

Petr KUČERA^{*}, Tomáš PAVLÍK^{}**

NOVÉ SMĚRY VE VÝVOJI MODELŮ PRO EVAKUACI OSOB

NEW TRENDS IN DEVELOPMENT OF EVACUATION MODELS

Abstrakt

Vývoj výpočetní techniky umožňuje řešit evakuaci osob v objektu se složitou dispozicí. Příspěvek proto poukazuje na možné využití modelovacích programů pro evakuaci osob jako jsou programy buildingExodus a Simulex. Na konkrétním případě se vyhodnocují a porovnávají výsledky těchto programů a vytyčuje se rozsah jejich případného použití v oblasti požární bezpečnosti staveb.

Abstract

Modelling evacuation of occupants in the complex building was made possible by recent development of computer technology. This article discourses the use of computer programs for evacuation of persons such as buildingEXODUS and Simulex. Its main aim is to evaluate and compare results of these computer programs in the real case and to establish range of their potential use in the branch of fire safety of buildings.

Keywords: fire safety, evacuation, computer programs, crowd movement

Úvod

Požár ve stavebních objektech je mimořádná událost, která může způsobit škody nejen na stavebních konstrukcích a vnitřním interiéru, ale především může být hrozbou pro osoby nacházející se v tomto objektu. Proto je třeba při každém návrhu stavebního objektu uvažovat s dostatečným zabezpečením objektu pro včasný únik osob. Nepříznivě ovlivňuje evakuaci výstavba dispozičně rozlehlých a výškových objektů, kde se často shromažďuje větší počet osob. Při vzniku požáru jsou osoby nacházející se v těchto objektech vystaveny kromě vysokých teplot i kouři, který svým rozšířením zpomaluje postup evakuace a negativně tak působí na pohyb a orientaci unikajících osob. Nadto kouř obsahuje toxické zplodiny, jež mohou být příčinou smrtelné otravy.

Vývoj výpočtových metod pro evakuaci osob postupoval od jednoduchých (ručních) postupů k realističtějším odhadům evakuace osob s využitím softwarových výpočetních modelů. Jednoduché postupy většinou stanovují dobu evakuace na základě faktorů ovlivňujících pohyb osob např. hustoty, rychlosti či toku osob. Většina evakuačních modelů

* Ing., VŠB – Technická univerzita Ostrava, FBI, Katedra požární ochrany a ochrany obyvatelstva, Lumírova 13, 70030 Ostrava - Výškovice, petr.kucera@vsb.cz

** Ing., Krajské operační a informační středisko, Hasičský záchranný sbor Zlínského kraje, tomaspavlik82@seznam.cz

je sestavena na základě empirických rovnic odvozených z experimentů nebo pozorování pohybu osob [1, 2, 3, 4, 5]. Současné výpočetní modely simulují jednotlivé scénáře evakuace podle typu objektu s důrazem na chování unikajících osob a zároveň započítávají vliv vystavení zplodin kouře [6, 7]. Využití těchto modelů popisujících pohyb osob jako komplexní systém je řídnější a týká se většinou komerčně dostupných výpočetních programů.

Naše univerzita umožňuje studentům a vědeckým pracovníkům využívat některé z těchto sofistikovaných výpočetních modelů pro evakuaci osob - SIMULEX a buildingEXODUS. Tyto programy slouží svou variabilitou pro ověření optimálního postupu evakuace a mohou poukazovat na případné obtíže (např. nahromadění osob u dveřních otvorů), jež jednoduché výpočetní postupy nedokáží postihnout.

Výzkum pohybu osob

V druhé polovině 20. století vznikly významné práce, které se zabývaly pohybem a rychlostmi toku unikajících osob. Za zmínku stojí prezentovat některé nejvýznamnější představitele tohoto období. Jedním z nich byl Japonec Kikuji Togawa [8], který matematicky prezentoval dobu požadované evakuace, jejíž tvar byl později často uplatňován a stal se i základem pro sestavení doby evakuace užívané v českých projektových předpisech. Významný příspěvek pro rozvoj pohybu osob v objektech byla práce sovětských vědců Vselodova M. Predtečenského a Anatolije I. Milinského [1], kteří na základě mnoha pozorování sestavili průměrné hodnoty ploch připadajících na jednu osobu a výpočty hustoty a rychlosti pohybu proudů osob. Dalším výrazným badatelem byl Američan John Fruin se světoznámou knihou „*Pedestrian Planning and Design*“ [2]. Fruinovu knihu lze označit za referenční příručku pohybu osob. Zabývá se pohybem chodců včetně jejich velikosti a tvaru postavy, problémem front uvnitř objektů a rychlostí pohybu ve vztahu průchozí šířce při pohybu na schodištích. Důraz klade na způsob pohybu chodců a jejich rychlosti v těsné blízkosti dalších chodců. Posledním zde zmiňovaným výzkumníkem byl další Američan Jake L. Pauls [3, 4], jenž se zabýval stanovením empirických rovnic doby evakuace pro výškové objekty.

Všechny výše zmíněné studie a mnoho jiných se zabývaly rychlostí, hustotou, pohybem a tělesnými rozměry unikajících osob a vztahy mezi těmito charakteristikami. Výsledkem bylo určení jednoduchých empirických rovnic doby evakuace či tabulkových hodnot, které slouží pro zjednodušené výpočetní postupy.

Zjednodušené výpočetní postupy evakuace

Tato kapitola se věnuje přehledu zjednodušených výpočetních postupů vybraných charakteristik pohybu osob jako jsou šířka, hustota, rychlost, tok osob. Obecná závislost mezi charakteristikami pohybu je následující: [9]

$$\text{tok osob} = \text{rychlost} \times \text{hustota} \times \text{šířka} \quad (1)$$

Rovnice (1) vyjadřuje formální vztah mezi charakteristikami pohybu osob. Ve skutečnosti je však jejich vzájemný vztah složitější, kdy je například rychlost funkcí hustoty nebo se vzájemně ovlivňují tok a hustota.

Šířka (Width)

Existují dva základní principy stanovení nezbytné šířky únikových cest – *Flow and Capacity Methods* [10]. *The Flow Method* užívá postup evakuace z objektu stanovenou maximálním časovým intervalem, dělí cestu na jednotky šířky a používá se u evakuace osob, kteří jsou bdící a nemají omezenou schopnost pohybu. *The Capacity Method* je založena na dostatečném počtu únikových cest (často chráněných), kterými je možno evakuovat všechny osoby z objektu. Tato metoda se užívá u evakuace osob z výškových objektů nebo u objektů s osobami s omezenou schopností pohybu. V českých technických předpisech lze najít jistou souvislost výše uvedených metod v součiniteli s vyjadřující podmínky evakuace, jež je závislý na typu únikových cest, schopnosti pohybu a způsobu evakuace.

Hustota (Density)

Hustotu lze definovat jako počet osob na jednotku plochy v místnosti nebo na únikové cestě, tj. osoba/m², a je údajem stupně zaplněnosti osob na únikové cestě.

Hustota představuje kapacitní omezení únikových cest [9]. Jestliže jsou unikající osoby dostatečně rozptýleny na únikových cestách, pak je výpočet realizován ve vhodných časových krocích. V každém časovém kroku se hustota na únikové cestě stanoví jako počet vstoupených osob na tuto cestu mínus osoby, kteří ji již opustily.

Rychlost (Speed)

Rychlost je vzdálenost překonaná pohybem osoby za jednotku času (m/s). Hodnoty rychlosti jsou stanoveny pozorováním a závisí především na věku, pohlaví a fyzické kondici unikajících osob. Rychlost chůze bývá často odvozena jako funkce hustoty osob.

Jestliže je hustota osob nižší než 0,54 osob/m² na únikové cestě, pak se každý jedinec může pohybovat vlastním tempem a není nijak ovlivněn ostatními. Překročí-li však hustota osob hodnotu 3,8 osob/m², dochází k zastavení pohybu [9]. V rozmezí těchto hustot je odvozena lineární rovnice pro určení rychlosti S : [9]

$$S = k - a \cdot k \cdot D \quad (2)$$

kde S - rychlost pohybu (m/s)

D - hustota (osob/m²)

a, k - konstanty rychlosti evakuace (tabulková hodnoty)

Existuje řada dalších rovnic (Predtečenskij a Milinskij, Fruin, Anda, Thompson aj.) popisující rychlost evakuace v závislosti na hustotě. Zpravidla se jedná o empirické vzorce, jež jsou statisticky odvozeny z naměřených údajů.

Tok osob (Flow)

Tok je počet osob, kteří prošli daným místem za jednotku času (tj. osoby/s). Rychlost toku je nízká, je-li hustota unikajících osob příliš malá nebo vysoká. Nejvyšší hodnoty rychlosti toku je dosaženo při hustotě zhruba 2 osob/m².

Doba evakuace (Evacuation Time)

Doba evakuace (v sekundách nebo minutách) vyjadřuje, jak dlouho bude evakuace v posuzovaném objektu trvat. Tento časový interval je nezbytná doba pro evakuaci všech osob z objektu.

Jedním z prvních jednoduchých vztahů pro požadovanou dobu evakuace byl prezentován Kikuji Togawou takto: [11]

$$T_e = \frac{N_a}{B \cdot N} + \frac{K_s}{v} \quad (3)$$

kde T_e požadovaná doba evakuace (s)
 N_a celkový počet unikajících osob (počet osob)
 B šířka únikové cesty (m)
 N jednotka kapacity na únikové cestě (osoby/m/s)
 K_s vzdálenost únikové cesty (m)
 v rychlost pohybu osob (m/s)

Tuto rovnici lze rozdělit na dva členy. První člen určuje dobu potřebnou pro průchod všech osob a druhý člen stanovuje dobu pro překonání určité vzdálenosti k východu. Obdobná rovnice se používá pro stanovení potřebné doby evakuace v českých technických předpisech [např. 12].

Predtečenskij a Milinskij odvodili dobu evakuace pro případ požáru nebo jiného stavu ohrožení takto:[1]

$$t = \sum \frac{l}{v} \cdot \frac{1}{\mu \cdot \eta} + \sum \frac{P}{\mu \cdot \eta} \left(\frac{1}{Q_{i+1}} - \frac{1}{Q_i} \right) \quad (4)$$

kde l délka komunikace (m)
 v rychlost pohybu proudu osob (m/s)
 μ koeficient podmínek pohybu (-)
 η koeficient podmínek pohybu - fyzický vliv (-)
 P počet osob (osoby)
 Q propustnost (m²/min)

První člen sumy vyjadřuje celkový čas pohybu proudu, druhý člen pak celkový čas zpoždění pohybu.

Rozdělení softwaru pro modelování evakuace

Počítačové modely navazují ve vývoji na ruční a grafické výpočty. Starší modely chápou osoby jen jako homogenní skupinu, dav, pohybující se k východům. S výkonnějším hardwarem se nabídla 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 bylo nutné vytvořit kategorie [13], dle kterých by mohly být tříděny:

Metoda modelování

- *Behaviorální modely* – tyto modely zahrnují rozhodovací proces osob pohybujících se k východu. Osoby reagují na aktuální situaci. Projevují se u nich vlastnosti jako netrpělivost nebo fyzická kondice. Některé modely umožňují i předávání informací mezi osobami (např. o existujících únikových východech) nebo určitou formu skupinového chování.
Mezi behaviorální modely patří např. buildingEXODUS, EXITT a VEgAS.
- *Modely pohybu* – osoby se pohybují z jednoho místa do druhého (obvykle k východu). Tyto modely umožňují uživateli identifikovat místa, kde bude docházet ke vzniku front a kumulacím osob, a lépe tak optimalizovat šířky únikových cest a východů.
Příkladem pohybových modelů jsou WayOut, FPETool a EgressPro.
- *Kombinace pohybového a částečně behaviorálního modelu* – primárně se zabývají pohybem, ale částečně simulují i určité prvky chování. Typickými znaky jsou různé rozložení doby reakce na vyhlášení poplachu, specifické vlastnosti jednotlivců, implicitní chování při předbíhání nebo řazení do front.
Typickými zástupci těchto modelů jsou Simulex, SGEM a EXIT 89.

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 pohybují jednotlivé osoby. Vzájemným propojením uzlů vzniká dvojrozměrná síť, představující dispozici objektu.
- *Kontinuální modely* – 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 jednotlivců v místnostech.

Pohyb osob

Osobě je programem nebo uživatelem přidělena základní rychlost (tj. rychlost neovlivněná vnějšími činiteli). Tato rychlost se snižuje se zvyšující hustotou osob, což řeší modely nejčastěji následujícími způsoby:

- *korelací na základě hustoty* dle Predtečenského a Milinského, Fruina aj.
- *korelací na základě vzdálenosti mezi osobami* např. dle Thompsona [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 uvolní. V případě konfliktu více osob preferuje model jednu z nich, ostatní pak reagují s časovou ztrátou.
- *funkční analogií* dle fyzikálních jevů (pohyb tekutin, magnetismus)
- *a další...*

Při výběru vhodného modelu je třeba věnovat pozornost i způsobu, jakým byla ověřena platnost výpočtů. Obvyklé je ověřování dle platných předpisů, porovnáním s časy zjištěnými při cvičných evakuacích nebo zkouškách a porovnáním s časy vypočtenými jinými modely. Je dobrou vizitkou tvůrců modelů zveřejnit výsledky tohoto ověřování.

Výpočetní program SIMULEX 11.1.3

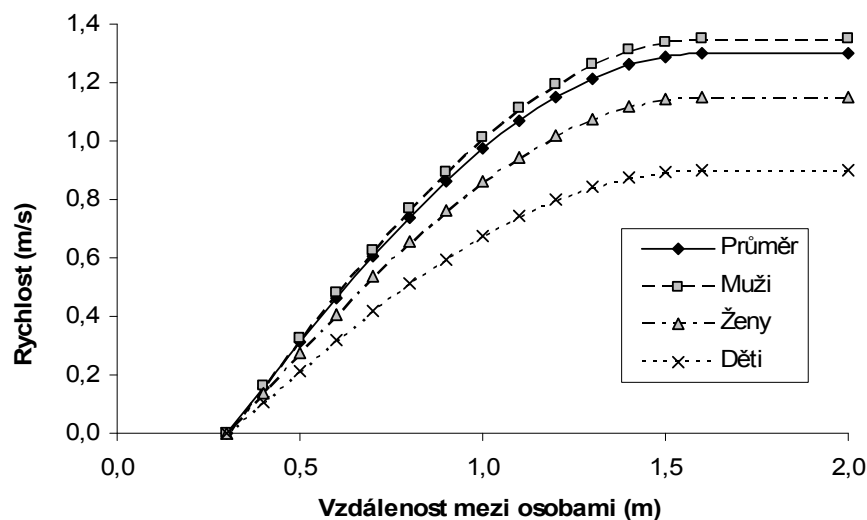
Simulex je program, který umožňuje simulovat a zaznamenat evakuaci velkého množství osob z rozlehlých objektů. Geometrie jednotlivých podlaží se vytvoří z CAD souborů a jejich propojení je možné pouze pomocí schodišť, jejichž šířka a délka se zadává přímo v programu. Uživatel nadefinuje únikové východy z budovy a rozmístí osoby. Program umožňuje zobrazit průběh evakuace, celkový čas evakuace a maximální vzdálenost k východu. Tyto informace lze pro pozdější přehrávání uložit, a to i do textového souboru.

Osoby se kontinuálně pohybují v systému kartézských souřadnic. Program vyhodnocuje pohyb každého jednotlivce zvlášť, rychlost osob se zmenšuje se vzdáleností mezi osobami. Matematicky tuto závislost popisuje Peter Thompson pomocí rovnice [14]:

$$v = V_u \cdot \sin \left\{ 90 \cdot \left(\frac{d - b}{t_d - b} \right) \right\} \quad \text{pro } b \leq d \leq t_d \quad (5)$$

$$v = V_u \quad \text{pro } d > t_d \quad (6)$$

kde v omezená rychlost pohybu (m/s)
 V_u normální rychlost pohybu (m/s)
 d vzdálenost mezi osobami – vzdálenost „středů těl“ (m)
 t_d limitní vzdálenost mezi osobami, při které začínají zpomalovat, aby se vyhnuly kolizím (= 1,6 m)
 b „hloubka“ těla (= 0,3 m)



Obr. 1 – Závislost rychlosti evakuace na vzdálenosti mezi osobami

Pohyb osob přes zúžené komunikace nebo průchody nezávisí na konkrétní hodnotě propustnosti. Rychlost otáčení těla v modelu je univerzální, 10 stupňů za 0,1 sekundy a maximální změna rychlosti pohybu je 10 % za 0,1 sekundy.

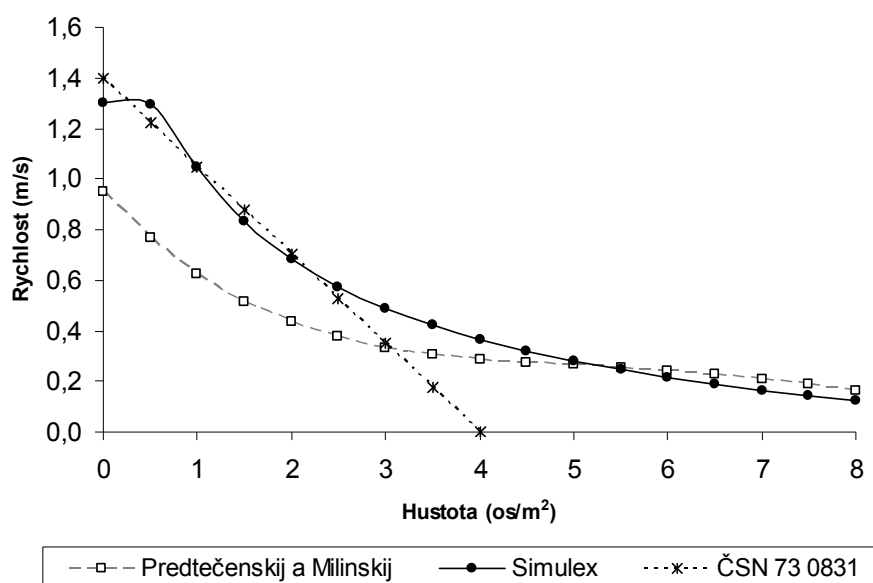
Vztah mezi hustotou osob a jejich vzdáleností se dá vyjádřit následovně:

$$D = \frac{1}{0,87d^2} \quad (7)$$

kde D hustota osob (osoby/m²)

d vzdálenost mezi osobami – vzdálenost „středů těl“ (m)

Pro vyjádření závislosti rychlosti pohybu na hustotě, místo na vzdálenosti mezi osobami, byl proveden přepočít pomocí (5), (6) a (7) pro osoby pohybující se normální rychlostí 1,3 m/s. Výsledné hodnoty jsou v grafu srovnány s křivkou dle Predtečenského a Milinského pro pohyb osob po vodorovných komunikacích za normálních podmínek v středním oblečení a s křivkou pro korelaci rychlosti na základě hustoty dle ČSN 73 0831:



Obr. 2 – Závislost rychlosti pohybu osob na jejich hustotě

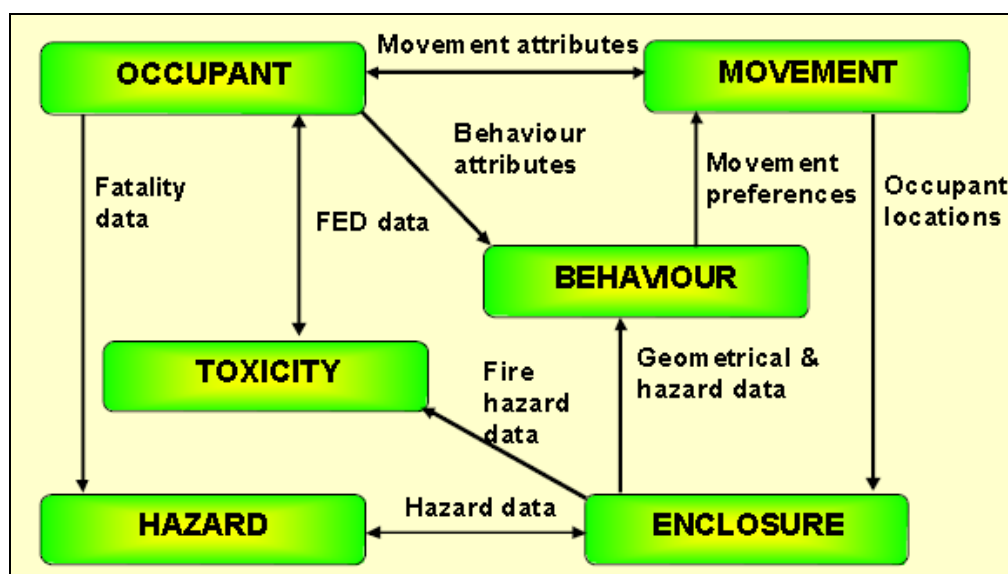
Hlavní předností Simulexu je schopnost realisticky řešit problematiku pohybu osob při vysokých hustotách a vzniku front u východů. Jeho přínosem je možnost rychlého porovnání doby evakuace při různých podmínkách, jako jsou: různá konfigurace a šířka únikových východů, doba reakce na vyhlášení poplachu apod. Simulex ovšem nepočítá s žádnou „inteligencí“ osob – ty se pouze pohybují nejkratší možnou cestou ke známému východu z objektu. Nezohledňuje se vliv paniky ani požáru. Ve světě byl tento program využit i k rekonstrukcím a vyšetřování závažných požárů [15].

Výpočetní program buildingEXODUS 4.02b

EXODUS je sestaven z pěti hlavních vzájemně se ovlivňujících submodelů [6, 16]. Těmi jsou OBYVATEL (OCCUPANT), POHYB (MOVEMENT), CHOVÁNÍ (BEHAVIOUR), TOXICITA (TOXICITY) a RIZIKO (HAZARD). Pohyb osob a chování každého jedince jsou určeny souborem heuristických pravidel.

Prostorové a časové formáty v modelu buildingEXODUS jsou stanoveny prostřednictvím dvourozměrné sítě a simulačních hodin. Touto sítí se zakreslí geometrie stavby, umístění východů, rozmístění vnitřních úseků, překážky atd. Vícepodlažní budova může být tvořena navrstvením více dvourozměrných sítí nad sebe propojených schodištěm. Náčrty stavby může být specifikován buď užitím souboru DXF vyrobeného v CAD systému, nebo jinými programy zakreslujícími geometrii stavby. Síť je tvořena uzly a jejich spojnicemi, kde každý uzel představuje malou oblast prostoru a každá spojnice vzdálenost mezi jednotlivými uzly. Osoby se pohybují po spojnicích mezi jednotlivými uzly.

Na základě vlastností jednotlivých osob vyhodnotí Submodel CHOVÁNÍ jejich odezvu na aktuální situaci, což dále předá Submodelu POHYB. Submodel CHOVÁNÍ pracuje ve dvou úrovních, které označujeme jako GLOBÁLNÍ a LOKÁLNÍ chování. GLOBÁLNÍ chování zahrnuje strategii úniku, která vede unikající osobu k nejbližšímu nebo jemu nejnámějšímu východu. Obeznamení osob se stavbou může být určeno uživatelem před zahájením simulace. Je rovněž možné určit jednotlivci roli, která musí být dokončena před evakuací, jako například prohlédnutí předem definovaného místa. LOKÁLNÍ chování bere na zřetel takové možnosti jako např. určení počáteční odezvy osoby (tj. zda bude unikající osoba reagovat ihned nebo po krátkém časovém intervalu), řešení srážky, předbíhání a výběr možných cest obcházení.



Obr. 3 – Provázanost činností jednotlivých modulů v programu buildingEXODUS [16]

Submodel TOXICITA určuje fyziologický dopad prostředí na unikající osoby. Pro určení vlivu nebezpečí požáru na osoby užívá EXODUS model Fractional Effective Dose (FED). Ten předpokládá, že účinky nebezpečí požáru spíše, než vystavené koncentraci, odpovídají osobou přijaté dávce. Model vypočítá poměr přijaté dávky v čase k účinné dávce, která zapříčiňuje omezení pohybu nebo smrt. Jakmile se hodnoty účinků nebezpečí požáru blíží k FED, snižuje se pohyblivost, čílost a rychlost pohybu osoby.

Horké a toxické prostředí je určeno Submodelem HAZARD. Ten rozvrhuje rizika v celém prostředí jako funkci času a polohy. Program buildingEXODUS nedokáže tato rizika určit,

ale může importovat experimentální nebo číselná data z dalších modelů. Například současná verze zónového modelu CFAST 6 dovoluje automatické předávání číselných údajů s programem buildingEXODUS.

K vyhodnocení výsledků programu buildingEXODUS je k dispozici několik nástrojů, které mohou být použity po ukončení simulace. Umožňují rovněž prohlížet velké výstupní datové soubory a vybrat si potřebné údaje. Navíc je k dispozici grafické prostředí virtuální reality, které poskytuje trojrozměrnou prezentaci evakuace (obr. 4).



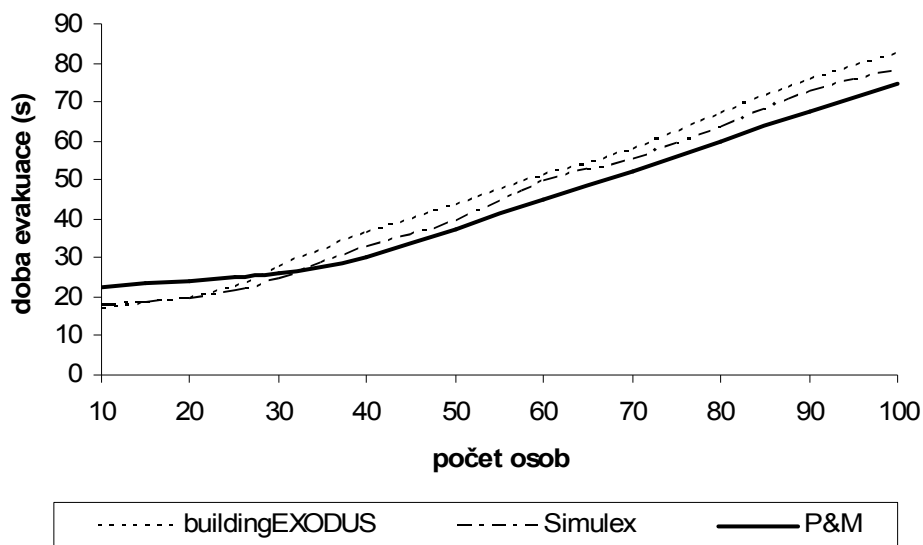
Obr. 4 – Vizualizace evakuace osob v programu vrEXODUS v4.0

Ilustrační příklad – evakuace chodby

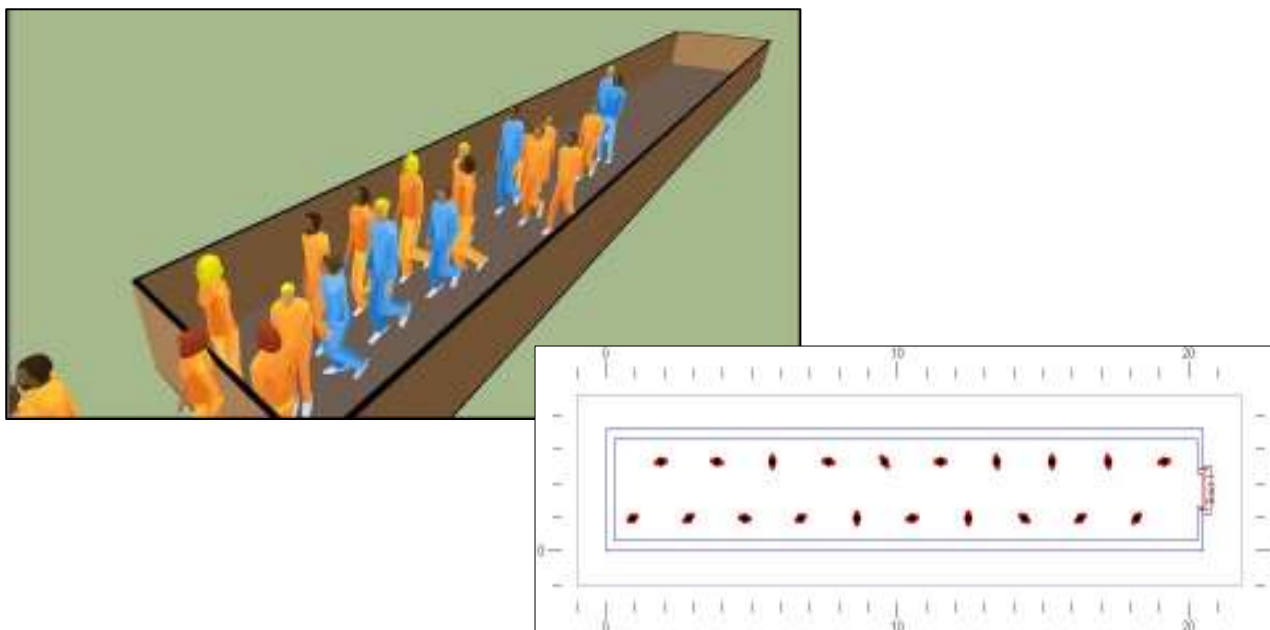
Autory byl vybrán jednoduchý příklad evakuace osob z prostoru chodby, aby bylo možné porovnat potřebnou dobu evakuace podle zjednodušeného výpočetního postupu Predtečenského a Milinského (P&M) s hodnotami dob evakuace stanovenými programy SIMULEX a building EXODUS.

Posuzovaná chodba má rozměry 20×3 m. Východ o šířce 1 m je umístěn ve středu jedné z kratších stěn chodby. Počet unikajících osob se postupně zvyšoval z počátečních 10 až na 100 osob. Rozmístnění osob v prostoru chodby ve výpočetních programech bylo náhodné. Postup výpočtu dle P&M je podrobněji popsán v literatuře [1] včetně tabulek (vzorců) pro určení konkrétních hodnot potřebných veličin jako je rychlost proudu osob v chodbě a při průchodu východem. Doba evakuace je vypočtena z rovnice (4). Úloha byla řešena pro normální pohyb osob, tedy pohyb bez paniky.

Výsledná závislost doby evakuace na počtu unikajících osob všech tří výpočetních postupů je následující:



Obr. 5 – Porovnání dob evakuace na počtu unikajících osob v posuzované chodbě



Obr. 6 – Vizualizace evakuace pohybu osob po chodbě prostřednictvím vizualizačního programu vrEXODUS v4.0 a pomocí programu Simulex

Diskuse nad výsledky příkladu

V tomto příkladě se průměrná odchylka doby evakuace mezi jednotlivými výpočetními postupy pohybuje mezi 2 až 3 sekundami z jejich střední hodnoty. Tyto výsledky jasně naznačují, že u jednoduše zadaných úloh se výsledky doby evakuace příliš neliší. Je tedy možné využívat zjednodušené výpočetní postupy u malých a středně velkých objektů nebo u staveb, které neslouží ke shromáždění většího počtu osob.

Závěr

Tento referát má být stručným přehledem o řešení evakuace osob z objektu za mimořádných událostí, v našem případě za požáru. Stručně jsou zde předloženy charakteristiky řešení evakuace prostřednictvím zjednodušených metod a poté je poukázáno na výpočetní modely a to především programy Simulex a buildingEXODUS. Jednoduchý příklad evakuace osob pak vyjadřuje, jak se „relativně“ různé výpočetní postupy mohou v zásadě shodovat, neboť základní charakteristiky pohybu osob jsou podobné.

Poukázat na četné výhody a variabilitu výpočetních modelů by přesáhlo rozsah tohoto příspěvku, lze tak některé výhody elegantně ukázat na grafických a animačních prezentacích. Při složitějších zadáních by již nešlo jako zde tak jednoduše srovnávat zjištěné výsledky, neboť principy řešení v jednotlivých programech mají jiný základ a hlavně možnosti, co dokáží řešit, jak je uvedeno v kapitole Rozdělení softwaru pro modelování evakuace.

I přes velkou budoucnost výpočetních modelů, je třeba brát na zřetel, že výsledky jakkoliv účinného softwarového produktu mohou, vlivem nevhodně zadaných vstupních údajů nebo nedostatkem ve výpočetním algoritmu, vykazovat i zavádějící hodnoty. Pomocným řešením pro projektanta tak vždy budou zjednodušené výpočetní postupy, kterými si lze řádově výsledky zkontrolovat.

LITERATURA

1. Predtečenskij, V.M., Milinskij, A.I.: *Evakuace osob z budov - Výpočetní metody pro projektování*. Československý svaz požární ochrany, sv. 30, Praha, 1972.
2. Fruin, J. J. : *Pedestrian Planning Design*. Metropolitan Association of Urban Designers and Environmental Planners, Inc., New York, 1971.
3. Pauls, J. L.: *Effective-Width Model for Evacuation Flow in Buildings*. Proceedings of the Engineering Applications Workshop, Society of Fire Protection Engineers, Boston, 1980.
4. Pauls, J. L.: *Calculating Evacuation Times for Tall Buildings*. Fire Safety Journal, Vol. 12, No. 3, 1987, pp. 213–236.
5. Habicht, A. T., and Braaksma, J. P.: *Effective Width of Pedestrian Corridors*. Journal of Transportation Engineering, Vol. 110, No. 1, 1984, pp. 80–93.
6. Galea, E.R., Galparsoro, J.M.P.: *EXODUS -An evacuation model for mass transport vehicles*. Fire Safety Journal, Vol. 22, 1984, pp. 341–366.
7. Thompson, P., Marchant, E.: *A computer model for the evacuation of large building population*. Fire Safety Journal, Vol. 24, 1995, pp. 131–148.
8. Togawa, K.: *Report No. 14*. Building Research Institute, Tokyo, 1955.
9. Cote, A. E. et al.: *Fire Protection Handbook*. Nineteenth Edition, Volumes I & II, Section 4 - Human Behavior in Fire Emergencies, NFPA, 2003.
10. NFPA 101: Life Safety Code, 2003 Edition, National Fire Protection Association.
11. Pauls, J.: *The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. Movement of People*. NFPA, 1996, pp. 3-263.
12. [ČSN 73 0804: *Požární bezpečnost staveb – Výrobní objekty*. Praha: ČNI, 2002.
13. Kuligowski, E., D.; Peacock, R., D.: *A Review of Building Evacuation Models*. NIST, 2005.
14. Thompson, P.: *Simulex: simulated people have needs too*.
15. http://fire.nist.gov/CDPUBS/NISTSP_1032/Papers/Thompson_Paper.pdf

16. Grosshandler, W.; Bryner, N.; Madrzykowski, D.; Kuntz, K.: *Report of the Technical Investigation of The Station Nightclub Fire*. NIST, 2005.
17. Galea E.R. et al.: *buildingEXODUS v4.0 – User Guide and Technical manual*. Fire Safety Engineering Group, University of Greenwich, London, 2004.

Summary

Modeling evacuation of occupants in the complex building was made possible by recent development of computer technology. This article presents brief outline on modeling of evacuation out of object under extraordinary conditions and discourses the use of computer programs for evacuation, especially programs Simulex a buildingEXODUS.