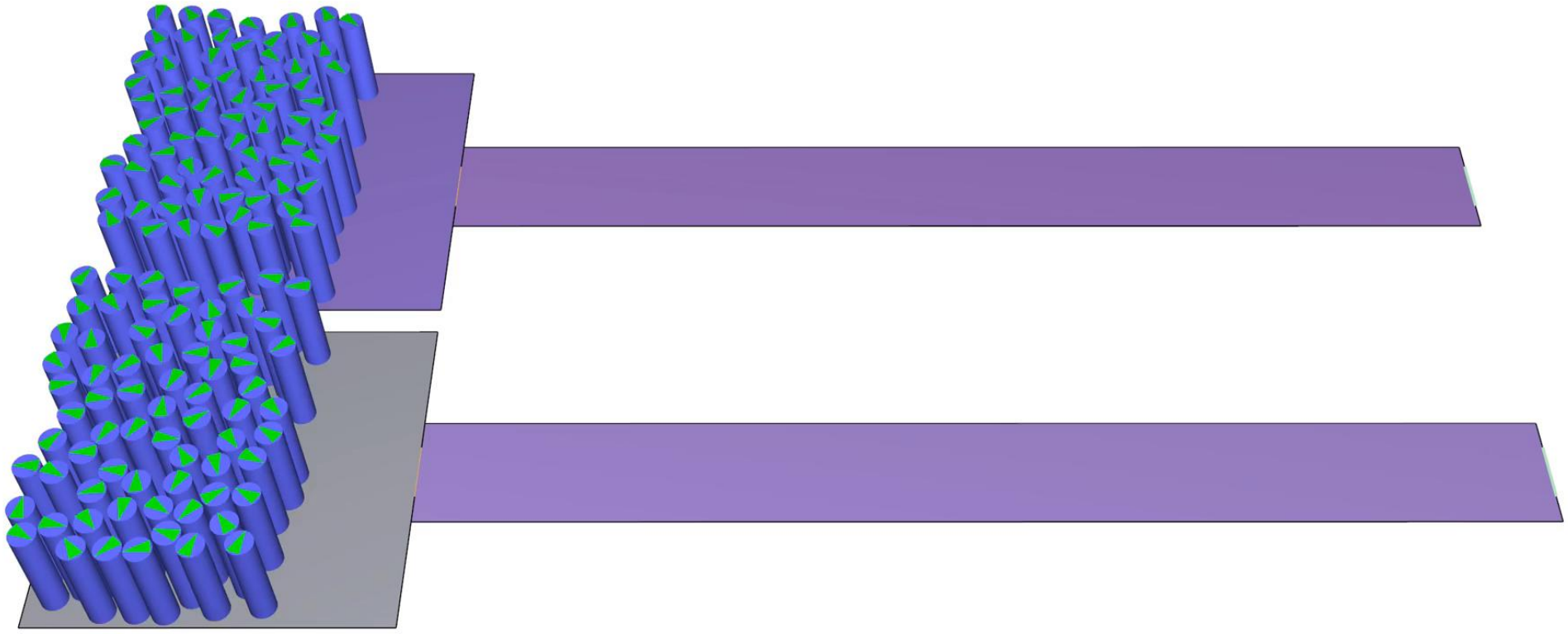
VERIFIKACE MODELŮ EVAKUACE

VI20162019034: Výzkum a vývoj ověřených modelů požáru a evakuace osob a jejich praktická aplikace při posuzování požární bezpečnosti staveb

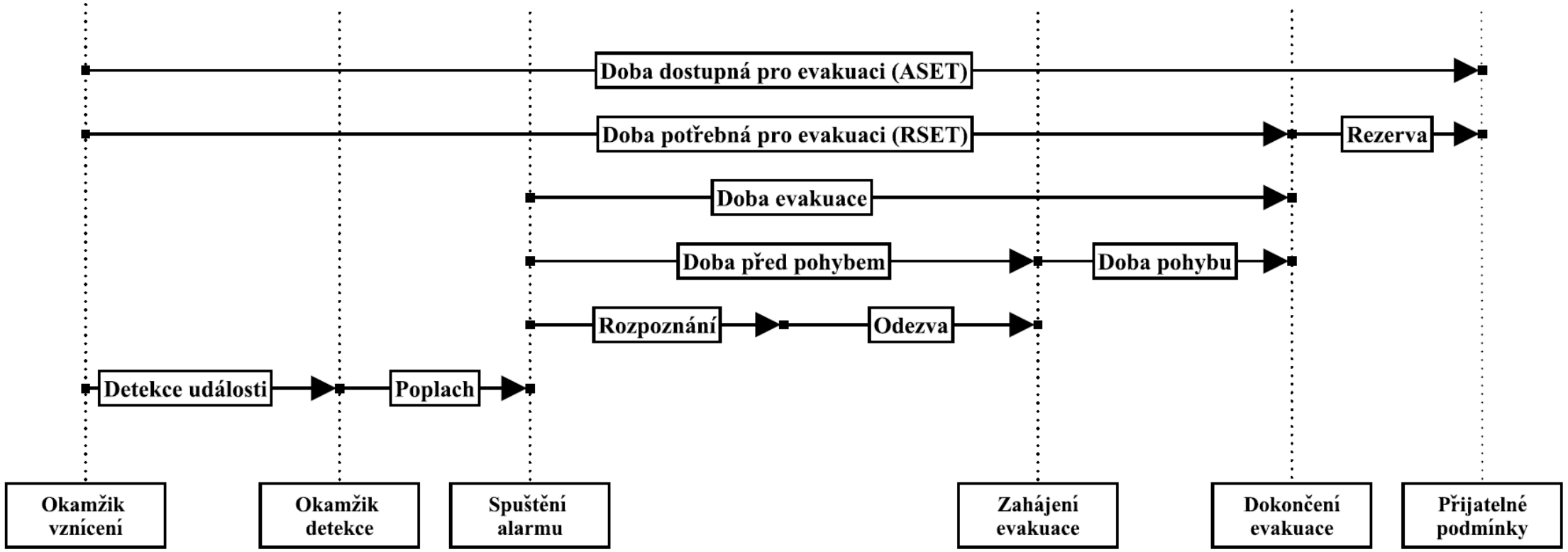
Tomáš Apeltauer, Petr Beneš, Jiří Apeltauer, Petra Okřinová

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební

MOTIVACE



ASET/RSET KONCEPT



ASET: AVAILABLE SAFE EGRESS TIME

Časový interval, po který panují v místě evakuace přijatelné podmínky pro evakuované osoby. Příklad stanovení takových podmínek může být následující:

- viditelnost přesahuje 10 metrů,
- koncentrace CO nepřesahuje 950 ppm,
- teplota vzduchu nepřesahuje 80 °C ve výšce 2 metry.

Přijatelné podmínky trvají až do okamžiku, kdy libovolná z vybraných hodnot poprvé překročí stanovený limit. Překročení limitu zjišťujeme například prostřednictvím pokročilého modelu požáru.

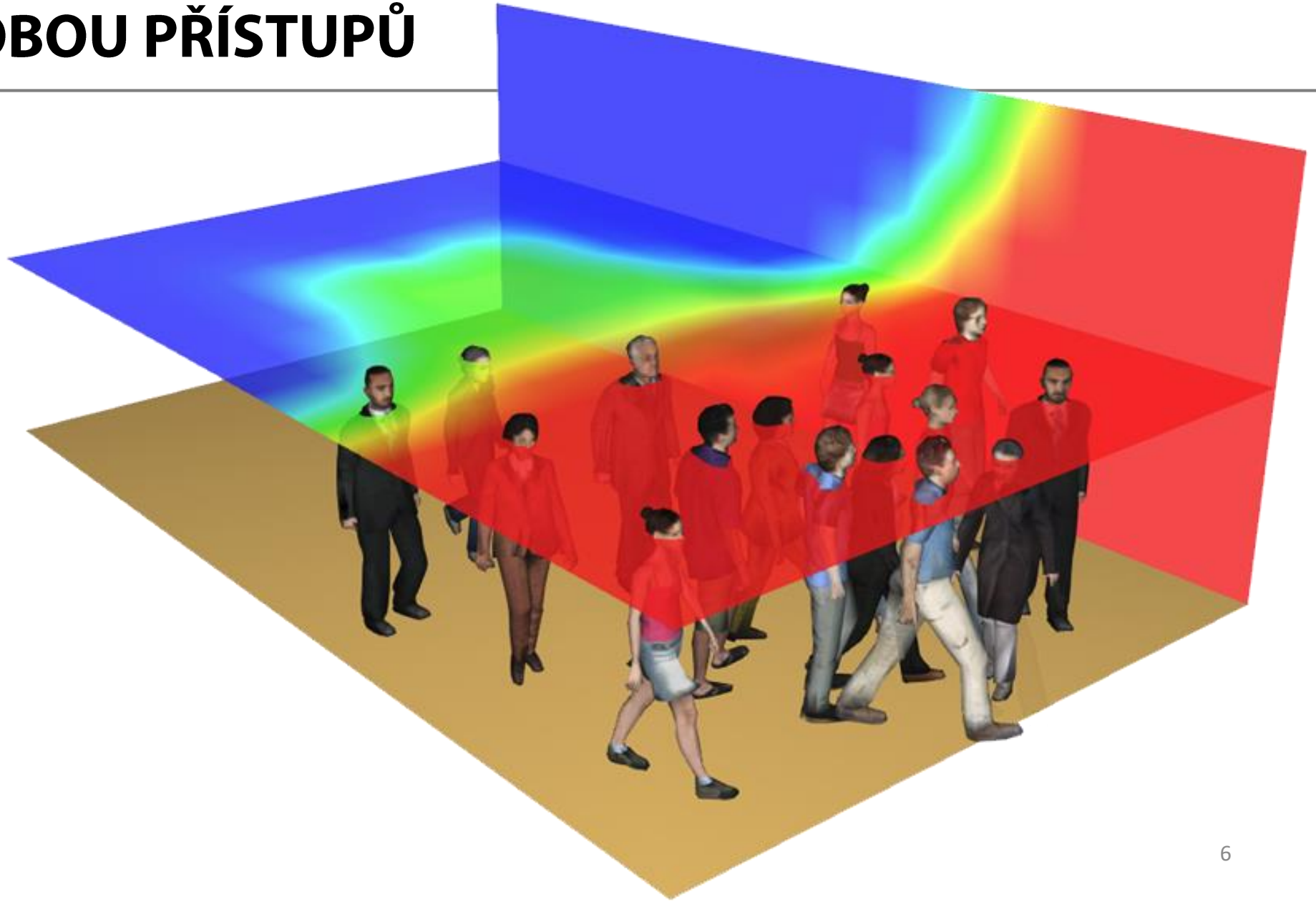
RSET: REQUIRED SAFE EGRESS TIME

Komplexní veličina, která je složena z řady dalších dílčích intervalů. Nejistota jejich stanovení může znamenat snížení časové rezervy ASET-RSET, případně její úplné vyčerpání a ohrožení unikajících osob.

Základní dělení:

- doba detekce události (interval mezi vznícením požáru a jeho detekcí),
- doba spuštění poplachu (reakční doba požárního systému),
- doba evakuace (správné stanovení závisí na schopnosti reprodukovat lidské chování, využíváme například pokročilý model evakuace).

KOMBINACE OBOU PŘÍSTUPŮ



MODELY EVAKUACE OSOB

Rozdělujeme podle jejich přístupu k chování osob a reprezentaci okolního prostoru.

- **Chování osob pomocí jednoduchých rovnic:** Založeno na empirických údajích a rovnicích, které jsou implementovány do softwarového nástroje. Omezující jsou komplexní scénáře a velké počty osob.

- **Hydraulické modely:** Reprezentují osoby jako reagující výhradně na vnější empirické podněty a to vždy stejným způsobem, nedávají prostor pro individuální rozhodování. Výsledky často příliš optimistické.

- **Behaviorální modely:** Můžeme označit za **modely pokročilé**. Berou v úvahu kromě fyzikální charakteristiky prostoru také jednotlivce jako samostatnou entitu.

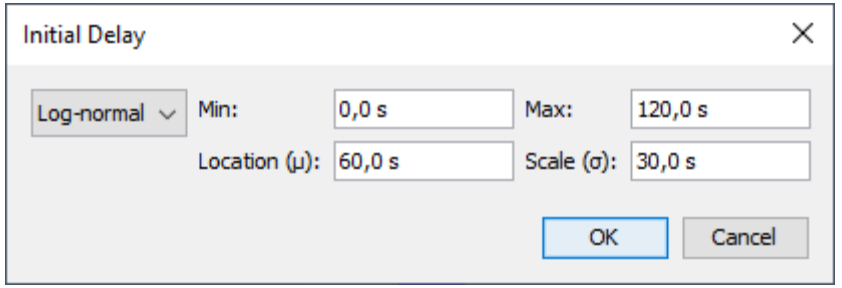
VSTUPNÍ DATA PRO POKROČILÉ MODELY EVAKUACE

Rozdělujeme obecně na geometrii a populaci modelu, volitelnou komponentou je riziko, které působí na evakuované osoby.

- **Geometrie:** Popisuje prostorové uspořádání a geometrii budov či únikových a evakuačních cest, jejich omezení a případnou částečnou nedostupnost. Zdrojem dat je optimálně elektronický výkres (DWG/DXF apod.). V současné době se intenzivně prosazuje také **informační modelování staveb (BIM)**, moderní nástroje pro modelování evakuace osob proto podporují import **Industry Foundation Classes (IFC)**.

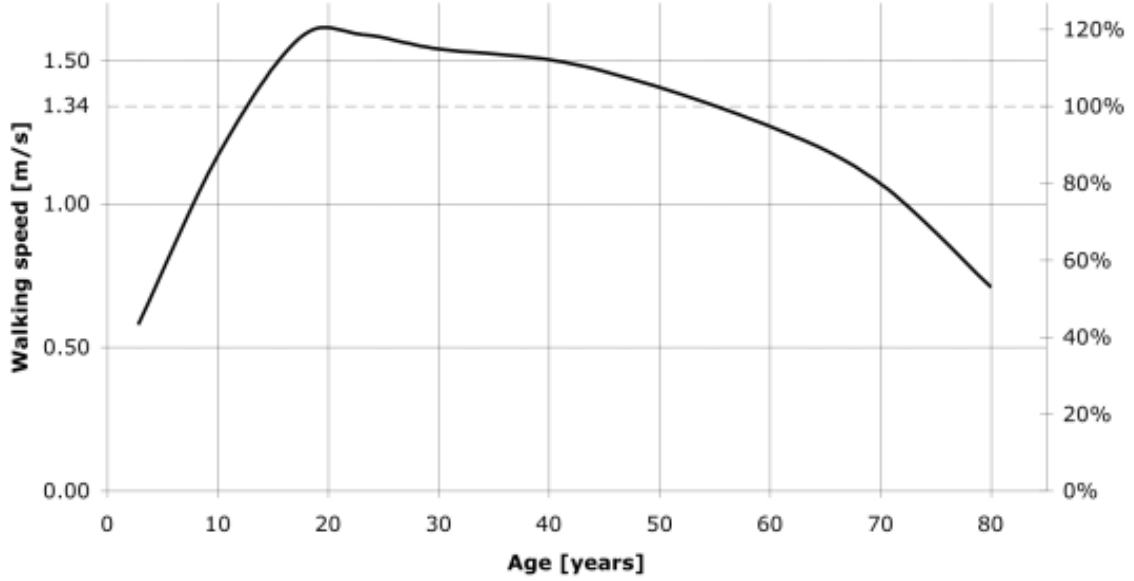
VSTUPNÍ DATA PRO POKROČILÉ MODELY EVAKUACE

- **Populace:**
  - Reakční doba: V pokročilých modelech evakuace bývá jako takto zjednodušeně označován interval mezi spuštěním signálu pro evakuaci a reakcí konkrétní modelované osoby na tento signál. Vstupem bývá obvykle experiment nebo zdroj z literatury.



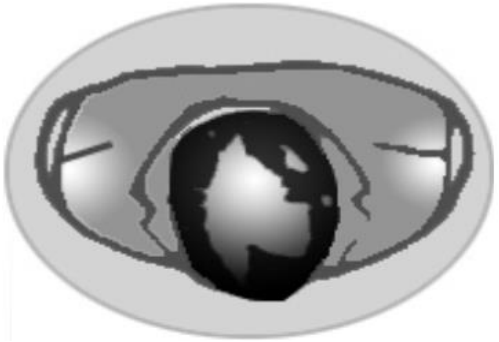
VSTUPNÍ DATA PRO POKROČILÉ MODELY EVAKUACE

- **Populace:**
  - Rychlost pohybu: Využíváme obvykle normativní zdroje tuzemské (ČSN 7308x) nebo zahraniční (RIMEA).



VSTUPNÍ DATA PRO POKROČILÉ MODELY EVAKUACE

- **Populace:**
  - Rozměry: Jednotlivec je z hlediska minimálního prostoru, který zaujímá, a interakcí s okolními osobami, popisován tzv. osobní elipsou. Koncept byl poprvé uvedený do praxe Johnem J. Fruinem (Fruin, J. J.: Pedestrian Planning and Design. Elevator World, Inc., 1971).



VSTUPNÍ DATA PRO POKROČILÉ MODELY EVAKUACE

Pheasant, S.: Bodyspace: Anthropometry, Ergonomics and the Design of the Work. CRC Press, 1996.

Země původu	Šířka [cm]	Hloubka [cm]	Plocha elipsy [m^2]
Velká Británie - muž	51,0	32,5	0,26
Velká Británie – žena	51,0	32,5	0,26
Polsko – muž	47,5	27,5	0,21
Polsko – žena	41,0	28,5	0,18
Francie – muž	51,5	28,0	0,23
Francie – žena	47,0	29,5	0,22
Průměr	45,6	28,2	0,20
Zjištěná maxima	51,5	32,5	0,26

VSTUPNÍ DATA PRO POKROČILÉ MODELY EVAKUACE

- **Riziko:**
  - Produkty hoření (nejčastěji posuzované varianty v modelech):
    - oxid uhelnatý,
    - kyanovodník,
    - oxid uhličitý.

HCN [ppm]	Dopady a doba expozice	
<80	1 hodina	Mírná hyperventilace
100	30 minut	Ztráta vědomí
200	2 minuty	Ztráta vědomí
300+	Sekundy	Smrt
1000	Okamžitě	Ztráta vědomí a smrt

Hurley, M. J. (editor): SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. Springer, 2015.

VSTUPNÍ DATA PRO POKROČILÉ MODELY EVAKUACE

- **Riziko:**
  - Vysoká teplota.

Teplota [°C]	Působení	Doma expozice	Dopady
60	Vedení (např. kov)	Sekundy	Popáleniny
100	Konvekce	30 minut	Přehřátí
120	Konvekce	5 minut	Popálení kůže a dýchacích cest
185	Konvekce	1 minuta	Popálení kůže a dýchacích cest
190	Radiace	Okamžitě	Bolest na kůži

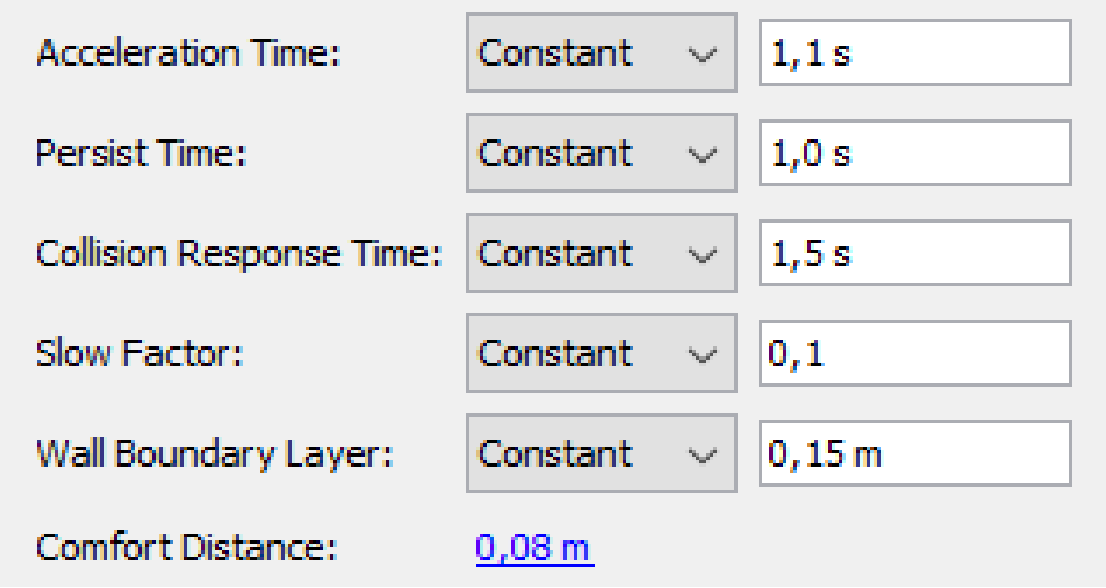
Hurley, M. J. (editor): SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. Springer, 2015.

VERIFIKACE A VALIDACE MODELU EVAKUACE

- **Verifikace:** Stanovíme, zda praktická realizace výpočtu modelu dostatečně věrně reprezentuje jeho koncept a očekávané výsledky. Neúspěšná verifikace modelu je z uživatelského hlediska neopravitelná.

- **Analýza parametrů:** Konfiguraci parametrů modelu tak, aby se jeho chování maximálně shodovalo s reálným očekáváním. Vzhledem ke stochastické a povaze modelu pohybu osob s řadou empiricky nezjistitelných parametrů je přípustné provádět jeho kalibraci pouze úpravou takových parametrů, které nejsou přesně známy či empiricky změřeny.

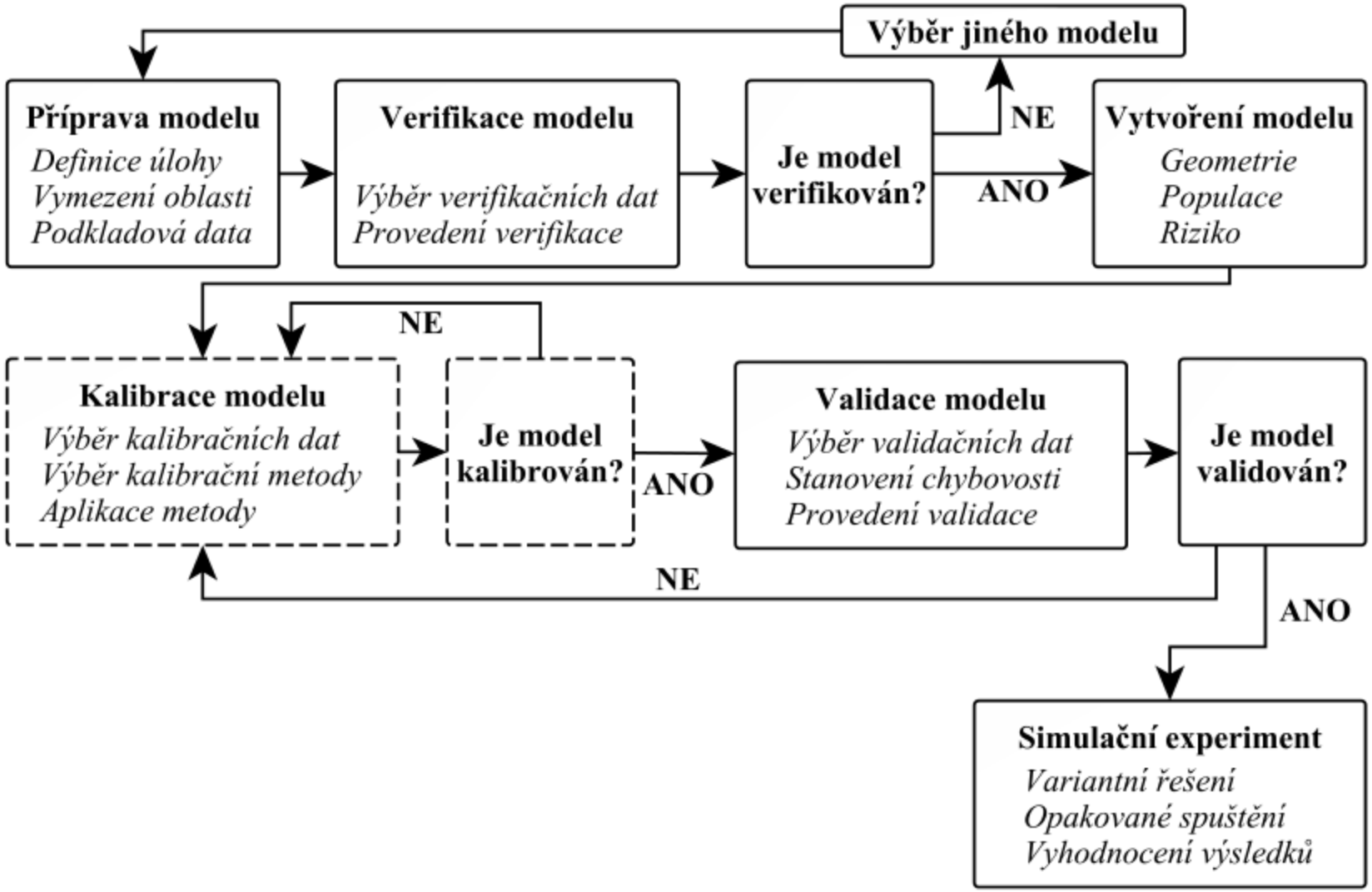
VERIFIKACE A VALIDACE MODELU EVAKUACE



VERIFIKACE A VALIDACE MODELU EVAKUACE

- **Validace:** Stanovení, zda jsou výsledky modelu v souladu s empirickými výsledky z pohledu použití modelu a jeho výpočetní metody. Jde o konečný test modelu, který musí být od verifikace a kalibrace zcela oddělen, a to především z pohledu použitých dat. Data musí být rozdílná nejen fyzicky, ale i typově.

VERIFIKACE A VALIDACE MODELU EVAKUACE



ZDROJE DAT PRO VERIFIKACI MODELU

- **IMO Guidelines 1238:** Guidelines for Evacuation Analysis for New and Existing Passenger Ships. 2007.
- **RIMEA:** Richtlinie für Mikroskopische Entuchtungs-Analysen. 2009.
- **NIST Technical Note 1822:** Ronchi, E.; Nilsson, D.; Kuligowski, E. D.; aj.: The Process of Verication and Validation of Building Fire Evacuation Models (NIST Technical Note 1822). 2013.

ZDROJE DAT PRO VALIDACI MODELU

Hůře dostupné, závisí na dostupnosti empirických dat:

- **Validace doby před pohybem:** Bayer, K.; Rejnö, T.: Evacuation Alarm - Optimizing Through Full-scale Experiment. Technická zpráva, Lund University, 1999.
- **Validace proudění osob a jeho omezení:** Seyfried, A.; Rupprecht, T.; Winkens, A.; aj.: Capacity Estimation for Emergency Exits, and Bottlenecks. In 11th Fire Science Engineering Conference INTERFLAM 2007, 2007.
- **Úplná validace (doba evakuace):** Grosshandler, W. L.; Bryner, N. P.; Madrzykowksi, D.; aj.: Report of the Technical Investigation of The Station Nightclub Fire. Technická zpráva, National Institute of Standards and Technology, 2005.

VERIFIKAČNÍ PŘÍKLADY

Metodika ověřování modelování požáru, spolehlivosti konstrukcí a evakuace osob pomocí verifikačních příkladů. Příklady obecně ověřují:

- dobu před pohybem,
- pohyb a navigaci,
- volbu východu,
- dostupnost evakuační trasy a její výběr,
- proudění osob a jeho omezení.

VYBRANÉ VERIFIKAČNÍ PŘÍKLADY

Zdroj: IMO 1238 (International Maritime Organization 2007), č. 11.

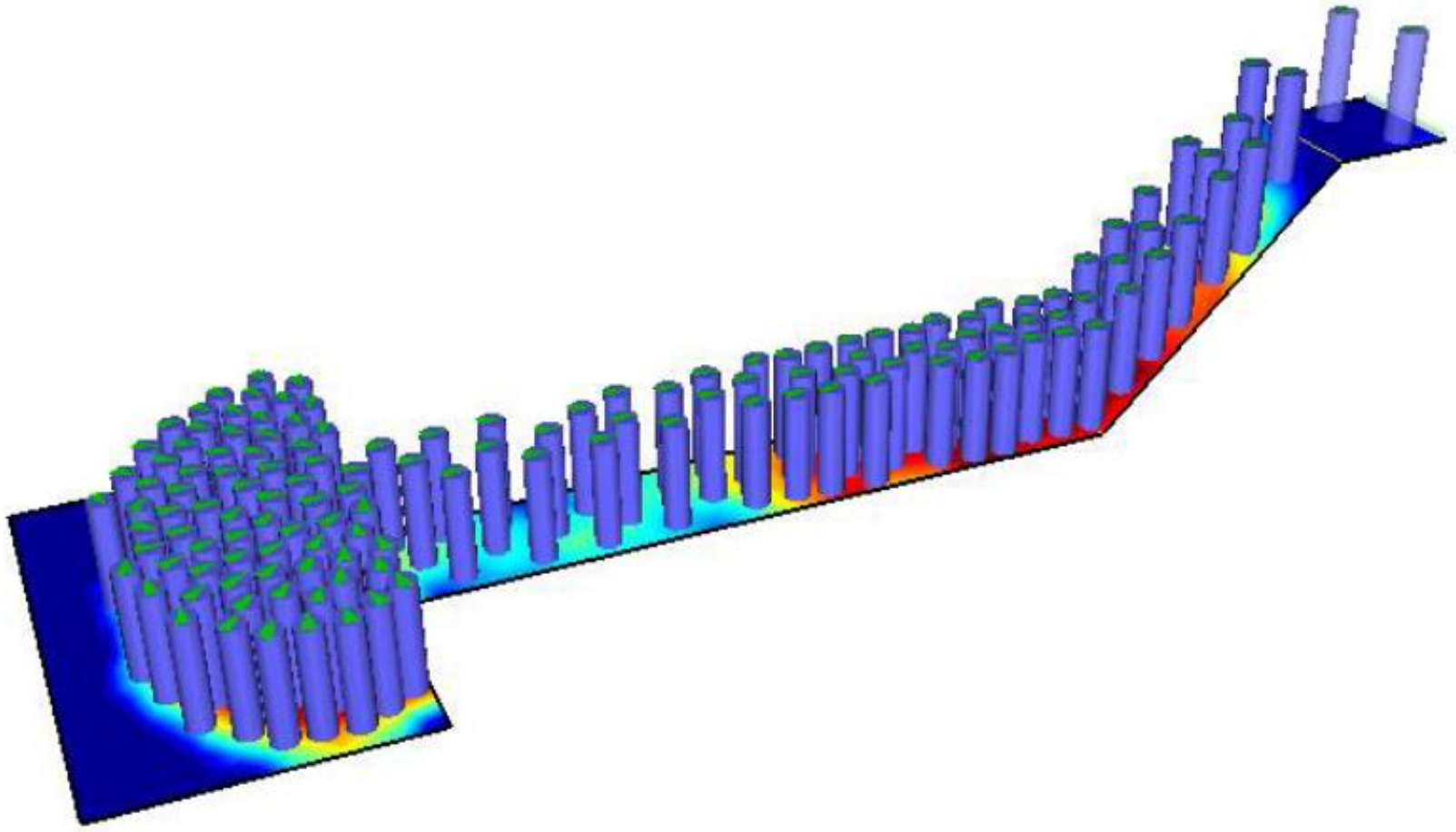
Zaměření: Vytváření kongescí.

Popis: Ověření schopnosti modelu vytvořit kongesci a frontu ve zúžení.

Konfigurace testu: Místnost, koridor a schodiště, 150 osob.

Očekávaný výsledek: Vytvoření míst se zvýšenou hustotou osob ve zúženích.

VYBRANÉ VERIFIKAČNÍ PŘÍKLADY



APLIKAČNÍ PŘÍKLADY

Metodika využití pokročilých modelů požáru a evakuace v požárně bezpečnostním řešení staveb.

Využití:

- GŘ HZS a HZS krajů, kteří posuzují dokumentaci požární bezpečnosti staveb (v roli posuzovatelů),
- projektantům autorizačních oborů Pozemní stavby, Požární bezpečnost staveb, Statika a dynamika staveb, atp.
- výrobcům materiálů požární ochrany a dalším odborníkům.

APLIKAČNÍ PŘÍKLADY

STAVBA	SPORTOVNÍ ZAŘÍZENÍ	ZÁKLADNÍ A STŘEDNÍ ŠKOLA	OBJEKTY TYPU LZ2	ZASTŘEŠENÉ OBCHODNÍ PASÁŽE
KONSTRUKCE				
Konstrukce pro nosnost a stabilitu				
Požárně dělicí konstrukce	PŘÍKLAD	PŘÍKLAD	PŘÍKLAD	
Požární uzávěry	PŘÍKLAD			
Nosná konstrukce střechy a s. pláště				
EVAKUACE OSOB A ODSTUPOVÉ VZDÁLENOSTI				
Návrh typu únikové cesty				
Posouzení šířky a délky nechráněné cesty	PŘÍKLAD	PŘÍKLAD	PŘÍKLAD	
Návrh větrání chráněné cesty (A, B, C)			PŘÍKLAD	
Vnější komunikace jako únik. cesty	PŘÍKLAD			
Odstupové vzdálenosti		PŘÍKLAD	PŘÍKLAD	
TECHNICKÁ ZAŘÍZENÍ				
Požadavky na prostupy				
Požadavky na rozvodná potrubí				
Požadavky na zařízení pro zásah				
POŽÁRNĚ BEZPEČNOSTNÍ ZAŘÍZENÍ				
Systémy EPS				
Systémy samočinných hasicích zařízení				
Systémy pro odvod tepla a kouře				PŘÍKLAD

POŽÁRNĚ DĚLÍCÍ KONSTRUKCE

Posouzení je stanovení teploty konstrukce na straně odvrácené od požáru.

Požadovaná požární odolnost nosné a požárně dělící železobetonové stropní desky tl. 150 mm je dle projektové dokumentace objektu REI 30 DP1.

Požární odolnost železobetonové stropní desky tl. 150 mm s výztuží v obou směrech a krytím výztuže 25 mm je REI 120 DP1.

Požární odolnost nosné a požárně dělící železobetonové stropní desky tl. 150 mm s výztuží v obou směrech a krytím výztuže mm 25 stanovená výpočtem dle ČSN EN 1994-1-2(731470) – Eurokód 4: Navrhování ocelobetonových konstrukcí, Obecná pravidla, Navrhování konstrukcí na účinky požáru je 160 minut.

POŽÁRNĚ DĚLÍCÍ KONSTRUKCE

Teplota na odvrácené straně požáru **po 30 minutách** stanovená výpočtem při použití nominální normové teplotní křivky v EN 1991-1-2 je **42 °C**.

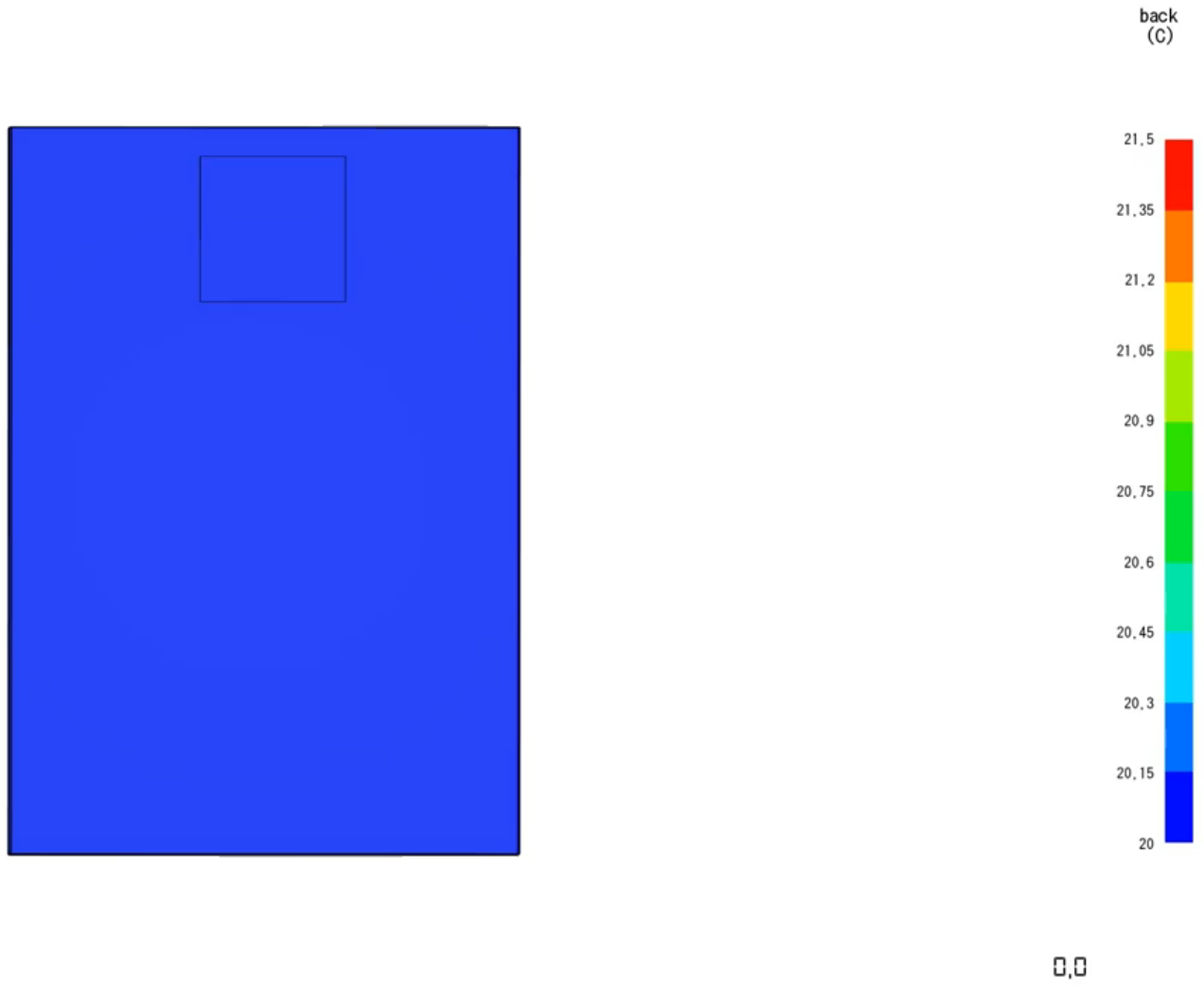
Model požáru: Zjednodušený pyrolýzní model, materiál ethanol.

Výkon požáru: $HRR = \alpha t^2$, $\alpha = 0{,}0469\ kWs^{-2}$, $t = 150$ s (GIBSE E, tab. 6.1), HRRmax ~ 4 MW.

Beton, adiabatický model, teplota 20 °C, vlhkost 40 %, rozlišení sítě: 20 cm.

Po 30 minutách byla dosažena teplota **25 °C**.

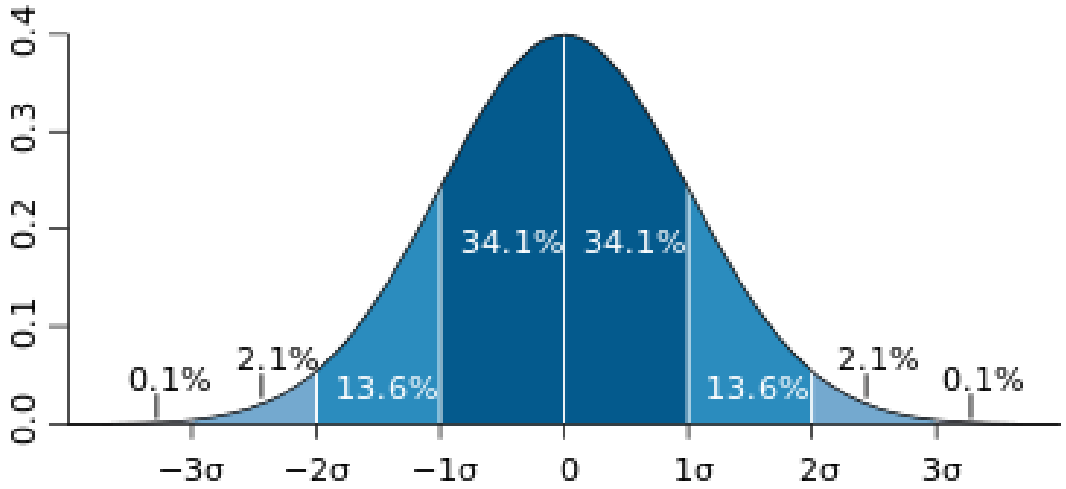
POŽÁRNĚ DĚLÍCÍ KONSTRUKCE



ZPRACOVÁNÍ VÝSLEDKŮ MODELU EVAKUACE

Simulaci je třeba spouštět opakovaně, výsledky je nezbytné statisticky zpracovávat a uvádět s konkrétní hladinou spolehlivosti.

Interval spolehlivosti	Násobitel σ
68,2 %	1
80 %	1,28
90 %	1,65
95 %	1,96
95,4 %	2
98 %	2,33
99 %	2,58
99,7 %	3



KONKRÉTNÍ REALIZOVANÉ APLIKACE V PROCESU PBŘ

- Moravský zemský stadion v Brně (evakuace 30 tis. návštěvníků, Brněnské komunikace a.s.).
- Metro linky D v Praze (evakuace cestujících z vybraných stanic, test požárního odvětrávání, Dopravní podnik hl. m. Prahy).
- Železniční stanice Dolní nádraží v Brně (uspořádání prostoru před zahájením výluky hlavního nádraží).
- Nová Zbrojovka (posouzení účinnosti sprinklerového jištění ocelové konstrukce, A PLUS, a.s.).

DĚKUJI ZA POZORNOST

tomas.apeltauer@vut.cz