



Modelování potlačení a hašení požáru pomocí sprinklerové ochrany

VI20162019034

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

Petr Kučera – Dana Chudová – Adam Thomitzek – Bohdan Filipi
Lucie Hasalová – Václav Vystrčil

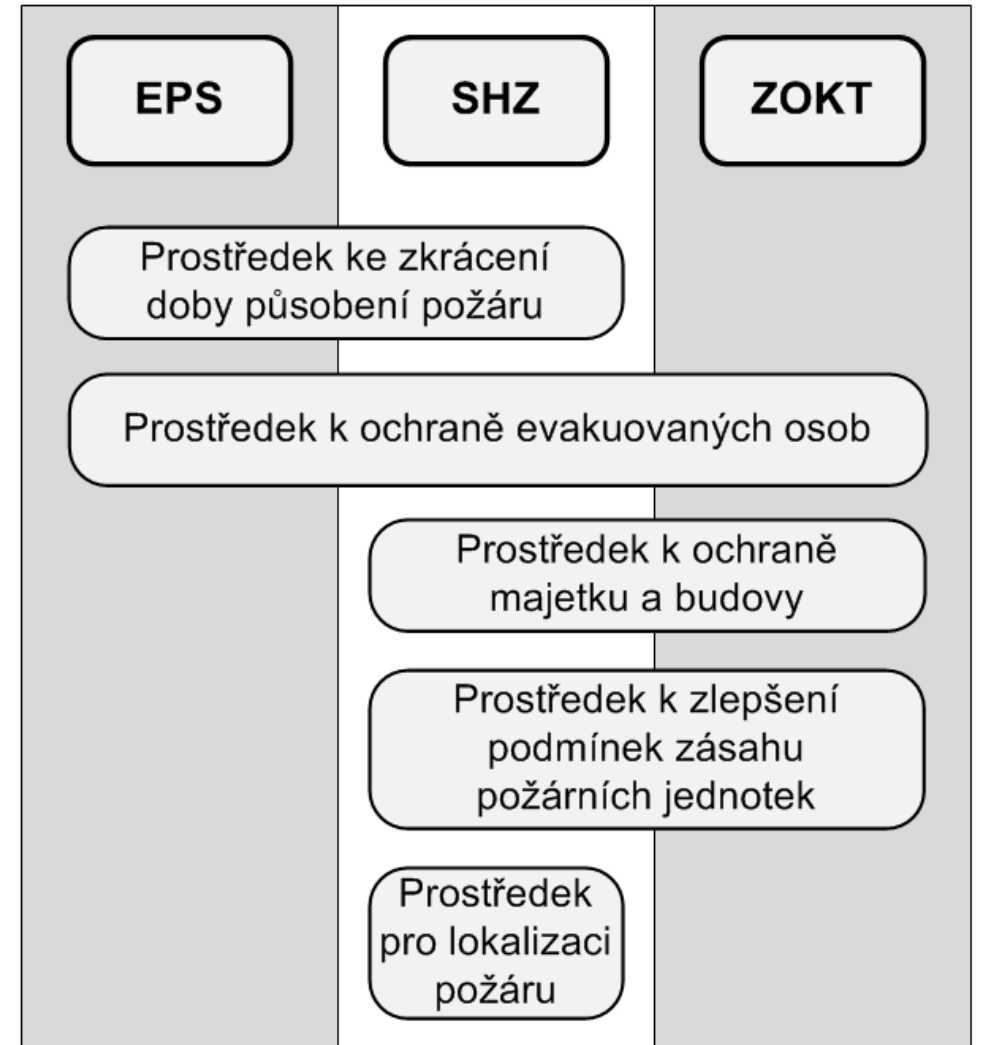
MOTIVACE

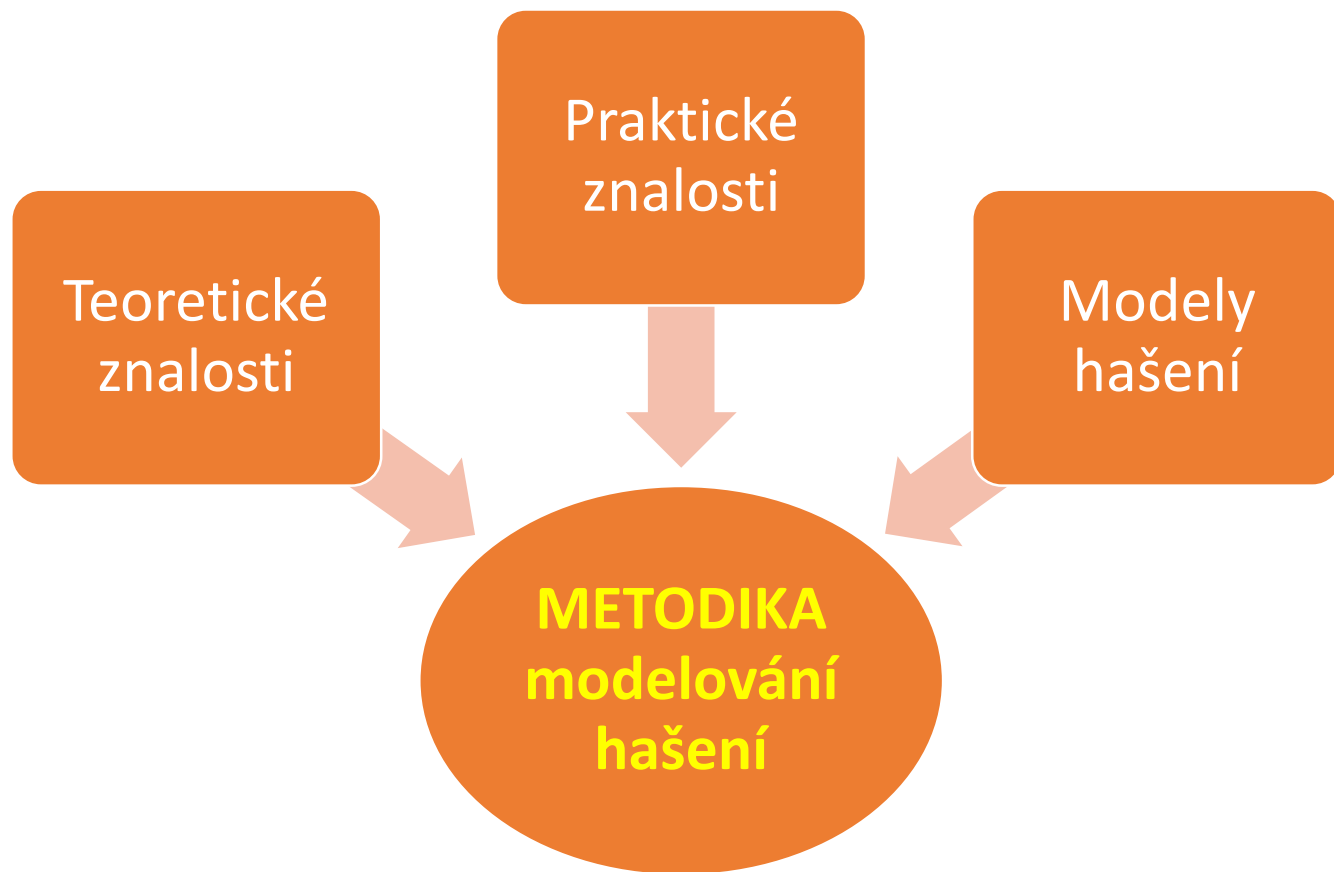
Hlavní cíle použití **aktivních prvků požární ochrany** pro:

- bezpečnou evakuaci osob,
- snížení tepelného zatížení stavebních konstrukcí,
- zkrácení doby působení požáru,
- zlepšení podmínek pro zásah jednotek PO.



Zvýšení povědomí o matematickém modelování procesu hašení, resp. hašení prostřednictvím sprinklerové ochrany.





Jak sestavit metodiku?

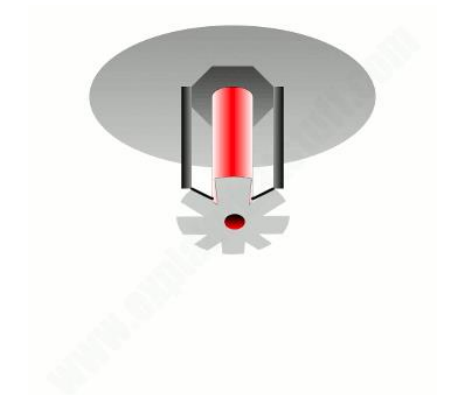
- pro koho bude určena
- co bude obsahovat
- jaké bude mít přístupy k popisu problematiky
- jaké bude mít omezení



**vliv na tvorbu
struktury metodiky**

Teoretické znalosti

- **hasební efekt vody** → ochlazovací
 - odvod tepla při ohřívání vody a její následné odpaření
 - měrné tepelné kapacity vody $4180 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$
 - ochlazování prostoru požáru se podílí i vodní pára
 - význam způsobu aplikace hasební vody
- **tepelná bilance hašení vodou**
 - ohřátí vody + odpaření vody + ohřátí vodní páry (MJ.kg^{-1})
 - metodu využívají pokročilé modely požáru (zjednodušení)



Praktické znalosti - experimenty

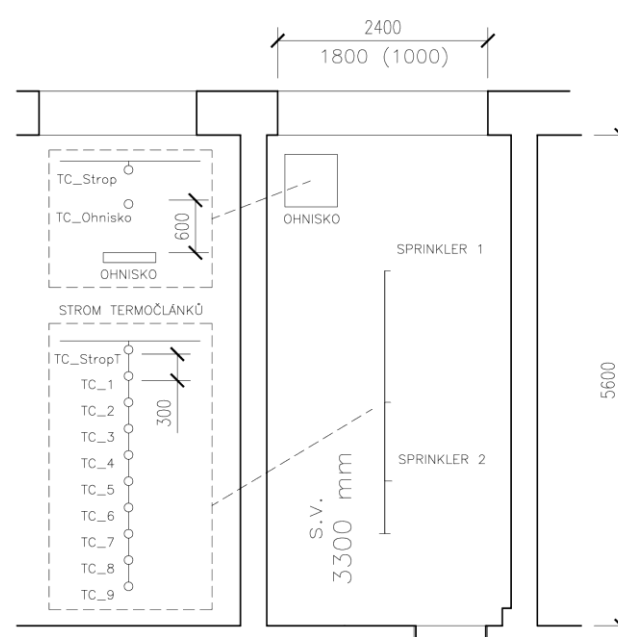
- **DŮVOD** - vstupní parametry pro modelování procesu hašení jsou dostupné pouze omezeně
- měření fyzikálních parametrů sprinklerových hlavíc
 - **laboratoř**
 - distribuce množství vody (kelímkový test)
 - distribuce velikosti kapek
 - úhel rozstříku
- měření chování sprinklerových hlavíc při lokálním požáru
 - **reálná místnost**
 - různé paliva (n-heptan, petrolej, dřev. hranoly, plynový hořák)
 - různé vnější podmínky
 - parametry (teplota, tepelný tok, průtok vody aj.)



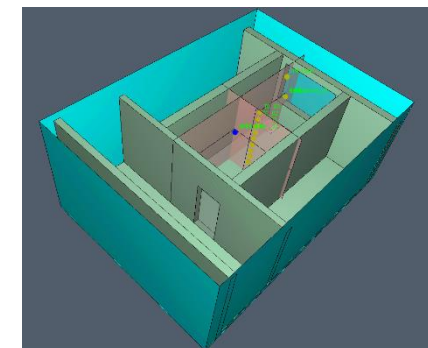
Laboratoř pro měření fyzikálních parametrů sprinklerů



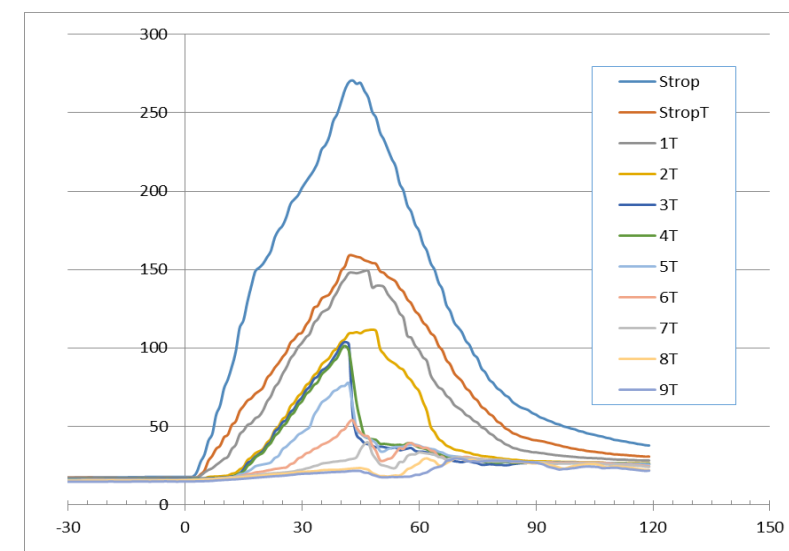
Místnost pro
velkorozměrové měření
reakce sprinklerových hlavíc



Zkušební místnost
půdorys a 3D model



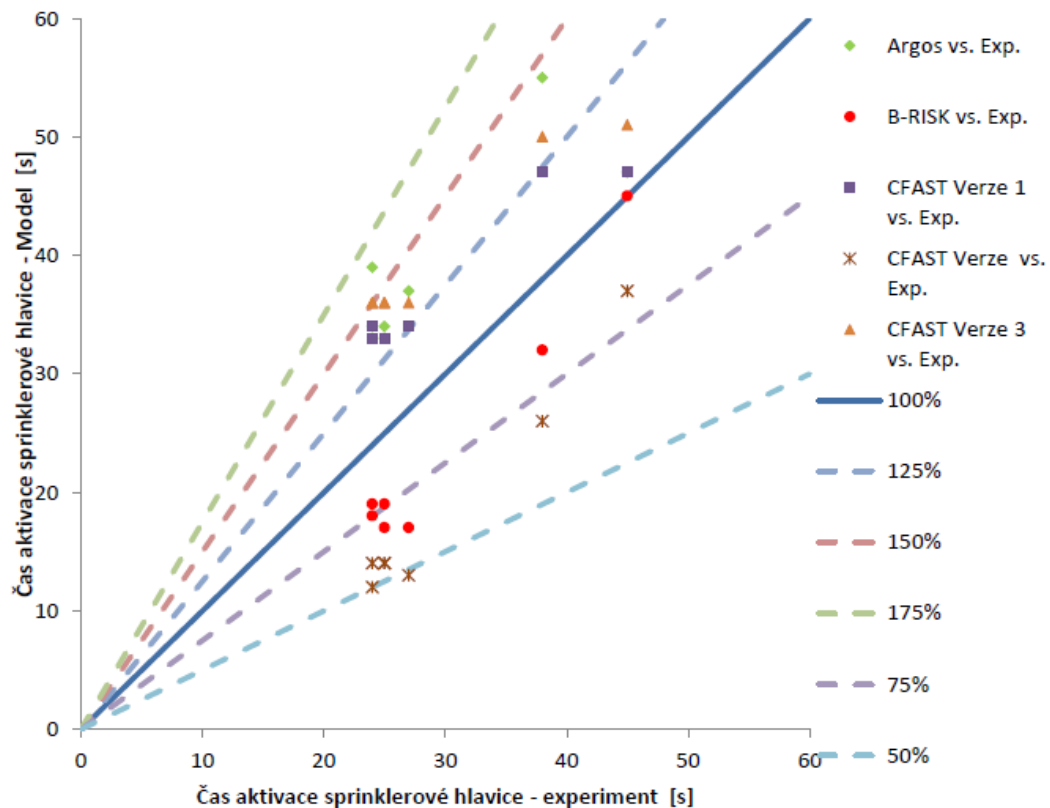
Test č.	Palivo	Hlavice	K-faktor	Doba do spuštění [s]	Teplota při aktivaci [°C]
V1701	n-Heptan	TY 325 standard	80	45	176,1
V1702	n-Heptan	TY 325 standard	80	38	145,9
V1703	n-Heptan	TY 3231 rychlá	80	27	114,1
V1704	n-Heptan	TY 3231 rychlá	80	24	109,6
V1705	Petrolej	RA 1414 rychlá	80	-	-
V1706	Petrolej	RA 1414 rychlá	80	25	93,2
V1707	n-Heptan	RA 1414 rychlá	80	24	87,4
V1708	n-Heptan	RA 1414 rychlá	80	25	102,7
V1709	Dřevo	TY 4251	115	136	112,1



Průběh teplot na termočláncích v místnosti (strom)

Praktické znalost - validace výsledků

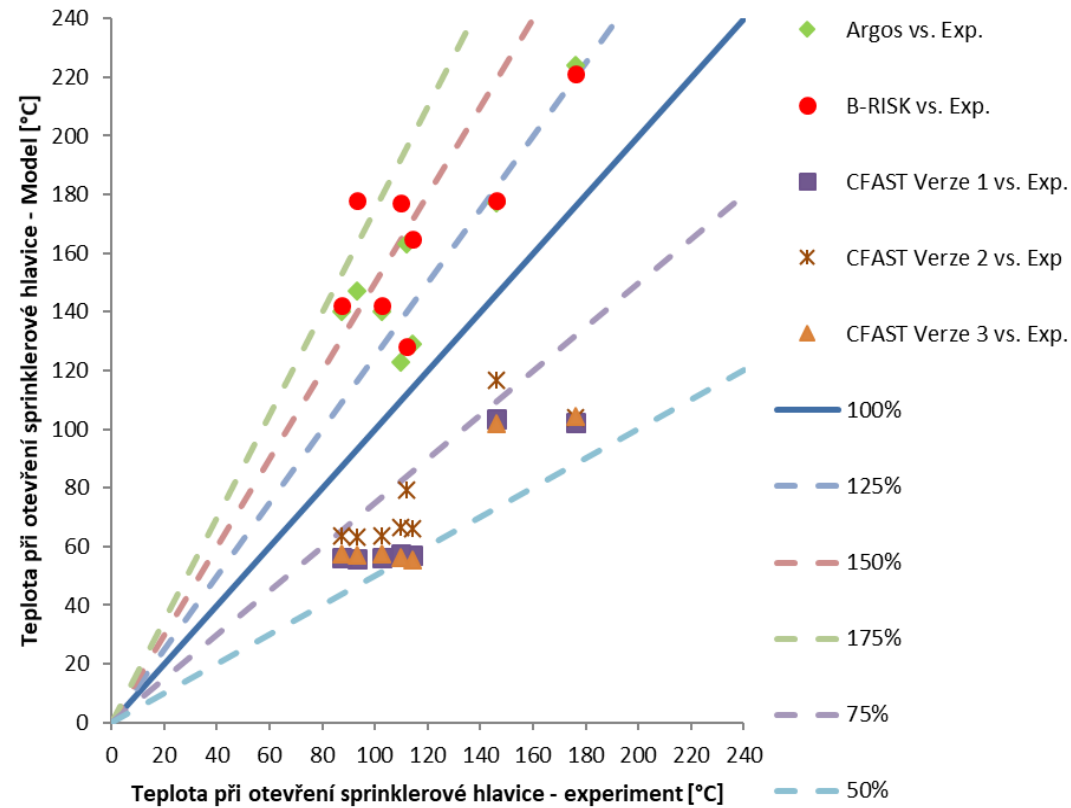
Srovnání otevíracího času sprinklerové hlavice:

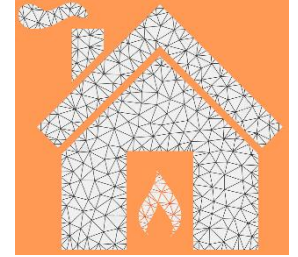


VALIDACE
míra shody mezi údaji získanými
matematickým modelem a údaji
získanými experimentálně



Srovnání teploty při otevření sprinklerové hlavice:





Modely hašení

ZJEDNODUŠENÉ MODELY (zónové modely)

Zjednodušené modely hašení jsou určeny pro základní návrh systému sprinklerové ochrany.

- čas do aktivace sprinkleru
- teplota při otevření sprinklerové hlavice
- definované snížení tepelného výkonu požáru

Výstupní parametry
jsou orientační !!!

	ARGOS
	B-RISK
	CFAST
	OZONE

EXPERTNÍ/POKROČILÉ MODELY (CFD modely)

Expertní/pokročilé modely hašení komplexně posuzují účinnost sprinklerové ochrany.

- parametry aktivace sprinkleru (zjednodušené mod.)
- simulace interakcí:
 - sprchového proudu s okolním prostředím
 - vodních kapek se zdrojem požáru
 - s ostatními systémy PBZ

Interakce mají vliv
na způsob rozvoje požáru.

	ANSYS FLUENT
	FireFOAM
	FDS
	SMARTFIRE

METODIKA „MODELOVÁNÍ HAŠENÍ“

- základy zabezpečení aktivními požárně bezpečnostními zařízeními
 - koordinace
 - priorita
 - interakce
- zásady sprinklerové ochrany
- rozdělení modelů pro sprinklerovou ochranu
- doporučení pro zpracovatelé modelování sprinklerové ochrany
- principy kontroly vstupů i výstupů předložených modelů

TERMINOLOGIE



Kontrola požáru (fire control)

Omezení rozšiřování požáru a zamezení škod na stavebních konstrukcích (chlazení objektů, okolních zplodin hoření nebo smáčení okolních hořlavin).

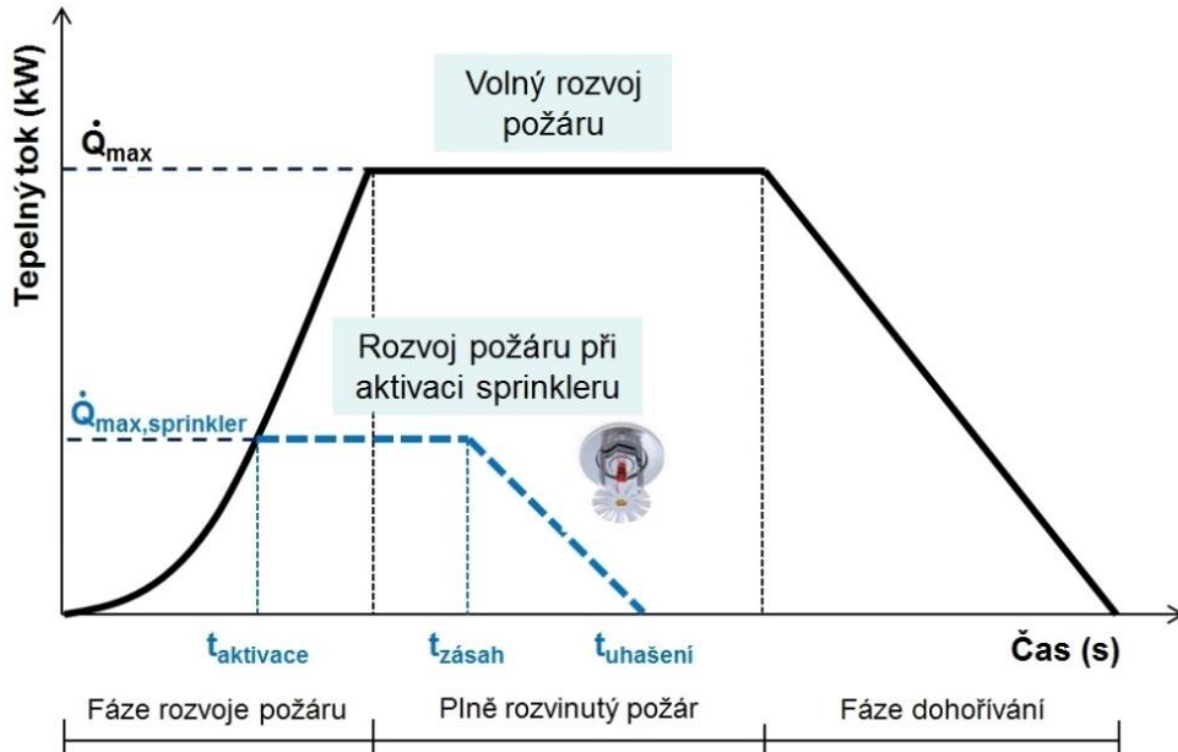
Potlačení požáru (fire suppression)

Prudké snížení uvolňování tepla a zabránění rozšiřování požáru.

Uhašení požáru (fire extinguishment)

Kompletní uhašení plamenného nebo žhnoucího požáru, kdy dojde k zastavení uvolňování tepla.

METODIKA - změna průběhu požáru při aktivaci sprinklerové ochrany



Předložený rozvoj průběhu požáru lze pokládat za orientační, neboť ve skutečnosti mohou vzniknout různorodé varianty jeho průběhu.

Při aktivaci sprinklerové ochrany se v hořícím prostoru mění podmínky rozvoje požáru (podmínky pro uhašení, potlačení či udržení požáru pod kontrolou s následným uhašením jinými prostředky).

Fáze rozvoje požáru

Sprinklerová ochrana zajišťuje intenzitu dodávky vody nastavenou pro činnost všech sprinklerových hlavicek na limitní účinnou plochu.

Fáze plně rozvinutém požáru a dohořívání

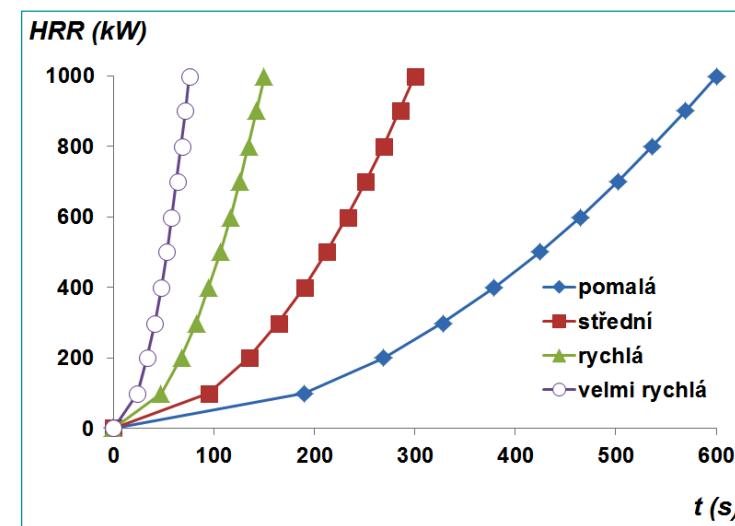
Význam sprinklerové ochrany je minimální.

METODIKA - rozvoj požáru před aktivací sprinklerové hlavice

způsoby zadávání rychlosti uvolňování tepla
(resp. tepelného výkonu)

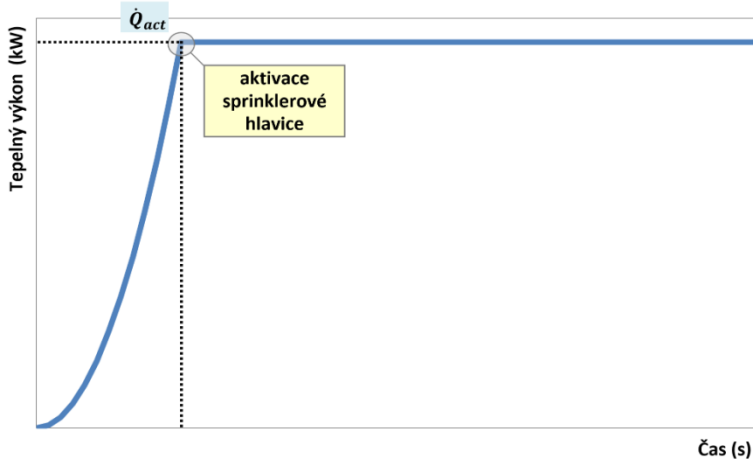
Rychlost rozvoje požáru	t_g (s)	α (kW·s ⁻²)	Příklady scénářů
Pomalá	600	0,003	Podlahová krytina
Střední	300	0,012	Kancelářský nábytek Prodejní pulty
Rychlá	150	0,047	Lůžkoviny Čalouněné paravánové systémy
Velmi rychlá	75	0,19	Čalouněný nábytek Lehký dřevěný nábytek Nahromaděný balicí materiál Uskladněná plastová pěna Kartonové nebo plastové krabice vertikálně uspořádané v regálech

- pomocí jednoduché mocninné funkce
- vytvoření vlastního hořlavého souboru
- implementace hodnot Q naměřených při experimentech

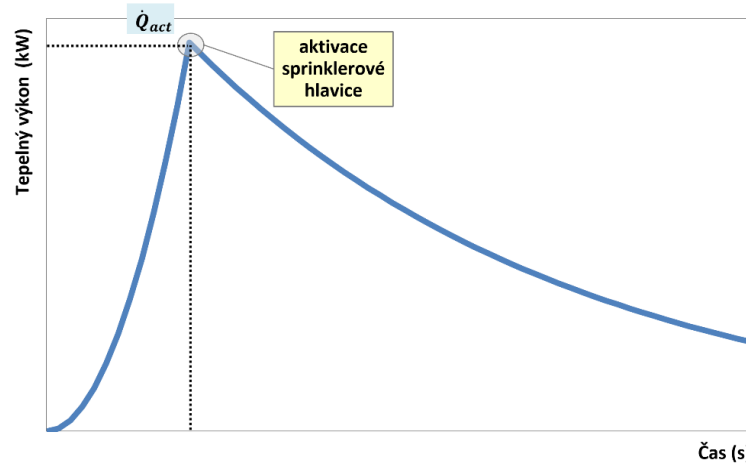


Pozn. tepelný výkon $Q = HRR = RHR$ v (kW)

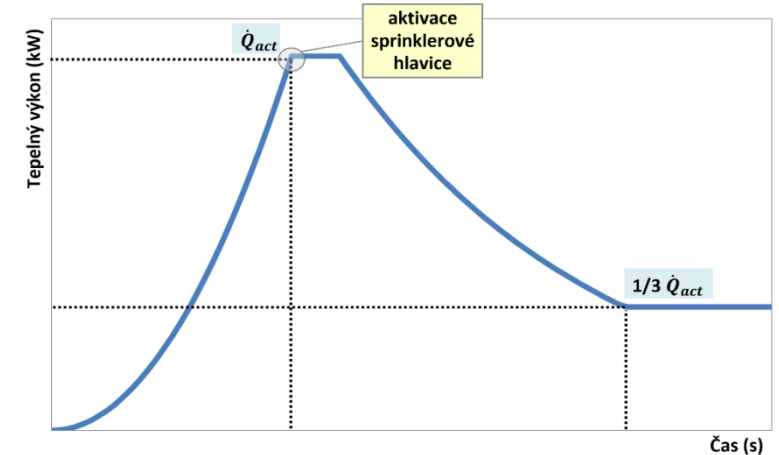
METODIKA - rozvoj požáru po aktivaci sprinklerové hlavice



konstantní tepelný výkon



pokles tepelného výkonu



**pokles tepelného výkonu
následovaným sníženým
konstantním výkonem**

Výpočet snížení tepelného výkonu je ovlivněno intenzitou dodávky vody sprinklerovou hlavicí ($\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$)

METODIKA - strategie modelování procesu hašení

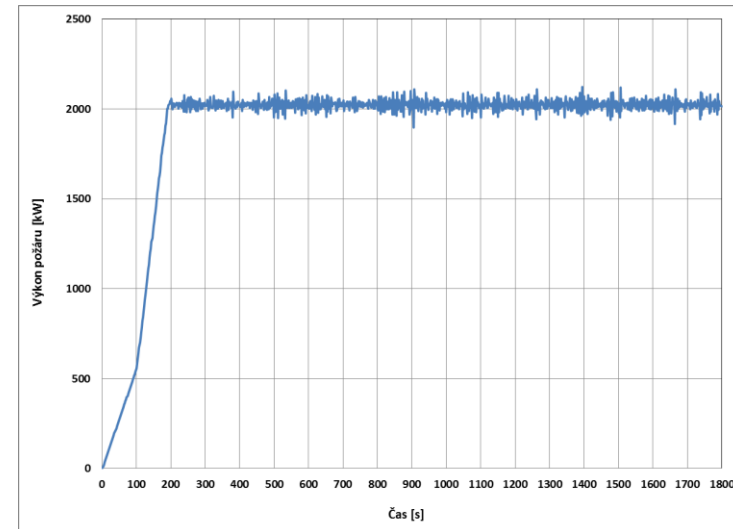
statický přístup

Simulace je rozdělena do **dvou fází**.

- 1) Provede vstupní simulace, kdy se stanoví doba reakce sprinklerové hlavice (na základě otevírací teploty nebo modelu pro reakci sprinklerové hlavice).
- 2) Opětovná simulace s upraveným průběhem tepelného výkonu, kdy v okamžiku aktivace sprinklerové hlavice dochází k zastavení rozvoje požáru podle původní křivky a následně je předdefinován průběh uvolňování tepla.

dynamický přístup

Úprava průběhu uvolňování tepla se provede, jakmile model předpoví spuštění sprinklerové hlavice. Poté dojde k zastavení rozvoje požáru podle původní křivky a následně se nastaví nový průběh uvolňování tepla (lineární nebo kvadratickou křivkou).

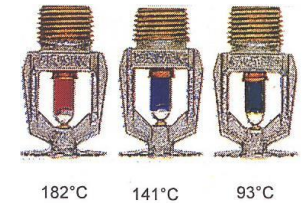
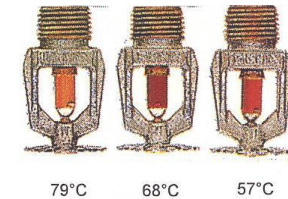


Freezing tepelného
výkonu v FDS

METODIKA - vstupní parametry pro zjednodušené modely hašení

- **otevírací teplota sprinkleru**
běžně podle projektu řešené stavby

Jmenovitá otevírací teplota (°C)	Barva kapaliny	Jmenovitá otevírací teplota (°C)	Barva ramene sprinkleru
57	Oranžová	57 až 77	Bez barvy
68	Červená	80 až 107	Bílá
79	Žlutá	121 až 149	Modrá
93 a 100	Zelená	163 až 191	Červená
121 a 141	Modrá	204 až 246	Zelená
163 a 181	Fialová	260 až 302	Oranžová
204 až 343	Černá	320 až 343	Černá



- **RTI - index reakční doby**
citlivosti prvků snímajících teplotu, např. zmenšením objemu skleněné pojistky

Tepelná odezva		Průměr baňky (mm)	RTI (m·s) ^{1/2}
Rychlá	Quick response	3	menší než 50
Speciální	Special response	4	50 až 80
Standardní A	Standard response A	5	80 až 200
Standardní B	Standard response B	8	200 až 400

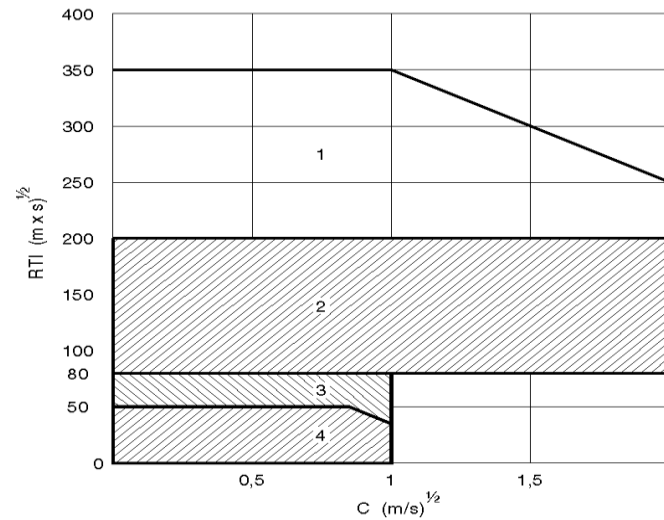


Aerodynamický tunel

METODIKA - vstupní parametry pro zjednodušené modely hašení

▪ c-faktor

zohledňuje vedení tepla do patice sprinklerové hlavice



Vztah mezi c-faktorem a RTI pro
sprinklerové hlavice dle tepelné
odezvy:

- 1 - standardní B
- 2 - standardní A
- 3 - speciální
- 4 - rychlá

▪ intenzita dodávky vody

některé modely využívají intenzitu pro stanovení průběhu tepelného výkonu během procesu hašení

Třída nebezpečí	Intenzita dodávky (mm·min ⁻¹)	Typ sprinkleru
LH – malé nebezpečí	2,25	Normální, sprejový, stropní, zapuštěný, zakrytý, stranový aj.
OH – střední nebezpečí	5	Normální, sprejový, stropní, zapuštěný, zakrytý, stranový aj.
HHP – vysoké nebezpečí výroba		
HHS – vysoké nebezpečí skladování (stropní nebo střešní sprinklery)	≤ 10	Normální, sprejový
HHS – vysoké nebezpečí skladování (regálové sprinklery)	> 10	Normální, sprejový a sprejový s plochým výstřikem

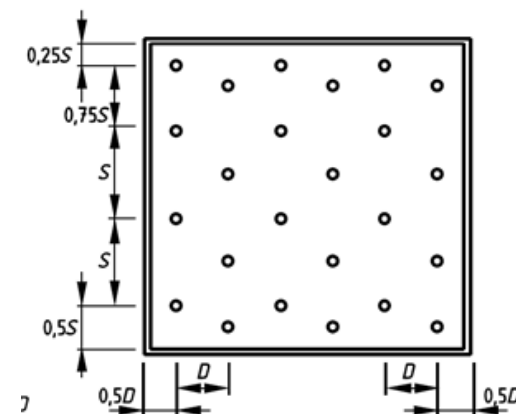
METODIKA - vstupní parametry pro zjednodušené modely hašení

- **vzdálenost od požáru**

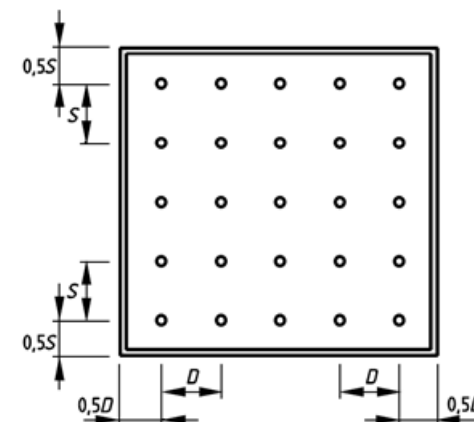
souřadnice sprinkleru v prostoru osy požáru vůči umístění sprinklerové hlavice, popř. nejvyšší vzdálenost

- **vzdálenost mezi sprinklery**

je dána plošným rozmístěním sprinklerových hlavice, kdy se vychází z plochy, kterou chrání jedna sprinklerová hlavice



D vzdálenost mezi sprinklery



S vzdálenost mezi sprinklery

Třída nebezpečí	Maximální plocha chráněná jedním sprinklerem (m ²)	Maximální vzdálenosti (m), viz obrázky		
		Standard	Šachovnice	
		S a D	S	D
LH	21	4,6	4,6	4,6
OH	12	4,0	4,6	4,0
HHP a HHS	9	3,7	3,7	3,7

METODIKA - vstupní parametry pro zjednodušené modely hašení

- **pravděpodobnost kontroly nebo potlačení požáru**
stochastický model řeší pravděpodobnost potlačení (kontroly) požáru jako podmíněnou pravděpodobnost (předpoklad je, že je sprinklerový systém funkční) nebo na základě distribuční funkce definované uživatelem
- **spolehlivost sprinklerové ochrany**
údaj o spolehlivosti sprinklerové ochrany je potřebný pro stochastické modely
- **součinitel ochlazení**
zohledňuje vliv kapek sprinklerové hlavice na proudění plynů přes ventilační otvory modelového prostoru

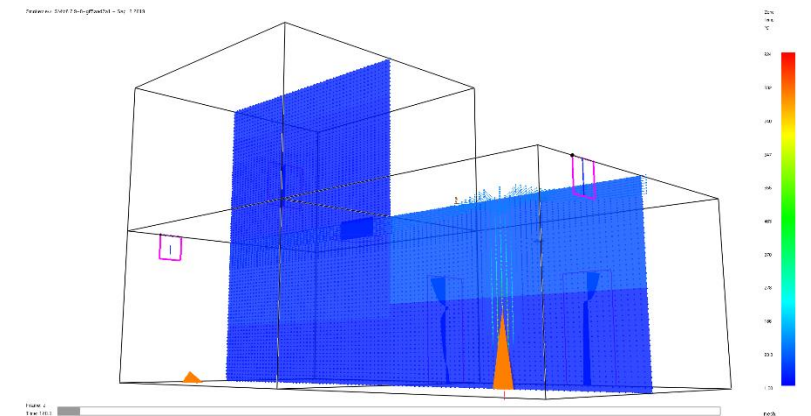
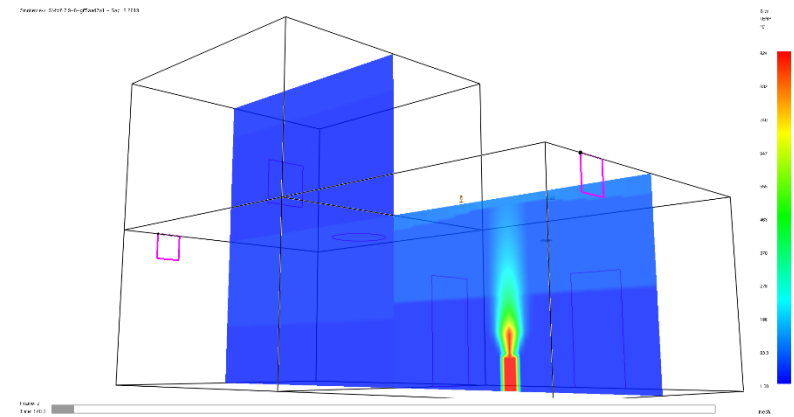


Příklad odhadů spolehlivosti sprinklerové ochrany

	Komerční objekty	Občanské objekty	Kombinace
Nižší limit spolehlivosti	88,1	93,9	92,2
Průměr	93,1	96,0	94,6
Vyšší limit spolehlivosti	98,1	98,1	97,1
Počet referenčních studií	9	7	16

METODIKA – Přehled vstupních parametrů pro zjednodušené modely hašení

Vstupní parametr	Argos	B-RISK	CFAST
Otevírací teplota sprinkleru (°C)	Ano	Ano	Ano
RTI - index reakční doby (m·s) ^{1/2}	Ano	Ano	Ano
c-faktor (m·s ⁻¹) ^{1/2}	Ano	Ano	Ne
Intenzita dodávky vody (mm·min ⁻¹)	Ne	Ano	Ano
Vzdálenost od požáru (m)	Ano	Ano	Ne
Souřadnice sprinkleru v prostoru (m)	Ne	Ano	Ano
Vzdálenost mezi sprinklery (m)	Ano	Ne	Ne
Spolehlivost sprinkleru (-)	Ne	Ano	Ne
Pravděpodobnost potlačení nebo kontroly (-)	Ne	Ano	Ne
Součinitel ochlazení (-)	Ne	Ano	Ne



METODIKA - vstupní parametry pro expertní/pokročilé modely hašení

▪ průtok vody

součin K-faktoru a odmocniny pracovního tlaku

udává dodávku vody, tedy kolik vody v modelu musí být rozděleno do kapek vkládaných do domény za daný čas

K-faktor	Doporučeno pro třídu nebezpečí	Nominální průměr trysky	Průtok ($\text{l}\cdot\text{min}^{-1}$) při min. tlaku (bar) / třída nebezpečí				
			0,35 / OH	0,50 / HHP, HHS	0,70 / LH	1,00 / regál	2,00 / regál
57	LH	10	34	40	48	57	81
80	OH, HHP, HHS	15	47	57	67	80	113
115	OH, HHP, HHS	20	68	81	96	115	163
160	HHP, HHS	25	95	113	134	160	226

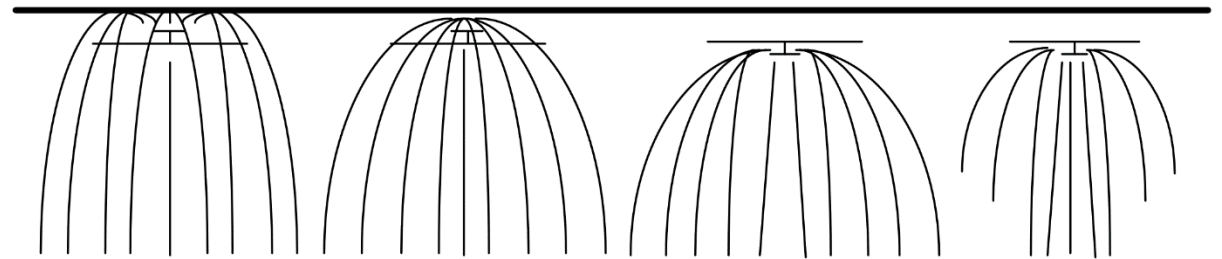


METODIKA - vstupní parametry pro expertní/pokročilé modely hašení

- **parametr „offset“**
vzdálenost, ve které se při rozstříku
sprinklerové hlavice plně vytvoří
proud kapek (tvar deflektoru)
- **úhel rozstříku (tvar rozstříku)**
tvary rozstříku sprinklerových hlavice
jsou uvedeny na obrázku a úzce
souvisí s úhly rozstříku, které se dělí
na vnější a vnitřní



tvar kužele

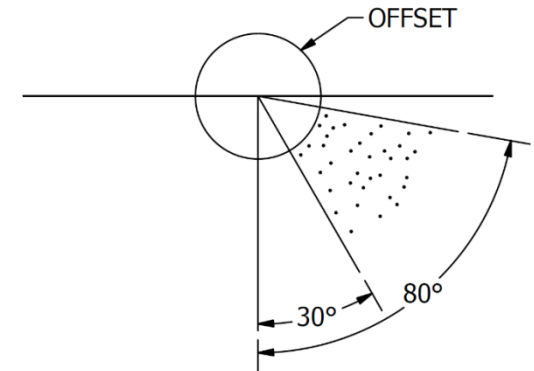


Tradiční stojatá
hlavice

Moderní stojatá
hlavice

Tradiční závěsná
hlavice

Hlavice ESFR



Ukázka tvaru úhlů rozstříku
sprinklerové hlavice

METODIKA - vstupní parametry pro expertní/pokročilé modely hašení

- **velikost kapek**

kapky vytvořené v modelu mají různou velikost, která je jim přiřazena na základě pravděpodobnosti uživatelem definovaného průměru kapky

změnu nastavení parametrů distribuce velikosti kapek mohou provádět zkušeni uživatelé!!!

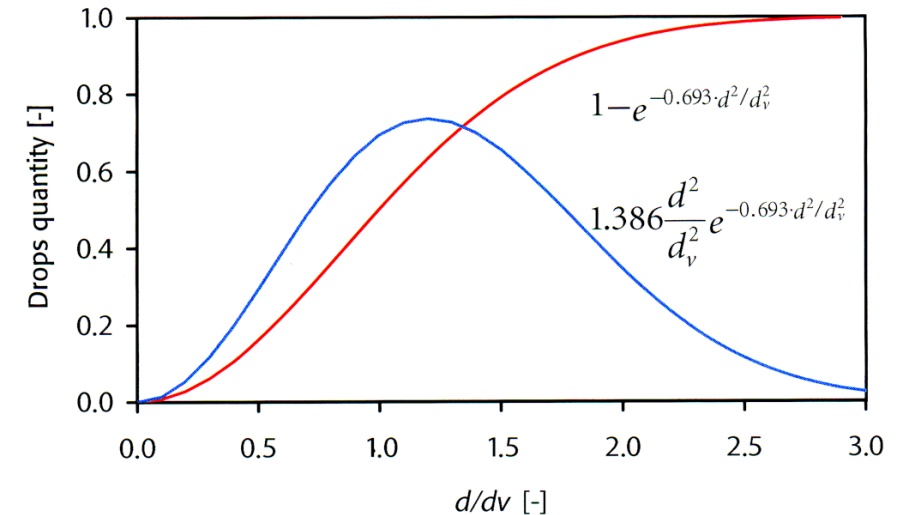
- **počet kapek**

numericky není možné vytvořit v modelu reálný počet kapek (kolem 10^8), model obvykle reprodukuje sprchový proud v řádu 10^3

velké množství kapek je neekonomické z hlediska výpočetního času (vede k numerické nestabilitě výpočtu)

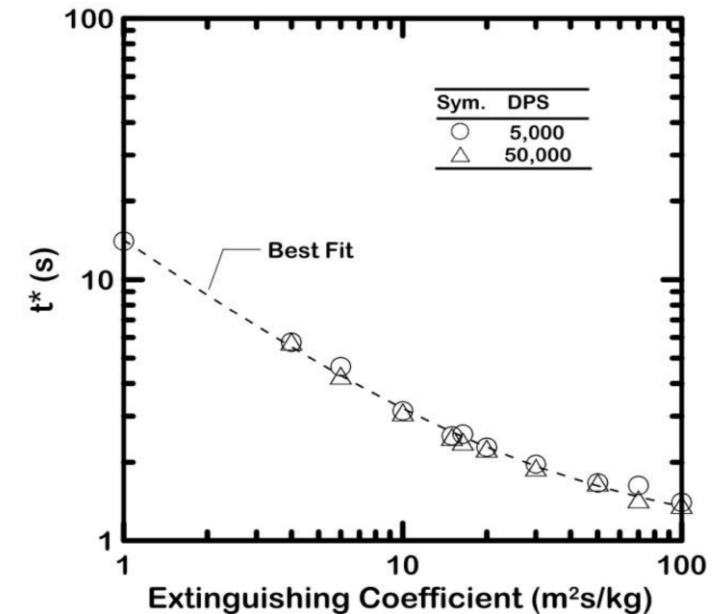
malé množství kapek nevytvoří reprezentativní sprchový proud pro model hašení

Rosin-Rammlerova distribuce a kumulativní distribuční funkce



METODIKA - vstupní parametry pro expertní/pokročilé modely hašení

- **počáteční rychlost pohybu kapek**
je stejná pro všechny kapky, rychlost se však časem a vzdáleností mění
- **koeficient zhášení**
v programu FDS je definován jako vlastnost povrchu (konstanta empirické korelace z experimentů)
- **propojení s modelem požáru**
dochází během pohybu kapek k odpařování a k výměně tepla a hmoty s okolím
v praxi se užívají strategie změny tepelného výkonu při aktivaci sprinklerové hlavice



Vztah mezi dobou hašení
a koeficientem zhášení

METODIKA - Vstupní parametry pro expertní/pokročilé modely hašení

Vstupní parametr		Veličina	Defaultní hodnota
Otevírací teplota sprinkleru	Temperature	°C	74
RTI - index reakční doby	RTI	$(m \cdot s)^{1/2}$	100
c-faktor	c factor	$(m \cdot s^{-1})^{1/2}$	0
Průtok vody sprinkleru	Flow Rate	$l \cdot \text{min}^{-1}$	0
Pracovní tlak	Operating Pressure	bar	1
K-faktor	K factor	$l \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{bar}^{-1/2}$	1
Parametr „offset“	Offset	m	0,05
Úhel rozstříku	Spray Angle	stupně	60, 70
Velikost kapek	Orifice Diameter	m	0
Počet kapek	Particles per Second	$\text{počet} \cdot s^{-1}$	5000
Počáteční rychlost pohybu kapek	Particle Velocity	$m \cdot s^{-1}$	0
Zhášecí koeficient	Extinguishing Coeff.	$m^2 \cdot s^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$	4
Souřadnice sprinkleru v prostoru	Coordinate	m	0

Zpracovatel musí **odůvodnit volbu vstupních dat** s ohledem na aplikaci a interpretaci výsledků modelu.

Výčet vstupních parametrů není úplný, ale je základem, který je nutné zadat proto, aby **mohl být sprchový proud vytvořen** a aby jeho charakteristika odpovídala užitému zařízení.

Vstupní data vyjma průtoku vody sprinklerovou hlavicí **nejsou běžně dostupná** a v současné době jsou **obtížně měřitelná**.

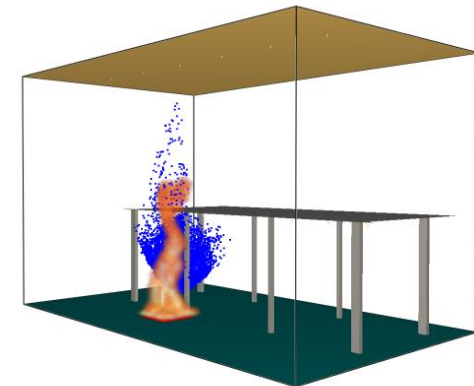
METODIKA - Výstupní parametry modelů hašení

Základními parametry:

- rychlost uvolňování tepla
- teploty plynů v prostoru požáru
- teplota na povrchu a vnitřní teplota pevných látek
- plocha zasažená požárem
- koncentrace kouře a odhad viditelnosti
- rychlost proudění plynů větracími otvory
- rozdělení tlaku v místnosti,
- tvorba, pohyb a koncentrace zplodin
- **doba do rozhodujících událostí (např. pokles tepelného výkonu po aktivaci sprinklerů)**
- **aktivace požárně bezpečnostních zařízení (např. aktivace sprinklerů)**

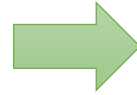
Dalšími parametry:

- celkový tepelný tok a jeho složky
- optická hustota kouře
- rychlost hoření
- vývoj tepla na jednotku objemu
- poměr vzduch/palivo
- výška plamene



Kontrolní seznam (checklist) pro posuzovatele

- 1. Je křivka tepelného výkonu upravena na základě předpokladu aktivace sprinklerů?**
- 2. Jsou dostatečně definovány vstupní parametry sprinklerových hlav u zjednodušených modelů hašení?**
- 3. Jsou dostatečně definovány vstupní parametry sprinklerových hlav u expertních modelů (CFD modely)?**



Po aktivaci sprinklerů zůstává tepelný výkon konstantní → model předpokládá, že po spuštění sprinklerů dojde k lokalizaci požáru.

i. Jak byl stanoven čas, kdy dojde k aktivaci sprinklerů?

Po aktivaci sprinklerů tepelný výkon klesá → model předpokládá, že dochází k hašení požáru.

▪ Snížení tepelného výkonu je zadáno přímo uživatelem v rámci křivky tepelného výkonu.

i. Je předpoklad, že vlivem sprinklerů dojde k hašení požáru pro daný materiál a scénář obhajitelný?

ii. Jak byla stanovena rychlost poklesu tepelného výkonu, zdůvodnění použitého postupu?

▪ Rychlost poklesu tepelného výkonu je simulována softwarem na základě tzv. extinkčního koeficientu (lze chápat jako koeficient „zhášení“).

i. Je předpoklad, že vlivem sprinklerů dojde k hašení požáru pro daný materiál a scénář ospravedlnitelný?

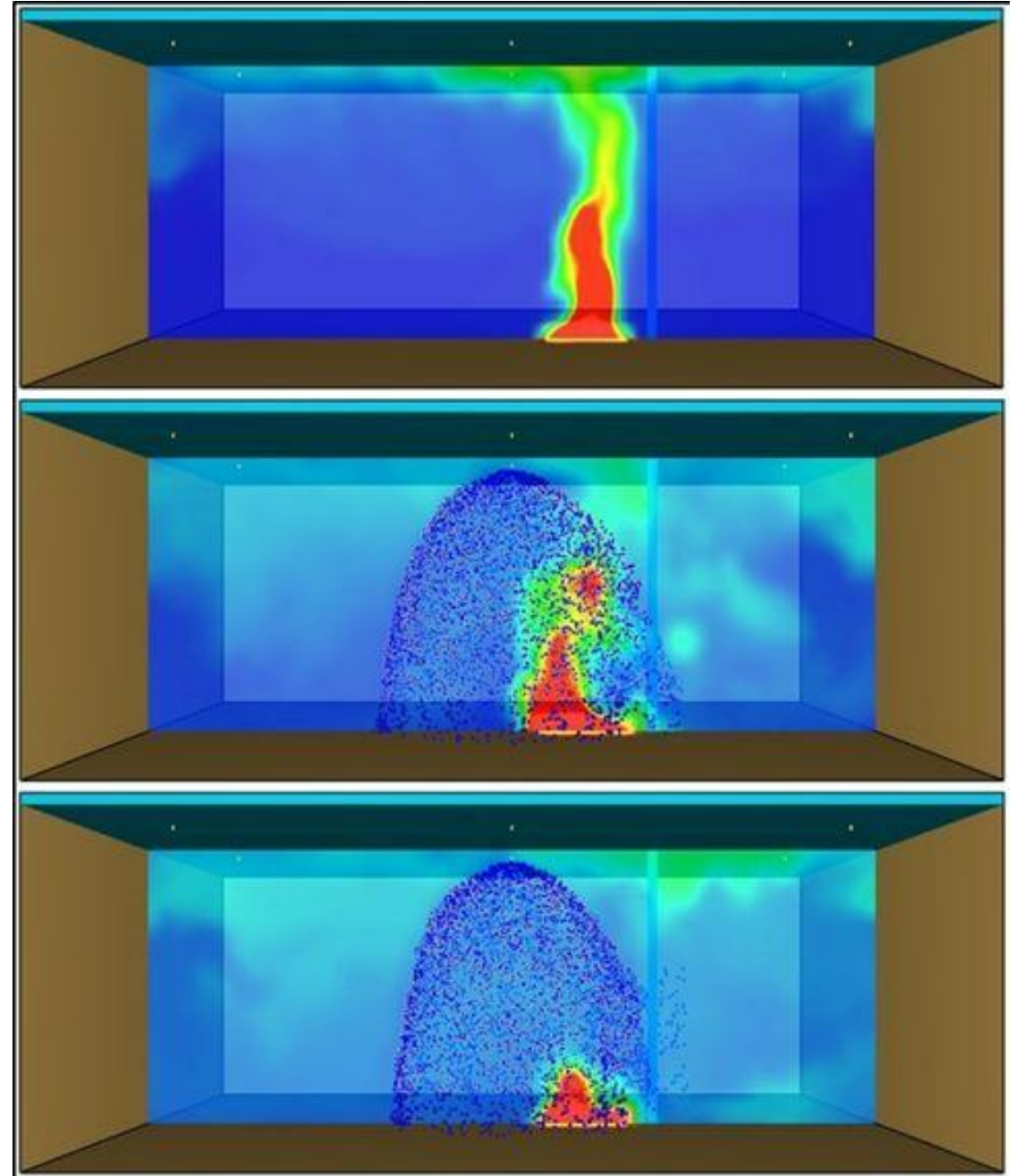
ii. Doložte a vysvětlete, jak byla stanovena hodnota koeficientu zhášení. Jedná se o empirickou konstantu, nejedná se o fyzikální veličinu.

SHRNUTÍ - přínos metodiky

- určena pro zpracovatele i posuzovatele
- strategie a postupy modelování hašení
- důraz vstupní i výstupné parametry



**modelování
sprinklerové ochrany**



DĚKUJEME ZA POZORNOST



Projekt VI20162019034

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