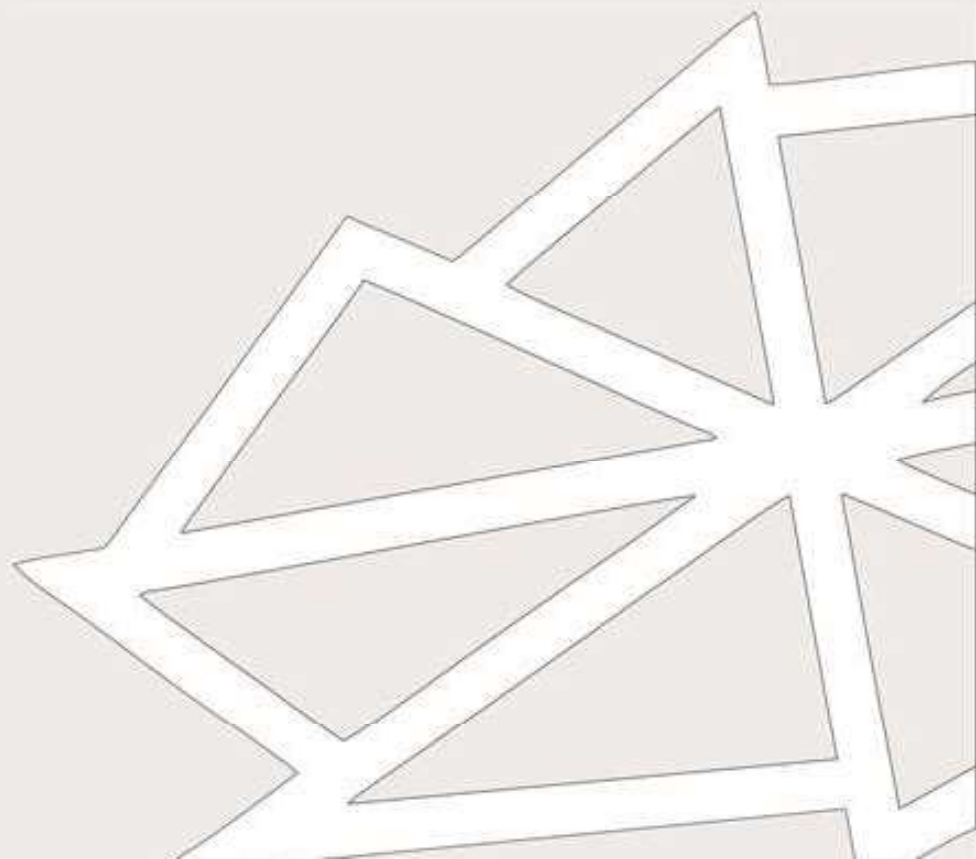


TECHNICAL UNIVERSITY IN ZVOLEN
FACULTY OF WOOD SCIENCES AND TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF FIRE PROTECTION

Δ Delta

FIRE PROTECTION & SAFETY
Scientific Journal

Vol. 12 Iss. 2
December 2018



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 splodín horenia
- Zisťovanie príčin vzniku požiarov

Vplyv tepla a ohňa na materiály a výrobky

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

Protipožiarna ochrana a bezpečnosť

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

Ochrana osôb, majetku a životného prostredia

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

Bezpečnosť a ochrana zdravia pri práci

- Bezpečnostné inžinierstvo
- Metódy zisťovania príčin vzniku úrazov

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

Δ Delta

FIRE PROTECTION & SAFETY
Scientific Journal

Vol. 12 Iss. 2
December 2018

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

Contact / Kontakt

Technical University in Zvolen

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

Technical Editor / Technický redaktor

Eva FEKIAČOVÁ

Editors / Editori

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

International Editorial Board / Medzinárodná redakčná rada

Editorial Board Chief / Predseda redakčnej rady

Danica KAČÍKOVÁ

Editorial Board Members / Členovia redakčnej rady

Karol BALOG, Slovak University of Technology in Bratislava, Slovak Republic

Andries JORDAAN, University of the Free State, Bloemfontein, South Africa

František KAČÍK, Technical University in Zvolen, Slovak Republic

Omer KUCUK, University Kastamonu, Turkey

Peter LOŠONCI, University of Security Management in Kosice, Slovak Republic

Andrea MAJLINGOVÁ, Technical University in Zvolen, Slovak Republic

Linda MAKOVICKÁ OSVALDOVÁ, University of Zilina, Slovak Republic

Jozef MARTINKA, Slovak University of Technology in Bratislava, Slovak Republic

Esko MIKKOLA, KK-Fireconsult Ltd., University of Helsinki, Finland

Andrei NIKULIN, National Mineral Resources University, Saint Peterburg, Russia

Anton OSVALD, Slovak Republic

Jiří POKORNÝ, VSB-TU Ostrava, Czech Republic

Ágoston RESTÁS, National University of Public Service, Budapest, Hungary

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 II. – December 2018

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. Tatiana Bubeníková, Martin Bednár, František Kačík: Changes in Expanded Polystyrene EPS 100F under a Thermal Load up to 200 °C	5
2. Dušan Paulíny, Slavomír Michna, Radovan Maník: Highly Efficient Autonomous Extinguishing Robotic System	17
3. Alexandr Smirnov, Alexej Smirnov, Andrea Majlingova: Early Fire Detection and Forest Fires Operational Fighting - Important Factors in Reducing Forest Fires in Russia and Slovakia	27
4. Andrei Nikulin, Dmitry Ikonnikov, Anni Nikulina, Iliya Dolzhikov, Eva Mračková: OSH Challenges for Oil and Gas Companies in the Arctic Zone of the Russian Federation	46
5. Farid Dali, Andrey Perlin, Grigory Shidlovsky, Yury Aktersky, Sergey Terekhin: Special Equipmernt of Vehicles and Mobile Control Post for Fire Extinguishing Oil and Gas Industry	56
6. Dominik Špilák, Ludmila Tereňová, Katarína Dúbravská, Andrea Majlingová: Analysis of Carbonized Layer of Wood Beams with Different Geometric Cross-Section Shape	65

Changes in Expanded Polystyrene EPS 100F under a Thermal Load up to 200 °C

Zmeny expandovaného polystyrénu EPS 100F pri tepelnom zaťažení do 200 °C

Tatiana Bubeníková^{1*}, Martin Bednár¹, František Kačík^{1,2}

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

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

* Corresponding author: bubenikova@tuzvo.sk

Original scientific paper

Received: November 29, 2018; Accepted: December 05, 2018; Published: December 31, 2018

Abstract

Polystyrene belongs to the category of widely used materials, mainly as building insulation and packing material, for its excellent thermo-insulating properties and low price. The aim of our work was to characterize the behavior of expanded polystyrene EPS 100F under a thermal load ranging between 20 °C to 200 °C. Changes in weight, volume, degree of polymerization (by Size Exclusion Chromatography - SEC) and formation of volatile products (by Headspace Gas Chromatography – Mass Spectrometry – HS-GC-MS) were investigated. The decrease in volume occurred at temperatures above 80 °C, the degree of polymerization decreased at temperatures above 120 °C. In volatile products, mainly styrene, toluene, ethylbenzene and xylenes were identified. At the temperature of 200 °C the main degradation product was styrene (81 mg·kg⁻¹).

Keywords: polystyrene; thermal degradation; GC-MS; size exclusion chromatography

1 Introduction

The importance of plastic substances and their use in everyday life has steadily increased in recent years. Polymer products are generally complex materials which consist of polymers or copolymers supplemented with additives of varying volatility [1]. Expanded polystyrene (EPS) has become recently very widespread and has become the most widely used plastic material in several countries. Due to its low density and excellent mechanical properties, it is used as packaging material, in the furniture industry and in production of home appliances [2]. Due to its characteristic thermal insulating properties, moisture resistance, minimum weight, excellent mechanical properties and a favorable price, EPS

1 Úvod

Význam plastických hmôt a ich použitie v každodennom živote v posledných rokoch neustále narastá. Výrobky z polymérov sú zvyčajne komplexné materiály, ktoré sa skladajú z polymérov, alebo kopolymérov, doplnených aditívami s rôznou prchavosťou [1]. Expandovaný polystyrén (EPS) je v poslednej dobe veľmi rozšírený a v niekoľkých krajinách sa stal najpoužívanejším plastovým materiálom. Vďaka jeho nízkej hustote a výborným mechanickým vlastnostiam sa používa ako obalový materiál, v nábytkárskom priemysle a pri výrobe domácich potrieb [2]. EPS vďaka svojim charakteristickým tepelno-izolačným vlastnostiam, odolnosti voči vlhkosti, minimálnej hmot-

is one of the most frequently used thermal insulators. It is used for thermal insulation of building claddings; it is used for different purposes in industrial buildings, in insulation of ceilings, partitions, roofs, as well as floors with reduced load bearing capacity. More than 30 countries have signed an international agreement to maximize its reuse and recycling [3, 4].

EPS products are obtained by polymerizing the styrene monomer with the addition of pentane as a blowing agent [3]. A very common material used to enhance the energy efficiency of buildings is polystyrene EPS 100F. The currently relevant topic is the modification of polystyrene to increase its the long-term thermal load, its lifetime, to improve its fire characteristics and to use more efficient flame retardants with less impact on the environment.

Generally, polystyrene is non-toxic. Nevertheless, it may cause mechanical irritation, its inhalation poses a certain danger, in particular that of powdered dispersants [5]. However, less attention is paid to the release of volatile products in course of its long-term use. Residual styrene can be gradually released from polystyrene, where it can be found in trace amounts in the final product, even at relatively low temperatures and also under thermal degradation of polystyrenes together with other products [5,6]. Styrene is toxic, carcinogenic and mutagenic. The International Agency for Research on Cancer (IARC) placed it in the 2B category, among possible carcinogens [7]. It also causes burning of the skin and eyes, it is tear inducing. It is harmful to inhale and ingest it, as is its absorption through skin, and long-term exposure may affect the central nervous system [6].

Knowledge of changes taking place in materials during aging, photo-oxidation, thermal loading and burning are important from a safety and health point of view as well as from the point of view of fire protection. The aim of this work was to detect the changes in the properties of EPS 100F facade polystyrene at temperatures starting with the one stated by the manufacturer for long-term thermal load up to 200 °C, focusing on the changes in weight, volume, molar weight, and especially the formation and composition of volatile degradation products, as these data are missing in available scientific literature.

nosti, výborným mechanickým vlastnostiam a vyhovujúcej cene, patrí medzi často používanú tepelnú izoláciu. Používa sa na tepelnú izoláciu obvodových plášťov budov, má rôzne účely použitia v priemyselných objektoch, na izoláciu stropov, priečok, striech, ako aj podláh so zníženým zaťažením. Viac ako 30 krajín podpísalo medzinárodnú dohodu pre maximalizáciu jeho opätovného použitia a recyklácie EPS-IA [3, 4, 23].

EPS produkty sa získavajú polymerizáciou monoméru styrénu s prídavkom pentánu ako nadúvadla [3]. Veľmi častým materiálom používaným na zníženie energetickej náročnosti budov je polystyrén EPS 100F. Aktuálnou témou je modifikácia polystyrénu za účelom zvýšenia dlhodobej tepelnej zaťažiteľnosti, životnosti, zlepšenie protipožiarnej charakteristik, ako aj používanie účinnejších retardérov horenia s menšími vplyvmi na životné prostredie.

Polystyrén sa vo všeobecnosti považuje za netoxický. Môže spôsobiť mechanické podráždenie a určité nebezpečenstvo predstavuje aj jeho vdýchnutie, najmä zložiek dispergovaných v práškovej forme [5]. Menšia pozornosť je však venovaná uvoľňovaniu prchavých produktov pri dlhodobom používaní. Z polystyrénu môže prchať zvyškový styren nachádzajúci sa v stopových množstvách vo výslednom produkte aj pri relatívne nízkych teplotách a tvorí sa aj pri tepelnej degradácii polystyrénov spolu s inými produktmi [5, 6]. Styren je toxický, karcinogénny a mutagénny. Bol zaradený medzinárodnou agentúrou pre výskum rakoviny (IARC) do kategórie 2B, možných karcinogénov [7]. Spôsobuje tiež popálenie kože a očí, je slzotvorný. Škodlivá je jeho inhalácia, požitie aj vstrebávanie kožou a dlhodobá expozícia môže pôsobiť na centrálnu nervovú sústavu [6].

Poznatky o zmenách materiálov pri starnutí, fotooxidácii, tepelnom zaťažení a horení, sú z hľadiska pohľadu požiarnej ochrany dôležité. Cieľom našej práce bolo zistiť zmeny vlastností fasádneho polystyrénu EPS 100F pri teplotách od výrobcov udávanej teploty pre dlhodobú tepelnú zaťažiteľnosť až po teplotu 200 °C, so zameraním sa na zmenu hmotnosti, objemu, mólovej hmotnosti a hlavne na tvorbu a zloženie prchavých degradačných produktov, keďže tieto údaje chýbajú v dostupnej vedeckej literatúre.

2 Material and Methods

A 50 mm EPS 100F facade polystyrene from Isover (Saint-Gobain Construction Products) in self-extinguishing rendering with a polymer-based retarder, designated especially for outside systems of thermal insulation (ETICS) with enhanced insulating capability, was tested. The qualitative and quantitative analyses of volatile organic compounds were performed on an Agilent 7890A GC / 5975C MSD system with an Agilent Headspace Autosampler 7697A. Analyses were performed on 0.1 g polystyrene samples. Samples were placed in a 20 mL headspace vial and the vials were tightly closed with an aluminum crimp cap with PTFE / silicone septum. Vials with samples were thermal loading in the temperature range from 80 °C to 200 °C and compared with the sample treated at the temperature of 20 °C. The long-term heat resistance of EPS 100F has been established by technical letter of producer to be at 80 °C, therefore we chose this temperature as the lower limit.

The experimental GC-MS conditions: Headspace: Carrier gas – He, pressure 7.5 psi, oven temperature – seven experiments with increasing incubation temperature from 80 to 200 °C in 20 °C increments, i.e. 80, 100, 120, 140, 160, 180, and 200 °C, loop temperature 10°C more than oven, transfer line temperature 10°C more above loop, vial equilibration time 60 min. GC conditions: column - HP-5MS (30 m × 0.250 mm × 0.25 µm), carrier gas: Helium (constant flow 1.0 ml min⁻¹), temperature program: 40 °C (1 min) to 220 °C at 6 °C min⁻¹, 220 °C (5 min) to 270 °C (15 °C min⁻¹), injection – headspace (150 °C, split 10:1), transfer line 280 °C. The substances were identified by comparing the measured spectra with the NIST05 mass spectra library and the retention times of standards from the reference material Aromatic VOC-MIX 3 (Dr. Ehrenstorfer GmbH).

Changes in weight and volume, were investigated, after thermal loading. Density was determined by immersion into the liquid and consequently by calculation.

Molar weights, polydispersity and molecular weight distribution of polystyrene samples were analysed by size exclusion chromatography (SEC) using Agilent 1200 series equipment with two PLgel 10 µm MIXED B, 300 × 7.5 mm columns preceded PLgel 10µm Guard column 50 × 7.5 mm (Agilent), mobile phase tetrahydrofuran

2 Materiál a metódy

Testoval sa fasádný polystyrén EPS 100F hrúbky 50 mm od firmy Isover (Saint-Gobain Construction Products) v samozhášavej úprave s retardérom na báze polyméru, ktorý je určený najmä pre vonkajšie tepelnoizolačné systémy (ETICS) so zvýšenou izolačnou schopnosťou. Kvalitatívna a kvantitatívna analýza zloženia prchavých organických zlúčenín prebiehala v zariadení Agilent 7890A GC / 5975C MSD s Agilent Headspace Autosampler 7697A. Vzorky s hmotnosťou 0,1 g sa navažovali do 20 mL Headspace vialiek, uzatvorených jednorazovým PTFE / silikónovým septom. Vialky so vzorkami boli tepelne zaťažované v teplotnom rozsahu 80 °C až 200 °C a porovnané s referenčnou vzorkou zaťažovanou pri 20 °C. Dlhodobá tepelná odolnosť EPS 100F je podľa technického listu výrobcu stanovená na 80 °C, preto táto teplota bola zvolená ako dolná hranica.

Podmienky GC-MS experimentu: Headspace: nosný plyn – He, tlak 7,5 psi, teplota zaťaženia – bolo vykonaných 7 experimentov v teplotnom rozmedzí 80 °C – 200 °C s rozdielom 20 °C, čiže: 80, 100, 120, 140, 160, 180, 200 °C; teplota na slučke o 10 °C viac ako teplota zaťaženia, transfer o 10 °C viac ako na slučke. Vzorky sa pri danej teplote zaťažovali 60 min. Podmienky GC: kolóna - HP-5MS (30 m × 0.250 mm × 0.25 µm), nosný plyn: Hélium (konštantný prietok 1.0 ml·min⁻¹), teplotný program: 40 °C (1 min) do 220 °C (6 °C·min⁻¹) 220 °C (5 min) do 270 °C (15 °C·min⁻¹), teplota injektora 150 °C, split 10:1, transfer 280 °C. Jednotlivé látky boli identifikované porovnávaním nameraných hmotnostných spektier s knižnicou hmotnostných spektier NIST05 a retenčnými časmi štandardov z referenčného materiálu Aromatic VOC-MIX 3 (Dr. Ehrenstorfer GmbH).

Po tepelnom zaťažení sa zistili zmeny hmotnosti, objem ponorením do kvapaliny a hustota výpočtom.

Mólové hmotnosti, polydispersita a distribúcia molekulových hmotností polystyrénových vzoriek sa analyzovali rozmerovo vylučovacou chromatografiou (SEC) na zariadení Agilent 1200 s dvoma PLgel 10 µm MIXED B, 300 x 7,5 mm kolónami, s PLgel 10 µm Guard 50 x 7,5 mm predkolónou (Agilent), mobilná fáza tetrahydrofurán (prietok 1 ml·min⁻¹), teplota 35 °C, DAD detektor. Systém bol kalibrovaný polystyrénovými štandardmi s mólovou hmotnosťou od 500 do 1 110 000 g·mol⁻¹ [8]. Každé meranie bolo vykonané dvakrát.

(flow rate $1 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$), temperature $35 \text{ }^\circ\text{C}$, DAD detector. System was calibrated with polystyrene standards with molar weights from 500 to $1\,110\,000 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ [8]. Measurements were performed in duplicate.

3 Results and discussion

No volumetric or structural changes are seen in samples loaded at $20 \text{ }^\circ\text{C}$ and $80 \text{ }^\circ\text{C}$ (Fig. 1). Visible shrinkage, loss of volume and reduction of the "ball" structure occurs at temperatures above $100 \text{ }^\circ\text{C}$. Kan and Demirboga [9] found out the highest rate of change in EPS volume at $107 \text{ }^\circ\text{C}$, while our measurements showed the fastest rate of change in EPS 100F between $100 \text{ }^\circ\text{C}$ and $120 \text{ }^\circ\text{C}$, which is a very good agreement. At $160 \text{ }^\circ\text{C}$ and $180 \text{ }^\circ\text{C}$, not only the volume, but also the color (from white to yellowish) and the structure have changed, the latter significantly. At $200 \text{ }^\circ\text{C}$, the structure of expanded polystyrene is completely lost, and, after cooling, it is changed to a solid substance of yellowish color. The density was practically unchanged at temperatures up to $100 \text{ }^\circ\text{C}$, above this temperature, the density substantially increased (Tab. 1). Kan and Demirboga [9] found that the EPS density continued to increase up to the temperature of $140 \text{ }^\circ\text{C}$ and with further increase in temperature, it did not change again. This difference can be due to different method of exposure of sample (15 min).

Thermal degradation of most polymers passes through the classic radical chain mechanism [10].

3 Výsledky a diskusia

Medzi vzorkami zaťaženými pri teplotách $20 \text{ }^\circ\text{C}$ a $80 \text{ }^\circ\text{C}$ nie sú viditeľné objemové ani štruktúrne zmeny (Obr. 1). Viditeľné zmrštenie, strata objemu a zmenšenie „guličkovej“ štruktúry nastáva pri teplotách nad $100 \text{ }^\circ\text{C}$. Kan and Demirboga [9] zistili najväčšiu rýchlosť zmeny objemu EPS pri teplote $107 \text{ }^\circ\text{C}$, pričom naše merania preukázali najväčšiu rýchlosť zmeny objemu EPS 100F medzi teplotami $100 \text{ }^\circ\text{C}$ až $120 \text{ }^\circ\text{C}$, čo je veľmi dobrá zhoda. Pri teplotách $160 \text{ }^\circ\text{C}$ a $180 \text{ }^\circ\text{C}$ sa zmenil nielen objem, farba (z bielej na žltkastú), ale výrazne aj štruktúra. Pri teplote $200 \text{ }^\circ\text{C}$ sa úplne stráca štruktúra expandovaného polystyrénu a po ochladení ju nahrádza tuhá látka žltkastej farby. Hustota sa prakticky nemenila pri teplotách do $100 \text{ }^\circ\text{C}$, nad touto teplotou dochádza k jej výraznému nárastu (Tab. 1). Kan a Demirboga [9] zistili, že hustota EPS vzrastala do teploty $140 \text{ }^\circ\text{C}$ a pri ďalšom zvyšovaní teploty sa už nemenila. Tento rozdiel môže byť spôsobený rozdielnou metodikou zaťažovania vzorky (15 min.).

Tepelná degradácia väčšiny polymérov prechádza klasickým radikálovým reťazovým mechanizmom [10].

Hlavným prchavým produktom tepelného rozkladu polystyrénu za rôznych podmienok je styrén. Ďalšie často identifikované produkty sú oligoméry styrénu, toluén, benzén, etylbenzén, α -metylstyren a benzaldehyd [11].



Fig. 1 EPS 100F samples after loading at particular temperature. (left to right: original sample, 20, 80, 100, 120, 140, 160, 180, 200 $^\circ\text{C}$)

Obr. 1 Vzorky EPS 100F po tepelnom zaťažení pri konkrétnych teplotách (zľava doprava: pôvodná vzorka, 20, 80, 100, 120, 140, 160, 180, 200 $^\circ\text{C}$)

Tab. 1 Change of mass, volume and density of EPS 100F after thermal load**Tab. 1** Zmena hmotnosti, objemu a hustoty EPS 100F po tepelnom zaťažení

Characteristics	Temperature (°C)							
	20	80	100	120	140	160	180	200
Δm (%)	0.49	7.81	8.8	10.60	8.35	10.08	9.71	11.45
ΔV (%)	0	1.82	52.73	87.27	89.09	90.91	92.73	94.55
Density (kg·m ⁻³)	18.64	18.80	38.65	141.00	168.33	198.00	248.75	324.67

The main volatile product of thermal decomposition of polystyrene under various conditions is styrene. Other frequently identified products are styrene oligomers, toluene, benzene, ethylbenzene, α -methylstyrene and benzaldehyde [11]

The formation and composition of degradation products depends on temperature and also on the presence of a flame retardant, which causes changes in combustion products such as a reduction in styrene, benzaldehyde and an increase in phenol content [12]. Although volumetric changes of the EPS 100F under thermal load are visible only after the temperature exceeds 100 °C, gaseous volatile products form at lower temperatures already (Tab. 2). The blowing agent (pentane) is released from EPS 100F already at the temperature of 20 °C. Although the producer states long-term heat stability at 80 °C, at this temperature, the degradation products contained not only styrene, but also toluene, ethylbenzene, xylenes, cyclopropylbenzene, α -methylstyrene, and even fewer oxidizing products such as benzaldehyde and acetophenone. With increasing temperature, additional volatile products such as 1-propenylbenzene, (1-methylenpropyl)-benzene were detected, and at temperatures above 140 °C, the presence of oxidation products such as benzoic acid, benzeneacetaldehyde, phenol and other increases rapidly, which points to accelerated thermal degradation at higher temperatures and to the onset of oxidation processes.

Chen and Vyazovkin [13] reported differences in the mechanism of polystyrene degradation in an inert and oxidative atmosphere. In oxidative atmosphere, polystyryl radicals react with oxygen to form peroxide radicals, whose thermal degradation generates various oxidative degradation products such as benzaldehyde, acetophenone, phenol, styrene oxide, and the like. At the highest temperature exposure, styrene dimers were also identified in degradation products.

Tvorba a zloženie degradačných produktov závisí od teploty a tiež od prítomnosti retardéra horenia, ktorý spôsobuje zmeny produktov horenia ako napríklad zníženie obsahu styrénu, benzaldehydu a zvýšenie obsahu fenolu [12]. Aj keď viditeľné objemové zmeny pri tepelnom zaťažení EPS 100F sú až pri teplotách nad 100 °C, plynné prchavé produkty sa tvorili už pri nižších teplotách (Tab. 2). Pri 20 °C sa z EPS 100F uvoľňuje hlavne nadúvadlo (pentán). Napriek tomu, že výrobca udáva dlhodobú tepelnú stálosť pri 80 °C, pri tejto teplote sa v degradačných produktoch stanovil nielen styrén, ale aj toluén, etylbenzén, xylény, cyklopropylbenzén, α -metylstyrén a dokonca sa tvorili v menšej miere aj oxidačné produkty ako benzaldehyd a acetofenón. So stúpajúcou teplotou tepelného zaťaženia pribúdajú ďalšie prchavé produkty ako napríklad 1-propenylbenzén, (1-metylénpropyl)-benzén a pri teplotách nad 140 °C výrazne pribúdajú oxidačné produkty ako kyselina benzoová, benzénacetaldehyd, fenol a ďalšie, čo poukazuje na zintenzívnenie degradácie pri vyšších teplotách a nástup oxidačných procesov.

Chen and Vyazovkin [13] zistili rozdiely v mechanizme degradácie polystyrénu v inertnej a oxidačnej atmosfére. Polystyrénové radikály v oxidačnej atmosfére reagujú s kyslíkom za vzniku peroxidových radikálov, z ktorých tepelnou degradáciou vznikajú rôzne oxidačné degradačné produkty, práve ako benzaldehyd, acetofenón, fenol, styrénoxid a ďalšie. Pri najvyššej teplote pôsobenia boli v degradačných produktoch identifikované aj diméry styrénu. Podobné zloženie prchavých produktov pri tepelnej degradácii, prípadne pyrolýze polystyrénu, uvádzajú aj [10, 11, 14].

Kusch a Knupp [15] zistili, že pri teplotách 60 a 80 °C sa u EPS uvoľňovali podobné látky ako v našom experimente, napr. pentán, toluén, xylény,

Similar composition of volatile products in thermal degradation or pyrolysis of polystyrene is also cited by [10, 11, 14].

Kusch a Knupp [15] found that at temperatures of 60 and 80 °C, EPS released similar substances as were released in our experiment, e.g. pentane, toluene, xylenes, ethylbenzene, acetophenone, benzaldehyde, etc. In course of 30 min of the EPS thermal exposure, styrene, ethylbenzene, benzaldehyde, isocumene, etc. were identified in volatile products already at 55 °C [16].

etylbenzén, acetofenón, benzaldehyd ap. Pri pôsobení tepla na EPS počas 30 min zistili už pri teplote 55 °C v prchavých produktoch styren, etylbenzén, benzaldehyd, izokumén ap. [16].

Tab. 2 Volatile gaseous products identified at the thermal loading of EPS 100F.

Tab. 2 Prchavé plynné produkty identifikované pri tepelnom zaťažení EPS 100F

R _t (min)	MW (g·mol ⁻¹)	Compound	Temperature (°C)								
			20	80	100	120	140	160	180	200	
1.67	72.15	Pentane	+	+	+	+	+	+	+	+	+
2.38	78.05	Benzene							+	+	+
3.53	92.06	Toluene		+	+	+	+	+	+	+	+
5.19	106.08	Ethylbenzene		+	+	+	+	+	+	+	+
5.36	106.08	Xylenes		+	+	+	+	+	+	+	+
5.72	114.10	3-Heptanone						+	+	+	+
5.83	104.06	Styrene		+	+	+	+	+	+	+	+
7.07	118.08	Benzene, cyclopropyl-		+	+	+	+	+	+	+	+
7.50	106.04	Benzaldehyde		+	+	+	+	+	+	+	+
8.19	118.08	Benzene, 1-propenyl-			+	+	+				
8.24	94.04	Phenol								+	+
9.14	130.14	1-Hexanol, 2-ethyl-		+	+	+	+	+	+	+	+
9.42	108.06	Benzyl Alcohol									+
9.49	120.06	Benzeneacetaldehyde							+	+	+
9.81	132.09	Benzene, (1-methylenepropyl)-					+	+	+	+	+
10.09	120.06	Acetophenone		+	+	+	+	+	+	+	+
10.56	118.08	alpha-Methylstyrene		+	+	+	+	+	+	+	+
10.65	150.10	Benzene, (1-methoxy- 1-methylethyl)-							+	+	+

Tab.2 continue
Tab. 2 pokračovanie

R _t (min)	MW (g·mol ⁻¹)	Compound	Temperature (°C)							
			20	80	100	120	140	160	180	200
10.96	134.07	Benzeneacetaldehyde, alpha-methyl-				+	+	+	+	+
11.60	134.07	Benzyl methyl ketone								+
12.47	134.07	1-Propanone, 1-phenyl-						+	+	+
12.56	148.05	1,2-Propanedione, 1-phenyl-								+
13.65	122.04	Benzenecarboxylic acid					+	+	+	+
14.11	134.07	Benzeneethanol, beta-methylene-					+	+	+	+
14.97	132.06	2-Propenal, 3-phenyl-								+
22.91	196.13	Benzene, 1,1'-(1,3-propanediyl)bis-							+	+
23.09	198.07	Benzoic acid, phenyl ester								+
23.81	222.14	Benzene, 1,1'-[1-(2-propenyl)-1,2-ethanediyl]bis-								+
26.25	210.07	Ethanedione, diphenyl-								+
27.07	210.10	beta-Phenylpropionophenone								+
27.42	224.12	3-Phenylbutyrophe- none								+
30.19	208.09	2-Propen-1-one, 1,3-diphenyl-								+
30.56	222.10	2-Buten-1-one, 1,3-diphenyl-								+

Increasing temperature causes higher concentrations of selected degradation products, especially styrene (Fig. 2). Ethylbenzene significantly increases at temperatures up to 160 °C (28.9 mg·kg⁻¹). At higher temperatures, its content in degradation products does not grow significantly unlike that of benzene, which may be due to ethylbenzene degradation. At 200 °C, we found 81.1 mg·kg⁻¹ of styrene in degradation products.

Vzrastajúca teplota spôsobuje väčšie koncentrácie vybraných degradačných produktov, najmä styrenu (Obr. 2). Etylbenzén výrazne narastá pri teplotách do 160 °C (28,9 mg·kg⁻¹). Pri vyšších teplotách jeho obsah v degradačných produktoch už výrazne nerastie, ale narastá obsah benzénu, ktorý môže vznikáť jeho degradáciou. Pri 200 °C sa v degradačných produktoch stanovilo 81,1 mg·kg⁻¹ styrenu.

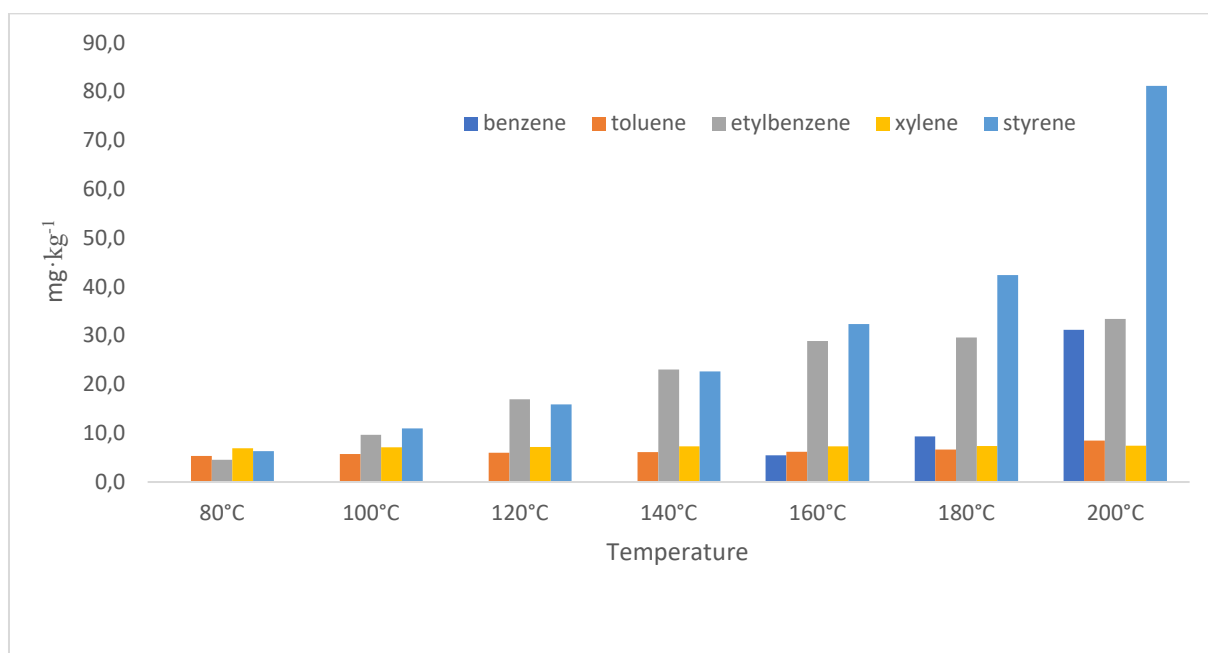


Fig. 2 Amount of selected volatile degradation products produced at individual temperatures of thermal exposure

Obř. 2 Mnořstvo vybraných prchavých deřadačných produktů vzniknutých při zařaření jednotlivými teplotami

Tab. 3 Changes of molar weights (MW) (M_n number-average MW; M_w weight-average MW; M_z z-average MW, M_{z+1} z+1 MW), polydispersity index ($PDI=M_w/M_n$), and degree of polymerization ($DP=M_w/M_w$ styrene)

Tab. 3 Zmeny mólových hmotností (MW) (M_n číselná MW, M_w hmotnostná MW, M_z zetová MW, M_{z+1} z+1 MW), ($PDI=M_w/M_n$) index polydisperzity a ($DP=M_w/M_w$ styřénu) stupeň polymerizácie

T (°C)	M_n (g·mol ⁻¹)	M_w (g·mol ⁻¹)	M_z (g·mol ⁻¹)	M_{z+1} (g·mol ⁻¹)	PDI	DP
20	77 283	190 234	371 634	585 829	2.46	1829
	(2 076)	(1 087)	(251)	(3 678)	(0.05)	(10)
80	74 958	186 761	371 256	597 834	2.49	1795
	(226)	(374)	(630)	(328)	(0.01)	(4)
100	71 892	183156	368 960	606 855	2.55	1761
	(669)	(931)	(5599)	(20 283)	(0.04)	(9)

Tab. 3 continue
Tab. 3 pokračovanie

T (°C)	M_n ($\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$)	M_w ($\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$)	M_z ($\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$)	M_{z+1} ($\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$)	PDI	DP
120	73 911	179 694	348 346	549 220	2.43	1727
	(1 169)	(1 347)	(8402)	(3 008)	(0.02)	(13)
140	61 422	155 733	302 536	478 324	2.55	1497
	(7672)	(4 871)	(3263)	(6 255)	(0.24)	(47)
160	36 705	86 377	156 860	242 601	2.35	830
	(101)	(943)	(4997)	(16 628)	(0.02)	(9)
180	17 319	44 257	86 270	138 853	2.56	426
	(13)	(247)	(739)	(2 470)	(0.01)	(2)
200	6 931	18 563	38 173	60 828	2.68	178
	(389)	(309)	(240)	(236)	(0.11)	(3)

Note: Data in brackets represent standard deviation.

Poznámka: Dáta v zátvorke znázorňujú smerodajnú odchýlku.

In contrast to the formation of volatile products that are produced already at 80 °C, more pronounced changes in EPS 100F polystyrene molar weights occur only at temperatures above 120 °C (Fig. 3). Molar weight of the original sample is 193 000 $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$, which is consistent with data published for EPS 100 polystyrene, in the range of 150 000 to 300 000 $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$ [17]. At 200 °C, this weight dropped to about 18,500 $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$, i.e. it changed by 90% (Tab. 3). Reduction in the polystyrene molar weight has been observed by several authors, whereas the changes depended on its initial molar weight and thermal exposure (temperature, time). Because of random cleavage of bonds, polystyrene degradation is initially rapid, slowing down as it progresses, with the monomers cleaving off of the ends of the chain predominating [18, 19, 20, 21, 22]. This agrees with results of molar weight determination and concentrations of volatile products in our work.

Na rozdiel od tvorby prchavých produktov, ktoré vznikajú už pri teplote 80 °C, výraznejšie zmeny v mólových hmotnostiach polystyrénu EPS 100 F nastávajú až pri teplotách vyšších ako 120 °C. Mólová hmotnosť pôvodnej vzorky je 193 000 $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$, čo je v súlade s publikovanými údajmi pre polystyrén EPS 100, ktoré sa pohybujú v rozsahu 150 000 až 300 000 $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$ [17] a pri teplote 200 °C klesla na hodnotu cca 18 500 $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$, čo je zmena o 90% (Tab. 3). Pokles mólových hmotností polystyrénu pozorovali viacerí autori, pričom zmeny záviseli od jeho počiatkovej mólovej hmotnosti a podmienok pôsobenia (teplota, čas). Degradácia polystyrénu je spočiatku rýchla v dôsledku náhodného štiepenia väzieb, neskôr sa spomaľuje a prevláda odštiepovanie monomérov z koncov reťazca [18, 19, 20, 21, 22]. Uvedené je v súlade s výsledkami stanovenia mólových hmotností a koncentrácií prchavých produktov v našej práci.

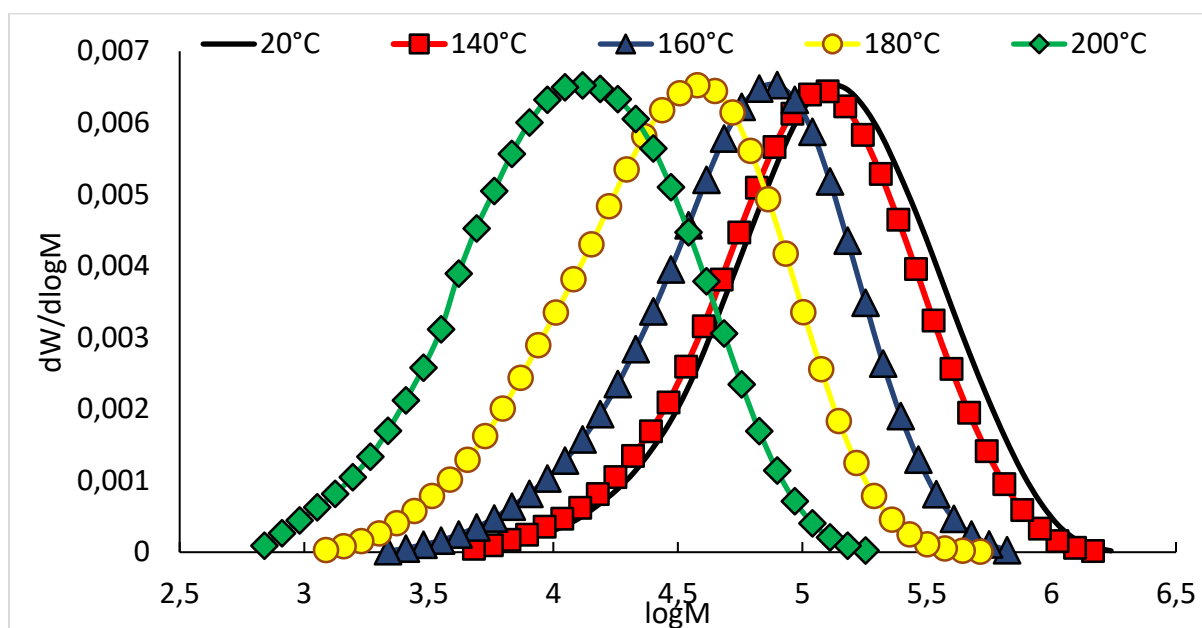


Fig. 3 Influence of thermal loading on molar weight distribution of EPS 100F

Obr. 3 Vplyv tepelného zaťaženia na distribúciu mólových hmotností EPS 100F

5 Conclusions

The EPS 100F expanded polystyrene was exposed to temperatures of 20, 80, 100, 120, 160, 180 and 200 °C for 1 hour in oxidative atmosphere.

The results show that changes in volume, density, weight, degree of polymerization occur at temperatures of 80 °C or, alternatively above 100 °C. Due to thermal degradation of polystyrene, volatile products are released as early as 80 °C temperature is reached, many of which are harmful to the human organism, e.g. styrene, toluene, ethylbenzene, xylenes, etc. Analysis of volatile organic compounds can therefore be considered as the most suitable method for monitoring the degradation of expanded polystyrene in course of thermal degradation. From the health protection point of view, it is advisable to minimize the use of polystyrene in environments with elevated temperature.

Acknowledgement

This work was supported by the Slovak Grant Agency VEGA projects 1/0493/18 (50%) and 1/0806/2017 (50%).

5 Záver

Expandovaný polystyrén EPS 100 F bol tepelne zaťažovaný v oxidačnej atmosfére počas 1h pri teplotách 20, 80, 100, 120, 160, 180 a 200 °C.

Z výsledkov vyplýva, že zmeny objemu, hustoty, hmotnosti, polymerizačného stupňa nastávajú už pri teplotách 80 °C, resp. 100 °C. Pri teplote 80 °C dochádza v dôsledku tepelnej degradácie polystyrénu k uvoľňovaniu prchavých produktov, z ktorých viaceré sú škodlivé pre ľudský organizmus, napr. styrén, toluén, etylbenzén, xylény ap. Analýzu prchavých organických zlúčenín možno teda považovať za najvhodnejšiu metódu na sledovanie degradácie expandovaného polystyrénu pri tepelnom zaťažení. Z hľadiska ochrany zdravia je vhodné minimalizovať používanie polystyrénu v prostredí so zvýšenou teplotou.

Podakovanie

Táto práca bola podporená slovenskou grantovou agentúrou VEGA č. projektu 1/0493/18 (50%) a 1/0806/2017 (50%).

References / Literatúra

- [1] Buchberger W, Stiftinger M, (2012) , Analysis of Polymer Additives and Impurities by Liquid Chromatography/Mass Spectrometry and Capillary Electrophoresis/Mass Spectrometry, Mass Spectrometry of Polymers - New Techniques 248:39-67
- [2] L. Chen, F. Wu, Y.L. Li, Y.D. Wang, L.P. Si, K.I. Lee, B. Fei, (2018) , Robust and elastic superhydrophobic breathable fibrous membrane with in situ grown hierarchical structures, Journal of Membrane Science 547 93-98.
- [3] Kusch P, Knupp G (2002) Analysis of residual styrene monomer and other volatile organic compounds in expanded polystyrene by headspace solid-phase microextraction followed by gas chromatography and gas chromatography/mass spectrometry. J Sep Sci 25(8):539-542
- [4] Pereira PAD, de Oliveira RFS, de Andrade JNB (2004) Determination of styrene content in polystyrene cups by purge-and-trap followed by HRGC-FID. Am Lab 36(15):16-18.
- [5] Figge K (1972) Migration of additives from plastics films into edible oils and fat simulants. Food Cosmet Toxicol 10(6):815-828
- [6] Dowty BJ, Laseter JL, Store J (1976) The transplacental migration and accumulation in blood of volatile organic constituents. Pediatr Res 10(7):696-701
- [7] Council of European Union (2014) Union Guidelines on Regulation No 10/2011 on plastic materials and articles intended to come into contact with food
- [8] Kacik F, Podzimek S, Vizarova K, Kacikova D, Cabalova I (2016) Characterization of cellulose degradation during accelerated ageing by SEC-MALS, SEC-DAD, and A4F-MALS methods. Cellulose 23(1):357-366
- [9] Kan A, Demirboga R (2009) A new technique of processing for waste-expanded polystyrene foams as aggregates. J Mater Process Tech 209(6):2994-3000
- [10] Faravelli T, Pincioli M, Pisano F, Bozzano G, Dente M, Ranzi E (2001) Thermal degradation of polystyrene. J Anal Appl Pyrol 60(1):103-121
- [11] Jang BN, Wilkie CA (2005) The thermal degradation of polystyrene nanocomposite. Polymer 46(9):2933-2942
- [12] Xing WY, Wang X, Song L, Hu Y (2016) Enhanced thermal stability and flame retardancy of polystyrene by incorporating titanium dioxide nanotubes via radical adsorption effect. Compos Sci Technol 133:15-22
- [13] Chen K, Vyazovkin S (2006) Mechanistic differences in degradation of polystyrene and polystyrene-clay nanocomposite: Thermal and thermo-oxidative degradation. Macromol Chem Phys 207(6):587-595
- [14] Gurman JL, Baier L, Levin BC (1987) Polystyrenes - a review of the literature on the products of thermal-decomposition and toxicity. Fire Mater 11(3):109-130
- [15] Kusch P, Knupp G (2004) Headspace-SPME-GC-MS identification of volatile organic compounds released from expanded polystyrene. J Polym Environ 12(2):83-87
- [16] Pajaro-Castro N, Gallardo KC, Verbel JO (2014) Identification of volatile organic compounds (VOCs) in plastic products using gas chromatography and mass spectrometry (GC/MS). Rev Ambient Agua 4:610-620

- [17] Sonnenberg F (2003) Recent Innovations with EPS Lost Foam Beads. Transactions of the American Foundrymen's Society 111:1213-1229
- [18] Woo OS, Broadbelt LJ (1998) Recovery of high-valued products from styrene-based polymers through coprocessing: Experiments and mechanistic modeling, Catal Today 40(1):121-140
- [19] Beyler CL., Hirschler MM., (2002) Thermal decomposition of polymers, SFPE handbook of fire protection engineering 2:111-131
- [20] Kruse TM, Woo OS, Wong HW, Khan SS, Broadbelt LJ (2002) Mechanistic modeling of polymer degradation: a comprehensive study of polystyrene, Macromolecules 35(20):7830-7844
- [21] Kruse TM, Wong HW, Broadbelt LJ (2003) Modeling the evolution of the full polystyrene molecular weight distribution during polystyrene pyrolysis, Ind Eng Chem Res 42(12):2722-2735
- [22] Beachell HC, Smiley LH (1967) Oxidative degradation of polystyrene. J Polym Sci A1, 5: 1635-1643
- [23] EPS Recycling International [online]. [cit. 2018-11-25]. Available online: <https://epsrecycling.org/eps-recycling>

Highly Efficient Autonomous Extinguishing Robotic System

Vysoko efektívny autonómny hasiaci robotický systém

Dušan Paulíny^{1*}, Slavomír Michna¹, Radovan Maník¹

¹ IPM ENGINEERING s.r.o., Sokolská 12, 960 01, Zvolen, Slovensko,

* Corresponding author: pauliny@ipmeng.sk

Case Study

Received: November 28, 2018; Accepted: December 07, 2018; Published: December 31, 2018

Abstract

Specific risks, associated with firefighting in a large traffic underground structure, moves requirements for technical equipment of the firefighting and rescue corps to level of mobile fire-extinguishing robotic systems deployment. Development of modular construction, functionality, controlling system and control mode of the robotic system is based on the sets of requirements of which the main is elimination of risks that threaten rescuers. The paper describes the design, parameters and purpose of the pair of devices that are the result of the project solved by IPM ENGINEERING s.r.o Zvolen in cooperation with FME UZ Žilina.

Keywords: mobile robotic system, modular construction, firefight subsystem, technological subsystem

1 Introduction

Development of telemeter-controlled fire-fighting equipment and technology is taking place in the world to streamline fire-fighting activities, but in particular, minimize the risk of direct involvement of interceptors in places with a very high risk. The most appropriate solution to reduce this risk is to exclude the direct entry of persons into such environment and to back up them with a special fire-fighting technique, the mode of control of which allows to carry out some activities in autonomous mode or telemetric control by a person located in a low or zero risk zone. The most suitable solution, it is currently preferred to deploy special mobile service robots equipped with the necessary technical means for fire intervention.

The analysis of the current state of the existing mobile service robots' solutions and special remote-controlled mobile technology highlights the possibilities of extending their use also for fire interventions in extremely

1 Úvod

Celosvetovo prebieha vývoj telemetricky ovládaných hasičských zariadení a techniky s cieľom zefektívnenia činností spojených s protipožiarnym zásahom, ale najmä minimalizácie rizika spojeného s priamou účasťou zasahujúcich osôb v miestach s prostredím s veľmi vysokou mierou rizika. Najvhodnejším riešením ako doceliť zníženie tohto rizika, je vylúčenie priameho vstupu osôb do takéhoto prostredia a ich zastúpenie špeciálnou hasičskou technikou, ktorej spôsob ovládania umožňuje vykonávanie niektorých činností v autonómnom režime, respektíve telemetrické riadenie osobou (operátorom) lokalizovanou v zóne s nízkou alebo nulovou mierou rizika. Ako najvhodnejšie riešenie je v súčasnosti preferované nasadenie špeciálnych mobilných servisných robotov vybavených potrebnými technickými prostriedkami pre protipožiarny zásah.

Analýza súčasného stavu existujúcich riešení mobilných servisných robotov a špeciálnej diaľkovo ovládanej mobilnej

dangerous situations and areas. This category includes fires in the underground spaces of road tunnels and large-scale garages. This special mobile technology needs to be supplemented by technologies and equipment for environmental monitoring and orientation in this environment, location of the focus and application of fire-fighting water-based substances and fire-extinguishing. Special mobile technology is further used for support activities such as handling of objects threatened by fire and removal of obstacles on the access route [1][2][3][4].

2 Material and Methods

One of the first and most frequent applications of remote-controlled systems that have been the focus of attention in recent years have been their deployment in locating and disposing of explosive devices and unexploded ammunition. The incidence of terrorist attacks and military conflicts around the world confirms that the number of people ready to commit violence at any level and in any place is growing. This also increases the demands for protection and intervention personnel and the risk they have to face in order to eliminate the threat. One solution is to keep the intervening persons at a safe distance and the intervention itself to be carried out by a specialized robotic system, which can be categorized according to the purpose of deployment into the following groups:

- military robots
- robots for security services
- robots for handling radioactive substances
- robots for handling the chemical substances
- robotic fire-fighting systems

The composition of these robotic systems is usually built on a modular design. The basis is a suitable wheeled or tracked chassis ensuring real-time mobility of the system. A dedicated sensor body, equipped with a combination of various sensors and a camera system currently built mostly on the intelligent stereo camera, is a module for workspace orientation, environmental monitoring and position sensing. According to the purpose of the deployment it handles bodies with gripping mechanisms, or to transport objects specialized platforms. Combining the modules, the robot can fulfill multiple roles. These mobile robot systems work in fully automated - autonomous mode or are remotely controlled by the operator.

techniky poukazuje na možnosti rozšírenia ich využitia aj pre protipožiariarne zásahy v extrémne rizikových situáciách a priestoroch. Do tejto kategórie spadajú požiare v podzemných priestoroch cestných tunelov a veľkokapacitných garáží. Túto špeciálnu mobilnú techniku je potrebné doplniť o technológie a zariadenia pre monitorovanie prostredia a orientáciu v tomto prostredí, lokalizáciu ohniska a aplikáciu hasiacich látok na báze vody pre potlačanie a likvidáciu požiaru. Špeciálna mobilná technika je ďalej využívaná pre podporné činnosti ako sú manipulácia s objektmi ohrozenými požiarom a odstraňovanie prekážok na prístupovej trase [1][2][3][4].

2 Materiál a metódy

Jednou z prvých a najčastejších aplikácií diaľkovo riadených systémov na ktorú je zameraná veľká pozornosť najmä v posledných rokoch, je ich nasadenie pri lokalizácii a zneškodňovaní nástražných výbušných zariadení a nevybuchutej munície. Výskyt teroristických útokov a vojenských konfliktov po celom svete potvrdzuje, že počet ľudí pripravených k páchaniu násilia na akejkoľvek úrovni a na akomkoľvek mieste stále rastie. To tiež zvyšuje nároky na ochranný a zasahujúci personál a riziko ktoré musí pri likvidácii hrozby podstúpiť. Jedným z riešení je udržať zasahujúce osoby v bezpečnej vzdialenosti a samotný zásah realizovať špecializovaným robotickým systémom, ktorý podľa účelu nasadenia je možné kategorizovať do nasledujúcich skupín:

- vojenské roboty,
- roboty pre bezpečnostné služby,
- roboty pre manipuláciu s rádioaktívnymi látkami,
- roboty pre manipuláciu s chemickými látkami,
- robotické hasičské systémy.

Skladba týchto robotických systémov je zvyčajne postavená na modulárnom prevedení. Základom je vhodný kolesový alebo pásový podvozok zabezpečujúci mobilitu systému v reálnom čase. Špecializovaná senzorová nadstavba vybavená kombináciou rôznych senzorov, snímačov a kamerovým systémom v súčasnosti postavenom zväčša na využití prehládovej inteligentnej stereo kamery tvoria

Robotic firefighting systems are used dangerous situations which may arise in a fire accident, and in the areas of industrial and chemical plants, large-capacity underground car parks, roads, railways and underground tunnels where the temperature can be as high as 1400 °C. Extinguishing such fires involves specific risks such as fuel tanks, chemical tanks or industrial gas pressure vessels, and the like. In such situations, first, it is necessary to recognize the environment using a survey robot that is designed to move around the terrain and to overcome various types of obstacles such as stairways. After finding information about the environment under investigation by means of a thermal camera or specific sensors, the operational fire brigade decides on the next procedure, with fire extinguishers or robots, to rescue persons in danger. This set of activities can no longer be secured with one type of mobile robotic system. That is why a new phenomenon, the so-called robotic fire teams [4], is becoming part of the special intervention units. European's solutions of the early described systems are machines like LUF [8], DOK-ING [9], MARIGUS AIRCORE TAF35 [10]. THERMITE RS1-T3 a RS2-T3 [11] has been developed and produced in USA.

modul slúžiaci na orientáciu v pracovnom priestore, monitorovanie prostredia a snímanie polohy. Podľa účelu nasadenia systému je tento doplnený ďalšími modulmi napr. pre manipuláciu s telesami slúžia manipulátory s úchopovými mechanizmami, alebo na prepravu objektov špecializované plošiny. Kombinácia modulov dáva robotom možnosť plnenia rôznorodých úloh. Tieto mobilné robotické systémy pracujú v plne automatizovanom – autonómnom režime, alebo sú diaľkovo ovládané operátorom.

Robotické hasičské systémy sa využívajú v zvlášť rizikových situáciách aké môžu nastať pri likvidácii požiarov a havárií v priestoroch priemyselných a chemických závodov, veľkokapacitných podzemných garáží, cestných, železničných tunelov a metra, kde teplota požiaroviska dosahuje až 1 400 °C. Pri hasení takýchto požiarov sa vyskytujú špecifické riziká, ktoré predstavujú napríklad palivové nádrže, cisterny s chemickými látkami alebo tlakové nádoby s priemyselnými plynmi a pod. V takýchto situáciách je potrebná najskôr rekognoskácia prostredia s použitím robota určeného pre prieskum, ktorý je konštruovaný tak, aby sa dokázal pohybovať po členitom teréne a prekonávať rôzne druhy prekážok, napríklad aj schodiská. Po zistení informácií o skúmanom prostredí pomocou termovíznej kamery alebo špecifických senzorov operatívny hasičský tím rozhoduje o ďalšom postupe, pričom sú už nasadzované samotné hasiace roboty, respektíve roboty na ochranu ohrozených osôb. Tento súbor aktivít už nie je možné zabezpečiť jedným typom mobilného robotického systému. Preto sa začína uplatňovať nový fenomén, tzv. robotické hasičské tímy [4], ako súčasť vybavenia špeciálnych zásahových jednotiek. Medzi najznámejšie riešenia vyššie opísaných systémov v európskom regióne je možné zaradiť zariadenia ako LUF [8], DOK-ING [9], MARIGUS AIRCORE TAF35 [10]. V USA boli vyvinuté a vyrobené zariadenia THERMITE RS1-T3 a RS2-T3 [11].

3 Results and Discussion

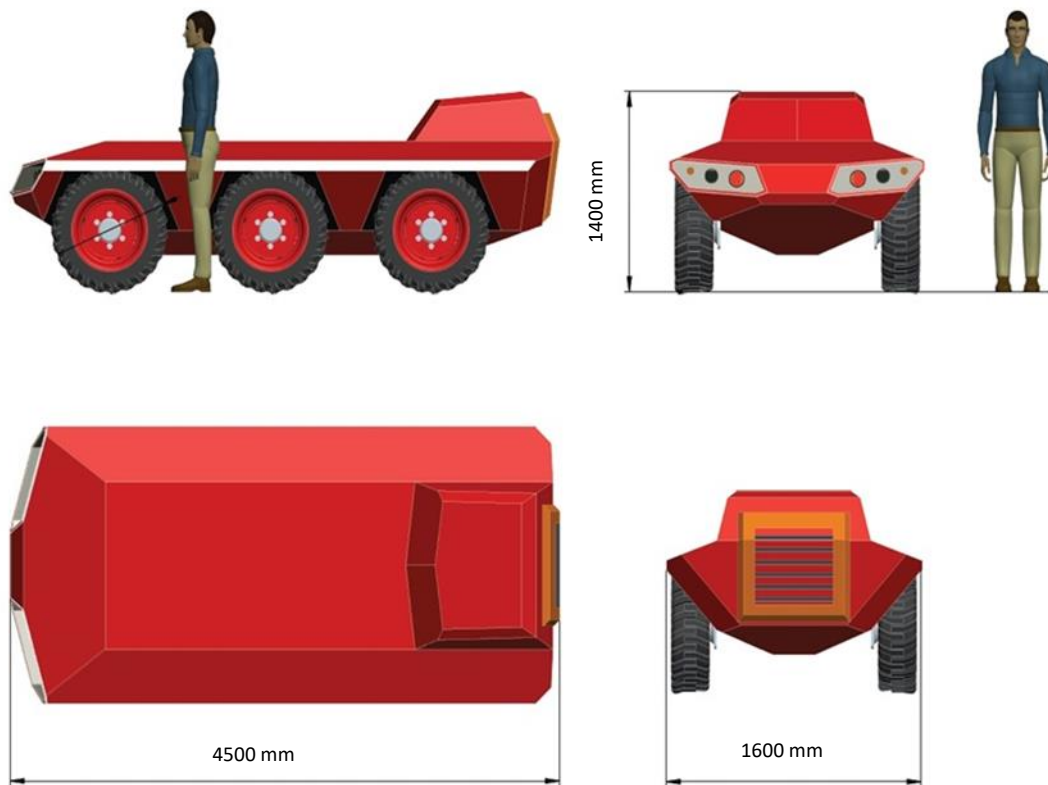
The subsystem carrier as one of the development results is a mobile telemetrically controlled or autonomous device designed for the operational displacement of a specific subsystem. It is based on the concept of a crew-free vehicle designed to move in difficult-to-reach and off-road terrain and dangerous environments (fires in forests, industrial agglomerations, tunnels and other underground spaces) on unsuspended wheel chassis. Hybrid power driven chassis was chosen based on familiarization with the issues and possibilities of using different types of chassis of mobile machinery as carriers of the fire-fighting robotic systems. The base carrier consists of the hybrid undercarriage itself, the application of which is indispensable in the case of rescue vehicle propulsion vehicles operating in hazardous oxygen-scarce environments and with a survey and guidance system. Several concepts variants of the subsystem carrier were considered, and an alternative of 8x8 was also considered.

The base subsystem carrier was finally designed as a six-wheeled (6x6) skid driven chassis (Fig. 1). With its maximum external dimensions, it can use direct lateral elevated walkways in tunnels as its operational corridor from the point of departure of the steering position to the epicenter of fire that needs to be localized and then destroyed. The base chassis uses hydrostatic transmission of power from the engine to the wheels. The Kubota V3800DI-T-E3B diesel engine is the primary power source. G36 Magnet Motor powered by a Li-Ion battery should serve as a secondary source for an emergency evacuation of the system from an environment where a diesel engine is not capable of operating.

3 Výsledky a diskusia

Nosič subsystému ako jeden z výsledkov vývoja je mobilné telemetricky ovládané alebo autonómne zariadenie, určené na operatívne premiestňovanie špecifického subsystému. Vychádza z konceptu bez posádkového vozidla určeného na pohyb v ťažko dostupnom, členitom teréne a nebezpečnom prostredí (požiare v lesoch, priemyselných aglomeráciách, tuneloch a iných podzemných priestoroch) na neodpruženom kolesovom podvozku. Podvozok poháňaný hybridným pohonom a riadený príbrzd'ovaním kolies bol zvolený na základe oboznámenia sa s problematikou a možnosťami využitia rôznych typov podvozkov mobilných strojov ako nosičov hasičských robotických systémov. Bázový nosič pozostáva zo samotného podvozku s hybridným pohonom, ktorého aplikácia je nezastupiteľná v prípadoch pohonov záchranných vozidiel pracujúcich aj v rizikových prostrediach s nedostatkom kyslíka a modulom s prieskumným a navádzacím systémom. Uvažovalo sa s rôznymi koncepciami variant nosiča subsystému do úvahy prichádzala aj alternatíva 8x8.

Bázový nosič subsystémov bol nakoniec navrhnutý ako šesť kolesový (6x6) šmykom riadený podvozok (Obr. 1). Svojimi maximálnymi vonkajšími rozmermi dokáže pre priamy zásah využiť bočné vyvýšené chodníky v tuneloch ako svoj operačný koridor od miesta opustenia riadiaceho stanoviska až k epicentru požiaru, ktorý je potrebné lokalizovať a následne zlikvidovať. Bázový podvozok využíva hydrostatický prenos výkonu z motora na kolesá. Ako primárny zdroj výkonu je navrhnutý naftový motor Kubota V3800DI-T-E3B. Ako sekundárny zdroj, pre prípad núdzového odsunu systému z prostredia v ktorom nie je možná činnosť naftového motora (prostredie s nedostatkom vzduchu), by mal slúžiť elektromotor G36 Magnet Motor napájaný z Li-Ion batérie.

**Fig 1.** Subsystems base-support dimensions.**Obr. 1** Rozmery bázoého nosiča subsystémov.

The exploration and guidance module of the carrier consists of devices that allow monitoring of the hazardous environment, orientation and movement in such environment:

- thermal camera
- camera
- distance sensors
- GPS receiver
- accelerometer / gyroscope / compass
- accelerometer (3-axis) / magnetometer (3-axis)
- angular speed sensor
- piezoelectric vibration sensor
- humidity sensor
- optical detector
- atmospheric pressure sensor

All subsystem sensors and devices support the possibility of linking to the control system in which the scanned data is processed and evaluated.

Prieskumný a navádzací modul nosiča je tvorený zariadeniami, ktoré umožňujú monitorovanie rizikového prostredia, orientáciu a pohyb v takomto prostredí:

- termokamera
- kamera
- senzory vzdialenosti
- GPS prijímač
- akcelerometer / gyroskop / kompas
- akcelerometer (3 osi) / magnetometer (3 osi)
- snímač uhlovej rýchlosti
- piezovibračný snímač
- senzor vlhkosti
- optický detektor
- snímač atmosférického tlaku

Všetky snímače a zariadenia subsystému podporujú možnosť prepojenia s riadiacim systémom v ktorom sa uskutočňuje spracovávanie a vyhodnocovanie snímaných dát.

Subsystem carrier has the following parameters:

• gross vehicle weight	6000 kg
• maximum speed	36 km/h ⁻¹
• track width	2000 mm
• vehicle width	2400 mm
• wheelbase	1600 mm
• vehicle length	4500 mm
• vehicle height	1400 mm

Development of the carrier chassis design was based on defined boundary conditions - technical parameters of the carrier as well as requirements of specialists from the fire brigade for autonomous or remote-controlled fire intervention in a defined environment. Therefore, the base carrier itself is supplemented by other subsystems [5]. The base carrier has been specially designed for underground traffic and garage spaces but can be alternated according to specified criteria, resulting in several real variants without a crew land vehicle.

By adding a fire extinguishing subsystem to a base carrier, a fire extinguisher subsystem (Fig. 2) was created with a new modular structure (Fig. 3). The fire extinguishing subsystem consists of a set of devices specially designed and selected for fire extinguishing in traffic tunnels and large capacity garages:

- devices for fire extinguishing application - monitor - with remote control.
- devices for connection to the stationary fire extinguishing system in tunnel and garage, or a mobile firefighting equipment.
- extinguishing agent equipment - Extinguishing additive tank.
- devices for pumping, regulating the flow and pressure parameters of the extinguishing agent - pump, remote controlled valves.
- devices for fire extinguishing: fixed pipelines, fittings, flexible piping – hoses.

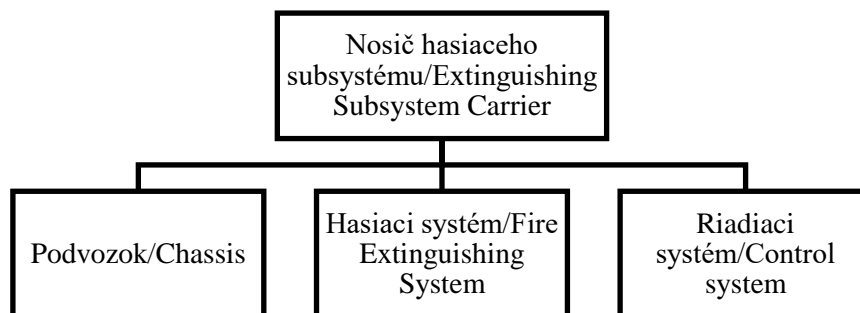
Nosič systémov disponuje nasledujúcimi parametrami:

- celková hmotnosť vozidla 6000 kg
- maximálna rýchlosť 36 km.h⁻¹
- rozchod kolies 2000 mm
- šírka vozidla 2400 mm
- rázvor osí kolies 1600 mm
- dĺžka vozidla 4500 mm
- výška vozidla 1400 mm

Pri vývojových prácach na návrhu podvozku nosiča sa vychádzalo zo stanovených okrajových podmienok – technických parametrov nosiča, ako aj požiadaviek špecialistov z HaZZ na autonómny alebo diaľkovo riadený protipožiarny zásah v definovanom prostredí. Preto je samotný bázový nosič doplnený o ďalšie subsystemy [5]. Bázový nosič bol navrhnutý špeciálne pre podzemné priestory dopravných stavieb a garáží, ale je možné ho na základe konkretizovaných kritérií alternovať, čím môžu vzniknúť viaceré reálne varianty bez posádkového pozemného vozidla.

Doplnením modulu hasiaceho subsystemom na bázový nosič vznikol nosič hasiaceho subsystemu (Obr. 2) s novou modulárnou štruktúrou (Obr. 3). Modul hasiaceho subsystemu je tvorený sústavou zariadení špeciálne navrhnutých a vybraných pre hasenie požiarov v priestoroch dopravných tunelov a veľkokapacitných garáží:

- zariadenia pre aplikáciu hasiacej látky – monitor – s diaľkovým riadením.
- zariadenia pre pripojenie na stacionárny hasiaci systém tunela alebo garáže, resp. mobilnej hasičskej techniky.
- zariadenie pre tvorbu zásoby hasiacej látky – nádrž pre hasiace aditíva.
- zariadenia pre čerpanie, reguláciu parametrov prietoku a tlaku hasiacej látky – čerpadlo, diaľkovo riadené ventily.
- zariadenia pre rozvod hasiacej látky: pevné potrubia, armatúry, pružné potrubie – hadice.

**Fig 2** Extinguishing Subsystem Carrier**Obr. 2** Nosič hasiaceho subsystemu**Fig 3** Basic modular structure of the fire extinguishing subsystem carrier**Obr. 3** Základná modulárna štruktúra nosiča hasiaceho subsystemu

The carrier of the technological and intervention subsystem (Fig. 4) is based on an identical base chassis as the extinguishing subsystem carrier with the same survey and guidance subsystem. The difference is in the technology subsystem module designed as a superstructure that is mounted in the front of the base carrier hull. The superstructure consists of a winding drum with a hose storage device and a device for automatically or manually connecting the distribution systems and the application of a fire extinguisher between the two carriers. The carrier also allows connecting to stationary or mobile sources of fire-extinguishing medium and supporting its transport over longer distances [6] [7].

Nosič technologického a zásahového subsystemu (Obr. 4) vychádza z identického bazového podvozku ako nosič hasiaceho subsystemu s rovnakým modulom prieskumného a navádzacieho subsystemu. Rozdiel je v module technologického subsystemu riešeného ako nadstavba, ktorá je upevnená v prednej časti korby bazového nosiča. Nadstavbu tvorí navíjací bubon s ukladacím zariadením pre hadicu a zariadenie pre automatické alebo manuálne prepojenie systémov rozvodu a aplikácie hasiacej látky medzi obidvomi nosičmi. Nosič tiež umožňuje pripojenie na stacionárne alebo mobilné zdroje hasiacej látky a podporu jej prepravy na väčšie vzdialenosti [6] [7].

**Fig 4** Technological and intervention subsystem carrier**Obr. 4** Nosič technologického a zásahového subsystému

The management system for both carriers was developed in the framework of the project solution in cooperation with the Departments of the Faculty of Mechanical Engineering and the Faculty of Management of the University of Žilina. The control system provides a user environment for 3D visualization of the environment and 2D data visualization of the environmental parameters in which the fire extinguisher subsystem and the carrier of the technological and intervention subsystem move. It also provides logic for controlling individual functional units and components such as fire extinguishing system, cooling systems, hydraulics, hybrid drive, combustion engine. It also ensures the functional interconnection of individual systems, or systems and performs a control function for individual functional units. The remote control provides vehicle control, hybrid drive control and fire control. It also provides the transmission of information about the functional status (operational data, critical data) of the individual components.

The control system is compatible with Windows and Linux operating systems. Provides the possibility of programming modules in C ++. Design and testing - simulation of various crisis situations in a virtual environment with the ability to create custom physical modules and create a virtual environment with the ability to simulate control software and sensor systems.

Riadiaci systém pre obidva nosiče bol vyvinutý v rámci riešenia projektu v spolupráci s pracoviskami katedier Strojníckej fakulty a Fakulty riadenia Žilinskej univerzity. Riadiaci systém poskytuje užívateľské prostredie umožňujúce 3D vizualizácii okolia a 2D vizualizáciu dát parametrov prostredia v ktorom sa nosič hasiaceho subsystému a nosič technologického a zásahového subsystému pohybuje. Ďalej zabezpečuje logiku ovládania jednotlivých funkčných celkov a komponentov, ako hasiaca sústava, chladiace sústavy, hydraulika, hybridný pohon, motor spaľovací. Taktiež zabezpečuje funkčnú previazanosť jednotlivých systémov, resp. sústav a plní tiež kontrolnú funkciu pre jednotlivé funkčné celky. Prostredníctvom diaľkového ovládania sa zabezpečuje ovládanie pohybu vozidla, ovládanie funkcií hybridného pohonu a ovládanie hasiacej sústavy. Taktiež zabezpečuje prenos informácií o funkčnom stave (prevádzkové údaje, kritické údaje) jednotlivých komponentov.

Riadiaci systém je kompatibilný s operačnými systémami na platforme Windows a Linux. Poskytuje možnosť programovania modulov v jazyku C++. Možnosť návrhu a testovanie – simulácii najrôznejších krízových situácií vo virtuálnom prostredí s možnosťou vytvárania vlastných fyzikálnych modulov a vytvorenie virtuálneho prostredia s možnosťou simulácie riadiaceho softvéru a senzorových systémov.

4 Conclusions

The development of a modern company offers a huge number of challenges, but also possibilities for the technical systems to cooperate with humans. Scientific and development teams around the world are constantly delivering results in new facilities equipped with intelligent technologies to completely replace human activity in many cases. Applying elements in the field of artificial intelligence shortens the time of introducing new knowledge into practice. One such area is also the use of computer-aided design - in this case remote-controlled robotic systems or mobile devices.

Developing activities have been able to design a fire extinguishing robotic system to replace fire brigade teams in fire localization and destruction in tunnels, underground garages and closed premises. It is possible to shorten the period of intervention by quickly locating and locating a fire outbreak that greatly reduces the risk of spreading fire to other properties, thereby reducing damage, preventing the destruction of buildings and their decommissioning for a longer period.

Acknowledgments

This work was based on the ITMS 20220220076 project, implemented under the Contract for the Provision of Non-Returnable Financial Contribution for the Project "Telemetrically Controlled Fire Extinguishing Robotic System" 088/2010/2.2./OPVaV/D06, concluded between IPM ENGINEERING, s.r.o. Zvolen and Agency of the Ministry of Education, Science, Research and Sport of the Slovak Republic for EU Structural Funds Bratislava (Research Agency).

References / Literatúra

- [1] Brain Y. Lattimer.: Robotics in firefighting, [online], Available online: https://www.sfpe.org/page/FPE_ET_Issue_100/Robotics-in-Firefighting.htm
- [2] Smrček, J. a kol.: Štúdiá servisného robota pre požiarny zásah. Robotika, virtuálna realita, Strojárstvo 9/2007.
- [3] Chee Fai Tan, S.M. Liew, M.R. Alkahari, S.S.S. Ranjit, M.R. Said, W. Chen, G.W.M. Rauterberg, D. Sivakumar: Fire Fighting Mobile Robot: State of the Art and Recent Development, Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 7(10): 220-230, 2013 ISSN 1991-8178, [online], Available online: https://www.researchgate.net/publication/318339584_Fire_Fighting_Mobile_Robot_State_of_the_Art_and_Recent_Development

4 Záver

Rozvoj techniky modernej spoločnosti ponúka obrovské množstvo výziev, problémov ale aj možností spolupráce technických systémov s človekom. Vedecké a vývojárske tímy na celom svete neustále prinášajú výsledky v podobe nových zariadení vybavených inteligentnými technológiami s cieľom mnohých prípadoch úplne nahradiť ľudskú činnosť. Uplatnením prvkov z oblasti umelej inteligencie sa skraca čas zavádzania nových poznatkov do praxe. Jednou z takýchto oblastí je aj využitie počítačom podporovaného konštruovania pri návrhu - v tomto prípade diaľkovo ovládaných robotických systémov, prípadne mobilných prostriedkov.

Vývojovými aktivitami sa podarilo navrhnúť hasiaci robotický systém, ktorý nahradí pri lokalizovaní a likvidácii požiarov v tuneloch, podzemných garážach a uzavretých priestoroch príslušníkov HaZZ. Rýchlym vyhľadaním a lokalizáciou ohniska požiaru je možné skrátiť dobu zásahu, čo značne znižuje riziko šírenia sa požiaru na ďalší majetok, následkom čoho bude zníženie škôd, zabránenie deštrukcii budov a ich vyradenia na dlhší čas.

Pod'akovanie

Tento príspevok vznikol na základe projektu ITMS 20220220076, realizovaného v zmysle Zmluvy o poskytnutí nenávratného finančného príspevku pre projekt „Telemetricky ovládaný hasiaci robotický systém“ č. 088/2010/2.2./OPVaV/D06, uzavretej medzi spoločnosťou IPM ENGINEERING, s.r.o. Zvolen a Agentúrou Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu SR pre štrukturálne fondy EÚ Bratislava (Výskumnou agentúrou).

- [4] Riešiteľský kolektív IPM ENGINEERING s.r.o., Všeobecná časť C – súčasný stav diaľkovo ovládaných pozemných vozidiel, 047-3-052/2012
- [5] Riešiteľský kolektív IPM ENGINEERING s.r.o., Nosič hasiaceho subsystému, 047-3-054/2012
- [6] Riešiteľský kolektív IPM ENGINEERING s.r.o., Nosič technologického a zásahového subsystému, 047-3-053-2012
- [7] Riešiteľský kolektív IPM ENGINEERING s.r.o., Koncepčná štúdia nosičov stacionárneho, technicko-zásahového a hasiaceho subsystému, 047-3-073/2014
- [8] Fire Fighting Support – LUF Fire-Fighter, [online], Available online: <http://www.luf60.at/loeschunterstuetzung/?L=1>
- [9] FireFighting | DOK-ING, robotic mine clearance and firefighting systems, [online], Available online: <http://www.dok-ing.hr/solutions/firefighting>
- [10] MAGIRUS AIRCORE TAF35 FIREFIGHTING ROBOT, [online], Available online: https://www.magirusgroup.com/de/fileadmin/resources/download/datasheets/Datasheet_Air-Core_TAF35_EN_2018-04.pdf
- [11] THERMITE RS1-T3 AND RS2-T2 – Thermite Fire Fighting Robot, [online], Available online: <http://www.roboticfirefighters.com/>

Early Fire Detection and Forest Fires Operational Fighting - Important Factors in Reducing Forest Fires in Russia and Slovakia

Своевременное обнаружение возгораний и их оперативная ликвидация – важнейшие факторы снижения горимости лесов в России и Словакии

Alexandr Smirnov¹, Alexej Smirnov¹, Andrea Majlingova^{2*}

¹ Saint-Petersburg State Forest Technical University, Department of Forest Management, Institutskiy Pereulok 5, 194021 Saint-Petersburg, Russia; frontera12@gmail.com

² Technical University in Zvolen, T. G. Masaryka 24, 960 53 Zvolen, Slovak Republic; majlingova@tuzvo.sk

* Corresponding author: majlingova@tuzvo.sk

Review

Received: November 29, 2018; Accepted: December 08, 2018; Published: December 31, 2018

Abstract

The decisive factor in reducing the forest fires extent is an early detection of fires, along with prompt extinguishing of fires. The paper focuses on the importance of early fire detection systems implementation, as the proven efficient fire preventive measure. To support the decision to deploy them, the authors used the fire statistic data coming as from Russia, especially Peterburg region, as from Slovakia. As a result of the early fire detection systems launching, the extent of fires in the monitored regions has sharply decreased. It is evident mostly from the Peterburg fire statistic data, because the early fire detection systems have been launched already in 2009, while in Slovakia only in 2017. Nowadays, the average area of a fire does not exceed 1 ha and fires are extinguished in one day. In general, the cost-effectiveness of implementing these systems increases every year. When compared the data on fire number and fire burned area in Russia and in Slovakia, we found that the number of fires in Slovakia, as a rule, is less than in Russia and especially in the Peterburg region. The average fire area in Slovakia is also less than in Russia and in the Peterburg region. The extent of coniferous forests in the Peterburg Region and Slovakia are respectively 27.7 and 9.4 ha respectively. Thus, the area where mostly coniferous forests burn in Slovakia is three times smaller than in the Peterburg region. Taking into consideration the fact that the fire detection and control were in Slovakia and the Peterburg Region at about the same level in the period under review, the fire indicators of coniferous forests in Slovakia should be three times lower. However, the number of forest fires in Slovakia turned out to be only half as much as in the Russian region. At the same time, the area of fires was on average 26 times smaller, and the average area of a fire was 12 times smaller than in the Peterburg region.

Keywords: forest fires, early fire detection, forests fire statistics

1 Introduction

The number of forest fires in Russia remains extremely high, despite the measures taken by the Government. The reasons are well known:

1 Введение

Горимость лесов в России остается чрезвычайно высокой, несмотря на принимаемые Правительством меры. Причины общеизвестны: громадные

the extensive areas of coniferous forests in Siberia and the Far East, weather anomalies, careless handling of fire in the forest and agricultural fires (anthropogenic factor), lightning strikes. In recent years, the number of fires in forests in Russia has increased. The total and average area of a single fire increased especially sharply, see Tab. 1. It is known that early detection of fires along with the operational extinguishing of forest fires are decisive factors in reducing the extent of forest fires.

территории хвойных лесов в Сибири и на Дальнем Востоке, погодные аномалии, неосторожное обращение с огнем в лесу и сельскохозяйственные палы (антропогенный фактор), разряды молний. В последние годы горимость лесов в России возрастает. Особенно резко увеличились общая и средняя площадь одного пожара – Таб. 1. Известно, что решающими факторами снижения горимости лесов являются своевременное обнаружение возгораний наряду с оперативным тушением очагов лесных пожаров.

Tab. 1 Dynamics of the forest fires occurrence in Russia in recent years [2,5,6]

Таб. 1 Динамика горимости лесов в России за последние годы [2,5,6]

Indicators/Показатели	Year/Год					
	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Number of fires Количество пожаров	19,329	9,991	16,865	12,337	11,025	18,376
Burnt area, mil. ha Пройдено огнем, млн. га	2.3	1.4	3.7	2.5	2.4	9.3
Average fire extent, ha Средняя площадь пожара, га	119.0	140.1	219.4	202.6	217.7	506.1

Note: For 2018, the results have not yet been summarized, but, according to experts, the extent of forest fires will be a record for the last 10 years.

Примечание: За 2018 год итоги еще не подведены, но, по оценкам специалистов, площадь лесных пожаров будет рекордной за последние 10 лет.

In 2017 and 2018, the sharp increase in the extent and number of fires in Russia is largely due to the anomalously hot, long and windy weather in Eastern Siberia and the Far East. Here, fires are detected by aircraft and spacecraft. But the rapid growth of fires is due to the lack of quick delivery of intervention teams and fire extinguishing equipment to remote, deserted areas of taiga. Therefore, in the foreseeable future, it remains to rely only on natural obstacles to the movement of fires, primarily large rivers, and on changes in weather conditions (long and heavy rains).

In the European part of Russia, the situation with the detection and elimination of fires is radically different. Here, almost the entire territory (with the exception of the extreme north and northeast of the taiga of European Russia) it is quite possible to create a system for the rapid detection and elimination of fire sites.

В 2017 и 2018 годах резкое увеличение площади и количества пожаров в России во многом объясняется аномально жаркой, продолжительной и ветреной погодой в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке. Здесь пожары обнаруживают с помощью авиации и космических аппаратов. Но стремительное разрастание очагов возгорания происходит из-за отсутствия быстрой доставки команд и средств пожаротушения в отдаленные безлюдные районы тайги. Поэтому в обозримом будущем остается надеяться лишь на естественные преграды на пути движения пожаров, прежде всего крупные реки, и на изменение погодных условий (продолжительные и обильные дожди).

На европейской части России обстановка с обнаружением и ликвидацией очагов пожаров кардинально другая. Здесь почти на всей территории (за исключением крайнего

2 Review and discussion on fire situation in Russia

In July-August 2010, anomalous heat occurred throughout the European part of the country due to the sedentary anticyclone, a record for more than 130-year history of meteorological observations. In many regions of the Russian Federation, the air temperature approached the 40 °C mark or exceeded it. Due to the extreme heat, the ecological situation has worsened, peat and forest fires have intensified - a total of 34,812 fires with a total area of about two million hectares were recorded, including more than one thousand peat ones. Moreover, these statistics almost completely reflect the situation in the European part of Russia. In Siberia and the Far East, there were few fires this year, which allowed to transfer considerable fire brigades to the west.

According to the EMERCOM of Russia, only 17 regions suffered from fires and smog caused by them, more than 2,500 families were left homeless, more than 60 people died in the fire and from poisoning by combustion products. According to the report of the Minister of Health and Social Development, the abnormal weather conditions in July and August 2010 (heat, smog due to peat fires) affected the overall mortality rate in Russia. In 2010, the number of deaths increased by 20,000 people compared with 2009.

In addition to weather anomalies, one of the causes of the disaster in 2010 was the elimination of forest guards and fire protection/stopping features in the country because of the introduction of the new Forest Code [3,4].

In the Peterburg region, the first TV cameras situated on masts for detecting the forest fires began to be set up in the late 1990s. In the early 2000s, their number gradually increased, the design was improved, but the entire or almost the entire territory of the region was covered by them only by 2009. At the same time, work to prevent the occurrence of forest fires (propagation, organizational and control measures) was strengthened.

The data on the number and extent of fires in the region are presented by the Regional Dispatch Control Office (RDCO) of the Peterburg Regional State Institution "Forest Management of the Peterburg Region", see Fig. 1-5.

севера и северо-востока тайги европейской России) вполне возможно создание системы быстрого обнаружения и ликвидации очагов.

2 Обзор проблемы и обсуждение пожарной ситуации в России

В июле-августе 2010 года на всей территории европейской части страны из-за замало подвижного антициклона установилась аномальная жара, рекордная за более чем 130-летнюю историю метеонаблюдений. Во многих регионах РФ температура воздуха приближалась к 40-градусной отметке или превысила этот показатель. Из-за экстремальной жары ухудшилась экологическая обстановка, активизировались торфяные и лесные пожары – всего было зафиксировано 34 тыс. 812 очагов природных пожаров общей площадью около 2 млн. га, в том числе более 1 тыс. торфяных. Причем эта статистика почти полностью отражает обстановку в европейской части России. В Сибири и на Дальнем Востоке в этот год пожаров было мало, что позволило перебросить значительные силы лесных пожарных на запад.

По данным МЧС России, всего от пожаров и вызванного ими смога пострадали 17 регионов, более 2,5 тыс. семей остались без крова, более 60 человек погибли в огне и от отравления продуктами горения. Как следовало из доклада министра здравоохранения и социального развития, аномальные погодные условия июля и августа 2010 года (жара, смог из-за торфяных пожаров) повлияли на общий показатель смертности в России. За 2010 год количество умерших выросло на 20 тыс. человек по сравнению с 2009 годом.

Кроме погодных аномалий, одной из причин катастрофы 2010 года была ликвидация лесной охраны и лесопожарных формирований в стране в результате введения нового Лесного кодекса [3,4].

В Петербургской области первые телекамеры на мачтах для обнаружения лесных пожаров начали устанавливать еще в конце 1990-х годов. В начале 2000-х их количество постепенно увеличивалось, конструкция совершенствовалась, но вся

или почти вся территория области была ими покрыта лишь к 2009 году. Вместе с этим была усилена работа по профилактике возникновения лесных пожаров (пропагандистские, организационные и контрольные мероприятия).

Данные о количестве и площади пожаров в области представлены Региональным пунктом диспетчерского управления (РПДУ) Петербургского областного государственного казенного учреждения "Управление лесами Петербургской области", смотри Рисунки 1-5.

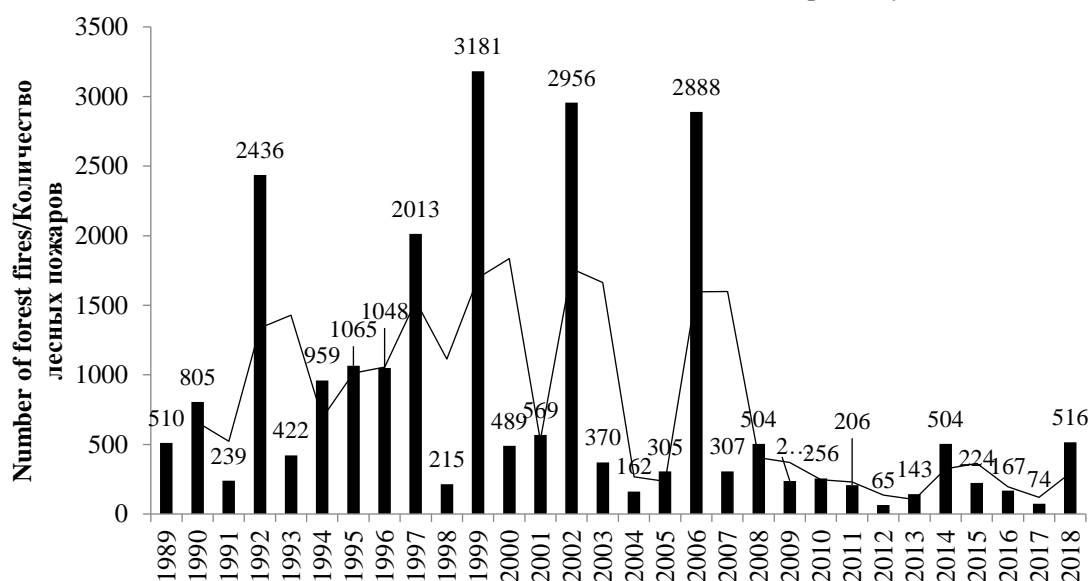


Fig. 1 Dynamics of the number of forest fires in the Peterburg region by years

Рис. 1 Динамика количества лесных пожаров в Петербургской области по годам

The years of increased forest burning in the region in terms of the number of fires: 1992, 2002, 2006, and, especially, 1999. High fire rate according to this indicator is associated with abnormal weather conditions of fire-hazardous periods of the specified years and high attendance of forests by the population in hot summer time.

Immediately, it should be noted that the catastrophic year 2010 in the area of fire for the whole of European Russia was quite calm in the number of fires - a ban was imposed not only on setting up the fires in the forests, but also on visiting them for a long time.

Годы повышенной горимости лесов в области по количеству пожаров: 1992, 2002, 2006, и, особенно, 1999 год. Высокая горимость по этому показателю связана с аномальными погодными условиями пожароопасных периодов указанных лет и высокой посещаемостью лесов населением в жаркое летнее время.

Сразу же следует отметить, что катастрофический в пожарном отношении для всей европейской России 2010 год, в области был вполне спокойным по количеству пожаров – был введен запрет не только на разведение костров в лесах, но и

According to the total extent of fires in the region, the following years were dangerous, too: 1999, 2002, 2006, and especially 1992, see Fig. 2.

на их посещение в течение продолжительного времени. По общей площади пожаров в области выделяются те же годы: 1999, 2002, 2006 годы, и, особенно, 1992, смотри Рисунок 2.

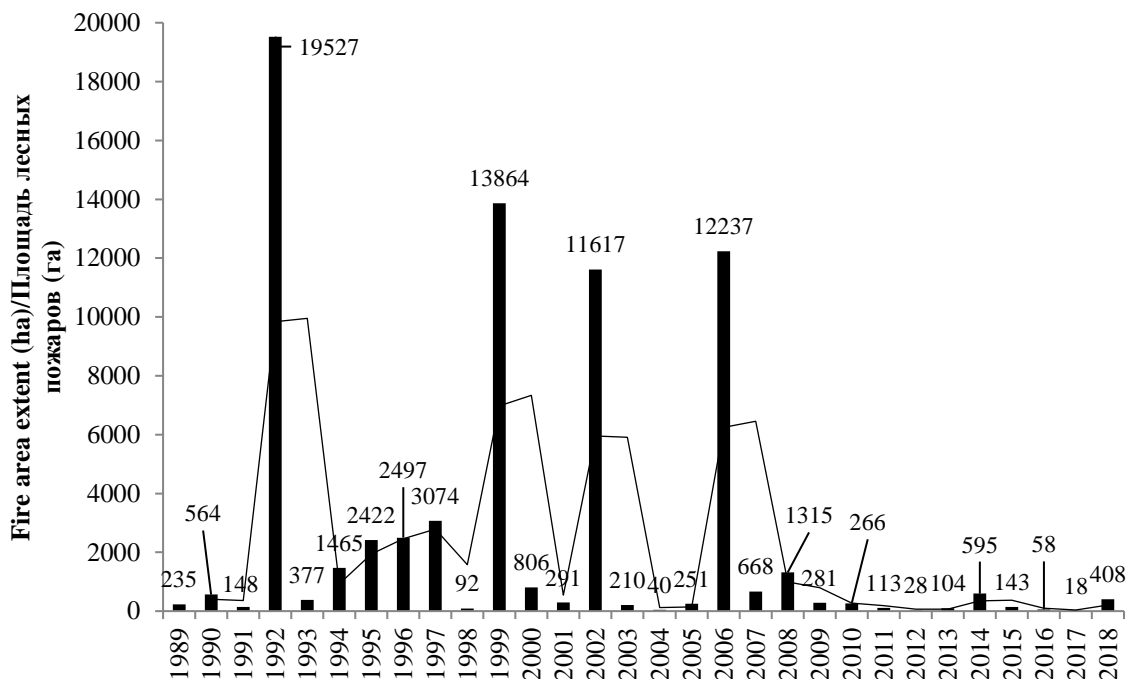


Fig. 2 Dynamics of the forest fire area extent in the Peterburg region by years

Рис. 2 Динамика площади лесных пожаров в Петербургской области по годам

The extent of fires in the region sharply decreased after 2009, despite the extremely hot and dry summer in 2010 and 2018. This is due to the early detection of fires in forests and their prompt elimination by mobile teams of fire and chemical stations situated in forest areas. Even if the fire could grow to several hectares, its extinguishing by a well-equipped team was finished, as a rule, within one day.

The average extent of a fire area is consistent with the total extent of fires, and to a lesser extent - with their number, see Fig. 3.

Площадь пожаров в области резко снизилась после 2009 года, несмотря на крайне жаркое и засушливое лето в 2010 и 2018 годах. Это объясняется своевременным обнаружением возгораний в лесах и их оперативной ликвидацией мобильными группами пожарно-химических станций при лесничествах. Даже если пожар смог разрастись до нескольких гектаров, его тушение усиленной командой заканчивалось, как правило, в течение одного дня.

Средняя площадь одного пожара согласуется с общей площадью пожаров, и в меньшей степени – с их количеством, смотри Рисунок 3.

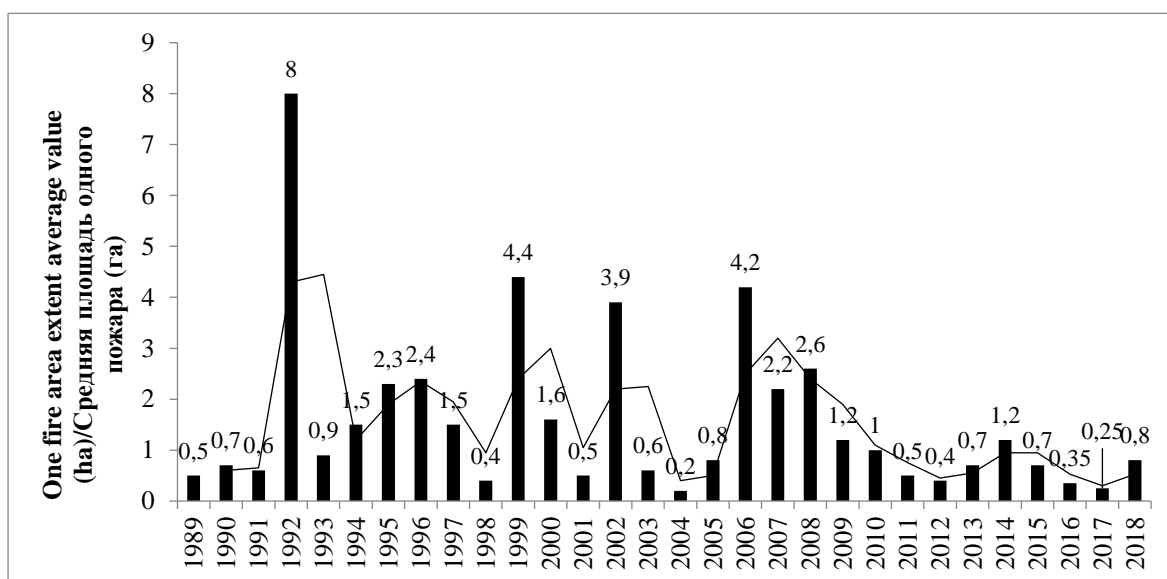


Fig. 3 Average value of a fire area extent in the Peterburg region by years

Рис. 3 Средняя площадь одного лесного пожара в Петербургской области по годам

Let consider in more detail two periods from all 30 years: before and after the mass installation of TV cameras in the region.

In the first period (1989–2008), the fire-fighting was delayed, their areas were increasing every day. One of the main reasons is the late detection of fires, when a separate fire could grow to tens, and sometimes to hundreds of hectares. In addition, the equipment of fire and chemical stations (FCS) in the area and staffing them left much to be desired. Insufficient preventive work was carried out, including work with the public. From Fig. 4, it follows that during abnormal weather conditions fire-hazardous periods, with the number of fires of 2,500–3,000 in the region, their total extent reached unpredictable sizes: 12,000–20,000 ha. Such unpredictability is typical for the regions of Russia with the lack of means of rapid fire detection and early delivery of fire groups to the fire sites.

Рассмотрим более подробно два периода из всех 30-ти лет: до и после массовой установки телекамер на территории области.

В первом периоде (1989–2008 гг.) борьба с пожарами велась с запозданием, их площади возрастали с каждым днем. Одна из главных причин – позднее обнаружение возгораний, когда отдельный пожар успевал разрастаться до десятков, а иногда до сотен гектаров. Кроме того, оснащение пожарно-химических станций (ПХС) в области и укомплектованность их персоналом оставляли желать лучшего. Недостаточно проводилась профилактическая работа, в том числе работа с населением. Из Рисунка 4 следует, что в аномальные по погодным условиям пожароопасные периоды, при количестве пожаров в области 2,5–3 тыс., их суммарная площадь достигала непредсказуемых размеров: 12–20 тыс. га. Подобная непредсказуемость характерна для регионов России с отсутствием средств быстрого обнаружения пожаров и своевременной доставки к очагам возгораний пожарных групп.

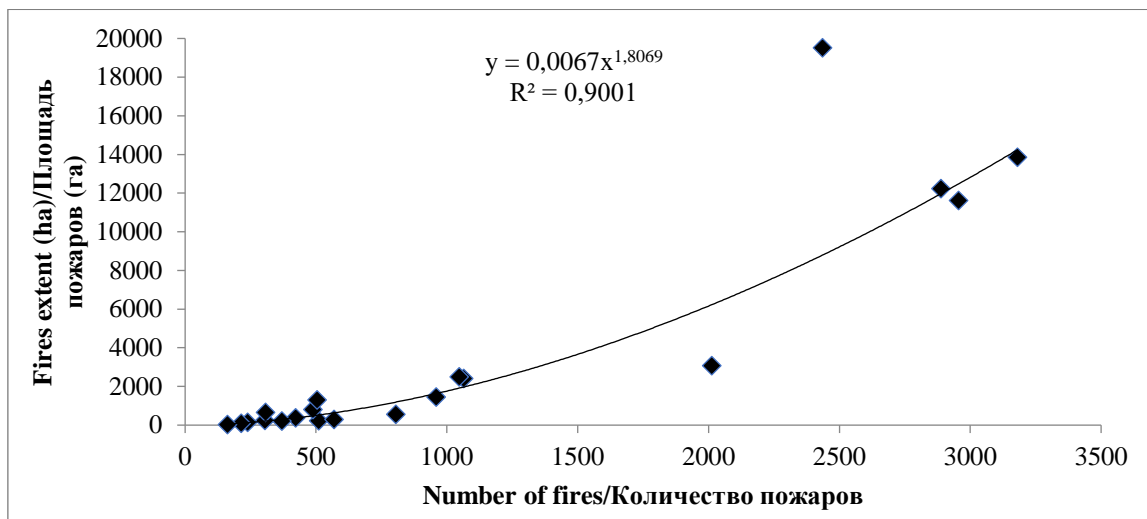


Fig. 4 Relationship between the number and total extent of forest fires in the Peterburg region in the period 1989–2008

Рис. 4 Связь количества и общей площади лесных пожаров в Петербургской области в период 1989-2008 гг.

The situation is changing dramatically with the massive introduction of tele-installations, better equipment of FCS, the increasing attention of the leadership of the Peterburg region to the situation with forest fires. Over the past 10 years, almost all fires have been eliminated during the first day, the average area of a single fire does not exceed, as a rule, one hectare (see Fig 3). A direct close relationship between the number of fires and their total area (correlation coefficient $R = 0.938$) indicates the stability of the RDCO and forest fire services in this decade, see Fig. 5.

Картина резко меняется с массовым внедрением телеустановок, лучшим оснащением ПХС, усилением внимания руководства Петербургской области к ситуации с лесными пожарами. В течение 10 последних лет практически все возгорания ликвидируются в течение первых суток, средняя площадь одного пожара не превышает, как правило, одного гектара (см. Рисунок 3). Прямая тесная связь количества пожаров с их общей площадью (коэффициент корреляции $R=0,938$) свидетельствует о стабильности работы РПДУ и лесопожарных служб в это десятилетие, смотри Рисунок 5.

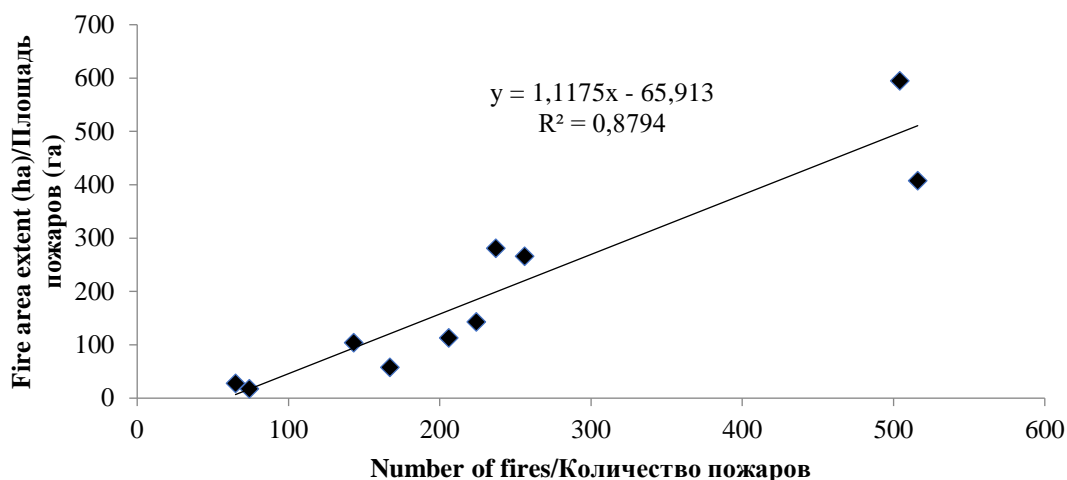


Fig. 5 Relationship between the number and extent of forest fires in the Peterburg Region in the period 1989-2008

Рис. 5 Связь количества и площади лесных пожаров в Петербургской области в период 1989-2008 гг.

It should be emphasized once again that in the extremely dry years 2010 and 2018 neither the number nor the extent of forest fires in the Peterburg region exceeded the usual level for the last 10 years.

Another major reason for reducing the extent of forest fires in the region is saving in forestry, in the context of the introduction of a new Forest Code (2007-2008), as well as a system of fire and chemical stations equipped with modern fire-fighting equipment and headed by experienced forestry specialists.

The regional dispatch control office (RDCO) of the Peterburg region operates all-the-year-round, and for the fire-dangerous period it is transferred to the round-the-clock operation mode. In the region, there are currently installed 156 video cameras covering the entire territory of the region.

The above achievements in the fight against forest fires in the Peterburg region became possible by the use of modern technologies and advanced systems that enable early detection of a fire in the forest, avoid critical situations, to reduce the damage caused by fires and reduce the cost of their extinguishing.

Следует еще раз подчеркнуть, что в крайне засушливые 2010 и 2018 годы ни количество, ни площадь лесных пожаров в Петербургской области не превысили обычный для последних 10 лет уровень.

Другая важнейшая причина снижения горимости лесов области – сбережение при лесничествах, в условиях введения нового Лесного кодекса (в 2007-2008 гг.), системы пожарно-химических станций, оборудованных современными средствами борьбы с пожарами и возглавляемых опытными специалистами лесного хозяйства.

Региональный пункт диспетчерского управления (РПДУ) Петербургской области действует круглогодично, а на пожароопасный период переводится на круглосуточный режим работы. В области в настоящее время действуют 156 видеочкамер, перекрывающих всю территорию региона.

Рассмотренные выше достижения в борьбе с лесными пожарами в Петербургской области стали возможными в результате применения современных технологий и новейших систем, которые позволяют своевременно обнаруживать возгорания в лесах, избежать возникновения критических ситуаций, сократить ущерб, наносимый пожарами и снизить затраты на их ликвидацию.

Until recently, the use of various technical means was limited due to their high cost and complexity of operation. Today, the use of video surveillance for forest monitoring is not uncommon. From the mid-80s, they began to try to use video surveillance to solve the problem of detecting forest fires. The traditional surveillance system using a video camera was a TV installation, which included a controlled PTZ camera (pan, tilt, zoom - the possibility of panoramic viewing, changing the angle of inclination and approach of the camera), placed on a high-rise structure; control panel and television device located near the mast. The operator viewed the territory (viewing radius up to 25 km in clear weather conditions) with the help of tracking cameras, managed them and analyzed the incoming video information. Such systems currently operate, in addition to the Peterburg region, in several regions of the country.

The costs of such installations were high enough. In order to acquire and launch an early fire detection system, huge support was received from the government of the Peterburg region in that time: it was a large-scale and very expensive project.

However, the economic efficiency of creating such systems increases every year due to the following main factors.

The ubiquity of mobile communications, and as a result, the development of infrastructure needed for these high-rise structures.

Such high-rise structures, such as the masts of mobile base stations, are best suited to accommodate video surveillance equipment with maximum visual coverage (the height of modern base stations of telecom operators is rarely below 50 m, and in some cases reaches 80-100 m). The very purpose of such high-rise structures to accommodate communications equipment involves the deployment of appropriate infrastructure: power (the presence of continuous power), communication (availability of high-speed communication channels to enable voice communications and Internet connection (GSM \ GPRS \ 3G), anti-vandal protection (ensuring high-rise structures with technical means of guarding and preventing intrusion.) Besides all this, high-rise structures used by telecom operators are constantly located in the tween the

До недавнего времени использование различных технических средств было ограничено из-за их высокой стоимости и сложности эксплуатации. На сегодняшний день применение видеонаблюдения для мониторинга леса не является редкостью. Ещё с середины 80-х начали пытаться использовать видеонаблюдение для решения задачи обнаружения лесных пожаров. Традиционная система наблюдения с помощью видеокамеры представляла собой телеустановку, в состав которой входили управляемая PTZ-камера (pan, tilt, zoom – возможность панорамного осмотра, изменения угла наклона и приближения камеры), размещаемая на высотном сооружении; пульт управления и телевизионное устройство, располагаемые около мачты. Оператор просматривал территорию (радиус обзора до 25 км при ясных погодных условиях) с помощью камер слежения, управлял ими и анализировал поступающую видеoinформацию. Такие системы в настоящее время работают, кроме Петербургской области, еще в нескольких регионах страны.

Стоимость подобных установок достаточно велика. Чтобы приобрести и запустить в работу систему раннего обнаружения пожаров, огромная поддержка в свое время получена от правительства Петербургской области: это был масштабный и очень затратный проект.

Однако экономическая эффективность создания подобных систем возрастает с каждым годом в связи со следующими основными факторами.

Повсеместное распространение мобильной связи, и, как следствие, развитие инфраструктуры необходимых для этого высотных сооружений.

Такие высотные сооружения, как мачты базовых станций мобильной связи, наиболее приспособлены для размещения оборудования видеонаблюдения с максимальным визуальным охватом (высота современных базовых станций операторов связи редко ниже 50 м, а в некоторых случаях достигает 80-100 м). Само предназначение таких высотных сооружений для размещения оборудования

back, i.e. it is used for profit therefore constantly maintained in good condition in accordance with all the technical regulations.

The development of the Internet.

Over the past few years, the development of the Internet in Russia and in other countries of the world has reached a level whereby high-speed Internet has become available not only in large cities, but in almost all locations. This is facilitated, inter alia, by the program of the internetization of schools, postal service points and many other institutions. The Internet is the lowest-cost and cheapest way to exchange information over long distances, and it is these tasks that need to be solved in the case of deploying video surveillance systems over a large area to ensure continuous monitoring of the forest. The cost of high-speed Internet connections (without traffic restrictions) over the past 5-10 years has decreased by more than 5 times. In addition to changing the cost, it is necessary to note a significant improvement in the quality of Internet communication channels, which allows us to build systems that are demanding of service (quality) on its basis.

The development of video surveillance systems.

In the past few years, there has been a shift from physical controls to technical means of monitoring. The main engine of progress in this direction is the market of security systems and safety systems, in which there is a massive transition to video surveillance. Such a transition makes video surveillance equipment cheaper and more productive. Only recently, several technical innovations have appeared on the civilian video surveillance market that can be used for forest monitoring tasks (high quality, remote control, IP connectivity).

Increase of the power and performance of computing.

For effective forest monitoring and detection of forest fires, it is necessary to develop and implement software systems with broad functionality (computer vision, GIS systems, video streaming, etc.). To perform all these tasks in real time, computing power is required that has become available on ordinary PCs only in recent years, namely multiprocessor systems with a large amount of RAM. In addition, over the

связи предполагает разворачивание соответствующей инфраструктуры: силовой (наличие непрерывного питания), коммуникационной (наличие каналов связи высокой скорости для обеспечения возможности голосовой связи и подключения в сеть Интернет (ГСМ\ГПРС\3Г), антивандальной защиты (обеспечение высотных сооружений техническими средствами охраны и предотвращения вторжения). Кроме всего этого, высотные сооружения, используемые операторами связи, постоянно находятся в хозяйственном обороте, т.е. используются для извлечения прибыли, следовательно, постоянно поддерживаются в исправном состоянии в соответствии со всеми техническими регламентами.

Развитие сети Интернет.

За последние несколько лет развитие сети Интернет в России и в других странах мира вышло на уровень, при котором высокоскоростной Интернет стал доступен не только в крупных городах, но и почти во всех населенных пунктах. Этому способствует, в том числе, программа интернетизации школ, пунктов почтовой связи и многих других учреждений. Сеть Интернет является наиболее низкозатратным и дешевым способом обмена информацией на больших расстояниях, а именно такие задачи необходимо решать в случае разворачивания систем видеонаблюдения на большой территории для обеспечения непрерывного мониторинга леса. Стоимость высокоскоростных подключений в сеть Интернет (без ограничения трафика) за последние 5-10 лет уменьшилась более чем в 5 раз. Кроме изменения стоимости, необходимо отметить и существенное повышение качества каналов связи Интернет, что позволяет строить на его основе системы, требовательные к сервису (качеству).

Развитие систем видеонаблюдения.

В последние несколько лет наблюдается переход от средств физического контроля к техническим средствам мониторинга. Основным двигателем прогресса в этом направлении становится рынок охранных

past few years, several software technologies have been created, allowing to develop and implement high-level systems with minimal costs in a short time.

The opportunities offered by the present level of development of science and technology, together with advanced software developments, allow us to create truly effective systems for solving problems of forest monitoring and early detection of forest fires.

3 Overview of the problem and discussion of the fire situation in Slovakia

First, there is introduced information on forest fire situation in Slovakia for the period of previous seventeen years (2001-2017).

In Tab. 2, there are introduced the data on forest fire dynamics in Slovakia for the period 2001-2009.

In Tab. 3, there are introduced the data on forest fire dynamics in Slovakia for the period 2010-2017.

Forest fire dynamics is introduced based on three indicators: number of forest fire, total burnt area (ha) and average fire extent (ha).

систем и систем безопасности, в котором наблюдается массовый переход на видеонаблюдение. Такой переход делает оборудование видеонаблюдения более дешевым и более производительным. Только в последнее время на рынке гражданских систем видеонаблюдения появился целый ряд технических новинок, которые могут быть использованы для задач мониторинга леса (высокое качество, возможность дистанционного управления, возможность подключения по IP).

Увеличение мощности и производительности вычислительной техники.

Для эффективного ведения мониторинга леса и обнаружения лесных пожаров необходимо разрабатывать и внедрять программные комплексы с широкой функциональностью (компьютерное зрение, ГИС-системы, потоковое видео и др.). На выполнение всех этих задач в реальном времени необходимы вычислительные мощности, которые стали доступны на обычных ПК только в последние годы, а именно многопроцессорные системы с большим объемом оперативной памяти. Кроме этого, за последние несколько лет был создан ряд программных технологий, позволяющих в короткие сроки разрабатывать и внедрять системы высокого уровня с минимальными затратами.

Возможности, которые предоставляет современный уровень развития науки и техники совместно с передовыми программными разработками, позволяют создавать действительно эффективные системы для решения задач мониторинга леса и раннего обнаружения лесных пожаров.

3 Обзор проблемы и обсуждение пожарной ситуации в Словакии

Во-первых, вводится информация о лесных пожарах ситуации в Словакии для периода предыдущих семнадцати лет (2001-2017).

В Таб. 2 приводятся данные о динамике лесных пожаров в Словакии за период 2001-2009 гг.

В Таб. 3, там введены данные о динамике лесных пожаров в Словакии за период 2010-2017 гг.

Tab. 2 Dynamics of the forest fires occurrence in Slovakia in recent years (2001-2009) [7-15]

Таб. 2 Динамика горимости лесов в Словакии за последние годы (2001-2009) [7-15]

Indicators/ Показатели	Year/Год								
	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Number of fires Количество пожаров	311	570	872	153	253	229	463	182	347
Burnt area (ha) Пройдено огнем (га)	305	595	1,567	157	524	280	679	118	510
Average fire extent (ha) Средняя площадь пожара (га)	1.13	1.36	1.46	1.30	1.83	-	-	0.65	1.50

Tab. 3 Dynamics of the forest fires occurrence in Slovakia in recent years [16-23]

Таб. 3 Динамика горимости лесов в Словакии за последние годы [16-23]

Indicators/Показатели	Year/Год							
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Number of fires Количество пожаров	127	303	517	233	153	242	136	162
Burnt area (ha) Пройдено огнем (га)	192	403	1,683	270	192	353	175	295
Average fire extent (ha) Средняя площадь пожара (га)	1.60	1.53	3.20	1.13	1.36	1.46	1.30	1.83

From the data presented in Tab. 2 and 3, it is clear that the critical years in terms of the fire number but also the total area of the forest affected by the fire were 2003 and 2012.

In 2003, there occurred totally 852 forest fires in Slovakia burning a total area of 1,567 hectares. These fires represent 85.9 % of the total number of forest industry fires in the same year. Compared with the year 2002 the number of fires increased of 232 fires.

In fighting the forest fires 6,310 persons of the Fire and Rescue Service were involved during 1,071 interventions and the total intervention time lasted 4,352 hours. Total direct material damage represented 990,252.60 EUR, while the saved property value was 13,243,261.60 EUR.

Из данных, представленных в Таб. 2 и 3, видно, что критический год с точки зрения как количества, так и общей площади лесов, пострадавших от пожара, был в 2003 и 2012 гг.

В 2003 году в Словакии произошло всего 852 лесных пожара, общая площадь которых составила 1567 гектаров. Эти пожары составляют 85,9% от общего числа пожаров в лесном секторе в том же году. По сравнению с 2002 годом количество пожаров увеличилось на 232 пожара.

В борьбе с лесными пожарами было задействовано 6 310 человек Службы пожарной и спасательной в течение 1 071 вмешательства, а общее время вмешательства продолжалось 4 352 часа.

As shown by the data of the Slovak Hydro-meteorological Institute for the last few years, the summer of 2012 was historically the third worst since 1871, when temperature measurements are taking place. In that year totally 517 forest fires occurred with area of 1,683 ha. Up to 53% of fires occurred in March and April. Five injuries and one casualty were also reported during the 2012 fire season.

There was no fatal accident; five people were injured.

Further, we introduce the comparison of the forest fire situation in Slovakia and the Peterburg region (Tab. 4). The territory, forest cover and the share of conifers of the Peterburg region are comparable to these indicators in Slovakia (83.9 and 49.0 thousand sq. km, respectively, 56.0 and 40.8%, 59 and 47%). In the comparison, there were considered data on the last 5 - 10 years of the 20th century [1].

Общий прямой материальный ущерб составил 990,252,60 евро, а стоимость сохраненной недвижимости - 13 243 261,60 евро.

Как показали данные Словацкого гидрометеорологического института за последний период, лето 2012 года было исторически третьим самым теплым с 1871 года, когда происходят измерения температуры. произошло полное 517 лесных пожаров с площадью 1 683 га. До 53% пожаров произошло в марте и апреле. Пять травм и один пострадавший также сообщил во время пожароопасного сезона 2012. Там не было никакой несчастный случай со смертельным исходом; пять человек получили ранения.

Сравним горимость лесов в Словакии и Петербургской области. Территория, лесистость и доля хвойных пород Ленобласти сопоставимы с этими показателями в Словакии (соответственно 83,9 и 49,0 тыс. кв. км; 56,0 и 40,8%; 59 и 47%). Рассмотрим данные по последнему 10-летию 20-го века [1].

Tab. 4 Number of forest fires (1990-2000) [1]

Таб. 4 Количество лесных пожаров (1990-2000) [1]

Country/Region Страна/Регион	Year/Год										
	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Peterburg region/ Петербургская область	805	239	2436	422	959	1065	1048	2013	215	3181	489
Slovakia/Словакия	-	142	305	674	366	254	662	535	1056	751	824

The greatest number of fires (Tab. 4):

- Peterburg region - 1992, 1997 and 1999;
- Slovakia - 1998, 1999, 2000 (coincidence in 1999).

The number of fires in Slovakia, as a rule, is less than in the Peterburg region. The exception is 1993, 1998 and 2000.

Year 1999 was a year with the highest number of forest fires for the decade in the Peterburg region, in Slovakia it was in 3rd place.

The highest number of forest fires occurred in Slovakia in 1998.

Наибольшее количество пожаров (Таб. 4):

- Ленобласть – 1992, 1997 и 1999 гг.;
- Словакия – 1998, 1999, 2000 гг. (совпадение по 1999 г.).

Количество пожаров в Словакии, как правило, меньше, чем в Ленобласти. Исключение – 1993, 1998 и 2000 гг.

1999 год был рекордным за десятилетие по количеству пожаров в Ленобласти, в Словакии он был на 3-м месте. На первом – 1998 год.

Tab. 5 Area burnt by forest fire (ha) [1]

Таб. 5 Площадь, пройденная лесными пожарами (га) [1]

Country/Region Страна/Регион	Year/Год					
	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Peterburg region/ Петербургская область	2,422	2,497	3,074	92	13,884	806
Slovakia/Словакия	557	904	305	595	1,567	157

Maximum fire areas (Tab. 5):

- Peterburg region - 1992, 1997 and 1999;
- Slovakia –1996 and 1999 (match in 1999).

The extent of forest fires in Slovakia is in several years four times less than in the Peterburg region. Exception are years 1991 and 1993.

In year 1999, there occurred highest number of forest fires in the area of fires in the Peterburg region and in Slovakia.

Average value of a fire area extent (Tab. 6):

- Peterburg region - 1996 and 1999;
- Slovakia – 1996 and 1999 (match)

Максимальные площади пожаров (Таб. 5):

- Ленобласть – 1992, 1997 и 1999 гг.;
- Словакия –1996 и 1999 гг. (совпадения в 1999 гг.).

Площадь лесных пожаров в Словакии в десятки раз меньше, чем в Ленобласти. Исключение –1991 и 1993 гг.

1999 год был рекордным за десятилетие по площади пожаров в Ленобласти, 1993 год в Словакии.

Средняя площадь пожара (Таб. 6):

- Ленобласть – 1996 и 1999 гг.;
- Словакия – 1996 и 1999 гг. (совпадение).

Tab. 6 Average value of a fire area extent (ha) [1]

Таб. 6 Средняя площадь одного пожара (га) [1]

Country/Region Страна/Регион	Year/Год											
	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	
Peterburg region/ Петербургская область	564	148	19,527	377	1,465	2,422	2,497	3,074	92	13,884	806	
Slovakia/Словакия	-	233	-	518	96	85	220	35	32	96	105	

The average fire area in Slovakia is also less than in the Peterburg region. Exception is year 1991.

In Year 1992, there was recorded the largest average fire area in the Peterburg region. In Slovakia in year 1991.

Based on the territory of Slovakia and the Peterburg region, the forest cover and the share of conifers, the area of coniferous forests in the Peterburg Region and Slovakia are respectively 27.7 and 9.4 hectares. Thus, the area where mostly coniferous forests burn in Slovakia is three times less than in the Peterburg region. When considering the fact that the fire detection and control in the period under review were in Slovakia and the Peterburg Region at about the same level, then the burning indicators of

Средняя площадь пожара в Словакии также меньше, чем в Ленобласти. Исключение –1991 год.

1992 год был рекордным за десятилетие по средней площади пожара в Ленобласти, 1991 год – в Словакии.

Исходя из территории Словакии и Петербургской области, лесистости и доли хвойных пород, площади хвойных лесов в Петербургской области и Словакии соответственно равны 27,7 и 9,4 га. Таким образом, площадь наиболее горимых хвойных лесов в Словакии втрое меньше, чем в Ленобласти. Если принять условно, что обнаружение пожаров в рассматриваемый период и борьба с ними были в Словакии и Ленобласти на примерно одном уровне, то показатели горимости

coniferous forests in Slovakia should be three times lower.

However, the number of forest fires in Slovakia turned out to be only half as much as in the Russian region. At the same time, the area of fires was on average 26 times smaller, and the average area of a fire was 12 times smaller than in the Peterburg region – Tab. 7.

хвойных лесов в Словакии должны быть втрое меньшими.

Однако количество лесных пожаров в Словакии оказалось лишь вдвое меньшим, чем в российском регионе. Вместе с тем площадь пожаров была в среднем в 26 раз меньше, а средняя площадь одного пожара в 12 раз меньше по сравнению с Ленобластью – Таб. 7.

Tab. 7 Average forest fire indicators values for period 1995-2000 [1]

Таб. 7 Средние показатели горимости лесов за 1995-2000 гг. [1]

Country/Region Страна/Регион	Number of forest fires/Количество лесных пожаров	Fire area extent (ha)/Площадь лесных пожаров (га)	Average fire extent value (ha)/Средняя площадь пожара (га)
Peterburg region/ Петербургская область	1,170	4,078	3.5
Slovakia/Словакия	557	158	0.3

Thus, with a comparable number of fires in two territories, the areas of fires differ sharply. This suggests the same sources of fires in both Slavic countries (the anthropogenic factor prevails), but in Slovakia both fire detection and their elimination were significantly better in these years.

To decrease the number of forest fires, there are implemented several preventive measures in the forests of Slovakia. From April to September, there is provided information on the forest fire index via the internet page of the Slovak Hydrometeorological institute on daily basis.

When the forest fire index is high, there is provided the information on fire danger also via television. In this time, there are also prohibited any activities in the endangered forest areas. Every year, there are provided several information campaigns.

To detect the forest fire in the first stages of propagation, there was launched the Automated stationary detection system (ASDS) in 2019.

This automated stationary detection system for early forest fire detection is deployed in three forest sites:

- High Tatras;
- Low Tatras;
- Zahorie.

These sites are among the key areas with significant national wealth of the Slovak Republic in the form of forests and everything that is directly and indirectly related to forests.

Таким образом, при сравнимом количестве пожаров на двух территориях, площади пожаров резко различаются. Это говорит об одинаковых источниках возгораний в обеих славянских странах (преобладает антропогенный фактор), но в Словакии кардинально лучше в эти годы было организовано как обнаружение пожаров, так и их ликвидация.

Для уменьшения количества лесных пожаров в лесах Словакии реализованы несколько превентивных мер. С апреля по сентябрь на информационном сайте Словацкого гидрометеорологического института представлена информация о индексе лесных пожаров.

Когда индекс лесных пожаров высок, информация о пожарной опасности предоставляется также по телевидению. В это время также запрещены все виды деятельности в исчезающих лесных районах.

Каждый год также проводятся несколько информационных кампаний.

Для обнаружения лесного пожара на первых этапах распространения в 2019 году была запущена автоматизированная стационарная система обнаружения (АСДС).

Эта автоматизированная стационарная система обнаружения для раннего обнаружения лесных пожаров развернута в трех лесных участках:

- Высокие Татры;

ASDS is a technology that has been widely used in the world for over 10 years and has made a significant contribution to protecting and saving forests in countries that use it. Under Slovak conditions, ASDS allows continuous monitoring of defined areas and shortens the fire detection time, its exact localization using GPS coordinates and localization on a digital map. As a result, the ASDS significantly reduces the risk of large forest fires in the monitored areas and associated significant damage to the fauna and flora of the Slovak Republic. Implementation of ASDS created the conditions for setting up an effective way of informing the components of the integrated rescue system, especially the Fire and Rescue Service, as well as a way of early warning the population endangered by the fire.

While this system has been launched only in 2017, it is not possible to evaluate its assets precisely. To do it, we need to have fire data for several years.

4 Conclusions

The massive introduction of teleinstallations in the Peterburg Region, the preservation of the system of fire and chemical stations have ensured the early detection of fires in the forests over the past 10 years and their operational elimination. Even in years of abnormal weather conditions, almost all fires are eliminated during the first day, the average extent of one fire does not exceed, as a rule, one hectare.

In the European part of Russia, the creation of such systems for the rapid detection and elimination of fires in forests is quite possible. The economic efficiency of creating these systems increase every year due to the following main factors:

- The ubiquity of mobile communications, and, as a result, the development of infrastructure necessary for these high-rise buildings;
- Development of the Internet and video surveillance systems;
- Increase the power and performance of computing equipment.

The opportunities offered by the modern level of development of science and technology, together with advanced software developments, allow us to create truly effective systems for

- Низкие Татры;
- Загорье.

Эти объекты являются одними из ключевых областей со значительным национальным богатством Словацкой Республики в виде лесов и всего, что прямо или косвенно связано с лесами.

АСДС - это технология, которая уже более 10 лет широко используется в мире и внесла значительный вклад в защиту и сохранение лесов в странах, которые ее используют. В словацких условиях ASDS позволяет осуществлять непрерывный мониторинг определенных зон и сокращает время обнаружения пожара, точную локализацию с использованием координат ГПС и локализацию на цифровой карте. В результате ASDS значительно снижает риск крупных лесных пожаров в контролируемых районах и сопутствует значительным повреждениям фауны и флоры Словацкой Республики. Внедрение АСДС создало условия для создания эффективного способа информирования компонентов интегрированной спасательной системы, особенно пожарно-спасательной службы, а также способ раннего предупреждения населения, которому угрожает пожар.

Хотя эта система была запущена только в 2017 году, невозможно точно оценить ее активы. Для этого нам нужно иметь данные о пожаре в течение нескольких лет.

4 Заключение

Массовое внедрение телеустановок в Петербургской области, сбережение системы пожарно-химических станций обеспечили в течение 10 последних лет своевременное обнаружение в лесах возгораний и их оперативную ликвидацию. Даже в аномальные по погодным условиям годы практически все возгорания ликвидируются в течение первых суток, средняя площадь одного пожара не превышает, как правило, одного гектара.

На европейской части России вполне возможно создание подобных систем быстрого обнаружения и ликвидации очагов возгораний в лесах. Экономическая эффективность создания этих систем возрастает с каждым годом в связи со следующими основными факторами:

solving problems of forest monitoring and early detection of forest fires.

According to the information introduced in the previous chapters it could be concluded that number of forest fire depends strongly on weather, i.e. meteorological extremes, that occurred during the spring and summer season. But the extent of the area affected by a fire depends on two basic factors: early detection of fire and rapid arrival and efficiency of the fire extinguishing activity, which strongly depends on the condition and number of available sources and resources. In Peterburg region and also in Slovakia, there had been launched the early fire detection stationnary systems to enhance the situation in forest fire detection and to shorten the time of arrival of fire-fighting personnel and resources. Present experience with such systems as in Russia as in Slovakia confirms the correctness of the decision to deploy them. However, we were not able to control the number of forest fires, but the early detection helped us to localise them on time, to inform the relevant bodies to deploy necessary sources and resources to fight them promptly. The result is decreased total forest area affected by forest fire and amount of damage at all.

Acknowledgments

We express our gratitude to the leadership of the Regional Dispatch Office of the Peterburg Regional State State Institution "Forest Management of the Peterburg Region" for providing information on the burning of forests in the region for 1989-2018.

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

- повсеместное распространение мобильной связи, и, как следствие, развитие инфраструктуры необходимых для этого высотных сооружений;
- развитие сети Интернет и систем видеонаблюдения;
- увеличение мощности и производительности вычислительной техники.
- или другой срок, когда в Словакии были также установлены видеокамеры в лесах.

Возможности, которые предоставляет современный уровень развития науки и техники совместно с передовыми программными разработками, позволяют создавать действительно эффективные системы для решения задач мониторинга леса и раннего обнаружения лесных пожаров.

Согласно информации, представленной в предыдущих главах, можно сделать вывод, что количество лесных пожаров сильно зависит от погоды, то есть метеорологических экстремумов, которые произошли в весенний и летний сезон. Но степень воздействия пожара зависит от двух основных факторов: раннего обнаружения пожара и быстрого прибытия и эффективности деятельности по тушению пожара, которая сильно зависит от количества и количества имеющихся источников и ресурсов. В Петербургской области, а также в Словакии были начаты ранние системы обнаружения пожара, направленные на улучшение ситуации с обнаружением лесных пожаров и сокращение времени прибытия персонала и ресурсов для тушения пожаров. Опыт работы с такими системами, как в России, как и в Словакии, подтверждает правильность решения о их развертывании. Однако мы не смогли контролировать количество лесных пожаров, но раннее обнаружение помогло нам своевременно их локализовать, информировать соответствующие органы о необходимости развертывания необходимых источников и ресурсов для их быстрого реагирования. В результате уменьшается общая площадь лесов, затронутых лесным пожаром и количеством ущерба вообще.

Благодарности

Выражаем благодарность руководству Регионального пункта диспетчерского управления Петербургского областного государственного казенного учреждения "Управление лесами Петербургской области" за предоставленные сведения о горимости лесов в области за 1989-2018 гг.

Эта работа была создана благодаря поддержке агентства грантов КЕГА, проекта КЕГА 032PU-4/2018.

References / Литература

- [1] Думнов А.Д., Максимов Ю.И., Рощупкина Ю.В, Аксенова О.А. *Лесные пожары в Российской Федерации. Статистический справочник / Forest fires in the Russian Federation. Statistical Handbook*. Москва: НИИ-Природа, 2005. – 230 с.
- [2] Лесной форум Гринпис. 2018. *Пожары на природных территориях / Wildland Fires*. 2018 [Cit. 27.02. 2018]. Available online: <http://www.forestforum.ru/fires.php>
- [3] Смирнов А.П. 2013. Лесные пожары – 2010: причины и следствия / *Forest Fires – 2010: causes and consequences. Безопасность жизнедеятельности*, 11: 13-16.
- [4] Смирнов А.П., Смирнов А.А. 2018. *Лесная пирология: Учебное пособие / Forest Pyrology: Study Guide*. СПб: СПб ГЛТУ, 141 с.
- [5] Электронная энциклопедия пожарного дела. 2018. *Сводная статистика лесных пожаров в Российской Федерации / Summary Statistics of Forest Fires in the Russian Federation*. 2018. [Cit. 24.02.2018]. Available online: <http://wiki-fire.org/>
- [6] Vawilon. 2018. *Статистика лесных пожаров*. 2018 Cit. 27.02. 2018]. Available online: <https://vawilon.ru/statistika-lesnyh-pozharov/>
- [7] EUROPEAN COMMISSION. 2001. *Forest fires in Europe 2001 Campaign*. Ispra: Joint Research Centre. [Cit. 2018 10.12.]. Available online: <http://effis.jrc.ec.europa.eu/reports-and-publications/annual-fire-reports>
- [8] EUROPEAN COMMISSION. 2002. *Forest fires in Europe 2002 Campaign*. Ispra: Joint Research Centre. [Cit. 2018 10.12.]. Available online: <http://effis.jrc.ec.europa.eu/reports-and-publications/annual-fire-reports>
- [9] EUROPEAN COMMISSION. 2003. *Forest fires in Europe 2003 Campaign*. Ispra: Joint Research Centre. [Cit. 2018 10.12.]. Available online: <http://effis.jrc.ec.europa.eu/reports-and-publications/annual-fire-reports>
- [10] EUROPEAN COMMISSION. 2004. *Forest fires in Europe 2004*. Ispra: Joint Research Centre. [Cit. 2018 10.12.]. Available online: <http://effis.jrc.ec.europa.eu/reports-and-publications/annual-fire-reports>
- [11] EUROPEAN COMMISSION. 2005. *Forest fires in Europe 2005*. Ispra: Joint Research Centre. [Cit. 2018 10.12.]. Available online: <http://effis.jrc.ec.europa.eu/reports-and-publications/annual-fire-reports>
- [12] EUROPEAN COMMISSION. 2006. *Forest fires in Europe 2006*. Ispra: Joint Research Centre. [Cit. 2018 10.12.]. Available online: <http://effis.jrc.ec.europa.eu/reports-and-publications/annual-fire-reports>
- [13] EUROPEAN COMMISSION. 2007. *Forest fires in Europe 2007*. Ispra: Joint Research Centre. [Cit. 2018 10.12.]. Available online: <http://effis.jrc.ec.europa.eu/reports-and-publications/annual-fire-reports>
- [14] EUROPEAN COMMISSION. 2008. *Forest fires in Europe 2008*. Ispra: Joint Research Centre. [Cit.

- 2018 10.12.]. Available online: <http://effis.jrc.ec.europa.eu/reports-and-publications/annual-fire-reports>
- [15] EUROPEAN COMMISSION. 2009. *Forest fires in Europe 2009*. Ispra: Joint Research Centre. [Cit. 2018 10.12.]. Available online: <http://effis.jrc.ec.europa.eu/reports-and-publications/annual-fire-reports>
- [16] EUROPEAN COMMISSION. 2010. *Forest fires in Europe 2010*. Ispra: Joint Research Centre. [Cit. 2018 10.12.]. Available online: <http://effis.jrc.ec.europa.eu/reports-and-publications/annual-fire-reports>
- [17] EUROPEAN COMMISSION. 2011. *Forest fires in Europe, Middle East and North Africa 2011*. Ispra: Joint Research Centre. [Cit. 2018 10.12.]. Available online: <http://effis.jrc.ec.europa.eu/reports-and-publications/annual-fire-reports>
- [18] EUROPEAN COMMISSION. 2012. *Forest fires in Europe, Middle East and North Africa 2012*. Ispra: Joint Research Centre. [Cit. 2018 10.12.]. Available online: <http://effis.jrc.ec.europa.eu/reports-and-publications/annual-fire-reports>
- [19] EUROPEAN COMMISSION. 2013. *Forest fires in Europe, Middle East and North Africa 2013*. Ispra: Joint Research Centre. [Cit. 2018 10.12.]. Available online: <http://effis.jrc.ec.europa.eu/reports-and-publications/annual-fire-reports>
- [20] EUROPEAN COMMISSION. 2014. *Forest fires in Europe, Middle East and North Africa 2014*. Ispra: Joint Research Centre. [Cit. 2018 10.12.]. Available online: <http://effis.jrc.ec.europa.eu/reports-and-publications/annual-fire-reports>
- [21] EUROPEAN COMMISSION. 2015. *Forest fires in Europe, Middle East and North Africa 2015*. Ispra: Joint Research Centre. [Cit. 2018 10.12.]. Available online: <http://effis.jrc.ec.europa.eu/reports-and-publications/annual-fire-reports>
- [22] EUROPEAN COMMISSION. 2016. *Forest fires in Europe, Middle East and North Africa 2016*. Ispra: Joint Research Centre. [Cit. 2018 10.12.]. Available online: <http://effis.jrc.ec.europa.eu/reports-and-publications/annual-fire-reports>
- [23] EUROPEAN COMMISSION. 2017. *Forest fires in Europe, Middle East and North Africa 2017*. Ispra: Joint Research Centre. [Cit. 2018 10.12.]. Available online: <http://effis.jrc.ec.europa.eu/reports-and-publications/annual-fire-reports>

OSH Challenges for Oil and Gas Companies in the Arctic Zone of the Russian Federation

Обеспечение безопасности труда на нефтегазодобывающих предприятиях в условиях Арктической зоны Российской Федерации

Andrei Nikulin^{1*}, Dmitry Ikonnikov¹, Anni Nikulina¹, Iliya Dolzhikov¹,
Eva Mračková^{2*}

¹ Saint-Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russian Federation

² Technical University in Zvolen, Zvolen, Slovakia

* Corresponding author: nikulin_an@pers.spmi.ru

Review

Received: December 04, 2018; Accepted: December 12, 2018; Published: December 31, 2018

Abstract

The Arctic zone of the Russian Federation holds significant mineral wealth. However, the development of hydrocarbon resources involves natural and industrial harms and hazards such as high air humidity (90%), strong wind (up to 25 m/s), air temperature of -70°C, as well as fire and explosion hazardous environment, toxic and harmful substances, increased noise, and vibration. The article addresses workplace conditions for oil and gas production operators in an oil and gas company located in the Arctic zone. A special focus of such conditions is on personal protective equipment (PPE). 10% to 15% of all fatalities are the result of lack, failure to use, or technical faults of PPE. The article addresses organisational and technical solutions aimed at controlling the use of personal protection for the head, which is a safety helmet by employees. The device helps to record cases of failure to wear the safety helmet transparently and transmit this information for processing to the dispatcher. The article reviews ways of adding technical gear to PPE to control employees in various industrial environments to prevent any safety non-compliance.

Keywords: Occupational Safety and Health; smart PPE; industrial safety helmet; Arctic zone; accident.

1 Introduction

The analysis of the meteorological information on temperatures in Russia's Arctic regions revealed that probable temperature conditions are as low as -70°C [1]. Other natural and industrial harms and hazards for oil and gas companies include: high air humidity (90%), strong wind (up to 25 m/s), fire and explosion hazards, as well as toxic and harmful substances [2]. Additional issues are caused by icing of equipment external surfaces, floor surfaces in the work areas and stairs, noise, vibration of production equipment, and a long polar night. Exposure to natural and industrial

1 Введение

Анализ метеорологической информации о температурном режиме в регионах Арктической зоны России показал, что вероятными температурами пребывания и жизнедеятельности человека являются температуры, достигает -70°C [1]. Помимо этого, опасными и вредными природно-производственными факторами для нефтегазовых компаний являются: высокая влажность воздуха (90 %), сильный ветер (до 25 м/с), пожаровзрывоопасные условия, токсичные и вредные вещества [2].

harms and hazards lay ground for occupational diseases, injuries, and emergencies. The last-inch protection for employees at oil and gas companies is personal protective equipment. However, its use in the Arctic zone is less effective due to increased discomfort during use. Let us consider the case of NOVATEK – Yurkharovneftegaz company, a major subsidiary of PAO NOVATEK. It employs about 1,000 people, including 800 workers. Oil and gas production operators are most exposed to industrial risks. The noise exposure during the operation of compressor units reaches 100 dBA (with the maximum allowable level (MAL) of 80 dBA). It should be mentioned that with industrial noise intensity of 85 dBA, occupational sensorineural hearing loss is diagnosed in 5% of employees, while with industrial noise intensity of 90 dBA, 100 dBA, and 110 dBA, this figure is 10%, 12%, and 34%, respectively [3].

During a work shift, an oil and gas production operator exercises remote control of compressor units, moves across the industrial site, and exercises visual control of equipment operation in machine halls (Fig. 1).

Дополнительные проблемы вызываются обледенением (наружных поверхностей оборудования, поверхности пола рабочих зон, лестниц), шумом и вибрациями производственного оборудования, продолжительной полярной ночью. Воздействие опасных и вредных природно-производственных факторов создает предпосылки для возникновения и развития профессиональных заболеваний, травматизма и аварийных ситуаций.

Последним рубежом защиты работников нефтегазодобывающих предприятий являются средства индивидуальной защиты. Однако в условиях Арктической зоны их применение снижает свою эффективность из-за повышенного дискомфорта при применении. Одним из примеров подобных предприятий является компания ООО «НОВАТЭК – Юрхаровнефтегаз», которая является одним из крупнейших дочерних газодобывающих предприятий ПАО «НОВАТЭК». На этом предприятии трудятся около 1000 человек, из которых 800 на рабочих специальностях. Наиболее подверженным производственным рискам является профессия оператора добычи нефти и газа. При работе компрессорных установок уровень шумового воздействия достигает 100 дБА (предельно-допустимый уровень (ПДУ) шума составляет 80 дБА). Стоит отметить, что при интенсивности производственного шума в 85 дБА профессиональная нейросенсорная тугоухость выявляется у 5% работников, при 90 – у 10%, при 100 – у 12%, при 110 дБА – у 34% [3].

В течение рабочей смены оператор добычи нефти и газа осуществляет дистанционный контроль работы компрессорных установок, передвигается по территории предприятия и осуществляет визуальный контроль работы оборудования в машинных залах (Рис. 1).



Fig. 1 Workplaces of an oil and gas production operator: *a)* industrial site, *b)* operator's room, *c)* machine hall

Рис. 1 Рабочие места оператора добычи нефти и газа: *a)* территория предприятия, *b)* операторная, *c)* машинный зал

The oil and gas production operator's duties include equipment inspection every two hours during a work shift. It means that half of his/her work time, the operator stays outside. The Yurkharovskoye oil, gas, and condensate field is situated in the Arctic zone where winter lasts nine months with an average temperature of -41°C [4,5]. Sound levels measured in the oil and gas production operator's workplace in 2016 are summarised in Tab. 1.

В обязанности оператора по добыче нефти и газа входит осмотр оборудования каждые 2 часа рабочей смены, таким образом, половину рабочего времени проходит вне помещений.

Юрхаровское нефтегазоконденсатное месторождение расположено в Арктической зоне, где продолжительность зимы составляет 9 месяцев со средней температурой -41°C [4,5].

Результаты измерения уровней звука на рабочем месте оператора добычи нефти и газа, произведенные в 2016 году, представлены в Таб. 1.

Tab. 1 Noise level in the oil and gas production operator's workplace

Таб. 1 Уровень звука на рабочем месте оператора добычи нефти и газа

Workplace / Рабочее место	Sound level (dBA) / Уровень звука, (дБА)	Exposure time (h) / Время воздействия (ч)
Operator's room / Операторная	55	3
Machine hall 1 / Машинный зал №1	98	0.3
Machine hall 2 / Машинный зал №2	100	0.2
Machine hall 3 / Машинный зал №3	89	0.2
Industrial site / Территория предприятия	85	2

Employees receive such head and hearing protection as a winter fur cap with ear-flaps, a safety helmet, headphones, and ear plugs. The survey of the convenience and effectiveness of the use of such personal protective equipment among operators showed that a safety helmet could be worn with a winter fur cap, but headphones had low efficacy in that case. Employees leave their safety helmets behind

Для защиты головы и органов слуха работнику выдаются следующие средства индивидуальной защиты: меховая шапка-ушанка, защитная каска, головные наушники и ушные вкладыши. Проведенный опрос оператор на предмет удобства и эффективности использования подобных средств индивидуальной защиты показал, что одновременное использование

when they move across the industrial site which is non-compliance of occupational health and safety. When inspecting equipment in the machine hall, employees take off their fur winter cap with ear flaps and put on a safety helmet with protective headphones. But it should be mentioned that the air temperature in the machine hall can be as low as -10°C , which makes it uncomfortable to stay there without fur winter caps on. Therefore, it can be concluded that the employees of this company need a better choice of convenient and easy-to-use personal protective equipment, which use should be controlled on a regular basis.

The choice of devices to control the use of head protection, i.e. a safety helmet, is not that wide. Firstly, it includes visual contact with an employee who has relevant functions or control by workmates [6-8]. Very often, we must rely solely on the conscientiousness and instinct of self-preservation of an employee [9]. But current technologies offer several solutions and one of them is the use of video surveillance systems and automatic recording of violations. But both have their faults. For example, they miss a significant portion of information on offenders as a safety specialist (or even more than one) cannot be simultaneously present at all sites where a safety helmet must be worn [10]. Furthermore, video material processing, even using computer logics for video data arrays, is a rather costly and technically complex process. As a result, some important information on offenders slips away [11-13].

Therefore, a very relevant challenge is to develop a set of organisational and technical measures aimed at improving work culture, reducing an injury rate and minimising conditions for occupational diseases of oil and gas production operators at industrial sites in the Arctic zone through the proper control of PPE use.

защитной каски и шапки-ушанки возможно, но при этом применение наушников становится малоэффективным. Работники стараются не одевать защитную каску при передвижении по территории предприятия, чем нарушают правила охраны труда. При осмотре оборудования в машинном цехе они снимают шапку-ушанку и одевают каску с защитными наушниками. Однако стоит отметить, что температура воздуха в машинном цехе может опускаться до -10°C , что делает крайне дискомфортным нахождение в таком помещении без шапки ушанки. Таким образом, можно сделать вывод, что для работников данного предприятия необходимо более внимательно подобрать удобные в использовании средства индивидуальной головы и обеспечить контроль их применения.

Существует не так много средств для контроля ношения средств защиты головы – защитной каски. В первую очередь это визуальный контакт с работником контролирующих служб или контроль коллег [6-8]. Часто опираться приходится лишь на сознательность и чувство самосохранения у работника [9]. Так современные технологии предлагают ряд решений. Одно из них – это контроль с помощью систем видеонаблюдения и автоматической фиксации нарушения. Но, как и первое средство, так и второе имеют недостатки, например, упускается существенная часть информации о нарушителях в связи с невозможностью одновременного нахождения специалиста (или даже несколько) по охране труда во всех помещениях или площадках, где требуется ношение каски [10]. Кроме того, обработка видеоматериала, даже если используются системы компьютерной логики для обработки массива видео данных весьма затратный и технически сложный процесс. И как результат ускользает важная информация о нарушителях [11-13].

2 Material and Methods

To control the use of personal head protection, which is a safety helmet, it is proposed to combine it with a system designed to control its use. When developed, this technical device will enhance human safety in the workplace using a transparent intellectual support system.

The review of similar devices shows that there is no equivalent intellectual personal protective equipment. We are aware of a safety helmet design (patent US # 5603117 A, published on February 18, 1997) including a safety helmet with a size-adjustable internal gear system. It also includes a safety face shield for users and a communication headset. The headset supports communication between users connected into a system. Structurally, the use of head protection (safety helmet) can be controlled with an inbuilt headset through verbal contact.

We know of a system combining a safety helmet and a communication system (patent It consists of a safety helmet and an attached communication system with a headset to connect several users in a network. The system supports information exchange by users located at a significant distance from each other and in conditions that make communication difficult.

We know of Nand Logic Smart Helmet, a "smart" helmet" for people going in for extreme sports. It consists of a safety helmet and an inbuilt electronic device. The electronic device contains many modules such as wireless Bluetooth connection, a GPS receiver, SD-card slot, stereophonic speakers, a battery, cameras to record visual environment around the user, an accelerometer, a gyro sensor, light, temperature, and humidity sensors, as well as LEDs for information display.

There is a safety helmet with electronic protection (patent RF # 2438539, published on January 10, 2012) which contains a shell with hard outer casing, hard inner casing attached to the outer casing with a cavity in between, a structure that absorbs any impact between the internal casing and the user's head when the

Следовательно, разработка организационно-технических мероприятий, направленных на повышения культуры труда, снижения уровня травматизма и сведение к минимуму условий для развития профессиональных заболеваний оператора добычи нефти и газа на производственных объектах арктической зоны путем контроля применения средств индивидуальной защиты является весьма актуальной задачей.

2 Материалы и способы

Для контроля ношения средства индивидуальной защиты головы – каски предлагается объединить с системой контроля её использования. Разработка такого технического устройства позволит повысить безопасность человека на производстве с помощью прозрачной системы интеллектуальной поддержки. Обзор аналогичных устройств показывает отсутствие аналогов в области интеллектуальных средств индивидуальной защиты. Известна конструкция конструкции защитной каски (патент US № 5603117 A, US #5404577 A, published on April 04, 1995). опубл. 18.02.1997), которая включает саму каску с регулируемой по размерам пользователя системой внутренней оснастки. Кроме того, в данную конструкцию входит защитная маска для лица пользователя и переговорная система типа гарнитура. Гарнитура позволяет осуществлять коммуникацию пользователей, соединенных в систему. Конструктивно контроль использования пользователем средства защиты головы – каски может осуществляться с помощью встроенной гарнитуры путем вербального контакта.

Известна совмещенная система защитной каски и системы коммуникации (патент US №5404577 A, опубл. 04.04.1995). Данная система состоит из самой защитной каски и крепящейся в её конструктиве системы коммуникации с гарнитурой, которая позволяет объединить в коммуникационную сеть несколько

safety helmet is on, and an integrated electronic system which contains a microphone and a loud-speaker in the specified cavity of the subsystem.

However, the user's safety can be improved, and technical means of safety helmet use control can be developed with a design consisting of a safety helmet and automatic operation control. The device is attached to the external backside of the safety helmet. It helps to automatically control compliance with the rules for safety helmet operation (use) at the industrial site.

3 Results and Discussion

The safety helmet with automatic operation control consists of a safety helmet shell 1 (Fig. 2) and additional elements attached thereto. Internal frontal and side surfaces of the safety helmet shell (1) are equipped with rigidly fixed LEDs (6) (Fig. 3). LEDs (6) are connected to the connector pin (10) on the support assembly (7) by conductors (5). The connector pin (10) of the support assembly is connected to the connector pin (10) of the device (3) to supply electrical driving voltage to the LEDs (6).

пользователей. Система позволяет обмениваться информацией пользователям, находящимся на значительном удалении друг от друга и в условиях, затрудняющих осуществления коммуникации.

Известен «Nand Logic Smart Helmet» - «умный» шлем для людей, занимающихся экстремальными видами спорта. Данная конструкция состоит из каски и установленным в ней электронным устройством. Электронное устройство содержит множество модулей, таких как беспроводной связи Bluetooth; приёмник навигационной системы GPS; слот для SD-карты; стереофонические динамики; аккумуляторная батарея, камеры для съёмки визуальной обстановки вокруг владельца, акселерометр, гироскоп, датчики освещённости, температуры и влажности, а также средство отображения информации - светодиодные индикаторы.

Известен шлем с электронной защитой (патент РФ № 2438539, опубл. 10.01.2012), который содержит корпус, имеющий жесткую наружную оболочку, жесткую внутреннюю оболочку, прикрепленную к наружной оболочке с образованием между ними полости, и поглощающую удары структуру, расположенную между внутренней оболочкой и головой пользователя при надетом шлеме, и интегрированную электронную систему, которая содержит микрофон и громкоговоритель и расположенные в указанной полости подсистемы.

Однако повышение безопасности пользователя и создание технического средства контроля применения обеспечивается созданием конструкции, состоящей из самой защитной каски и устройства автоматического контроля эксплуатации. Устройство крепится на тыльной стороне защитной каски, с её внешней стороны. Устройство позволяет автоматически контролировать соблюдение правил эксплуатации (использования) защитной каски пользователя на производстве.

3 Результаты и обсуждение

Защитная каска с устройством автоматического контроля эксплуатации состоит из корпуса каски 1 (Рис. 2) и дополнительных элементов, закреплённых на данном корпусе. На внутренних фронтальной и боковых поверхностях корпуса каски 1 жёстко закреплены светодиоды 6 (Рис. 3). Светодиоды 6 с помощью проводников 5 соединены с контактами разъёма 10, который расположен на ложементе 7. Контактный разъём 10 ложемента находится в соединении с контактным разъёмом 10 устройства 3, что обеспечивает подачу электрического управляющего напряжения на светодиоды 6.

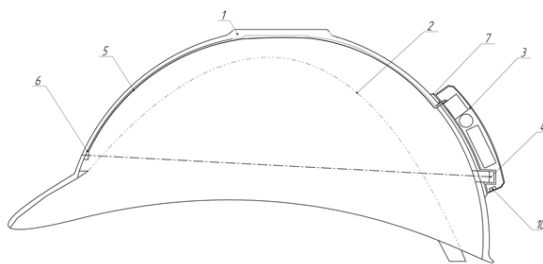


Fig. 2 General view of the safety helmet with automatic control. Side view.

Рис. 2 Общий вид защитной каски с устройством автоматического контроля. Вид сбоку.

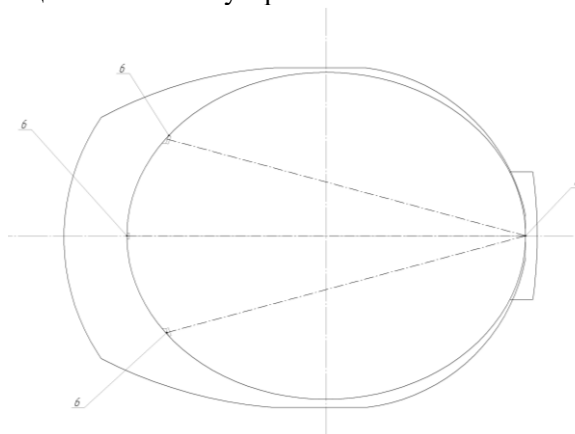


Fig. 3 General view of the safety helmet with automatic control. Top view.

Рис. 3 Общий вид защитной каски с устройством автоматического контроля. Вид сверху.

The support assembly (7) for quick mounting and fixation of the device (3) is rigidly secured to the external backside of the safety helmet shell. The support assembly (7) and the body of the device (3) are made of durable

На корпусе каски, с тыльной внешней стороны, жёстко закреплён ложемент 7, обеспечивающий оперативную установку и фиксацию устройства 3. Ложемент 7 и корпус устройства 3 изготовлены из

plastic. The body of the device (3), shell of the safety helmet (1) and support assembly (7) have matching access holes to output light from the LEDs (6) to the photoelectric receiver (4).

The device functions as follows. The first sensor group consists of optoelectronic sensors and controls whether the user's head is in the safety helmet. The second sensor group prevents the user from falsifying the use of his/her safety helmet and is a motion sensor, an accelerometer.

During operation, the device records temporary parameters for safety helmet use and enables to identify a user disregarding the rules. Whenever necessary, the device can be equipped with additional modules to expand its functions.

This design is easy to manufacture on a large-scale as a universal free-standing unit mounted on the external surface of a safety helmet of any design with a support assembly combining the safety helmet and automatic control device into a single system.

4 Conclusions

According to statistics, 10% to 15% of all fatalities in Russia are the result of lack of, to use, or technical faults of personal protective equipment. Incorrect choice and misuse of PPE cause 30% of all chronic occupational diseases [14].

One of the ways to improve current PPE provision and use controls is to install sensors to record the period and nature of use. The focus is on monitoring the use by employees of personal head protection, namely a safety helmet.

The practical value of this solution for facilities in the Arctic zone is improved occupational health and safety, reduced injury and occupational disease rate.

Acknowledgments

The research was funded by the Russian Scientific Foundation, Project No. 17-78-20145, Social and Economic Levers for Mobilizing Human Resources to the Arctic Region of the Russian Federation.

прочного пластика. В корпусах устройства 3, каски 1 и в ложементе 7 выполнены технологические отверстия совпадающие друг с другом и обеспечивающие доступ светового потока от светодиодов 6 к фотоприёмнику 4.

Устройство работает следующим образом. Первая группа датчиков – оптоэлектронные датчики, контролирует наличие головы пользователя в каске. Вторая группа датчиков не позволяет пользователю фальсифицировать её применения и представляет собой датчик двигательной активности – акселерометр.

В процессе эксплуатации устройство записывает временные параметры применения каски и позволяет идентифицировать пользователя – нарушителя. В необходимых случаях устройство может быть оборудовано дополнительными модулями с целью расширения его функций.

Данная конструкция легко воспроизводима в промышленном производстве в форме универсального автономного блока, устанавливаемого на наружной поверхности защитной каски различной конструкции с помощью ложементов, объединяющего каску и устройство автоматического контроля эксплуатации каски в единую систему.

4 Заключение

Согласно статистическим данным в России от 10 до 15% всех травм со смертельным исходом, происходит из-за отсутствия, неприменения или технического несовершенства средств индивидуальной защиты. Неправильный выбор и применение средств защиты в 30% случаев являются причиной возникновения хронических профзаболеваний [14].

Одним из путей совершенствования современной системы контроля выдачи и применения СИЗ является техническое оснащение датчиками, фиксирующими период и характер их использования. Особое место занимает контроль применения работниками средств индивидуальной защиты головы – защитной каски.

Практическая ценность данного решения для объектов арктической зоны заключается в повышении уровня охраны труда, сокращение числа случаев травматизма и профзаболеваний.

Признательность

Исследование финансировалось Российским научным фондом, проектом № 17-78-20145, «Социальные и экономические рычаги для мобилизации людских ресурсов в Арктический регион Российской Федерации».

References / Литература

- [1] Kolesnik IV, Stefanova EB. 2015. New technologies in the design of personal protective equipment for the conditions of development of the Arctic. Modern problems of science and education. (02 December 2018; <http://science-education.ru/ru/article/view?id=17198>)
- [2] Lebedeva EO, Matuzova SY. 2014. Regulatory framework in design of special protective clothing for the staff at oil and gas producing facilities of Arctic shelf. Fundamental research, volume 6: 928-931.
- [3] Kosarev VV, Babanov SA. 2012. Professional neurosensory hearing loss. Breast Cancer (Russian Medical Journal), 31:1556 -1560.
- [4] Korycki R, 2002. The Damping of Off-Central Impact for Selected Industrial Safety Helmets Used in Poland. JOSE. .8- 1: 51-70.
- [5] Kruk MN, Nikulina AYU, Guryleva NS, Cherepovitsyn AE. 2018. Opportunities for improving the corporate social responsibility programs for metallurgical companies in the Arctic. Non-ferrous Metals. 4: 3-6. DOI: 10.17580/nfm.2018.01.01.
- [6] Baszczynski K, 2002. Industrial safety helmets – protection of the head against side impact. Occupational Safety. 5: 10-13.
- [7] Parsons KC. 2007. Protective clothing: heat exchange and physiological objectives. Ergonomics. 31:7,991-1007. DOI: 10.1080/00140138808966738
- [8] Zhigalova TM. 1991. About heat and moisture exchange with between humans wearing special clothes and the environment. News of Higher Educational Institutions. Light Industry Technology. 4: 55-60.
- [9] Sorokin YuG. 2007. Personal protective equipment. Textbook. Moscow. 288 p.
- [10] Batmanov VP, Barsukov OK. 2017. Laser and optic device to determine dust concentration and distribution of dust particles in the workplace air. Zapiski Gornogo instituta. 203:146-149.

- [11] Morel A, Bedek G, Salaün F, Dupont D. 2014. A review of heat transfer phenomena and the impact of moisture on firefighters' clothing and protection. *Ergonomics*. 57:7, 1078-1089, DOI: 10.1080/00140139.2014.907447
- [12] Kovshov S, Istomin R, Nikulin A, Sotiriu A. 2014. Industrial injuries appraisal in mines of JSC “SUEK Kuzbass”. *Advanced Materials Research*. 1001: 414–420.
- [13] Nikulin A, Nikulina AYu. 2017. Assessment of occupational health and safety effectiveness at a mining company. *Eco. Env. & Cons*. 23 (1): 533-537.
- [14] Kazakov BP, Levin LYu, Shalimov AV, Zaitsev AV. 2017. Development of energy-saving technologies providing comfortable microclimate conditions for mining. *Zapiski Gornogo instituta*. 223:116-124. DOI: 10.18454/PMI.2017.1.116

Special Equipment of Vehicles and Mobile Control Post for Fire Extinguishing Oil and Gas Industry

Специальное оснащение транспортных средств подвижных пунктов управления при тушении пожаров объектов нефтегазовой отрасли

Farid Dali¹, Andrey Perlin^{2*}, Grigory Shidlovsky³, Yury Aktersky⁴,
Sergey Terekhin⁵

¹ PhD, Saint-Petersburg University of the State Fire Service of EMERCOM of Russia; dalee@igps.ru

² Saint-Petersburg University of the State Fire Service of EMERCOM of Russia; perlin.85@mail.ru

³ PhD, Saint-Petersburg University of the State Fire Service of EMERCOM of Russia; sh.grigo1106@yandex.ru

⁴ PhD, Saint-Petersburg University of the State Fire Service of EMERCOM of Russia; sh.grigo1106@yandex.ru

⁵ PhD, Saint-Petersburg University of the State Fire Service of EMERCOM of Russia; sh.grigo1106@yandex.ru

* Corresponding author: perlin.85@mail.ru

Original scientific paper

Received: December 04, 2018; Accepted: December 13, 2018; Published: December 31, 2018

Abstract

The work is devoted to the means of information and navigation support vehicles and mobile control posts of The Ministry of Emergency Situations (EMERCOM) of Russia in the course of different emergencies and extinguishing fires which is based on the positioning systems of fire and rescue units. In the work, the main problem of the gas and smoke protection service is investigated in situations which are implied by suppression of large fires and rescuing victims of transport infrastructure. Particular attention is paid to the decreasing of visibility in conditions of heavy smoke. Considering the possible ways of solving the problem of control and orientation of gas and smoke protection service units with the help of thermal imaging systems.

Keywords: information and navigation support; underground structure; gas and smoke protection service; fire hazards; thermal imager

1 Introduction

The present stage of development of society sets the task of complex development of system of prevention and elimination of consequences of emergencies and improvement of management of this system [1]. One of the most important condition of quality improvement of management of fire extinguishing and prevention of human losses and material losses is availability of timely

1 Введение

Современный этап развития общества поставил задачу комплексного развития системы предотвращения и ликвидации последствий ЧС и совершенствования управления этой системой [1]. Одним из важнейших условий повышения качества управления тушением пожара и предотвращения человеческих жертв и материальных потерь является наличие

information on forces, means, conditions and object of fire extinguishing. The situation with fires in Russian Federation continues being troublesome and having a negative impact on economic and social spheres of society. EMERCOM of Russia takes measures for stabilization of a situation with fires, makes changes in the normative documents regulating fire extinguishing and directes on improvement of tactics of firefighting. Thus, the special attention is paid to special equipment of emergency operations centers based on the mobile control post intended for ensuring of response group operating in the zone of emergency. The analysis of actions of rescue and fire-fighting divisions allows to allocate the typical mistakes arising in the process of firefighting. Such mistakes: inefficient use of fire-fighting equipment — about 22,3%, an incorrect choice of decisive direction of operational actions — 18,6% and poor carried out reconnaissance — 14,2%. Hefty percentage of mistakes in actions of the head of fire extinguishing, arises because of poor carried out the analysis of reconnaissance results in the process of which are collected data about the fire for assessment of the situation. Correctly organized reconnaissance gives the chance to give timely help to people, to get forces and means on the decisive direction and to provide success of fire extinguishing. During fire extinguishing the staff solves a set of the problems directed to timely concentration of forces and resources and their balance. Practice shows that without the accurate organization of management of forces and means on the fire the successful extinguishing is impossible as for suppression a significant amount of staff is attracted. At the same time can be involved from 20 to 60 of smoke divers on the fire area in tens of thousands of square meters that demands to get many " firefighting hoses on suppression".

On the management of forces on fire it is necessary to understand process of purposeful impact of the head of fire extinguishing (HFE) of operational staff on the fire divisions and other services for the purpose of successful conduct operations connected with direct fire extinguishing and carrying out the related primary emergency-rescue works. Process of influence is understood as giving of orders to the staff which arrived to the fire. Decision-

своевременной информации о силах, средствах, среде и объекте пожаротушения. Обстановка с пожарами в Российской Федерации продолжает оставаться напряженной и оказывать негативное влияние на экономическую и социальную сферы общества. МЧС России принимает меры по стабилизации обстановки с пожарами, вносит изменения в нормативные документы, регламентирующие пожаротушение и направленные на совершенствование тактики тушения пожаров. При этом, особое внимание уделяется специальному оснащению оперативных штабов на базе подвижных пунктов управления, предназначенных для обеспечения функционирования оперативной группы территориального органа МЧС России в зоне ликвидации ЧС и тушении пожаров. Анализ действий пожарно-спасательных подразделений позволяет выделить типичные ошибки, возникающие в процессе ведения оперативных действий по тушению пожаров. К таким ошибкам относятся: неэффективное использование пожарной техники — около 22,3%, неверный выбор решающего направления оперативных действий — 18,6% и некачественно проведенная разведка — 14,2%. Значительный процент ошибок в действиях руководителя тушения пожара, возникает по причине некачественно проведенного им анализа результатов разведки, в процессе которой осуществляется сбор сведений о пожаре для оценки обстановки. Правильно организованная разведка дает возможность своевременно оказать помощь людям, ввести силы и средства на решающем направлении оперативных действий и обеспечить успех тушения пожара. В ходе тушения пожара личный состав решает множество задач, направленных на своевременное сосредоточение сил и средств и их расстановку. Это и обеспечение необходимым количеством огнетушащих средств, и введение сил и средств на тех направлениях, где они могут обеспечить общий успех тушения пожара. Практика показывает, что без четкой организации управления силами и средствами на пожаре невозможно успешное тушение пожара, так

making of HFE on giving orders is carried out proceeding from an assessment of the situation which developed on the fire. Objectivity of the situation assessment on the fire and correctness of decision-making depends from: professional qualifications of HFE, quality of carrying out reconnaissance of fire, ability to predict fire process. Quality of fire extinguishing depends not only on tactical preparation of staff, but also on the firefighting equipment necessary to fire divisions. Experience of extinguishing of big and difficult fires at the petrochemical enterprises shows that the success of operations depends on level of Gas and Smoke Protection Service (GSPS) organization, degree of technical equipment of GSPS, level of staff preparation for working in irrespirable environment. Competently work of GSPS allows to reduce considerably time of fire extinguishing, to reduce a loss from them, and, above all, to give necessary help to people in time.

For performance of fire-fighting task and safety ensuring of the work GSPS team includes a necessary minimum of fire and technical equipment which provides communications tools (radio station or intercom) and lighting (collective lamp - one for team and individual light on each smoke diver) [2]. Thus, during the work on fires GSPS teams remain actually "blind" and have poor spatial awareness in the developed situation. For effective work of GSPS teams it is necessary to use thermal-imaging equipment and thermal-imaging map for an assessment of situation and coordination of actions of rescuers. Fire-fighting in strongly filled with smoke buildings can become more effective due to use of thermal viewer. Using of video recording system with possibility of wireless data transmission increases controllability of rescuers actions. Using of thermal viewers is necessary to decide the problem of recognition of objects in the filled with smoke environment. Thermal radiation goes down when passing through the atmosphere owing to absorption by gas molecules, aerosols, rainfall, and also a smoke, fog, a smog etc.

Thus, the purpose of the work is to reveal the capabilities of the information and navigation system in case of emergency response.

как для тушения привлекается значительное количество личного состава.

Одновременно могут быть задействованы от 20 до 60 газодымозащитников на площади пожара в десятки тысяч квадратных метров, что требует подачи большого количества «стволов на тушение». Под ер управлением подразделениями на пожаре следует понимать процесс целенаправленного воздействия руководителя тушения пожара (РТП) оперативного штаба пожаротушения на личный состав пожарных подразделений и других служб с целью успешного ведения боевых действий, связанных с непосредственным тушением пожара и проведение связанных с ним первоочередных аварийно-спасательных работ. Под процессом воздействия понимается отдача приказаний с постановкой конкретных задач личному составу, прибывшему на пожар. Принятие решения РТП на отдачу приказаний осуществляется исходя из оценки обстановки, сложившейся на пожаре. Объективность оценки обстановки на пожаре и правильность принятия решения зависит от: уровня профессиональной подготовки РТП, качества проведения разведки пожара, способности прогнозировать ход развития пожара. Качество тушения пожаров зависит не только от тактической подготовки личного состава ГПС, но и от оснащенности необходимым пожарно-техническим вооружением подразделений пожарной охраны. Опыт тушения крупных и сложных пожаров на нефтехимических предприятиях показывает, что успех ведения боевых действий зависит от: уровня организации ГЗДС, степени технической оснащенности ГЗДС, уровня подготовки личного состава к работе в непригодной для дыхания среде. Грамотно построенная работа ГЗДС позволяет значительно сократить время тушения пожаров, уменьшить убыток от них, а главное, вовремя оказать необходимую помощь людям.

Для выполнения боевой задачи и обеспечения безопасности своей работы звено ГДЗС включает необходимый минимум пожарно-технического вооружения, который предусматривает

2 Material and Methods

In the paper there is shown the possible ways of solution of the problem of control and orientation of gas and smoke protective service teams by means of thermovision systems. There is provided to use thermal-imaging maps of object that allows to coordinate the rescuer actions and to carry out reconnaissance more successful. Positioning data of GSPS team are obtained based on use of transmitter of global positioning system. For communication with GSPS team and ensuring its work indoors it's offered to use system pseudo-satellites involving.

We will consider as importance of substance which absorb infrared radiation in wide strips with centres corresponding to the specified lengths of waves in Tab. 1.

Apart weakening in solid disperse medium, the molecular absorption is the main reason of weakening of radiation. Most strongly radiation is absorbed by water vapours, carbon dioxide and ozone. In the lower layers of atmosphere absorption by nitrous oxide and carbon monoxide can be neglected. Thus, it is possible to define the provision of two transparent windows: 3.55 — microns and 8 — 15 microns [4]. In practice the existence of "windows" of transparency means that all thermal imagers must work in the specified short-wave or long-wave ranges.

Short-wave (3 — 5 microns) range is more characteristic for the cooled thermal imagers, long-wave (8 — 15 microns) — for not cooled Fig. 1.

Development of thermal-imaging map of object would allow to coordinate actions of rescuers and to carry out better reconnaissance on operational place.

Thermal-imaging map (TIM) — graphical representation of information on object on which there was an emergency. TIM includes the plan of object, thermal zones indicating the possible seat of fire, open flame, heated designs, and people. Data based on which it is created TIM turn out based on the images transferred from the mobile thermal imagers processed by the special software. The schematic diagram of obtaining the thermo-imaging map of object is given in Fig. 2.

средства связи (радиостанция или переговорное устройство) и средства освещения (групповой фонарь - один на звено и индивидуальный фонарь на каждого газодымозащитника)[2]. Таким образом, при работе на пожарах звенья ГДЗС остаются фактически «слепыми» и слабо ориентируются в сложившейся обстановке. Для эффективной работы звеньев ГДЗС необходимо использовать телевизионную технику и телевизионную карту для оценки обстановки и координации действий спасателей. Борьба с пожарами в сильно задымленных зданиях может стать более эффективной благодаря применению телевизоров. Использование системы видеозаписи с возможностью беспроводной передачи данных повышает управляемость действиями спасателей. Использование телевизоров предполагает решение задачи распознавания объектов в задымленной среде. Тепловое излучение ослабляется при прохождении через атмосферу вследствие поглощения молекулами газа, аэрозолями, осадками, а также дымом, туманом, смогом и т.п.

2 Материалы и способы

В работе рассматриваются возможные способы решения проблемы управления и ориентации звеньев газодымозащитной службы с помощью тепловизионных систем. Предложено использовать тепловизионные карты объекта, которые позволяют координировать действия спасателей и проводить более качественную разведку на месте работы. Данные о местоположении звена ГДЗС получают на основе использования передатчика глобальной системы позиционирования. Для связи со звеном, и обеспечения его работы в закрытом помещении предлагается использование системы, использующие в своем составе псевдоспутники.

Рассмотрим в порядке важности вещества, которые поглощают ИК-излучение в широких полосах с центрами, соответствующими указанным длинам волн таб. 1.

Tab. 1 Range of absorption of infrared radiation**Таб. 1** Диапазон поглощения ИК-излучения

Materials / Вещества	Wave-length, mkm (um) / Длина волны, мкм		
	Atmosphere / Атмосфера	2.7	3.2
Water / Вода	2.7	4.3	15
Carbon dioxide / Углекислый газ	4.8	9.6	14.2
Ozon / Озон	4.7	7.8	-
Nitrogen oxide / Окись азота	4.8	-	-
Carbon monoxide / Угарный газ	3.2	7.8	-

Communication is provided by means of the most available and inexpensive type of a wireless communication – the Wi-fi technology according to the IEEE 802.11b and IEEE 802.11g standards. In the Wi-fi standard the data transmission is made at the frequency of 2.4 ~ 2.5 GHz with speed up to 108 Mbit/s at distance to 30 km. Exact data on location of GSPS team can be obtained based on use of the transmitter of global system of positioning. For communication with GSPS team and ensuring its work indoors it's offered to use system with the pseudo-satellites - Fig. 3. The GSPS teams working at fire and equipped with mobile thermal imagers in helmets continuously transfer data of their location and operational situation on fire to the command post by wireless communication.

The thermograms received from GSPS teams are displayed in Fig. 4. As a result of processing of these data the thermo-imaging map of object (Fig. 5) comes out. Received TIM is updated several times in a minute, thanks to the high speed of data transmission on means of the Wi-fi technology. It means that the operator who is at the computer in a mobile post of fire extinguishing can give help to GSPS team, pointing to the noticed sources of thermal radiation passed by the fire-fighter's look and in time to report about it on a radio communication.

3 Results and Discussion

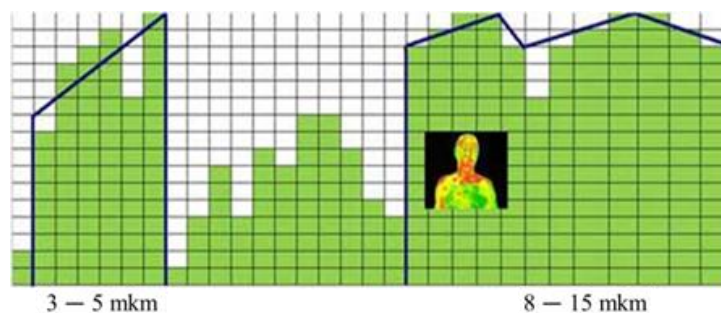
The system of thermovision control will provide the dynamic tracking of fire development.

Не считая ослабления в плотных дисперсных средах, молекулярное поглощение является главной причиной ослабления излучения. Наиболее сильно излучение поглощается парами воды, углекислым газом и озоном. В нижних слоях атмосферы поглощением закисью азота и окисью углерода можно пренебречь. Таким образом, можно определить положение двух окон прозрачности: 3,55 -мкм и 8 - 15 мкм [4]. На практике наличие «окон» прозрачности означает то, что все тепловизоры должны работать в указанных коротковолновом или длинноволновом диапазонах.

Коротковолновый (3 - 5 мкм) диапазон более характерен для охлаждаемых тепловизоров, длинноволновый (8 - 15 мкм) - для неохлаждаемых Рис. 1.

Разработка тепловизионной карты объекта позволила бы координировать действия спасателей и проводить более качественную разведку на месте работы.

Тепловизионная карта объекта (ТКО) — графическое представление информации об объекте, на котором произошла ЧС. ТКО включает в себя план-схему объекта, тепловые зоны, обозначающие возможный очаг пожара, открытое пламя, нагретые конструкции, а также людей. Данные, на основе которых создается ТКО получают на основе изображений, переданных с мобильных тепловизоров, обработанных специальным программным обеспечением. Принципиальная схема получения тепловизионной карты объекта приведена на рис. 2.

**Fig. 1** «Windows» of transparency of atmosphere**Рис. 1** «Окна» прозрачности атмосферы

Use of this system will reduce number of victims, will allow to control effectively a condition of the firefighter, timely to make the decision on rendering the help to it and to prevent possible accidents.

At the same time, in modern conditions the requirements to the indicators defining efficiency of management process raise. Time of registration and information processing for preparation and implementation of decision, quantity of the spent resources for preparation of decision, reliability of the received information – essential indicators of efficiency of management process [2, 3].

In total, the specified features define need of wide use of automation equipment at stages of collecting, processing and transfer of information.

Thus, quality of the made decision will be determined not only by the level of professional preparation of HFE, but also quality of means of automated management, completeness, reliability and timeliness of initial information, and restrictions by time for decision-making.

Связь осуществляется по средствам самого доступного и недорогого вида беспроводной связи – технологии Wi-Fi в соответствии со стандартами IEEE 802.11b и IEEE 802.11g. В стандарте Wi-Fi передача данных производится на частоте 2.4~2.5 ер ГГц со скоростью до 108 Мбит/с на расстоянии до 30 км. Точные данные о местоположении звена ГДЗС могут быть получены на основе использования передатчика глобальной системы позиционирования. Для связи со звеном, и обеспечения его работы в закрытом помещенииер предлагается использование системы, использующие в своем составе псевдоспутники рис. 3. Звенья ГДЗС, работающие на пожаре и оборудованные мобильными тепловизорами «Шлем-камера», непрерывно передают данные о своем местоположении и оперативную обстановку в штаб тушения пожара по средствам беспроводной связи.

Термограммы, полученные от звеньев ГДЗС отображены на рис. 4. В результате обработки этих данных получается тепловизионная карта объекта ТКО рис. 5. Полученная ТКО обновляется несколько раз в минуту, благодаря высокой скорости передачи данных по средствам технологии Wi-fi. Это означает, что оператор, находящийся за компьютером в мобильном штабе пожаротушения может оказывать помощь звену ГДЗС, указывая на замеченные источники теплового излучения, пропущенные взглядом пожарного, и вовремя сообщить об этом по радиосвязи.

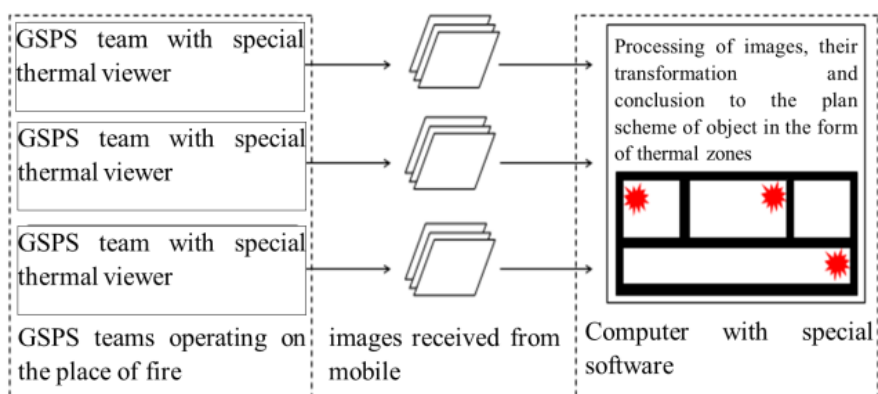


Fig. 2 Schematic diagram of receiving TIM
Рис. 2 Принципиальная схема получения ТКО

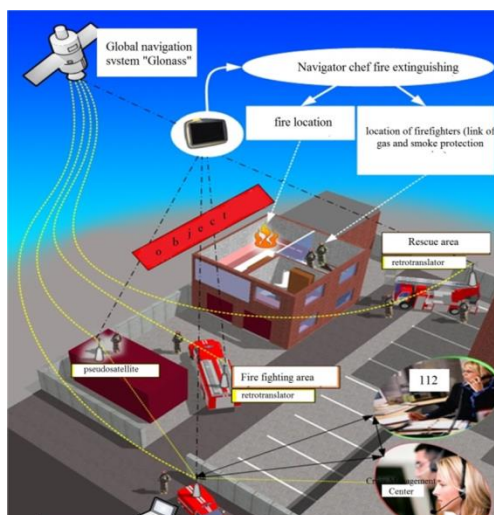


Fig. 3 The simplified structure of the system using pseudo-satellites
Рис. 3 Упрощенная структура системы, использующей псевдоспутники

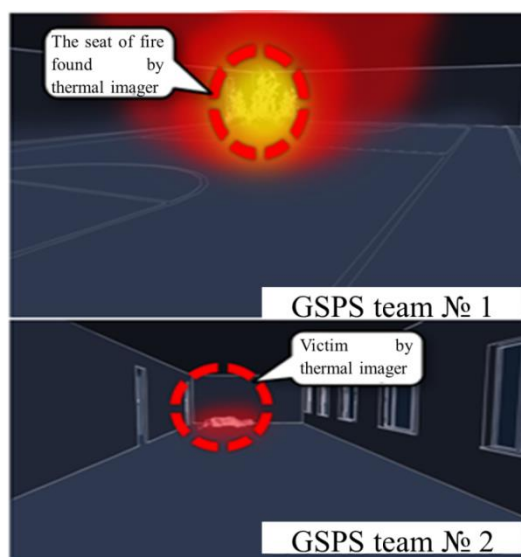
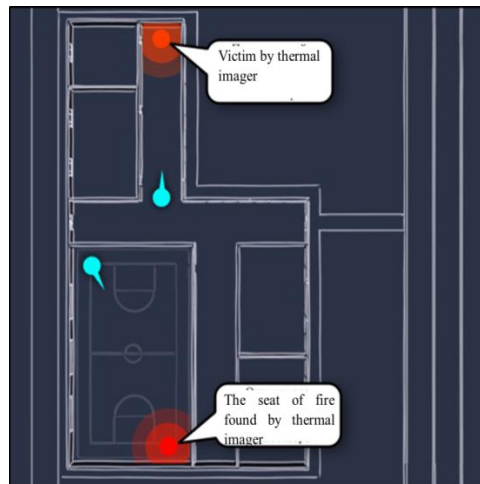


Fig. 4 Visual display from the place of work of GSPS
Рис. 4 Визуальное отображение с места работы ГДЗС

**Fig. 5** Thermal-imaging map of the object**Рис. 5** Тепловизионная карта объекта

4 Conclusion

Thus, thermovision system can become one of important elements of information support of GSPS. With using the transfer of data on an operational situation on a place of the fire or an emergency, identification of objects, search and data processing is carried out naibly reliable and in due time. Use of thermovision systems will allow to increase management efficiency, will provide higher level of safety and will allow to reduce decision-making time at suppression of the fires and elimination of consequences of an emergency.

3 Результаты и обсуждения

Система тепловизионного контроля обеспечит динамическое слежение за развитием пожара. Применение этой системы сократит количество пострадавших, позволит эффективно контролировать состояние пожарного, своевременно принимать решение об оказании ему помощи, значит, предотвращать возможные несчастные случаи.

Вместе с тем, в современных условиях повышаются требования к показателям, определяющим эффективность процесса управления. Время регистрации и обработки информации для подготовки решения и реализации решения, количество затраченных ресурсов для подготовки решения, достоверность полученной информации – существенные показатели эффективности процесса управления [2, 3]. В совокупности, указанные особенности определяют необходимость широкого использования средств автоматизации на этапах сбора, обработки и передачи информации.

Таким образом, качество принимаемого решения будет определяться не только уровнем профессиональной подготовки РТП, но еще и качеством средств автоматизированного управления, полнотой, достоверностью и своевременностью исходной информации, а

также ограничениями по времени на принятие решения.

4 Заключение

Выводы: таким образом, именно тепловизионная система может стать одним из важных элементов информационного обеспечения ГДЗС. С её помощью передача сведений об оперативной обстановке на месте пожара или ЧС, идентификации объектов, поиска и обработки данных осуществляется наиболее достоверно и своевременно. Применение тепловизионных систем позволит повысить эффективность управления, обеспечит более высокий уровень безопасности и позволит сократить время принятия решений при тушении пожаров и ликвидации последствий ЧС.

References / Литература

- [1] Pogorelov A.V. 2017. Comparative analysis of decision criteria for fire suppression. International Journal Innovations in life №2: p.86-93.
- [2] Balov A.V., Terekhin S.N., Sineshchuk Y.I. 2018. Local positioning system of objects EMERCOM of Russia on the basis of the retransmission of signals of the global GLNASS system. 1nd ed St. Petersburg University of State fire Service of Emercom of Russia.
- [3] Terekhin S.N., Sineshchuk Y.I. 2011. Analysis of satellite navigation systems based on various methods of retransmission. Journal Bulletin of the St. Petersburg University of the State fire service of the Emercom of Russia №4. (15 December 2011; <https://vestnik.igps.ru/wp-content/uploads/V34/7.pdf>)
- [4] Balov A.V. Psevdo-sputnik in local sys of expansion of functional of capabilities of SRNS // Analytical overview No. 27 RIRT. 2002..
- [5] Artamonov VS, Terekhin SN, Sineshchuk Y.I. Navigation and information for the organs of the management of the units of the fire department of the protection of the Emercom Monograph 2012. 395 pg.
- [6] Institute of Industrial and Industrial Fire and Security. Calculated the rationale for the locations of the location of the and equipment of the divisions of the fire department of the security of the fire department of the equipment of the e-mailing enterprise of the Novokuznetsk, 2010.

Analysis of Carbonized Layer of Wood Beams with Different Geometric Cross-Section Shape

Analýza zuhoľnatenej vrstvy drevených nosníkov s rôznym geometrickým tvarom prierezu

Dominik Špilák¹, Ľudmila Tereňová¹, Katarína Dúbravská^{1*}, Andrea Majlingová¹

¹ Technical University in Zvolen, T. G. Masaryka 24, 960 53 Zvolen, Slovak Republic; xspilakd@is.tuzvo.sk, ludmila.terenova@tuzvo.sk, katarina.dubravska@tuzvo.sk, andrea.majlingova@tuzvo.sk

* Corresponding author: katarina.dubravska@tuzvo.sk

Original scientific paper

Received: December 7, 2018; Accepted: December 15, 2018; Published: December 31, 2018

Abstract

The design of wooden load-bearing elements for the effects of fire is a necessity when designing timber structures. Therefore, ongoing research focusing on the behavior of wooden elements in fire conditions in this area is still important. The paper focuses on the study of a carbonized layer of wood beams differing in geometric cross-section shapes: square cross-section, square cross-section with cut edges and round cross section (log). The carbonized layer was evaluated by the calculation according to STN EN 1995-1-2 [1] and at the same time, by a medium-scale test, in which the samples were unilaterally loaded with radiant heat source. The obtained results were supplemented by results of computer simulation in Ansys 18.1 program, the result of which is the graphical depiction of the degree of wood beams carbonization in time of 30 min. The depth of the carbonized layer formed during the experiment corresponded to the calculated value for the square cross-section and the square cross-section with the cut edges. In the experiment, the round cross-section showed the highest depth of carbonization, which was also confirmed by the results of computer simulation. The results showed that thermal degradation and carbonization proceeds faster in the beams of the log. This must be considered in their static design for the effects of fire.

Keywords: wood beam, radiant heat source, medium-scale test, carbonized layer, computer simulation

1 Introduction

When wood is burning, there occurs the thermal degradation of bindings of its basic components and the change of their chemical composition leads to the formation of many products [2]. According to Kučera et al. [3], Osvald [4], Leško and Lopušniak [5], Vavrušková and Lokaj [6], Kuklík [7], a carbonized layer is formed on the surface of the wood. This layer prevents air from entering the internal parts of the element cross-section, diminishes the burning and has good thermal insulation properties. Štefko et al. [8], Vavrušková and Lokaj [6], Koželouh [9], Blass

1 Úvod

Pri horení dreva dochádza k termickému rozkladu väzieb jeho základných komponentov a zmene ich chemického zloženia za vzniku mnohých produktov [2]. Podľa Kučera a kol. [3], Osvald [4], Leško a Lopušniak [5], Vavrušková a Lokaj [6], Kuklík [7], pri tepelnom namáhaní sa na povrchu dreva vytvára zuhoľnatená vrstva. Táto vrstva bráni prístupu vzduchu do vnútorných častí prierezu prvku, tlmí horenie a má dobré tepelnoizolačné vlastnosti. Štefko a kol. [8], Vavrušková a Lokaj [6], Koželouh [9], Blass [12] uvádzajú, že tepelná vodivosť zuhoľnatenej vrstvy je asi

[12] indicate that the thermal conductivity of the carbonized layer is about 1/6 of the thermal conductivity of the wood. As a result, the residual cross-section temperature of the element remains unchanged at small distances [7]. The structure of a wood cross-section, which is exposed to fire (see Fig. 1), also briefly described by Vavrušková and Lokaj [6]:

- Carbonized layer - the inner surface of the carbonized layer has a temperature of about 300 °C,

- Layer of wood affected by the temperature - a part of the layer with a temperature above 200 °C is called the pyrolysis layer because it involves intensive thermal decomposition associated with gas release and is characterized by color change and weight loss,

- Residual cross-section - virtually unaffected by the temperature that is diminishing in time with the progressive fire.

According to Kučera et al. [3], König [11], Osvald [4], the position of the carbonizing range corresponds to the isotherm position of 300 °C.

1/6 z tepelnej vodivosti dreva. V dôsledku toho zostáva teplota zostatkového prierezu prvku už v malých vzdialenostiach nezmenená [7]. Skladbu dreveného prierezu, ktorý je vystavený účinkom požiaru (viď Obr. 1), stručne popísali aj Vavrušková a Lokaj [6]:

- zuhoľnatená vrstva – vnútorný povrch zuhoľnatej vrstvy má teplotu okolo 300 °C,

- vrstva dreva ovplyvneného teplotou – časť tejto vrstvy s teplotou nad 200 °C sa nazýva vrstva pyrolýzy, pretože v nej dochádza k intenzívnemu tepelnému rozkladu, spojenému s uvoľňovaním plynov a vyznačujúcim sa zmenou farby a stratou hmotnosti,

- zostatkový prierez – prakticky neovplyvnený teplotou, ktorý sa v čase s postupujúcim požiarom znižuje.

Podľa Kučeru a kol. [3], Königa [11], Osvalda [4] poloha hranice zuhoľnatenia zodpovedá polohe izotermy 300 °C.

Z vyššie uvedeného vyplýva, že na povrchu drevenej konštrukcie nechránenej pred účinkami požiaru dochádza k tvorbe zuhoľnatej vrstvy. Avšak už v malých vzdialenostiach od povrchu exponovanej strany

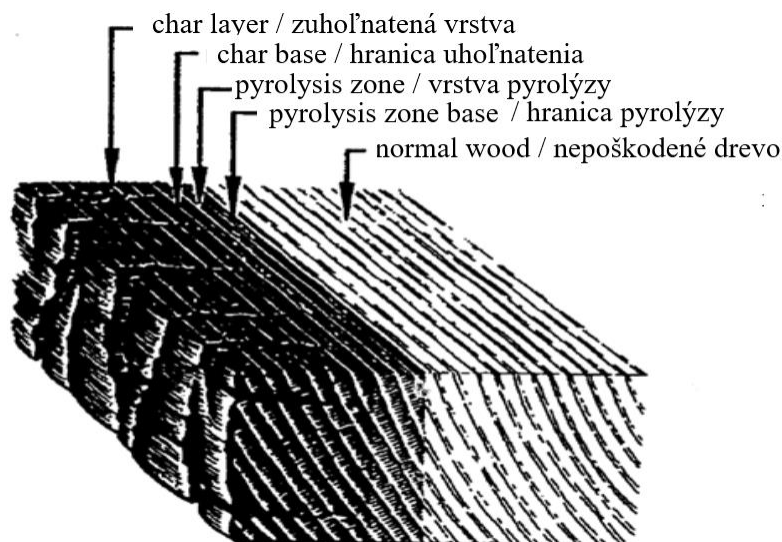


Fig. 1 Wood cross-section during fire exposure [6]
Obr. 1 Drevený prierez vystavený účinkom požiaru [6]

It follows from the above that the surface of the wooden structure, which is not protected from the effects of fire, produces a carbonized layer. However, the temperatures are unchanged at a small distance from the surface of the exposed side. According to Buchanan

sú teploty nezmenené. Drevené konštrukcie si podľa Buchanana [12] vo vnútri svojho prierezu zachovávajú svoje mechanické vlastnosti bez podstatných zmien a požiaru odolnosť konštrukčného prvku je možné určiť na základe

[12], the timber structures maintain their mechanical properties within their cross-section without any significant changes, and the fire resistance of the structural element can be determined on the basis of the residual cross-section. Therefore, it is necessary to dimension the structure in order to maintain its load capacity even in case of fire. The rules for the design of structures made of wood or wood-based materials for fire effects are summarized in STN EN 1995-1-2 [1]. It is possible to design a wooden structure for the effects of fire, according to Kuklík [7], Tereňová [13] in several ways, but in this case the most efficient method is the effective cross-section method, i. e. by reducing the cross-section exposed to the fire.

The aim of the medium-scale test was to determine whether the geometric shape of the cross-section of wood horizontal beams exposed to the radiant heat source for 30 minutes affected the depth of the carbonized layer, and whether the carbonized layer found would correspond to the carbonized layer calculated by the effective cross-section method according to STN EN 1995-1-2 [1].

Another objective was to simulate the formation of the carbonized layer on the given samples under the same conditions of thermal loading using the Ansys 18.1 program and to compare the results obtained.

2 Methodology

Medium-scale test method

The test samples, represented by horizontal beams with different geometric cross-sectional shape, have undergone experiments. Based on the results obtained through the medium-scale test, we determined the depth of the carbonized layer formed on the tested samples. The samples were loaded with a radiant heat source for 30 minutes using a ceramic radiation panel. The heat source characterizes the following data: dimensions of the radiant surface - 480 x 280 mm, maximum power of radiant surface - 50.5 KW / m², radiant surface temperature - 935 °C. We placed the heat source 30 cm away from the sample to produce as much radiation to sample as possible. The device was connected to the gas

zostatkového prierezu. Preto je potrebné konštrukciu nadimenzovať tak, aby si zachovala nosnosť aj v prípade požiaru. Pravidlá pre návrh konštrukcií vyhotovených z dreva alebo z materiálov na báze dreva na účinky požiaru sú zhrnuté v STN EN 1995-1-2 [1]. Navrhnuť drevenú konštrukciu na účinky požiaru je možné podľa Kuklíka [7], Tereňovej [13] viacerými spôsobmi, avšak v tomto prípade je najvhodnejšia metóda účinného prierezu, t.j. redukciiu prierezu namáhaného požiarom.

Cieľom vykonaného strednorozmerového testu bolo zistiť, či geometrický tvar prierezu vzoriek drevených vodorovných nosníkov, vystavených sálavému zdroju tepla po dobu 30 minút, má vplyv na hĺbku zuhoľnatenej vrstvy a či zistená zuhoľnatená vrstva bude zodpovedať zuhoľnatenej vrstve vypočítanej metódou účinného prierezu podľa STN EN 1995-1-2 [1]. Ďalším cieľom bolo za rovnakých podmienok tepelného zaťaženia nasimulovať vznik zuhoľnatenej vrstvy na daných vzorkách pomocou programu Ansys 18.1. a získané výsledky navzájom porovnať.

2 Metodika

Metodika strednorozmerového testu

Experimentu sme podrobili skúšobné vzorky, ktoré predstavovali vodorovné nosníky s rôznym geometrickým tvarom prierezu. Prostredníctvom výsledkov získaných strednorozmerovým testom sme zisťovali hĺbku zuhoľnatenej vrstvy, ktorá sa vytvorila na skúšobných vzorkách. Vzorky boli zaťažované sálavým zdrojom tepla po dobu 30 min prostredníctvom keramického radiačného panelu. Tepelný zdroj charakterizujú nasledovné údaje: rozmer radiačnej plochy – 480 x 280 mm, max. výkon radiačnej plochy – 50,5 KW/m², dosahovaná teplota radiačnej plochy – 935 °C. Zdroj tepla sme umiestnili 30 cm od vzorky tak, aby na vzorku pôsobilo čo najviac žiarenia. Zariadenie sme zapojili na plyn cez prietokomer tak, aby sme mohli redukovať prietok a aby bol pri každej vzorke rovnaký. Prietok sme nastavili na 13 l/h. Tento prietok bol konštantný pri každom meraní, aby sme dosiahli rovnaké teploty sálavého tepla.

through the flowmeter so that we can reduce the flow rate and to assure to be the same for each sample. We set the flow rate to 13 l / h. This flow rate was constant for each measurement to achieve the same radiant heat temperatures.

The fire loading tests have undergone the following prisms of spruce wood:

- 3 samples of square cross-section with dimensions of 60 x 60 mm,
- 3 samples of square cross-section with cut edges with dimensions of 60 x 60 mm and
- 3 samples of a round cross-section with diameter of 60 mm.

We chose the dimensions in a 1:4 scale compared to the real 240 mm dimension, which is the standard diameter of the load bearing elements with round cross-section in practice. The sample length was of 1.2 m. The test samples are shown in Fig. 2. The overall diagram of the device for performing the medium-scale test is shown in Fig. 3.

Zaťažovým skúškam sme podrobili nasledovné hranoly zo smrekového dreva:

- 3 vzorky štvorcového prierezu 60 x 60 mm,
- 3 vzorky štvorcového prierezu so zrezanými hranami 60 x 60 mm a
- 3 vzorky okrúhleho prierezu priemeru 60 mm.

Dané rozmery sme zvolili zmenšené v pomere 1 : 4 v porovnaní so skutočným rozmerom 240 mm, ktorý je štandardným priemerom nosných prvkov okrúhleho prierezu v praxi. Dĺžka vzoriek bola 1,2 m. Skúšobné vzorky sú znázornené na Obr. 2. Celková schéma zariadenia pre uskutočnenie strednorozmerového testu je zobrazená na Obr. 3.



Fig. 3 Test samples

Obr. 2 Skúšobné vzorky



Fig. 2 Devices arrangement

Obr. 3 Usporiadanie zariadení

Effective cross-section method

The effective cross-section should be calculated by reducing the original cross-section by the original cross-section by the effective depth of carbonized layer (d_{ef}), see Fig. 4:

$$d_{ef} = d_{char} + k_0 \cdot d_0 \quad (1)$$

Where:

d_{char} Designed depth of carbonization for unidirectional carbonization,

k_0 Coefficient which modifies the thickness of the zero strength layer d_0 depending on the duration of the fire ($k_0 = 1.0$, according to Table 4.1 of EN 1995-1-2 [1] for $t \geq 20$ min.),

d_0 7 mm (for a fire lasting ≥ 20 min: $d_0 = 7$ mm, according to EN 1995-1-2 [15]).

Metóda účinného prierezu

Účinný prierez sa má vypočítať redukciou pôvodného prierezu o účinnú hĺbku zuhoľnatenia d_{ef} (vid'. Obr. 4):

Kde:

d_{char} návrhová hĺbka zuhoľnatenia pre jednosmerné uhoľnatenie,

k_0 súčiniteľ, ktorým sa upravuje hrúbka vrstvy nulovej pevnosti d_0 v závislosti na dobe trvania požiaru ($k_0 = 1,0$ podľa tab. 4.1 STN EN 1995-1-2 [1] pre $t \geq 20$ min.),

d_0 7 mm (pri požiaru trvajúcim ≥ 20 min. je $d_0 = 7$ mm podľa STN EN 1995-1-2 [15]).

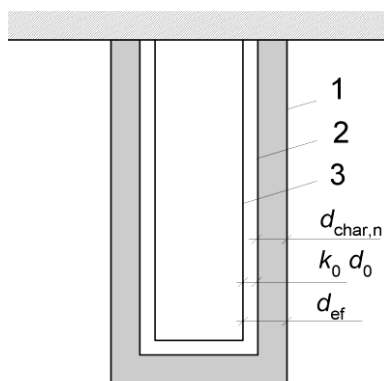


Fig. 4 Definition of effective cross-section [1]

Obr. 4 Definícia efektívneho prierezu [1]

Carbonized layer depth calculation

Carbonization rate for unidirectional carbonization according to STN EN 1995-1-2 [1] should be taken as constant in time. The design depth of carbonization ($d_{char,0}$) is calculated according to:

$$d_{char,0} = \beta_0 \cdot t \quad (2)$$

Where:

β_0 Design rate of unidirectional carbonization when exposed to the normalized fire (according to the Tab.1)

t Fire exposure time.

Výpočet hĺbky zuhoľnatenej vrstvy

Rýchlosť uhoľnatenia pre jednosmerné uhoľnatenie v zmysle STN EN 1995-1-2 [1] sa má brať ako konštantná v čase. Návrhová hĺbka zuhoľnatenia sa vypočíta podľa vzťahu:

Kde:

β_0 návrhová rýchlosť jednosmerného uhoľnatenia pri vystavení normalizovanému požiaru (Tab. 1),

t čas vystavenia požiaru.

Tab. 1 Design rates of carbonization (β_0) of wood, laminated veneer lumber (LVL), wood panels, and wood-based panels [1]

Tab. 1 Návrhové rýchlosti uhoľnatenia (β_0) dreva, vrstveného dýhového dreva (LVL), drevených dosiek a dosiek na báze dreva [1]

	β_0 (mm/min)
a) Softwood and European beech / Mäkké drevo a buk	
Glued laminated wood with a characteristic bulk density $\geq 290 \text{ kg / m}^3$ Lepené lamelové drevo s charakteristickou objemovou hmotnosťou $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,65
Raw wood with a characteristic bulk density $\geq 290 \text{ kg / m}^3$ Rastené drevo s charakteristickou objemovou hmotnosťou $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,65
b) Hardwood / Tvrdé drevo	
Raw or glued laminated wood with characteristic bulk density of 290 kg / m^3 Rastené alebo lepené lamelové drevo s charakteristickou objemovou hmotnosťou 290 kg/m^3	0,65
Raw or glued laminated wood with characteristic bulk density $\geq 450 \text{ kg / m}^3$ Rastené alebo lepené lamelové drevo s charakteristickou objemovou hmotnosťou $\geq 450 \text{ kg/m}^3$	0,50
c) Laminated veneer lumber (LVL) / Vrstvené dýhové drevo	
with characteristic bulk density $\geq 480 \text{ kg / m}^3$ s charakteristickou objemovou hmotnosťou $\geq 480 \text{ kg/m}^3$	0,65
d) Panels / Dosky	
Wooden panels Drevené dosky	0,9 ^a
Plywood Preglejky	1,0 ^a
Wood-based panels other than plywood Dosky na báze dreva iné ako preglejky	0,9 ^a

^a The values are valid for the characteristic bulk density of 450 kg / m^3 and a thickness of 20 mm.
a Hodnoty platia pri charakteristickej objemovej hmotnosti 450 kg/m^3 a hrúbke 20 mm.

For other characteristic bulk densities (ρ_k) and panel thicknesses (h_p) less than 20 mm, which are introduced in Tab. 1, the rate of carbonization must be calculated according to:

Pri iných charakteristických objemových hmotnostiach ρ_k a hrúbkach dosiek h_p menších ako 20 mm, ktoré sú uvedené v tab. 1, sa má rýchlosť uhoľnatenia vypočítať podľa vzťahu:

$$\beta_{0,\rho,t} = \beta_0 \cdot k_\rho \cdot k_h \quad (3)$$

$$k_\rho = \sqrt{\frac{450}{\rho_k}}, \quad k_h = \sqrt{\frac{20}{h_p}} \quad (4)$$

Where:

β_0 Design rate of carbonization according to Tab. 1,

ρ_k Characteristic bulk density (kg/m^3),

h_p Panel thickness (mm).

Simulation methodology

When studying the behavior of wood beams exposed to thermal loading, the finite element model in Ansys 18.1 program were used. The change in material properties was set in the simulation according to the requirements of STN EN 1995-1-2 [1]. Thermal loading consisted of two components: radiant heat, the source of which was the radiation panel and the flame that was formed after ignition of the released gases generated by thermal degradation of the wood beam. The radiation panel was set to a power of $50.5 \text{ KW} / \text{m}^2$, corresponding to a temperature of 935°C . The total emissivity was set to value of 0.9. As a consequence of the enclosed room, only natural air flow resulted from the difference in temperature of the heated gases and surroundings. The heat transfer between the wood beam and the air varies depending on the temperature. The aim of the computer simulation was to reproduce the conditions of the medium-scale tests and to compare the obtained results with the results of the computer simulation.

Geometry and discretization

Each simulation consisted of a transient thermal analysis. In the simulation, the following types of elements, available in Ansys 18.1: SOLID90 and SURF152, were used as thermal elements used to simulate heat transfer. SOLID90 is a 20 node thermal element providing conduction, while the SURF152 is a 4 node element providing [18]. SURF152 covers SOLID90 to simulate convection and radiation from the area of heat loading. The beam model was meshed by an Ansys program to a number of approximately 10,000 nodes.

Kde:

β_0 návrhová rýchlosť uhoľnatenia podľa Tab. 1,

ρ_k je charakteristická objemová hmotnosť kg/m^3 ,

h_p je hrúbka dosky v mm.

Metodika simulácie

Pri skúmaní správania sa drevených nosníkov vystavených tepelnému namáhaniu bol využitý model konečných prvkov s použitím programu Ansys 18.1. Zmena materiálových vlastností bola v simulácii nastavená v zmysle požiadaviek STN EN 1995-1-2 [1]. Tepelné namáhanie pozostávalo z dvoch zložiek, sálavého tepla, ktorého zdrojom bol radiačný panel a plameňa, ktorý vznikol po zapálení uvoľnených plynov vzniknutých pri tepelnej degradácii dreveného nosníka. Radiačný panel bol nastavený na výkon $50,5 \text{ KW}/\text{m}^2$, čomu zodpovedala teplota 935°C . Celková emisivita bola nastavená na hodnotu 0,9. V dôsledku uzavretej miestnosti dochádzalo len k prirodzenému prúdeniu vzduchu dôsledkom rozdielnej teploty ohriatych plynov a okolia. Prestup tepla medzi dreveným nosníkom a vzduchom sa v závislosti od teploty menil. Cieľom počítačovej simulácie bolo napodobniť podmienky strednorozmerových testov a porovnať z nich získané výsledky s výsledkami z počítačovej simulácie.

Geometria a diskretizácia

Každá simulácia pozostávala z dynamickej termickej analýzy. Pri simulácii boli použité nasledovné typy elementov, dostupné v programe Ansys 18.1: SOLID90 a SURF152, ako termálne elementy slúžiace na simuláciu prenosu tepla. SOLID90 je 20 uzlový termálny element zabezpečujúci kondukciu, zatiaľ čo SURF152 je 4 uzlový element zabezpečujúci simuláciu kondukcie, konvekcie a radiácie (ANSYS Mechanical APDL Thermal Analysis Guide). SURF152 pokrýva SOLID90 pre simuláciu konvekcie a radiácie z priestoru tepelného namáhania. Model nosníka bol nasiet'ovaný programom Ansys na počet približne 10000 uzlov.

3 Results

Carbonized layer calculation

Thermal stability of wood is affected by the density and chemical composition of wood. The density of tested samples was in range of $\rho = 380 \pm 8,4 \text{ kg/m}^3$.

For this wood density value we calculated the design rates of carbonization $\beta_{0, \rho, t}$ using the equation (3) and further the depth of carbonization layer $d_{\text{char},0}$:

$\beta_{0, \rho, t} = 0,40 \text{ mm/min}$; $d_{\text{char},0} = 12 \text{ mm}$, ($\beta_0 = 0,65$ z Tab. 1).

Based on the results, we can state that the depth of the carbonized layer should be less than 12 mm.

Medium-scale test results

The measured depth values of the carbonized layer are shown in Tab. 2, with two measurements being made for each of the nine samples. The resulting values of the depth of the carbonized layer are the average values of these two measurements. The graphical representation of the results is shown in Fig. 5.

Tab. 2 Measured values of the carbonized layer depth

Tab. 2 Namerané hodnoty hĺbky zuhoľnatej vrstvy

Sample number and cross-section shape / Číslo vzorky a tvar prierezu	Depth of carbonized layer 1 (mm) / Hĺbka zuhoľnatej vrstvy 1 (mm)	Depth of carbonized layer 2 (mm) / Hĺbka zuhoľnatej vrstvy 2 (mm)	Average value (mm) / Priemerná hodnota (mm)
1 square cross-section 1 štvorcový prierez	9	9	9.0
2 square cross-section 2 štvorcový prierez	7	8	7.5
3 square cross-section 3 štvorcový prierez	6	8	7.0
1 cut edges cross-section 1 zrezané hrany	11	9	10.0
2 cut edges cross-section 2 zrezané hrany	17	16	16.5
3 cut edges cross-section 3 zrezané hrany	8	9	8.5

3 Výsledky

Výpočet zuhoľnatej vrstvy

Termická stabilita dreva je ovplyvnená hustotou dreveniny a chemickým zložením [14]. Hustota testovaných vzoriek bola v rozmedzí $\rho = 380 \pm 8,4 \text{ kg/m}^3$.

Pre uvedenú hustotu dreva sme návrhovú rýchlosť uhoľnatenia $\beta_{0, \rho, t}$ vypočítali podľa rovnice (3) a následne hĺbku zuhoľnatej vrstvy $d_{\text{char},0}$ podľa rovnice (2):

$\beta_{0, \rho, t} = 0,40 \text{ mm/min}$; $d_{\text{char},0} = 12 \text{ mm}$, ($\beta_0 = 0,65$ z Tab. 1).

Z týchto výsledkov vyplýva, že hĺbka zuhoľnatej vrstvy by sa mala pohybovať do hodnoty 12 mm.

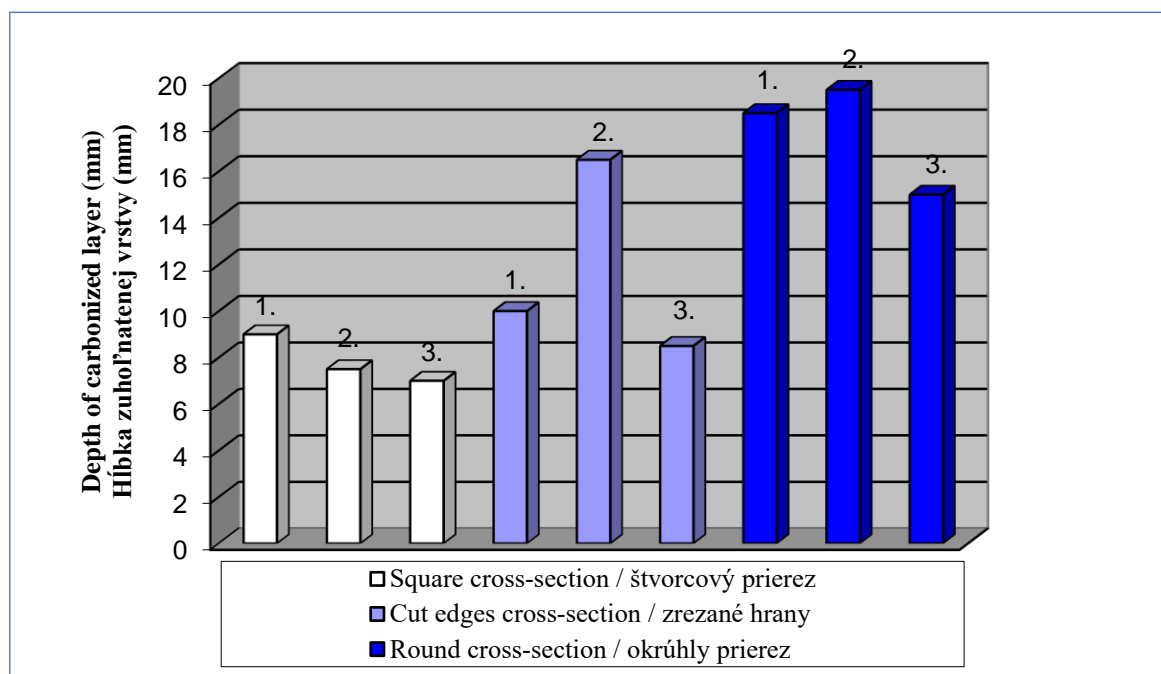
Vyhodnotenie strednorozmerového testu

Namerané hodnoty hĺbky zuhoľnatej vrstvy sú uvedené v nasledujúcej Tab. 2, pričom pre každú z deviatich vzoriek sme urobili 2 merania. Výsledné hodnoty hĺbky zuhoľnatej vrstvy sú priemerné hodnoty z týchto dvoch meraní. Grafické znázornenie výsledkov vidíme na Obr. 5.

Tab. 2 Measured values of the carbonized layer depth (continue)

Tab. 2 Namerané hodnoty hĺbky zuhoľnatej vrstvy (pokračovanie)

Sample number and cross-section shape / Číslo vzorky a tvar prierezu	Depth of carbonized layer 1 (mm) / Hĺbka zuhoľnatej vrstvy 1 (mm)	Depth of carbonized layer 2 (mm) / Hĺbka zuhoľnatej vrstvy 2 (mm)	Average value (mm) / Priemerná hodnota (mm)
1 Round cross-section 1 Okrúhly prierez	19	18	18.5
2 Round cross-section 2 Okrúhly prierez	20	19	19.5
3 Round cross-section 3 Okrúhly prierez	15	15	15.0


Fig. 5 Graphic depiction of the depth of the carbonized layer

Obr. 5 Grafické znázornenie hĺbky zuhoľnatej vrstvy

In the calculations according to STN EN 1995-1-2 [15] we found that the depth of the carbonized layer is 12 mm. These values were clearly exceeded in case of round cross-section samples with diameter of 5.5 mm. The increased carbonization rate was also observed in case of sample no. 2 with cut edges. However, this was caused by the crack in the sample. Fig. 6 shows the carbonized layer of individual samples.

Vo výpočtoch podľa STN EN 1995-1-2 [15] sme zistili, že hĺbka zuhoľnatej vrstvy je 12 mm. Tieto hodnoty boli jednoznačne prekročené u vzoriek okrúhleho prierezu v priemere o 5,5 mm. Zvýšené zuhoľnatie sme zaznamenali aj pri vzorke č. 2 so zrezanými hranami, čo však bolo spôsobené vzniknutou prasklinou pri hrči vo vzorke. Na Obr. 6 je znázornená zuhoľnatá vrstva jednotlivých vzoriek.



a)



b)



c)

Fig. 6 Carbonized layer a) round cross-section, b) cut edges cross-section, c) square cross-section
Obr. 6 Zuhol'natená vrstva a) guliace, b) zrezané hrany, c) štvorcový prierez

Simulation results

The result of the simulation is the graphical depiction of the degree of carbonization of wood beams over 30 minutes. In Fig. 7 are shown the simulated beams without a layer of carbonized wood, the area shown in the middle of the samples represents the range of the carbonized layer.

Výsledky simulácie

Výsledkom simulácie je znázornenie miery zuhoľnatenia drevených nosníkov v čase 30 min. Na Obr. 7 sú zobrazené simulované nosníky bez vrstvy zuhoľnatého dreva, oblasť znázornená v strede vzoriek predstavuje hranicu zuhoľnatej vrstvy.

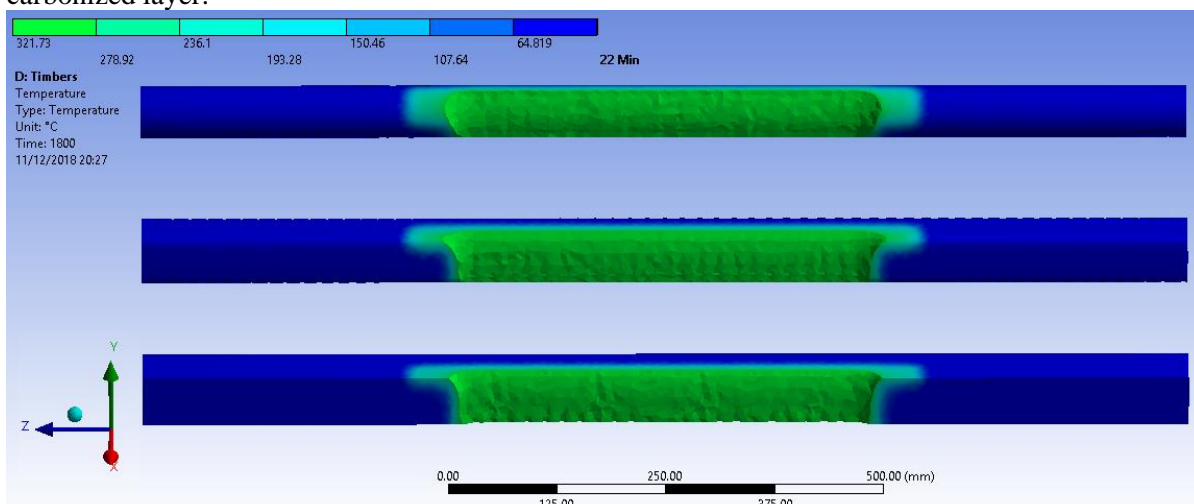


Fig. 7 Beams carbonization range
Obr. 7 Hranica zuhoľnatenia nosníkov

The length of the carbonized layer in the z-axis direction is almost the same in all three cases, reaching about 500 mm. However, the depth of the carbonized layer in the "x" direction is different. For a square cross-section, the average depth of carbonization was of 9.4 mm, for the square cross-section with cut edges of 8.8 mm and 10.1 mm for the round cross-section. In Fig. 8 is shown a profile of the beams and their carbonization in 30 min at a distance of 600 mm from their edge.

Dĺžka zuhoľnatej vrstvy v smere osi „z“ je vo všetkých troch prípadoch takmer rovnaká, dosahujúca rozmery okolo 500 mm. Hĺbka zuhoľnatej vrstvy v smere osi „x“ je však rozdielna. Pre štvorcový prierez bola priemerná hĺbka zuhoľnatenia 9,4 mm, pre štvorcový prierez so zrezanými hranami 8,8 mm a pre okrúhly prierez 10,1 mm. Na obr. 8 je znázornený profil nosníkov a ich zuhoľnatenie v čase 30 min. vo vzdialenosti 600 mm od ich okraja.

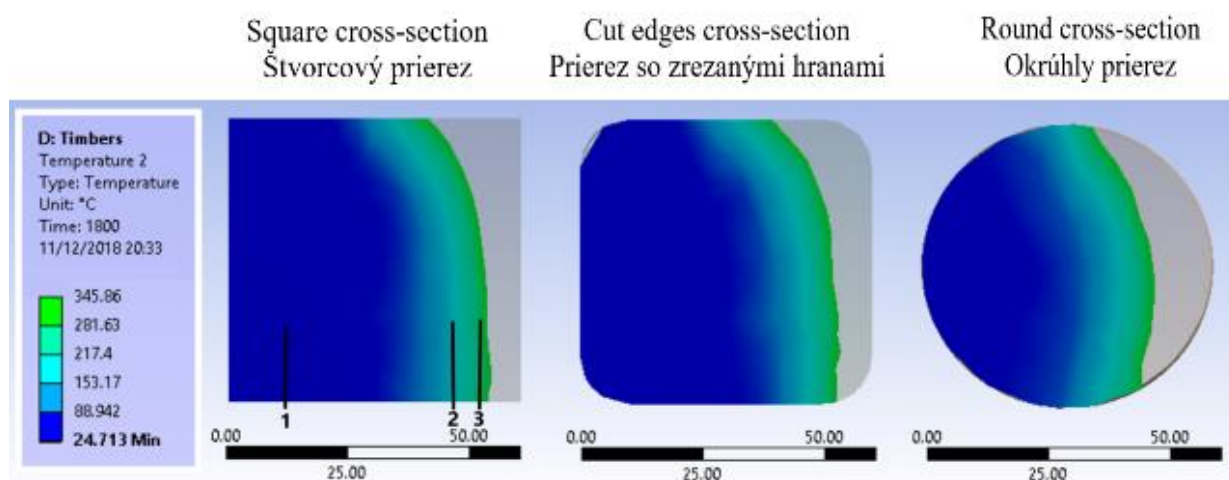


Fig. 8 Beams profile and their carbonization

Obr. 8 Profil nosníkov a ich zuhoľnatenie

The outer part on the right side of the cross section of the beams (Fig. 8) is a carbonized layer, the shape of which is different in each beam. Colored fields divide the beam exposed to the effects of fire into the following layers: the green color (number 3 in Fig. 8) shows the carbonized layer and the boundary of carbonization, the light blue color (number 2 in Fig. 8) shows the layer of pyrolysis, the dark blue color (number 1 in Fig. 8) shows thermally undamaged wood.

The degree of carbonization adversely affects the value of fire resistance of beams. In Tab. 3, there are shown the areas of the carbonized and non-degraded wood layer of the tested wood beams. An important indicator is the ratio of non-degraded and total cross-section area of the wood beam as it represents

Vonkajšia časť z pravej strany priečneho prierezu nosníkov na Obr. 8 predstavuje zuhoľnatenú vrstvu, ktorej tvar je v každom nosníku odlišný. Farebné polia rozdeľujú nosník namáhaný účinkami požiaru do nasledujúcich vrstiev: zelenou farbou (číslo 3 na Obr. 8) je znázornená zuhoľnatená vrstva a hranica uhoľnatenia, svetlomodrou farbou (číslo 2 na Obr. 8) je znázornená vrstva pyrolýzy, tmavomodrou farbou (číslo 1 na Obr. 8) je znázornené termicky nepoškodené drevo.

Miera zuhoľnatenia negatívne vplyva na hodnotu požiarnej odolnosti nosníkov. V Tab. 3 sú uvedené plochy zuhoľnatej a nedegradovanej vrstvy dreva skúmaných drevených nosníkov. Dôležitým ukazovateľom je pomer nedegradovanej a celkovej plochy prierezu dreveného nosníka, pretože znázorňuje

the area of the beam in a cross-section that is fully capable of transmitting the loading. According to the simulation, the beams with a square cross-section and with cut edges showed almost the same results. Significant difference was achieved mainly in comparison of the beams with square and round cross-section, where the rate of degradation and carbonization of the logs is higher.

plochu nosníka v priereze, ktorá je v plnej miere schopná prenášať zaťaženie. Podľa simulácie nosníky so štvorcovým prierezom a so zrezanými hranami obstáli takmer rovnako. Signifikantný rozdiel je hlavne v porovnaní štvorcového profilu a guľatiny, kde rýchlosť degradácie a zuhoľnatenia guľatiny je vyššia.

Tab. 3 Surface dimensions of non-degraded and carbonized wood layers

Tab. 3 Plošné rozmery vrstiev nedegradovaného a zuhoľnatého dreva

Beam	Total area of profile (mm ²) / Celková plocha profilu (mm ²)	Carbonized layer area (mm ²) / Plocha zuhoľnatej vrstvy (mm ²)	Non-degraded area (mm ²) / Nedegradovaná plocha (mm ²)	Share of non- degraded from total area (%) / Podiel nedegradovanej a celkovej plochy (%)
Square cross-section Štvorcový prierez	3,600	565	2,173	60.36
Square cross-section with cut edges Štvorcový prierez so zrezanými hranami	3,505	530	2,084	59.46
Round cross-section Okrúhly prierez	2,827	606	1,357	48.00

The cross-section area of the non-degraded wood affects its bearing capacity and the fire resistance value. It is because the wood loses its mechanical properties in process of its thermal degradation. Based on the results, we can state that the round shape cross-section loses its mechanical properties in the cross-section more rapidly than the square cross-section. It is because of the mass loss in the non-degraded part of the wood.

4 Discussion

Based on the results of the medium scale test, we can state that the depth of the carbonization increased depending on the shape of the sample cross-section. In the case of the square cross-section, it ranged from 7 to 9 mm in diameter. The depth of carbonization of

Plocha nedegradovaného dreva v priereze má vplyv na jeho nosnosť a hodnotu požiarnej odolnosti, a to v dôsledku toho, že drevo vplyvom tepelnej degradácie stráca svoje mechanické vlastnosti. Z výsledkov sa dá vyvodiť, že okrúhly profil stráca v dôsledku úbytku nedegradovanej časti dreva v priereze svoje mechanické vlastnosti v porovnaní so štvorcovým prierezom rýchlejšie.

4 Diskusia

Na základe výsledkov strednorozmerového testu môžeme konštatovať, že hĺbka zuhoľnatenia sa zväčšovala v závislosti na tvare prierezu vzorky. Pri štvorcovom priereze sa pohybovala v priemere od 7 – 9 mm, pri priereze so zrezanými hranami v priemere od 8,5 – 10 mm (ak neuvažujeme chybnú

cross-section with cut edges ranged in interval of 8.5 to 10 mm on average (if we do not consider the wrong sample 2) and in case of the round cross-section we recorded an average depth of carbonization in range of 15 to 19.5 mm. The depth of the carbonization layer of the square cross-section and the cross-section with the cut edges experimentally determined corresponded with the depth of carbonization $d_{char,0} = 12$ mm calculated according to STN EN 1995-1-2 [1].

The geometric shape of the material significantly influences the possibility of ignition, the rate and intensity of the burning process [15]. In the case of a rounded cross-section, in case of flame burning, the flame occurred on the opposite side of the sample from the radiation panel. For samples with cut edges cross-section, the carbonized layer was formed at rounds at the top and bottom of the sample (Fig. 6 b). For samples with sharp edges (square cross-section) we noticed flame burning and formation of the carbonized layer only on the side facing the radiation panel (Fig. 6 c). The differences in carbonization in individual samples were due to the fact that the extent of the loaded area was different in case of tested sample cross-sections, depending on their geometrical shape, while the intensity and area of radiation of the radiant heat source was not changed. The samples with rounded cross-section and the cut edges cross-section showed more intense flame burning and thus a greater depth of the carbonization layer.

The issue of the depth of the carbonized layer was also focused by Martinka et al. [16], but for its determination the authors applied different methodology. They tested the wood samples of Norway spruce and Scotch with dimensions of 100 x 100 x 50 mm. The loading of the test samples was performed with a conical calorimeter for 10, 20 and 30 min. After a predetermined time of heat loading, the test sample was extinguished and placed in a water container. The test samples were dried and cut in the center. The depth of the carbonization the authors calculated as the difference between the original cross-sectional width and the width of the residual cross-section. The authors obtained

vzorku č. 2) a pri okrúhlom priereze sme zaznamenali priemernú hĺbku zuhoľnatenia od 15 – 19,5 mm. Hĺbka zuhoľnatej vrstvy štvorcového prierezu a prierezu so zrezanými hranami zistená experimentálne je v zhode s vypočítanou hĺbkou zuhoľnatenia $d_{char,0} = 12$ mm podľa STN EN 1995-1-2 [1].

Geometrický tvar materiálu podstatne vplýva na možnosť zapálenia, rýchlosť a intenzitu procesu horenia [15]. Pri okrúhlom priereze sa pri plameňovom horení vyskytol plameň aj na odvrátenej strane vzorky od radiačného panela. Pri vzorkách so zrezanými hranami sa zuhoľnatená vrstva vytvárala pri zaobleniach na hornej aj spodnej strane vzorky (Obr. 6 b). Pri vzorkách s ostrými hranami (štvorcový prierez) sme zaznamenali plameňové horenie a tvorbu zuhoľnatej vrstvy iba na strane otočenej k radiačnému panelu (Obr. 6 c). Uvedené rozdiely v uhoľnatení boli pri jednotlivých vzorkách spôsobené tým, že veľkosť namáhanej plochy bola pri jednotlivých prierezoch vzoriek rozdielna, v závislosti od ich geometrického tvaru, pričom intenzita a plocha vyžarovania sálavého zdroja tepla sa nemenila. Pri okrúhlom priereze a zaoblených hranách vzoriek tým dochádzalo k intenzívnejšiemu plameňovému horeniu a tým aj ku vzniku väčšej hĺbky zuhoľnatej vrstvy.

Hĺbkou zuhoľnatej vrstvy sa zaoberali aj Martinka a kol. [16], avšak pre jej stanovenie autori zvolili inú metodiku. Experimentu sa podrobili skúšobné vzorky smreka obyčajného a borovice lesnej rozmerov 100 x 100 x 50 mm. Zaťaženie skúšobných vzoriek sa vykonávalo kónickým kalorimetrom po dobu 10, 20 a 30 min. Po vopred stanovenom čase tepelného namáhania bola skúšobná vzorka uhasená a vložená do nádoby s vodou. Skúšobné vzorky boli vysušené a v strede prerezané. Hĺbku zuhoľnatenia autori dostali ako rozdiel medzi pôvodnou šírkou prierezu a šírkou zostatkového prierezu. Autori dospeli k nasledovným výsledkom pre skúšobnú vzorku zo smrekového dreva (výsledky po 30 min):

- pri tepelnom toku 20 kW/m² bola

the following results for the Norway spruce wood samples (results after 30 min):

- At a thermal flow of 20 kW / m² the depth of carbonization was of 22 mm,
- At a thermal flow of 30 kW / m² the depth of carbonization was of 28 mm,
- At a thermal flow of 40 kW / m² the depth of carbonization was of 33 mm,
- At a thermal flow of 50 kW / m² the depth of carbonization was of 36 mm.

In this test [16] and our test, the same type of wood was used, the geometric shape of the test specimen, the loading time of the test sample and the heat flow (50 kW / m²). In our test, the depth of the carbonized layer for the square cross-section test sample was in range of 6 and 9 mm. Martinka et al. [16] reached the carbonized layer depth of 36 mm after 30 min. Differences in the results obtained are due to the different thermal loading of the test samples and the methods used.

The results obtained by simulation of the medium-scale test confirmed the results achieved in the experiment. Although the depth of carbonization in case of the round cross-section reached lower value (10.1 mm) compared to the depth of carbonization achieved by the test (15 - 19.5 mm), the share of the non-degraded and the total cross-section profile area of the round cross-section was 48%, i.e. the lowest value of the tested samples.

Fonseca and Barreira [17] assessed the depth of carbonization by experimental and numerical methods. For the numerical method, they chose the Ansys program, which they described as a program for analyzing the behavior of wooden elements that are loaded by high temperatures. In the experimental method, 9 samples had undergone the thermal loading. During the experiment, the temperature course was measured at five points of the test sample (10, 20, 30, 50 and 250 mm far from the exposed side). The authors divided the samples into the zone of the carbonized layer, the pyrolysis zone and the non-degraded wood, and came to the following conclusions:

- At a distance of 10 mm from the exposed side, after 33 min, a carbonized layer is formed with a characteristic temperature of 700-800 ° C (until the experiment is completed),
- At a distance of 20 mm from the exposed side, a carbonized layer is

hĺbka zuhoľnatenia 22 mm;

- pri tepelnom toku 30 kW/m² bola hĺbka zuhoľnatenia 28 mm;
- pri tepelnom toku 40 kW/m² bola hĺbka zuhoľnatenia 33 mm;
- pri tepelnom toku 50 kW/m² bola hĺbka zuhoľnatenia 36 mm.

Pri tomto teste [16] a našom teste bol totožný druh dreveniny, geometrický tvar skúšobnej vzorky, doba namáhania skúšobnej vzorky a tepelný tok (50 kW/m²). V našom teste bola hĺbka zuhoľnatej vrstvy pre skúšobnú vzorku s ostrými hranami medzi 6 – 9 mm. Martinka a kol. [16] dosiahli po 30 min. hĺbku zuhoľnatej vrstvy až 36 mm. Diferencie v dosiahnutých výsledkoch sú v dôsledku rozdielneho tepelného namáhania skúšobnej vzorky a v použitých metodikách.

Výsledky dosiahnuté simuláciou strednorozmerového testu potvrdili výsledky dosiahnuté experimentom. Aj keď hĺbka zuhoľnatenia pri okrúhlym priereze dosiahla simuláciou nižšiu hodnotu (10,1 mm) v porovnaní s hĺbkou zuhoľnatenia dosiahnutou testovaním (15 – 19,5 mm), podiel nedegradovanej a celkovej plochy priečneho profilu okrúhleho prierezu bol 48 %, čiže najnižšia hodnota z testovaných vzoriek.

Fonseca a Barreira [17] posudzovali hĺbku zuhoľnatenia prostredníctvom experimentálnej a numerickej metódy. Pre numericke metódy zvolili program Ansys, ktorý popísali ako program pre analýzu správania sa drevených prvkov, ktoré sú namáhané vysokými teplotami. Pri experimentálnej metóde sa 9 skúšobných vzoriek podrobilo tepelnému namáhaniu. V priebehu experimentu sa sledovali teplotné priebehy v piatich bodoch skúšobnej vzorky (10, 20, 30, 50 a 250 mm od exponovanej strany). Autori rozdelili jednotlivé vzorky do zóny zuhoľnatej vrstvy, zóny pyrolýzy a neporušeného dreva a dospeli k nasledovným záverom:

- vo vzdialenosti 10 mm od exponovanej strany sa po 33 min vytvorí zuhoľnatená vrstva a je pre ňu charakteristická teplota 700-800 ° C (až do ukončenia experimentu),
- vo vzdialenosti 20 mm od exponovanej strany sa po 42 min vytvára zuhoľnatená vrstva, pričom teplota v tomto mieste po 60 min. je 400-600 °C,

formed after 42 min, a carbonized layer is formed, while the temperature in this place is in range of 400 – 600 °C after 60 min,

- At a distance of 30 mm from the exposed side, there is no carbonized layer formed, the temperature is less than 300 °C,
- At a distance of 250 mm from the exposed side, there is the thermally non-degraded wood. The temperature in this place is 16 °C after 60 min.

These results correspond to the results introduced in Fig. 8, according to which the temperature at a distance of 30 mm from the exposed side of the square cross-section and the cross-section with the cut edges was in range of 24.7 °C to 88.9 °C. In case of the round cross-section the temperature was of 153.17 °C - 281 °C.

Conclusions

The results of the measurements and calculations confirmed that the geometric shape of the cross-section of the wooden bearing elements (beams, bearers, ceilings) affects the depth of the carbonized layer. The carbonized layer detected by the medium-scale test for the individual cross-section shapes of the wood beams corresponded to the calculated values according to STN EN 1995-1-2 [1], with the exception of the round cross-section, where the depth of carbonization was about 5.5 mm higher on average. These results were also confirmed by simulation of the medium-scale test in the Ansys 18.1 program. The carbonized layer of the beam with square cross-section and of beam with cut edges cross-section had approximately the same depth. The round cross-section beam also reached the highest depth of carbonization, although lower than in the experiment. The fact that the round cross-section of the wood beams is the most vulnerable to the formation of the carbonized layer, also confirmed the results of the evaluation of the non-degraded and the total area of the tested samples transverse profile. According to the simulation, the beams with a square cross-section and the cut edges cross-section reached the share of 60%, while the round cross-section of about 12% lower, indicating that the degradation and carbonization of the log is faster.

- vo vzdialenosti 30 mm od exponovanej strany nedochádza k vytvoreniu zuhoľnatej vrstvy, teplota je pod 300 °C,
- vo vzdialenosti 250 mm od exponovanej strany je termicky nedegradované drevo, teplota v tomto mieste po 60 min. je 16 °C.

Uvedené výsledky korešponujú s výsledkami podľa Obr. 8, podľa ktorého teplota vo vzdialenosti 30 mm od exponovanej strany štvorcového prierezu a prierezu so zrezanými hranami sa pohybuje od 24,7 °C – 88,9 °C. Pri okrúhlym priereze je to 153,17 °C – 281 °C.

Záver

Výsledky vykonaných meraní a výpočtov potvrdili, že geometrický tvar prierezu drevených nosných prvkov (nosníkov, trámov, stropníc) má vplyv na hĺbku zuhoľnatej vrstvy. Zuhoľnatá vrstva zistená strednorozmerovým testom pre jednotlivé tvary prierezu drevených nosníkov zodpovedala vypočítaným hodnotám podľa STN EN 1995-1-2 [1], s výnimkou okrúhleho prierezu, pri ktorom vznikla hĺbka zuhoľnatia v priemere o 5,5 mm vyššia. Uvedené výsledky sa potvrdili aj simuláciou strednorozmerového testu programom Ansys 18.1. Zuhoľnatá vrstva nosníka so štvorcovým prierezom a so zrezanými hranami mala približne rovnakú hĺbku, okrúhly prierez dosiahol aj v tomto prípade najvyššiu hĺbku zuhoľnatia, aj keď nižšiu ako pri experimente. Skutočnosť, že okrúhly prierez drevených nosníkov je na tvorbu zuhoľnatej vrstvy najzraniteľnejší, potvrdili aj výsledky vyhodnotenia podielu nedegradovanej a celkovej plochy priečneho profilu skúmaných vzoriek. Podľa simulácie nosníky so štvorcovým prierezom a so zrezanými hranami dosiahli uvedený podiel 60 %, pričom okrúhly prierez o 12 % nižší, z čoho vyplýva, že degradácia a zuhoľnatie guľatiny prebieha rýchlejšie.

Dosiahnuté výsledky ukázali, že pri navrhovaní konštrukčných prvkov drevostavieb na účinky požiaru je potrebné klásť väčší dôraz na nosné prvky z guľatiny, pretože sú náchylnejšie na plameňové horenie a na tvorbu zuhoľnatej vrstvy a tým aj na stratu svojich mechanických vlastností.

The results obtained have shown that when designing structural elements of timber structures for the effects of fire, greater emphasis has to be placed on the bearing elements made of logs because they are more vulnerable to flame burning and to the formation of the carbonization layer and thus to the loss of its mechanical properties.

Acknowledgement

This work was supported by Slovak Research and Development Agency based on the Agreement no. APVV-17-0005 (40 %) and VEGA and KEGA Grant Agencies of the Ministry of Education, Science, Research and Sport of the Slovak Republic and Slovak Academy of Sciences under the projects VEGA 1/0493/18 (40 %) and KEGA 009TU Z-4/2017 (20%).

References / Literatúra

- [1] STN EN 1995-1-2: 2008: Eurokód 5: Navrhovanie drevených konštrukcií. Časť - 2: Všeobecné pravidlá. Navrhovanie konštrukcií na účinky požiaru / Eurocode 5: Design of timber structures. Part 1-2: General. Structural fire design.
- [2] Čabalová, I., Kačík, F., Kačíková, D., Oravec, M. 2013. Vplyv sálavého ohrevu na chemické zmeny smrekového dreva / The influence of radiant heating on chemical changes of spruce wood. Acta Facultatis Xylogologiae. 55(2):59-66.
- [3] Kučera, P., Česelská, T., Matečková, P., 2010. Požární odolnost stavebních konstrukcí / Fire Resistance of Building Constructions. SPBI.
- [4] Osvald, A. 2011. Drevostavba ≠ požiar / Timber Structure ≠ Fire. Technická univerzita vo Zvolene .
- [5] Leško, R., Lopušniak, M. 2015. Požiarna odolnosť drevených prvkov a konštrukcií viacpodlažnej budovy stanovená podľa Eurokódu 5 / Fire resistance of timber elements and structures in multi-storey building determined by Eurocode 5. Acta Facultatis Xylogologiae Zvolen 57(2):135-144.
- [6] Vavrušková K., Lokaj A. 2009. Požární odolnost dřevěných konstrukcí / Fire Resistance of Wooden Constructions. Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava 1:25-30.
- [7] Kuklík, P. 2005. Dřevěné konstrukce / Wooden Constructions. ČKAIT.
- [8] Štefko, J., Reinprecht, L., Kuklík, P. 2006. Dřevěné stavby. Konstrukce, ochrana a údržba / Timber Structures. Constructions, Protection and Maintenance. 2nd ed. Jaga group.
- [9] Koželouh, B., 1998. Dřevěné konstrukce podle Eurokódu 5. Step 1. Navrhování a konstrukční materiály / Wooden Constructions in terms of Eurocode 5. Step 1. Design and Construction Materials. KODR, Ing.Koželouh.
- [10] Blass, H. J. 1995. Timber engineering: STEP 1: Basis of design, material properties, structural components and joints. Centrum Hout, 1995.
- [11] König, J.: 2004. Structural fire design according to Eurocode 5 – design rules and their background. Fire and Materials 29:147-163.
- [12] Buchanan, A. H. 2001. Structural design for fire safety. John Wiley & Sons.
- [13] Tereňová, L. 2007. Súčasná drevostavba z hľadiska protipožiarnej bezpečnosti / The existing wooden buildings in terms of fire safety. Delta 1(2):30-33.

Pod'akovanie

Táto práca bola podporená Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-17-0005 (40 %). Táto práca bola podporovaná Grantovou agentúrou MŠVVaŠ SR a SAV “VEGA č. projektu 1/0493/18” (40 %) a “KEGA č. projektu 009TU Z-4/2017” (20%).

[14] Kačíková, D. 2011. Porovnanie hmotnostných úbytkov, rýchlosti odhorievania a hrúbky zuhoľnatej vrstvy pri termickej degradácii vybraných ihličnatých drevín / Comparison of the weight loss, the rate of degradation and the thickness of the char layer in the thermal degradation of selected coniferous trees. Kolokvium 2011: Zborník príspevkov ku grantovým úlohám VEGA [CD-ROM] 1:93-97.

[15] Osvald, A. 1997. Požiarnotechnické vlastnosti dreva a materiálov na báze dreva / Fire and technical properties of wood and wood-based materials. Technická univerzita vo Zvolene.

[16] Martinka, J., Rantuch, P., Liner, M. 2018. Calculation of charring rate and char depth of spruce and pine wood from mass loss. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry 132:1105-1113.

[17] Fonseca, E.M.M., Barreira, L.M.S. 2009. Charring rate determination of wood pine profiles submitted to high temperatures. Safety and security engineering 3:449-457.

[18] ANSYS Inc. 2013. ANSYS Mechanical APDL Thermal Analysis Guide.

Guide to Authors

The Authors guarantee that the paper is original and fully in correspondence with the scope of the *ΔDelta* journal. They are also responsible for the language, terminological and metrological consistency of their papers. Both American and British usage is accepted, but not a mixture of these.

The **Corresponding author** must be familiar with the *ΔDelta* journal's publication ethics. He is solely responsible for communication with the journal and managing communication between the co-authors.

The scientific papers are reviewed by a minimum of two reviewers.

All papers are subject to proof-reading. The editors will require authors to modify the text in the light of the recommendations made by reviewers and they reserve the right to suggest text improvements.

Paper submitting

The Authors should upload their submission directly to the *ΔDelta* journal editorial system website. To submit your paper, use the following link: <http://194.160.170.33/index.php/delta>

Paper text formatting

The papers submitted shall consist of no more than 10 A4 sheets including both language mutation of the paper, tables and figures. To write your paper, use the Delta journal paper template. Longer papers should be separated to two or more parts.

Proof-reading process

Before publishing, the paper will be sent to the author for revisions accepting all the reviewer's requirements and recommendations. The revised paper, together with the list of corrections made and the subscribed form for the transfer of copyrights from the author to the publisher, should be sent back to the Editor's Office in specified time.

Offprints

Corresponding author will receive 1 print copy of the journal on request. The electronic form of the journal is published at the journal website.

Pokyny pre autorov

Autori zodpovedajú za originalnosť článku a jeho súlad so zameraním časopisu *ΔDelta*. Autori sú zodpovední aj za jazykovú, terminologickú a metrologickú konzistenciu svojich článkov. Akceptovaná je britská aj americká angličtina, avšak nie ich kombinácia..

Korešpondujúci autor je povinný oboznámiť sa s etikou publikovania časopis u *ΔDelta*. Je výhradne zodpovedný za komunikáciu s časopisom a so spoluautormi.

Vedecké články sú recenzované minimálne dvomi recenzentmi.

Všetky články podliehajú dodatočným úpravám. Redakcia od autorov vyžaduje, aby upravili text na základe odporúčaní recenzentov a vyhradzuje si právo navrhovať vylepšenie textu.

Podanie článku

Autori nahrávajú svoje príspevky priamo na webovú stránku redakčného systému časopisu *ΔDelta*. Pre podanie článku použite nasledovný link: <http://194.160.170.33/index.php/delta>.

Formátovanie textu článku

Rozsah článku je najviac 10 strán, a to vrátane oboch jazykových mutácií článku (anglický jazyk a materinský jazyk prvého autora), tabuliek a obrázkov. Pre písanie článku použite šablónu pre písanie príspevkov časopisu *ΔDelta*. Dlhšie príspevky je potrebné rozdeliť na dve alebo viac pokračujúcich častí.

Ďalšie úpravy článku

Príspevok bude pred zverejnením zaslaný autorovi na kontrolu a opravu v zmysle požiadaviek recenzentov. Opravený príspevok, spolu so zoznamom (popisom) vykonaných opráv a vyplneným a podpísaným formulárom obsahujúcim súhlas s prevodom autorských práv od autora na vydavateľa, je potrebné poslať späť do redakcie v stanovenom termíne.

Autorské výtlačky

Korešpondujúci autor obdrží na požiadanie jednu tlačенú kópiu časopisu. Elektronická forma časopisu je zverejnená na webovej stránke časopisu.

