K PROBLEMATIKE PRAVDEPODOBNOSTNÉHO MODELOVANIA POŽIARNEHO RIZIKA

Vladimír Mózer*)

ABSTRAKT
Využitie metód hodnotenia požiarneho rizika zohráva kľúčovú úlohu v procese návrhu a zhodnotenia požiarnej bezpečnosti stavby. Stanovením pravdepodobnosti výskytu a závažnosti následkov požiaru je možné prijať vhodné opatrenia na ich redukciu a znížiť tak ohrozenie života a straty na majetku. Vzhľadom na fakt, že výsledky zhodnotenia požiarneho rizika je možné interpretovať rôznym spôsobom, článok prezentuje návrh postupu, ktorý umožňuje zohľadniť všetky potenciálne dopady požiaru vzhľadom na ich relatívnu pravdepodobnosť výskytu.

Kľúčové slová:

Hodnotenie požiarneho rizika, pravdepodobnosť, následok, straty

ABSTRACT
The utility of fire risk assessment plays key role in fire safety design and evaluation processes. By determinig the probability and severity of fire outcomes appropriate measures can be implemented as to reduce fire loss and threat to life. As the results of fire risk assessment may be interpreted in a number of ways a methodology is proposed for an approach that balances the outcomes based on their relative occurence probability.

Key words:
Fire risk assessment, probability, consequence, fire loss

*) Vladimír Mózer, Ing., PhD, Fakulta bezpečnostného inžinierstva, Žilinská univerzita, ul. 1. mája 32, Žilina, vladimir.mozer@fbi.uniza.sk, +421 41 513 6797

1 ÚVOD

Problematika stanovovania požiarneho rizika je neoddeliteľnou súčasťou požiarneho inžinierstva. Analýzou požiarneho rizika je umožnené prijať cielené opatrenia na jeho redukciu, a to prostredníctvom [1]:

1. identifikácie a kategorizácie typov nežiaduceho horenia, ktoré môže spôsobiť nepriaznivé následky,
2. stanovením vážnosti týchto následkov,
3. určením pravdepodobnosti vzniku týchto typov nežiaduceho horenia.

Tieto nežiaduce typy horenia sa nazývajú scenármi a ich charakteristika začína zvyčajne identifikáciou nebezpečenstva.

V tejto súvislosti je ešte vhodné spomenúť, že pojem analýza požiarneho rizika označuje viacero činností. Medzi tieto patrí napríklad vytvorenie prehľadu miest v konkrétnej stavbe, ktoré predstavujú z hľadiska požiarnej bezpečnosti väčšie nebezpečenstvo, napríklad z titulu veľkého množstva horľavých látok a pod. Tento článok sa však nebude takýmito druhmi analýz požiarneho rizika zaoberať.

2 METÓDY STANOVOVANIA POŽIARNEHO RIZIKA

Metód stanovovania požiarneho rizika existuje viacero, avšak vo všeobecnosti [1][4] sa rozlišujú tieto tri základné:

1. kvalitatívne,
2. semikvantitatívne
3. kvantitatívne.

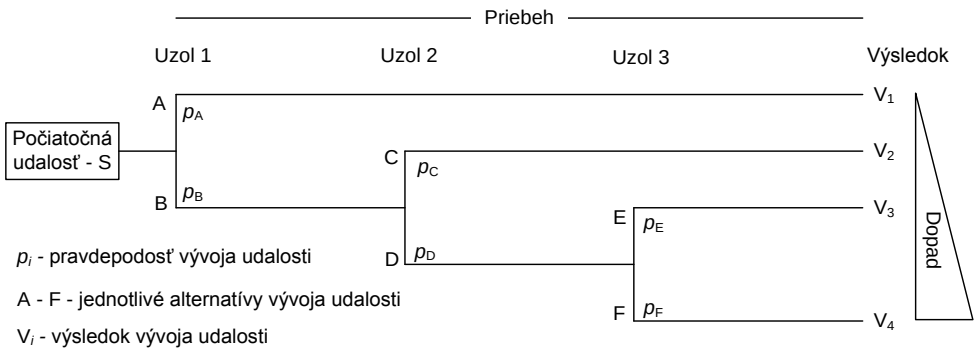
Na rozdiel od kvalitatívnych a semikvantitatívnych metód, pri kvantitatívnom stanovení požiarneho rizika sú jednotlivým položkám, resp. faktorom, priradené hodnoty pravdepodobnosti spôsobu ich rozvoja/priebehu Ako príklad je možné uviesť prítomnosť sprinklerového systému, kde bude pravdepodobnosť úspešného fungovania x a pravdepodobnosť zlyhania y. Vždy však musí platiť, že suma pravdepodobností jednotlivých alternatív sa rovná 1. V rámci kvantitatívnych metód sú najčastejšie využívané princípy a nástroje pravdepodobnostného modelovania [3].

Existujú mnohé formy a aplikácie pravdepodobnostného modelovania. Komplexné modely môžu napríklad zahŕňať kombináciu deterministického a pravdepodobnostného prístupu [5]. V prípade, keď je pravdepodobnostný model funkciou času, hovoríme o ňom ako o stochastickom modeli. Tri základné typy pravdepodobnostného modelovania sú: sieťové, štatistické a simulačné modely [6].

2.1 SIEŤOVÉ MODELY

Pod pojmom sieťový model sa rozumie prepojenie dvoch alebo viacerých uzlov (udalostí) linkami. Následne sú jednotlivým linkám, t.j. možnostiam vývoja konkrétnych priebehu udalostí v konkrétnych uzloch priradené pravdepodobnosti.

Najjednoduchším a najbežnejším príkladom sieťového modelu je strom udalostí, anglicky Event Tree a podľa neho nazvaná metóda *Event Tree Analysis* [4]. Všeobecné schematické zobrazenie tejto metódy je znázornené na obr. 1.



Obr.1 Schematické znázornenie všeobecného stromu udalostí

Podľa danej schémy je možné stanoviť výslednú pravdepodobnosť deja ako súčin pravdepodobnosti počiatočnej udalosti a všetkých pravdepodobností uzlov k tomuto deju vedúcich; platí teda:

$$p_{V_i} = p_S . \prod p_i \quad [-] \tag{1}$$

Každý uzol má teda dve možnosti ďalšieho vývoja priebehu udalosti charakterizované určitými hodnotami pravdepodobnosti, ktoré pre zjednodušenie označme $p_{áno}$ a p_{nie}. V tomto zmysle môže byť uzol zadefinovaný napríklad ako *Dôjde k rozšíreniu požiaru z prvej veci, ktorá sa vznietila*. Keďže máme dva možné výstupy – áno / nie – ku ktorým prináležia pravdepodobnosti – $p_{áno}$ / p_{nie} – musí platiť:

$$p_{áno} + p_{nie} = 1 \tag{2}$$

čo znamená, že neexistuje iná možná varianta vývoja udalosti v danom uzle. Potencionálne by mohol mať uzol aj viac než dve možnosti vývoja udalosti, avšak tieto by museli byť jasne definované, musela by medzi nimi existovať jasná hranica a museli by byť charakterizovateľné pravdepodobnosťami. Jednotlivé udalosti by sa zároveň vzájomne vylučovali, t.j. nemohlo by dôjsť naraz k viacerým alternatívam rozvoja súbežne. Pre n-možností vývoja udalosti by potom platilo:

$$p_1 + p_2 + \ldots + p_n = 1 \tag{3}$$

2.2 SIMULAČNÉ MODELY

Oblasti pravdepodobnosti a štatistiky sú veľmi prepojené. Väčšina štatistických konceptov, ako napríklad protokol výberu či testovanie hypotéz, má svoj základ v teórii pravdepodobnosti. Štatistické modelovanie zahŕňa popis náhodného javu priradením vhodnej pravdepodobnostnej distribučnej funkcie [6].

Klasickým príkladom štatistického modelu požiaru je vznik požiarneho poplachu ako náhodnej udalosti, ktorá je v rámci istých obmedzení rovnakého charakteru. Vieme, že požiare sú funkciou času počas dňa, preto musíme upriamiť

pozornosť na jednotlivé časové úseky dňa. Pravdepodobnosť vzniku alarmu k za určitú dobu s je daná vzťahom (4) kde λ vyjadruje frekvenciu požiarnych alarmov [6].

$$P(k) = \frac{(\lambda s)^k}{k!} \mathrm{e}^{-\lambda s} \quad [-] \tag{4}$$

kde:

P	pravdepodobnosť vzniku alarmu [-]
s	časový úsek [h]
λ	priemerná frekvencia požiarnych alarmov [h^{-1}]
k	počet alarmov [-].

2.3 ŠTATISTICKÉ MODELY

Štatistické modely požiarov pracujú s rozličnými vstupnými informáciami ku ktorým prislúchajú určité výsledky. Keďže pre opísanie situácie máme veľké množstvo vstupných podmienok existuje tiež veľké množstvo výsledkov, ktoré tieto podmienky ovplyvňujú. Veľké množstvo vzniknutých výsledkov sa ďalej vyhodnocuje a vzniká model. Simulačný model teda predvída výsledok pre skupinu použitých vstupných podmienok [6]. Reprezentatívnym príkladom môže byť Monte Carlo [2] modelovanie.

3 KVANTIFIKÁCIA DOPADOV POŽIARU

Stanovenie pravdepodobností jednotlivých spôsobov rozvoja požiaru v stavbe je základným predpokladom pre kvantifikáciu dopadov. Tieto dopady majú rôznorodý charakter a ich základné rozdelenie býva spravidla na:

- ohrozenie zdravia a života – pravdepodobnosť zranenia alebo úmrtia,
- škody spôsobené na majetku – rozsah priamych a nepriamych škôd,
- dopady na životné prostredie – rozsah poškodenia životného prostredia.

Vyjadrenie priamych škôd na majetku je relatívne jednoduché a spravidla má finančný charakter, vzhľadom na to, že je zväčša možné stanoviť konkrétnu finančnú čiastku, ktorá reprezentuje poškodenie spôsobené požiarom. Komplikovanejšie môže byť vyjadrenie nepriamych škôd, ktoré sú spôsobené hlavne prerušením činnosti subjektu postihnutého požiarom. Aj tu však existujú metódy na ich stanovenie, viď napr. [7] a [8].

Kvantifikácia škôd spôsobených požiarom na životnom prostredí je už o čosi náročnejšia, pretože tento typ škôd zahŕňa viacero zložiek a metodiky na ich finančnú kvantifikáciu sa môžu líšiť. Dopady na životné prostredie môžu zahŕňať napr.: cenu CO_2 uvoľneného pri požiari a v procese obnovy stavby, vody spotrebovanej na hasenie požiaru [9], prípadne dekontaminačných prác ak došlo pri požiari alebo hasení k úniku nebezpečných látok.

Najproblematickejším je v tomto ohľade finančné vyjadrenie poškodenia ľudského zdravia prípadne úmrtia. Túto tému sprevádza určitá miera kontroverzie [1],[7], avšak napríklad v oblasti poisťovníctva (uzavtáranie životných poistiek) je to bežným postupom.

Ďalším faktorom, ktorý je potrebné pri hodnotení dopadov požiaru brať do úvahy je časový horizont, v ktorom je predpoklad ich výskytu v pomere k predpokladanej životnosti posudzovanej stavby. Remoy [10] uvádza pre stavby prevažne kancelárskeho charakteru životnosť 50 – 70 rokov.

Výsledok hodnotenia typu *požiar, ktorý spôsobí stratu 1 000 000 Eur sa predpokladá raz za 200 rokov, resp. pravdepodobnosť jeho výskytu je* 5.10^{-3}, sa môže zdať príliš abstraktný a mať pre zúčastnené strany obmedzenú výpovednú hodnotu. Ak však bude uvažovaná priemerná ročná strata na takýto typ požiaru tak výsledkom bude 5000 Eur / rok. Nech je predpokladaná životnosť stavby 50 rokov tak v tom prípade je šanca výskytu takého požiaru 1 ku 4 a výsledná strata spôsobená požiarom by bola 1250 Eur /rok.

Samozrejme nie každý požiar končí kompletnou deštrukciou stavby (v prípade vyššie indikovanej stratou 1 000 000 Eur), ale poškodenie (dopad požiaru) sa môže blížiť aj nule. Nech n je počet možných úrovní poškodenia požiarom, pričom každé je charakterizované rozsahom poškodenia $L_{\mathrm{v},i}$ [Eur] a pravdepodobnosťou výskytu $p_{\mathrm{v},i}$, resp. interal výskytu $O_{\mathrm{v},i}$, tak potom sú možné dve základné alternatívy hodnotenia týchto dopadov vzhľadom na dobu životnosti stavby:

a) za smerodajný sa považuje ten výstup, ktorého pravdepodobnosť výskytu je najvyšia, teda $p_{\mathrm{v,max}}$, resp. časový interval medzi výskytmi najkratší $O_{\mathrm{f,min}}$,

b) jednotlivé výstupy sú zohľadňované váženým priemerom s ohľadom na relatívnu pravdepodobnosť ich výskytu, pričom platí podmienka:

$$\sum_{i=1}^{n} p_{\mathrm{v}i,\mathrm{rel}} = 1 \quad [-] \tag{5}$$

Relatívnou pravdepodobnosťou $p_{\mathrm{v}i,rel}$ sa rozumie súčin čiastkových pravdepodobností Πp_i jednotlivých uzlov charakterizujúcich rozvoj požiaru vedúcich ku konkrétnemu výstupu V_i v zmysle obr. 1.

Postup ad a) je možné považovať za relevantný jedine vtedy, ak $p_{\mathrm{v,max}}$ výrazne (rádovo) prevyšuje pravdepodobnosti výskytu ostatných výstupov $p_{\mathrm{v},i,}$. Rozsah poškodenia v tomto prípade zodpovedá L_{v} vychádza z výstupu s $p_{\mathrm{v,max}}$. V prípade ak sú si hodnoty pravdepodobnosti výskytu dvoch alebo viacerých výstupov $p_{\mathrm{v},i,}$ podobné je postup ad a) nevhodný.

Naopak postup ad b) primerane zohľadňuje všetky potencionálne výstupy s ohľadom na ich relatívnu pravdepodobnosť výskytu $p_{\mathrm{v}i,rel.}$. Matematicky je možné vyjadriť predpokladaný rozsah poškodenia stavby požiarom L_{v} [Eur] pre postup ad b) vyjadriť ako:

$$L_{\mathrm{v}} = \sum_{i=1}^{n} (p_{\mathrm{v}i,\mathrm{rel}} . L_{\mathrm{v,i}}) \quad [\mathrm{Eur}] \tag{6}$$

V prípade, ak sa uvažuje so stratou na rok $L_{\mathrm{v,y}}$ je možné upraviť vzťah (6) upraviť do podoby:

$$L_{\mathrm{v,y}} = \sum_{i=1}^{n} \frac{(p_{\mathrm{v}i,\mathrm{rel}} . L_{\mathrm{v,i}})}{O_{\mathrm{v},i}} \quad [\mathrm{Eur.rok^{-1}}] \tag{7}$$

Praktická demonštrácia vyššie uvedených postupov [11] poukázala 2 až 4 násobné rozdiely v stanovených hodnotách $L_{\mathrm{v,y}}$ pri dvoch úrovniach protipožiarneho zabezpečenia.

4 ZÁVER

Vzhľadom na fakt, že stanovovanie požiarneho rizika a jeho analýza sú východiskami pri prijímaní opatrení na redukciu dopadov požiarov je nutné na základe ich rozsahu a pravdepodobnosti s akou sa predpokladá ich výskyt. Dôležitú úlohu samozrejme vo vzťahu k výskytu jednotlivých dopadov zohráva aj doba životnosti stavieb, nakoľko niektoré dopady sa vzhľadom na ich extrémne zriedkavý výskyt stanú prakticky irelevantné.

Ďalším faktorom, ktorý môže do značnej miery ovplyvniť rozhodovanie o prijatí resp. neprijatí daného protipožiarneho opatrenia je spôsob, akým sa k jednotlivým predpokladaným dopadom pristupuje. Z alternatív popísaných v tejto práci sa javí robustnejšia a vyváženejšia metóda, pri ktorej jednotlivé výstupy sú zohľadňované váženým priemerom s ohľadom na relatívnu pravdepodobnosť ich výskytu. V prípade použitia najpravdepodobnejšieho výstupu môže dôjsť k výraznému skresleniu výsledkov, hlavne v prípade ak viacero možných výstupov má obdobnú hodnotu relatívnej pravdepodobnosti výskytu.

POĎAKOVANIE

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe Zmluvy č. APVV-0727-12.

LITERATÚRA

[1] HALL, J.R., WATTS, J.M. *Fire Risk Analysis*, Section 3, Chapter 8 In: *NFPA Fire protection handbook*. 20th ed. Quincy, Mass.: National Fire Protection Association, 2008. ISBN 0877657580.

[2] HASOFER, A M, V R BECK a I D BENNETTS. *Risk analysis in building fire safety engineering*. Amsterdam; London: Butterworth-Heinemann, 2007. ISBN 075068156X.

[3] RAMACHANDRAN, G a CHARTIS, D. *Quantitative risk assessment in fire safety*. London ; New York: Spon Press, 2011. ISBN 9780419207900.
[4] MADDEN, M. J. *Fire Risk Assessment - Engineering Guide*. Bethseda, MD, USA: Society of Fire Protection Engineers, 2006.
[5] HADJISOPHOCLEOUS, GV a Z FU. Literature Review Of Fire Risk Assessment Methodologies. *International Journal on Engineering*. 2004
[6] BEYLER, C.L., et. al. *Introduction to Fire Modeling*, Section 3, Chapter 5 In: *NFPA Fire protection handbook*. 20th ed. Quincy, Mass.: National Fire Protection Association, 2008. ISBN 0877657580.
[7] RAMACHANDRAN, G. *The economics of fire protection*. London: E & FN Spon, 1998. ISBN 0419207805.
[8] DVORSKÝ, J., KLUČKA, J.*: Modelovanie ekonomických škôd pri požiaroch v Žilinskom kraji*. In: *Zborník z XXIII. Ročníka medzinárodnej konferencie, VŠB – TU Ostrava, Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství,* Ostrava, str. 48-51, 2014, ISBN 978-80-7385-148-4
[9] FRASER-MITCHEL, J. *Environmental impact and cost benefit analysis for fire sprinklers in warehouse buildings*. BRE report 2013.
[10] REMOY, H.T..: *Out of Office: A Study on the Cause of Office Vacancy and Transformation as a Means to Cope and Prevent*. Amsterdam: IOS Press, 2010.
[11] MOZER, V., TOFILO, P. *A methodology for assessing economic implications of fire protection in building design,* In. *Zeszyty Naukowe SGSP 53*. Warszaw. ISSN 0239-5223

Článok recenzovali dvaja nezávislí recenzenti.