	Specifické posouzení vysoce rizikových podmínek požární bezpečnosti s využitím postupů požárního inženýrství Kód projektu VG20122014074	
Příloha č. **8.7**	**ZÁSADY EVAKUAČNÍCH PROCESŮ A EVAKUAČNÍ MODELY**	
Datum vydání/aktualizace: **05. 01. 2014/02. 09. 2014**	Počet stran: **11**	Zpracovatel: **J. Pokorný, P. Kučera**

Obsah

Úvod 2

1 Doba evakuace osob 2

2 Doba potřebná pro evakuaci osob 2

3 Doba dostupná pro evakuaci osob 3

4 Základní rizika působící na evakuované osoby 3

5 Metoda pro posouzení doby do zahájení evakuace 3

6 Metoda pro posouzení doby pohybu osob objektem 6

7 Modelování evakuace osob 7

7.1 Metoda modelování 7

7.2 Členění prostoru 8

7.3 Perspektiva Model/Uživatel 10

7.4 Chování osob 10

7.5 Pohyb osob 10

Použitá literatura 12

Úvod

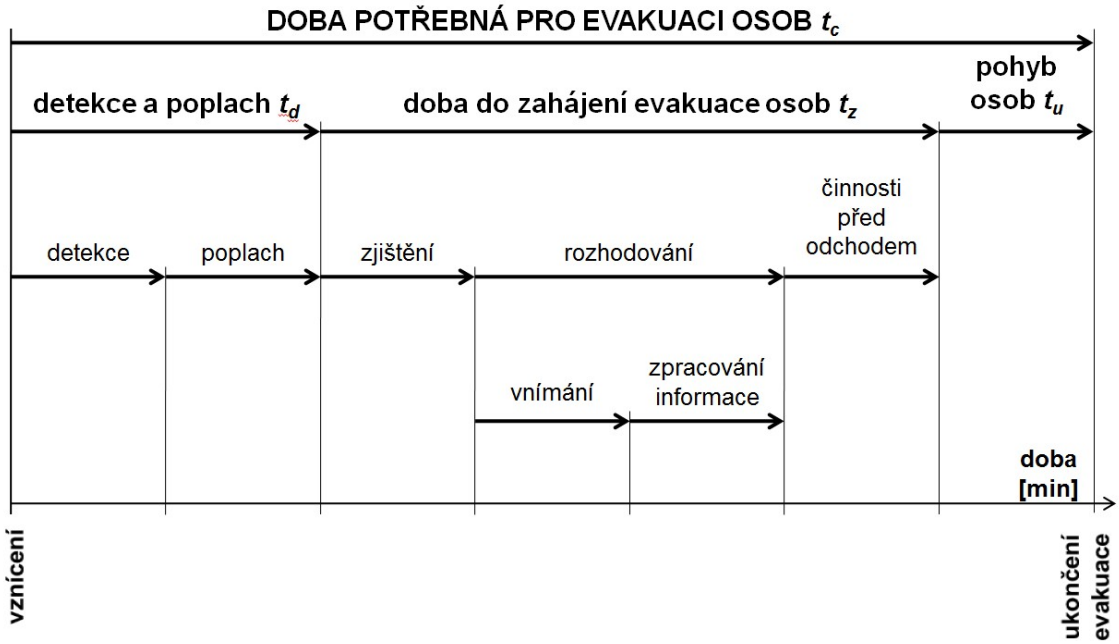
V rámci popisu zásad evakuačních procesů budou popsány zejména doba evakuace osob (potřebná/dostupná) a vybrané metody pro stanovení doby do zahájení evakuace a doby po zahájení evakuace. Současně budou prezentovány některé z evakuačních modelů.

1 Doba evakuace osob

Evakuaci lze považovat za bezpečnou, pokud *doba potřebná pro evakuaci osob* t_c je menší nebo nejvýše rovna *dostupné době pro evakuaci* t_x, tj. době do dosažení kritických podmínek. Platí tedy:

$$t_c \leq t_x \tag{1}$$

Doba potřebná pro evakuaci osob sestává z dílčích časových intervalů, které jsou znázorněny na obr. 1.



Obr. 1 – Doba potřebná pro evakuaci osob [1], [2],[3]

2 Doba potřebná pro evakuaci osob

Dobu potřebnou pro evakuaci osob t_c (min) lze stanovit rovnicí [1], [2], [3]:

$$t_c = t_d + t_z + t_u \tag{2}$$

kde t_c doba potřebná pro evakuaci osob (min)
t_d doba detekce a poplachu (min)
t_z doba do zahájení evakuace (min)
t_u doba pohybu osob objektem (min)

Doba detekce a poplachu t_d (min) se obvykle dělí na dva časové intervaly. Na dobu detekce požáru, která závisí na návrhu zařízení pro včasné zjištění požáru (např. elektrická požární

signalizace) nebo na zpozorování požáru uživatelem objektu. Druhý časový úsek je doba poplachu, během které se předává informace o vzniklém požáru uživatelům objektu buď přímo, nebo prostřednictvím varovných signálů.

Doba do zahájení evakuace t_z (min) sestává z doby zjištění, z doby potřebné pro rozhodování (vnímání a zpracování informace) a doby nutné pro činnosti před odchodem.

Doba pohybu osob objektem t_u (min) je doba od zahájení úniku osob v objektu po dosažení bezpečného místa (např. volného prostranství). Prostřednictvím vhodných výpočtových metod lze dobu pohybu osob objektem určit na základě jednoduchých vztahů nebo i sofistikovaných modelů dynamiky pohybu osob. [1], [2], [3], [4], [5]

3 Doba dostupná pro evakuaci osob

Dobu dostupnou pro evakuaci osob t_x (min) lze stanovit jako dobu dosažení kritické hodnoty rizik působících na evakuované osoby:

$$t_{\mathrm{x}} \leq t_{kr} \tag{3}$$

kde t_x doba dostupná pro evakuaci (min)
t_{kr} doba dosažení kritické hodnoty (min)

4 Základní rizika působící na evakuované osoby

Mezi základní rizika působící na evakuované osoby při požáru lze zařadit zejm.:

- ztrátu (pokles) viditelnosti,
- působení vysokých teplot,
- působení tepla a tepelného toku,
- působení toxických, dráždivých a dusivých látek,
- snížení koncentrace kyslíku.

Při hodnocení jsou zohledněna vybraná nebo všechna rizika. Rizika vymezují dobu dostupnou pro evakuaci t_x.

5 Metoda pro posouzení doby do zahájení evakuace

Doba do zahájení evakuace osob závisí především na:

- době detekce a poplachu,
- době zjištění a rozhodování (doba interpretace),
- době bezprostředně před zahájením evakuace (činnost před odchodem).

Rychlost reakce osob závisí zejména na následujících faktorech:

- připravenosti osob k evakuaci (bdělá/spící), jejich znalosti budovy a hustotě (tab. 1),
- kvalitě systému varování (tab. 2),
- rozsáhlosti (komplexnosti) budovy (tab. 3),

- požárně bezpečnostním managementu (tab. 4). [3], [5]

Jednotlivé faktory vytváří kategorie a podkategorie provozů, které jsou uvedeny v tab. 5. Podkategorie jsou zpravidla sestaveny třístupňově, přičemž podkategorie 1 charakterizuje nejpříznivější a podkategorie 3 nejméně příznivý případ. Tab. 5 nezahrnuje všechny teoreticky možné kategorie, např. při stupni systému varování A3 není přijatelná kategorie požárně bezpečnostního managementu M1 nebo M2.

V určité době blízké okamžiku vyhlášení požárního poplachu dochází k zahájení evakuace prvních osob. Za *začátek reakční doby* je označován okamžik, kdy se začíná evakuovat 1 % osob (Δt_1). *Časový interval od začátku do konce reakční doby* označuje stav, kdy dochází k pohybu 99 % osob (Δt_{99})[1]. Pro individuální reakční dobu se volí hodnota mezi Δt_1 a $\Delta t_1 + \Delta t_{99}$.

Tab. 1 – Kategorie budovy ve vztahu k charakteristice osob [3], [5]

Kategorie	Bdělost osob	Znalost prostředí	Hustota osob	Příklady budov
A	bdělý	znalý	nízká	kanceláře, průmyslové objekty
B	bdělý	neznalý	vysoká	obchody, restaurace, shromažďovací prostory
C(a)	spící	znalý	nízká	byty
C(b)	s péčí	s péčí	nízká	internáty, ubytovny
C(c)	spící	neznalý	nízká	hotely, ubytovny
D	v lékařské péči	neznalý	nízká	lékařská zařízení
E	doprava	neznalý	vysoká	dopravní zařízení

Tab. 2 – Systém varování [3], [5]

A1	elektrická požární signalizace s okamžitým alarmem postižených oblastí
A2	elektrická požární signalizace s okamžitým alarmem ústředny a následně zpožděným alarmem postižených oblastí
A3	žádná nebo jen lokální detekce požáru

Tab. 3 – Rozsáhlost (komplexnost) budovy [3], [5]

B1	přehledná, převážně pravoúhlá struktura, jednopodlažní, málo členěná, jednoduchý půdorys s východy v přímé viditelnosti, krátké délky únikových cest, vhodná opatření pro únik přímo na volné prostranství (např. jednoduše členěný supermarket)
B2	jednoduchý půdorys s více prostory (také vícepodlažní), stavebně odpovídá převážně preskriptivnímu zadání (např. jednoduchá kancelářská budova)

[1] Např. pro Kategorii A: bdělý a obeznámení M1 B1 – B2 A1 – A2 lze dobu do konce reakční doby stanovit na 1,5 min. V této době se předpokládá, že 99 % osob (tedy v podstatě všechny) zahájí evakuaci.

B3	velká rozsáhlá budova

Tab. 4 – Požárně bezpečnostní management [3], [5]

M1	personál a trvalí uživatele budovy jsou s požárními opatření dobře seznámení. Existuje pomocný personál z hlediska požární ochrany, plánovaná ochranná opatření proti nebezpečí, nouzové plány, pravidelná školení a cvičení. Ve veřejně přístupných oblastech musí být v relativně vysokém počtu zajištěn z hlediska bezpečnosti proškolený personál. Je nezbytné nezávislé přezkoušení a hodnocení bezpečnostního systému a příslušných metodických postupů. Ve veřejně přístupných prostorách je požadován systém rozhlasu.
M2	jako M1, ovšem s nižším podílem proškoleného personálu. Pomocný personál z hlediska požární ochrany a nezávislé přezkoušení a hodnocení bezpečnostního systému není zapotřebí.
M3	požárně bezpečnostní management odpovídající potřebnému minimálnímu standardu s ohledem na bezpečnost osob

Tab. 5 – Reakční doba osob [3], [5]

Scénáře (hlavní kategorie a podkategorie)	Δt_1 (min)	Δt_{99} (min)
Kategorie A: bdělý a obeznámení		
M1 B1 – B2 A1 – A2	0,5	1
M2 B1 – B2 A1 – A2	1	2
M3 B1 – B2 A1 – A3	> 15	> 15
B3: přičíst 0,5 min k Δt_1 z důvodu ztížené orientace		
Kategorie B: bdělý a neobeznámení		
M1 B1 A1 – A2	0,5	2
M2 B1 A1 – A2	1	3
M3 B1 A1 – A3	> 15	> 15
B2: přičíst 0,5 min k Δt_1 kvůli ztížené orientace		
B3: přičíst 1 min k Δt_1 z důvodu ztížené orientace		
Kategorie C(a): spící a obeznámení		
M2 B1 A1	5	5
M3 B1 A3	10	> 20
Kategorie C(b): obytné prostory s péčí		
M1 B1 – B2 A1 – A2	10	20
M2 B1 – B2 A1 – A2	15	25
M3 B1 – B2 A1 – A3	> 20	> 20
Kategorie C(c): spící a neobeznámení		
M1 B1 – B2 A1 – A2	15	15
M2 B1 – B2 A1 – A2	20	20
M3 B1 – B2 A1 – A3	> 20	> 20
B3: přičíst 1 min k Δt_1 z důvodu ztížené orientace		

Pro stanovení reakční doby osob v lékařských zařízeních a v dopravních prostředcích je nezbytné využití dalších zdrojů, např. [3].

Hodnoty uvedené v tab. 5 nelze vnímat dogmaticky. Byly odvozeny na určitém omezeném rozsahu experimentů a představují možné vstupní údaje.

6 Metoda pro posouzení doby pohybu osob objektem

Rozsah metod po posouzení doby pohybu osob objektem t_u je značný. Principy užívané v České republice vychází z kodexu norem požární bezpečnosti staveb [6], [7]. Postupy užívané v zahraničí jsou rozvedeny např. [2], [3], [5], [8], [9]. Zmíněnými postupy lze stanovit hustotu osob, rychlost jejich pohybu a kapacitu únikových cest.

Hustotu osob lze stanovit rovnicí [1], [4], [5]:

$$D = \frac{\sum_{j=1}^{m} E_j}{\sum_{i=1}^{n} A_i} \tag{4}$$

kde *D* hustota osob (os.m^{-2})
E počet osob (osob)
A plocha prostoru či úseku, na které se nachází osoby (m^2)

Rychlost pohybu osob a proudů lze v intervalu od 0,54 osob.m^{-2} do 3,8 osob.m^{-2} vyjádřit rovnicí [1], [4], [5]:

$$v = k - 0{,}266.k.D \tag{5}$$

kde *v* rychlost pohybu osob (m.min^{-1})
k součinitel rychlosti pohybu osob (m.min^{-1})

Pro pohyb osob po rovině nabývá součinitel rychlosti pohybu *k* hodnoty 84 m.min^{-1}. Závislost součinitele rychlosti pohybu a druhu komunikace je uvedena v tab. 6.

Tab. 6 – Závislost druhu komunikace a součinitele rychlosti pohybu [1], [4], [5]

Druh únikové komunikace	**Konstanta** *k* (m.s^{-1}/m.min^{-1})
Chodby, rampy, vodorovné komunikace	1,40/84,0
Schodiště	
- výška schodu 19,1 cm/šířka schodu 25,4 cm	1,00/60,0
- výška schodu 17,8 cm/šířka schodu 27,9 cm	1,08/64,8
- výška schodu 16,5 cm/šířka schodu 30,5 cm	1,16/69,6
- výška schodu 16,5 cm/šířka schodu 33 cm	1,23/73,8

Kapacita únikové cesty, označována rovněž jako specifický nebo celkový tok osob, představuje počet osob evakuovaných za časovou jednotku, jednotkou šířky evakuační cesty, případně její celou šířkou, a lze ji vyjádřit rovnicemi [1], [4], [5]:

$$F_s = v.D; F_c = F_s.B \quad (6)$$

kde F_s specifický tok osob (os.min^{-1}.m^{-1})
F_c celkový tok osob (os.min^{-1})
B šířka únikové cesty (m)

Dobu pohybu osob objektem lze stanovit součtem doby potřebné pro překonání vzdálenosti t_{u1} a doby potřebné pro prostup osob nejméně příznivým místem na únikové komunikaci t_{u2} [9]:

$$t_u = t_{u_1} + t_{u_2} \quad (7)$$

kde t_u doba pohybu osob objektem (min)
t_{u1} doba potřebná pro překonání vzdálenosti (min)
t_{u2} doba potřebná pro prostup osob na únikové komunikaci (min)

Při řešení parciálních délek únikových cest lze dobu pohybu osob objektem t_u stanovit úpravou původní rovnice *Kikuji Togawy* [10]:

$$t_u = \frac{\sum_{i=1}^{n} 0{,}75 \cdot l_{u_i}}{\sum_{i=1}^{n} v_i} + \frac{E}{F_s.B} \quad (8)$$

kde l_u délka únikové cesty (m)
v_i i-tá rychlost pohybu osob (m.min^{-1})

Případně lze použít obdobnou rovnici prezentovanou kmenovými normami požární bezpečnosti staveb [6], [7].

7 Modelování evakuace osob

Počítačové simulace evakuace osob dnes nabízejí možnost simulovat pohyb individuálních osob a hodnotit proces evakuace přesněji, s ohledem na rozdílné vlastnosti, rychlosti pohybu a rozměry jednotlivců. Tímto odpadá zkreslení způsobené průměrnými hodnotami těchto veličin u nestejnorodých skupin osob. S rostoucím počtem modelů pro evakuaci osob a principů, s kterými pracují, lze modely členit do kategorií [11].

7.1 Metoda modelování

- *Behaviorální modely* – tyto modely zohledňují rozhodování a fyzickou zdatnost osob pohybujících se k východu. Některé modely dokonce umožňují předávání informací mezi osobami (např. o existujících únikových cestách) nebo určitou formu skupinového chování. Významné behaviorální programy jsou *buildingExodus*, *PathFinder*, *STEPS, VISSIM,*
- *Modely pohybu* – v těchto modelech se osoby pohybují z jednoho místa na druhé (obvykle směrem k východu). Tyto modely umožňují uživateli identifikovat místa,

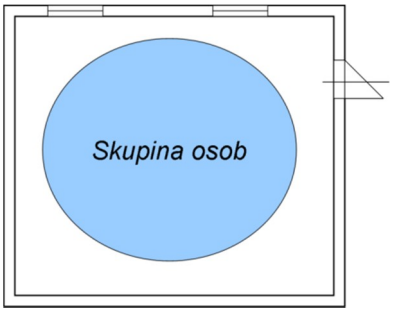
kde bude docházet ke vzniku front a kumulaci osob, a lépe tak navrhovat šířky únikových cest a východů. Využívání tohoto typu modelu je na ústupu. Nejznámějším programem je *WayOut*,

- *Částečně behaviorální modely (kombinace pohybového modelu)* – tyto modely se primárně zabývají pohybem, ale částečně simulují i určité prvky chování. Tento model běžně zohledňuje různé doby reakce osob na vyhlášení poplachu, specifické vlastnosti jednotlivců, chování při předbíhání nebo řazení do front. Významné částečně behaviorální programy jsou *FDS+EVAC*, *Simulex*.

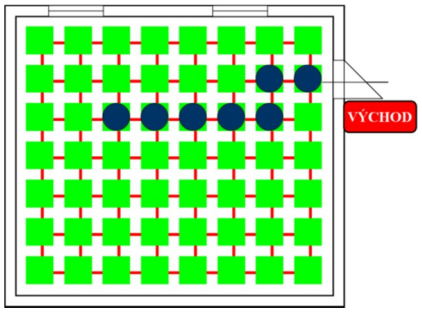
7.2 Členění prostoru

- *Hrubý síťový model* – rozděluje budovu na větší celky (místnosti, chodby, schodiště apod.), mezi kterými se osoby pohybují,
- *Jemný síťový model* – člení prostor na uzly (nody), po kterých se jednotlivé osoby pohybují. Vzájemným propojením uzlů vzniká dvojrozměrná síť, reprezentující dispozici objektu,
- *Kontinuální model* – objekt tvoří dvojrozměrný prostor, kde se osoby pohybují kontinuálně. Fyzické rozměry osob jsou zde zjednodušeny (např. tři kruhy představující trup a ramena).

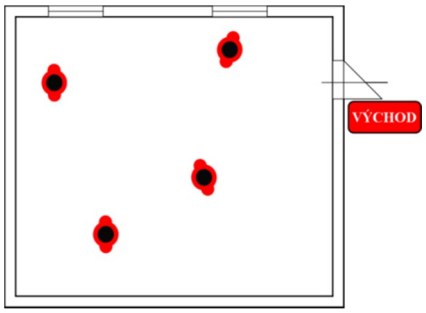
Jemné síťové a kontinuální modely umožňují simulovat přítomnost překážek a bariér, které mohou ovlivnit pohyb a výběr cesty jednotlivých osob v místnostech.



a) hrubý síťový model



b) jemný síťový model



c) kontinuální model

Obr. 2 – Členění prostoru v počítačovém modelu [12]

7.3 Perspektiva Model/Uživatel

Toto funkční označení modelu se dále člení na pohled:

- *jak vnímá model uživatele objektu (individuálně nebo globálně)* – individuální perspektiva může poskytnout podrobné informace o každém jednotlivci (např. o jeho pozici v průběhu evakuace), kdežto globální perspektiva vidí své uživatele jako homogenní skupinu osob,
- *jak uživatel objektu zná objekt (individuálně nebo globálně)* – v individuálním pohledu uživatel nemusí znát všechny východy vedoucí z objektu a rozhoduje se o využití únikových cest na základě zadaných kritérií (např. všichni uživatelé objektu znají hlavní východ, ale jen někteří vědí o vedlejších východech). Globální přístup automaticky předpokládá, že uživatelé jsou obeznámeni s budovou a znají všechny únikové východy.

7.4 Chování osob

- *Absence chování osob* – je simulován pouze pohyb osob během evakuace,
- *Implicitní chování* – simulace chování osob je vytvořena implicitně přiřazením vlastnosti (např. opožděné odezvy unikající osoby), které následně ovlivní průběh evakuace,
- *Podmíněné chování* – jednotlivcům nebo skupinám osob jsou přiřazeny schopnosti, díky kterým reagují na měnící se situaci v průběhu evakuace,
- *Umělá inteligence* – se snaží simulovat lidskou inteligenci v průběhu evakuace,
- *Pravděpodobnostní přístup* – chování osob má během simulace charakter náhodných jevů.

7.5 Pohyb osob

Programem nebo uživatelem je osobě přidělena základní rychlost (tj. rychlost neovlivněná vnějšími činiteli). Tato rychlost se snižuje s rostoucí hustotou osob, což řeší modely nejčastěji následujícími způsoby:

- *Korelací na základě hustoty osob* dle Fruina [13], Predtečenskiho [10] aj.,
- *Korelací na základě vzdálenosti mezi osobami* např. dle Thomsona [14],
- *Potenciálem* – tato metoda se používá u síťových modelů. Každý uzel má své číslo, tj. potenciál. Osoby se snaží vždy přesunout na uzel s nižším potenciálem, než na jakém se právě nacházejí. Pokud se chce osoba přesunout na již obsazený uzel, musí počkat, dokud se tento neuvolní. V případě konfliktu dvou osob preferuje model náhodně jednu z nich.
- *Funkční analogií* dle fyzikálních jevů (např. pohyb tekutin, magnetismus).

V tab. 7 jsou uvedeny hlavní a speciální vlastnosti evakuačních programů, které patří v současnosti mezi nejrozšířenější.

Tab. 7 – Přehled vybraných vlastností evakuačních programů

Typ vlastnosti	Simulex	FDS-Evac	VISSIM	STEPS	PathFinder	Building EXODUS
Metoda modelování	částečně behaviorální	částečně behaviorální	behaviorální pohybový	behaviorální	behaviorální	behaviorální
Členění prostoru	kontinuální	kontinuální	kontinuální	jemný síťový model	kontinuální	jemný síťový model
Perspektiva model/uživatel	individuální	individuální	individuální	individuální	individuální	individuální
Chování osob	implicitní	implicitní podmíněné pravděpod.	implicitní podmíněné pravděpod.	podmíněné pravděpod.	implicitní	podmíněné pravděpod.
Pohyb osob	vzdálenost mezi osobami	vzdálenost mezi osobami	vzdálenost mezi osobami potenciál aj.	potenciální mapa	vzdálenost mezi osobami aj.	potenciální mapa
Data o požáru	ne	model požáru FDS	ne	import dat	ne	import dat
CAD	ano	ano	ano	ano	ano	ano
Vizualizace	2D	2D, 3D	2D, 3D	2D, 3D	2D, 3D	2D, 3D
Speciální vlastnosti programů						
Vliv požáru	ne	ano	ne	ano	ne	ano
Toxicita	ne	ano	ne	ano	ne	ano
Výtahy	ne	ne	ano	ano	ano	ano
Postižené osoby	ano	ano	ano	ano	ano	ano

Použitá literatura

[1] KUČERA, P., PAVLÍK, T., POKORNÝ, J., KAISER, R.: *Požární inženýrství při plnění úkolů HZS ČR.* Praha, MV - generální ředitelství Hasičského záchranného sboru ČR, 2012, 66 s., ISBN 978-80-86466-25-5.

[2] SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. Fourth Edition. Quincy: National Fire Protection Association, 2008.

[3] ISO/TR 16738 *Fire-safety engineering - Technical information on methods for evaluating behaviour and movement of people.* Geneva: ISO International organization for Standardization, 2009, 61 s.

[4] FOLWARCZNY, L., POKORNÝ, J.: *Evakuace osob.* EDICE SPBI SPEKTRUM 47. Ostrava, Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2006, 125 s., ISBN 80-86634.

[5] HOSSER, D.: *Leitfaden Ingenieurmethoden des Brandschutzes.* Braunschweig: Technisch-Wissenschaftlicher Beirat (TWB) der Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e.V. (vfdb), 2006, 343 s.

[6] ČSN 73 0802 *Požární bezpečnost staveb – Nevýrobní objekty.* Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. Praha: 2009.

[7] ČSN 73 0804 *Požární bezpečnost staveb – Výrobní objekty.* Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. Praha: 2010.

[8] ISO/TR 13387-8 *Fire safety engineering Part 8: Life safety - Occupant behaviour, location and condition.* Geneva: ISO International organization for Standardization, 1999, 36 s.

[9] KUČERA, P. - PAVLÍK, T. - POKORNÝ, J. *Požární inženýrství IV. Kvantitativní analýza při specifickém posouzení vysoce rizikových podmínek požární bezpečnosti v návaznosti na ČSN 73 0802 a ČSN 73 0804 - posouzení evakuace.* Praha: MV-generální ředitelství Hasičského záchranného sboru ČR, Odborný časopis požární ochrany, integrovaného záchranného systému a ochrany obyvatelstva 112, 2010, č. 12, s. 12 - 15, ISSN: 1213-7057.

[10] PREDTEČENSKIJ, M., MILINSKIJ, I. *Evakuace osob z budov.* Praha: Svaz požární ochrany, Svazek 30, 1972, 272 s.

[11] KULIGOWSKI, E.D. – PEACOCK, R.D. – HOSKINS, B.L. *A Review of Building Evacuation Models* (2nd Edition). Gaithersburg : National Institute of Standards and Technology. Building and Fire Research Laboratory. Technical Note 1680, pp. 36, 2010.

[12] KUČERA, P., KAISER, R. *Úvod do požárního inženýrství.* SPBI, Ostrava, 2007. ISBN: 978-80-7385-024-1.

[13] FRUIN, J.J. *Pedestrian Planning Design.* New York: Metropolitan Association of Urban Designers and Environmental Planners, pp. 206, 1971.

[14] THOMPSON, P. – MARCHANT, E. *A Computer Model for the Evacuation of Large Building Population.* Fire Safety Journal, Volume 24, Issue 2, pp. 131–148, 1995.