



Žilinská univerzita v Žiline
Fakulta bezpečnostného inžinierstva



**VSTUPNÉ PARAMETRE PRE HODNOTENIE
EFEKTÍVNOSTI PROTIPOŽIARNÝCH OPATRENÍ**

Ing. Vladimír Mózer, PhD.

Žilina, 2015

OBSAH

POUŽITÉ SKRATKY	3
ÚVOD	4
1. KATEGORIZÁCIA STAVIEB PRE POTREBY MODELU	5
2. STANOVENIE PRAVDEPODOBNOTÍ OVPLYVŇUJÚCICH VZNIK A ROZVOJ POŽIARU	7
2.1 Pravdepodobnosť vzniku požiaru, zranenia a úmrtia v dôsledku požiaru	7
2.2 Pravdepodobnosť rozšírenia požiaru	11
3. POŽIARNE ZAŤAŽENIE A RÝCHLOSŤ ROZVOJA POŽIARU.....	13
3.1 Požiarne zaťaženie	13
3.2 Rýchlosť rozvoja požiaru	14
4. KATEGORIZÁCIA PROTIPOŽIARNYCH OPATRENÍ AKO SÚČASTÍ MODELU.....	17
4.1 Aktívne protipožiarne opatrenia	17
4.2 Pasívne protipožiarne opatrenia	24
ZÁVER.....	27
POUŽITÁ LITERATÚRA	28

POUŽITÉ SKRATKY

ASET	Čas dostupný na bezpečnú evakuáciu (ang. <i>Available Safe Evacuation Time</i>)
ETA	Analýza stromu udalostí (angl. <i>Event Tree Analysis</i>)
HaZZ	Hasičský a záchranný zbor
MV SR	Ministerstvo vnútra Slovenskej republiky
RSET	Čas potrebný na bezpečnú evakuáciu (ang. <i>Required Safe Evacuation Time</i>)

Úvod

Užívateľská príručka pojednáva o problematike hodnotenia efektívnosti protipožiarных opatrení v oblasti požiarnej bezpečnosti stavieb. Protipožiarne opatrenia sa odlišujú účinkom a mierou efektívnosti, teda tým, akým spôsobom a ako výrazne ovplyvňujú priebeh požiaru. Efektívnosť protipožiarных opatrení v tomto pohľade predstavuje ich schopnosť redukovať pravdepodobnosť vzniku požiaru a rozsahu jeho negatívnych dopadov na život, zdravie osôb, majetok a životné prostredie. Keďže zvyčajne existuje viacero alternatív, ako dopady požiaru redukovať, logickou požiadavkou pri výbere vhodného protipožiarneho opatrenia alebo kombinácie viacerých protipožiarных opatrení je čo najvyššia efektívnosť.

Predpokladom stanovenia efektívnosti protipožiarных opatrení je však kvantifikácia dopadov požiaru. Vzhľadom na náhodný charakter mnohých činiteľov ovplyvňujúcich vznik a priebeh požiaru, však nie je možné zvoliť jeden reprezentatívny deterministický scenár a prostredníctvom neho dopady kvantifikovať. Naopak je potrebné zohľadniť všetky potencionálne možnosti priebehu požiaru, a to aj v prípade, kedy sú protipožiarne opatrenia v návrhu stavby implementované; žiadne z nich totiž nemá 100 % spoľahlivosť a jeho účinok nemusí byť taký ako sa predpokladá.

Kvantitatívna analýza a posudzovanie požiarneho rizika predstavuje spôsob, ktorým je možné zohľadňovať jednak náhodný charakter požiaru a zároveň aj determinovať rozsah jeho následkov v absolútnom vyjadrení. Aplikuje sa pritom štandardná definícia rizika – pravdepodobnosť vzniku $\times$ následky požiaru. V rámci procesu analýzy a posudzovania požiarneho rizika majú protipožiarne opatrenia redukčný charakter na prvú a/alebo druhú zložku rizika a je teda možné kvantifikovať mieru ich vplyvu. Porovnaním dvoch alternatív návrhu, ktoré uvažujú s využitím rôznych protipožiarных opatrení je následne možné určiť, ktorá z nich je efektívnejšia z pohľadu redukcie pravdepodobnosti vzniku a/alebo následkov požiaru a na základe tejto informácie uskutočniť výber.

Posudzovanie požiarneho rizika a hodnotenie efektívnosti protipožiarных opatrení má svoj význam nielen pri navrhovaní stavieb, ale aj v rámci aplikovanej požiarnej vedy. Kvantifikujú totiž úroveň požiarnej bezpečnosti, na základe čoho je možné prijímať opatrenia, ktoré budú reflektovať na negatívne trendy štatistického vývoja požiarovosti a redukovať tak konkrétne negatívne dopady požiaru.

Tento dokument obsahuje vstupné údaje pre model týkajúce sa kategórií stavieb pre potrebu modelu, stanovenie pravdepodobností ovplyvňujúcich vznik a rozvoj požiaru a účinnosti a spoľahlivosti protipožiarных opatrení a systémov.

1. KATEGORIZÁCIA STAVIEB PRE POTREBY MODELU

V praxi sa viacero požiarnych charakteristík viaže ku konkrétnemu typu užívania priestoru alebo stavby. Medzi tieto charakteristiky patrí napríklad pravdepodobnosť vzniku a rozšírenia požiaru, pravdepodobnosť zranenia alebo úmrtia v dôsledku požiaru, druh a množstvo požiarneho zaťaženia, hustota obsadenia osobami a ich charakteristické schopnosti týkajúce sa možnosti samostatného pohybu, vnímania požiarneho alarmu atď. Z tohto dôvodu bola pre praktickú aplikáciu modelu hodnotenia efektívnosti protipožiarnych opatrení vytvorená kategorizácia stavieb, rešpektujúca kategorizáciu z pohľadu požiarnej bezpečnosti podľa STN 92 0201-1 [1]. Zahraničné normy a literatúra z oblasti požiarnej bezpečnosti stavieb uvádzajú kategorizáciu, ktorá je do veľkej miery zhodná s kategorizáciou používanou v SR.

Pre potreby modelu hodnotenia efektívnosti protipožiarnych opatrení boli vytýčené nasledovné kategórie stavieb, resp. ich typov ich užívania:

- administratíva,
- dopravné budovy,
- hotely a hostely,
- kultúra a osвета,
- obchod,
- bytové domy („paneláky“),
- poľnohospodárstvo,
- priemysel,
- skladovanie,
- sociálne služby,
- školstvo,
- zdravotníctvo.

Zároveň uvedená kategorizácia zodpovedá kategorizácii stavieb používanej pri zbere štatistických údajov požiarovosti v Slovenskej republike – Štatistické ročenky HaZZ MV SR, na základe ktorých boli odvodzované pravdepodobnosti vzniku požiaru a ďalšie potrebné údaje. Uvedené kategórie stavieb predstavujú prevažnú väčšinu (prakticky 100 %) portfólia pozemných stavieb v SR [2], pri ktorých je aplikácia princípov požiarneho inžinierstva relevantná.

Niektoré z vyššie uvedených kategórií však ešte pre správnu aplikáciu potrebujú ďalšie rozdelenie, napríklad priemysel, ako extrémne široká kategória, potrebuje ešte došpecifikovať charakter z pohľadu požiarneho rizika – nízke, stredné a vysoké.

Zároveň je na tomto mieste potrebné uviesť, že z hľadiska navrhovania požiarnotechnických zariadení, napr. sprinklerového systému, sa vyššie uvedená kategorizácia nezhoduje s tou, ktorú uvádza predmetný návrhový technický predpis. Zvyčajne však návrhové predpisy uvádzajú, ktoré zo všeobecne definovaných kategórií stavieb (pozri vyššie) prináležia jednotlivým návrhovým kategóriám používaných konkrétnym predpisom.

Príklad takéhoto prevodného kľúča je možné ilustrovať na technickej norme STN EN 12845 *Stabilné hasiace zariadenia. Automatické sprinklerové systémy. Návrh, inštalácia a údržba* [3], ktorá definuje triedy požiarného nebezpečenstva; LH (nízke nebezpečenstvo), OH (normálne nebezpečenstvo), HHP (vysoké nebezpečenstvo – priemysel) a HHS (vysoké nebezpečenstvo – skladovanie). Konkrétne kategórie stavieb pre jednotlivé rizikové kategórie sú uvedené v prílohe A predmetnej normy [1]; pre priradenie jednotlivých kategórií do tried požiarného nebezpečenstva v zmysle STN EN 12845 pozri tab. 1.1.

Tabuľka 1.1 Priradenie kategórií stavieb k triedam požiarného nebezpečenstva podľa STN EN 12845

Kategória stavby	Trieda požiarného nebezpečenstva	Kategória stavby	Trieda požiarného nebezpečenstva
Administratíva	LH – OH1	Poľnohospodárstvo	OH 2 – OH4
Hotely a hostely	OH1	Priemysel	OH1 - HHP
Dopravné budovy	OH2 – OH3	Skladovanie	HHS1-HHS4
Kultúra a osвета	OH4	Sociálne služby	OH1
Obchod	OH3-OH4	Školstvo	OH1
Bytové domy	*res	Zdravotníctvo	OH1

*res – používajú sa sprinklery pre stavby na bývanie

Pre správne využitie modelu hodnotenia efektívnosti protipožiarneho opatrení je dôležité, aby boli prevody zadefinovaných kategórií stavieb na kategorizáciu používanú návrhovými predpismi čo najpresnejšie. Spravidla totiž táto kategorizácia determinuje kľúčové parametre požiarotechnického zariadenia, ktoré nevyhnutne ovplyvňujú jeho investičné a prevádzkové náklady. Tým sa môže výrazne zmeniť pomer redukcia dopadov požiaru / navýšenie nákladov na protipožiarne zabezpečenie, prislúchajúci posudzovanej úrovni požiarnej bezpečnosti.

2. STANOVENIE PRAVDEPODOBNOTÍ OVPLYVNÚJÚCICH VZNIK A ROZVOJ POŽIARU

Vzhľadom na charakter zvolenej metódy hodnotenia požiarneho rizika – analýza stromom udalostí ETA – je považovaný za počiatočný jav, spúšťajúci sériu nadväzujúcich udalostí, vznik požiaru – iniciácia horenia. Tak, ako bolo uvedené v predchádzajúcej stati, štatisticky je vznik požiaru previazaný s kategóriou stavby, pretože táto z veľkej časti určuje druh, množstvo a rozloženie požiarneho zaťaženia – horľavých látok, ako aj prítomnosť iniciačných zdrojov.

2.1 Pravdepodobnosť vzniku požiaru, zranenia a úmrtia v dôsledku požiaru

Nedávna štúdia [4] poukazuje na značné rozdiely medzi hodnotami pravdepodobnosti vzniku požiaru pre tie isté kategórie stavieb v Slovenskej republike a vo Veľkej Británii; rozdiely sú v niektorých prípadoch až rádové. Aj porovnaním ďalších literárnych zdrojov, napr. [5, 6, 7, 8] boli zistené viac či menej významné rozdiely v týchto hodnotách. S určitou mierou extrapolácie uvedených zistení je možné tvrdiť, že z pohľadu presnosti a vierohodnosti zhodnotenia požiarneho rizika je potrebné využívať „domáce“ dáta. Dôvodom sú jednak rozdiely v riešení požiarnej bezpečnosti stavieb, ako aj systému požiarnej prevencie a manažmentu požiarnej ochrany zodpovednými stranami.

Pre stanovenie hodnôt pravdepodobnosti vzniku požiaru sú potrebné dva východiskové údaje: počet požiarov za sledované obdobie a celkový počet stavieb v danej kategórii. Rovnakým spôsobom sa stanovuje aj pravdepodobnosť zranenia, resp. úmrtia v dôsledku požiaru, avšak namiesto počtu požiarov sa použijú počty zranených, resp. usmrtených pri požiaroch v sledovanom období.

Priemerné a maximálne počty požiarov, zranených a usmrtených osôb v dôsledku požiarov sú uvedené v tab. 2.1. Štatistické údaje použité pri zostavovaní prehľadu z 20-ročného obdobia (1993 až 2012) a ich zdrojom boli Štatistické ročenky publikované Požiarno-technickým a expertíznym ústavom MV SR [9]. Významným a zároveň znepokojivým faktorom je vysoká úroveň fluktuácie počtu požiarov a fakt, že iba niektoré kategórie užívania stavieb zaznamenali kontinuálny pokles v počte požiarov za sledované obdobie; bližšie informácie k štatistickej analýze požiarovosti za uvedené obdobie je možné nájsť v [10].

Počty stavieb v jednotlivých kategóriách (základný referenčný súbor) boli stanovené na základe údajov zo štatistického prieskumu vykonaného Ústavom geodézie a kartografie Slovenskej akadémie vied za obdobie rokov 2008 až 2012 [2].

Výsledné hodnoty pravdepodobností vzniku požiaru, zranenia, resp. úmrtia pri požiari, vychádzajúce z vyššie uvedených prehľadov sú zosumarizované v tab. 2.3. Okrem stavieb určených na skladovanie a zariadení sociálnych služieb sú všetky pravdepodobnosti absolútne, t.j. vzťahnuté na referenčný súbor, ktorým je celkový počet stavieb v danej

kategórii. Vzhľadom na fakt, že pre stavby na skladovanie a zariadenia sociálnych služieb neboli k dispozícii počty stavieb, nebolo pre ne možné stanoviť pravdepodobnosť vzniku požiaru. Pravdepodobnosti zranenia a úmrtia v dôsledku požiaru sú z tohto dôvodu len relatívne, t.j. vyjadrujú pravdepodobnosť s akou dôjde ku zraneniu, resp. úmrtiu, v prípade, že v danom type stavby dôjde ku vzniku požiaru. V tab. 2.3 sú tieto hodnoty označené *.

Tabuľka 2.1 Priemerné a maximálne počty požiarov, zranených a usmrtených pre jednotlivé kategórie stavieb v Slovenskej republike, sledované obdobie 1993 – 2012

Druh užívania Stavby	Počet požiarov		Počet zranených		Počet usmrtených	
	Priemer	Max.	Priemer	Max.	Priemer	Max.
Administratíva	43,25	77	1,25	7	0,3	2
Dopravné budovy	59,4	93	3,85	9	0,1	1
Hotely a hostely	149,15	238	7,6	23	2,365	6
Kultúra a osвета	33,75	52	1,05	7	0,35	2
Obchod	120,65	150	4,6	17	0,1	1
Bytové domy	757,15	982	48,35	89	7,9	13
Poľnohospodárstvo	106,7	193	3,05	8	0,25	3
Priemysel	228,2	285	11,65	19	0,4	3
Skladovanie	65,6	104	4,1	14	0,25	3
Sociálne služby	7,75	13	1	5	0,25	1
Školstvo	32,7	47	0,45	3	0,05	1
Zdravotníctvo	15,2	23	0,8	5	0,1	2

Tabuľka 2.2 Počty stavieb v jednotlivých kategóriách užívania v Slovenskej republike za obdobie 2008 – 2012

Druh užívania Stavby	Počet stavieb					Zmena 08 - 12
	2008	2009	2010	2011	2012	
Administratíva	6 854	7 819	8 239	9 385	9 691	41,4%
Dopravné budovy	5 186	5 935	6 652	7 641	7 843	51,2%
Hotely a hostely	10 845	10 859	10 672	10 546	10 500	-3,2%
Kultúra a osвета	53 771	58 524	61 497	68 481	70 992	32,0%
Obchod	12 386	14 281	15 122	16 920	17 591	42,0%
Bytové domy	45 949	49 328	51 313	53 160	53 673	16,8%
Poľnohospodárstvo	49 435	52 233	53 696	59 626	60 605	22,6%
Priemysel	23 613	24 913	25 688	27 813	28 111	19,0%
Skladovanie	–	–	–	–	–	–
Sociálne služby	–	–	–	–	–	–
Školstvo	16 127	16 504	16 456	16 684	16 635	3,1%
Zdravotníctvo	3 979	4 173	4 279	4 601	4 678	17,6%

Matematické vyjadrenie postupu stanovenia uvádzaných hodnôt pravdepodobností je nasledovné:

pre absolútne hodnoty pravdepodobností:

$$p_{fs} = \frac{n_f}{n_b} \quad (2.1)$$

$$p_{fi} = \frac{n_i}{n_b} \quad (2.2)$$

$$p_{fd} = \frac{n_d}{n_b} \quad (2.3)$$

pre relatívne hodnoty pravdepodobností:

$$p_{fi,r} = \frac{n_i}{n_f} \quad (2.4)$$

$$p_{fd,r} = \frac{n_d}{n_f} \quad (2.5)$$

kde (všetky veličiny sú vzťahnuté vždy len na jeden konkrétny druh užívania stavby):

p_{fs}	pravdepodobnosť vzniku požiaru	[rok ⁻¹];
p_{fi}	pravdepodobnosť zranenia v dôsledku požiaru	[rok ⁻¹];
p_{fd}	pravdepodobnosť úmrtia v dôsledku požiaru	[rok ⁻¹];
$p_{fi,r}$	relatívna pravdepodobnosť zranenia v dôsledku požiaru	[rok ⁻¹];
$p_{fd,r}$	relatívna pravdepodobnosť úmrtia v dôsledku požiaru	[rok ⁻¹];
n_b	počet stavieb v danom roku	[-];
n_f	počet požiarov za sledované obdobie (rok)	[-];
n_i	počet zranených v dôsledku požiarov za sledované obdobie (rok)	[-];
n_d	počet usmrtených v dôsledku požiarov za sledované obdobie (rok)	[-].

Vyššie uvádzané hodnoty pravdepodobností sú stanovené pre stavbu, bez ohľadu na jej plochu. Vo výskumnej správe Rutsteina a Cooka [11] je z analyzovaných štatistických dát požiarovosti a pôdorysných plôch stavieb odvodená rovnica (2.6) vyjadrujúca závislosť pravdepodobnosti vzniku požiaru na ploche a druhu stavby.

$$p_{fs} = a \cdot S_b^b \quad (2.6)$$

kde:

p_{fs}	pravdepodobnosť vzniku požiaru [rok ⁻¹];
S_b	pôdorysná plocha stavby [m ²];
A	súčiniteľ vyjadrujúci vplyv druhu užívania stavby [-];
b	súčiniteľ vyjadrujúci mieru závislosti p_{fs} na ploche S_b [-].

V zmysle slovenských technických predpisov, konkrétne STN 92 0201-1 [1], sa stanovuje pravdepodobnosť vzniku a rozšírenia požiaru pre požiarne úseky výrobných stavieb.

Tabuľka 2.3 Pravdepodobnosť vzniku požiaru, zranenia a úmrtia v dôsledku požiaru pre jednotlivé kategórie stavieb v Slovenskej republike

Druh užívania Stavby	Pravdepodobnosť (1993 – 2012 štatistika požiarov a 2012 počet stavieb)		
	Vznik požiaru p_{fs} [rok ⁻¹]	Zranenia p_{fi} [rok ⁻¹]	Úmrtia p_{fd} [rok ⁻¹]
Administratíva	$4,39 \cdot 10^{-3}$	$2,46 \cdot 10^{-4}$	$5,90 \cdot 10^{-5}$
Dopravné budovy	$7,55 \cdot 10^{-3}$	$4,91 \cdot 10^{-4}$	$1,28 \cdot 10^{-5}$
Hotely a hostely	$1,47 \cdot 10^{-2}$	$7,24 \cdot 10^{-4}$	$2,52 \cdot 10^{-4}$
Kultúra a osвета	$4,74 \cdot 10^{-4}$	$1,48 \cdot 10^{-5}$	$4,93 \cdot 10^{-6}$
Obchod	$6,89 \cdot 10^{-3}$	$2,61 \cdot 10^{-4}$	$5,68 \cdot 10^{-6}$
Bytové domy	$1,40 \cdot 10^{-2}$	$1,72 \cdot 10^{-3}$	$2,80 \cdot 10^{-5}$
Poľnohospodárstvo	$1,76 \cdot 10^{-3}$	$9,59 \cdot 10^{-5}$	$7,86 \cdot 10^{-6}$
Priemysel	$8,12 \cdot 10^{-3}$	$7,89 \cdot 10^{-4}$	$2,71 \cdot 10^{-5}$
Skladovanie	-	$6,16 \cdot 10^{-2*}$	$3,00 \cdot 10^{-3*}$
Sociálne služby	-	$1,29 \cdot 10^{-1*}$	$3,23 \cdot 10^{-2*}$
Školstvo	$1,95 \cdot 10^{-3}$	$5,15 \cdot 10^{-5}$	$5,73 \cdot 10^{-6}$
Zdravotníctvo	$3,22 \cdot 10^{-3}$	$1,71 \cdot 10^{-4}$	$2,14 \cdot 10^{-5}$

* označené hodnoty reprezentujú relatívne pravdepodobnosti smrti alebo zranenia v dôsledku požiaru, v pomere k celkovému počtu požiarov, pretože počet stavieb pre túto kategóriu nebol dostupný.

Obdobne ako vo vyššie uvedenom postupe podľa Rutsteina a Cooka, je celková pravdepodobnosť vzniku požiaru pre posudzovaný požiarne úsek alebo stavbu stanovená ako súčin hodnoty pravdepodobnosti vzniku a rozšírenia požiaru na m² pôdorysnej plochy a celkovej pôdorysnej plochy požiarneho úseku alebo stavby. V tomto prípade sa však uvažuje s lineárnou závislosťou pravdepodobnosti na ploche, čo môže viesť ku skresleným záverom pri veľmi malých, alebo naopak veľmi veľkých priestoroch. Bližšie porovnanie týchto prístupov je k dispozícii napríklad v [12]. Otázna je v prípade STN 92 0201-1[1] a práce Rutsteina a Cooka [11] aj aktuálnosť týchto pravdepodobností, nakoľko štatistické dáta použité pri ich stanovovaní sú staré približne 40 rokov.

Stručnú sumarizáciu rozdielov hodnôt pravdepodobností stanovených podľa vyššie popísaných spôsobov poskytuje tab. 2.4. Porovnávané sú pravdepodobnosti podľa aktuálnej štúdie (Prieskum), PD 7974-7 [13] a práce Rutsteina a Cooka [11].

Ilustrované rozdiely sú z pohľadu hodnotenia efektívnosti protipožiarnych opatrení veľmi významné. Základným princípom je v tomto prípade závislosť medzi pravdepodobnosťou vzniku počiatočného javu – iniciácie požiaru – a predpokladanými dôsledkami vyjadrenými pravdepodobným výskytom jednotlivých rozsahov poškodenia stavby požiarom. Ak je teda rádovo znížená pravdepodobnosť vzniku požiaru bude to mať za následok aj rádové zníženie

pravdepodobností jednotlivých kategórií (rozsahov) dôsledkov požiaru, čo nevyhnutne ovplyvní aj predpokladaný ročný rozsah poškodenia stavby požiarom a teda aj možnosť jeho redukcie požiarotechnickými zariadeniami.

Tabuľka 2.4 Pravdepodobnosť vzniku požiaru pre vybrané druhy stavieb určená podľa rôznych zdrojov

Druh užívania stavby	Pravdepodobnosť vzniku požiaru				
	Pre celú stavbu		V závislosti na ploche pre 1 000 m ²		
	prieskum	UK [13]	STN [1]	Rutst. [11]	UK [13]
Administratíva	$4,39 \cdot 10^{-3}$	$6,2 \cdot 10^{-3}$	$1,00 \cdot 10^{-3}$	$2,95 \cdot 10^{-2}$	$1,20 \cdot 10^{-2}$
Obchod	$6,89 \cdot 10^{-3}$	-	$1,40 \cdot 10^{-3}$	$6,60 \cdot 10^{-2}$	-
Priemysel	$8,12 \cdot 10^{-3}$	$2,2 \cdot 10^{-3}$	$2,20 \cdot 10^{-3}$	$2,20 \cdot 10^{-2}$	-

2.2 Pravdepodobnosť rozšírenia požiaru

Štatisticky je preukázané [7, 14, 15], že nie každá iniciácia nežiaduceho horenia – požiaru, nevyhnutne prerastie do fázy plne rozvinutého požiaru. Významným ukazovateľom je v tomto smere schopnosť požiaru rozšíriť sa z prvej veci, ktorá sa vznietila, resp. bola zapálená. Viaceré zdroje, napr. [6, 7, 16] uvádzajú, skutočný podiel požiarov, ktoré sa rozšíria mimo prvej zapálenej veci v rozmedzí približne 40 až 80 % z celkového počtu iniciácií, v závislosti od druhu stavby. Problém pre určenie presnej hodnoty pravdepodobnosti rozšírenia požiaru však predstavuje fakt, že značná časť požiarov [17], ktorá sa mimo prvú zapálenú vec nerozšíri, v skutočnosti ani nie je nahlásená, čím sa skresľuje celková štatistika.

V nedávnej štúdii [18] bola analyzovaná možnosť predikcie pravdepodobnosti rozšírenia sa požiaru z prvej zapálenej veci s pomocou počítačového modelovania. V modeloch boli náhodne rozmiestňované horľavé predmety (jednotky paliva), s rozmermi zodpovedajúcimi zariadeniam predmetom bežne sa nachádzajúcich v posudzovaných druhoch stavieb. Zároveň boli použité rôzne intenzity horenia prvej zapálenej veci a úrovne požiarneho zaťaženia, ktoré tiež zodpovedali posudzovaným druhom stavieb [19].

Výsledky ukázali, že pravdepodobnosť rozšírenia sa požiaru z prvej zapálenej veci nie je priamo úmerná úrovni požiarneho zaťaženia – množstvu horľavých látok v priestore. Pre posudzované priestory však značne ovplyvnil pravdepodobnosť rozšírenia sa požiaru podiel plochy horľavého predmetu voči jeho hmotnosti; čím väčšia bola jeho povrchová plocha tým vyššia pravdepodobnosť, že sa naň, s ohľadom na ďalšie faktory, požiar z prvej zapálenej veci rozšíri. Významnú úlohu logicky zohráva aj vzdialenosť medzi horiacim predmetom a ďalšími horľavými predmetmi v priestore, ktorá je však považovaná za čisto náhodnú premennú a nie je ju teda možné pre potreby posudzovania požiarneho rizika stanoviť ako diskrétnu hodnotu reprezentujúcu konkrétny druh stavby.

Výsledné hodnoty pravdepodobností, vychádzajúc z 250 opakovaní náhodne generovaného rozloženia horľavých predmetov v priestore pre danú úroveň požiarneho zaťaženia a intenzitu iniciačného zdroja sú prezentované v tab. 2.5. Uvedené hodnoty dobre zodpovedajú intervalu pravdepodobností uvedenému na začiatku tejto state.

Tabuľka 2.5 Pravdepodobnosť rozšírenia sa požiaru z prvej zapálenej veci na ďalšie horľavé predmety v priestore

Intenzita zdroja [kW]	Pravdepodobnosť rozšírenia sa požiaru z prvej zapálenej veci - p_s		
	Administratíva $Q'' = 670 \text{ MJ.m}^{-2}$	Obchod $Q'' = 1100 \text{ MJ.m}^{-2}$	Knižnica $Q'' = 2550 \text{ MJ.m}^{-2}$
25	0,208	0,192	0,168
50	0,381	0,396	0,232
75	0,560	0,528	0,396
100	0,648	0,660	0,500
priemer	0,449	0,444	0,324

Z pohľadu hodnotenia efektívnosti protipožiarnych opatrení má pravdepodobnosť rozšírenia sa požiaru mimo prvú zapálenú vec zásadný význam; priamo ovplyvňuje rozsah požiaru a tým aj jeho negatívnych následkov. Ak sa požiar mimo prvú zapálenú vec nerozšíri ďalej, poškodenie bude minimálne a nepredpokladá sa využitie protipožiarnych opatrení. Naopak, jeho rozšírenie znamená posun do fázy nárastu a šírenia sa požiaru, kde už do procesu vstupujú jednotlivé protipožiarne opatrenia a v závislosti na ich funkcii a účinnosti determinujú rozsah poškodenia.

Vzhľadom na veľmi náhodný charakter popisovaného javu je však vhodné použiť hodnotu pravdepodobnosti rozšírenia sa požiaru z prvej zapálenej veci, ktorá je upravená o súčiniteľ bezpečnosti. V prípade modelovania sa odporúča uvažovať s hodnotou $p_s = 0,75$, čo predstavuje najvyššiu hodnotu z tab. 2.5 navýšenú o $\approx 15\%$.

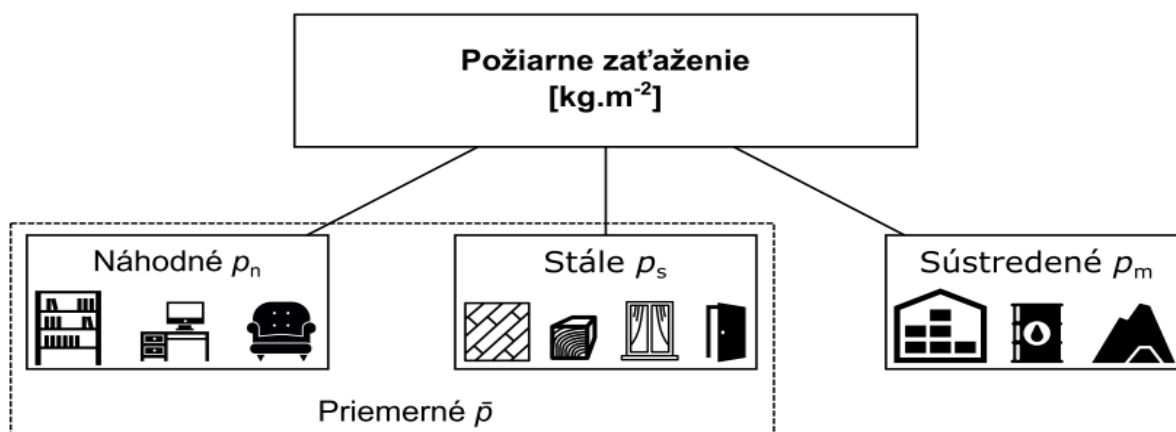
3. POŽIARNE ZATAŽENIE A RÝCHLOSŤ ROZVOJA POŽIARU

3.1 Požiarne zataženie

Požiarne zataženie je primárnym faktorom, ktorý určuje dĺžku trvania požiaru a tým determinuje úroveň tepelného namáhania stavebných konštrukcií. Je samozrejmé, že čím vyššie je požiarne zataženie a rozvinutejší požiar tým náročnejší bude aj protipožiarne zásah.

Vo všeobecnosti je možné považovať za požiarne zataženie akékoľvek horľavé látky, ktoré sa nachádzajú v posudzovanej stavbe alebo jej časti (napr. požiarne úsek). Môže to byť zariadenie a vybavenie stavby, napríklad nábytok, výpočtová technika, kancelárske potreby a pod. Za požiarne zataženie sa považujú aj horľavé náplne v technologických zariadeniach, spracovávané či inak používané horľavé látky a v neposlednej rade aj horľavé látky obsiahnuté v konštrukciách stavby.

Požiarne zataženie sa v zmysle slovenských technických a právnych predpisov [1, 20] delí na náhodné p_n a stále p_s , ktoré spolu tvoria priemerné požiarne zataženie $\bar{p}$; osobitným prípadom je sústredené požiarne zataženie p_m , pozri obr. 3.1. Jednotkou požiarneho zataženia je kilogram na meter štvorcový kg.m^{-2} .



Obr. 3.1 Rozdelenie požiarneho zataženia v zmysle predpisov SR

Iné predpisy, napríklad Eurokód 1 [21], preto vyjadrujú požiarne zataženie, anglicky *fire load*, v MJ.m^{-2} , namiesto u nás používaného kg.m^{-2} . Vylučuje sa tým potreba prepočtu hmotnosti konkrétneho paliva na hmotnosť paliva referenčného na základe ich výhrevností. Vybrané hodnoty hustoty požiarneho zataženia sú uvedené v tab. 3.1.

Pre potreby navrhovaného modelu je požiarne zataženie rozdelené do troch kategórií, ktoré budú ovplyvňovať pravdepodobnosť úspešnosti odolávania požiarne deliacich konštrukcií účinkom požiaru (pozri stať 4.2):

- nízka úroveň požiarneho zataženia - $\bar{p} \leq 500 \text{ MJ.m}^{-2}$, resp. $\bar{p} \leq 30 \text{ kg.m}^{-2}$;
- stredná úroveň pož. zataženia - $500 < \bar{p} \leq 1000 \text{ MJ.m}^{-2}$, resp. $30 < \bar{p} \leq 60 \text{ kg.m}^{-2}$;
- vysoká úroveň požiarneho zataženia - $\bar{p} > 1000 \text{ MJ.m}^{-2}$, resp. $\bar{p} > 60 \text{ kg.m}^{-2}$.

Do požiarneho zaťaženia $\bar{p}$ sa započítava náhodné požiarne zaťaženie (charakteristická hustota požiarneho zaťaženia) a stále požiarne zaťaženie (horľavé časti konštrukcií a povrchových úprav). Na prepočet hodnôt požiarneho zaťaženia z kg.m^{-2} na MJ.m^{-2} sa odporúča použiť výhrevnosti uvedené v Eurokóde 1.

Tabuľka 3.1 Vybrané hodnoty charakteristického (náhodného) požiarneho zaťaženia

Intenzita zdroja [kW]	Požiarne zaťaženie [MJ.m^{-2}]	
	Eurokód 1	STN 92 0201-1 ¹⁾
Byty	948	700
Nemocnice (izby)	280	350
Hotely (izby)	377	525
Knižnice	1824	2 100
Kancelárie	511	700
Školské triedy	347	437,5
Nákupné centrum	730	1 575
Divadlá (kiná)	365	525
Doprava (priestory pre verejnosť)	122	262,5

1) Hodnoty v kg.m^{-2} boli prepočítavané na MJ.m^{-2} s použitím výhrevnosti dreva $17,5 \text{ MJ.kg}^{-1}$

3.2 Rýchlosť rozvoja požiaru

Rýchlosť rozvoja požiaru má z pohľadu požiarnej bezpečnosti stavieb kľúčový význam pre fázu evakuácie. Čím rýchlejšie prebieha nárast požiaru, tým skôr nastane zadymenie priestoru a teplota priestoru prekročí únosnú mieru; možný čas evakuácie teda so stúpajúcou rýchlosťou nárastu požiaru úmerne klesá. Zároveň so stúpajúcou rýchlosťou požiaru klesá aj čas, počas ktorého je možné využiť hasiace prístroje a zvyšuje sa náročnosť zásahu vzhľadom na dobu dojazdu; obdobná filozofia je zapracovaná v pokyne prezidenta HaZZ 39/2003 o *obsahu a o postupe pri spracúvaní dokumentácie o zdoľávaní požiarov* [22].

Súčasný vyjadrenie rýchlosti nárastu požiaru v slovenských predpisoch, prostredníctvom súčiniteľa horľavých látok a resp. pravdepodobnosti vzniku a rozšírenia požiaru p_1 [1, 23, 54], neumožňuje priame stanovenie ich vplyvu na možnosť použitia hasiacich prístrojov alebo vedenia protipožiarneho zásahu, pre bližšiu diskusiu pozri [25]. Preto sa v rámci navrhovaného modelu uvažuje s využitím t^n -modelu rozvoja požiaru a súčiniteľom rýchlosti rozvoja požiaru α .

t^n -model rozvoja požiaru bol prvý krát zadaný Heskestadom a Delichatsiosom [26] a po menších úpravách [27] sa jeho používanie v rámci požiarneho inžinierstva výrazne rozšírilo vo forme t^2 -modelu požiaru (pozri napr. [28–30]). Základom t^n -modelu požiaru je predpoklad, že požiar, respektíve jeho tepelný výkon, vo fáze rozvoja rastie exponenciálne s časom. t^2 -model požiaru je matematicky možné vyjadriť ako [31]:

$$\dot{Q} = \alpha \cdot (t - t_i)^2 \quad (3.1)$$

kde:

$\dot{Q}$	rýchlosť uvoľňovania tepla (HRR)	[kW];
α	súčiniteľ rýchlosti rozvoja požiaru	[kW.s ⁻²];
t	doba trvania fázy rozvoja	[s];
t_i	doba trvania fázy iniciácie	[s].

V priebehu používania t^2 -modelu požiaru v praxi sa ustálili štyri hraničné hodnoty súčiniteľa α , ktoré sa stanovujú na základe času potrebného na to, aby rýchlosť uvoľňovania tepla požiaru prekročila 1 MW. Ich prehľad spolu s príkladmi použitia uvádza tab. 3.2.

Tabuľka 3.2 Štandardizované hodnoty súčiniteľa rýchlosti rozvoja požiaru α [31]

Intenzita zdroja [kW]	Čas dosiahnutia 1MW [s]	Súčiniteľ α [kW.s ⁻²]	Príklad užívania stavby [30]
Pomalý	600	0,00293	Galéria
Stredný	300	0,01172	Kancelária
Rýchly	150	0,0469	Predajňa
Ultra rýchly	75	0,1876	Skladové priestory

Pre potreby navrhovaného modelu budú jednotlivé kategórie rýchlosti rozvoja požiaru ovplyvňovať pravdepodobnosť úspešného použitia hasiacich prístrojov a potenciál voľného rozšírenia sa požiaru. Bližšie je konkrétny vplyv rýchlosti rozvoja požiaru popísaný v stati 4.1. Prevodník hodnôt súčiniteľa horľavých látok α resp. pravdepodobnosti vzniku a rozšírenia požiaru p_1 na súčiniteľ rýchlosti rozvoja požiaru α je uvedený v tab. 3.3 a konkrétne príklady hodnôt α pre rôzne druhy užívania stavieb sú uvedené v tab. 3.4.

Tabuľka 3.3 Prevodník hodnôt súčiniteľa horľavých látok a resp. pravdepodobnosti vzniku a rozšírenia požiaru p_1 na súčiniteľ rýchlosti rozvoja požiaru α

Kategória rýchlosti rozvoja požiaru	Súčiniteľ α	Pravdepodobnosť p_1
Pomalý	$\alpha \leq 0,75$	$p_1 \leq 0,9$
Stredný	$0,75 > \alpha \leq 1,0$	$0,9 > p_1 \leq 1,7$
Rýchly	$1,0 > \alpha \leq 1,25$	$1,7 > p_1 \leq 2,4$
Ultra rýchly	$\alpha > 1,25$	$p_1 > 2,4$

Tabuľka 3.4 Príklady súčiniteľa rýchlosti rozvoja požiaru α

Druh užívania stavby	Súčiniteľ α [kW.s ⁻²]	Kategória rýchlosti rozvoja požiaru
Bar / Nočný klub	0,0045	stredný
Byt (obývacia izba)	0,04	rýchly
Detské ihrisko-vnútorne	0,1	ultra rýchly
Kancelária	0,003	stredný
Knižnica	0,008	stredný
Parkovisko	0,0101	stredný
Predajňa batožiny	0,6054	ultra rýchly
Predajňa CD a DVD	0,02	rýchly
Predajňa kobercov	0,0238	rýchly
Predajňa odevov	0,308	ultra rýchly
Recepcia	0,003	stredný
Predajňa zmiešaného tovaru	0,184	ultra rýchly
Väzenská cela	0,007	stredný

4. KATEGORIZÁCIA PROTIPOŽIARNYCH OPATRENÍ AKO SÚČASTÍ MODELU

Pre potreby tejto príručky sa protipožiarnymi opatreniami najčastejšie rozumejú požiarotechnické zariadenia, ale môžu nimi byť aj požiarne deliace konštrukcie, únikové cesty, prípadne manažment požiarnej prevencie. Jednotlivé protipožiarne opatrenia, ktorými je špecifikovaná úroveň požiarnej bezpečnosti majú na požiar rôzny vplyv. Kým niektoré dokážu obmedziť jeho šírenie, resp. úplne ho uhasiť, iné na prítomnosť požiaru len upozornia bez toho, aby jeho priebeh akokoľvek priamo ovplyvňovali. Z tohto dôvodu sa požiarotechnické zariadenia (angl. *fire protection systems*) najčastejšie delia na aktívne a pasívne, avšak uvedené rozdelenie bude v tejto príručke aplikované nielen na požiarotechnické zariadenia, ale na celú oblasť protipožiarnych opatrení.

4.1 Aktívne protipožiarne opatrenia

Do skupiny aktívnych protipožiarnych opatrení spadajú všetky protipožiarne systémy a zariadenia, ktoré nejakým spôsobom aktívne ovplyvňujú priebeh požiaru, identifikujú jeho prítomnosť a upozornia osoby v stavbe, umožňujú prvotné hasiace práce, ale zároveň aj vykonanie zásahu hasičskou jednotkou. V rámci navrhovaného modelu sa uvažuje s nasledovnými aktívnymi protipožiarными opatreniami (chronologicky zoradené podľa využitia v modeli):

- elektrická požiarňa signalizácia;
- ručné hasiace prístroje;
- sprinklerové stabilné hasiace zariadenia (automatické);
- zásah hasičskej jednotky.

Elektrická požiarňa signalizácia zohráva významnú úlohu z pohľadu včasného odhalenia vzniku požiaru a informovania osôb v stavbe, prípadne aj automatickej (priamej alebo sprostredkovanej) notifikácie hasičskej jednotky. V slovenských predpisoch sú požiadavky na elektrickú požiarňu signalizáciu upravené vo Vyhláske MV SR č. 726/2002 Z.z. [32].

Pre potreby navrhovaného modelu sa uvažuje s elektrickou požiarňou signalizáciou pokrývajúcou celú posudzovanú stavbu automatickými dymovými hlásičmi a vhodnými signalizačnými zariadeniami. Dymové hlásiče majú vo veľkej väčšine prípadov reakčný čas výrazne kratší ako tepelné hlásiče; zdroje [33, 34] uvádzajú približne 8 až 10-násobne rýchlejšiu detekciu požiaru v prípade dymových hlásičov, v priemere ≈ 2 min. Detekčný čas je však závislý na druhu paliva, spôsobe horenia a samozrejme na geometrii priestoru a umiestnení hlásičov.

Efekt automatickej elektrickej požiarnej signalizácie z pohľadu navrhovaného modelu spočíva hlavne v upozornení osôb v stavbe na prítomnosť požiaru, čím sa jednak urýchli prípadné použitie hasiacich prístrojov (pozri nižšie), ale zároveň sa zvýši aj šanca na bezpečný únik zo stavby; skráti sa doba, počas ktorej sa požiar šíri bez toho, aby o ňom osoby v stavbe vedeli. Je však potrebné, aby okrem pokrytia bola zabezpečená aj adekvátne forma upozornenia –

požiarneho poplachu. Na nej závisí predevakuačný čas, t.j. čas od aktivácie elektrickej požiarnej signalizácie (požiarneho alarmu), kým osoby nezačnú proces evakuácie; PD 7974-6 [35] uvádza 0,5 až >15 minút, v závislosti na druhu a pokrytí elektrickou požiarňou signalizáciou.

Pravdepodobnosť úspešnej aktivácie a notifikácie vzniku požiaru (p_{fa}) bola pre navrhovaný model zvolená na základe prehľadu literatúry [6, 33, 36] na úrovni $p_{fa} = 0,85$.

Čo sa týka efektov elektrickej požiarnej signalizácie, tak v modeli sa uvažuje z pohľadu rozšírenia sa požiaru s vplyvom na úspešnosť použitia hasiacich prístrojov a protipožiarneho zásahu vedeného hasičskou jednotkou. Ak je elektrická požiarňa signalizácia v objekte nainštalovaná uvažuje sa v oboch prípadoch so zvýšenou pravdepodobnosťou uhasenia požiaru, čo v konečnom dôsledku znamená nižšie predpokladané poškodenie stavby spôsobené požiarom; konkrétne hodnoty pravdepodobností sú uvedené pri jednotlivých protipožiarňých opatreniach.

Je však možné, že v prípade určitých špecifických typoch požiarov, napr. požiare horľavých kvapalín, prítomnosť elektrickej požiarnej signalizácie významne neovplyvní schopnosť efektívne využiť hasiace prístroje, vzhľadom na extrémne rýchle šírenie sa požiaru.

Z hľadiska ochrany života, t.j. redukcie pravdepodobnosti úmrtia je možné, na základe dostupných údajov [33, 37,38,39], uvažovať s redukciami na úrovni 50 % v prípade, ak je celá posudzovaná stavba vybavená elektrickou požiarňou signalizáciou v zmysle vyššie uvedených požiadaviek.

Ručné hasiace prístroje sú prostriedkom na vykonanie, tzv. prvotného zásahu pred príchodom hasičskej jednotky. Sú nimi vybavované prakticky všetky priestory v stavbách, s výnimkou jednotlivých bytových jednotiek [40, 41]. Podľa druhu hasiacej látky rozoznávame hasiace prístroje:

- vodné;
- penové;
- práškové;
- halónové (halónové alternatívy).

Prenosné hasiace prístroje určené pre hasenie požiarov tuhých látok (trieda A) a horľavých kvapalín (trieda B) majú v zmysle STN EN 37+A1 *Prenosné hasiace prístroje. Časť 7: Charakteristiky, požiadavky na vlastnosti a skúšobné metódy* [42] stanovenú účinnosť hasenia, t.j. maximálnu veľkosť skúšobného požiaru, ktorý sú schopné uhasiť. Táto účinnosť, však nie je totožná so štatistickou účinnosťou hasenia, ktorá je využívaná v navrhovanom modeli.

Účinnosťou použitia hasiaceho prístroja (p_{fe}) sa v kontexte navrhovaného modelu rozumie štatistická úspešnosť pri hasení požiarov. Vzhľadom na fakt, že prenosné hasiace prístroje sú

určené pre netréňovanú (profesionálne) obsluhu, nie každé použitie hasiaceho prístroja nevyhnutne vedie k úplnému uhaseniu požiaru. Druhým faktorom, ktorý ovplyvňuje použitie hasiacich prístrojov, je čas spozorovania požiaru, t.j. doba, počas ktorej sa požiar pred použitím hasiaceho prístroja voľne šíril. Čím dlhšie požiar narastá, tým menšia je pravdepodobnosť jeho uhasenia prenosným hasiacim prístrojom. Z tohto dôvodu je úspešnosť použitia hasiacich prístrojov (účinnosť) závislá na prítomnosti, resp. neprítomnosti elektrickej požiarnej signalizácie, tak ako bolo ozrejmene vyššie.

Analýzou viacerých zdrojov [14, 43–45] bol zistený značný rozptyl intervalu udávaných hodnôt účinností použitia hasiaceho prístroja – 20 až 95 %, čo predstavuje $p_{fe} = 0,25$ až $0,95$. Z tohto intervalu boli potom do navrhovaného modelu zvolené hodnoty pravdepodobnosti úspešného použitia hasiacich prístrojov, ktoré sú uvedené v tab. 4.1, v závislosti na kategórii rýchlosti rozvoja požiaru, prítomnosti a aktivácii elektrickej požiarnej signalizácie.

Zároveň sa v modeli uvažuje, že maximálna možná plocha požiaru, ktorú je hasiacim prístrojom možné uhasiť je $2,5 \text{ m}^2$; tým je zároveň vyjadrený aj predpokladaný rozsah poškodenia pre úspešné použitie hasiaceho prístroja. Uvedený rozsah je v zhode so štúdiou [44].

Čo sa týka vplyvu použitia hasiacich prístrojov na ochranu života, bol identifikovaný jediný zdroj pojednávajúci o vplyve úspešného použitia hasiacich prístrojov na redukciiu pravdepodobnosti úmrtia v dôsledku požiaru. Z používania hasiacich prístrojov v nočných kluboch vyplýva, že k 93% úmrtí pri požiaroch dochádza až potom, keď požiar prekročí úvodnú fázu rozvoja; štúdia čerpá z amerických štatistických údajov za roky 1991 – 1995 [46].

venovaného použitiu hasiacich prístrojov v nočných kluboch, že k 93% úmrtí pri požiaroch dochádza až potom, keď požiar prekročí úvodnú fázu rozvoja; štúdia čerpá z amerických štatistických údajov za roky 1991 – 1995.

Tabuľka 4.1 Hodnoty pravdepodobnosti úspešného použitia hasiacich prístrojov p_{fe}

Kategória rýchlosti rozvoja požiaru	Pravdepodobnosť úspešného použitia hasiacich prístrojov p_{fe}	
	EPS inštalovaná a detekcia úspešná	EPS nenainštalovaná resp. detekcia neúspešná
Pomalý	0,7	0,35
Stredný	0,6	0,30
Rýchly	0,5	0,25
Ultra rýchly	0,4	0,20

Ak sa bude aplikovať obdobná logika ako v prípade rozsahu poškodenia požiarom, t.j. po úspešnom použití hasiaceho prístroja, je požiar kompletne uhasený a ďalej sa nešíri, bolo by

možné redukovať aj pravdepodobnosť úmrtia. Na základe toho, že hasiace prístroje nie sú použité pri každom požiari, zdroje [43, 45] indikujú cca 20 až 25 % prípadov a vyššie uvedeným údajom o efektívnosti ich použitia, sa bude v navrhovanom modeli uvažovať s 25 % redukciou dopadov na život. Tým sa jednak berie ohľad na to, že sa jedná o záver vyvodený na základe obmedzených informácií, ako aj na to, že hasiaci prístroj môže byť použitý až vtedy, keď už k úmrtiu došlo, napr. v dôsledku inhalácie toxických splodín horenia.

Automatické sprinklerové hasiace systémy patria z hľadiska vplyvu na nárast a šírenie sa požiaru medzi najlepšie zdokumentované protipožiarne opatrenia. Ich primárnym účelom je obmedziť šírenie sa požiaru tak, aby zasahujúce jednotky mohli rýchlo a účinne vykonať zásah. Štatisticky [6, 7] však často dochádza k úplnému uhaseniu požiaru, a to už pri aktivácii relatívne nízkeho počtu sprinklerových hlavíc.

Z pohľadu účinnosti a spoľahlivosti patria automatické sprinklerové hasiace zariadenia medzi najefektívnejšie protipožiarne opatrenia obmedzujúce rozsah škôd. Pravdepodobnosť, že poškodenie spôsobené požiarom prekročí 10 m² je v prípade vhodne navrhnutého a udržiavaného systému 10 % [33]; prakticky identické hodnoty uvádzajú aj [6], [8] a [47].

Pre potreby navrhovaného modelu sa teda uvažuje, že pravdepodobnosť úspešného fungovania automatického sprinklerového systému je 90 %, t.j. uzol automatického sprinklerového systému má priradenú pravdepodobnosť $p_{fp} = 0,9$ a predpokladaný negatívny následok z pohľadu rozsahu požiaru je 10 m².

Náročnejšie je stanovenie vplyvu automatického sprinklerového systému na ochranu života, t.z. redukcii pravdepodobnosti úmrtia v dôsledku požiaru. Analýzou dostupných zdrojov [33, 8, 37, 39] bola stanovená možná redukcia pravdepodobnosti úmrtia p_{fd} v rozsahu 2 až 10-krát. Vzhľadom na reakčnú dobu sprinklerových hlavíc (v podstate sa jedná o tepelné detektory), je pre potreby modelu uvažovaná dolná hranica, t.j. redukcia p_{fd} o 50 %; rovnakú úroveň vplyvu sprinklerových systémov na ochranu života uvádza aj štúdia [48]. Aplikácia tejto redukcie bude identická ako v prípade elektrickej požiarnej signalizácie.

Protipožiarny zásah hasičskej jednotky v navrhovanom modeli predstavuje poslednú možnosť redukcie dopadov požiaru. Z pohľadu klasifikácie je hodnotený ako aktívne protipožiarne opatrenie, aj napriek tomu, že sa nejedná o opatrenie tvoriace súčasť návrhu stavby, nakoľko cieľom protipožiarneho zásahu je lokalizácia a úplné uhasenie požiaru. Protipožiarny zásah je vykonaný kedykoľvek dôjde k ohláseniu požiaru, či už telefonicky alebo prostredníctvom automatického signálu z elektrickej požiarnej signalizácie.

Nakoľko problematika účinnosti vedenia protipožiarneho zásahu je relatívne komplexná a ovplyvňuje ju viacero faktorov, je pre potreby navrhovaného modelu redukovaná na závislosť od rýchlosti rozvoja požiaru, oznámenia vzniku požiaru a predpokladanej doby dojazdu hasičskej jednotky. Zároveň sa uvažuje, že ak bolo úspešné použitie hasiaceho prístroja alebo

automatického sprinklerového hasiaceho zariadenia, k ďalšiemu šíreniu požiaru nedochádza a preto sa s ďalším vplyvom protipožiarneho zásahu na jeho redukciu neuvažuje.

Na stanovenie predpokladanej doby dojazdu hasičskej jednotky a lokalizácie požiaru bola použitá výpočtová metodika, ktorá je uvedená v pokyne prezidenta HaZZ č. 39/2003 [22]. Vychádzajúc z tejto metodiky boli pre jednotlivé kategórie rýchlosti rozvoja požiaru a kategórie hasičských jednotiek (pozri STN 92 0201-1 [1]) stanovené predpokladané časy voľného šírenia požiaru, ktoré sú zosumarizované v tab. 4.2.

Tabuľka 4.2 Predpokladané doby voľného šírenia požiaru pre jednotlivé kategórie hasičských jednotiek a rýchlosti rozvoja požiaru

Kategória jednotky [1]	Predpokladaná doba [min]								
	Ohlásenia požiaru		Jazdy a rozvinutia	Lokalizácie požiaru		Voľného šírenia požiaru			
	s EPS	bez EPS		P až R	UR	S EPS		Bez EPS	
P1	5	15	5	5	10	15	20	25	30
P2	5	15	10	5	10	20	25	30	35
P3	5	15	15	5	10	25	30	35	45

P až R – pomalá až rýchla kategória rýchlosti rozvoja požiaru

UR – ultra rýchla kategória rýchlosti rozvoja požiaru

Využitie označenia kategórií hasičskej jednotky (P1 – P3) v zmysle STN 92 0201-1 [1], bolo zvolené z dôvodu rovnosti doby dojazdu a bojového rozvinutia (5, 10 a 15 min.) s intervalmi dojazdov uvádzanými v použitých štatistických zdrojoch.

Na tomto mieste je ešte potrebné upozorniť na fakt, že stanovenie doby ohlásenia požiaru, t.j. času, ktorý uplynie od vznietenia až po spozorovanie a nahlásenie požiaru, je relatívne komplikované. Pri automatických hlásičoch je možné vychádzať z údajov priemerných časov ich aktivácie. Pri priemernom čase aktivácie dymových hlásičov (najčastejšie používané) ≈ 2 min, je odhadovaná doba ohlásenia požiaru 5 min realistická; obdobný odhad je použitý aj v [33] a [49].

Ak však stavba nie je vybavená elektrickou požiarnou signalizáciou (EPS), je odhad doby ohlásenia požiaru náročnejší. Okrem prípadov, kedy osoba(y) v stavbe sú svedkami vzniku požiaru, nie je možné s istotou identifikovať presný čas kedy ku vznieteniu došlo. Problematické je tak určenie doby ohlásenia požiaru pre priestory, kde sa osoby bežne nevyskytujú alebo mimo pracovných hodín. Analýzou značne obmedzených zdrojov [44, 50] bolo zistené, že doba 15 min by mohla vhodne reprezentovať dobu ohlásenia požiaru v prípade, že stavba nie je vybavená elektrickou požiarnou signalizáciou.

Následne boli stanovené rozsahy poškodenia stavby požiarom, za predpokladu, že po uplynutí času voľného šírenia požiaru podľa tab. 4.2 dochádza k lokalizácii požiaru. Tieto hodnoty sú

zosumarizované v tab.4.3. Pri ich výpočte bol použitý t^2 -model požiaru popísaný v stati 3.2, konkrétne upravená forma rovnice (3.1), a to nasledovným spôsobom:

$$\dot{Q} = \frac{\alpha \cdot (t - t_i)^2}{RHR_f} \quad (4.1)$$

kde:

- $\dot{Q}$ rýchlosť uvoľňovania tepla (HRR) [kW];
 α súčiniteľ rýchlosti rozvoja požiaru (podľa tab. 5.8) [kW.s⁻²];
 t doba trvania fázy rozvoja (podľa tab. 5.12) [s];
 t_i doba trvania fázy iniciácie (uvažovaná hodnota $t_i = 0$) [s];
 RHR_f maximálna rýchlosť uvoľňovania tepla [kW.m⁻²].

Platí však, že predpokladaný rozsah požiaru je obmedzený plochou posudzovaného požiarneho úseku. Ak teda hodnota určená podľa tab. 5.13 prekračuje plochu daného požiarneho úseku, považuje sa za predpokladaný rozsah požiaru celková pôdorysná plocha tohoto požiarneho úseku.

Na základe analýzy údajov z viacerých zdrojov [51, 52, 53] bola zvolená pravdepodobnosť rýchlej lokalizácie a následného uhasenia požiaru ($p_{ff} = 0,8$), t.j. 80 % úspešnosť. Plocha stavby poškodená požiarom sa stanovuje podľa nasledovného kľúča:

- a) v prípade ak si požiarne deliace konštrukcie zachovávajú svoju funkciu (pozri stat' 4.2):
 - aa) rýchla lokalizácia požiaru ($p_{ff,y} = 0,8$) – plocha poškodená požiarom je určená podľa tab. 4.3, resp. ako celá plocha posudzovaného požiarneho úseku;
 - ab) pomalá lokalizácia požiaru ($p_{ff,n} = 0,2$) – plocha poškodená požiarom je vždy rovná celej ploche posudzovaného požiarneho úseku;
- b) v prípade ak si požiarne deliace konštrukcie nezachovávajú svoju funkciu:
 - ba) rýchla lokalizácia požiaru ($p_{ff,y} = 0,8$) – plocha poškodená požiarom je rovná dvojnásobku plochy posudzovaného požiarneho úseku;
 - bb) pomalá lokalizácia požiaru ($p_{ff,n} = 0,2$) – plocha poškodená požiarom je rovná štvornásobku plochy posudzovaného požiarneho úseku;

Tabuľka 4.3 Predpokladané rozsahy poškodenia spôsobené požiarom pre jednotlivé kategórie hasičských jednotiek a rýchlosti rozvoja požiaru

Kategória rýchlosti rozvoja požiaru	Predpokladaný rozsah požiaru pre kategóriu has. Jednotky [m ²]					
	Stavba s EPS			Stavba bez EPS ¹⁾		
	P1	P2	P3	P1	P2	P3
Pomalý	10	15	30	25	40	50
Stredný	40	70	110	100	150	200
Rýchly	150	270	420	425	600	825
Ultra rýchly	1 100	1 700	2 450	2 450	3 300	5 500

1) zlyhanie aktivácie EPS má za následok rovnaký rozsah požiaru, ako v stavbe bez EPS

Ak je predpokladaná doba dojazdu hasičskej jednotky viac než 15 min., t.j. mimo uvedenú kategorizáciu, uvažuje sa, že sa požiar vždy rozšíri na celú plochu požiarneho úseku.

Alternatívne je plochu poškodenú požiarom v zmysle bodu ad b) možné určiť aj iným spôsobom, ktorý zohľadňuje rozšírenie sa požiaru do susedného požiarneho úseku alebo úsekov. Uvedené hodnoty pravdepodobnosti neúspešnej lokalizácie, t.j. že hasičské jednotky požiarne zvládnu dostať pod kontrolu $p_{ff,n} = 0, 2$, predstavujú o niečo konzervatívnejší odhad, ako hodnoty doporučené DIN E 18230-1 $p_{ff,n} = 0, 1$ [54], ktoré použil vo svojej práci [15] Fontana.

Pri stanovovaní rozsahov poškodenia stavby požiarom sa v rovnici (4.1) uvažovalo s hodnotou $RHR_f = 250 \text{ kW.m}^{-2}$. Táto hodnota je reprezentatívna pre väčšinu priestorov v zmysle Eurokódu 1 [21], avšak vo vybraných prípadoch je potrebné použiť hodnotu $RHR_f = 500 \text{ kW.m}^{-2}$.

Uvedený postup stanovenia predpokladaného rozsahu požiaru podľa rovnice (4.1) je možné považovať za konzervatívny z dvoch dôvodov:

1. celý proces šírenia sa požiaru prebieha vo fáze nárastu, t.j. neuvažuje sa s jeho obmedzením z dôvodu nedostatočného prístupu vzduchu, a tým pádom je jeho nárast exponenciálny;
2. použitá hodnota $RHR_f = 250 \text{ kW.m}^{-2}$ je relatívne nízka, pričom platí princíp, že čím nižšia bude hodnota RHR_f , tým väčšia bude plocha zasiahnutá požiarom pri danej rýchlosti rozvoja požiaru a predpokladanom čase jeho voľného šírenia.

Uvedený postup bol použitý z dôvodu, že výsledné rozsahy požiaru stanovené podľa výpočtovej metodika uvedenej v pokyne prezidenta HaZZ č. 39/2003 [22], pre tie isté predpokladané doby voľného šírenia požiaru, boli 4 až 20-násobne vyššie. Tým sa prakticky vylučovala akákoľvek možnosť posúdenia vplyvu doby dojazdu hasičskej jednotky na rozsah požiaru v stavbe, pretože by bolo nutné vždy uvažovať s požiarom rozšíreným po celom požiarnom úseku. Toto sa však nezhoduje so štatistikami [44, 55], podľa ktorých prevažná väčšina požiarov nezasiahne plochu väčšiu ako 100 m^2 ; výnimkou sú skladovacie priestory, kde 30 % požiarov zasiahne viac než 100 m^2 . Zahraničné štatistické údaje boli v tomto prípade využité z dôvodu, že v SR sa štatistiky s požadovanými údajmi nevedú.

Z pohľadu dopadov na život má doba dojazdu hasičskej jednotky vplyv na pravdepodobnosť úmrtia v dôsledku požiaru. Analýzou štatistických údajov z Veľkej Británie [55] boli identifikované rozdiely medzi podielom úmrtí na celkovom počte usmrtených, zranených a zachránených, v závislosti na dobe dojazdu, pozri tab. 4.4. Doba dojazdu 5 – 10 min je z dôvodu najvyššieho počtu zásahov v tomto intervale považovaná za referenčnú. Ak bol zásah započatý do 5 minút od ohlásenia, je podiel úmrtí nižší o cca. 20 %; ak v rozmedzí 10 – 15 minút tento podiel sa naopak o cca. 20 % zvýšil. Keďže údaje pre dobu dojazdu hasičskej jednotky nad 15 minút boli k dispozícii len vo veľmi obmedzenej miere, nebolo možné relevantne kvantifikovať vplyv na podiel osôb usmrtených v dôsledku požiaru, a preto sa s ním v navrhovanom modeli neuvažuje.

Tabuľka 4.4 Vplyv dojazdu hasičskej jednotky na podiel úmrtí

Doba dojazdu	Podiel úmrtí na celkovom počte usmrtených, zranených a zachránených		
	obytné domy	iné stavby	zmena
do 5 min	1,61	1,6	-20%
5 -10 min	1,85	1,9	Referencia
10 – 15 min	2,27	2,2	+20%

Hodnoty v tabuľke vychádzajú zo štatistických údajov pre Veľkú Britániu [55]

Keďže sú podiely usmrtení na celkovom počte usmrtených, zranených a zachránených veľmi nízke, je obtiažne určiť exaktnú mieru vplyvu doby dojazdu na pravdepodobnosť úmrtia v dôsledku požiaru. Z tohto dôvodu bude v navrhovanom modeli miera vplyvu dojazdu hasičských jednotiek znížená o 50 %, čo znamená nasledovné hodnoty:

- doba dojazdu do 5 min – redukcia pravdepodobnosti usmrtenia o 10 %;
- doba dojazdu od 5 do 10 min – referenčná hodnota;
- doba dojazdu od 10 do 15 min – nárast pravdepodobnosti usmrtenia o 10 %.

Vyššie uvedená redukcia pravdepodobnosti usmrtenia v dôsledku požiaru sa opiera o logický argument, že čím rýchlejšie sa dostane hasičská jednotka na miesto požiaru, tým vyššia by mala byť šanca na záchranu osôb, ktoré nestihli, alebo nie sú schopné, stavbu opustiť.

4.2 Pasívne protipožiarne opatrenia

Stavby bývajú zvyčajne rozdelené na požiarne úseky, ktorých účelom je po určitú dobu zabrániť šíreniu požiaru mimo vymedzený priestor. Na ohraničenie požiarneho úseku sa spravidla používajú požiarne deliace konštrukcie, aj keď v určitých prípadoch môžu byť nahradené napríklad stabilným hasiacim zariadením vytvárajúcim vodnú clonu. Otvory v požiarne deliacich konštrukciách sa vybavujú požiarnymi uzávermi a prestupy rozvodov a inštalácií sa požiarne utesňujú tak, aby požiarne odolnosť konštrukcie, v ktorej sú umiestnené nebola znížená.

Z pohľadu navrhovaného modelu je pri požiarne deliacich konštrukciách, uzáveroch a utesneniach dôležitá hlavne pravdepodobnosť dosiahnutia, resp. zachovania si, požiarnej odolnosti počas požadovanej doby, t.j. že nedôjde k prenosu požiaru z jedného požiarneho úseku do druhého.

Najlepšie výsledky v tomto ohľade dosahujú časti konštrukcií stien a stropov, ktoré v sebe nemajú otvory alebo prestupy; pridaním týchto prvkov do požiarne deliacich konštrukcií klesá aj pravdepodobnosť zachovania si požadovanej požiarnej odolnosti. Toto sa týka hlavne požiarneho uzáveru, ktoré bývajú, najmä v komunikačných priestoroch, zaistené v otvorenej polohe, čím sa vlastne neguje ich úloha. Prehľad pravdepodobností zabezpečenia požadovanej

požiarnej odolnosti jednotlivých konštrukčných prvkov (p_{fr}), ktorý vznikol analýzou zdrojov [6, 51, 36, 49], je uvedený v tab. 4.5.

Ak sa vezme do úvahy početnosť výskytu požiarnych uzáverov v požiarne deliacich konštrukciách a ich pomer plôch, je možné, s ohľadom na hodnoty pravdepodobností uvedené v tab. 4.5, určiť reprezentatívnu hodnotu pravdepodobnosti zachovania požadovanej požiarnej odolnosti jednotlivých druhov stien ako 90 % z hodnoty p_{fr} bez otvorov.

Ako ďalší činiteľ, ktorý môže ovplyvniť hodnotu pravdepodobnosti p_{fr} je možné uvažovať úroveň požiarneho zaťaženia. V zmysle rozdelenia úrovni požiarneho zaťaženia na nízku, strednú a vysokú, pozri stať 3.1, sa považuje za reprezentatívnu stredná úroveň požiarneho zaťaženia; pri nízkej úrovni sa pravdepodobnosť p_{fr} zvyšuje a pri vysokej naopak znižuje. Táto úprava je vyjadrená modifikačným koeficientom c_{fr} , ktorým sa hodnota p_{fr} pre násobuje. Konkrétne hodnoty pravdepodobností p_{fr} pre jednotlivé druhy stien so zohľadnením vplyvu požiarneho uzáverov a úrovne požiarneho zaťaženia je zosumarizovaný v tab. 4.6.

V kontexte účinnosti požiarne deliacich konštrukcií by sa dalo uvažovať aj s možnosťou vyhorenia všetkého paliva a následného vyhasnutia požiaru, avšak neexistuje dostatok informácií na kvantifikáciu takejto možnosti. Preto je v navrhovanom modeli vždy uvažované s potrebou zásahu hasičskej jednotky, čo je na strane bezpečnosti.

Tabuľka 4.5 Pravdepodobnosť zachovania požadovanej požiarnej odolnosti pre rôzne konštrukčné prvky

Konštrukčný prvok	Pravdepodobnosť p_{fr}
Steny – bez otvorov	
Betónové	0,95
Murované	0,8
Ľahké deliace priečky	0,7
Požiarne uzávery – úmyselné zablokovanie v otvorenej polohe	
Požiarne dvere	0,7
Požiarne dvere do chránených únikových ciest	0,9
Ostatné prvky	
Požiarne odolné sklo	0,4
Tesnenia prestupov	0,999
Klapky v potrubiach	0,997

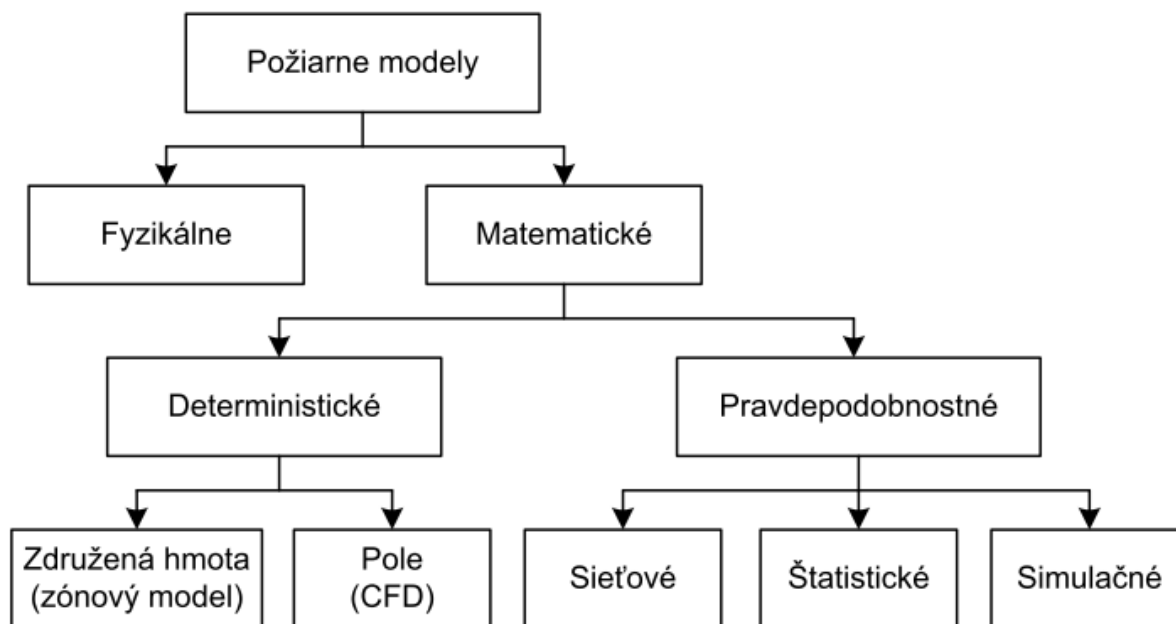
Tabuľka 4.6 Pravdepodobnosť zachovania požadovanej požiarnej odolnosti pre rôzne druhy stien so zohľadnením požiarnych uzáverov a úrovne požiarneho zaťaženia

Druh steny	Pravdepodobnosť p_{fr} pre úroveň požiarneho zaťaženia ¹⁾		
	nízkú $c_{fr} = 1,1$	strednú $c_{fr} = 1$	Vysokú $c_{fr} = 0,9$
Betónová stena	0,95	0,86	0,78
Murovaná stena	0,79	0,72	0,66
Ľahká deliaca priečka	0,69	0,63	0,57

1) pozri stať 5.5.1 pre definíciu jednotlivých úrovní požiarneho zaťaženia

Z pohľadu ochrany života, sa pre potreby navrhovaného modelu nedá priradiť vyššie spomínaným pasívnym prvkom protipožiarneho zabezpečenia konkrétna miera redukcie pravdepodobnosti úmrtia alebo zranenia v dôsledku požiaru. Oproti aktívnym protipožiarным opatreniam popisovaným v predchádzajúcej stati, totiž nie je možné vyjadriť vplyv požiarne deliacich konštrukcií binárnou formou – prítomné / neprítomné. Miera ich vplyvu na ochranu života závisí od ich umiestnenia, veľkosti požiarnych úsekov, ktoré ohraničujú, použitia na oddelenie únikových ciest atď. Je logické, že ak by každá stavebná konštrukcia bola požiarne odolná a všetky otvory v nej vybavené automatickými a dymotesnými požiarnymi uzávermi, bola by ochrana života na vysokej úrovni z dôvodu značne obmedzeného šírenia ohňa a dymu; takéto riešenie by však malo značné ekonomické implikácie.

Na kvantifikáciu miery vplyvu pasívnych protipožiarnych opatrení na redukciu pravdepodobnosti úmrtia, príp. zranenia v dôsledku požiaru by bolo potrebné vykonať deterministickú analýzu dostupného a potrebného času evakuácie, tzv. RSET / ASET analýzu, s využitím niektorého zo spôsobov modelovania, vid' obr. 4.1.



Obr. 4.1 Rozdelenie modelov využívaných v požiarnej ochrane [56] upravené

ZÁVER

Problematika efektívnosti protipožiarňch opatrení je neoddeliteľnou súčasťou požiarnej bezpečnosti stavieb. Východiskom však v tomto smere nie sú štandardizované testovacie metódy, ktorými sa preukazuje schopnosť protipožiarňch opatrení vykonať svoju funkciu na vyšpecifikovanom skúšobnom scenári. Efektívnosť protipožiarňch opatrení je možné najjednoduchšie interpretovať ako mieru redukcie dopadov požiaru na život a zdravie osôb, majetok a životné prostredie.

Vstupné parametre medzi ktoré patria pravdepodobnosť vzniku požiaru a pravdepodobnosť úmrtia a zranenia účinkami požiaru v jednotlivých typoch budov a parametre účinnosti a spoľahlivosti protipožiarňch opatrení a systémov sú vstupnými parametrami do pravdepodobnostného modelu na hodnotenie efektívnosti protipožiarňch opatrení.

Model bude umožňovať kvantifikáciu požiarneho rizika, dopadov požiaru a efektívnosti požiarňch opatrení a bude ho možné využiť aj na analytické hodnotenie činiteľov, ktoré tieto parametre ovplyvňujú.

Navrhovaný model bude predstavovať plne funkčné riešenie a s využitím štandardného softwarového vybavenia kancelárskych PC (napr. Microsoft Excel) ho bude možné využívať bez ďalších špeciálnych požiadaviek. V tejto príručke sú stanovené všetky potrebné vstupné údaje, ktoré reprezentujú prevažnú väčšinu druhov užívania stavieb a najpoužívanéjšie protipožiarne opatrenia.

Výsledky funkčnosti navrhovaného modelu na modelovom scenári budú poukazovať na fakt, že zhodnotením efektívnosti protipožiarňch opatrení bude možné identifikovať variantné riešenia (úrovne požiarnej bezpečnosti), ktoré zabezpečia splnenie požiadaviek predpisov (napr. minimálne vybavenie stavby požiarnotechnickými zariadeniami) a zároveň umožnia dosiahnutie požiadaviek zúčastnených strán (napr. zvýšenie flexibility využitia priestoru pri zachovaní úrovne poškodenia stavby).

POUŽITÁ LITERATÚRA

- [1] STN 92 0201-1. *Požiarna bezpečnosť stavieb - Spoločné ustanovenia Časť 1: Požiarne riziko, veľkosť požiarneho úseku*. Bratislava: SÚTN, 2000, p. 84.
- [2] Ústav geodézie a kartografie Slovenskej akadémie vied. *Údaje štatistického prieskumu početnosti stavieb za roky 2008-2012: Osobná komunikácia*. 2014.
- [3] STN EN 12845+A2. *Stabilné hasiace zariadenia. Automatické sprinklerové systémy. Návrh, inštalácia a údržba*. Bratislava: SUTN, 2009.
- [4] Mózer, V., Wilkinson, P., Tofilo, P. "Use of Statistical Data in Fire Engineering Design – an International Comparison". In: *Zeszyty Naukowe SGSP* 53 (1) (2015), pp. 167–181.
- [5] DiNunno, P. J., ed. *SFPE handbook of fire protection engineering*. 4th ed. Quincy, Mass. : Bethesda, and Md: National Fire Protection Association and Society of Fire Protection Engineers, 2008. ISBN: 9780877658214.
- [6] PD 7974-7. *Part 7 Probabilistic risk assessment*. London: BSI, 2003.
- [7] Hasofer, A. M., Beck, V. R., Bennetts, I. D. *Risk analysis in building fire safety engineering*. Amsterdam and London: Butterworth-Heinemann, 2007. ISBN: 075068156X.
- [8] Ramachandran, G., Charters, D. A. *Quantitative risk assessment in fire safety*. London and New York: Spon Press, 2011. ISBN: 9780419207900.
- [9] MV SR. Prezídium Hasičského a záchranného zboru. *Štatistické ročenky 1993-2012*. Bratislava, 1994-2013.
- [10] Klučka, J., Mózer, V., Panáková, J. "Vývoj požiarovosti v jednotlivých kategóriách budov za obdobie rokov 1993 - 2012". In: *Bezpečnosť práce v záchranných službách: Zborník prednášok*. Ed. by Osvald, A. Žilina: EDIS ŽU, 2014, pp. 91–109. ISBN: 978-80-554-0894-1.
- [11] Rutstein, R., Cooke, R. A. *The Value of Fire Protection in Buildings*. London, 1983.
- [12] Mózer, V., Klučka, J. "Probabilistic Fire Modelling in Life and Property Impact Assessment". In: *Building Physics and Applied Technology in Architecture and Building Structures: Conference proceedings*. Ed. by Muellner, H. et al. Vienna: TGM - Federal Institute of Technology, 2014, pp. 247–251. ISBN: 978-3-200-03644-4.
- [13] BS 7974. *Application of fire safety engineering principles to the design of buildings: code of practice*. London: BSI, 2001. ISBN: 0580384470.
- [14] Ghosh, B. "Assessment of the benefits of Fire Extinguishers as fire safety precautions in New Zealand Buildings". PhD thesis. Christchurch and New Zealand: University of Canterbury, 2008.
- [15] Fontana, M., Favre, J., Fetz, C. "A survey of 40,000 building fires in Switzerland". In: *Fire Safety Journal* 32 (2) (1999), pp. 137–158. ISSN: 0379-7112.
- [16] Green, M., Joinson, J. The BS 9999 handbook: *Effective fire safety in the design, management and use of buildings*. London: BSI, 2010. ISBN: 978-0-580-67508-9.
- [17] Baldwin, R., Melinek, S., Thomas, P. *Fire Spread in Buildings - The Early Stages of Growth: FRN 884*. Borehamwood, 1971.

- [18] Mózer, V. et al. "Probabilistic-deterministic modelling of fire spread". In: *European Journal of Environmental and Safety Sciences* 2 (2) (2014), pp. 79–83.
- [19] Thomas, P. "Design guide: Structure fire safety CIB W14 Workshop report". In: *Fire Safety Journal* 10 (2) (1986), pp. 77–137. ISSN: 0379-7112.
- [20] Vyhláška MV SR 94/2004, ktorou sa ustanovujú technické požiadavky na protipožiarnu bezpečnosť pri výstavbe a pri užívaní stavieb v znení neskorších predpisov. Bratislava: MV SR, 2012, p. 53.
- [21] STN EN 1991-1-2. *Eurokód 1: Zaťaženia konštrukcií: Časť 1-2: Všeobecné zaťaženia. Zaťaženia konštrukcií namáhaných požiarom*. SUTN, 2007.
- [22] Pokyn prezidenta HaZZ č. 39/2003. o obsahu a o postupe pri spracúvaní dokumentácie o zdolávaní požiarov. Prezídium HaZZ MV SR, 200
- [23] Reichel, V. *Navrhování požární bezpečnosti výrobných objektů I. [ZŠ 17]*. Praha: Česká státní pojišťovna, 1987, p. 128.
- [24] Reichel, V. *Navrhování požární bezpečnosti staveb I. [ZŠ 11]*. Praha: Česká státní pojišťovna, 1978, p. 72.
- [25] Mózer, V. "Rýchlosť rozvoja požiaru z pohľadu noriem požiarnej bezpečnosti". In: *Požární ochrana 2014*. Ostrava: SPBI, 2014, pp. 228–232. ISBN: 978-80-7385-148-4.
- [26] Heskestad, G., Delichatsios, M. A. "The initial convective flow in fire". In: *Symposium (International) on Combustion* 17 (1) (1979), pp. 1113–1123.
- [27] Heskestad, G., Delichatsios, M. A. "Update: The initial convective flow in fire". In: *Fire Safety Journal* 15 (6) (1989), pp. 471–475. ISSN: 0379-7112.
- [28] NFPA 92B. *Standard for Smoke Management Systems in Malls, Atria, and Large Spaces*. NFPA, 2009.
- [29] NFPA 72. *National Fire Alarm and Signaling Code*. NFPA, 2010.
- [30] PD 7974-1. Part 1 *Initiation and development of fire within the enclosure of origin*. BSI, 2003.
- [31] Mayfield, C., Hopkin, D. *Design fires for use in fire safety engineering [FB29]*. Watford, 2011.
- [32] Vyhláška MV SR 726/2002 Z.z. ktorou sa ustanovujú vlastnosti elektrickej požiarnej signalizácie, podmienky jej prevádzkovania a zabezpečenia jej pravidelnej kontroly. NR SR, 2002.
- [33] Rasbash, D. *Evaluation of fire safety*. Chichester and England: John Wiley, 2004. ISBN: 0471493821.
- [34] Bengtson, S., Laufke, H. "Methods of estimation of fire frequencies, personal safety and fire damage". In: *Fire Safety Journal* 2 (3) (1980), pp. 167–180. ISSN: 0379-7112.
- [35] PD 7974-6. Part 6: *Human factors: Life safety strategies — Occupant evacuation, behaviour and condition (Sub-system 6)*. BSI, 2004.
- [36] Bukowski, R. W., Budnick, E. K., Schemel, C. F. "Estimates of the Operational Reliability of Fire Protection Systems". In: *Third international conference on fire research and engineering*, Bethesda and Md: Society of Fire Protection Engineers, 1999, pp. 87–98. ISBN: 978-1566768887.
- [37] Albrecht, C. "A risk-informed and performance-based life safety concept in case of fire". PhD thesis. Braunschweig: Technische Universität Braunschweig, 2012.

- [38] Albrecht, C. "Quantifying life safety Part I: Scenario-based quantification". In: *Fire Safety Journal* 64 (2014), pp. 87–94. ISSN: 0379-7112.
- [39] Albrecht, C. "Quantifying life safety Part II: Quantification of fire protection systems". In: *Fire Safety Journal* 64 (2014), pp. 81–86. ISSN: 0379-7112.
- [40] STN 92 0202-1. *Požiarna bezpečnosť stavieb. Vybavovanie stavieb hasiacimi prístrojmi*. Bratislava: SUTN, 1999.
- [41] Vyhláška MV SR 719/2002 Z.z., ktorou sa ustanovujú vlastnosti, podmienky prevádzkovania a zabezpečenie pravidelnej kontroly prenosných hasiacich prístrojov a pojazdných hasiacich prístrojov. NR SR, 2002.
- [42] STN EN 3-7+A1. *Prenosné hasiace prístroje. Časť 7: Charakteristiky, požiadavky na vlastnosti a skúšobné metódy*. SUTN, 2008.
- [43] Melinek, S. *Fire Fighting and Extent of Spread*: FRN 912. Borehamwood, 1972.
- [44] Holborn, P., Nolan, P., Golt, J. "An analysis of fire sizes, fire growth rates and times between events using data from fire investigations". In: *Fire Safety Journal* 39 (6) (2004), pp. 481–524. ISSN: 0379-7112.
- [45] Březovský, I. "Zhodnotenie využitia nástenných hydrantov a hasiacich prístrojov pri likvidácii požiarov: Diplomová práca". MA thesis. Žilina: Žilinská univerzita v Žiline, 2014.
- [46] Grosshandler, W. *The Use of Portable Fire Extinguishers in Nightclubs: Workshop Summary*. Ed. by Grosshandler, W. Gaithersburg and MD, 2007.
- [47] Frank, K., Spearpoint, M., Challands, N. "Uncertainty in Estimating the Fire Control Effectiveness of Sprinklers from New Zealand Fire Incident Reports". In: *Fire Technology* 50 (3) (2014), pp. 611–632. ISSN: 0015-2684.
- [48] Melinek, S. "Potential value of sprinklers in reducing fire casualties". In: *Fire Safety Journal* 20 (3) (1993), pp. 275–287. ISSN: 0379-7112.
- [49] Tyldesley, A., Rew, P., Houlding, R. "Benefits of Fire Compartmentation in Chemical Warehouses". In: *Process Safety and Environmental Protection* 82 (5) (2004), pp. 331–340. ISSN: 0957-5820.
- [50] Charters, D. et al. "Preliminary Analysis Of The Number Of Occupants, Fire Growth, Detection Times And Pre-movement Times For Probabilistic Risk Assessment". In: *Fire Safety Science* 7 (2003), pp. 357–368. ISSN: 1817-4299.
- [51] Houlding, R. C., Rew, P. J. *Benefits of fire compartmentation in chemical warehouses: Research report 152*. Norwich, 2003.
- [52] Lu, L. et al. "Correlation Between Fire Attendance Time and Burned Area Based on Fire Statistical Data of Japan and China". In: *Fire Technology* 50 (4) (2014), pp. 851–872. ISSN: 00152684.
- [53] Särndqvist, S., Holmstedt, G. "Correlation Between Firefighting Operation and Fire Area: Analysis of Statistics". In: *Fire Technology* 36 (2) (2000), pp. 109–130. ISSN: 0015-2684.
- [54] DIN E 18230-1. *Baulicher Brandschutz im Industriebau: Teil 1: Rechnerisch erforderliche Feuerwiderstandsdauer*. DIN, 1996.
- [55] Department for Communities and Local Government. *Update of response time loss relationships for the Fire Service Emergency Cover toolkit*. London, 2010.

- [56] Cote, A. E. et al. *NFPA Fire protection handbook*. 20th ed. Quincy and Mass: National Fire Protection Association, 2008. ISBN: 0877657580