevator control systems. Currently, there is an effort to focus on the modernization of lifts, as even the smallest component can cause the equipment to be decommissioned if it is not replaced in time. One of the elevator parts that it is being upgraded to replace steel ropes in elevators with polyurethane belts. Flat

Štandardné postupy testovania horľavosti sa použili na meranie kritického toku pre vznietenie, kritickej teploty vznietenia a rýchlosti uvoľňovania tepla (HRR) kaučukových zmesí, ktoré sú spoločné pre materiály dopravníkových pásov. V tab. 5, boli uskutočnené skúšky na meranie rýchlosti uvoľňovania tepla vzoriek. Výsledky potvrdzujú, že oblasť uvoľňovania tepla z gumových materiálov je priamo úmerná intenzite expozičného toku. Kritický expozičný tok pre zapálenie rôznych materiálov na báze kaučuku je približne 20 kW / m² až 30 kW / m² a kritická teplota zapálenia bola nezávislá od intenzity expozície pri 400 °C a 600 °C. [7]

4 Záver

Prvá časť článku je zameraná na špecifikáciu vybraných bezpečnostných požiadaviek, alebo ochranných opatrení pre požiarneho výťahu. Obr.1 popisuje podmienky správneho fungovania výťahu, ďalej je popis radiacích systémov výťahu. V súčasnosti je snaha zameriavať sa na modernizáciu výťahov, pretože aj tá najmenšia súčiastka môže spôsobiť vyradenie zariadenia z prevádzky, ak sa nevymení včas. Jednou z častí výťahu, ktorá sa modernizuje je náhrada oceľových lán vo výťahoch polyuretánovými pásmi.

polyurethane belts are three times longer than conventional steel ropes and do not require lubrication. At the end of the article, the test of flammability of conveyor belts is tested. It should be emphasized that conveyor belts used to drive lifts are derived from conveyor belts known from belt conveyors. Their inner structure is identical with respect to the rubber-textile or rope-belt structure used in both cases of the pulling means.

Based on a detailed analysis of the conveyor belt phenomena, a mathematical model of the belt was developed [2]. Output data values based on a mathematical model may be useful in analyzing the risks associated with the use of conveyor belts, through the prediction of the main parameters they determine conveyor belt fire dynamics.

By measuring the amount of oxygen consumed in the process of burning the belts in a fire test room, the rate of heat release can be calculated. This parameter can be used to calculate the total heat released during a conveyor belt fire in a fire test facility. The dependence of the amount of heat released during the conveyor belt combustion in the fire test room is defined by [2,3].

In the literature [4], the theoretical basis for calculating the rate of heat release in conveyor belts burning is presented. By way of example, the measurement of oxygen, carbon dioxide and carbon monoxide content in conveyor belts products in their flammability testing, the possibility of using heat release calculations to assess flammability.

According to [5], laboratory fire tests were carried out. In both cases, the basic parameter that can be used to classify flammability and wrapping is the total amount of heat input to the sample rather than the length of burning or delay. The temperature and velocity of the ventilation air were experimentally and theoretically found to be critical factors in the test results.

Conveyor belts are at increased risk because they have the ability to spread fire, on the other hand, lift users, when using flat belts in elevators, have better traction properties, flat belts are lighter, more durable and more flexible than steel ropes, and pulley noise is reduced vibration during lift operation.

Ploché polyuretánové pásy majú trojnásobnú životnosť oproti klasickým oceľovým lanám a nevyžadujú mazanie. V závere článku je testovanie zápalnosti dopravných pásov. Je potrebné zdôrazniť, že dopravné pásy používané na pohon výťahov sú odvodené od dopravných pásov, známych z pásových dopravníkov. Ich vnútorná štruktúra je identická vzhľadom na používanú gumo-textilnú, alebo lano-pásovú konštrukciu v oboch prípadoch ťažného prostriedku.

Na základe podrobnej analýzy javov dopravného pásu, bol vyvinutý matematický model pásu.[2]. Hodnoty výstupných údajov určené na základe matematického modelu, užitočné pri analýzach nebezpečenstiev súvisiacich s používaním dopravných pásov, prostredníctvom predpovedania hlavných parametrov, ktoré určujú dynamiku požiaru dopravných pásov.

Na základe merania množstva kyslíka spotrebovaného v procese spaľovania pásov v požiarnej skúšobni je možné vypočítať rýchlosť uvoľňovania tepla. Tento parameter sa môže použiť na výpočet celkového tepla uvoľneného počas požiaru dopravného pásu v požiarnej skúšobni. Závislosť množstva tepla uvoľneného v priebehu spaľovania dopravného pásu v požiarnej skúšobni definuje [2,3].

V literatúre [4] sú prezentované teoretické východiská pre výpočet rýchlosti uvoľňovania tepla pri horení dopravných pásov. Ako príklad je možné uviesť výsledky merania obsahu kyslíka, oxidu uhličitého a oxidu uhoľnatého vo výrobkoch spaľovania dopravných pásov pri skúšaní ich horľavosti, možnosť využitia výpočtov uvoľňovania tepla pri posudzovaní horľavosti.

Podľa [5] sa realizovali laboratórne požiarne testy. V oboch prípadoch je základným parametrom, ktorý sa môže použiť na klasifikáciu horľavosti a opásania, celkové množstvo tepelného príkonu do vzorky, a nie dĺžka horenia alebo oneskorenia. Teplota a rýchlosť vetracieho vzduchu boli experimentálne a teoreticky zistené ako kritické faktory vo výsledkoch skúšok. Dopravné pásy predstavujú zvýšené riziko, pretože majú schopnosť šíriť oheň, na druhej strane prínosom pre užívateľov výťahov, pri použití plochých pásov vo výťahoch, sú lepšie trakčné vlastnosti, ploché pásy sú ľahšie, odolnejšie a ohybnejšie ako oceľové laná, je znížená hlučnosť na kladkách a vibrácie pri prevádzke výťahu.

Acknowledgments

VEGA 1/0121/18 Development of Methods of Implementation and Verification of Complex Security Solution in Smart Factory as Part of Industry 4.0

APVV 15-0351 Development of Risk Management Methods under Technology Systems in Accordance with Industry Strategy 4.0

Pod'akovanie

VEGA 1/0121/18 Vývoj metód implementácie a verifikácie komplexného riešenia bezpečnosti v Smart Factory ako súčasti Stratégie Priemysel 4.0

APVV 15-0351 Vývoj metód riadenia rizík v podmienkach technologických systémov v súlade so Stratégiou Priemysel 4.0

References / Literatúra

- [1] Rowland, J. H., Verakis, H. et al.: Effect of Air Velocity On Conveyor Belt Fire Suppression Systems, Mine Safety And Health Administration, 2003.s. 31.
- [2] Wachowicz, J., Janoszek, T: Mathematical Model of Conveyor Belt Fire in Mine Galleries, Archives of Mining Sciences, Vol. 54 (2009), No 3, p. 507–530.
- [3] Lowndes I.S., Silvester S.A., Giddings D., Hassan A., Lester E. : The Computational Modelling of Flame Spread Along a Conveyor Belt. Fire Safety Journal, 42,2007, 51– 67.
- [4] Wachowicz, J.: Heat release rate in evaluation of conveyor belts in full-scale fire tests, Fire And Materials, Vol .21,253–257 (1997).
- [5] Mintz, K.J.: Evaluation of laboratory gallery fire tests of conveyor belting, Fire and Materials banner, ISSN:1099-1018, Volume 19, Issue 1, February 1995.
- [6] Nakagawa, Y, Komai, T., Kohno, M.: Flammability evaluation of clean room polymeric materials for the semiconductor industry.
- [7] Pulbere, A. M.: Laboratory Test Results FireSafety Conveyor Belts. Materiale Plastice, 2017. s. 281-285.
- [8] Alvares, N., Hasegawa, H. , Staggs, K. : Ignition, Heat Release Rate and Suppression of Elastomeric Materials, 2016.s. 1575 – 1593.
- [9] Dzhalovyan, A: Výber vhodného typu dopravných pásov z hľadiska ich zápalnosti, Diplomová práca, FBERG, ULaD, 2018.
- [10] Andrejiová, M., Grinčová, A. Marasová, D.: Failure analysis of the rubber-textile conveyor belts using classification models. In: Engineering Failure Analysis. č. 101 (2019), s. 407-417 – ISSN 1350-6307.
- [11] Výťahy Otis. 2019. (14 June 2019; <https://www.otis.com/sk/sk/>).
- [12] Tyma – řemeny, převody a dopravní pásy. 2019. (14 June 2019; <https://www.tyma.cz/o-firme/aktuality/vytahove-pasy-contitech-polyrope/>).
- [13] STN EN 81-72:2015-10 (27 4003) Safety rules for the construction and installation of lifts. Particular applications for passenger and goods passenger lifts. Part 72: Firefighters lifts.
- [14] STN EN 81-80:2004-06 (27 4003) Safety rules for the construction and installation of lifts. Existing lifts. Part 80: Rules for the improvement of safety of existing passenger and goods passenger lifts.
- [15] STN EN ISO 13688:2013-11. Požiadavky a skúšobná metóda. Requirements and test method.

Comparison of Ignition Parameters of Oven-Dried and Non-Dried OSB

Porovnanie iniciačných parametrov vysušených a nevysušených OSB

Peter Rantuch^{1,*}, Martina Hladová¹, Jozef Martinka¹, Hana Kobetičová¹

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

* Corresponding author: peter.rantuch@stuba.sk

Original scientific paper

Received: June 26, 2019; Accepted: July 09, 2019; Published: July 31, 2019

Abstract

This paper is aimed at the calculation of ignition parameters of oven-dried and non-dried oriented strand boards (OSB). Samples from this material were exposed to external heat fluxes of 15 kW.m⁻², 20 kW.m⁻², 25 kW.m⁻², 30 kW.m⁻² a 35 kW.m⁻², while time to their ignition was observed. As a source of heat radiation was used a cone heater. Based on the measured data, the following parameters were calculated for both OSB samples: critical heat fluxes, thermal response parameters, thermal inertia and initiation temperatures. The moisture content of samples had a strong effect on time to ignition, while the oven-dried samples had the earlier ignition. Based on the obtained results, it was determined that the samples acted as thermally resistant material. The impact of moisture content was different for various ignition parameters. While determined values of critical heat flux for the infinitely long time to ignition and ignition temperatures are almost identical, thermal response parameter as well as equivalent thermal inertia are in the case of non-dried samples markedly higher. Critical heat flux of OSB was determined in the range of 5 kW.m⁻² to 6 kW.m⁻² and ignition temperature about 310 °C.

Keywords: Oriented strand boards, time to ignition, critical heat flux, thermal response parameter, initiation temperature

1 Introduction

Oriented strand boards (OSB) are well-established wood-based panel products which production and consumption have strongly increased during the past decade. [1] Their production increased by 5.1 % in Europe in 2017, to 7.4 million m³. Load-bearing panels suitable for structural uses in humid conditions, called OSB/3 panels, are the major production category (comprising 77 % of European OSB output in 2017). [2] OSB is becoming increasingly important in both decorative and structural applications.

1 Úvod

Dosky z orientovaných triesok (OSB) sú osvedčené panelové produkty na báze dreva, ktorých výroba a spotreba sa v poslednom desaťročí výrazne zvýšili. [1] V roku 2017 ich produkcia v Európe vzrástla o 5.1 % na 7.4 miliónov m³. Nosné panely vhodné na konštrukčné použitie vo vlhkých podmienkach, nazývané OSB/3 panely, sú hlavnou vyrábanou kategóriou (tvoriacou 77 % európskej produkcie OSB v roku 2017). [2]

For use as a construction material, mechanical board properties are of vital importance. In this regard, the quality of connections between wood particles is a key factor, which in turn is determined by the amount and type of used adhesive. In wood-based panel production, aminoplastic adhesives based on urea-formaldehyde and melamine-urea-formaldehyde are prevalent. [3]

In addition to supplied adhesives and additives, OSB differs from solid wood also by the configuration of the fibres and empty areas, which are placed between individual wood particles. Because of that, it is not possible to apply information obtained only from the measurements of wood, but it is essential to consider OSB as a specific composite material. This paper is aimed at calculating parameters, which characterises the initiation of flame burning and by comparison of their values for oven-dried and non-dried OSB.

Wood, under practical conditions, always contains a certain amount of moisture. When used inside buildings, it is usually between 5 % and 15 %, but for green sapwood, it can be up to 250 %. [4]

The moisture content of a specimen is known to affect the ignition process by changing the composition of volatiles and by its effect on thermal conductivity. [5]

The critical surface temperature was found to increase by about 2 °C per 1 % of moisture. [4]

Simms and Law declare that moisture increases the energy required for ignition; it also increases the critical heat flux, though with pilot ignition its effect is only marked for moisture contents above 40 %. [6]

Effect of moisture content to initiation of burning is also described by Atreya and Abu-Zaid. Their results are summarized as follows [7]:

- The ignition time increases with an increase in moisture content.
- The total evolved critical mass flux at ignition increases with increase in moisture content.
- The surface temperature at ignition is higher for higher moisture content.

Dôležitosť OSB narastá pri dekoratívnych, ale aj konštrukčných použitíach. Pre využitie dosiek ako konštrukčných materiálov majú zásadný význam ich mechanické vlastnosti. Z tohto hľadiska je kvalita spojení medzi časticami dreva kľúčovým faktorom, ktorý je zase daný množstvom a typom použitého lepidla. Pri výrobe panelov na báze dreva sa často používajú bežné aminoplastické lepidlá na močovino-formaldehýdovej a melamín-močovino-formaldehýdovej báze. [3]

Okrem dodávaných lepidiel a aditív sa OSB od masívneho dreva líšia tiež usporiadaním vlákien a prázdny priestormi, nachádzajúcimi sa medzi jednotlivými trieskami. Z týchto dôvodov nie je možné aplikovať výlučne informácie získané z meraní dreva, ale je nevyhnutné považovať OSB za špecifický kompozitný materiál. Tento príspevok sa zaoberá výpočtom parametrov charakterizujúcich iniciáciu plamenného horenia a porovnaním ich hodnôt pre vysušené a nevysušené OSB.

Za reálnych podmienok drevo vždy obsahuje určité množstvo vlhkosti. Pri vnútornom použití sa obvykle vlhkosť pohybuje medzi 5 % a 15 % ale pri čerstvo zrezanom dreve môže dosahovať až 250 %. [4]

Je známe, že obsah vlhkosti vzorky ovplyvňuje iniciačný proces tak, že zmení zloženie prchavých látok a zmenou tepelnej vodivosti. [5]

Bolo zistené, že kritická teplota povrchu sa zvýši približne o 2 °C na 1 % vlhkosti. [4]

Simms a Law uvádzajú, že vlhkosť zvyšuje energiu potrebnú na iniciáciu; taktiež zvyšuje kritický tepelný tok, hoci pri zapálení za prítomnosti iniciačného zdroja je jej efekt výrazný len pri obsahu vlhkosti nad 40 %. [6]

Vplyv vlhkosti na iniciáciu horenia popisujú tiež Atreya and Abu-Zaid. Svoje výsledky zhrnuli nasledovne [7]:

- Čas iniciácie narastá so zvyšujúcim sa obsahom vlhkosti.
- Celkový uvoľnený kritický hmotnostný tok pri zapálení narastá so zvyšujúcim sa obsahom vlhkosti.
- Povrchová teplota pri zapálení je pri vyššej vlhkosti vyššia.

- The minimum heat flux required for ignition is approximately the same regardless of the moisture content.

Conclusions of Abu-Zaid correlate with them only partially. The author describes that the presence of adsorbed water delays the decomposition process and dilutes the decomposition products. Moisture also increases ignition time, surface temperature and evolved mass flux at ignition, and the critical heat flux. [8] Increase of critical heat flux is also described by Simms. [9]

Shi a Chew states, that in terms of surface temperature at ignition, no obvious trend was observed for autoignition when moisture content increases from 0 % to 11 %. Ignition time by autoignition increases with higher moisture content. The influence of moisture to the average mass loss rate can be ignored when the moisture content is lower than 11 %. [10] Despite a relatively large amount of available literature, estimation of ignition parameters is not easy. Therefore, it was necessary to carry out measurements, based on which it would be possible to calculate them.

2 Material and Methods

Commercially available OSB of type 3 (load-bearing boards for use in humid conditions for outdoor and indoor use) were used for the measurement. Their properties are listed in Tab. 1. The size of the samples was 100 mm x 100 mm, and its thickness was 25 mm.

- Minimálny tepelný tok potrebný na zapálenie je približne rovnaký, bez ohľadu na obsah vlhkosti.

Závery Abu-Zaida s nimi korelujú len čiastočne. Popisuje, že prítomnosť adsorbovanej vody spomalí proces rozkladu a zriedi rozkladné produkty. Vlhkosť taktiež zvyšuje čas iniciácie, povrchovú teplotu a vytvorený hmotnostný tok pri iniciácii a taktiež kritický tepelný tok. [8] Nárast kritického tepelného toku popisuje tiež Simms. [9]

Shi a Chew uvádzajú, že z hľadiska povrchovej teploty pri zapálení v prípade samovznietenia nebol pozorovaný žiadny viditeľný trend pri zvýšení vlhkosti z 0 % do 11 %. Čas zapálenia pri samovznietení narastá s vyšším obsahom vlhkosti. Vplyv vlhkosti na priemernú rýchlosť úbytku hmotnosti možno zanedbať, ak je obsah vlhkosti nižší ako 11 %. [10] Ako je zrejmé, napriek pomerne veľkému množstvu dostupnej literatúry, nie je odhad iniciačných parametrov jednoduchý. Z tohto dôvodu bolo potrebné vykonať merania, na základe ktorých by ich bolo možné vypočítať.

2 Materiál a metódy

Na meranie boli použité komerčne dostupné OSB typu 3 (konštrukčné dosky určené na použitie v prostredí s miernou vlhkosťou na vonkajšie aj vnútorné použitie). Ich vlastnosti sú uvedené v Tab. 1. Veľkosť vzoriek bola 100 mm x 100 mm a ich hrúbka predstavovala 25 mm.

Tab. 1 Vlastnosti použitých OSB**Tab. 1** Properties of used OSB

Vlastnosť / Property	Jednotka / Unit	Vysušené OSB / Oven dried OSB	Nevysušené OSB / Non-dried OSB
Hustota / Density	kg.m ⁻³	649±35	685±38
Obsah vlhkosti / Moisture content	%	0	5,69±0,24
Emisivita / Emmissivity	-		0,89
Ihličnatá drevná hmota / Coniferous wood mass	%		93,6
Zloženie / Composition			
Polyuretánová (MDI) živica / Polyurethane (MDI) resin	%		4,7
Parafín / Paraffin	%		1,7

Measurement was carried out with the use of equipment, which scheme is shown in Fig. 1. The sample (2) coated with aluminium foil from all sides of, which were not exposed to heat flux, were placed into the sample holder (1). Insulating material from mineral fibres was used as a substrate. Ignitor (3) was placed in the middle above the sample, and cone heater (4) was placed above it. Cone heater was used to create an external heat flux. Products of thermal decomposition and burning were led away through exhaust hood (5). Speed of suction was set up to $24 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1} \pm 2 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ with fan (6). The ambient temperature during the measurement was $26 \text{ }^\circ\text{C}$, and the humidity of air was 48 %. Times to ignition of samples were observed.

Meranie prebiehalo v zariadení schematicky znázornenom na Obr. 1. Vzorka (2) bola zo všetkých tepelnému toku nevystavených strán obalená do hliníkovej fólie a umiestnená do držiaka (1), pričom ako podklad slúžil izolačný materiál z minerálnych vlákien. V strede nad vzorkou sa nachádzal iskrový iniciátor (3) a nad ním kónický žiarič (4) slúžiaci na vytváranie externého tepelného toku. Produkty termického rozkladu a horenia boli odvádzané cez odsávací zvon (5). Rýchlosť odsávania bola nastavená na $24 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1} \pm 2 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ pomocou ventilátora (6). Teplota okolia bola v priebehu merania $26 \text{ }^\circ\text{C}$ a vlhkosť vzduchu predstavovala 48 %. Sledované boli časy do iniciácie vzoriek.

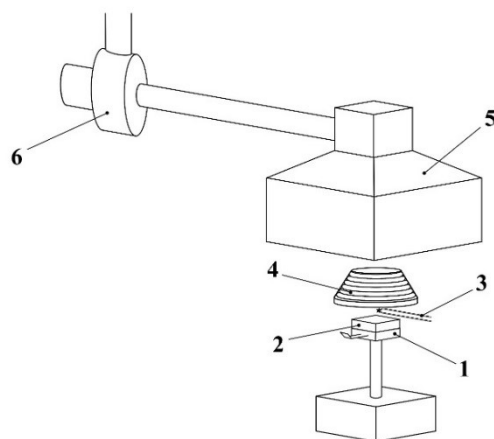


Fig 1. Test equipment: 1 – holder of sample, 2 – sample, 3 – ignitor, 4 – cone heater, 5 – exhaust hood, 6 – fan [11]

Obr. 1 Testovacie zariadenie: 1 – držiak vzorky, 2 – vzorka, 3 – iniciátor, 4 – kónický žiarič, 5 – odsávací zvon, 6 – ventilátor [11]

3 Results and discussion

When the external heat flux effects to the flammable material, energy falling on its surface is partially reflected (what depends from the emissivity of surface), partially is transmitted by conduction into the deeper layers of loaded material (what depends on its heat conductivity) and the rest of the heat is absorbed by a thin layer on the surface and results in its heating. During the heating occurs pyrolysis and termooxidation, which results in releasing of gases products. Therefore, time to ignition of sample decrease with the increasing external heat flux (Tab. 2). Measured values of non-dried samples are higher as the values of oven-dried samples. Simms a Law came to the same conclusion, and they describe, that increasing the moisture content increases the time for both pilot ignition and spontaneous ignition for any given intensity of radiation. [6]

3 Výsledky a diskusia

Pri pôsobení externého tepelného toku na horľavú látku je energia dopadajúca na jej povrch čiastočne odrazená (čo závisí od emisivity povrchu), čiastočne je vedením prenášaná do hlbších vrstiev zaťažovaného materiálu (čo závisí od jeho tepelnej vodivosti) a zvyšok je absorbovaný tenkou vrstvou na povrchu a má za následok jej ohrev. Počas neho dochádza k pyrolýze a termooxidácii, v dôsledku čoho sú do okolia uvoľňované plynné produkty. Čas do iniciácie vzorky preto s rastúcim externým tepelným tokom klesá (Tab. 2). Hodnoty namerané pre nevysušené vzorky sú vyššie ako pre vzorky s nulovou vlhkosťou. K rovnakému záveru dospeli aj Simms a Law, ktorí popisujú, že zvyšujúca sa vlhkosť zvyšuje čas vzplanutia aj vznietenia pri akejkoľvek intenzite žiarenia. [6]

Tab. 2 Time to ignition of samples at various external heat fluxes**Tab. 2** Čas do iniciácie vzoriek pri jednotlivých externých tepelných tokoch

Externý tepelný tok (kW.m ⁻³) / External heat flux (kW.m ⁻³)	Čas do iniciácie (s) / Time to ignition (s)	
	Vysušené OSB / Oven-dried OSB	Nevysušené OSB / Non-dried OSB
15	192 - 292	278 - 374
20	97 - 124	152 - 161
25	64 - 71	84 - 87
30	39 - 45	52 - 69
35	26 - 34	38 - 42

The critical heat flux is the heat flux between the lowest incident heat flux at which ignition occurred and the highest incident heat flux where ignition did not occur. It can be used to evaluate the possibility of ignition. The critical heat flux can be experimentally obtained by exposing successive samples to decreasing incident heat fluxes until ignition no longer occurs. This approach can be time-consuming and may require several tests to find the bounds of critical heat flux depending on the resolution required. [12] However, there are several proposed dependencies between time to ignition of flame burning and external heat flux (Tab. 3). Therefore were constructed graphical dependencies from the measured data, which are listed on Fig. 2 and 3. For each of that dependencies was created a trend line and relevant determination coefficient R^2 . So, this determination coefficient had the highest value for the dependency of the reciprocal square root of time to ignition of sample and external heat flux in the case of both, oven-dried and non-dried samples. This dependency is usually mentioned in the literature for thermally thick material. [13-15]

Kritický tepelný tok je tepelný tok medzi najnižším dopadajúcim tepelným tokom, pri ktorom nastáva zapálenie a najvyšším dopadajúcim tepelným tokom, pri ktorom k zapáleniu nedochádza. Môže sa používať na vyhodnotenie schopnosti zapálenia. Kritický tepelný tok môže byť experimentálne získaný postupným vystavovaním vzoriek klesajúcim dopadajúcim tepelným tokom, kým neprestane dochádzať k zapáleniu. Tento postup môže byť časovo náročný a na zistenie hraníc kritického tepelného toku je v závislosti na požadovanej presnosti potrebných niekoľko testov. [12] Existuje však aj viacero navrhnutých závislostí medzi časom do zapálenia plameňového horenia a externým tepelným tokom (Tab. 3). Z nameraných údajov boli preto zhotovené grafické závislosti uvedené na Obr. 2 a 3. Každou z nich bola preložená trendová čiara a vypočítaný príslušný koeficient determinácie R^2 . Tento, tak v prípade vysušených ako aj nevysušených vzoriek dosahoval najvyššiu hodnotu pre závislosť prevrátenej hodnoty druhej odmocniny času do iniciácie vzorky a externého tepelného toku. Táto závislosť je bežne v literatúre uvádzaná pre tepelne hrubý materiál. [13–15]

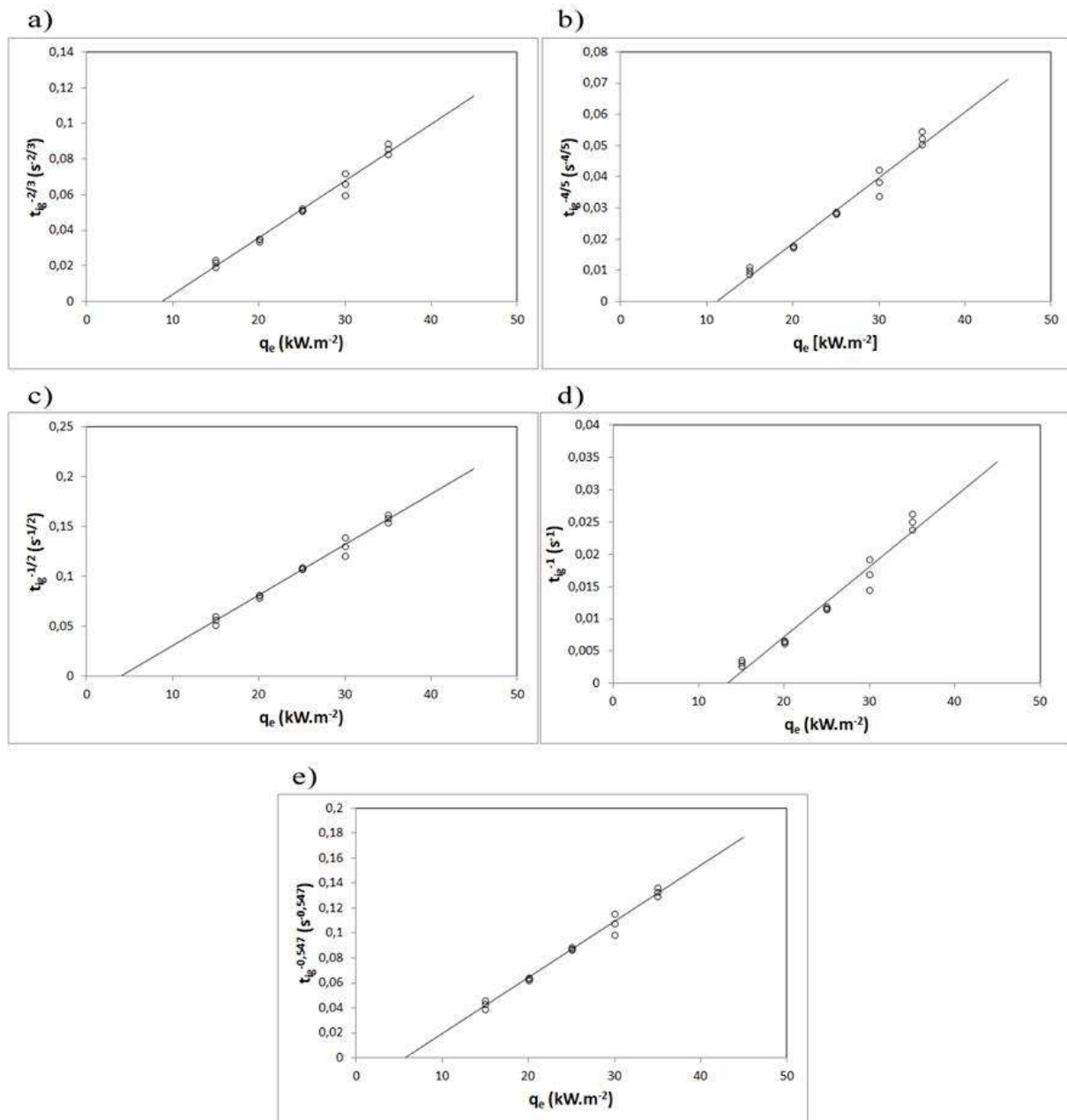


Fig 2. Graphical representation of dependency of powers of time to ignition on the external heat flux for non-dried samples: a) for dependency $t_{ig} = f\left(q_e^{-\frac{3}{2}}\right)$, b) for dependency $t_{ig} = f\left(q_e^{-\frac{5}{4}}\right)$, c) for dependency $t_{ig} = f\left(q_e^{-2}\right)$, d) for dependency $t_{ig} = f\left(q_e^{-1}\right)$, e) for dependency $t_{ig} = f\left(q_e^{-\frac{1}{0.547}}\right)$

Obr. 2. Grafické znázornenie závislostí mocnín času do iniciácie od externého tepelného toku pre nevysušené vzorky: a) pre závislosť $t_{ig} = f\left(q_e^{-\frac{3}{2}}\right)$, b) pre závislosť $t_{ig} = f\left(q_e^{-\frac{5}{4}}\right)$, c) pre závislosť $t_{ig} = f\left(q_e^{-2}\right)$, d) pre závislosť $t_{ig} = f\left(q_e^{-1}\right)$, e) pre závislosť $t_{ig} = f\left(q_e^{-\frac{1}{0.547}}\right)$

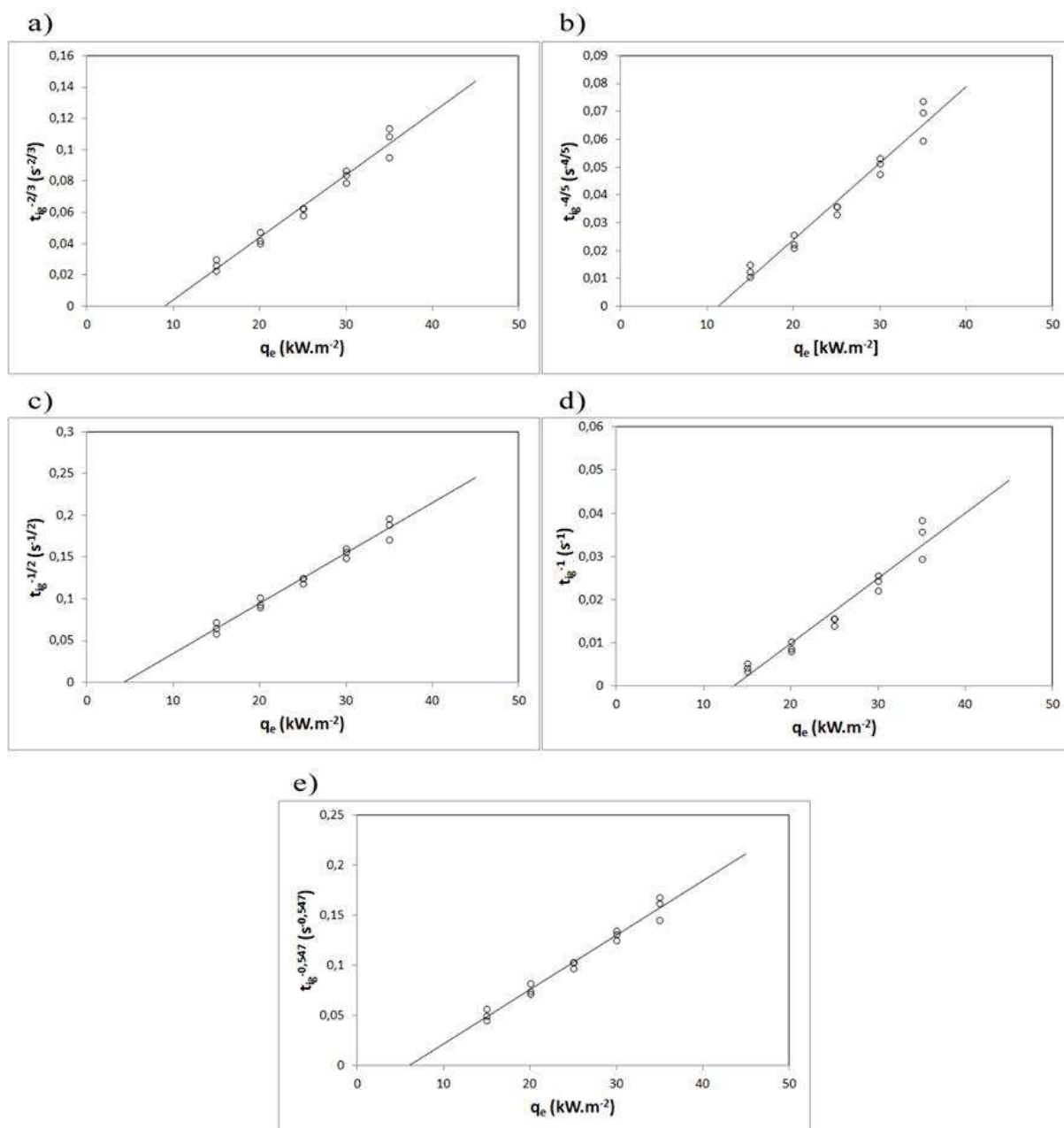


Fig 3. Graphical representation of dependencies of powers of times to ignition on external heat flux for oven-dried samples: a) for dependency $t_{ig} = f\left(q_e^{-\frac{3}{2}}\right)$, b) for dependency $t_{ig} = f\left(q_e^{-\frac{5}{4}}\right)$, c) for dependency $t_{ig} = f\left(q_e^{-2}\right)$, d) for dependency $t_{ig} = f\left(q_e^{-1}\right)$, e) for dependency $t_{ig} = f\left(q_e^{-\frac{1}{0,547}}\right)$

Obr. 3 Grafické znázornenie závislostí mocnín času do iniciácie od externého tepelného toku pre vysušené vzorky: a) pre závislosť $t_{ig} = f\left(q_e^{-\frac{3}{2}}\right)$, b) pre závislosť $t_{ig} = f\left(q_e^{-\frac{5}{4}}\right)$, c) pre závislosť $t_{ig} = f\left(q_e^{-2}\right)$, d) pre závislosť $t_{ig} = f\left(q_e^{-1}\right)$, e) pre závislosť $t_{ig} = f\left(q_e^{-\frac{1}{0,547}}\right)$

Tab. 3 Determination coefficients for various dependencies of time to ignition and critical heat flux
Tab. 3 Koeficienty determinácie pre rôzne závislosti času do iniciácie a kritického tepelného toku

Závislosť / Dependence	R ²	
	Vysušené OSB / Oven dried OSB	Nevysušené OSB / Non-dried OSB
$t_{ig} = f\left(q_e^{-\frac{3}{2}}\right)$ [16,17]	0,9726	0,9822
$t_{ig} = f\left(q_e^{-\frac{5}{4}}\right)$ [16]	0,9638	0,9753
$t_{ig} = f(q_e^{-2})$ [15, 17]	0,9788	0,9865
$t_{ig} = f(q_e^{-1})$ [17,18]	0,9454	0,9603
$t_{ig} = f\left(q_e^{-\frac{1}{0,547}}\right)$ [4]	0,9776	0,9858
$t_{ig} = f(q_e^{-n})$ [19]	0,9788 (n=2)	0,9865 (n=2)

Calculation of critical heat flux in case of thermally thick material results from the following assumptions [15]:

1. ignition occurs when the surface temperature achieves a critical value, T_{ig} ,
2. solid is inert up to ignition,
3. solid is infinitely thick.

Relationship between time to ignition and effecting heat flux can be described as [15]:

$$t_{ig} = \frac{\pi}{4} k \rho c \left(\frac{T_{ig} - T_{\infty}}{q_i} \right)^2 \quad (1)$$

where t_{ig} is time to ignition in s, π is Ludolph's number, k is thermal conductivity in $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$, ρ is density in $kg \cdot m^{-3}$, c is specific heat in $J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$, T_{ig} is initiation temperature in K, T_{∞} is ambient temperature in , and q_i is incident heat flux in $W \cdot m^{-2}$.

Theoretical heat flux needed for initiation of the sample in infinite time ($q_{i,cr}$) can be calculated as a limit:

Výpočet kritického tepelného toku v prípade tepelne hrubého materiálu vychádza z nasledovných predpokladov [15]:

1. k iniciácii dochádza, keď povrchová teplota dosiahne kritickú hodnotu, T_{ig} ,
2. tuhá látka je až do iniciácie inertná,
3. tuhá látka je nekonečne hrubá

Vzťah medzi časom do iniciácie a pôsobiacim tepelným tokom možno vyjadriť ako [15]:

$$t_{ig} = \frac{\pi}{4} k \rho c \left(T_{\infty} \frac{T_{ig} - T_{\infty}}{q_i} \right)^2 \quad (1)$$

kde t_{ig} je čas do iniciácie v s, π je Ludolfovo číslo, k je tepelná vodivosť vo $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$, ρ je hustota v $kg \cdot m^{-3}$, c je tepelná kapacita v $J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$, T_{ig} je teplota pri iniciácii v K, T_{∞} je teplota okolia v K a q_i je hustota dopadajúceho tepelného toku vo $W \cdot m^{-2}$.

$$q_{i,cr} = \lim_{t_{ig} \rightarrow \infty} f(t_{ig}^{-n}) \quad (2)$$

However, the real value of critical heat flux use to be higher. Spearpoint and Quintiere recommend for its calculation the following relationship [15]:

$$q_{cr} = \frac{q_{i,cr}}{0,76} \quad (3)$$

For the calculation of critical heat flux, some authors do not mention the assumption of initiation in an infinitely long time, but only in a certain period of time. It is based on assumption, that the sample can initiate only for a certain period from the beginning of affecting of external heat flux. This time is determined either by the content of volatile flammable substances and speed of their release, or by the end of the measurement, which is given in the standard, or by specific conditions in the end use of tested material. Several possibilities are listed in the literature: 300 s, 600 s [20] či 1800 s [21].

The next parameter, which characterizes the initiation of burning is thermal response parameter (TRP). It is an indicator of the ignition resistance of a material. [12] The higher the TRP value, the longer it takes for the material to heat up, ignite, and initiate a fire. [22] It is mathematically expressed by the equation [12, 21, 23]:

$$TRP = \sqrt{k\rho c}(T_{ig} - T_{\infty}) \quad (4)$$

Although the ambient temperature is relatively easy to measure, the surface temperature in the time of initiation is determined markedly harder. Its estimation is possible with the help of Stefan-Boltzmann law, which implies that:

$$T_{ig} = \sqrt[4]{\left(\frac{q_{cr}}{\varepsilon\sigma} + T_{\infty}^4\right)} \quad (5)$$

The fourth compared parameter is the thermal inertia (I). It is an effective fire property of importance in both ignition and flame spread problems. [24] Since the thermal inertia and the specific heat of wood are temperature dependent, the thermal inertia at ignition is not that obtained at ambient conditions. Instead,

Teoretický tepelný tok potrebný na iniciáciu vzorky v nekonečnom čase ($q_{i,cr}$) možno vypočítať ako limitu:

$$q_{i,cr} = \lim_{t_{ig} \rightarrow \infty} f(t_{ig}^{-n}) \quad (2)$$

Skutočná hodnota kritického tepelného toku však býva vyššia. Spearpoint a Quintiere odporúčajú pre jeho výpočet nasledovný vzťah [15]:

$$q_{cr} = \frac{q_{i,cr}}{0,76} \quad (3)$$

Niektorí autori neuvádzajú pre výpočet kritického tepelného toku predpoklad iniciácie v nekonečne dlhom čase, ale len v priebehu určitého časového úseku. Vychádzajú z predpokladu, že je vzorka schopná iniciácie len po istú dobu od počiatku pôsobenia externého tepelného toku. Tento čas je daný buď obsahom prchavých horľavých látok a rýchlosťou ich uvoľňovania, alebo časom ukončenia merania, ktorý je uvedený v norme, či špecifickými podmienkami v mieste koncového použitia testovaného materiálu. V literatúre je uvádzaných viacero možností: 300 s, 600 s [20] či 1800 s [21].

Ďalším parametrom, ktorý charakterizuje iniciáciu horenia je parameter tepelnej odozvy (TRP). Je to indikátor odolnosti materiálu voči zapáleniu. [12] Čím vyššia je hodnota TRP, tým dlhšie trvá, kým sa materiál zahreje, iniciuje a zapáli. [22] Matematicky je vyjadrený rovnicou [12, 21, 23]:

$$TRP = \sqrt{k\rho c}(T_{ig} - T_{\infty}) \quad (4)$$

Hoci teplotu okolia je pomerne ľahké zmerať, teplota povrchu v čase iniciácie sa určuje výrazne ťažšie. Jej odhad je možný pomocou Stefan-Boltzmanovho zákona, z ktorého vyplýva:

$$T_{ig} = \sqrt[4]{\left(\frac{q_{cr}}{\varepsilon\sigma} + T_{\infty}^4\right)} \quad (5)$$

Štvrtým porovnaným parametrom je tepelná inercia (I). Je to efektívna požiarne vlastnosť, ktorá je dôležitá tak v problematike iniciácie ako aj šírenia plameňa. [24] Keď že tepelná

the thermal inertia at ignition is an apparent value, and it can be obtained from ignition data.[15] The thermal inertia is the product of thermal conductivity (k), density (ρ), and specific heat (c), of a material, and it governs its ignition and flame spread properties. This determines the rate of rising in surface temperature and consequently, the time to ignition. [26] The surface temperature of materials with low thermal inertia (such as fibre insulating board and polyurethane foam) rises quickly when heated. [26] Thermal inertia can be characterised by the equation [15,25,27,28]:

$$I = k\rho c \quad (6)$$

Thermal inertia determined in this way is used by most authors dedicated to the evaluation of data obtained from the measurements on cone calorimeter. Therefore, in the moment of initiation applies, that the thermal inertia can be calculated as follows:

$$I = \left(\frac{TRP}{T_{ig} - T_{\infty}} \right)^2 \quad (7)$$

In table 5, there are values of initiation parameters reported in the literature. Based on the mentioned overview, it can be stated that there are strong differences between various types of wood. Critical heat flux has a variance from 3 kW.m⁻² to 40 kW.m⁻², thermal response parameter approximately from 120 kW.s^{0.5}.m⁻² to 275 kW.s^{0.5}.m⁻², equivalent thermal inertia from 0,087 kJ².m⁻⁴.K⁻².s⁻¹ to 0,393 kJ².m⁻⁴.K⁻².s⁻¹ and ignition temperature from 204 °C to 643 °C. In case is, for this reason, necessary individual assessment of wood products.

Calculated values of initiation parameters (critical heat flux, thermal response parameter, equivalent inertia and the ignition temperature) of OSB, are listed in Tab. 4. Although the effect of moisture content on time to ignition of flame burning was strong, critical heat flux calculated for ignition in infinite time differs only slightly. This fact is in agreement with already mentioned results of studies of authors Atreya and Abu-Zaid. [7] Combination of differences in time to ignition and similarity of critical heat flux suggest that at thermal load at first occurs

inercia a špecifické teplo dreva sú závislé na teplote, tepelná inercia pri iniciácii nie je rovnaká ako tá získaná za okolitých podmienok. Namiesto toho je tepelná inercia pri iniciácii zdánlivou hodnotou a možno ju získať z údajov spojených so zapálením.[15] Tepelná inercia je súčinom tepelnej vodivosti (k), hustoty (ρ), a špecifického tepla (c), materiálu a určuje jeho iniciačné vlastnosti a vlastnosti charakterizujúce šírenia plameňa. To udáva rýchlosť nárastu teploty povrchu a následne, čas do zapálenia. [26] Povrchová teplota materiálov s nízkou tepelnou inerciou (ako je vláknitá izolačná doska a polyuretánová pena) pri zahrievaní rýchlo narastá. [26] Tepelnú inerciu je možné charakterizovať pomocou rovnice [15,25,27,28]:

$$I = k\rho c \quad (6)$$

Takto určená tepelná inercia je používaná väčšinou autorov venujúcich sa vyhodnocovaniu údajov získaných z meraní na kónickom kalorimetri. V momente iniciácie teda platí, že je tepelnú inerciu možné vypočítať nasledovne:

$$I = \left(\frac{TRP}{T_{ig} - T_{\infty}} \right)^2 \quad (7)$$

V tabuľke 5 sa nachádzajú hodnoty iniciačných parametrov uvádzané v literatúre. Na základe uvedeného prehľadu je možné skonštatovať, že medzi jednotlivými drevinami sa vyskytujú výrazné rozdiely. Kritický tepelný tok má rozptyl od 3 kW.m⁻² do 40 kW.m⁻², parameter tepelnej odozvy približne od 120 kW.s^{0.5}.m⁻² do 275 kW.s^{0.5}.m⁻², ekvivalentná tepelná inercia od 0,087 kJ².m⁻⁴.K⁻².s⁻¹ do 0,393 kJ².m⁻⁴.K⁻².s⁻¹ a iniciačná teplota od 204 °C do 643 °C. Z tohto dôvodu je v prípade výrobkov z dreva potrebné posudzovať ich individuálne.

Vypočítané hodnoty iniciačných parametrov (kritického tepelného toku, parametra tepelnej odozvy, ekvivalentnej inercie a iniciačnej teploty) OSB sú uvedené v Tab. 4. Hoci pri čase do iniciácie plameňového horenia vzorky bol vplyv vlhkosti výrazný, kritický tepelný tok

evaporation of moisture content from the surface layer of the sample, what cause markedly delayed process of initiation.

Based on a comparison of designated critical heat flux with values reported by other authors for wood-based materials (Tab. 5) it can be stated, that OSB has critical heat flux relatively low, in comparison with other materials.

Since time to ignition is affected by the moisture content of the sample, calculation of critical heat flux related to a specific time, during which can be sample ignited, lead to different values. The lower is expected a maximum time of heat flux effect, the stronger is the difference between oven-dried and non-dried samples.

In contrast to critical heat flux, the difference between the oven-dried and non-dried OSB is in case of TRP visible. At non-dried OSB it has a higher value, because of the already mentioned shift of their initiation. In both cases, the data are comparable with values reported in the literature for wood-based materials.

prepočítaný na zapálenie v čase blížiacemu sa nekonečnu sa líši len veľmi málo. Táto skutočnosť je v zhode s už spomenutými výsledkami štúdie od autorov Atreya a Abu-Zaid [7]. Kombinácia rozdielov v čase do iniciácie a podobnosti kritického tepelného toku naznačujú, že pri termickom zaťažení dochádza najskôr k odpareniu vlhkosti toku naznačujú, že pri termickom zaťažení dochádza najskôr k odpareniu vlhkosti z povrchovej vrstvy vzorky, čím je proces iniciácie značne oneskorený.

Na základe porovnania určeného kritického tepelného toku s hodnotami udávanými inými autormi pre materiály na báze dreva (Tab. 5) je možné skonštatovať, že ho OSB majú oproti iným materiálom relatívne nízky.

Keďže je čas do iniciácie ovplyvnený vlhkosťou vzorky, výpočet kritického tepelného toku vzťahnutého na konkrétnu dobu, v priebehu ktorej sa vzorka môže zapáliť, vedie k rozdielnym hodnotám. Tento rozdiel medzi vysušenými a nevysušenými vzorkami je tým výraznejší, čím nižší je predpokladaný maximálny čas pôsobenia tepelného toku.

Na rozdiel od kritického tepelného toku je v prípade TRP viditeľný rozdiel medzi vysušenými a nevysušenými OSB. Pri nevysušených OSB má vyššiu hodnotu z dôvodu už spomenutého posunu ich iniciácie. V oboch prípadoch sú údaje porovnateľné s hodnotami uvádzanými v literatúre pre materiály na báze dreva.

Tab. 4 Resulting values of initiation parameters oven-dried and non-dried OSB

Tab. 4 Výsledné hodnoty iniciačných parametrov vysušených a nevysušených OSB

Parameter / Parameter	Jednotka / Unit	Vysušené OSB / Oven dried OSB	Nevysušené OSB / Non-dried OSB
$t_{ig} = \infty$		5,68	5,26
Kritický tepelný tok / Critical heat flux	$t_{ig} = 1800$ s	10,85	11,34
	$t_{ig} = 600$ s	14,63	15,80
	$t_{ig} = 300$ s	18,34	20,16
Parameter tepelnej odozvy / Thermal response parameter	$\text{kW}\cdot\text{s}^{0,5}\cdot\text{m}^{-2}$	148	174
Ekvivalentná tepelná inercia / Equivalent thermal inertia	$\text{kJ}^2\cdot\text{m}^{-4}\cdot\text{K}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$	0,2592	0,3859
Iniciačná teplota / Initiation temperature	$^{\circ}\text{C}$	316	306

Thermal inertia at woody materials in most cases reaches values approximately from $0,1 \text{ kJ}^2 \cdot \text{m}^{-4} \cdot \text{K}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ to $0,4 \text{ kJ}^2 \cdot \text{m}^{-4} \cdot \text{K}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. This interval includes also calculated thermal inertias for oven-dried and non-dried OSB.

While oven-dried OSB is, in this case, closer to redwood or victorian ash, non-dried samples are closer to blackbutt and hardboard.

From the point of view of ignition temperature, the value calculated for both oven-dried and non-dried samples is within the range reported in the literature for wood base materials. Despite to that, it is necessary to perceive it rather indicatively because the calculation was simplified, for example by using of assumption of constant value of surface emissivity of OSB, from the beginning of measurement to the initiation. In this case, there was only the minimal difference between oven-dried and non-dried samples, what is a logical result of similar values of critical heat flux.

Tepelná inercia dosahuje pri drevných materiáloch vo väčšine prípadov hodnoty približne od $0,1 \text{ kJ}^2 \cdot \text{m}^{-4} \cdot \text{K}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ do $0,4 \text{ kJ}^2 \cdot \text{m}^{-4} \cdot \text{K}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Do tohto intervalu spadajú aj vypočítané tepelné inercie pre vysušené a nevysušené OSB.

Zatiaľ čo sa vysušené OSB v tomto ohľade približujú sekvoji či drevu známemu ako “victorian ash”, nevysušené majú bližšie k eukaliptovému drevu (blackbut) a drevovláknitej doske s vysokou hustotou.

Z hľadiska iniciačnej teploty spadá hodnota vypočítaná tak pre vysušené ako aj pre nevysušené vzorky do rozsahu uvádzanom v literatúre pre materiály na báze dreva. Napriek tomu je však potrebné ju vnímať skôr orientačne nakoľko bolo pri výpočte použitých viacero zjednodušení, ako napríklad predpoklad konštantnej hodnoty emisivity povrchu OSB od počiatku merania po iniciáciu. Medzi vysušenými a nevysušenými vzorkami bol v tomto prípade len minimálny rozdiel, čo je logickým dôsledkom podobných hodnôt kritického tepelného toku.

Tab. 5 Values of initiation parameters of wood and wood based materials
Tab. 5 Hodnoty iniciačných parametrov dreva a materiálov na báze dreva

Materiál / Material	Obsah vlhkosti /Moisure content (%)	Kritický tepelný tok / Critical heat flux (kW.m ⁻²)	Parameter tepelnej odozvy / Thermal response parameter (kW.s _{0,5} .m ⁻²)	Ekvivalentná tepelná inercia / Equivalent thermal inertia (kJ ² .m ⁻⁴ .K ⁻² .s ⁻¹)	Iniciačná teplota / Initiation temperature (°C)	Zdroj
Sekvoja vždyzelená / Redwood	-	3	-	0,25	204	[29]
Borovica lúčovitá / Radiata pine	15	13,2	-	0,269	T _∞ + 377	[30]
Javor uťatý / Pacific maple	10 – 12	10,3	-	0,213	T _∞ + 302	[30]
Tuja riasnatá / Western redcedar	0	13,3	-	0,087	354	[31]

Sekvoja vždyzelená / Redwood	0	14,0	-	0,141	364	[31]
Borovica lúčovitá / Radiata pine	0	12,9	-	0,156	349	[31]
Duglaska tisolistá / Douglas fir	0	13,0	-	0,158	350	[31]
Eukalyptus / Victorian ash	0	10,4	-	0,260	311	[31]
Eucalyptus pirularis / Blackbutt	0	9,7	-	0,393	300	[31]
Duglaska tisolistá / Douglas fir	14,0	18	182	-	478	[12]
Borovica lesná / Scots pine	17,5	19	164	-	488	[12]
Borovica ježatá / Southern pine	17,0	19	201	-	488	[12]
Shorea/Shorea	15,2	16	152	-	456	[12]
Merbau/Merbau	19,5	40	275	-	643	[12]
Preglejka (B) / Plywood (B)		11,0	136	-	-	[21]
Preglejka (D) / Plywood (D)		10,5	124	-	-	[21]
Preglejka (M1) / Plywood (M1)	-	16,5	225,6	0,13920	-	[32]
Preglejka (M3) / Plywood (M3)	-	13,4	230,2	0,32625	-	[32]
Drevotrieková doska / Particleboard	6,69	-	-	1,195	251	[33]
Drevovláknitá doska / Hardboard	5,21	-	-	0,4	351	[33]
OSB / OSB	5,88	-	-	0,244	348	[33]
OSB A / OSB A	-	2,9*	180,9*	-	-	[34]
OSB B / OSB B	-	4,5*	196,9*	-	-	[34]
OSB C / OSB C	-	1,8*	184,6*	-	-	[34]

* Hodnota vypočítaná z časov do iniciácie uvedených v príslušnom zdroji

* Value calculated from times to ignition listed in corresponding source

4 Conclusions

In general, the effect of moisture content of materials on the ability to resist to initiation of burning is well known. However, the initiation cannot be characterised only by one property. So-called initiation parameters are used for this purpose. Oven-dried and non-dried OSB were compared based on the four of them (critical heat flux, thermal response parameter, thermal inertia and initiation temperature). In both cases, there were constructed dependencies of time to ignition on external heat flux, which were proposed by various authors, and based on this dependencies, the samples were furthermore considered as thermally thick material. Calculated values of critical heat flux were not strongly different, and their difference was only $0,42 \text{ kW.m}^{-2}$ (oven-dried $5,68 \text{ kW.m}^{-2}$ and non-dried $5,26 \text{ kW.m}^{-2}$). Ignition temperatures were also very similar. They were calculated to $316 \text{ }^\circ\text{C}$ for oven-dried samples and to $306 \text{ }^\circ\text{C}$ for non-dried samples. In the contrast, thermal response parameters and thermal inertias were different, when in the case of oven-dried samples they were $174 \text{ kW.s}^{0,5}.\text{m}^{-2}$ and $0,3859 \text{ kJ}^2.\text{m}^4.\text{K}^{-2}.\text{s}^{-1}$ and in the case of non-dried samples they were $148 \text{ kW.s}^{0,5}.\text{m}^{-2}$ and $0,2592 \text{ kJ}^2.\text{m}^4.\text{K}^{-2}.\text{s}^{-1}$. The results show, that moisture content of OSB does not have a strong impact on critical conditions, in which they may be initiated, but strongly affect the time, when the initiation occurs.

Acknowledgments

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

References / Literatúra

- [1] Kruse K, Dai C, Pielasch A. 2000. An analysis of strand and horizontal density distributions in oriented strand board (OSB). *European Journal of Wood and Wood Products* 58.4: 270-277.
- [2] UNECE/FAO. 2018. Forest products annual market review 2017-2018. United Nations.
- [3] Veigel S, Rathke J, Weigl M, Gindl-Almutter G. 2012. Particle board and oriented strand board prepared with nanocellulose-reinforced adhesive. *Journal of Nanomaterials* 2012: 1-8.
- [4] Janssens M. 1991. Piloted ignition of wood: a review. *Fire and Materials* 15.4: 151-167.
- [5] Koohyar AN. 1968. Ignition of wood by flame radiation. PhD Thesis. The University of Oklahoma, (USA).

4 Záver

Vplyv vlhkosti materiálov na ich schopnosť odolávať iniciácii horenia je všeobecne dobre známa. Samotnú iniciáciu však nie je možné charakterizovať jedinou vlastnosťou. Na tento účel sú využívané tzv. iniciačné parametre. Na základe štyroch z nich (kritická tepelný tok, parameter tepelnej odozvy, tepelná inercia a iniciačná teplota) boli porovnané vysušené a nevysušené OSB. V oboch prípadoch boli zostavené závislosti času do iniciácie od externého tepelného toku navrhované rozličnými autormi, na základe čoho boli ďalej vzorky považované za tepelne hrubý materiál. Vypočítané hodnoty kritického tepelného toku sa výrazne nelíšili a ich rozdiel predstavoval len $0,42 \text{ kW.m}^{-2}$ (vysušené $5,68 \text{ kW.m}^{-2}$ a nevysušené $5,26 \text{ kW.m}^{-2}$). Taktiež veľmi podobné boli aj iniciačné teploty. Pre vysušené vzorky bola vypočítaná na $316 \text{ }^\circ\text{C}$ a pre nevysušené na $306 \text{ }^\circ\text{C}$. Parametre tepelnej odozvy a tepelné inercie sa oproti tomu líšili keď v prípade vysušených vzoriek boli $174 \text{ kW.s}^{0,5}.\text{m}^{-2}$ a $0,3859 \text{ kJ}^2.\text{m}^4.\text{K}^{-2}.\text{s}^{-1}$ a v prípade nevysušených $148 \text{ kW.s}^{0,5}.\text{m}^{-2}$ a $0,2592 \text{ kJ}^2.\text{m}^4.\text{K}^{-2}.\text{s}^{-1}$. Z výsledkov vyplýva, že vlhkosť OSB nemá výrazný vplyv na kritické podmienky, v ktorých môže dôjsť k ich iniciácii, ale výrazne ovplyvňuje čas kedy k nej dôjde.

Pod'akovanie

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

- [6] Simms DL, Law M. 1967. The ignition of wet and dry wood by radiation. *Combustion and Flame* 11.5: 377-388.
- [7] Atreya A, ABU-ZAID M. 1991. Effect of environmental variables on piloted ignition. *Fire Safety Science* 3: 177-186.
- [8] Abu-Zaid MZ. 1989. Effect of water on ignition of cellulosic materials. PhD Thesis. Michigan State Univ., East Lansing, MI (USA).
- [9] Simms DL. 1960. Ignition of cellulosic materials by radiation. *Combustion and Flame* 4: 293-300.
- [10] Shi L, Chew MYL. 2012. Influence of moisture on autoignition of woods in cone calorimeter. *Journal of fire sciences* 30.2: 158-169.
- [11] Rantuch P, Hrušovský I, Martinka J, Balog K. 2016. Determination of the critical heat flux and the corresponding surface ignition temperature of expanded cork plates. *Wood and Fire Safety 2016*. Žilina : EDIS. 261-268.
- [12] Xu Q, Chen L, Harries KA, Zhang F, Liu Q, Feng J. 2015. Combustion and charring properties of five common constructional wood species from cone calorimeter tests. *Construction and Building Materials* 96: 416-427.
- [13] Delichatsios MA. 2000. Ignition times for thermally thick and intermediate conditions in flat and cylindrical geometries. *Fire Safety Science* 6: 233-244
- [14] Delichatsios MA. 2005. Piloted ignition times, critical heat fluxes and mass loss rates at reduced oxygen atmospheres. *Fire Safety Journal* 40.3: 197-212.
- [15] Spearpoint MJ, Quinteire JG. 2001. Predicting the piloted ignition of wood in the cone calorimeter using an integral model-effect of species, grain orientation and heat flux. *Fire safety journal* 36.4: 391-415.
- [16] Lawson DI, Simms UD. 1952. The ignition of wood by radiation. *British Journal of Applied Physics*. 3.9: 288-292.
- [17] Mikkola E, Wichaman IS. 1989. On the thermal ignition of combustible materials. *Fire and Materials*. 14.3: 87-96.
- [18] Bluhme DA. 1987. ISO ignitability test and proposed criteria. *Fire and materials*. 11.4: 195-199.
- [19] Zhang J, Shields TJ, Silcock GWH. 1996. Fire hazard assessment of polypropylene wall linings subjected to small ignition sources. *Journal of fire sciences*. 14.1: 67-84.
- [20] Brown JE, Braun E, Twilley WH. 1988. Cone Calorimeter Evaluation of the Flammability of Composite Materials. National Bureau of Standards.
- [21] Fateh T, Rogaume T, Luche J, Richard F, Jabouille F. 2014. Characterization of thermal decomposition of two kinds of plywood with a cone calorimeter-FTIR apparatus. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. 107: 87-100.
- [22] Dao DQ, Rogaume T, Luche J, Richard F, Valencia LB, Ruban S. 2013. Determination of characteristic parameters for the thermal decomposition of epoxy resin/carbon fibre composites in cone calorimeter. *International journal of hydrogen energy* 38.19: 8167-8178.
- [23] Tewarson A, Ogden SD. 1992. Fire behavior of polymethylmethacrylate. *Combustion and flame* 89.3-4: 237-259.

- [24] Babrauskas V. 2016. The cone calorimeter. In: SFPE handbook of fire protection engineering. Springer, New York, NY. 952-980.
- [25] Patel P, Hull R, Stec AA, Lyon RE. 2011. Influence of physical properties on polymer flammability in the cone calorimeter. *Polymers for Advanced Technologies* 22.7: 1100-1107.
- [26] Drysdale D. 2011. An introduction to fire dynamics. John Wiley & Sons, Inc.
- [27] Delichatsios MA, Panagiotou TH, Kiley F. 1991. The use of time to ignition data for characterizing the thermal inertia and the minimum (critical) heat flux for ignition or pyrolysis. *Combustion and Flame* 84.3-4: 323-332.
- [28] Harada T. 2001. Time to ignition, heat release rate and fire endurance time of wood in cone calorimeter test. *Fire and materials* 25.4: 161-167.
- [29] Boonmee N, Quinteire JG. 2002. Glowing and flaming autoignition of wood. *Proceedings of the combustion institute* 29.1: 289-296.
- [30] Moghtaderi B, Novozhilov V, Fletcher DF, Kent JH. 1997. A new correlation for bench-scale piloted ignition data of wood. *Fire Safety Journal* 29.1: 41-59.
- [31] Janssens MARC. 1991. A thermal model for piloted ignition of wood including variable thermophysical properties. *Fire Safety Science* 3: 167-176.
- [32] Fateh T, Rogaume T, Richard F, Luche J, Rousseaux P. 2010. Characterization of the thermal degradation of two treated plywoods in a cone calorimeter. In: *Proceedings of the Sixth International Seminar on Fire and Explosion Hazards (FEH6)*, University of Leeds, UK. 11-16.
- [33] Dietenberger MA. 2004. Ignitability of materials in transitional heating regimes. In: *Wood & fire safety 2004: proceedings, 5th international scientific conference, Slovak Republic.*: 31-41.
- [34] White RH, Winandy JE. 2006. Fire performance of oriented strandboard. In: *Proceedings of the Conference on Recent Advances in Flame Retardancy of Polymeric Materials: volume XVII, Applications, Research and Industrial Development Markets*. Norwalk, CT: BCC Research

Change in mass loss of thermally loaded spruce wood due to its flame retardant treatment

Zmena úbytku hmotnosti termicky zat'áženého smrekového dreva vplyvom jeho ošetrenia retardérom horenia

Iveta Mitterova^{1,*}, Robert Racsko²

¹ Technical University in Zvolen, Faculty of Wood Sciences and Technology, Department of Fire Protection, T. G. Masaryka 24, 960 01 Zvolen, Slovakia; iveta.mitterova@tuzvo.sk

² Technical University in Zvolen, T. G. Masaryka 24, 960 01 Zvolen, Slovakia; racsko@is.tuzvo.sk

* Corresponding author: iveta.mitterova@tuzvo.sk

Original scientific paper

Received: July 08, 2019; Accepted: July 29, 2019; Published: December 31, 2019

Abstract

Wood is a hundred-year proven building material with positive physical and mechanical properties, long life and high aesthetic standards. It is an ecological and at the same time the only "growing" building material. As its weakness is its flammability, the issue of wood fire protection is one of the key areas of its research. The paper generally deals with forms of wood protection against its degradation factors (biotic and abiotic). Briefly, there are presented methods of structural, physical, chemical modification, treatment, used for its protection. Particular attention is paid to fire protection and the mechanism of action of protective (retardant) substances. An important part of the paper is the introduction of results of experimental work, which were focused on the study of the effect of concentrations (100%, 75% and 50%) and layers number of selected fire-retardant PLAMOR OK V2026 coating on sample mass loss. The individual concentrations were applied in one or two layers. The results pointed out the 2-layer coating with 75% concentration of flame retardant to be a good choice for customers, for both applicability and efficiency.

Keywords: spruce wood, flame retardant, fire-resistant coating; mass loss; time to self-ignition

1 Introduction

Wood is a material that has an irreplaceable place in the building industry and is still an increasingly used building element today.

The phenomenon of wood architecture in many European countries does not only mean a return to traditions and to original values. Wood is also positively perceived thanks to its excellent mechanical properties, thermal properties and overall low energy balance. It is easy to work and bondable, which, in conjunction with previous features, predetermines wood for the construction of economical and energy efficient buildings [1, 6].

1 Úvod

Drevo je materiál, ktorý má v stavebníctve nezastupiteľné miesto a aj dnes je čoraz častejšie využívaným stavebným prvkom.

Fenoménn drevnej architektúry v mnohých krajinách Európy neznamená len návrat k tradíciám a k pôvodným hodnotám. Drevo je pozitívne vnímané aj vďaka vynikajúcim mechanickým vlastnostiam, tepelno-technickým vlastnostiam a celkovo nízkej energetickej bilancii. Je ľahko opracovateľné a spájateľné, čo v spojení s predchádzajúcimi vlastnosťami predurčuje drevo na stavbu ekonomických a energeticky úsporných budov [1, 6].

Wood as a natural material is composed of three basic organic polymers - cellulose, hemicelluloses and lignin, that are more or less prone to damage by abiotic factors (UV radiation, water, sun, oxygen), biological pests (fungi), insects, bacteria) and degradation processes at higher temperatures - fire. That is the reason why its fire protection is considered to be required [2, 3].

Presently, wood protection can be implemented with a set of measures that can be combined in practice. According to Reinprecht [3], the basic principles of wood protection include: *structural protection* (e.g. using more durable wood species), *physical protection* (e.g. by sterilizing wood by radioactive or UV radiation), *chemical protection* (substances with biocidal, UV-sorption, hydrophobic, flame retardant and other directional effects), *modification protection* (thermal, chemical and enzymatic treatment of hemicelluloses, cellulose, lignin and / or extractive substances in wood cells), *fire protection* (most often chemical flame retardants).

The flame retardants can be characterized as substances that suppress various reaction events in the thermal load induced material [4].

They slow the thermal decomposition and burning of wood in various ways [3, 5]:

- Prevent oxygen from entering the wood surface.
- Insulate the wood substance from the heat source by forming a solid insulating layer (e.g. carbonated foam) or charcoal.
- Dilute the pyrolysis gases - dilution of combustible gases generated during thermal decomposition of wood with non-combustible gases.
- Reduce the oxygen concentration - in the active wood pyrolysis zone by chemical reaction with oxygen.
- Activate endothermic reactions - especially dehydration reactions in cellulose and hemicelluloses, releasing water molecules while supporting the formation of charcoal and, on the contrary, suppressing the formation of combustible gases.
- Prevent carbon oxidation in the charcoal layer to carbon dioxide - preventing charcoal.

Drevo ako prírodný materiál je zložený z troch základných organických polymérov – celulózy, hemicelulózu a lignínu, ktoré sú viac alebo menej náchylné na poškodenie abiotickými vplyvmi (UV žiarenie, voda, slnko, kyslík), biologickými škodcami (huby, hmyz, baktérie) a degradačnými procesmi pri pôsobení vyšších teplôt – ohňa. Vzhľadom k uvedenému, nevyhnutnou požiadavkou je jeho ochrana [2, 3].

V súčasnosti možno ochranu dreva realizovať súborom opatrení, ktoré sa v praxi dajú vzájomne kombinovať. Podľa Reinprechta [3], medzi základné princípy ochrany dreva patrí: konštrukčná ochrana (použitím trvanlivejších druhov dreva), fyzikálna ochrana (napr. sterilizáciou dreva rádioaktívnym alebo UV žiarením), chemická ochrana (látkami s biocídnym, UV-sorpčným, hydrofobizačným, ohňovzdorným a iným smerovým účinkom), modifikačná ochrana (termické, chemické a enzymatické úpravy hemicelulózu, celulózu, lignínu a/alebo extraktívnych látok v bunkách dreva), protipožiarna ochrana (najčastejšie chemickými látkami – retardérmami horenia).

Retardéry horenia môžeme charakterizovať ako látky potláčajúce rôzne reakčné deje v materiáli vyvolané tepelnou záťažou [4].

Čo sa týka dreva spomaľujú jeho termický rozklad a horenie rôznymi spôsobmi [3, 5]:

- zabraňujú prístupu kyslíka k povrchu dreva
- tepelne izolujú drevnú substanciu od tepelného zdroja – vytváraním tuhej izolačnej vrstvy (napr. skarbonizovanej peny) alebo drevného uhlia,
- riedením pyrolýznych plynov – riedenie horľavých plynov vznikajúcich počas termického rozkladu dreva plynmi nehorľavými,
- znižovaním koncentrácie kyslíka – v zóne aktívnej pyrolýzy dreva formou chemickej reakcie s kyslíkom,
- aktivizujú endotermické reakcie – predovšetkým dehydratačné reakcie v celulóze a hemicelulózach za uvoľňovania molekúl vody a za súčasnej podpory tvorby drevného uhlia a naopak potlačania tvorby horľavých plynov,
- bránia oxidácii uhlíka vo vrstve drevného uhlia na oxid uhličitý – bránia žeraveniu drevného uhlia.

In particular, aqueous flame retardant systems are used, either as concentrated solutions of suitable inorganic salts (ammonium phosphates, ammonium sulphates, ammonium chlorides, boric acid, chlorides: magnesium, calcium, zinc, etc.) or as aqueous dispersions of suitable polymers with the addition of retardant and foaming agents (intumescent coatings) [1, 3].

In terms of the protection technology used, we can talk about protection systems based on wet technology (plastering, spraying, coating), dry technology (tiling) or coating systems [6]. Practical techniques for wood flame retardation include: pressure impregnation, surface treatments, and addition of a fire retardant during manufacturing process, and other flame/fire retardant treatment methods (e.g. nanocomposite systems, or chemo-enzymatic method for modifying cellulose materials [4].

There are further introduced several current works which focus on flame retardancy of wood and its testing.

Bogdanova, Kobets and Kirlitsa [7] studied the factors exerting a significant influence on the termination of the combustion of natural materials (wood and peat) with the use of synthetic nitrogen- and phosphorus-containing fire retardants with different efficiencies. With the use of a mathematical experimental design method, it was confirmed that the inhibition of gas-phase radical processes by volatile nitrogen-containing products is the predominant process of combustion suppression. It was found that the synergism of the nitrogen-phosphorus flame retardants is determined by their complex action: phosphorus mainly enters organomineral structures in the condensed phase, and nitrogen inhibits reactions in a gas phase.

He et al. [8] studied the poplar samples, which were impregnated with ammonium polyphosphate fire retardant at various pressures and durations after they were pretreated with microwave heating. The effects of the pressure and duration on the flame-retardation and smoke-suppression properties were investigated with cone calorimeter analysis. The peak heat release rate (pk-HRR), total heat release (THR), and total smoke

Uplatňujú sa predovšetkým vodné systémy retardérov horenia, buď ako koncentrované roztoky vhodných anorganických solí (fosforečnany amónne, sírany amónne, chloridy amónne, kyselina boritá, chloridy: horečnatý, vápenatý, zinočnatý a pod.) alebo ako vodné disperzie vhodných polymérov s prídavkom retardačných a penotvorných zložiek (intumescentné náterové látky) [1, 3].

Z hľadiska použitej technológie ochrany môžeme hovoriť o systémoch ochrany na báze mokrej technológie (omietky, nástreky, obetónovanie), suchej technológie (obklady) alebo náterovými systémami [6]. Medzi praktické postupy retardácie horenia dreva patria: tlaková impregnácia, povrchové úpravy, pridanie retardéra horenia počas výrobného procesu a iné spôsoby spracovania retardujúce plameň/horenie (napr. nanokompozitné systémy alebo chemo-enzymatický spôsob modifikácie celulóзовých materiálov [4].

Ďalej uvádzame niekoľko aktuálnych prác zameraných na retardáciu horenia dreva a jeho testovanie.

Bogdanova, Kobets a Kirlitsa [7] skúmali faktory, ktoré majú významný vplyv na ukončenie horenia prírodných materiálov (drevo a rašelina) s použitím syntetických retardérov horenia s obsahom dusíka a fosforu s rôznou účinnosťou. Použitím metódy matematického návrhu experimentu sa potvrdilo, že inhibícia radikálových procesov v plynnej fáze prchavými produktmi obsahujúcimi dusík je prevládajúcim procesom pri potlačaní horenia. Zistilo sa, že synergický účinok dusíka a fosforu je určený ich komplexným pôsobením: fosfor vstupuje hlavne do organominerálnych štruktúr v kondenzovanej fáze a dusík inhibuje reakcie v plynnej fáze.

He et al. [8] študovali vzorky topoľa, ktoré boli impregnované retardérom horenia – polyfosforečnanom amónnym pri rôznych tlakoch a trvaní po ich predúprave mikrovlnným ohrevom. Účinky tlaku a času pôsobenia na vlastnosti retardácie horenia a potlačenie dymu sa skúmali analýzou kónického kalorimetra. Maximálna rýchlosť uvoľňovania tepla (pk-HRR), celkové uvoľnené teplo (THR) a celkové množstvo produktov horenia (TSP) modifikovaných

product (TSP) of treated woods were compared for samples of pretreated and untreated with microwave. After the impregnation, the poplar wood showed the significant improvement in its fire resistance. Compared with non-impregnation wood, the pk-HRR, THR, and TSP of wood impregnated with ammonium polyphosphate at pressure of 0.4MPa and duration of 10 min were 48.29%, 35.58%, and 68.64% less, respectively. The pk-HRR, THR, and TSP of microwave pretreated wood was 15.89%, 5.69%, and 13.59% less than those without microwave pretreated sample. They stated that the microwave pretreatment of wood can increase fire retardant effectiveness of ammonium polyphosphate-impregnated wood.

Merk, Chanana and Gaan [9] studied the precipitation of CaCO_3 mineral in Norway spruce and European beech wood by alternating impregnation with aqueous and alcoholic electrolyte solutions. Microstructural imaging by SEM and confocal Raman microscopy showed the distribution of calcite and vaterite as two CaCO_3 polymorphs, which were deposited deep inside the cellular structure of the wood. The confined microenvironment of the wood cell wall seemed to favor a formation of vaterite, as visible by XRD and Raman spectroscopy. In view of a practical application, they stated that the mineralization of wood opens ways for sustainable wood-based hybrid materials with a significantly improved fire resistance. Beyond that, this versatile solute-exchange approach provides an opportunity for the incorporation of a broad range of different mineral phases into wood for novel material property combinations.

Gasparik et al. [10] focused flammability characteristics of thermally modified oak wood treated with a fire retardant. The flammability characteristics were determined for oak wood (*Quercus robur* L.), which was thermally modified at 160, 180, and 210 °C. Subsequently, the thermally modified and unmodified wood was treated with a fire retardant. The effect of the thermal modification (TM) and fire-retardant treatment (FRT) on the weight loss (WL), burning rate (BR), maximum burning rate (MBR), and time to reach the maximum burning rate (TRMBR) drevín boli porovnané so vzorkami

predupravenými a neupravenými mikrovlnným ohrevom. Po impregnácii vykazovalo topoľové drevo výrazné zlepšenie termickej odolnosti. V porovnaní s drevom bez impregnácie, pk-HRR, THR a TSP dreva impregnovaného polyfosforečnanom amónnym pri tlaku 0,4 MPa a trvaní 10 minút boli o 48,29%, 35,58% a 68,64% nižšie. Hodnoty pk-HRR, THR a TSP dreva predupraveného mikrovlnným ohrevom boli o 15,89%, 5,69% a o 13,59% nižšie ako hodnoty vzoriek neupravených mikrovlnným ohrevom. Autori uvádzajú, že predúprava dreva mikrovlnným ohrevom môže zvýšiť účinnosť samozhášania dreva impregnovaného polyfosfátom amónnym.

Merk, Chanana a Gaan [9] študovali zrážanie minerálu CaCO_3 v smreku obyčajnom a buku lesnom striedavým impregnovaním vodným a alkoholovým elektrolytovým roztokom. Mikroštruktúralne zobrazovanie pomocou SEM a konfokálnej Ramanovej mikroskopie ukázalo distribúciu kalcitu a vateritu ako dvoch polymorfov CaCO_3 , ktoré boli uložené hlboko v bunkovej štruktúre dreva. Zdá sa, že uzavreté mikroprostredie steny drevených buniek podporuje tvorbu vateritu, čo je zrejme z XRD a Ramanovej spektroskopie. S ohľadom na praktické uplatnenie autori uviedli, že mineralizácia dreva otvára cestu pre trvalo udržateľné hybridné materiály na báze dreva s výrazne zlepšenou požiarnou odolnosťou. Okrem toho tento postup výmeny rozpustných látok dáva možnosti na začlenenie širokej škály rôznych minerálnych fáz do dreva za účelom získania nových kombinácií materiálových vlastností.

Gasparik et al. [10] sa zamerali na štúdium charakteristík horľavosti tepelne modifikovaného dubového dreva ošetreného retardérom horenia. Charakteristiky horľavosti boli stanovené pre dubové drevo (*Quercus robur* L.), ktoré bolo tepelne modifikované pri 160, 180 a 210 °C. Následne bolo tepelne modifikované a nemodifikované drevo ošetrené retardérom horenia. Vyhodnotený bol vplyv tepelnej modifikácie (TM) a ošetrenia retardérom horenia (FRT) na úbytok hmotnosti (WL), rýchlosť horenia (BR), maximálnu rýchlosť horenia (MBR) a čas na dosiahnutie maximálnej rýchlosti horenia (TRMBR).

were evaluated. The FRT had an expected positive effect on all the flammability characteristics, where the WL, BR, and MBR decreased, and the TRMBR increased. The TM temperature did not have a clear effect. As the TM temperature increased, the WL and BR decreased. The highest differences were found at 160 and 180 °C. As the TM temperature increased for the wood without the FRT, the TRMBR decreased. During the burning of the thermally modified wood with the FRT, the trend was the exact opposite.

Grzeskowiak [11] studied effectiveness of new wood fire retardants using a cone calorimeter. Analysis was conducted for two preparations, A1 containing guanidine carbonate and A2 with urea, in accordance with the standard ISO 5660-1 and nonstandard method using Mini Fire Tube. Samples of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) wood were protected using the above-mentioned mixtures applied under vacuum. Recorded results for pine wood impregnated with the tested preparations at a concentration of 15% showed that they have high fire-retardant effectiveness at the intensity of the radiant heat of 35kW/m². An increase in the number of nitrogen atoms in the preparation provides greater fire-retardant effectiveness of the agent.

He et al. [12] used the silica sol (SiO₂ sol) and K₂CO₃ as flame retardants for wood. The synergistic effect of SiO₂ sol and K₂CO₃ on the flame retardancy, leaching resistance, and thermal properties of wood was investigated. The limiting oxygen index results revealed a significant improvement in the flame retardancy and leaching resistance of the wood sample treated with K₂CO₃ and SiO₂ sol using the double bath technique. The thermal analysis results showed that the synergistic effect of K₂CO₃ and the SiO₂ sol effectively prolonged the degradation of the wood sample during the charring stage and improved the stability of the char residue. The thermogravimetry-mass spectrometry analysis and scanning electron microscopy results showed that K₂CO₃ catalysed the degradation reaction of the wood sample at lower temperatures resulting in an increase in the water and carbon dioxide output, and the SiO₂ sol formed a compact and melted barrier on the surface of the char residue, which hindered the

FRT mal očakávaný pozitívny účinok na všetky charakteristiky horľavosti, kde WL, BR a MBR klesali a TRMBR rástol. Teplota TM nemala jasný účinok. Keď sa teplota TM zvýšila, WL a BR sa znížili. Najvyššie rozdiely boli zistené pri 160 a 180 °C. Keď sa teplota TM zvýšila pri dreve bez FRT, TRMBR sa znížil. Počas spaľovania tepelne upraveného dreva s FRT bol tento trend presným opakom.

Grzeskowiak [11] študoval účinnosť nových retardérov horenia dreva pomocou kónického kalorimetra. Analýza sa uskutočnila pre dva prípravky, A1 obsahujúci guanidínkarbonát a A2 s močovinou, a to v súlade s normou ISO 5660-1 a s nenormovou metódou s použitím Mini Fire Tube. Vzorok dreva borovice lesnej (*Pinus sylvestris* L.) boli ošetrené vyššie uvedenými zmesami aplikovanými vo vákuu. Výsledky testov borovicového dreva impreg-novaného uvedenými prípravkami v koncentracii 15% ukázali, že uvedené prípravky majú vysokú účinnosť spomaľujúcu horenie pri intenzite sálavého tepla 35 kW/m². Zvýšenie počtu atómov dusíka v prípravku poskytuje vyššiu účinnosť látky retardujúcej horenie.

He et al. [12] použili roztok oxidu kremičitého (SiO₂) a K₂CO₃, ako látky retardujúce horenie dreva. Skúmaný bol synergický účinok SiO₂ roztoku a K₂CO₃ na retardáciu horenia, odolnosť proti vylúhovaniu a tepelné vlastnosti dreva. Výsledky limitného kyslíkového čísla poukázali na významné zlepšenie odolnosti voči horeniu a vylúhovaniu drevnej vzorky ošetrenej K₂CO₃ a SiO₂ s použitím techniky dvojitého kúpeľa. Výsledky tepelnej analýzy ukázali, že synergický účinok K₂CO₃ a roztoku SiO₂ účinne predĺžil degradáciu vzorky dreva počas štádia zuhoľnatenia a zlepšil stabilitu zuhoľnatého zvyšku. Výsledky termogravimetrickej hmotnostnej spektrometrie a skenovacej elektrónovej mikroskopie ukázali, že K₂CO₃ katalyzuje degradačnú reakciu vzorky dreva pri nižších teplotách, čo vedie k zvýšeniu uvoľňovania vody a oxidu uhličitého a roztok oxidu siričitého vytvára na povrchu kompaktnú a roztavenú bariéru, ktorá bráni prenosu tepla a horľavých plynov v kondenzovanej fáze. Kombinácia K₂CO₃ a SiO₂ roztoku sa teda ukázala ako sľubný systém retardujúci horenie dreva.

transfer of heat and combustible gases in the condensed phase. Thus, the combination of K_2CO_3 and SiO_2 so they proved to be a promising flame-retardant system for wood.

Mitterova, Zachar and Majlingova [13] focused the assessment of the chemical substance with fireproof function application effect on the thermal resistance of spruce wood. The results showed the change in effect of the protective substance at varying concentration and method of application (coating, retting), and thus also the different values of observed variables (mass loss, time of ignition) of tested spruce samples.

2 Material and Methods

We have subjected the experiment to samples of spruce (*Picea abies*), representing the most widely used wood in structures. The 50 x 40 x 10 mm samples were free of anatomical and other errors and their humidity ranged from 8.2% to 8.7%.

The samples of spruce wood were treated with PLAMOR OK V2026 fireproof coating produced by CHEMOLAK spA. It is a one-component, water-dilutable coating based on a flame-retardants mixture in a polyvinyl acetate dispersion, with the addition of auxiliary additives. In the combustion process, by its thermal decomposition on the wood surface, it forms a thick foamed layer that insulates the surface of the treated material from the heat source.

The application of the substance was done with a brush, in amount of 0.8 g / one sample / one coat (calculated according to the manufacturer's instructions, who recommended the amount of 400g / m²) and in various concentrations: in undiluted - 100% concentration and diluted with water at 3:1 and 1:1 ratio. The substance at the concentrations indicated was applied in the form of a single-layer and two-layer coating, with a time interval of 24 h, left between the individual coatings. Five representative samples were prepared for one testing set.

The test method used for evaluation and the schematic representation of which is shown in Fig. 1, is a non-standard method. It allows to measure the mass loss of the test sample under the effect of radiant heat loading.

Mitterova, Zachar a Majlingová [13] sa zamerali na hodnotenie chemickej látky s protipožiarnym účinkom na termickú odolnosť smrekového dreva. Výsledky preukázali zmenu v účinku ochrannej látky pri meniacej sa koncentrácii a spôsobe aplikácie (náter, máčanie), a tým aj na rôzne hodnoty pozorovaných veličín (úbytok hmotnosti, čas zapálenia) testovaných vzoriek smreka.

2 Materiál a metódy

Experimentu sme podrobili vzorky smreka obyčajného (*Picea abies*), reprezentujúce najviac používanú drevinu v konštrukciách stavieb. Vzorky s rozmermi 50 x 40 x 10 mm boli bez anatomických a iných chýb a ich vlhkosť sa pohybovala od 8,2% do 8,7%.

Vzorky uvedenej dreviny boli povrchovo upravené protipožiarnym náterom PLAMOR OK V2026 od výrobcu CHEMOLAK a.s. Jedná sa o jednozložkovú, vodou riediteľnú náterovú látku na báze zmesi retardérov horenia v polyvinylacetátovej disperzii, s prídavkom pomocných aditív. V procese horenia vytvára svojim tepelným rozkladom na povrchu dreva hrubú napenenú vrstvu, ktorá izoluje povrch ošetrovaného materiálu od tepelného zdroja.

Aplikácia látky bola vykonaná pomocou štetca, v množstve 0,8 g/jedna vzorka/jeden náter (prepočet bol vykonaný podľa návodu výrobcu, ktorý odporúča 400g/m²) a v rôznych koncentráciách: v neriedenej – 100 % koncentrácii a riedená vodou v pomere 3:1 a 1:1. Látka v uvedených koncentráciách bola nanášaná formou jednovrstvového a dvojvrstvového náteru, pričom časový odstup medzi jednotlivými nátermi bol 24 hodín. Pre jeden skúšobný súbor bolo pripravených päť reprezentatívnych vzoriek.

Testovacia metóda, ktorá bola použitá pre hodnotenie, a ktorej schematické znázornenie je na obr. 1, je nenormová metóda. Umožňuje merať hmotnostný úbytok testovaného materiálu pri pôsobení sálavého tepla. Experiment spočíva vo vystavení skúšobných telies účinku tepelného infražiariča s výkonom 1000 W po dobu 600 sekúnd, vo vzdialenosti 30 mm od povrchu žiariaceho telesa. Počas skúšky sa v pravidelných 10 – sekundových intervaloch zaznamenáva úbytok hmotnosti a vizuálne sa sleduje prípadné vznietenie

The experiment consists in subjecting the sample body to the effect of infrared heater with a power of a 1,000 W for 600 s, at 30 mm from the surface of the heater body. During the test, mass loss is recorded at regular 10 s intervals, and any sample ignition is monitored visually, with a time recording if the phenomenon occurs.

From the measured values, the relative mass loss (1) and the relative burn-off rate (2) are calculated [14].

$$\delta_m(\tau) = \frac{m(\tau_0) - m(\tau)}{m(\tau_0)} * 100 \quad (\%) \quad (1)$$

$$v_r = \frac{|\delta_m(\tau) - \delta_m(\tau + \Delta\tau)|}{\Delta\tau} \quad (\% \cdot s^{-1}) \quad (2)$$

Where: $\delta_m(\tau)$ – relative mass loss over time (τ) (%); v_r – relative burning rate ($\% \cdot s^{-1}$); $m(\tau_0)$ – sample original weight (g); $m(\tau)$ – sample mass at time (τ) (g); $\delta_m(\tau + \tau \Delta)$ – relative mass loss over time ($\tau + \tau \Delta$) (%); $\Delta\tau$ – the time interval at which weights (s) are read.

Kde: $\delta_m(\tau)$ – relatívny úbytok hmotnosti v čase (τ) (%); v_r – relatívna rýchlosť odhorievania ($\% \cdot s^{-1}$); $m(\tau_0)$ – pôvodná hmotnosť vzorky (g); $m(\tau)$ – hmotnosť vzorky v čase (τ) (g); $\delta_m(\tau + \tau \Delta)$ – relatívny úbytok hmotnosti v čase ($\tau + \tau \Delta$) (%); $\Delta\tau$ – časový interval, v ktorom sa odčítavajú hmotnosti (s).

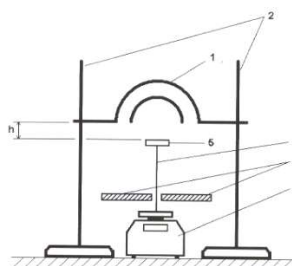


Fig. 1 Testing method for evaluation of mass loss

Obr. 1 Testovacia metóda na hodnotenie hmotnostného úbytku

1 – infrared heater / infražiarč, 2 – metal stands / kovové stojany, 3 – scales protection / ochrana váh, 4 – electronic scales / elektronické váhy, 5 – tested sample / skúšobná vzorka, 6 – sample holder / držiak vzorky

3 Results and Discussion

Mass loss of the test samples was evaluated in the radiant heat loading test.

The resulting mass loss values of the tested samples are introduced in Tab. 1.

3 Výsledky a diskusia

Pri skúške sálavým teplom bol hodnotený úbytok hmotnosti skúšobných vzoriek.

Konečné hodnoty úbytku na hmotnosti testovaných vzoriek uvádza tab. 1.

Tab. 1 Resulting mass loss values of non-treated and treated spruce samples

Tab. 1 Výsledné hodnoty úbytku hmotnosti neošetrených a retardačne upravených smrekových vzoriek

Application / Aplikácia		Mass loss of tested samples / Úbytok hmotnosti testovaných vzoriek (%)					Average / Priemer
		1	2	3	4	5	
Non-treated samples / Neošetrené vzorky		89.02	89.84	90.40	92.36	93.68	91.06
1-layer coating / 1 vrstvový náter	100 % 1 x	36.75	21.94	28.09	26.81	28.96	28.51
	75 % 1 x (3:1 ratio)	28.67	35.75	36.44	31.18	30.65	32.14
	50% 1 x (1:1 ratio)	64.76	67.94	61.00	67.46	64.27	65.09
2-layer coating / 2 vrstvový náter	100 % 2 x	15.98	15.37	12.38	13.73	14.20	14.33
	75 % 2 x (3:1 ratio)	17.49	22.03	20.59	17.20	21.38	19.74
	50% 2 x (1:1 ratio)	27.37	29.77	31.23	30.57	48.19	33.43

The table of final mass loss values for spruce wood samples clearly shows that the 2-layer 100% coating was the most effective. This way treated samples had the lowest mass loss values from all test groups (on average 76.7% lower than untreated samples). Very good values were also found in samples with 2-layer coating with concentration of 75 %, whose mass loss was only slightly higher, (about 5.4%) compared to a 2-layer coating with concentration of 100%. After the non-treated samples, samples with 1-layer coating and 50% concentration of flame retardant reached the worst (highest) mass loss values.

Fig. 2 shows a graph of the relative mass loss of spruce samples over time.

Tabuľka konečných hodnôt úbytku hmotností vzoriek smrekového dreva jednoznačne ukazuje, že 2 vrstvový 100% náter bol najúčinnjší. Vzorky s touto úpravou mali najnižšie hodnoty úbytku hmotnosti zo všetkých testovaných skupín (v priemere o 76,7% nižšie ako neošetrené vzorky). Veľmi dobré hodnoty vykazovali aj vzorky s 2 vrstvami 75% náteru, ktorých úbytok hmotnosti bol len o niečo vyšší (cca o 5,4%) v porovnaní s 2 vrstvovým 100% náterom. Po neošetrených vzorkách mali najhoršie hodnoty úbytku hmotnosti vzorky s 1 vrstvou 50% náteru.

Na obr. 2 uvádzame graf závislosti úbytku hmotnosti smrekových vzoriek na čase.

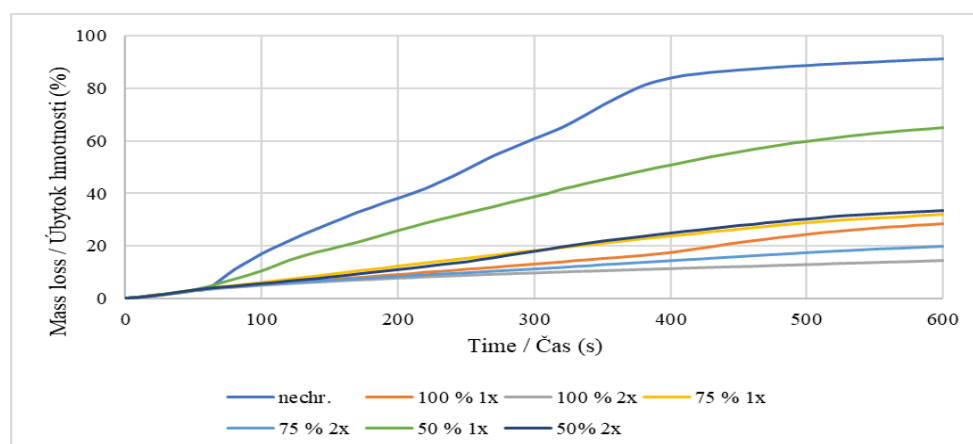


Fig. 2 Dependence of mass loss over time on non-treated and retardant treated spruce samples
Obr. 2 Závislosť úbytku hmotnosti na čase neupravených a retardačne upravených smrekových vzoriek

From the course of the curves in Fig. 2 is evident that the mass loss values of untreated samples and samples treated with 1-layer coating with concentration of 50% started to increase more rapidly after the first minute of the test. We note that the time of rapid increase in weight loss corresponds to the time of ignition of the samples (in case of untreated samples, the ignition occurred on average in 66 s, and in case of samples treated with 1-layer of 50 % concentration coating ignition occurred in 92 s on average). With regard to other treatments, the retarder has formed a sufficiently effective protective layer to prevent the ignition of samples and thus a rapid increase in mass loss values. The graph shows that the best protection was provided by a 2-layer undiluted coating, a slightly worse result was achieved by application of 2-layer coating with concentration of 75%. Samples with 100% concentration 1-layer coating showed increased mass loss values mainly after seventh minute. Samples with 1-layer coating with 75% concentration achieved results comparable to those of 2-layer coating with 50% concentration, indicating the same efficiency.

The protective function of the retardant used was to form a foam layer that isolated the treated spruce samples from the heat source. In Fig. 3, which shows the samples after the test, we can see that the foaming height and thus the protective function depended on the number of coating layers and the dilution ratio. The greatest foaming occurred when applying 2 layers coating with concentration of 100%, somewhat less foaming was observed when applying 2 layers coating with concentration of 75%. As the results showed, these two applications gave the tested samples the best protection and thus provided the lowest mass loss, too.

Z priebehu kriviek na obr. 2 vidieť, že hodnoty úbytku hmotnosti neošetrených vzoriek a vzoriek ošetrených 1 vrstvou 50% náteru začali rýchlejšie narastať už po prvej minúte testu. Konštatujeme, že čas rýchleho nárastu úbytku hmotnosti korešponduje s časom vznietenia vzoriek (pri neošetrených vzorkách došlo k vznieteniu priemerne v čase 66 s; pri vzorkách ošetrených 1 vrstvou 50% náteru priemerne v čase 92 s). Čo sa týka ostatných úprav, retardačná látka vytvorila dostatočne účinnú ochrannú vrstvu, ktorá zabránila vznieteniu vzoriek a tým aj rýchlemu nárastu hodnôt úbytku hmotnosti. Z grafu vidieť, že najlepšia ochrana bola zabezpečená 2 vrstvom neriedeným náterom, o niečo horší výsledok bol dosiahnutý aplikáciou 2 vrstiev 75% náteru. Vzorky so 100% náterom v jednej vrstve vykazovali zvýšené hodnoty úbytku hmotnosti hlavne po siedmej minúte. Vzorky s 1 vrstvou 75% náteru dosiahli výsledky porovnateľné s výsledkami 2 vrstvomého 50% náteru, čím poukázali na rovnakú účinnosť.

Ochranná funkcia použitej retardačnej látky spočívala vo vytvorení penovej vrstvy, ktorá izolovala ošetrené smrekové vzorky od tepelného zdroja. Na obr. 3, ktorý zobrazuje vzorky po teste vidíme, že výška napenenia a tým aj ochranná funkcia závisela od počtu nanášaných vrstiev a od pomeru riedenia. K najväčšiemu napeneniu došlo pri aplikácii 2 vrstiev 100% náteru, o niečo menšie napenenie bolo zaznamenané pri aplikácii 2 vrstiev 75% náteru. Ako vyplynulo z výsledkov, tieto dve aplikácie poskytli testovaným vzorkám najlepšiu ochranu a tým zabezpečili aj najnižší úbytok hmotnosti.

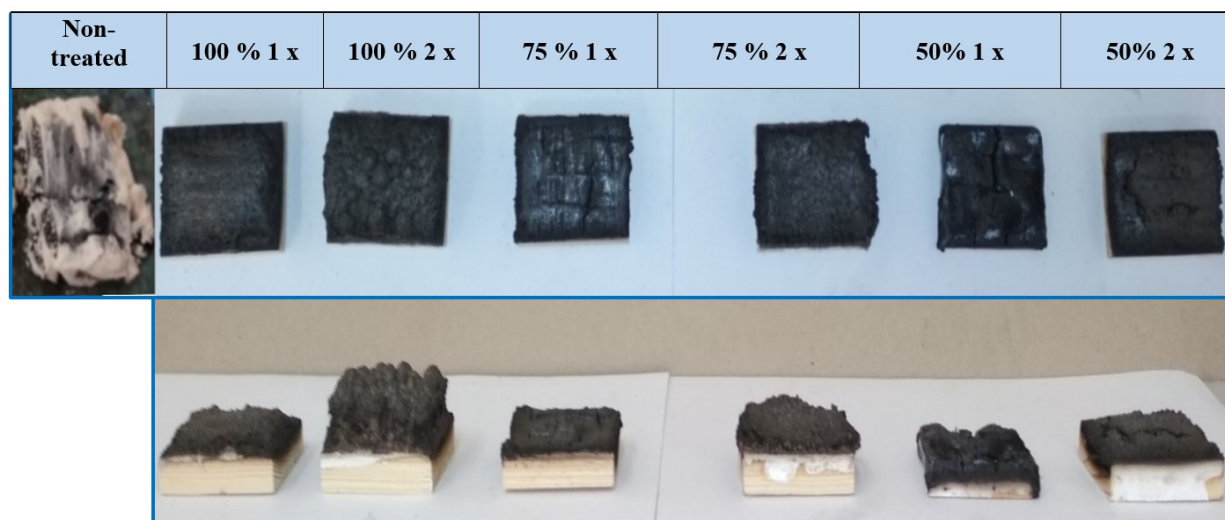


Fig. 3 Photo documentation of spruce samples after thermal loading
Obr. 3 Fotodokumentácia smrekových vzoriek po termickom zaťažení

4 Conclusions

The aim of the experiments was to determine the influence of the concentrations and number of layers of the selected flame retardant coating on the mass loss of spruce wood samples.

Based on the results of the study, we can state the following:

- The use of a flame retardant resulted in a decrease in the mass loss of the treated samples against untreated.
- Regarding the dilution effect on retardant efficiency, we can conclude that efficiency decreased with increasing dilution ratio.
- Similar statement can be applied when comparing the effect of the number of coating layers on the treatment efficiency, i.e. PLAMOR OK 1-layer coating gave less protection than 2-layer application.

It is also possible to see from the test results how the dilution and the number of layers of coating affects the efficiency of the flame retardant and the importance of the fire protection and fireproof treatment of wood material and wooden constructions.

4 Záver

Cieľom experimentov bolo zistiť vplyv koncentrácií a počtu vrstiev vybraného protipožiarneho náteru na úbytok hmotnosti vzoriek smrekového dreva.

Vychádzajúc z výsledkov štúdie môžeme konštatovať nasledovné:

- použitím ochrannej látky došlo k poklesu úbytku hmotnosti ošetrených vzoriek voči neošetreným,
- čo sa týka vplyvu riedenia na účinnosť retardačnej látky, môžeme konštatovať, že účinnosť klesala so zvyšujúcim sa pomerom riedenia,
- podobné konštatovanie platí aj pri porovnaní vplyvu počtu nanášaných vrstiev na účinnosť ochrany, tzn. jednovrstvový náter látky PLAMOR OK poskytol slabšiu ochranu ako pri aplikácii v dvoch vrstvách.

Z výsledkov testovania je možné tiež vidieť ako ovplyvňuje riedenie a počet vrstiev náterovej látky jej účinnosť a význam protipožiarnej ochrany a protipožiarnej úpravy konštrukcií z dreva a drevených materiálov.

According to the test results, a good choice for the treatment of spruce wood with PLAMOR OK V2026 is its application in undiluted form and 2 layers. Application of this substance at 75% concentration and 2 layers was also advantageous, although it has a somewhat weaker effect compared to the undiluted form. It may be a better choice over the undiluted form in terms of applicability (spread ability), with the formation of lumps.

Very important role in case of fire plays time, i.e. time to evacuate persons, animal and valuable things, structures fire resistance time, time to take effective action. This time can be gained just by fire protection of structures using flame retardants.

Acknowledgments

“This work was supported by the Slovak Research and Development Agency under the contract no. APVV-17-0005 (30 %) and the contract no. APVV-16-0326 (30 %) and the Grant Agencies of the Ministry of Education, Science, Research and Sport of the Slovak Republic under the projects VEGA 1/0493/18 (20 %) and KEGA 009TU Z-4/2017 (20 %)”.

References / Literatúra

- [1] Štefko, J. a kol. 2010. Moderné drevostavby / Modern wooden buildings. Prvé vydanie. Bratislava: Antar, spol. s r. o., 2010, 135 s. ISBN 80-967718-9-2.
- [2] Kačíková, D., Netopilová, M., Osvald, A. 2006. Drevo a jeho termická degradácia / Wood and its thermal degradation. Edice SPBI Spektrum 45. Ostrava : VŠB – TU Ostrava, 2006, 79 s. ISBN 80-86634-78-7.
- [3] Reinprecht, L. 2008. Ochrana dreva / Wood Protection. Vysokoškolská učebnica. Zvolen : TU vo Zvolene, 2008, 453 s. ISBN 978-80-228-1863-6.
- [4] Osvald, A., Osvaldová, L. 2003. Retardácia horenia smrekového dreva / Fire retardation of spruce wood. Vedecké štúdie 3/2003/B. Zvolen : ES TU, 2003, s. 22. ISBN 80-228-1274-9.
- [5] Majlingová, A., Kačíková, D., Xu, Q., Jin, C. 2018. Current trends in flame-retardant treatment of selected polymers – a review. Book of Proceedings International Scientific Conference Earth in a trap? 2018: Analytical Methods in Fire and Environmental Sciences. May 23-25, 2018, p. 106-126. ISBN 978-80-228-3062-1.
- [6] Netopilová, M., Kačíková, D., Osvald, A. 2010. Reakce stavebních výrobků na oheň / The reaction of construction products to fire. Edice SPBI Spektrum 72. Ostrava : VŠB – TU Ostrava, 2010, 126 s. ISBN 978-80-7385-093-7.
- [7] Bogdanova, VV., Kobets, OI., Kirlitsa, VP. 2016. The mechanism of action and the synergistic effect of nitrogen and phosphorus-containing fire retardants in fire protection and wood and peat fire suppression. Russian Journal of Physical Chemistry, 2016, 10 (2): 306-312.

Vzhľadom na výsledky testovania je dobrou voľbou pre ošetrene smrekového dreva látkou PLAMOR OK V2026 jej použitie v neriedenej forme a v dvoch vrstvách. Výhodnou sa ukázala aj aplikácia tejto látky v 75 % koncentrácii a dvoch vrstvách, aj keď zaznamenala o niečo slabší účinok v porovnaní s neriedenou formou. Z hľadiska aplikovateľnosti (roztierateľnosti) môže byť lepšou voľbou oproti neriedenej forme, pri aplikácii ktorej dochádzalo k tvorbe hrudiek.

V prípade požiaru zohráva veľmi dôležitú úlohu práve čas, t. j. čas na evakuáciu osôb, zvierat a majetku, čas odolávania konštrukcií účinkom požiaru, čas na vykonanie účinného zásahu. Tento čas sa dá získať práve protipožiarnou ochranou konštrukcií použitím retardérov horenia.

Pod'akovanie

„Táto práca bola podporená Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-17-0005 (30 %) a zmluvy č. APVV-16-0326 (30 %)“ a grantovými agentúrami MŠVVaŠ VEGA č. projektu 1/0493/18 (20 %) a KEGA č. projektu 009TU Z-4/2017 (20 %)“.

- [8] He, X., Li, XJ., Zhong, Z. et al. 2016. Effectiveness of impregnation of ammonium polyphosphate fire retardant in poplar wood using microwave heating. *Fire and Materials*, 2016, 40(6): 818-825.
- [9] Merk, V., Chanana, M., Gaan, S. et al. 2016. Mineralization of wood by calcium carbonate insertion for improved flame retardancy. *Holzforschung*, 2016, 70(9): 867-876.
- [10] Gasparik, M., Makovicka Osvaldova, L., Cekovska, H. et al. 2017. Flammability Characteristics of Thermally Modified Oak Wood Treated with a Fire Retardant. *Bioresources*, 2017, 12(4): 8451-8467.
- [11] Grzeskowiak, W. L. 2017. Effectiveness of new wood fire retardants using a cone calorimeter. *Journal of Fire Sciences*, 2017, 35(6): 565-576.
- [12] He, S. R., Wu, W. H., Zhang, M. J. et al. 2017. Synergistic effect of silica sol and K_2CO_3 on flame-retardant and thermal properties of wood. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 2017, 128(2): 825-832.
- [13] Mitterova, I., Zachar, M., Majlingova, A. 2017. Effect of flame retardants on selected fire parameters of spruce wood. *Fire Protection, Safety and Security 2017, International Scientific Conference on Fire Protection, Safety and Security*, May 03-05, 2017, Zvolen, Slovakia, p. 128-132.
- [14] Klein T, Bahyl V, Vacek V. 1999. *Základy pravdepodobnosti a matematickej štatistiky / Introduction to probability and mathematical statistics*. Zvolen : ES TU, 1999. 236 s. ISBN 80-228-0115-1.

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 časopisu 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 tlačenú kópiu časopisu. Elektronická forma časopisu je zverejnená na webovej stránke časopisu.

