

# MANAŽOVANIE EVAKUÁCIE V HISTORICKÝCH BUDOVÁCH PRI POUŽITÍ SYSTÉMOV SO ZNÍŽENÍM OBJEMU KYSLÍKA

## MANAGING EVACUATION IN HISTORIC BUILDINGS USING THE SYSTEMS WITH A REDUCTION VOLUME OXYGEN

Milan ORAVEC, Martin LOPUŠNIAK, Kateřina TOMANOVÁ  
milan.oravec@tuke.sk, martin.lopusniak@tuke.sk, katerina.tomanova.st@vsb.cz

### Abstract

*The paper highlights the problem of fire evacuation in historic buildings using oxygen reduced oxygen systems. By using fire suppression systems, evacuation time can be prolonged and depends only on human response to a reduced oxygen concentration. When deploying fire suppression systems, it is necessary to define the limit values of oxygen concentration for humans, taking into account the development of the fire. Wood and textiles in historic buildings are both a building and an interior element, and they make up a substantial portion of the fuel in a fire in historic buildings.*

### Key words

*Historical buildings, material composition of building equipment, reduced oxygen concentration, evacuation.*

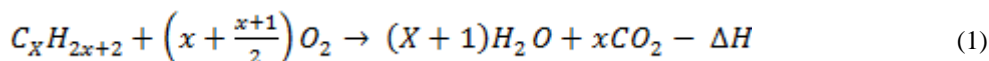
## 1 Úvod

Stabilné hasiace zariadenia pre potlačenie požiaru na báze zníženia obj. % O<sub>2</sub> v atmosfére sa používajú prevažne v historických budovách a depozitoch, kde požiar môže spôsobiť rozsiahle straty. Skúmaný bol systém na báze zníženia obj. % O<sub>2</sub> v atmosfére priestoru evakuácie. Pri použití zariadenia dochádza k potláčaniu horenia. Evakuácia osôb v týchto podmienkach je obmedzená len reakciou organizmu na znížené obj. % O<sub>2</sub> v atmosfére priestoru evakuácie. Nasadenie systémov so znížením koncentrácie O<sub>2</sub> nedevastuje vybavenie budov a archívy tak, ako vodné systémy pri likvidácii požiaru. Takéto systémy umožňujú predĺženie času evakuácie osôb.

Pre vytvorenie Plánu evakuácie v historických budovách je nutné poznať:

### - *fyzikálno-chemické základy požiaru v historických budovách*

Pri horení v zmysle rovnice 1 je uvoľnená energia z reakčnej zóny, spôsobuje pyrolýzu a odparovanie spáleného materiálu. Pri pyrolýznom rozklade sa štruktúra paliva mení a produkujú sa toxické produkty horenia. V prípade úplnej oxidácie uhlíkovodíkov, rovnica 1, sa vytvára len oxid uhličitý a voda. Takýto prípad je len teoretický.



Druhým hraničným prípadom je stav, kedy nedochádza k horeniu, druhý člen rovnice 1 neexistuje, t.j. koncentrácia O<sub>2</sub> je tak nízka, že nedochádza k horeniu. Medzi týmito stavmi prebieha reálne horenie.

Šírenie sa požiaru v uzatvorených priestoroch [13] [13] prebieha v 4 etapách. Počiatočná, narastajúca etapa, plne rozvinutý požiar, zánik. Teplotné pomery a degradácia dreva

pri požiare je opísaná napr. v [8] [8]. Drevo vystavené teplotám do 100 °C nevykazuje zmeny. Sušenie (dehydratácia) vzorky nastáva od 100 °C. Termický rozklad dreva nastáva pri 220 °C. Zvyšovaním teploty na 250–270 °C dochádza k sekundárnemu rozkladu základných stavebných látok dreva. V [11] je konštatované, že termická odolnosť dreva je závislá od množstva lignínu v dreve. Na základe toho, dubové drevo má vyššiu termickú odolnosť ako smrekové.

#### - ***miesta a príčiny požiarov v historických budovách***

Požiare v historických budovách boli identifikované v podkrovi, strešných nosníkoch, vežiach, v medzistropnom priestore. Následne to boli otvorené drevené schodištia. Z analýz požiarov v historických budovách je zrejmé, že sú spôsobené hlavne elektrickými inštaláciami, ich poškodením, káblami a zariadeniami v drevených falošných stropoch, podlahách. Ďalšou príčinou sú vykurovacie telesá uložené v blízkosti drevených a textilných prvkov historických budov. Následne vykurovacie krby s otvoreným ohňom a komíny.

Percentuálne zastúpenie príčin požiarov v Nemecku v období 1949–2005 [7], je 18,2% podpaľáčstvo, 15 % elektrické zariadenia, 11,3 % pece, krby, 9,5 % nedbalosť, 8,7 % práce na streche a v budove s otvoreným ohňom, 2,9 % úder blesku, 1,6 % horiace sviečky, 1,3 % technické zariadenia, 1,1 % susedné budovy, 5,6 % zvláštne, 24,8 % neznáme.

Výsledkom analýzy požiarov v historických budovách v ČR bolo zistenie, že 58 % objektov je vystavených vysokému riziku, 29 % strednému a nízkemu riziku 13 %. Zistenie bolo podľa internej metodiky HZS ČR [6]. Príčiny týchto požiarov boli technické závady 39,6 %, nedbalosť 30,09 %, úmyselné zapálenie 18,9 %, komíny 4,11 %, mimoriadne príčiny 2,78 %, výhrevné zariadenia 1,8 %, deti do 15 rokov 1,66 %, ostatné 1,85 %.

Väčšina požiarov v historických budovách je v priestoroch s drevenými a textilnými prvkami.

#### - ***časové horizonty prejavov zníženej koncentrácie kyslíka na ľudský organizmus***

Normobarická a hypobarická hypoxia [14] sa porovnáva jednoduchým prepočtom. Pätnásť percentná koncentrácia O<sub>2</sub> na hladine mora (normobar) zodpovedá parciálnemu tlaku O<sub>2</sub> v nadmorskej výške 2700 m (hypobarická). Trinásť percentná koncentrácia O<sub>2</sub> na hladine mora zodpovedá výške 3850 m. Takéto koncentrácie sú vytvárané protipožiarnymi systémami na potlačenie požiaru za normálneho atmosférického tlaku. Ako hypobarická, tak normobarická hypoxia vedie k zníženiu parciálneho tlaku O<sub>2</sub> v krvi a k zníženiu saturácie O<sub>2</sub>. Pre existenciu človeka v zasiahnutom priestore je rozhodujúci percentuálny podiel O<sub>2</sub> vo vdychovanom vzduchu, ako aj parciálny tlak O<sub>2</sub> v krvi v organizme.

Účinky deficitu O<sub>2</sub> na organizmus [14], [16] sú rôzne. V literatúre sa nachádzajú informácie výlučne o hypobarických príznakoch, nie prípady normobarického prostredia, ako je to bežné v zariadeniach na redukcii O<sub>2</sub>. Údaje [5], [9], [12] poukazujú, že symptómy vystavenia hypoxii sa objavia počas prvých 24 hodín. Dôsledky vystavenia hypoxii sa objavia už v čase 6–12 hodín od začiatku vystavenia hypoxii, sú opísané v [9], [17]. Údaje uvedené v [5], [9], [12], [17] poukazujú na prejavy vystavenia hypoxii počas prvých 24 hodín. Rozchádzajú sa názory na dobu, do ktorej je návrat k pôvodnej funkcionalite človeka. Prejavy hypoxie závisia od rýchlosti rozvoja, trvania a formy hypoxie, citlivosti organizmu. Okamžitými prejavmi na hypoxiu je cyanóza, dýchavičnosť, otupenie pozornosti.

#### - ***poznatky z modelovania a realizovania evakuácie***

Poznatky získané pre účel podkladov pre Plán evakuácie sa verifikovali simulovanou evakuáciou v štvorpodlažnej budove morfológicky podobnej historickej budove. Plán evakuácie

priniesol poznatky o konaní a pohybe osôb [10] v podmienkach cvičnej evakuácie. Zistilo sa, že evakuačné testy je potrebné vykonávať s rôznymi vekovými skupinami, s rôznym zastúpením mužov, žien. Lokálne prekážky spôsobovali výrazné predĺženie času evakuácie. Pohyb detí predškolského veku, osôb s postihnutím a pod. výrazne ovplyvnil čas evakuácie. Pri zadymení priestoru bol čas evakuácie predĺžený o 41 % a viac pre jednotlivé scenáre. Čas evakuácie ovplyvnilo nielen zadymenie, ale aj lokalizácia priestoru s ohľadom na evakuačné cesty.

Výsledky testov evakuácie potvrdili nutnosť poznania konkrétneho požiarneho zaťaženia na únikovej ceste.

## 2 Postupnosť krokov k vytvoreniu plánu evakuácie v historických budovách

Pre poznanie kauzality potrebnej k minimalizovaniu strát v procese evakuácie je nutné poznať správanie sa tepelne namáhaných vzoriek dreva a textílií, možnosti organizmu vystaveného koncentráciám so zníženým percentom O<sub>2</sub>. Opis krokov pre vytvorenie charakteristík paliva v historických budovách je v Tabuľke 1.

Tabuľka 1

Postupnosť krokov pre získanie podkladov pro vytvorenie Plánu evakuácie

P. č.	Krok	Opis	Poznámka
1	Výber vzorky paliva	Drevo smrek, borovica, smrekovec Textílie bavlna, ľan	S ohľadom na zloženie historických budov. Definovanie charakteristických materiálov tvoriacich palivo pre požiar
2	Sušenie	Dehydratácia vzorky	Príprava vzoriek. Reakcia vzoriek na požiarne zaťaženie
3	Definovanie sledovaných parametrov	Meranie vybraných požiarnych parametrov (vrátane hmotnosti, hustoty, vlhkosti)	Závislosť % úbytku pri príslušnej koncentrácii. Správanie sa vzoriek pri zníženom % obj. O <sub>2</sub>
4	Vykonanie testov charakterizujúcich potenciálne scenáre požiaru	Meranie veličiny teplota, tlak, rel. vlhkosť, koncentrácia O <sub>2</sub>	Meranie za účelom preukázania sledovanej kauzality
		Vystavenie vzorky tepelnému zaťaženiu	Tepelné zaťaženie vzoriek bolo podľa EN 1363-2 [3]. Vzorky boli vystavené tepelnému zaťaženiu 50 Kmin <sup>-1</sup> .
5	Vyhodnotenie	Analýza straty hmotnosti pri rôznych koncentráciách O <sub>2</sub> snímanie teploty vznietenia	Sledovanie časov rozvoja požiaru pre jednotlivé látky pre účel evakuácie. Sledovanie teplotných pomerov v čase za účelom evakuácie
6	Vytvorenie podkladov z meraní pre Plán evakuácie	Tepelné a časové dáta pre Plán evakuácie	Parametre požiaru charakteristických látok v historických budovách
7	Správanie sa človeka pri evakuácii	Správanie sa človeka pri zníženom % obj. O <sub>2</sub>	Definovanie rozsahov s rovnakými prejavmi hypoxie

Pokračovanie tabuľky 1

8	Porovnanie parametrov požiaru a správania sa človeka	Zohľadnenie správania sa človeka pri vystavení hypoxii a správania sa paliva pri zníženom obj. % O <sub>2</sub>	Porovnanie časových parametrov za účelom evakuácie
9	Vytvorenie limitných hodnôt pre Plán evakuácie pre konkrétnu budovu	Každá budova je špecifická nie len priestorovým usporiadaním ale aj zložením vnútorného vybavenia budovy	

Kroky 1–6 poukazujú na možnosti šírenia sa požiaru. Sú to charakteristické parametre tvoriace palivo v konkrétnom priestore historickej budovy. Krok 7 charakterizuje človeka a jeho možnosti v priestore so zníženým % obj. O<sub>2</sub>. Kompromis a druh priestoru, v ktorom sa má vykonať evakuácia, je v krok 8. V priestoroch archivov, kde sa nenachádza človek, je možné rýchlo znížiť koncentráciu O<sub>2</sub> okamžite po identifikovaní požiaru. Priestor, v ktorom sa vyskytnú ľudia, je nutné riešiť s ohľadom na časové horizonty plynúce z rozvoja požiaru a možnosti človeka dýchať atmosféru so zníženým % O<sub>2</sub>. Krok 9 je vytvorenie limitných úrovní pre obj. % O<sub>2</sub> pre konkrétnu budovu, priestory historickej budovy.

Pre skúmanie požiarneho správania vybraných materiálov v historických budovách sa použili vzorky dreva a textílií. Vzorky dreva boli v zmysle DIN 52180 [2]. Vlastnosti vybraných drevených vzoriek sú v Tabuľke 1.

Tabuľka 1  
Parametre vybraných drevín [15]

Vzorka - materiál	Smrek <i>Picea abies</i>	Borovica <i>Pinus sylvestris</i>	Smrekovec opadavý <i>Larix decidua</i>
Kritérium pre voľbu skúšky	Nosné časti konštrukcie	Nosné časti konštrukcie	Najpevnějšíe konštrukčné prvky pre vonkajšie prostredie
Priemerná hustota	450 kg.m <sup>-3</sup>	500 kg.m <sup>-3</sup>	550 kg.m <sup>-3</sup>
% celulózy	41%	45%	34%
% polyózy	25%	21%	13%
% lignínu	30%	29%	30%

V Tabuľke 2 sú charakteristické parametre vzoriek bavlny a ľanu, ktoré sú používanými textíliami v historických budovách.

Tabuľka 2  
Parametre vybraných textílií [15]

Vzorka - materiál	Bavlna <i>Gossypium hirsutum</i>	Ľan <i>Linum usitatissimum</i>
Kritérium pre voľbu skúšky	veľmi vysoká pevnosť v ťahu, izolačné vlastnosti	prvky interiéru
Priemerná hustota	20–60 kg.m <sup>-3</sup>	20–80 kg.m <sup>-3</sup>
% celulózy	91%	71%

## 2.1 Meracie zariadenie

Väčšina meraní sa realizuje v maloobjemových zariadeniach v laboratóriách. Pre približenie k realite bolo zvolené veľkoobjemové zariadenie s príslušným vybavením [15]. Skúšobňa má výšku miestnosti vrátane vyvýšenej podlahy 4,02 m. Zvýšená výška podlahy je 0,25 m. Podlaha má rozmer 5,85 x 8,30 m. Prívod dusíka bol regulovaný s možnosťou prietoku do 125 m<sup>3</sup>h<sup>-1</sup>. Z okolitého vzduchu sa pomocou kompresora privádzal trvalo stlačený vzduch s hodnotou 10 barov a viac. Aby sa dosiahlo optimálne miešanie vzduchových vrstiev, počas trvania experimentov sa použil ventilátor vzduchu. Tesnosť testovacej miestnosti sa udáva ako 0,34 h<sup>-1</sup>. Meranie sa realizovalo v 12 meracích bodoch priestoru, uvedených v Tabuľke 3.

Tabuľka 3  
Poloha snímačov v skúšobnom priestore [15]

Označenie	x[m]	y[m]	z[m]	Meraná veličina
M1	4,15	2,93	0,15	hmotnosť vzorky
T2	4,15	2,93	0,25	teplota iniciačného zdroja
T3	4,15	2,92	0,25	teplota vzorky
T4	4,15	2,94	0,25	teplota vzorky
T5	4,15	2,93	0,27	teplota vzorky
T6	4,15	2,93	3,34	teplota okolia (skúšobný priestor)
T7	4,15	3,73	0,68	teplota okolia (skúšobný priestor)
C8	3,35	2,93	3,34	obj. % O <sub>2</sub>
C9	3,35	2,93	0,68	obj. % O <sub>2</sub>
C10	3,35	2,93	0,38	obj. % O <sub>2</sub>
H11	4,15	2,93	3,34	relatívna vlhkosť
P12	5,30	5,75	1,0	tlak

## 2.2 Kontinuálne meranie úbytku hmotnosti a obj. % kyslíka

Najčastejšie používanou metódou pre meranie úbytku hmotnosti je jednorazové meranie hmotnosti na začiatku experimentu a na konci experimentu. Komplexnejšou metódou je nepretržité meranie straty hmotnosti počas tepelného zaťaženia. Pre experiment sa realizovala metóda uvedená v [1] v [13] a upravená na základe vykonaných meraní [15]. Pri všetkých pokusoch, ktoré sa realizovali, sa vyhodnotili výsledky obidvoma postupmi uvedenými vyššie. Realizovali sa merania pri koncentráciách 20,9, 17, 15, 13 obj. % O<sub>2</sub>. Experimenty sa realizovali pre teplotné gradienty 5 Kmin<sup>-1</sup>, 10 Kmin<sup>-1</sup>, 20 Kmin<sup>-1</sup> a 50 Kmin<sup>-1</sup> do teploty 600°C. Meranie sa ukončilo, keď zostatková hmotnosť bola konštantná počas piatich minút. Teplota sa zaznamenávala každých 10 sekúnd.

## 3 Výsledky meraní a zistení

### 3.1 Časy vzplanutia analyzovaných vzoriek

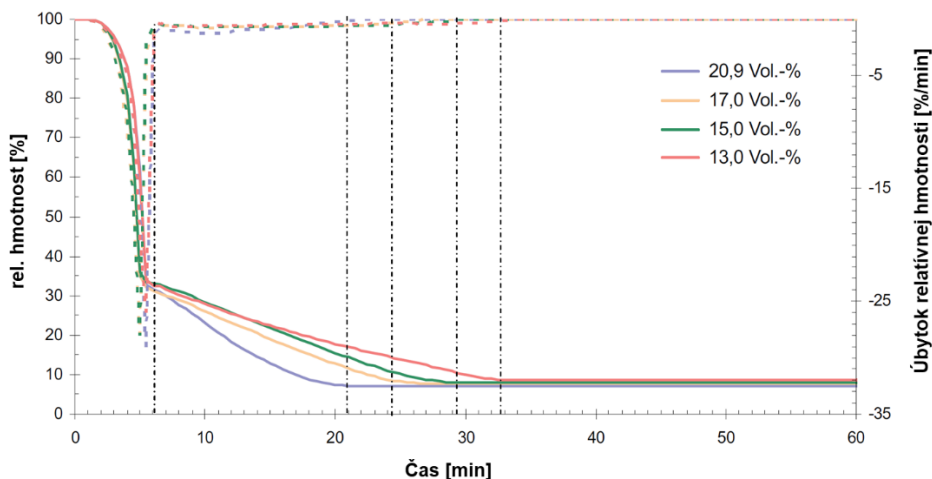
Z meraní vyplýva, že odchýlky v čase vzplanutia vzoriek vystavených tepelnej záťaži sú vo všetkých piatich experimentoch takmer podobné. Smrek, borovica, smrekovec, bavlina

a ľan sú prírodné suroviny na báze celulózy, ktoré sú prirodzene veľmi nehomogénne. Rozdiely medzi jednotlivými testovanými vzorkami sú však vyššie ako rozdiely medzi umelými materiálmi vyrobenými za presne definovaných technických podmienok. Vzorky boli vystavené tepelnej záťaži  $50 \text{ Kmin}^{-1}$ .

U smreka bol zistený priemerný čas do vzplanutia 14,8 min s rozptylom 1 min, u borovice 16,1 min s rozptylom 1,2 min u smrekovca 17,9 min s rozptylom 1 min. Pre textilné vzorky to boli výrazne kratšie časy, pre bavlnu 3,4 min s rozptylom 10 sek. a pre ľanové vzorky 3,9 min s rozptylom 10 sek.

### 3.2 Vplyv koncentrácie kyslíka v atmosfére a na požiarne správanie sa skúšobných vzoriek

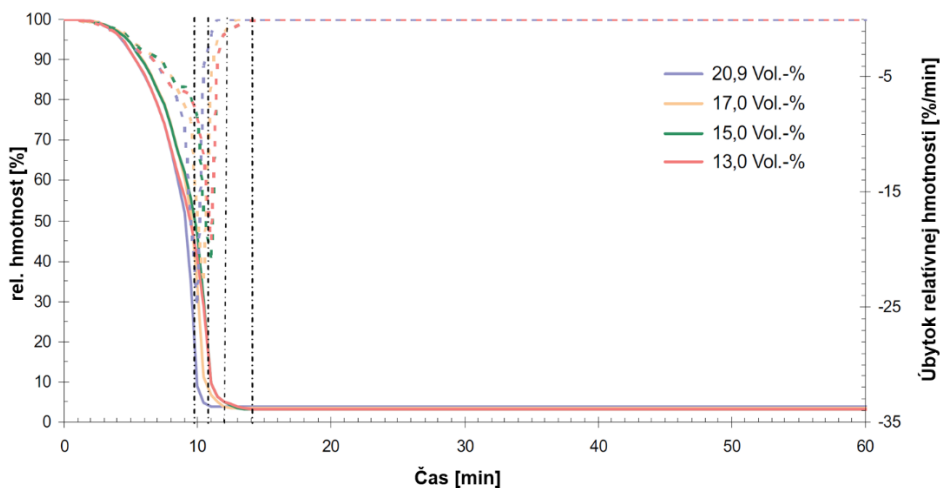
S cieľom detailnejšieho skúmania vplyvu zníženia koncentrácie obj. %  $\text{O}_2$  na správanie sa skúšobných vzoriek pri požiari sa uskutočnila séria meraní s tepelným zaťažením  $50 \text{ Kmin}^{-1}$  pri rôznych koncentráciách obj. %  $\text{O}_2$ . Na Obrázku 1 je zobrazený priebeh straty relatívnej hmotnosti vzoriek smrekového dreva v závislosti na obj. %  $\text{O}_2$ . Toto meranie bolo za účelom preukázania najnižšej hodnoty koncentrácie, kedy dôjde k potlačeniu horenia.



Obrázok 1  
Závislosť úbytku relatívnej hmotnosti smrekovej vzorky v čase při definovanom obj. %  $\text{O}_2$  – [15]

Z výsledkov meraní, Obrázok 1, vyplýva, že vplyv rôznych obj. %  $\text{O}_2$  v skúšobnej atmosfére spôsobuje nárast celkovej reakčnej doby. Ak sa koncentrácia zníži z 20,9 obj. %  $\text{O}_2$  na 13,0 obj. %  $\text{O}_2$ , celkový čas reakcie na tepelné zaťaženie pri smrekovej vzorke sa zvýši o 48,7 %, u borovice o 47,3 % a u smrekovca o 53,3 %. Fáza sušenia a splynenia nie je tak silne ovplyvnená znížením obj. %  $\text{O}_2$ . Pri vzorkách smreku sa fáza sušenia zmení o 5,6 % a fáza splynenia o 10,0 %. Pre vzorky borovice sa fáza sušenia mení o 7,7 % a fáza splynenia o 11,4 %. U vzoriek smrekového dreva sa fáza sušenia zmenila o 6,5 % a fáza splynenia o 7,8 %. Namerané % úbytky hmotnosti vzoriek je relatívne podobné pri všetkých pokusoch s rôznymi koncentráciami s hodnotami medzi 5,9 % pre smrek a 9,0 % pre borovicu. Pri znížení obj. %  $\text{O}_2$  sa výrazne predlžuje čas vzplanutia. V prípade vzoriek smreka sa zvýšila čas do

vzplanutia o 68,9 %, u borovicových vzoriek o 67,1 % a u vzoriek smrekovca o 79,9 %. Obdobné zistenia boli pri textíliách, Obrázok 2.



Obrázok 2

*Závislosť úbytku relatívnej hmotnosti ľanovej vzorky v čase pri definovanom obj. % O<sub>2</sub> [15]*

Skúšky s bavlnou a ľanou tiež poukazujú na skutočnosť, že zníženie obj. % O<sub>2</sub> spôsobuje predĺženie reakčného času. Na obrázku 2 je nameraná závislosť zmeny úbytku hmotnosti ľanovej vzorky a obj. % O<sub>2</sub>. Ak obj. % O<sub>2</sub> v skúšobnom priestore sa zníži z 20,9 obj. % na 13,0 obj. %, pri rýchlosti zahrievania 50 Kmin<sup>-1</sup> u bavlny sa zvýši reakčný čas o 12,6 % a u ľanu o 7,0 %. V prípade vzoriek bavlny sa fáza sušenia zmenila o 14,3 % a u ľanu o 6,6%. Fáza splynutia je ťažko ovplyvnená znížením obj. % O<sub>2</sub>.

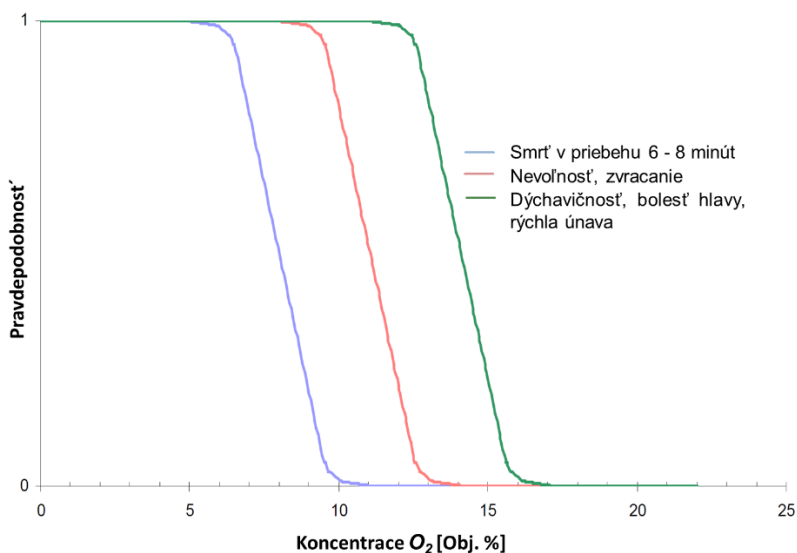
### 3.3 Vplyv zníženia koncentrácie kyslíka na ľudský organizmus

Najpodrobnejšia štúdia reakcie človeka na hypoxiu [4] bola vykonaná v nadmorskej výške 4200 m v astronomickom observatóriu na Mauna Kea na Havaji. Práca zamestnancov v tejto nadmorskej výške bola obmedzená na 6 hodín. 41% zamestnancov na pracovisku malo bolesti hlavy na konci prvého pracovného dňa, 50 % sa sťažovalo na nedostatok vzduchu, 30 % sa sťažovalo na ospalosť, letargiu a zlú koncentráciu a 9 % na závrat. 25 % dochádzajúcich sa sťažovalo na bolesti hlavy po 5 hodinách. Medzi zamestnancami na pracovisku sa symptómy znížili na druhý deň. V piatom dni sa výskyt bolesti hlavy znížil na 10 %. 65 % symptómov bol do 12 hodín, 31 % v priebehu 12 až 36 hodín cca. 1 % po 36 hodinách. Pri prepočte normobar/hypobar zodpovedá výška Mauna Kea koncentrácii približne 15 % obj. % O<sub>2</sub>. V Tabuľke 4 je sumárne zhrnutie vplyvov hypoxie na ľudský organizmus.

Podľa [16] sú charakteristické limity koncentrácie kyslíka ovplyvňujúce funkcionálnosť človeka, zobrazené na Obrázku 3.

Tabuľka 4  
Účinky koncentrácie O<sub>2</sub> na ľudský organizmus [15]

O <sub>2</sub> [obj. % ]	Zodpovedajúca výška v [m]	P <sub>aO2</sub> [mm Hg]	Vplyv na organizmus
20,9	0	150	žiaden
17	1750	119	ťažkosti s jednoznačným myslením (váhavosť)
15	2700	105	dýchavičnosť, bolesť hlavy, rýchla únava
13	3850	89	nevoľnosť, zvracanie, námaha nie je možná



Obrázok 3

Pravdepodobnosť nepriaznivých účinkov na zdravie v závislosti na obj. % O<sub>2</sub> v atmosfére [15]

#### 4 Návrh limitných úrovní O<sub>2</sub> pre evakuáciu v historických budovách

Zohľadniac poznatky z modelovania, reálnej evakuácie a dôsledkov zobrazených na Obrázkoch 1, 2, 3 jednotlivé fázy požiaru, je možné vytvoriť pre Plán evakuácie intervaly v závislosti od obj. % O<sub>2</sub> :

- do 12 obj. % O<sub>2</sub>,
- od 12–15 obj. % O<sub>2</sub>,
- od 15–17 obj. % O<sub>2</sub>,
- od 17–21 obj. % O<sub>2</sub>.

Na základe zistení a meraní je možné vytvoriť odporúčenia pre evakuáciu osôb v historických budovách, uvedené v Tabuľke 5.



*Tabuľka 5*  
*Odporúčenia pre evakuáciu v historických budovách*

Kategória EVA- KUÁCIE	Koncen- trácia [obj. % O <sub>2</sub> ]	EVAKUÁCIA		Potlačenie ohňa		Potlačenie ohňa		Poznámka
		samostatne	ináč	textil	čas [min.]	drevo	čas [min.]	
I	2	nie	*vyvedením	áno	4	áno	-	Bez evakuačných prístrojov vznikajú trvalé zmeny v organizme
	7	nie	*vyvedením	nie	-	áno	13	
	12	nie	*vyvedením	nie	-	nie	-	
II	13	áno	áno	nie	-	nie	-	sledovanie 48 hod.
	15	áno	áno	nie	-	nie	-	
III	15	áno	áno	nie	-	nie	-	sledovanie 24 hod.
	17	áno	áno	nie	-	nie	-	
IV	17	áno	áno	nie	-	nie	-	sledovanie 12 hod.
	21	áno	áno	nie	-	nie	-	

\* za pomoci evakuačného dýchacieho prístroja

Zohľadniac poznatky o koncentrácii obj. % O<sub>2</sub> a poškodení organizmu, vytvoriť pre potreby evakuácie intervaly do 12 obj. % O<sub>2</sub>, 12–15 obj. % O<sub>2</sub>, 15–17 obj. % O<sub>2</sub>, 17–21 obj. % O<sub>2</sub>.

Problematika evakuácie má širší rozmer, mnohokrát interdisciplinárny. Poznanie kauzality umožňuje vytvoriť podmienky pre evakuáciu. V prípade požiaru je nutné poznať ako teplotné pomery a ich rozvoj v čase, tak aj problematiku správania sa človeka. Na obrázku 3 je zobrazenie hraničných hodnôt koncentrácie O<sub>2</sub> pre i/reverzibilné zmeny u človeka. Na obrázku 1 a 2 sú koncentrácie pôsobiace na rozvoj požiaru. Pre túto závislosť je možné vytvoriť nasledujúce intervaly :

- I. Interval do 12 obj. % O<sub>2</sub>, v ktorom u človeka dochádza k ireverzibilným zmenám. Pre oblasť drevených materiálov, Obrázok 1, pri hodnote 7 obj. % O<sub>2</sub> je potlačené horenie v dôsledku nedostatku O<sub>2</sub>. V prípade textílií, Obrázok 2, sú to 2 obj. % O<sub>2</sub>. V takomto priestore je možné vykonávať evakuácie len obmedzene pomocou dýchacích prístrojov (evakuačných, alebo zásahových).
- II. Interval od 12–15 obj. % O<sub>2</sub> je hraničný interval pre evakuácie. V závislosti na materiálovom zložení paliva je nutné voliť evakuačné cesty. Pri tejto koncentrácii je možné krátkodobo evakuovať človeka. Pri takejto koncentrácii je možné očakávať druhú fázu rozvoja požiaru, ktorú s ohľadom na koncentráciu a zloženie paliva v historických budovách je možné očakávať po tretej minúte pre textílie a pre drevo do 13 min. Platí pravidlo, čím viac celulózy tým rýchlejšie nastane požiar. V prípade depozitov s papierom do 3 min, v prípade textílií do 4 min.
- III. Interval od 15–17 obj. % O<sub>2</sub>, je možná evakuácia bez dýchacích evakuačných prístrojov a následne je nutné lekárske pozorovanie 48 hod. Táto koncentrácia umožňuje v plnom rozsahu horenie. Rozvoj požiaru je minimálne v druhej fáze.
- IV. Interval od 17–21 obj. % O<sub>2</sub>, v ktorom človeka je možné evakuovať bez evakuačného dýchacieho prístroja a následne je nutné lekárske pozorovanie 24 hod. Táto koncentrácia umožňuje v plnom rozsahu horenie.

## 5 Diskusia

Návrh doporučení pre evakuáciu vychádza z poznania rozvoja požiaru v historických budovách a odozvy organizmu na zníženie koncentrácie kyslíka v priestoroch evakuácie.

### a) *Vplyv vybavenia historických budov na rozvoj požiaru pri rôznej koncentrácii kyslíka*

Drevo a textil v historických budovách sú ako stavebný tak aj interiérový prvok a tvoria podstatnú časť paliva pri požiari v historických budovách. Systémy, potlačajúce požiar založené na znižovaní obj. %  $O_2$  v priestore evakuácie, môžu byť účinné ak sa dosiahne dostatočne rýchlo pokles koncentrácie na 13 obj. %  $O_2$ . Pri poklese koncentrácie na 7 % obj. % u dreva (smrek, borovica, smrekovec) a 2,0 obj. % u textílií (bavlna, ľan) bolo horenie potlačené. Ak sa koncentrácia obj. %  $O_2$  zníži z 20,9 obj. % na 13,0 obj. %, celkový čas reakcie na tepelné zaťaženie 50  $Kmin^{-1}$  pri smrekovej vzorke sa zvýšil o 48,7 %, u borovice o 47,3 % a u smrekovca o 53,3 %. Skúšky s bavlnou a ľanom taktiež vykázali predĺženie reakčného času. Ak koncentrácia obj. %  $O_2$  sa zníži z 20,9 obj. % na 13,0 obj. %, reakčný čas u bavlny sa zvýši o 12,6 % a u ľanu 7,0 % pri rýchlosti zahrievania 50  $Kmin^{-1}$ .

Automatická identifikácia požiaru je nutnosťou, aby požiar neprerástol do druhej fázy horenia.

### b) *Človek a možnosti pri evakuácii v priestoroch so zníženým obj. % $O_2$*

Zníženie koncentrácie  $O_2$  má vplyv aj na zdravie človeka. Po vyhodnotení štúdií sa dospelo k záveru, že prvé príznaky spôsobené hypoxiou sú závislé od rýchlosti zmeny koncentrácie kyslíka, a dávky, ktorej je vystavený človek. Dĺžka jednotlivých prejavov je od 0–48 hod. V literatúre prezentujú prevažne zdravotné účinky pobytu v priestore so zníženým obj. %  $O_2$  založené na hypobarických vplyvoch a nie je pochopený prípad normobarického prostredia, ako je to bežné v zariadeniach na redukcii kyslíka, kde dochádza k redukcii za normálneho tlaku.

Na základe zistení o koncentrácii obj. %  $O_2$ , mechanizmov poškodzovania a poškodení organizmu boli definované pre potreby evakuácie intervaly do 12 obj. %  $O_2$ , 12–15 obj. %  $O_2$ , 15–17 obj. %  $O_2$ , 17–21 obj. %  $O_2$ .

## Literatúra

- [1] DIN 4102-2. *Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen – Teil 2; Bauteile, Begriffe, Anforderungen und Prüfungen*. Ausgabe 09/1977.
- [2] DIN 52180-1. *Prüfung von Holz*. Probennahme, Grundlagen 11/1977.
- [3] DIN EN 1363-1. *Feuerwiderstandsprüfungen – Teil 1: Allgemeine Anforderungen*. Ausgabe 10/1999.
- [4] FORWARD, S. A., M. LANDOWNE, J. N. FOLLANSBEE et al. Effect of acetazolamide on acute mountain sickness. *The New England Journal of medicine*. 1968, Volume 279, pp. 839–845. ISSN 0028-4793.
- [5] HONIGMAN, B., M. K. THEIS, J. KOZIOL-MCLAIN et al. Acute mountain sickness in a general tourist population at moderate altitudes. *Annals of internal medicine*. 1993, Volume 118, pp. 587–592. ISSN 0003-4819.
- [6] JIRÁSEK, P., M. MRÁZEK, E. POLÁTOVÁ a P. SVOBODA. *Požární ochrana památkových objektů*. Praha: Národní památkový ústav, 2015. Odborné a metodické publikace. ISBN 978-80-7480-021-4.

- [7] KABAT, S. *Brandschutz in Baudenkmalern*. Kohlhammer - Verlag, 1997, p. 170. ISBN 317-01-37727.
- [8] KAČÍKOVÁ, D., M. NETOPILOVÁ a A. OSVALD. *Drevo a jeho termická degradácia*. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2006. ISBN 80-86634-78-7.
- [9] KNIGHT, D. R., A. CYMERMAN, J. A. DEVINE et al. Symptomatology during hypoxic exposure to flame-retardant chamber atmospheres. *Undersea biomedical research*. 1990, Volume 17, pp. 33–44. ISSN 0093-5387.
- [10] LOPUŠNIAK, M. *Modelovanie evakuácie osôb v budovách*. Košice: 2012. 139 s. Habilitačná práca. Technická univerzita v Košiciach, Stavebná fakulta.
- [11] MARTINKA, J. *Požiarne riziko materiálov*. Bratislava: Slovenská technická univerzita v Bratislave, 2018. Edícia monografií. ISBN 978-80-227-4796-7.
- [12] MONTGOMERA, A. B., J. MILLS a J. M. LUCE. Incidence of acute mountain sick-ness at intermediate altitude. *Journal of the american medical association*. 1989, Volume 261, pp. 732–734. ISSN 0098-7484.
- [13] OSVALD, A. a J. ŠTEFKO. *Modelový požiar dvojpodlažnej drevostavby*. Šmíra-Print, 2013. ISBN 978-80-87427-85-9.
- [14] SAVOUREY, G., J. C. LAUNAY, Y. BESNARD et al. Normo- and hypobaric hypoxia: are there any physiological differences? *European journal of applied physiology*. 2003, Volume 89, pp. 122–126. ISSN-1439-6319.
- [15] SEPP, R., K. BALOG a M. ORAVEC. *Sauerstoffreduzierungsanlagen im Museumsbrandschutz*. EQUILIBRIA, 2009. 138 s. ISBN 978-3-00-028484-7.
- [16] SCHMIDT-THEWS, R. F. *Physiologie des Menschen*. 28. Auflage, Springer Verlag, 2000, p. 891. ISBN 354-06-67334.
- [17] WARD, P. W., J. S. MILLEDGE a J. B. WEST. *High altitude medicine and physiology*. Arnold London, 2000, p. 434. ISBN 034-07-59801.