

**Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava**

**Fakulta bezpečnostního inženýrství**

# **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Ostrava 2008**

**Dalibor Válek**

**Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava**

**Fakulta bezpečnostního inženýrství**

**Katedra požární ochrany a ochrany obyvatelstva**

**Využití požárního inženýrství v ČR**

**Student:** Dalibor Válek

**Vedoucí bakalářské práce:** Ing. Petr Kučera

**Studijní obor:** Havarijní plánování a krizové řízení

**Datum zadání bakalářské práce:** 17. října 2007

**Termín odevzdání bakalářské práce:** 30. dubna 2008

## **Místopřísežné prohlášení**

*„Místopřísežně prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci vypracoval samostatně.“*

V Ostravě dne 21.4. 2008

.....  
Dalibor Válek

## **Poděkování**

Děkuji vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Petru Kučerovi za odborné vedení, konzultace a také za poskytnuté informace při tvorbě této práce.

## **ANOTACE**

VÁLEK, D. *Využití požárního inženýrství v ČR*. Bakalářská práce. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Fakulta bezpečnostního inženýrství, 2008, 44 s.

### **Klíčová slova:**

požární inženýrství, požární scénář, modely požáru, riziko, požár

Tato bakalářská práce popisuje, co je to požární inženýrství a jak by se tohoto přístupu mohlo využít v požární bezpečnosti staveb. Na zvoleném příkladě je zde prezentována metoda hledání požárních scénářů a stanovování jejich pravděpodobností výskytu. Stanovením míry rizika jsou tak vybrány ty nejhorší možné scénáře, které danému objektu hrozí. Některé ze scénářů jsou pak modelovány ve výpočetním programu a tím jsou získány důležité parametry požáru.

## **ANNOTATION**

VÁLEK, D. *Utilization of Fire Safety Engineering in the Czech Republic*. Bachelor work. Ostrava: VSB – Technical University Ostrava, Faculty of Safety Engineering, 2008. 44 s.

### **Key words:**

fire safety engineering, fire scenario, fire models, hazard, fire

This bachelor work describes what is the fire safety engineering and how could it use in the fire safety of buildings. On elect example here is present method of finding fire scenarios and tent their probability of occurrence. By the assessment of hazard measurement are chosen the worst possible scenario which to a given object threatens. Some of the scenarios are then modelled by the computational programme and thereby are obtained important fire characteristics.

# Obsah

<b>1. Úvod.....</b>	<b>1</b>
<b>2. Rešerše.....</b>	<b>2</b>
<b>3. Vymezení požárního inženýrství.....</b>	<b>3</b>
3.1. Definování kroků návrhu .....	4
3.2. Výhody požárního inženýrství .....	6
3.3. Nevýhody požárního inženýrství .....	6
<b>4. Dokumentace požárního inženýrství .....</b>	<b>7</b>
4.1. Odpovědnost za strategii požární bezpečnosti .....	7
<b>5. Normotvorné organizace .....</b>	<b>8</b>
5.1. Doporučení organizace NFPA .....	9
<b>6. Situace v České republice .....</b>	<b>10</b>
<b>7. Vývoj požárního inženýrství .....</b>	<b>11</b>
7.1. Navrhování způsobem „performance – based“ .....	11
<b>8. Trendy požárního inženýrství ve světě.....</b>	<b>12</b>
<b>9. Požární výzkum .....</b>	<b>13</b>
<b>10. Požární scénář .....</b>	<b>14</b>
10.1. Hodnocení požárních scénářů .....	14
10.2. Použití statistických údajů.....	15
<b>11. Modelování požáru.....</b>	<b>17</b>
11.1. Fyzikální modely požáru .....	18
11.2. Matematické modely požáru .....	18
11.3. Stochastické modely.....	18
11.4. Deterministické modely .....	19
<b>12. Omezení modelování .....</b>	<b>23</b>
12.1. Dispoziční řešení .....	23
12.2. Vnitřní povrchová úprava.....	23
12.3. Potlačení požáru .....	23
12.4. Přesnost požárních modelů.....	23
<b>13. Využití požárního inženýrství .....</b>	<b>25</b>
13.1. Klasifikace rizika.....	25
13.2. Návrh požárního scénáře .....	26
13.2.1. Popis budovy a její využití .....	26
13.2.2. Procedura deseti kroků .....	27
<b>14. Aplikace pomocí modelu ARGOS .....</b>	<b>39</b>
14.1. Vypočítané scénáře v programu .....	39
<b>15. Aplikace pomocí modelu FDS .....</b>	<b>40</b>
15.1. Vypočítaný scénář v programu.....	40
<b>16. Závěr.....</b>	<b>41</b>

<b>17. Literatura</b> .....	<b>42</b>
<b>18. Seznamy</b> .....	<b>44</b>
18.1. Seznam obrázků .....	44
18.2. Seznam tabulek .....	44
18.3. Seznam příloh.....	44

# 1. Úvod

Celosvětový trend v projektování požární bezpečnosti staveb je v jejím zvyšování a jedním z prostředků, jak toho dosáhnout, je využití požárního inženýrství. Některé předpisující normy nejsou příliš vhodné pro různé rozsáhlé specifické stavby, kde je potřeba k danému projektu přistupovat individuálně. Nepočítají totiž s různými variantami, které jsou možné a ani nezahrnují chování osob a vliv celkového prostředí.

Požární inženýrství je v podstatě taková analýza prostoru objektu, kde se podle stanovených postupů, kritérií a cílů zjišťuje, kde hrozí vznik požáru a kdo tím může být poškozen a jaká bude například odezva osob či samotné stavební konstrukce.

Tento přístup spočívá v tom, že projektant vytvoří požárně bezpečnostní návrh, ve kterém zahrne různé, v čase měnící se faktory, jako chování osob, nacházející se v objektu a také vhodné použití požárně bezpečnostních zařízení. Aby se dalo stanovit, kde a s jakou pravděpodobností vznikne požár, je potřeba velkých zkušeností a znalostí projektanta nebo ještě lépe celého týmu odborníků, kteří se na tom shodnou. Neodborný úsudek by mohl znamenat nevhodné vstupní údaje a ty by posléze vedly k nepřesnému nebo dokonce nereálnému výsledku. Zvolením určitých počátečních a koncových pozic, vznikají požární scénáře, které jsem v této práci stanovil a aplikoval na zvolený objekt.

Dále se tato práce zabývá klasifikací rizika, čímž je možné stanovit nejhorší požární scénáře. To jsou ty, které mají nejzávažnější následky a vysokou relativní pravděpodobnost. Vybrané scénáře jsou podrobeny výpočtům v počítačových modelech požáru, čímž se získá mnoho důležitých údajů během hoření. Vizualizace požáru je pak důležitým faktorem při zohledňování možností evakuace z daného prostoru.



## 2. Rešerše

V podstatě veškerá literatura, která se zabývá požárním inženýrstvím (Fire Safety Engineering), je zahraniční. Věnují se tomuto tématu ve Spojených státech amerických, Velké Británii, Skandinávii či v Austrálii.

KARLSSON, B., QUINTIERE, J. G. *Enclosure Fire Dynamics*. CRC Press, 2000, 315 s. ISBN 0849313007.

Tato literatura obsahuje popis jednotlivých požárních modelů, jejich rozdělení a využití. Matematicky je zde vyjádřeno, jakým způsobem funguje rychlost uvolňování tepla a ostatní fyzikální jevy při hoření.

*SFPE Engineering Guide to Performance – Based Fire Protection Analysis and Design of Building*. 2nd Edition, Society of Fire Protection Engineering, USA, 2005, 145 s.

Tato publikace je v podstatě taková příručka, jak projektovat způsobem performance – based. Je v ní popsáno využití statistických údajů pro stanovení požárních scénářů a uplatnění počítačových modelů v požárním inženýrství včetně jejich možných omezení.

KUČERA, P., KAISER, R. *Úvod do požárního inženýrství*. 1. vydání, Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2007, 173 s. ISBN 9788073850241.

Publikace je zaměřena na možnosti použití požárního inženýrství a jeho výhody v projektování požární bezpečnosti staveb. Autoři se zde zabývají modelováním požáru, evakuací a také vytvářením návrhových požárních scénářů.

*Fire Research and Engineering – Third International Conference Proceedings*. Society of Fire Protection Engineering. Chicago: CRC Press, 1999, 440 s. ISBN 1566768888.

Tato literatura je velice rozsáhlá a její obsah je zaměřen na modelování požáru pomocí třech typů modelů a srovnáním výsledků s reálnou skutečností. Dále se zde autoři zabývají požárním růstem a vývinem kouře do únikových cest ve výškových budovách, modelováním evakuace a uplatnění požárních scénářů v přístupu k návrhu performance – based.

### 3. Vymezení požárního inženýrství

Předtím, než začneme s plánováním, dispozičním řešením, designem a celkovou konstrukcí budovy, je důležité si zkusit definovat, co je myšleno slovním spojením “požární inženýrství“. Není stanovena přesná definice tohoto pojmu, proto se následující odstavec bude věnovat jeho vymezení.

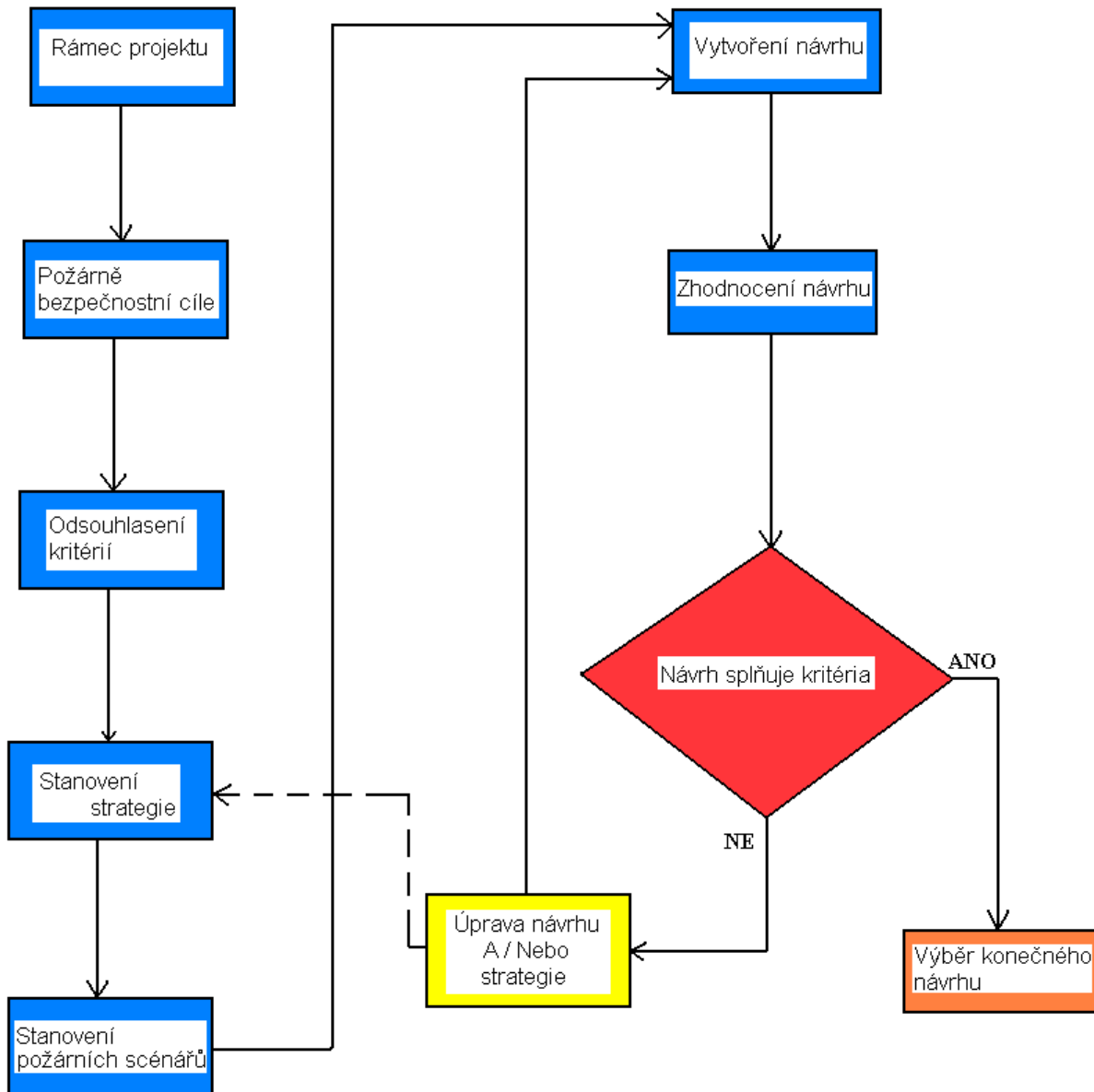
Požární inženýrství může být definováno jako aplikace vědeckých a inženýrských metod za účelem zredukování škod na životech, majetku a jako kvantifikace nebezpečí a rizika poškození. Připravuje optimální řešení pro použití preventivních a bezpečnostních opatření. Aplikace inženýrských principů, pravidel (směrnic) a expertních posudků založených na znalosti lidského chování a vědecké poznatky o požáru a jeho účinků. Jedná se spíše o inženýrské uvažování požární bezpečnosti a ochrany lidí než o následování nařizujících pokynů. Moderní technický návrh je založen na použití vědeckého výzkumu, inženýrských principů, měření, výpočtů, empirismu a úsudku. V nynější době je mnoho výpočetních metod připraveno k použití počítačovými programy, tak že si každý projektant může dát svoji vlastní interpretaci požadavků a pravidel na rozdíl od zjednodušených a jednotných navrhovaných řešení mající za následek pravidla, která byla extrapolována pro větší verze. Toto je pojmenováno jako nařizující nebo požadující pravidla [1].

Předpisy jsou zpravidla efektivní uvnitř určitého rozsahu použití – zpřesnění, omezení rozměrů, stanovení ochranných systémů bez ohledu na daný smysl ochrany.

Naopak inženýrský návrh si stanovuje cíle jako unikátní, jedinečné. Definuje si výpočetní metody, které umožňují uvědomění si těchto cílů a různými řešeními lze dosáhnout stejných cílů. Tento návrh prochází různými kroky, kterými jsou:

- rozhodnutí o požárně bezpečnostních cílech,
- přijmout tyto cíle a kritéria,
- definování strategie,
- vymezení vhodných požárních scénářů,
- výběr adekvátních výpočetních metod (modelů),
- vývoj řešení, vytvoření návrhu,
- ohodnocení návrhu,
- výběr a schválení řešení.

Tyto kroky by se dali graficky znázornit v jednoduchém algoritmu, který zobrazuje proces návrhu požárního inženýrství [2].



obrázek 1: Proces požárního inženýrství

### 3.1. Definování kroků návrhu

Cíle by měly být dány v měřitelných množstvích, jako jsou například ztráty na lidských životech, očekávané poškození na budově a vybavení, ekonomická újma ze ztráty podílu na trhu, v důsledku přerušení fungování či dopad na životní prostředí různými škodlivinami. V těchto cílech je stanoveno, jaké reakce osob a objektu je zapotřebí k tomu, aby bylo dosaženo tohoto určeného cíle.

Kritéria jsou hodnoty (maximální), které určují základní prvky požáru. Dají se stanovit různá kritéria na základě požadavků jako například teplota, které je daný prvek vystaven po určité době, vyzařované teplo, množství škodlivých plynů v prostoru a jiné.

Určení relevantního požárního scénáře znamená, že je určen předpokládaný požár, pro který musí být nalezena řešení, aby mohlo být dosaženo cíle. Požární scénář popisuje kritické faktory jako zdroje zapálení, umístění osob nebo typy jednotlivých vybavení budovy. Různé scénáře musí být prozkoumány tak, aby mohly být všechny cíle realistické.

Volba výpočtového modelu, se zřetelem na složitost výpočtů a množství parametrů užívaných počítačových programů, závisí na důkladné znalosti možností a omezení dané aplikace, uživatel musí být schopen posoudit význam určitých vstupů, aby mohl udělat dobré vyhodnocení výsledků.

Navrhovaná řešení dosáhnou předpokládaného cíle, jestliže je implementace v objektu technicky možná, jestli byly předchozí podmínky realistické a jestli bylo provedení návrhu uděláno kvalifikovaným personálem. Navrhované řešení by mělo dosáhnout určeného stupně bezpečnosti a toto by mělo být ověřeno oprávněnými osobami užívanými přesných metod s přesnými daty [2].

Dalo by se říct, že na relativní stupnici se jedná o nezralou inženýrskou disciplínu. Když si vezmeme pozemní stavitelství, tak na časové linii by bylo v bodě, kde byly normy vyvinuty a tyto vyvíjely standardizaci pro budoucí návrhy. Pro srovnání, přítomnost požárního inženýrství je na místě, kde se objevuje teorie požárního navrhování. V podstatě se proces požárního inženýrství skládá z identifikace vstupních údajů, použití inženýrských metod, výpočtů, modelování a dalších, které mají za následek výstup, který může určit požární detekci, evakuaci nebo například eliminaci požáru [4].

Na jedné straně může požární inženýrství znamenat různé výpočty, stanovující chování určitých stavebních prvků, jako je výpočet odolnosti nosníku při vysokých teplotách nebo na straně druhé se může jednat o celkový výpočet požární bezpečnosti prostřednictvím počítačových modelů [5].

Pojetí požárního inženýrství může být použito při jakýchkoliv okolnostech, kde potenciálně hrozí vznik požáru. Je třeba obyvatelstvo ochránit před nebezpečím například v novodobých obchodních centrech, veřejných budovách a v jiných shromažďovacích objektech.

Požární inženýrství tvoří základ návrhu pro požární bezpečnost stavebních konstrukcí zahrnující letištní terminály, stadiony, shromažďovací sály a rozlehlé budovy jejichž znakem je členitost a nemůžou být tedy jednoduše navrženy s použitím odborných směrnic. Ulehčuje zkoumání skrze lepší porozumění katastrofických důsledků požárů. Poskytuje projektantovi cestu k požárně bezpečnostnímu projektu a umožňuje srovnání bezpečnostní úrovně s podobnými stavebními projekty [6].

### **3.2. Výhody požárního inženýrství**

Výhod požárního inženýrství je nesporně velká řada a jednoznačně převyšují nad jeho nevýhodami. Jedná se zejména o tyto [5]:

- strukturovaný přístup k řešení požární bezpečnosti,
- přehodnocení a možnost změny normových projektových požadavků,
- hospodárnější návrh řešení při zachování úrovně bezpečnosti,
- pomoc při vývoji požárních zkoušek,
- racionalizace pojišťování stavby,
- podpora preventivních opatření při výstavbě, rekonstrukci i během celé životnosti budovy.

### **3.3. Nevýhody požárního inženýrství**

Nevýhody nelze jednoznačně určit, jsou spíše relativní a mohou být významnější či méně. Nedostatky by však mohly být tyto [5]:

- dlouho trvajícím provedením návrhu požární bezpečnosti,
- nedostačujícím množstvím vstupních dat, které způsobí nepřesné výsledky,
- projektantem, který nemá dostatek zkušeností a znalostí v této oblasti.

## 4. Dokumentace požárního inženýrství

Požární bezpečnost a následný stavební proces tvoří dokumenty následujících kroků [3]. Dokumentace zahrnuje informace o každém kroku tohoto procesu a její rozsah je samozřejmě dle potřeb investorů projektu. Jedná se o následující kroky:

### 1. Strategie požární bezpečnosti

Dokumentace popisující stavební koncept s určenými kritérii požárního inženýrství pro splnění stavebních předpisů.

### 2. Detailnější inženýrství

Dokumentace popisující detaily stavebního návrhu a prokazuje, že jednotlivé stavební části splňují kritéria stanovené ve strategii požární bezpečnosti.

### 3. Zhotovení

Dokumentace ukazující, že provedení je podle výkresů a specifikací určených během detailnějšího návrhu.

### 4. Užití

Dokumentace pro udržení požární bezpečnosti na určité úrovni (zacházení a údržba).

### 5. Poznátka a změny

Poznátka uživatele, nebo jeho změny mohou znamenat potřebu zvážit dosavadní strategii, což může znamenat nový stavební proces od kroku 1.

### 4.1. Odpovědnost za strategii požární bezpečnosti

V malých a jednoduchých projektech odpovědnost za strategii požární bezpečnosti leží na projektantovi nebo autorizovaném inženýrovi s žádnou speciální kvalifikací v požárním inženýrství, ale očekává se základní znalost směrnic. V takových případech může být zmíněná strategie jednoduchá, krátká a zahrnutá v hlavních specifikacích připravených pro kroky 2 a 3. Kde je ovšem projekt rozsáhlejšího charakteru, tam je potřeba, aby požární inženýr byl vždy angažován v přípravě strategie požární bezpečnosti.

Různé změny ve stavebním návrhu během fáze detailnějšího inženýrství a zhotovení jsou časté. Nepatrné změny mohou být udělány bez dotazování se kohokoliv na jejich důsledky. Pro zamezení tohoto druhu problému je evidentní, že by požárnímu inženýru měla být přiřazena odpovědnost za kontrolu během těchto fází, pro zabezpečení implementace strategie požární bezpečnosti. Samozřejmě toto je zejména důležité ve velkých a složitých projektech, kde důsledky těchto změn mohou mít katastrofální následky [3].

## 5. Normotvorné organizace

Různé organizace skrz celého světa se zabývají požárními předpisy [6]. Ty zahrnují jak národní, tak mezinárodní organizace. Jelikož se tímto tématem zabývají v zahraničí více než u nás a jsou taky mnohem dál, je důležité si představit některé z nich. Asi největší podíl je situován v Severní Americe, kde ve Spojených státech se nachází nejdůležitější organizace zabývající se těmito standardy a to American Society for Testing and materials (ASTM). Požární předpisy jsou také vyvíjeny National Fire Protection Association (NFPA) a také Underwriters Laboratories (UL), ale ty jsou v podstatě podobné a vychází z již zmíněné ASTM. Nesmíme ale zapomenout na různé ad-hoc organizace jako jsou Factory Mutual (FM), Institution of Electrical and Electronic Engineers (IEEE) a Insulated Cable Engineer's Association (ICEA). V Severní Americe, jako důsledek bezbariérového obchodu mezi Kanadou a USA, byla snaha trvající několik let, mít soubor norem v souladu obou zemí. Mezinárodní organizace pro standardizaci (ISO) a Mezinárodní elektrotechnická komise (IEC) jsou primárními tvůrci mezinárodních norem. Zde je uvedeno několik komisí pro standardizaci, vztahující se k požárnímu inženýrství [7]:

- ISO/TC 92 – požární bezpečnost,
- IEC/TC 20 – elektrické kabely,
- IEC/TC 89 – testování požárního nebezpečí,
- ISO/TC 21 – zařízení pro požární ochranu a hašení,
- ISO/TC 61 – plasty.

V některých případech státy podřazují jejich národní normy oblastním organizacím, jako v případě Evropy, kde European Committee on Normalization (CEN) a European Committee on Normalization for Electrotechnical Equipment (CENELEC) vytvořili některé normy aplikovatelné po celém evropském společenství a jsou vlastně regionálními ekvivalenty od ISO a IEC. Mezi ty vztahující se k požárnímu inženýrství patří CEN TC 127 – požární bezpečnost staveb, CEN TC 191 – stabilní hasicí zařízení, CEN TC 250 – stavební Eurokódy. CEN a CENELEC se shodovali s ISO a IEC na tom, aby nezdvojovali předpisy v projektování v jednotlivých bodech. Všechny tyto organizace tvoří rozdílné typy požárních norem, hlavně návody k postupu a zkušební metody, ale také je přijímají od jiných. Nové požární normy napříč celého světa směřují stejným směrem a to – dál od jednoduchých klasifikačních metod a jít směrem k metodám poskytující vstupy pro matematické modely požáru nebo stanovení rizika a k výzkumu [6].

## 5.1. Doporučení organizace NFPA

Organizace NFPA popisuje minimální kritéria pro navrhování požární bezpečnosti staveb vzhledem k možnostem okamžitého úniku z budovy nebo umožnění přesunu do bezpečných míst, jak je potřeba [8]:

1. Každá budova, ať už nová či stará, jestliže je určena pro lidské pobývání, by měla být vybavena exity a jinými vhodnými zabezpečeními pro umožnění okamžitého úniku osob nebo jim poskytnout takové prostředky, aby jim zajistil rozumný stupeň bezpečnosti v případě požáru a jiných mimořádných událostech.
2. Každá budova by měla být zkonstruována, zařízená a udržována tak, aby se zamezilo vzniku nebezpečí pro životy uživatelů od kouře, výparů, ohně a následné paniky během času, než dojde k evakuování těchto osob.
3. Každá budova by měla být vybavena zabezpečeními takového počtu, takového typu a v takové lokalitě, aby poskytly uživatelům objektu přijatelný stupeň bezpečnosti.
4. V každé budově by měly být exity tak uspořádány a udržovány, aby poskytly volný a bezbariérový odchod ze všech částí budovy.
5. Každý východ nebo cesta k němu by měla být zřetelně viditelná a měla by být bezpečně označena takovým způsobem, že každý uživatel objektu, který je fyzicky a duševně schopen, bude snadno vědět směr úniku ze kteréhokoliv místa. Každé dveře nebo průchod by měly být zřetelně označeny, že se nejedná o východ, aby se zabránilo zmatku s opravdovými exity.
6. Kde je v budově požadováno umělé osvětlení, tam by měl být východ vybaven vhodným způsobem osvětlení.
7. Kde je budova takové velikosti, uspořádání nebo osídlení, kde by požár nemusel být okamžitě zpozorován, tam by měly být osoby varovány požárním poplachem.
8. Minimálně dva únikové východy by měly být umístěny v budově a v místech, kde velikost a uspořádání by bylo pro uživatele objektu ohrožující, v případě úniku přes jediný východ blokován ohněm či kouřem.
9. Vertikální východy a jiné vertikální cesty mezi podlažími budovy by měly být kryty nebo chráněny tak nezbytně, aby poskytly přijatelné bezpečí uživatelům, kteří se je rozhodnou použít, a aby zabránily šíření požáru, kouře a výparům při použití těchto cest k úniku.
10. Tyto doporučení by se neměly brát jako absolutní odstranění prvků, ovlivňující bezpečnost v těchto místech.



## 6. Situace v České republice

U nás je požární inženýrství řešeno zákonem 186/2006 Sb. [9], ve kterém je změna zákona 133/1985 Sb. [10], kde v paragrafu 99 je napsáno, že autorizovaný inženýr nebo technik, kterému byla udělena autorizace pro požární bezpečnost staveb, je při realizaci technických podmínek požární ochrany staveb stanovených prováděcím právním předpisem oprávněn použít postup odlišný od postupu, který stanoví česká technická norma nebo jiný technický dokument upravující podmínky požární ochrany. Při použití takového postupu však musí autorizovaná osoba dosáhnout alespoň stejného výsledku, kterého by dosáhla při postupu podle prováděcího právního předpisu.

Dále je pak tento přístup řešen ve vyhlášce ministerstva vnitra č. 23/2008 Sb. [11], která nabývá účinnosti v červenci tohoto roku. V přílohách této vyhlášky jsou požadavky, hodnoty a výpočty týkající se požární ochrany, kde v příloze číslo 4 je uvedeno, že při zachování úrovně požární bezpečnosti, která bude prokázána v požárně bezpečnostním řešení nebo v jiné dokumentaci podle zákona č. 183/2006 Sb. o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon), ve znění zákona č. 68/2007 Sb. nemusí být použito postupu podle této přílohy.

Co se týká normotvorného základu, v osmdesátých letech vznikla projektová norma ČSN 73 0802 [12], která změnila koncepci normy ČSN 73 0760 (požární předpisy pro výstavbu průmyslových závodů a sídlišť) a tím vytvořila základ pro navrhování požární bezpečnosti staveb zahrnující soubor projektových, zkušebních, hodnotových a předmětových norem řady ČSN 73 08xx. V normě ČSN [12] je v podstatě využito požárního inženýrství, neboť tato norma reflektuje vědecké poznatky, které byly převedeny do praxe a tím se vytvořil návrhový systém pro širokou aplikaci [5].

## 7. Vývoj požárního inženýrství

Jestliže se podíváme na uplynulé desetiletí mezinárodního vývoje v této oblasti, je patrné, že do popředí se čím dál více dostává navrhování způsobem performance – based.

### 7.1. Navrhování způsobem „performance – based“

Tento způsob přistupuje ke stavebním konstrukcím s ohledem na jejich specifické užité vlastnosti. V tomto způsobu navrhování je snaha skloubit potřeby investorů s požadavky na požární bezpečnost, která je vyžadována státní správou na úseku požární ochrany a ta se řídí platnými předpisy.

Je potřeba zabezpečit:

- ochranu zdraví, majetku a životního prostředí,
- stanovení rizika a nebezpečí vzniku požáru a jeho následků,
- vyhodnocení optimálních preventivních a nezbytných ochranných omezujících opatření.

Navrhování požární bezpečnosti staveb se tedy skládá z kombinace používání požárního inženýrství a předpisujících metod. Jedná se o složitý úkol, kvůli různým faktorům ovlivňující šíření požáru. Bude oheň náhodný či úmyslný? Ve které místnosti oheň nastane? Co bude iniciováno jako první? Budou dveře otevřené, či zavřené? Budou sprinklery fungovat a budou kontrolovat požár? Jak brzy si obyvatelé uvědomí nebezpečí a jak rozumný bude jejich únik z prostor ohrožení? Tyto druhy otázek nemohou být rozhodnuty v deterministickém návrhu, ale mohou sloužit pro pravděpodobnostní návrh, jestliže je dostupný vhodný statistický přehled. Měli bychom mít ale na paměti, že ne všechny hodnotící údaje se objeví jako předvídatelné ve statistických datech.

Data ze zkušeností z požárů mohou také být užitečná v definování *high-challenge* scénářů. *High-challenge* scénáře mohou být definovány jako ty s vysokou historickou vážností, tedy například ty s vysokou úmrtností na požár [6].

## 8. Trendy požárního inženýrství ve světě

Mnoho zemí uvedlo nebo zvažuje přechod ke stavebním řádům a normám založených na „performance – based“ pro požární inženýrství. Tedy od předpisů nařizujících směrem k předpisům funkčním, doplněných nezávazných technickým návodem. Důvody pro tuto změnu jsou relativně jasné. Návrh dle metody „performance – based“ může přinést značné výhody pro stavební prostředí [13]. Implementační strategie musí být jasná a musí být i silná komunikace tohoto přetváření ke všem investorům, projektantům a stavební obci.

Nicméně vyhodnocení praxe v těch zemích, které přijaly přístup „performance – based“ v požární ochraně, ukázalo řadu zbývajících úkolů. Další legislativní změny, obecný trend k deregulaci a větší zátěž na investory a pojišťovatele, aby chránily své předměty zájmu.

Celosvětový trend směřuje k uvedení stavebních předpisů, požárně bezpečnostních požadavků a norem na bázi „performance – based“ se zdá být zrychlující. Země, které zavedly tento přístup do praxe jsou:

- Velká Británie
- Nový Zéland
- Švédsko
- Austrálie
- Finsko
- Norsko
- Japonsko

Stále více zemí je v přechodném stadiu zvažující či již plánující implementaci předpisů pro požární bezpečnost založených na „performance – based“. Zahrnuje to Spojené státy americké, Kanadu, Hong Kong, Dánsko, Jižní Koreu, Španělsko a Čínu.

Zkušenosti hovoří, že úspěchu lze dosáhnout ucelenou strategií, která byla vedena a koordinována národními vládami, tedy v politických podmínkách [13].

## 9. Požární výzkum

Slovní spojení „požární výzkum“ je často používáno pro popisování nějakého bádání v hoření materiálů nebo pokusů potlačení různých forem požárů. V současné době existují různé typy výzkumu [14], jejíž charakteristické rysy budou popsány dále. Každý z nich má své klady i zápory.

Empirické zkoušky mají sklon k tomu, být velice nákladné pro provedení. Často vyžadují velké množství jednotlivých testů velikého měřítka. V případě nutnosti se klíčové testy musí opakovat za účelem ujištění se ve správnosti nálezu předešlého testování. Na druhé straně empirické zkoušky mají nepochybnou výhodu v časovém přehledu, vyhovující v okamžitých potřebách.

Naopak základní výzkum je časově náročný k provedení. Je také velmi časově náročný pro získání širokého přijetí výsledků, ale má za následek pokroky a vývoj, zatímco běžné testování je potřebné pro rozšíření aplikace již existujících technologií. Mezi omezení základní výzkumu patří jeho nemožnost okamžité aplikace výsledků a nedostatečný počet badatelů.

Mezi další typy výzkumných činností patří aplikovaný a specifický výzkum. Aplikovaný výzkum využívá existujících vědeckých zápisů a nástrojů pro vyřešení určité sporné otázky. Výsledky však nemohou být použitelné pro široký soubor návrhů. Specifický výzkum jsou zkoušky typu pokus/omyl používající standardizovaných prostředků a fyzikálních postupů, ale jejich použití je vhodné pouze pro běžné normativní postupy.

## 10. Požární scénář

Návrh a volba požárních scénářů je jedna z nejdůležitějších kroků v „performance – based“ navrhování. Jedná se o důležitý kontrolní bod pro investory a jiné zainteresované strany, jako potvrzení přijatelného rizika a bezpečnosti. Na jedné straně je zde technická složitost modelů a výpočtových metod, tedy nástrojů požárního inženýrství, a na straně druhé potřeba spolehnout se na znalost a profesionalitu lidí, že vyberou a uplatní tyto metody vhodně.

Požární scénář poskytuje data pro nastavení podmínek, tedy vstupních údajů pro modelování a výpočtové metody, které se používají pro ukázání schopností návrhu dosáhnout stanovených cílů. Pro tento úkol je potřeba technických znalostí a schopností uživatele, díky nimž také požární scénář představuje informaci o přijatelném riziku a bezpečnosti. Záměrů a cílů lze snadno dosáhnout nějakým návrhem, jestliže je ověřován pouze proti mírným požárům, ale záměry a cíle nelze dosáhnout ani tím nejlepším možným návrhem, jestliže je ověřován pro případ toho nejzávažnějšího požáru, jaký si dokážeme představit. Někde mezi tím leží scénář, který řekne uživateli, zodpovědným osobám a dalším dotčeným stranám, co potřebují a chtějí vědět o požární bezpečnosti daného návrhu [15].

### 10.1. Hodnocení požárních scénářů

Je velmi důležité zhodnotit vybrané požární scénáře a jasně určit, který dosahuje výsledku nejreprezentativněji. Scénáře mohou být až extrémní, ale neměly by být tak, jako nejhorší možné požáry v budově, kterým by ještě odolala. Použitím vhodných statistik se dá určit, že požární scénář vážnějšího charakteru, který se doposud nevyskytl, má přesto významnou pravděpodobnost výskytu. V tomto případě, by nejhorší scénáře měly být analyzovány a vyhodnoceny. Stojí zato zmínit, že některé způsoby polohy požáru mohou být klíčové či dokonce mohou působit jako klíčový prvek vážnosti daného scénáře.

- Umístění požáru může být na takovém místě, že bude chráněné před odhalením člověkem nebo zařízeními pro kontrolu a potlačení. Požáry mající původ v ukrytých prostorech nebo vně budovy mají také významnou část z celkových požárů různých typů nemovitostí.
- Poloha požáru v místech sloužící jako východ má za důsledek, že osoby musí použít alternativní prostředky, se kterými nemusí být tak důvěrně seznámeni a to může vést k prodloužení doby evakuace. Dalším vhodným návrhem požárního scénáře je pokud

dojde k explozi nebo k hoření v blízkosti požárního zařízení, které tímto bude z části nebo zcela vyřazeno z provozu .

- Požární umístění může znamenat rychlé ohrožení životů osob nebo cenného majetku. To by také mělo být konzultováno mezi zainteresovanými stranami, aby se identifikovala kritická místa, kde se nacházejí neobvykle cenné předměty, neobvykle citlivé následkům požáru nebo vybavení důležité pro zachování funkčnosti objektu.
- Umístění může přímo ovlivnit rychlost požárního rozvoje kvůli geometrickému rozčlenění prostoru. Například požár v rohu místnosti se bude vyvíjet jinak, než požár umístěný ve středu místnosti. Požár rozvíjející se pod stolem, policí nebo pod stropem místnosti může mít svůj vývoj významně pozměněný.

Důležitým krokem v hodnocení scénářů je ověření, že jsou shodné s dalšími elementy analýzy, protože ty by měly být všude stejné. Například šíření požáru počítané se zavřenými dveřmi a následné používání těchto dveří osobami při evakuaci, není slučitelné a scénář by měl být následně revidován [15].

## **10.2. Použití statistických údajů**

Použití statistických údajů pro vybrání nejpravděpodobnějšího požárního scénáře, může být náročné. Rozhodnutí je spojené s vybráním skupin nebo kategorií, které určují možné požární scénáře. Velikost a faktory charakterizující historické požáry v přístupných databázích nejsou vždy stejných velikostí a faktorů, kterých je požadováno ke vstupním údajům pro výpočetní model. Je proto nutné provést určitý přepočít, kde každý přepočít vyžaduje předpokládaný vztah mezi údaji charakteristickými pro požární zkušenost a požadovanými vstupními daty. Podstatné je to, aby tyto vztahy byly podloženy jak jen to jde. Ku příkladu nemůže vždy platit předpoklad, že všechny úmyslně založené požáry mají strmě rostoucí rychlost uvolňovaného tepla a jsou velmi extrémní. Proto pro účely požárního scénáře by se typický žhářský požár mohl chovat jako požár odpadkového koše, tedy neúmyslně založený bez katalyzátorů.

Při výběru pravděpodobných požárních scénářů by měl uživatel identifikovat scénáře, které souhrnně odpovídají za velký podíl většiny závažných požárů. Ve složitějších a nejasných případech by měl být výběr scénářů udělán ve dvou stupních.

V prvním stupni by se rozdělily všechny požáry do relativně homogenních tříd požárních scénářů. V tomto případě je třída požárního scénáře skupina podobných scénářů, které jsou

očekávané nebo je známé, že přinášejí podobné dopady na osoby a své okolí, když se vyskytnou.

Druhý stupeň se sestává z vybírání typického požáru uvnitř třídy pro reprezentování třídy požárního scénáře. V typické obyčejné budově by se mohla třída požárního scénáře skládat ze všech požárů, které mají původ v obvyklých hořlavínách v nějakých místnostech, kde se normálně vyskytují lidé. Pak by, uvnitř třídy representativní oheň, mohl znázorňovat hoření válendy uprostřed obývacího pokoje. Toto není nezbytně nutný nejpravděpodobnější požární scénář uvnitř třídy, ku příkladu hořící jídlo na sporáku v kuchyni je běžnější, ale jedná se o obvyklý požární scénář, který je snazší pro účely výpočtu, při existenci experimentálních údajů a je pravděpodobně více charakteristickým pro danou třídu. Pro tyto statistická data jsou k dispozici tři významné databáze – NFPA každoroční průzkum hasičských sborů, FEMA/USFA National Fire Incident Reporting System (NFIRS) a NFPA Fire Incident Data Organization (FIDO) [16].

Společně tyto tři databáze poskytnou informace, které můžou znamenat základy pro požární scénáře a to relevantně jak v USA, kde tyto organizace působí, tak i v České republice.

## 11. Modelování požáru

Počítačové modely, které nyní existují, popisují vzplanutí, vznícení, vývin produktů hoření a jejich toxické účinky na obyvatele objektu, detekci, evakuaci a odhady rizika. Je v podstatě nemožné znát a porozumět všem modelům, ale jednotlivý model nemusí nutně poskytnout odpovědi na všechny naše otázky, proto je nutno znát rámeček, ve kterém jej chceme správně aplikovat.

Nejprve je třeba podívat se na vhodnost použití modelování a mít zodpovězeno několik informací, kterými jsou [16]:

- odbornost, na které je založeno,
- techniky, které jsou používány pro řešení problému,
- požadované vstupní parametry,
- vytvořené výstupy,
- srovnání s experimentálními daty.

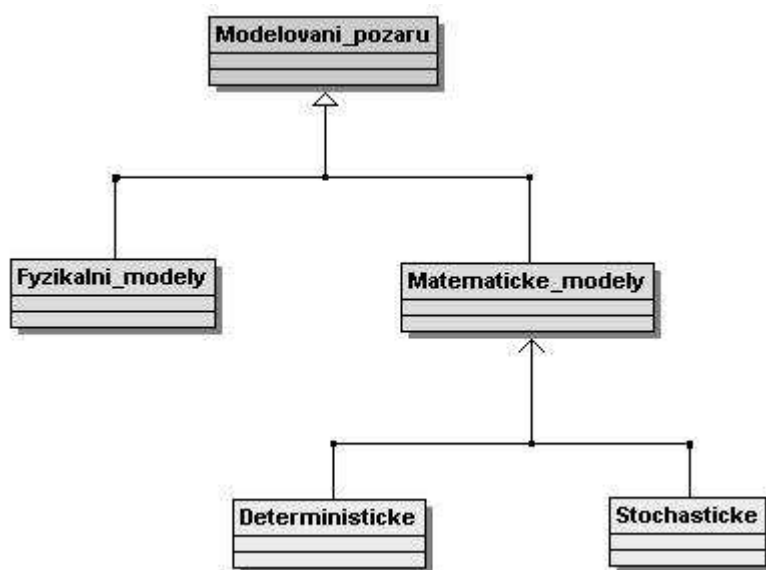
Na hodnocení výstupů by měly být brány v úvahu také otázky:

- Vypadají počáteční podmínky racionálně?
- Jsou některé z výstupů mimo rozsah očekávaných hodnot?
- Chová se proudění přívodu a odvodu racionálně?
- Jak moc je zkušený daný uživatel v modelování?

Je důležité si uvědomit, že jeden počítačový model nemůže být potvrzený jiným, může pouze ukázat, že dosáhne obdobného výsledku.

Z obrázku 2 je zřejmé, že modely lze rozdělit na fyzikální a matematické. Matematické modely požáru se dále rozdělují na deterministické a stochastické (pravděpodobnostní).





obrázek 2: Schéma rozdělení modelů požáru

### 11.1. Fyzikální modely požáru

Tyto modely využívají předměty a prostředí buď ve zmenšené či v reálné podobě a na nich se pozorují různé jevy jako například odvoody kouře a tepla, flashover, backfire a jiné.

### 11.2. Matematické modely požáru

Narozdíl od fyzikálních modelů, ke kterým využíváme fyzické objekty reálného světa, tak u matematických modelů se plně uplatňuje výpočetní technika.

### 11.3. Stochastické modely

Stochastické modely požáru (nazývají se také pravděpodobnostní) používají formát stromu událostí a spoléhají se silně na přístupné požární statistiky, které poskytují pravděpodobnosti specifických událostí vyskytujících se během požáru nebo v přechodech z jednoho stavu rozvoje požáru k druhému a tyto modely přímo nepoužívají fyzikálních a chemických principů. Stochastické modely se dají kombinovat v různých formách s deterministickými a tím vytvoří určitý hybridní model. Tři základní formy čistě pravděpodobnostních modelů používaných v požárním inženýrství jsou – síťový, statistický a simulační [17].

*Síťový model* je grafické zobrazení cesty nebo směru, kterým objekt (předmět), informace či logická cesta může vést nebo se pohybovat z jednoho k jinému. Rozhodovací stromy jsou jediným typem síťových modelů, kde je každá událost spojená větví stromu, která popisuje

dvě nebo více možných výsledků následující události. Stromy událostí nebo stromy poruch jsou druhým typem síťových modelů.

Vztahy způsobující události jsou znázorňovány použitím dvou symbolů logických operátorů AND a OR. Rozhodovací stromy znázorňují pouze OR operátory, takže strom událostí poskytuje větší flexibilitu v popisujícím procesu.

*Statistický model* zahrnuje popis náhodných jevů vhodným pravděpodobnostním rozdělením, zatímco síťový model obvykle přisuzuje určitou hodnotu pravděpodobnosti dané události. Za takovéto přisouzení pravděpodobnosti může být považována matematická funkce definující pravděpodobnost události. Některé z více důmyslnějších statistických modelů užívají principy teorie pravděpodobnosti pro kombinaci pravděpodobnostního rozdělení ze dvou nebo více náhodných proměnných. Určení pravděpodobností může být založeno na historických datech, inženýrských vyhodnoceních nebo na obou z těchto případů.

*Simulační modely* popisují počítačové simulace, kde jsou zkoušeny několikrát různá nastavení podmínek, aby se zjistilo, jak ovlivňují výsledek. Nejběžněji využívaná simulační procedura se nazývá Monte Carlo [17].

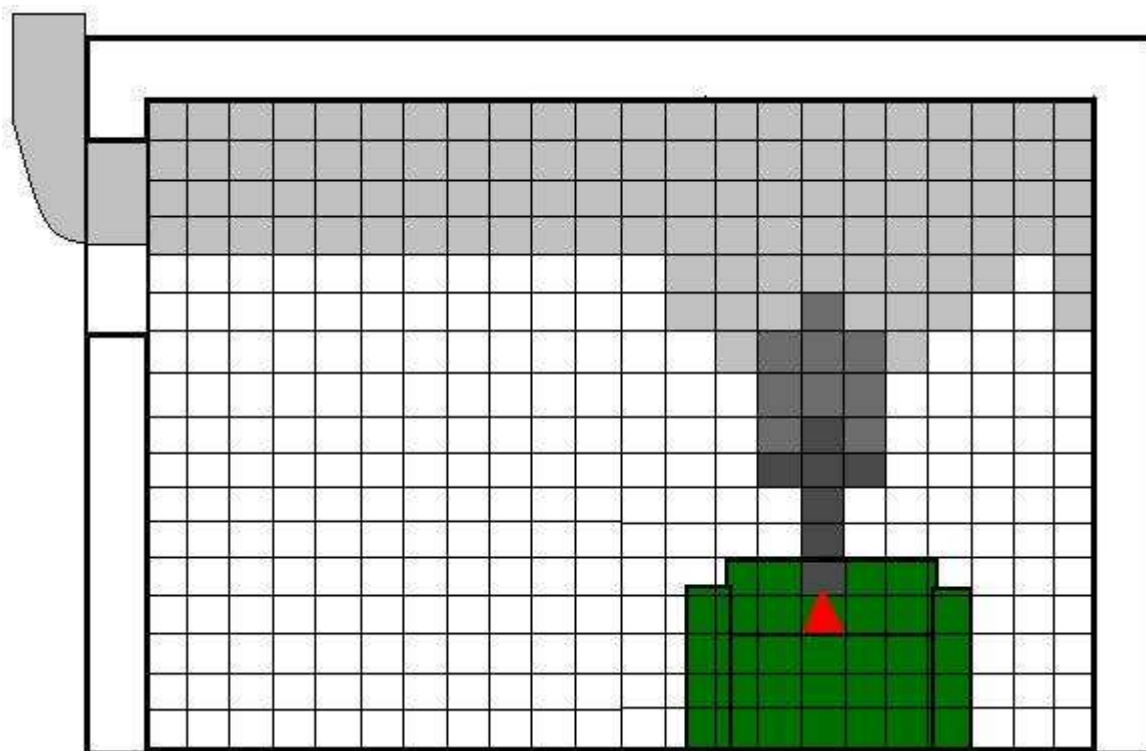
#### **11.4. Deterministické modely**

Deterministické modely požáru jsou více rozšířeny než stochastické a mohou tedy poskytovat detailnější předpovědní informaci o určité požární situaci.

Deterministické modely lze dělit na modely zónové, typu pole (CFD) a výpočtové. *Modely typu pole* rozdělují prostor do trojrozměrné sítě (rastru) a vypočítává podmínky pro každý bod této sítě. Jsou používány pro rozvoj požáru jak v jednom tak i více úsecích, záleží na typu zvolené aplikace, ale také lze některé použít pro mimo interiérové prostory, jako jsou rozsáhlé venkovní požáry palivových nádrží. Způsob CFD modelování využívá vysokou paletu inženýrských disciplín. Zkratka CFD by se dala volně přeložit jako výpočtová dynamika tekutin. Obecně lze říct, že na každý daný bod z prostoru jsou aplikovány zákony zachování hmoty, energie, hybnost a jiné. To poskytuje podrobnější výsledky než je tomu u později popisovaném zónového modelu. Problémy, které jsou spojovány s CFD jsou, že nelze do jedné kodifikace spojit všechny fyzikální a chemické procesy, které jsou významné. Užívá se několik přístupů k podprocesům, které mají být modelovány. Může to být modelování sálání, začouzení, tepelný rozklad, šíření plamene či vznícení. Podprocesy jsou modelovány na

takovou úroveň, jejíž porozumění vyžaduje odbornou znalost ve specializovaných odvětvích fyziky, chemie a také výpočetní techniky. Navíc, je to velmi drahý a zdlouhavý proces, vytyčit si problém, vytvořit podmínky pro výpočet do počítače a po provedení prezentovat výsledky. Obzvláště fáze výpočtu se může extrémně časově protáhnout. Kvůli náročnosti tato aplikace potřebuje velkou kapacitu paměti počítače, aby nám mohla interpretovat velmi detailní informace, zpravidla detailnější, než je obecně potřeba pro inženýrské ohodnocení požární bezpečnosti. Proto požadují také velmi detailní vstupy [17].

Na obrázku 3 je vidět rozdělení zkoumaného prostoru do několika buněk. Tmavší buňky znázorňují zplodiny hoření, které stoupají od hořící pohovky vzhůru a následně chladnou a unikají otvorem pryč z místnosti.



obrázek 3: Model typu pole

V tabulce, která je součástí přílohy 1, je uveden přehled modelů typu pole, včetně krátkého popisu a místa původu. S rostoucím využíváním informačních technologií a se stále se zvětšujícím výkonem hardwaru, který je schopen mnohem více složitějších výpočtů. Tento počet není rozhodně konečný a neustále se zvyšuje.

Na druhé straně *zónové modely* dělí každou část prostoru do částí (zpravidla na dvě), kde jsou podmínky rovnoměrné v celé dané oblasti. Horní horká vrstva obsahuje horké zplodiny hoření a spodní vrstva obsahuje hlavně studený čerstvý vzduch. Rozhraní mezi vrstvami je neutrální plocha a vzniká v důsledku rozdílných hustot horkých a chladných plynů. Ta je u těchto modelů jednoznačně oddělující plochou mezi danými dvěma zónami. Zónové modely jsou schopny simulovat požár jak v jednom úseku, tak i v několika sektorech uzavřenými či navzájem spojenými dveřmi, ventilačními šachtami nebo mechanickou ventilací. Není už ale tak vhodný pro příliš komplikované dispozice, kde tyto dvě zóny necharakterizují tak dobře jev hoření. Uživatelské rozhraní a možnosti nastavování těchto parametrů se vzájemně mezi modely liší a je třeba se v každém z nich zorientovat, ale dá se říct, že je ve většině velmi intuitivní. Některé zónové modely mají schopnost určit poměr mezi tepelným uvolňováním a úbytkem hmoty během požáru vypočtením podmínek uvnitř sledovaného sektoru, ale většina pouze určí účinky ohně, které specifikuje uživatel. Je zde několik způsobů pro určování uvolňování tepla jako například z datových zdrojů (databází) vlastností různých objektů, které se nacházejí v daném prostoru [17, 18].

Nejvíce modelů pro sledování základního chování požáru, jsou právě zónové modely. Jejich náročnost na paměť počítače není tak velká, jako tomu je u modelů typu pole. Vážnější využití tohoto modelování vyžaduje, aby byl uživatel dobře obeznámen s vytvářením a s omezeními modelů a měl by mít určitý cvik či školení v této problematice. V příloze 2 je uveden přehled vybraných zónových modelů.

Výpočtové metody analyticky popisují základní požární procesy s využitím jednoduchých metod. S jejich pomocí se dají vypočítat různé parametry jako například výška plamene, teplota, rychlost narůstání teploty, čas aktivace sprinklerů, tlak v místnosti a mnohé další proměnné [17].

Vývoj modelů požárů se striktně nezaměřuje pouze na šíření ohně v daném prostoru, ale je v nich také zahrnuto například rozvoj kouře a jeho šíření budovou, odezvy tepelných, kouřových či sprinklerových systémů a teplotní chování konstrukcí. Model vypočítá přestup tepla v prvku pro určení času k aktivaci systému. Z toho lze také zjistit jakým způsobem je ovlivněn možný únik osob na únikových cestách [19].

Dalším velmi rozšířeným modelováním je evakuace [18]. Několik z nich je součástí zónových modelů. *Evakuační modely* stanovují čas pro ohrožené osoby v budově, který je třeba pro opuštění daného místa a to nejčastěji v oblastech, kde hrozí zablokování únikové cesty. Mnoho těchto modelů je velice důmyslných a nabízejí jedinečné výpočtové metody stejně jako zajímavé vlastnosti včetně psychologického účinku požáru. Zejména se jedná o toxicitu kouře a snižující se viditelnost. Řada evakuačních modelů má také zdařilé grafické znázornění, takže lidé pohybující se v budově, mohou být zobrazeni během simulace. Vzhledem ke vzrůstajícím výkonům výpočetní techniky bude více komplexnějších modelů se složitějšími dispozičními řešeními, kde bude moct být simulován rozsáhlý pohyb osob. V tabulce, která je součástí přílohy 3, je zmíněno několik evakuačních modelů včetně stručného popisu.

## **12. Omezení modelování**

Existuje určitý počet omezení při modelování požáru [16]. Následujících několik odstavců zobrazuje přehled vybraných omezení nebo předpoklady, které vymezují jejich použití.

### **12.1. Dispoziční řešení**

Většina požárních modelů, které stanovují tloušťku vrchní horké vrstvy, rychlost proudění u stropu a reakce detekčních zařízení, předpokládají, že stropy jsou v horizontální rovině hladké. Takto by modely nemohly vypočítat účinky například podhledových trámů na činnost sprinklerů. Stejně tak povrchy zdí jsou z různých materiálů, chovající se jinak. Rozměry úseků, na které je aplikován výpočet, podléhají také určitým omezením. Ku příkladu některé modely by nebyly vhodné v místnostech, jejichž poměr délka/šířka by byl větší než 10:1. Tam je potřeba zvýšená opatrnost při hodnocení požárů v těchto úsecích.

### **12.2. Vnitřní povrchová úprava**

Obecně nejvíce požárních modelů bere v úvahu teplotní parametry povrchových ploch úseku pro účely výpočtu energetických vyrovnání. Na současné úrovni výkonů modelů není příliš zahrnuto šíření plamene po povrchu zdí, podlah a stropů do výpočtů. Ovšem některé publikace poskytují informace o šíření plamene na materiálech pro obklady stěn a z toho vyplývající rychlost uvolňování tepla v úseku.

### **12.3. Potlačení požáru**

Schopnost předpovídání účinků systémů na potlačení požáru není plně jakýmkoliv z programů v současnosti používána, některé z nich jsou uvedeny v přehledu těchto modelů. Tyto programy však jen simulují účinek jednotlivého zařízení na rychlosti přenosu tepla. Chladicí účinky rozstřiku sprinklerů na horkou horní vrstvu nejsou zahrnuty, stejně jako promáčený materiál, který je dále iniciován. Pozornost by měla být věnována uplatnění sprinklerových modelů na jejich účinek při různých dispozicích interiéru a umístění iniciačního zdroje [16].

### **12.4. Přesnost požárních modelů**

Přesnost požárního modelu by mohla být odhadnuta pomocí jeho schopnosti určovat výsledky skutečných experimentálních dat. Nelson a Deal uvedli zprávu o přístupu pro hodnocení očekávaných výsledků požárních modelů srovnáním s naměřenými požárními daty. V jejich demonstraci Nelson a Deal zjistili, že testované čtyři modely poskytly rozumnou aproximaci

se zkouškami, které byly hodnoceny. Jednalo se o teplotu horní vrstvy, koncentraci kyslíku, výšku vrstvy a tok produktů hoření otvory ven z místnosti. Následné výsledky ukázaly, že některé modely inklinovaly pod předpovídanou úroveň, zatímco druhé zase nad úroveň skutečných naměřených údajů [16].

## 13. Využití požárního inženýrství

Pro využití požárního inženýrství bude sloužit proces vytváření návrhových scénářů a výpočtů pravděpodobností v deseti krocích. Návrhových scénářů by se v praxi dalo stanovit v podstatě nekonečně mnoho, protože existuje i právě tolik variant možností a faktorů ovlivňujících šíření požáru. Proto bude stanoven určitý počet těchto scénářů, který se bude poté v postupných krocích analyzovat.

### 13.1. Klasifikace rizika

Pro vyhodnocování vybraných scénářů se provede klasifikace rizika, ve které jsou zohledněny jak důsledky v počtu zasažených osob, tak i pravděpodobnost tohoto scénáře. Proto je třeba se řídit následujícími body [5]:

- Určení souhrnného souboru požárních scénářů.
- Posouzení pravděpodobnosti scénáře (buď dostupnou statistikou nebo odborným posudkem).
- Zhodnocení dopadů daného scénáře na obyvatele objektu (opět odborným posudkem).
- Zhodnocení relativního rizika požárních scénářů – to se udělá tak, že se vynásobí pravděpodobnost tohoto scénáře s jeho dopadem na obyvatele.
- Rozdělení požárních scénářů podle relativního rizika.

Dílčí kroky postupu, které by měl projektant zpracovat, pro stanovení klasifikace rizika jsou následující [5]:

- Krok 1 – Umístění požáru
- Krok 2 – Druh požáru
- Krok 3 – Potenciální požární nebezpečí
- Krok 4 – Systémy měnící podmínky hoření
- Krok 5 – Odezva obyvatel objektu
- Krok 6 – Strom událostí
- Krok 7 – Posouzení pravděpodobnosti
- Krok 8 – Posouzení důsledků
- Krok 9 – Stanovení rizika
- Krok 10 – Výběr scénářů s nejmenší hodnotou hodnocení

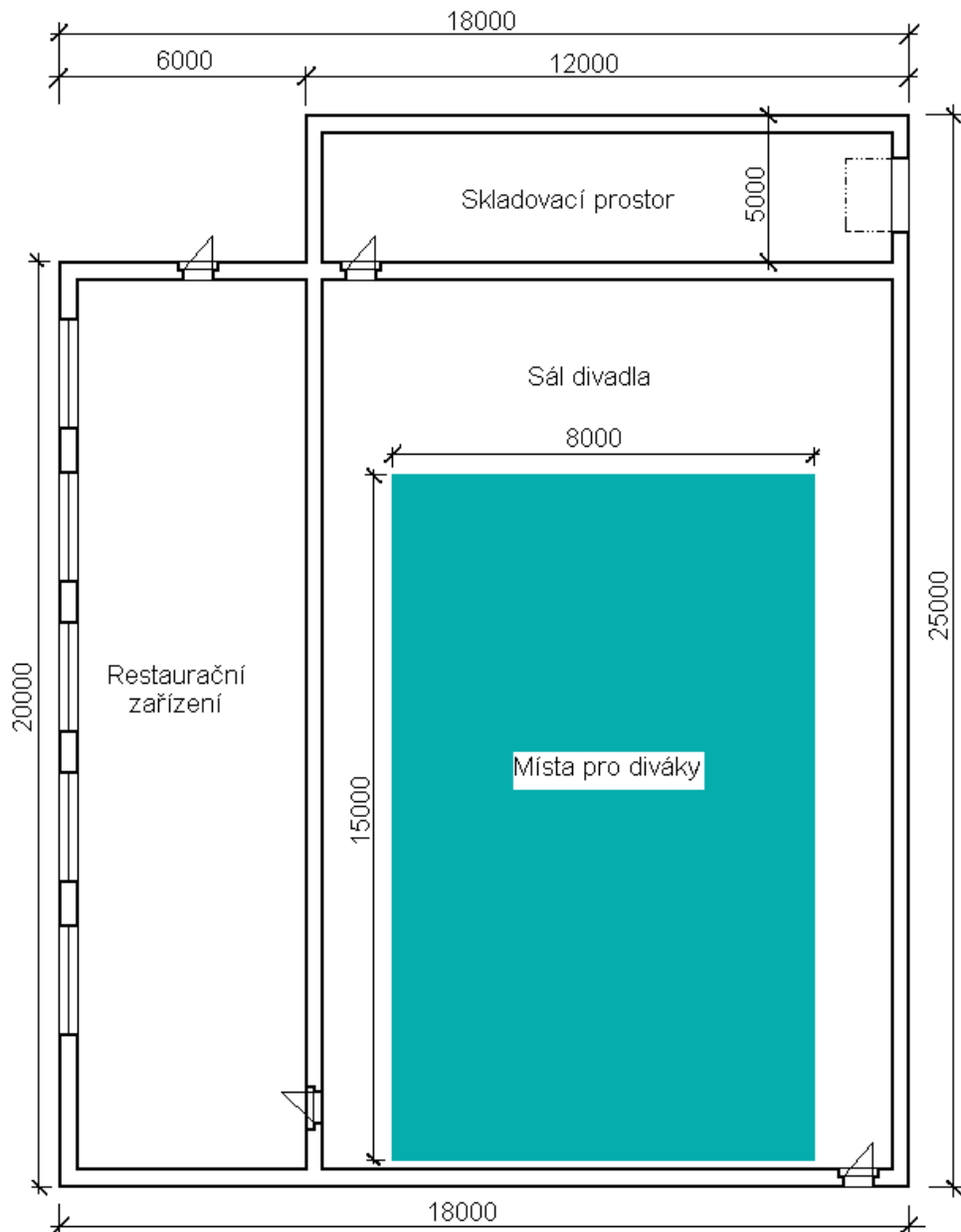


## **13.2. Návrh požárního scénáře**

Pro ukázání, jak lze využít požární inženýrství, byla zvolena budova divadla, kde je často výskyt několika stovek osob. Jako v každé shromažďovací budově mohou být důsledky požáru velmi kruté jak ve ztrátách na lidských životech, zraněních či velké škodě na majetku.

### ***13.2.1. Popis budovy a její využití***

Objekt je zhotoven z cihelného zdiva a stropní desky z betonových panelů. Mimo návštěvníků divadla se zde nacházejí také strážníci v místním restauračním zařízení, které přímo sousedí s prostorem divadla. Je zde také skladovací místnost, kde se nacházejí různé hořlavé rekvizity a pohonné látky. Tento objekt je také využíván pro menší výstavy, či politická setkání. Variabilita prostoru je způsobena přenosnými židlemi v sále. Celková kapacita objektu je 260 osob z toho 200 v sále, 50 v restauračním zařízení (včetně personálu) a 10 jako údržba nacházející se ve skladovacím prostoru. Všechny tyto tři místnosti jsou zabezpečeny sprinklerovým systémem a je zde přítomen také samozavírač, který uzavře dveře mezi jednotlivými sektory tak, aby nebyl vpuštěn kouř mezi lidí v ostatních oblastech objektu. Zařízením pro odvětrání kouře a tepla je pouze v sále. Na obrázku 4 je vidět dispozice objektu.



obrázek 4: Zjednodušený půdorys objektu

### 13.2.2. Procedura deseti kroků

Následující kroky budou postupně analyzovány v pořadí dle kapitoly 11.1. pro stanovení výběru scénářů a klasifikace jejich rizika.

#### Krok 1 – Umístění požáru

V tomto kroku jsou vybrány lokality v budově, kde hrozí nejvíce nepříznivé požární scénáře jako například:

- Požár v rohu místnosti, který se nachází v největší možné vzdálenosti od sprinklerových hlavic.

- Požár pod policemi, regály nebo skrytý pod hořlavým materiálem.

### Krok 2 – Druh požáru

Ze statistik požárů vztahující se k danému typu budovy a jejího osídlení se posuzuje:

- Nejpravděpodobnější druhy požárů a nejhorší možný následek s vysokou pravděpodobností daného požárního scénáře.
- Nebyly – li statistiky k dosažení, tak nejpravděpodobnější scénáře a místa umístění se získají konzultací s projektanty a dalšími odborníky z požárně bezpečnostní praxe.

Zhruba před deseti lety byl ve Spojených státech amerických udělán průzkum, ze kterého vyplynula statistika nejčastějších zdrojů požáru. V následující tabulce 1 je uvedeno deset iniciačních zdrojů, jejich podíl ze všech a procentuální vyjádření smrtelně zasažených osob. Z této tabulky je zřejmé, které zdroje mají největší pravděpodobnost výskytu a ty s nejhoršími důsledky.

tabulka 1: Statistika zdrojů požáru [20]

Iniciační zdroj	Počet požárů	Podíl z celku	Smrtelně zranění
Přístroje na vaření	92 500	22 %	9,3 %
Tepelná zařízení	59 700	14,2 %	13,2 %
Žhářství	53 600	12,7 %	16,4 %
Jiná zařízení	44 200	10,5 %	7,6 %
Rozvod el. energie	39 100	9,3 %	10,0 %
Vzduchotechnika	29 600	7,0 %	3,8 %
Kouření	21 900	5,2 %	22,9 %
Otevřený oheň	20 800	5,0 %	3,2 %
Dětské hraní	19 300	4,6 %	8,3 %
Expozice jinému ohni	18 100	4,3 %	0,9 %

Největší pravděpodobnost výskytu dle tohoto průzkumu mají přístroje na vaření. Nejhorší důsledky pro zdraví občanů je příčina kouření, tedy zapálené tabákové výrobky.

Vybrány byly následující scénáře:

- a) Scénář 1: Požár vznikne v sále, zatímco se bude odehrávat divadelní představení. V tomto scénáři se na daném místě vyskytuje velký počet osob. Diváci sedí v řadách na jednotlivých dřevěných polstrovaných židlích. V tomto případě je tedy sál plně obsazen. Pravděpodobnost vzniku požáru je zvýšená, neboť při představení jsou používány různé efekty kouře, otevřený oheň či pyrotechnika. Může nastat i situace, že z důvodu použití falešného kouře, může být vypnuta kouřová detekce. Žádná místa nejsou vyhrazena pro požární dohled. Hořlavý materiál, růst požáru a rychlost uvolňování tepla (HRR) jsou omezeny.
- b) Scénář 2: Požár v sále, zatímco je využíván pro jiný účel než-li divadelní představení. Například se může jednat o politické setkání, kde návštěvníci sálu sedí také na židlích.

V tomto případě jsou divácké podmínky podobné jako v případě předešlém, ale hořlavý materiál a růst požáru je zmenšené.

- c) Scénář 3: Požár v řadách sedadel mezi sedícími diváky. Tento scénář by mohl být proveditelný stejně jako první a druhý, ale s požárem s rozdílným umístěním. Sedáky nejsou napuštěny látkou retardující hoření, takže vlastnosti hořlavého materiálu zahrnují množství hořlavé látky, požární růst a maximální rychlost uvolňovaného tepla. Dalo by se taky uvažovat do tohoto scénáře, zahrnout hořící smetí, nacházející se pod sedáky.
- d) Scénář 4: Požár v sále, zatímco je používán pro výstavu a návštěvníci tudíž nesedí v řadách sedadel.

V tomto případě jsou osoby více mobilní, protože se pohybují po celé ploše a jejich počet je o něco menší než při divadelním představení. Jedná se cca o 60 % z počtu maximálně možné návštěvy. Z důvodu neustálého pohybu a zaujetí v pozorovaný prvek, může docházet ke zmatkům a problémům při hledání únikových východů. Není také vyloučeno, že označení únikové cesty může být zakryto mimo možnost zpozorování. Tady je hořlavé látky, růst požáru a maximální rychlost uvolňování tepla vyšší než ve scénáři 2.

- e) Scénář 5: Požár v jiné shromažďovací oblasti například ve stravovacím sektoru (restauračním zařízení).

Tady by návrhový požár mohl, ale taky nemusel mít vysoký rozvoj požární, hořlavé hmoty a hodnoty maximálního uvolňování tepla jsou ale obvykle na nižší úrovni, než je tomu u scénářů v sále.

- f) Scénář 6: Požár vznikne ve skladovací oblasti.

Tento typ objektu skladuje velké množství hořlavého materiálu blízko místnosti sálu. Tento materiál je schopen vyvinout takové palivo, která má za následek velký růst požáru a vysokého maxima rychlosti uvolňovaného tepla, který má za následek krutost tohoto požáru. S venkovním prostředím je tato oblast spojena velkými dveřmi pro vjezd vozíků se zbožím.

V tomto kroku, jakýkoliv scénář jmenovaný výše, může být nahrazen jiným. Je třeba se zamyslet nad různými faktory, které mohou nastat během jednotlivých scénářů a ty se v různých případech mohou krýt.

### *Krok 3 – Potenciální požární nebezpečí*

Identifikace dalších nebezpečí s kritickými důsledky. Jestli jakékoliv z těchto nebezpečí by bylo pravděpodobnější a mající horší důsledky, než scénáře identifikované výše, tak je důležité, zahrnout je do analýzy nebo jimi, po zvážení, případně nahradit ty méně závažné. Mohou taky nahradit scénáře, které jsou podobného typu. Typickými představiteli těchto dalších požárů, které nekryje statistická databáze, jsou ty, které vznikly diskusí odborníků. Jedná se o požáry v únikových cestách, ve shromažďovacích prostorech, požáry vedoucí ke zborcení konstrukce a další jsou ty, kde nemusí být chráněny sprinklerovým systémem. Například jde o umístění hořlavého materiálu v regálech nebo pod policemi:

- Uskladněné zboží obsahující aerosolové nádoby.
- Nádoby uskladněných hořlavých kapalin.
- Zboží obsahující polymery, které při ohřátí odkapávají v podobě hořících kapek.

#### *Krok 4 – Systémy měnící podmínky hoření*

V tomto kroku dochází k identifikaci požárně bezpečnostních systémů, které mají pravděpodobně významný dopad na požár a vývoj jeho podmínek. Kompletní sortiment aktivních, pasivních a únikových systémů, které jsou předpokládány. Jestliže některý z těchto systémů, bude přítomen, je nezbytné stanovit pravděpodobnost úspěchu těchto systémů ve stromu událostí. Jsou to především [5]:

- aktivní systémy,
- pasivní systémy,
- únikové systémy.

V řešeném případě divadla jsou tyto systémy přítomny ve formě sprinklerů a samozavíračů v sektorech sálu, restauračního zařízení a také ve skladovací části. Zařízení pro odvětrání kouře a tepla se nachází pouze v prostředí sálu.

#### *Krok 5 – Odezva obyvatel objektu*

Tady je potřeba identifikovat vlastnosti a reakci osob, která pravděpodobně může mít významný dopad na vývoj požáru. Mohou například být schopni tento požár potlačit v určitých oblastech (jako v první podpoře potlačení ve stromu událostí, uvedeného níže). Nebo mohou uživatelé objektu zjistit, že hoří a opustit daný prostor bez zranění.

Zaměstnanci restauračního zařízení a také samotného divadla jsou školeni pro případ evakuace, kterou budou řídit. Povinnost uhasit požár je u nás dána zákonem a ohlašuje se osobám v objektu, voláním „hoří“.

#### *Krok 6 – Strom událostí*

Konstrukce stromu událostí reprezentuje různé polohy faktorů, které byly identifikovány jako významné. Tento strom začíná stavem iniciace a pak se rozvětňuje, kde reflektuje každý možný stav dalšího faktoru. Tento proces je opakován až do doby, kdy jsou propojeny všechny možné stavy.

První událost, která je uvažována, je iniciace plamenného hoření. Je to z toho důvodu, že takového typu stavby se tak moc netýká doutnání a to hlavně kvůli přítomnosti osob a systémům detekce.

Požár může vzniknout v sále v oblasti jeviště a v prostorách pro diváky s pravděpodobností  $P_1$ . V restauračním zařízení s pravděpodobností  $P_2$  nebo ve skladovacím prostoru s pravděpodobností  $P_3$ . Předpokladem je, že pouze v těchto lokalitách může požár vzniknout a tedy sečteme - li tyto pravděpodobnosti, dostaneme  $P_1 + P_2 + P_3 = 1$ .

To že bude oheň v samém začátku potlačen na jevišti a v prostorách pro diváky je označeno pravděpodobností  $P_{1,1}$ . Znamená to, že si počínajícího hoření všimne reagující osoba, která jej uhasí. Pravděpodobnost, že nebude požár potlačen je označena  $P_{1,2}$  tedy  $1 - P_{1,1}$ . Obdobně se to provede také u pravděpodobnosti v restauračním zařízení, kde je pravděpodobnost potlačení v začátku, reagující osobou označena  $P_{2,1}$  a že nebude potlačen  $1 - P_{2,1} = P_{2,2}$ . V oblasti skladovací je to analogicky  $P_{3,1}$  pro uhašení a  $1 - P_{3,1} = P_{3,2}$  pro neuhašení v začátku vzniku.

Jestli nebude oheň potlačen v samém začátku reagujícími osobami, bude potlačen v pozdějším čase sprinklerovým systémem. Tato pravděpodobnost je pak označena jako  $P_{1,2,1}$  pro sál divadla skládající se z jeviště i diváků. Pravděpodobnost, že nebude požár potlačen sprinklerovým systémem je  $1 - P_{1,2,1} = P_{1,2,2}$ . Stejně se bude pokračovat i v restauračním zařízení. Tedy pro zdolání  $P_{2,2,1}$  a pro nezdolání  $1 - P_{2,2,1} = P_{2,2,2}$ . V sektoru pro skladování je pravděpodobnost potlačení označena jako  $P_{3,2,1}$  a pro nepotlačení požáru  $1 - P_{3,2,1} = P_{3,2,2}$ .

Pro případ, že požár nebude zpozorován a potlačen v samém začátku reagující osobou, ani sprinklerovým systémem, mohou být v daném objektu zajištěny udržitelné podmínky ventilačním systémem. Tento systém pracuje na principu přirozeného proudění horkých zplodin vzhůru ke stropu. Ventilace je umístěna pouze v sále a pravděpodobnost, že bude odvětrání kouře efektivní je  $P_{1,2,2,1}$  a že nebude  $1 - P_{1,2,2,1} = P_{1,2,2,2}$ .

V sále pro diváky, jestliže není požár potlačen žádným z výše uvedených prostředků, jsou osoby v ohrožení, ale osoby, které se nacházejí v restauračním zařízení nebo skladišti, mohou být stále ještě v bezpečí, pokud samozavírač zamezí pohybu kouře do těchto oblastí. Pravděpodobnost účinku tohoto prvku v jednotlivých dílčích sektorech za předpokladu, že všechny ostatní systémy selžou, je pravděpodobnost  $P_{1,2,2,2,1}$ ,  $P_{2,2,2,2,1}$  a  $P_{3,2,2,2,1}$ . A pravděpodobnost, že selže také samozavírač v jednotlivých sektorech je  $P_{1,2,2,2,2}$ ,  $P_{2,2,2,2,2}$  a  $P_{3,2,2,2,2}$ . Na obrázku 5 je znázorněn celý strom událostí, zobrazující jednotlivé scénáře s označením pravděpodobností. Každý strom má vrchol v události, která reprezentuje místo,

kde došlo k iniciaci požáru. Následují pak jednotlivé větve, které jsou označeny pravděpodobnostmi, podle pozitivní nebo negativní reakce systému. Poslední sloupec ukazuje označení výsledného požárního scénáře, ke kterému se došlo po jednotlivých větvích.

Umístění požáru	Potlačení reagující osobou	Potlačení požáru sprinklery	Efektivní odvětrání kouře	Efektivní uzavírací systém	Požární scénář
Sál divadla P <sub>1</sub>	Ano P <sub>1,1</sub>				S <sub>1</sub>
	Ne P <sub>1,2</sub>	Ano P <sub>1,2,1</sub>			S <sub>2</sub>
		Ne P <sub>1,2,2</sub>	Ano P <sub>1,2,2,1</sub>		S <sub>3</sub>
			Ne P <sub>1,2,2,2</sub>	Ano P <sub>1,2,2,2,1</sub>	S <sub>4</sub>
				Ne P <sub>1,2,2,2,2</sub>	S <sub>5</sub>
Restaurační zařízení P <sub>2</sub>	Ano P <sub>2,1</sub>				S <sub>6</sub>
	Ne P <sub>2,2</sub>	Ano P <sub>2,2,1</sub>			S <sub>7</sub>
		Ne P <sub>2,2,2</sub>	Ano P <sub>2,2,2,2,1</sub>		S <sub>8</sub>
			Ne P <sub>2,2,2,2,2</sub>	S <sub>9</sub>	
Sklad P <sub>3</sub>	Ano P <sub>3,1</sub>				S <sub>10</sub>
	Ne P <sub>3,2</sub>	Ano P <sub>3,2,1</sub>			S <sub>11</sub>
		Ne P <sub>3,2,2</sub>	Ano P <sub>3,2,2,2,1</sub>		S <sub>12</sub>
			Ne P <sub>3,2,2,2,2</sub>	S <sub>13</sub>	

obrázek 5: Strom událostí

### Krok 7 – Posouzení pravděpodobností

Odhad pravděpodobnosti výskytu jednotlivých stavů je stanoven na základě spolehlivých dat a nebo na základě odborného úsudku. Pravděpodobnost, že požár vznikne v jedné ze stanovených oblastí, byla tedy odhadem stanovena na:



$P_1 = 0,20$  pro sál divadla

$P_2 = 0,50$  pro restaurační zařízení

$P_3 = 0,30$  pro skladovací prostor

Pravděpodobnost potlačení požáru v důsledku zpozorování reagující osobou, byly stanoveny odhadem tyto hodnoty pravděpodobností:

$P_{1,1} = 0,6$  – Někteří diváci mohou být zmateni a mohou si myslet, že se jedná o představení a rozrůstající oheň v zadních řadách by nemusel být po relativně dlouhou dobu zaregistrován.

$P_{2,1} = 0,8$  – Velmi vysoká pravděpodobnost, protože zaměstnanci se nacházejí na docela malém prostoru.

$P_{3,1} = 0,2$  – Velmi malá pravděpodobnost pro skladovací prostor, protože je nepřístupná široké veřejnosti a personál se nevyskytuje neustále po celé jeho ploše, takže nepatrné rozhořívání materiálu nemusí být zpozorováno v samém začátku.

Pravděpodobnosti, že reagující osoby neuhasí začínající požár jsou  $P_{1,2} = 0,4$ ,  $P_{2,2} = 0,2$  a  $P_{3,2} = 0,8$ .

Pravděpodobnost potlačení požáru sprinklerovým systémem byla stanovena na tyto hodnoty:

$P_{1,2,1} = 0,5$  – Byla zvolena průměrná hodnota, protože sál má vyšší světlou výšku, takže účinek nelze zaručit takový, jako by tomu bylo u nižších výšek.

$P_{2,2,1} = 0,95$  – Jedná se o typickou hodnotu efektivity sprinklerů v oblastech s nízkými světlými výškami stropů jako je restaurační zařízení v našem objektu.

$P_{3,2,1} = 0,95$  – Tady je stejná světlá výška jako v předchozím případě.

Pravděpodobnosti v jednotlivých úsecích, že sprinklery neuhasí oheň je tedy  $P_{1,2,2} = 0,5$ ,  $P_{2,2,2} = 0,05$  a  $P_{3,2,2} = 0,05$ .

Odvětrání kouře ventilačním zařízením je umístěno pouze v sále. Jeho pravděpodobná efektivity byla odborným odhadem stanovena na  $P_{1,2,2,1} = 0,7$  a z toho plynoucí neefektivita  $P_{1,2,2,2} = 0,3$ .

Samozavírače a jejich pravděpodobnosti vztahující se k jednotlivým sektorům, byly stanoveny na  $P_{1,2,2,2,1}$ ,  $P_{2,2,2,2,1}$  a  $P_{3,2,2,2,1} = 0,9$ . A pro pravděpodobnosti, že selže i tento systém byly stanoveny hodnoty  $P_{1,2,2,2,2}$ ,  $P_{2,2,2,2,2}$  a  $P_{3,2,2,2,2} = 0,1$ .

Relativní pravděpodobnost každého scénáře je získána násobením všech hodnot dané větve tohoto scénáře. Pravděpodobnosti jednotlivých scénářů jsou:

$$PS_1 = P_1 \cdot P_{1,1} = 0,2 \cdot 0,6 = \underline{\underline{0,12}}$$

$$PS_2 = P_1 \cdot P_{1,2} \cdot P_{1,2,1} = 0,2 \cdot 0,4 \cdot 0,5 = \underline{\underline{0,04}}$$

$$PS_3 = P_1 \cdot P_{1,2} \cdot P_{1,2,2} \cdot P_{1,2,2,1} = 0,2 \cdot 0,4 \cdot 0,5 \cdot 0,7 = \underline{\underline{0,028}}$$

$$PS_4 = P_1 \cdot P_{1,2} \cdot P_{1,2,2} \cdot P_{1,2,2,2} \cdot P_{1,2,2,2,1} = 0,2 \cdot 0,4 \cdot 0,5 \cdot 0,3 \cdot 0,9 = \underline{\underline{0,011}}$$

$$PS_5 = P_1 \cdot P_{1,2} \cdot P_{1,2,2} \cdot P_{1,2,2,2} \cdot P_{1,2,2,2,2} = 0,2 \cdot 0,4 \cdot 0,5 \cdot 0,3 \cdot 0,1 = \underline{\underline{0,0012}}$$

$$PS_6 = P_2 \cdot P_{2,1} = 0,5 \cdot 0,8 = \underline{\underline{0,4}}$$

$$PS_7 = P_2 \cdot P_{2,2} \cdot P_{2,2,1} = 0,5 \cdot 0,2 \cdot 0,95 = \underline{\underline{0,095}}$$

$$PS_8 = P_2 \cdot P_{2,2} \cdot P_{2,2,2} \cdot P_{2,2,2,2,1} = 0,5 \cdot 0,2 \cdot 0,05 \cdot 0,9 = \underline{\underline{0,0045}}$$

$$PS_9 = P_2 \cdot P_{2,2} \cdot P_{2,2,2} \cdot P_{2,2,2,2,2} = 0,5 \cdot 0,2 \cdot 0,05 \cdot 0,1 = \underline{\underline{0,0005}}$$

$$PS_{10} = P_3 \cdot P_{3,1} = 0,3 \cdot 0,2 = \underline{\underline{0,06}}$$

$$PS_{11} = P_3 \cdot P_{3,2} \cdot P_{3,2,1} = 0,3 \cdot 0,8 \cdot 0,95 = \underline{\underline{0,228}}$$

$$PS_{12} = P_3 \cdot P_{3,2} \cdot P_{3,2,2} \cdot P_{3,2,2,2,1} = 0,3 \cdot 0,8 \cdot 0,05 \cdot 0,9 = \underline{\underline{0,011}}$$

$$PS_{13} = P_3 \cdot P_{3,2} \cdot P_{3,2,2} \cdot P_{3,2,2,2,2} = 0,3 \cdot 0,8 \cdot 0,05 \cdot 0,1 = \underline{\underline{0,0012}}$$

Z následujících výpočtů vyplývá, že scénář s největší pravděpodobností je  $S_{11}$  tedy ten případ, kdy požár vznikne ve skladovací oblasti, nebude zaregistrován a potlačen reagující osobou, ale následně bude úspěšně uhašen sprinklerovým systémem.

#### *Krok 8 - Posouzení důsledků*

Celková kapacita objektu je 260 osob. V sále je možnost umožnit sledování představení 200 osobám, 50 lidí se nachází v restauračním zařízení (včetně personálu) a 10 jako údržba nacházející se ve skladovacím prostoru.

Důsledky se posoudí u každého scénáře na základě odborného posudku. Tyto důsledky by mohly být vyjádřeny ztrátami na životech, pravděpodobností zraněných lidí nebo škodami na majetku. Tento případ byl řešen na základě vyjádření závažnosti důsledků, pomocí odhadu počtu zasažených lidí v jednotlivých sektorech:

a) Požár iniciovaný v sále divadla – ve stromu událostí scénáře  $S_1$  až  $S_5$

Následky vztahující se ke scénáři  $S_1$ , kde je požár rychle potlačen reagující osobou, je hrozba pro uživatele objektu eliminována. Jelikož jsou tyto následky zanedbatelné, budou tedy označeny jako  $NS_1 = 0$  (následky scénáře jedna se rovnají nule). Následky u scénáře  $S_2$ , jsou v podstatě stejné, jen bude oheň uhašen o něco později sprinklery, následek je  $NS_2 = 0$ . Ve scénáři  $S_3$  existuje malé ohrožení osob, kouř bude efektivně odvětrán pryč z místnosti. I přesto předpokládáme, že 1 % osob bude v sále zasaženo. Následek bude vypočítán součinem množství osob a tímto procentem zasažených tedy  $NS_3 = 0,01 \cdot 200 = 2$ . Ve scénáři  $S_4$  nebude efektivní ani odvětrání kouře, ale samozavírače zajistí, aby nebyly ohroženy osoby v ostatních sektorech. Předpoklad je ten, že bude zasaženo 50 % návštěvníků a následek tohoto scénáře je tím pádem stanoven na  $NS_4 = 0,5 \cdot 200 = 100$ . Nejhorší ze scénářů je  $S_5$ , kde nebude účinný samozavírací mechanismus, takže k ohroženým osobám v sále se taky přidají osoby v restauračním zařízení a ve skladišti. Odhadem byl stanoven počet zasažených na 10 %. Následek je  $NS_5 = 0,5 \cdot 200 + 0,1 \cdot 50 + 0,1 \cdot 10 = 106$ .

b) Požár iniciovaný v restauračním zařízení – ve stromu událostí scénáře  $S_6$  až  $S_9$

Zde se pokračuje analogicky jako ve scénářích v sále divadla. Následek scénáře  $S_6$  je nulový  $NS_6 = 0$ . V restauračním zařízení se mohou nacházet osoby, které budou mít zhoršenou vnímavost, proto bude pro scénář  $S_7$  ohroženo 1 % osob. Následek je stanoven na  $NS_7 = 0,01 \cdot 50 = 0,5 = 1$ . U scénáře  $S_8$  bude ohroženo 50 % návštěvníků restauračního zařízení a  $NS_8 = 0,5 \cdot 50 = 25$ . Ve scénáři  $S_9$  bude kouř distribuován dále do objektu a zasaženo bude 10% lidí v sále a 50 % v restauračním zařízení. Následek  $NS_9 = 0,1 \cdot 200 + 0,5 \cdot 50 = 45$ .

c) Požár iniciovaný ve skladovacím sektoru – ve stromu událostí scénáře  $S_{10}$  až  $S_{13}$

Důsledky scénáře  $S_{10}$  jsou nepatrné, takže  $NS_{10} = 0$ . To stejné platí také pro scénář  $S_{11}$ , jeho následek je stejný a to  $NS_{11} = 0$ . Ve scénáři  $S_{12}$  již dojde k ohrožení personálu skladiště, protože zde není odvětrání kouře, bude zasaženo 25 % osob. Toto procento je menší než v obdobných případech minulých scénářů, protože ze skladiště je jednodušší evakuace. Následek scénáře dvanáct je  $NS_{12} = 0,25 \cdot 10 = 2,5 = 3$ .

Ve scénáři  $S_{13}$  dojde k rozšíření kouře do sálu, kde bude ohroženo 15 % diváků. Následek tohoto scénáře byl tedy stanoven na  $NS_{13} = 0,25 \cdot 10 + 0,15 \cdot 200 = 32,5=33$ .

#### Krok 9 – Stanovení rizika

Všechny výše získané hodnoty se zapíší do tabulky 2. Riziko se stanoví součinem následků v počtu zasažených osob a pravděpodobnosti výskytu daného scénáře.

**tabulka 2: Přehled rizika a jeho hodnocení**

Scénář	Pravděpodobnost	Následky [osob]	Riziko	Hodnocení
S <sub>1</sub>	0,12	0	0	4
S <sub>2</sub>	0,04	0	0	4
S <sub>3</sub>	0,028	2	0,056	3
S <sub>4</sub>	0,011	100	1,100	1
S <sub>5</sub>	0,0012	106	0,127	2
S <sub>6</sub>	0,4	0	0	4
S <sub>7</sub>	0,095	1	0,095	2
S <sub>8</sub>	0,0045	25	0,110	1
S <sub>9</sub>	0,0005	45	0,023	3
S <sub>10</sub>	0,06	0	0	3
S <sub>11</sub>	0,228	0	0	3
S <sub>12</sub>	0,011	3	0,033	2
S <sub>13</sub>	0,0012	33	0,040	1

#### Krok 10 – Výběr scénářů s nejmenší hodnotou hodnocení

Provede se výběr scénářů, které byly v tabulce 2 hodnoceny číslem 1. Tyto scénáře jsou nejrizikovější v dané sekci scénářů. Mají velké následky v kombinaci s pravděpodobností jejich výskytu. Seřazeny jsou podle toho, kde došlo k iniciaci v našem objektu:

##### a) Iniciace v sále divadla

Zde má největší hodnotu rizika scénář S<sub>4</sub>. Tento scénář má také velké následky v počtu ohrožených osob a je časově ukončen až za efektivním odvětráním kouře, což by mohlo zajistit návrh dostatečného systému odvětrání kouře a také adekvátní sprinklerové zařízení.

b) Inicie v restauračním zařízení

V tomto úseku má největší riziko scénář  $S_8$ . Časově se jedná o obdobný případ jako v minulé situaci při iniciaci v sále divadla, ovšem zde není zařízení pro odvětrání kouře a tepla, takže je třeba věnovat zvýšenou pozornost účinnosti sprinklerů.

c) Inicie ve skladovacím sektoru

Tady je nejrizikovější scénář  $S_{13}$ , při němž dochází k výraznému ohrožení osob i mimo tento úsek, protože na relativně malé ploše skladiště dojde k akumulaci velkého množství kouře, který se dostane dále. Je proto nutné dbát zvýšené pozornosti samozavírači, který by neměl umožnit vývin kouře do sálu mezi návštěvníky.

Použití stromu událostí a následný výběr požárních scénářů je velmi závislý na odbornosti uživatele, který musí mít praxi v daném oboru, aby mohl s určitou přesností stanovovat pravděpodobnosti výskytu jednotlivých jevů. Nápomocny mu při tom mohou být dostupné statistiky, které spíše stanoví rámeček, ve kterém se lze pohybovat, ale v konkrétních objektech při konkrétních situacích se musí rozhodovat podle svých zkušeností nebo na základě kolektivního jednání s odborníky.

## 14. Aplikace pomocí modelu ARGOS

Matematický model ARGOS je produkt Dánského institutu Požární a bezpečnostní technologie a patří mezi dvou zónové modely, je schopen výpočtů až v pěti navzájem propojených úsecích. Je také schopen uživateli stanovit vyčíslenou škodu po požáru a mnoho dalších veličin. Pro přehlednost jsou výsledky exportovány do grafů přímo v programu, nebo lze je také převést do PDF či MS Excel.

### 14.1. Vypočítané scénáře v programu

V programu ARGOS byly vypočítány následující scénáře možného požáru:

1. Požár vnikl ve skladovací části objektu. K iniciaci došlo od nedopalku cigarety, která následně zapálila pohovku, jež slouží k odpočinku personálu. Průběh požáru měl velmi pomalý nárůst. Až v čase 6:03 došlo ke kritickým hodnotám optické hustoty, která přesáhla hodnotu 2 dB/m. V čase 6:38 se ve skladovacím prostoru snížila hladina čistého vzduchu na hranici 1,88 m. V čase 7:30 začal oheň ustávat, ale i přesto se teplota zvětšovala až se v čase 10:15 aktivoval sprinklerový systém a v 10:55 byl požár uhašen. Tento scénář je totožný se scénářem S<sub>11</sub>.
2. Dalším požárem, který byl do programu ARGOS zadán a následně vypočítán, bylo hoření odpadkového koše v sále. Největší rychlost vývinu tepla byla zhruba v první třetině hoření a kulminovala v druhé minutě. V čase 1:55 od začátku iniciace došlo v sále ke zhoršení optické hustoty až na hodnotu 1 dB/m. V čase 9:30 došlo k dohoření a samovolnému zhasnutí. Sprinklery nebyly aktivovány, takže se dá říct, že tato situace byla obdobná jako při scénáři S<sub>1</sub>.
3. Posledním scénářem bylo iniciování louže ethanolu v restauračním zařízení, kde se nachází spousta alkoholických nápojů. Po rozlité došlo k zapálení výparů kapaliny horkým zdrojem. Následoval rychlý nárůst rychlosti uvolňovaného tepla a začouzení. Již v čase 1:07 od počátku se zmenšila nezakouřená vrstva na vzdálenost 1,88 m od podlahy. V čase 9:37 došlo k aktivaci sprinklerů a samozavírače, který zavřel dveře mezi restaurací a divadelním sálem. V čase 10:19 byl požár uhašen. Tento scénář je označen v analýze jako S<sub>8</sub>.

Tyto tři vymodelované situace a jejich průběh v podobě grafů je součástí přílohy číslo 4. Všechny měly patnáctiminutové omezení, ale stačily se ukončit ještě před tímto limitem.

## 15. Aplikace pomocí modelu FDS

Počítačový model FDS (Fire Dynamics Simulator) je typu CFD a vyvinula jej společnost NIST. Jako každý model typu pole, vypočítává aktuální situaci ve všech bodech daného prostoru. Zadávání do tohoto programu je relativně složité, existuje spousta příkazů a klíčových slov, které musí být při tvorbě použity. Výsledkem mohou být určení rychlosti uvolňovaného tepla, teplota v jednotlivých řezech, tlak a další. Z velmi věrohodné vizualizace šíření kouře objektem se dá usoudit, v jakém čase a jak daleko se kouř dostane o určité teplotě a výšce zakouření. To jsou důležité parametry pro možnosti evakuace lidí. Negativem modelu FDS je jeho hardwarová náročnost.

### 15.1. Vypočítaný scénář v programu

Modelovaný scénář pomocí aplikace FDS, byl vypočítán ten, který byl ohodnocen číslem 1 a označen jako scénář  $S_{13}$  ve stromu událostí a číslem 2 s označením  $S_{12}$ , který je jen nepatrně méně ohodnocen stupněm rizika. Scénář  $S_{13}$  je specifický tím, že zde není požár potlačen reagující osobou, sprinklerovým systémem a ani nefungoval samozavírač mezi skladovacím prostorem a sálem pro diváky. V sále je také vyřazeno z provozu zařízení pro odvětrání kouře a tepla. Jedná se tedy o nejhorší možný scénář, který se může vyskytnout při iniciaci požáru ve skladovací místnosti. Nejprve se kouř usadil pod stropem skladovací místnosti nad spodní hranou průvlaku dveří. V čase 1:30 se začal dostávat přes dveřní otvor do sálu. Tam docházelo k pomalému rozptýlení pod stropní plochou. I po deseti minutách, kdy byla rovnoměrná vrstva kouře přes celý půdorys sálu, nebyl kouř natolik nízko, aby ohrožoval přímo na životech lidí v sále. Ti by taky měli dostatečně dlouho dobu pro evakuaci.

V druhém modelovaném scénáři označeném jako  $S_{12}$ , jsou dveře mezi sálem a skladovacím prostorem, kde došlo k iniciaci pohovky, uzavřeny zavíracím systémem. Nedochozí tedy k šíření kouře mezi diváky v sále. Zplodiny hoření zůstaly utěsněny ve skladu a diváci mají dostatečnou dobu pro evakuaci.

Model byl zjednodušen a není zde obsaženo všechno vybavení objektu, ale pro rozvoj kouře je dostatečný a věrohodný. Součástí sálu je podium, kde je umístěna rekvizita z převážně pěnového materiálu, v restauračním zařízení se nachází dlouhý pult a ve skladovací části je umístěna v blízkosti dveřního otvoru pohovka, kde došlo k iniciaci požáru. Vizualizace modelu je umístěna v příloze 5.

## 16. Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo objasnit, co se skrývá za slovním spojením požární inženýrství a jeho možnosti použití v praxi, při projektování požární bezpečnosti staveb. Nejdůležitějším prvkem je zvolit si bezpečnostní cíle, následně uplatnit dobrou strategii požární bezpečnosti a pokračovat dále podle postupů zmíněných na začátku bakalářské práce. Při tomto postupu se ke každému objektu přistupuje individuálně, to znamená, že je mu věnována daleko větší pozornost, než při aplikaci tabulkových norem, které ne vždy uchopí daný objekt v souladu s jeho „vnitřním životem“.

V praxi je velmi důležité vědět, kde může vzniknout požár, jakou pravděpodobnost vzniku v daném místě může mít a jaký bude jeho dopad na osoby, které se nacházejí v posuzovaném objektu. K tomu slouží návrh požárního scénáře, který popisuje událost od vzniku, až po reakci požárně bezpečnostních zařízení. Čím je ovšem projektant více zkušený, tím tyto požární scénáře více odrážejí skutečnost. K tomu je možné využít dostupné statistiky o iniciačních zdrojích požárů.

Jednotlivé požární scénáře lze simulovat v softwaru pro matematické modelování požáru. Výstupy z těchto modelů je možné využít pro stanovení možností evakuace v určitých fázích požáru, protože model je schopen zobrazit, v jakém čase a jak nízko se nacházela zakouřená vrstva, jaké procento kyslíku bylo v místnosti, jaké teploty dosahovala horní horká vrstva a mnoho dalších proměnných. Z těchto parametrů by se dalo usoudit, jestli na uživatele objektu nepůsobí takové podmínky, které se již neslučují s lidským životem.

Možnosti aplikace tohoto způsobu projektování požární bezpečnosti staveb jsou rozsáhlé. Jedná se o velmi mladý a moderní způsob, který si nejprve musí získat své příznivce, kteří budou využívat všech výhod, které požární inženýrství přináší.



## 17. Literatura

- [1] PURKISS, J. A. *Fire Safety Engineering: Design of Structures*. Elsevier, 2006, 389 s. ISBN 0750664436.
- [2] SCHOONBAERT, L. *Fire Safety Engineering*. CFPA, [200?], 10 s.
- [3] STENSTAD, V., BJORKMANN, W. R. *A Systematic Approach to Fire Safety Design*. 2000, 12 s.
- [4] WHITING, P. N. *Fire Engineering Reports and the Approval Process*. Australia, 1999, 8 s. ISSN 01117505.
- [5] KUČERA, P., KAISER, R. *Úvod do požárního inženýrství*. 1. vydání, Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2007, 173 s. ISBN 9788073850241.
- [6] GRAND, A. F. *Fire Standards in the International Marketplace*. ASTM International, 1995, 293 s. ISBN 0803120052.
- [7] KRUPPA, J. *Fire Safety Engineering Status and Applicability*. Third Efectis seminar, Oslo, 2005, 24 s.
- [8] PATTERSON, J. *Simplified Design for Building Fire Safety*. Wiley – IEEE, 1993, 344 s. ISBN 0471572365.
- [9] Zákon 186/2006 Sb., *O změně některých zákonů souvisejících s přijetím stavebního zákona a zákona o vyvlastnění*. Praha, 2006, 23 s.
- [10] Zákon 133/1985 Sb., *O požární ochraně*. Praha, 1985, 17 s.
- [11] Vyhláška ministerstva vnitra č. 23/2008 Sb. – *O technických podmínkách požární ochrany staveb*. Praha: Ministerstvo Vnitra, 2008, 30 s.
- [12] ČSN 73 0802. *Požární bezpečnost staveb – Nevýrobní objekty*. Praha: Český normalizační institut, 2000, 114 s.
- [13] JOHNSON, P. *Performance Based Fire Safety Regulation and Building Design*. 4<sup>th</sup> International Conference on Performance – Based Codes and Fire Safety Design Methods, Australia, DEStech Publication, 2002, 3 – 14 s. ISBN 193207824X.
- [14] FITZGERALD, P. *Fire Research Strategies in the Age of Performance – Based Codes and Standards*. SFPE, 2002, 5 s.
- [15] *Fire Research and Engineering – Third International Conference Proceedings*. Society of Fire Protection Engineering. Chicago: CRC Press, 1999, 440 s. ISBN 1566768888.
- [16] *SFPE Engineering Guide to Performance – Based Fire Protection Analysis and Design of Building*. 2nd Edition, Society of Fire Protection Engineering, USA, 2005, 145 s.

- [17] KARLSSON, B., QUINTIERE, J. G. *Enclosure Fire Dynamics*. CRC Press, 2000, 315 s. ISBN 0849313007.
- [18] OLENICK, S. M., CARPENTER, D. J. *An Updated International Survey of Computer Models for Fire and Smoke*. Journal of Fire Protection Engineering, Vol. 13, 2003, s. 87 – 103.
- [19] MEHAFFEY, J. R. *Mathematical Modeling of Fires*. ASTM International, 1988, 134 s. ISBN 080310992X.
- [20] COTE, A. T. *Organizing for Fire and Rescue Services*. Jones and Barlett Publishers, 2003, 589 s. ISBN 0877655774.

## **18. Seznamy**

### **18.1. Seznam obrázků**

obrázek 1: Proces požárního inženýrství

obrázek 2: Schéma rozdělení modelů požáru

obrázek 3: Model typu pole

obrázek 4: Zjednodušený půdorys objektu

obrázek 5: Strom událostí

### **18.2. Seznam tabulek**

tabulka 1: Statistika zdrojů požáru

tabulka 2: Přehled rizika a jeho hodnocení

### **18.3. Seznam příloh**

Příloha 1 Přehled modelů typu pole

Příloha 2 Přehled zónových modelů

Příloha 3 Přehled modelů evakuace

Příloha 4 Výsledky z modelu ARGOS

Příloha 5 Výsledky z modelu FDS

## Příloha 1 – Přehled modelů typu pole

tabulka 3 Přehled modelů typu pole [18]

Název modelu	Země původu	Stručný popis
ALOFT - FT	Spojené státy americké	Pohyb kouře z velkých venkovních ohňů.
CFX	Velká Británie	Všeobecný účelový software vhodný pro požáry a exploze.
FDS	Spojené státy americké	Nízkopočetní CFD kód určený pro chování ohně.
FIRE	Austrálie	CFD model určující spalovací rychlost a rychlost uhašení.
FLUENT	Spojené státy americké	Všeobecný účelový CFD software.
JASMINE	Velká Británie	Tento model předpovídá důsledky požáru pro ohodnocování konstrukčních problémů.
KAMELON FireEx	Norsko	CFD model požáru pro tepelnou odezvu budov.
KOBRA - 3D	Německo	CFD pro šíření kouře a přestup tepla ve složitějších dispozicích.
MEFE	Portugalsko	CFD model pro jeden nebo dva úseky obsahující časový průběh.
PHOENICS	Velká Británie	Víceúčelový CFD kód.
RM - FIRE	Kanada	Dvourozměrný model pro výpočet pohybu kouře pokojových požárů.
SMARTFIRE	Velká Británie	Model požáru typu pole.
SOFIE	Velká Británie/Švédsko	Model požáru typu pole.
SOLVENT	Spojené státy americké	CFD model pro šíření kouře

		a tepla v tunelech.
SPLASH	Velká Británie	Tento model popisuje interakci sprinklerů s požárními plyny.
STAR - CD	Velká Británie	Všeobecný účelový CFD software.
UNDSAFE	Spojené státy/Japonsko	Požární model pro použití v otevřených nebo uzavřených porstorech.

## Příloha 2 – Přehled zónových modelů

tabulka 4 Přehled zónových modelů [18]

Název modelu	Země původu	Stručný popis
ARGOS	Dánsko	Více úsekový zónový model.
ASET	Spojené státy americké	Jednopokojový model s žádným větráním.
BRANZFIRE	Nový Zéland	Vícepokojový model zahrnující šíření plamene a mechanickou ventilaci.
BRI - 2	Spojené státy/Japonsko	Dvouvrstvý model šíření kouře pro mnohoposchodové a více úsekové oblasti.
CALTECH		Před flashoverový model.
CCFM.VENTS	Spojené státy americké	Vícepokojový model s větráním.
CFAST/FAST	Spojené státy americké	Model se souborem korelačních programů. CFAST je výpočetní.
CFIRE - X	Německo	Model zejména pro hoření kapalných uhlovodíkových louží.
CiFi	Francie	Vícepokojový model.
COMPBRN - III	Spojené státy americké	Model pro jeden úsek.
COMF - 2	Spojené státy americké	Jednopokojový po-flashoverový model.
DACFIR - 3	Spojené státy americké	Model pro kokpit letadla.
DSLAYV	Švédsko	Model pro jeden úsek.
FASTlite	Spojené státy americké	Omezená verze CFASTu.
FFM	Spojené státy americké	Před flashoverový model.
FIGARO - II	Německo	Model k určování neudržitelnosti.
FIRAC	Spojené státy americké	Obsahuje složitější ventilační

		systemy.
FireMD	Spojené státy americké	Jednopokojový dvouzónový model.
FIREWIND	Austrálie	Několika pokojový model s více menšími submodely.
FIRIN	Spojené státy americké	Vícepokojový model s vedeními, větráky a filtry.
FIRM	Spojené státy americké	Dvouzónový jednoúsekový model.
FIRST	Spojené státy americké	Jednopokojový model obsahující ventilaci.
FMD	Spojené státy americké	Model pro atria.
HarvardMarkVI	Spojené státy americké	Dřívější verze od FIRStu.
HEMFAST	Spojené státy americké	Požár nábytku v místnosti.
HYSLAV	Švédsko	Předflashoverový model.
IMFE	Polsko	Jednoúsekový model s ventilací.
MAGIC	Francie	Dvouzónový model pro jaderné elektrárny.
MRFC	Německo	Několika pokojový model pro výpočet pohybu kouře a tepelné zatížení konstrukce.
NAT	Francie	Jedno úsekový model s pozorností na reakci konstrukce.
NBS	Spojené státy americké	Předflashoverový model.
NRCC1	Kanada	Jedno úsekový model.
NRCC2	Kanada	Model určený pro rozsáhlé kancelářské prostory.
USU	Spojené státy americké	Jedno úsekový model.
Ozone	Belgie	Model s pozorností na reakci konstrukce.
POGAR	Rusko	Jedno úsekový model.

RADISM	Velká Británie	Model se zaměřením na sprinklery a ventilaci.
RFIRES	Spojené státy americké	Předflashoverový model.
R-VENT	Norsko	Jednopokojový kouřový model s ventilací.
SFIRE – 4	Švédsko	Poflashoverový zónový model.
SICOM	Francie	Jedno úsekový model.
SMKFLW	Japonsko	Jedno zónový model pro stanovení pohybu kouře.
SmokePro	Austrálie	Jedno úsekový kouřový model.
SP	Velká Británie	Předflashoverový model.
WPI - 2	Spojené státy americké	Jedno úsekový model.
WPIFIRE	Spojené státy americké	Vícepokojový model.
ZMFE	Polsko	Jedno úsekový model.



## Příloha 3 – Přehled modelů evakuace

tabulka 5 Modely evakuace [18]

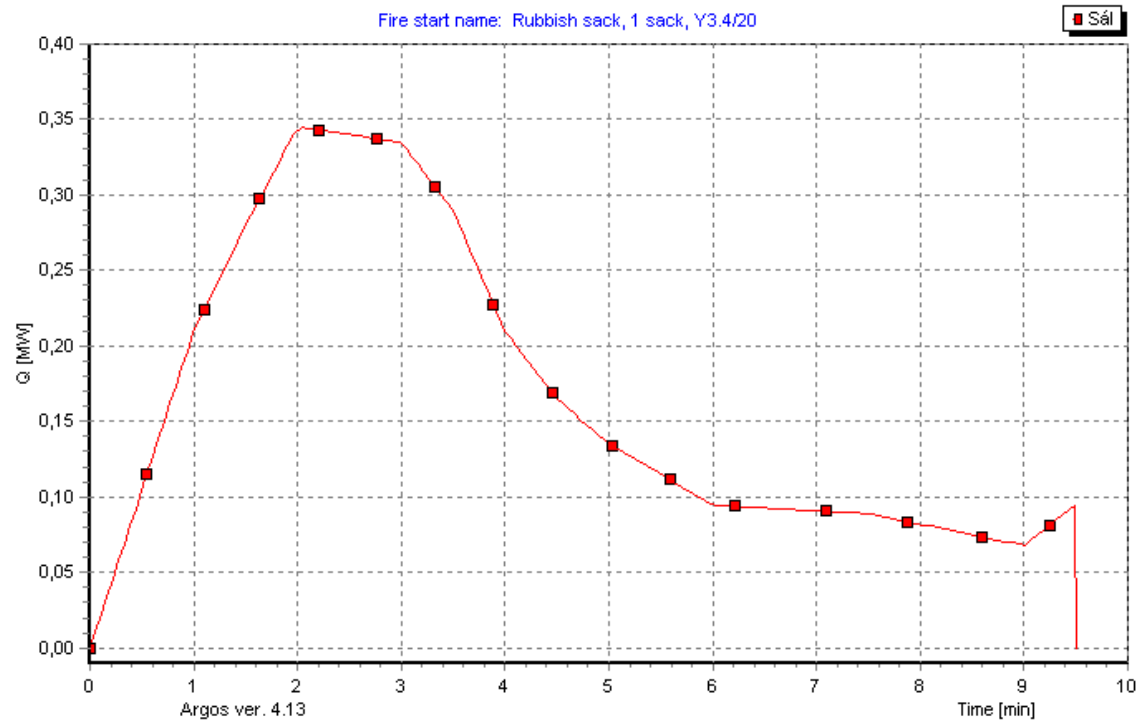
Název modelu	Země původu	Stručný popis
Allsafe	Norsko	Evakuační model zahrnující lidský faktor.
ASERI	Německo	Pohyb lidí ve složitých dispozicích zahrnující chování a reakce na kouř a šíření požáru.
buildingEXODUS	Velká Británie	Model zahrnující interakce mezi tisíci lidmi ve složitých dispozicích.
EESCAPE	Austrálie	Evakuace více podlažních budov přes schodiště.
EGRESS	Velká Británie	Evakuace pomocí buňkových automatů ve složitějších dispozicích zahrnující vizualizaci.
EgressPro	Austrálie	Tento program zahrnuje reakci spriklerových systémů.
ELVAC	Spojené státy americké	Aplikace, která užívá pro evakuaci výtahů.
EVACNET 4	Spojené státy americké	Vypočítává optimální evakuační plán budovy.
EXIT89	Německo	Evakuace z výškových budov.
EXITT	Spojené státy americké	Uzlový a obloukový typ evakuačního modelu zahrnující chování lidí.
EVACS	Japonsko	Evakuační model pro výpočet optimálního návrhu.
PATHFINDER	Spojené státy americké	Evakuační model.
SEVE - P	Francie	Software s grafickým

		výstupem zobrazující překážky.
Simulex	Velká Británie	Model, který modeluje evakuaci v mnoho poschod'ových budovách.
STEPS	Velká Británie	Evakuační model.
WAYOUT	Austrálie	Evakuační část balíčku FireWind programů.

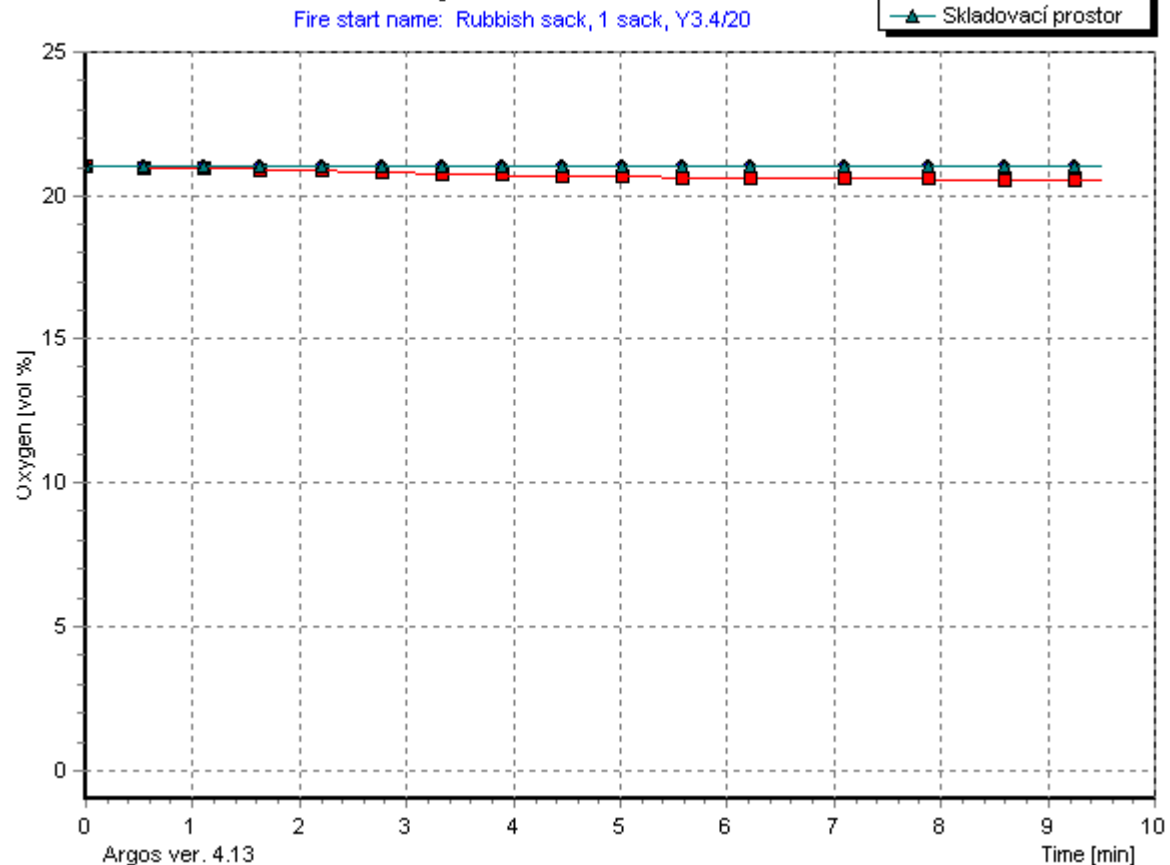
# Příloha 4 – Výsledky z modelu ARGOS

Výsledky reprezentující požární scénář  $S_1$

## Rychlost uvolňování tepla (HRR)



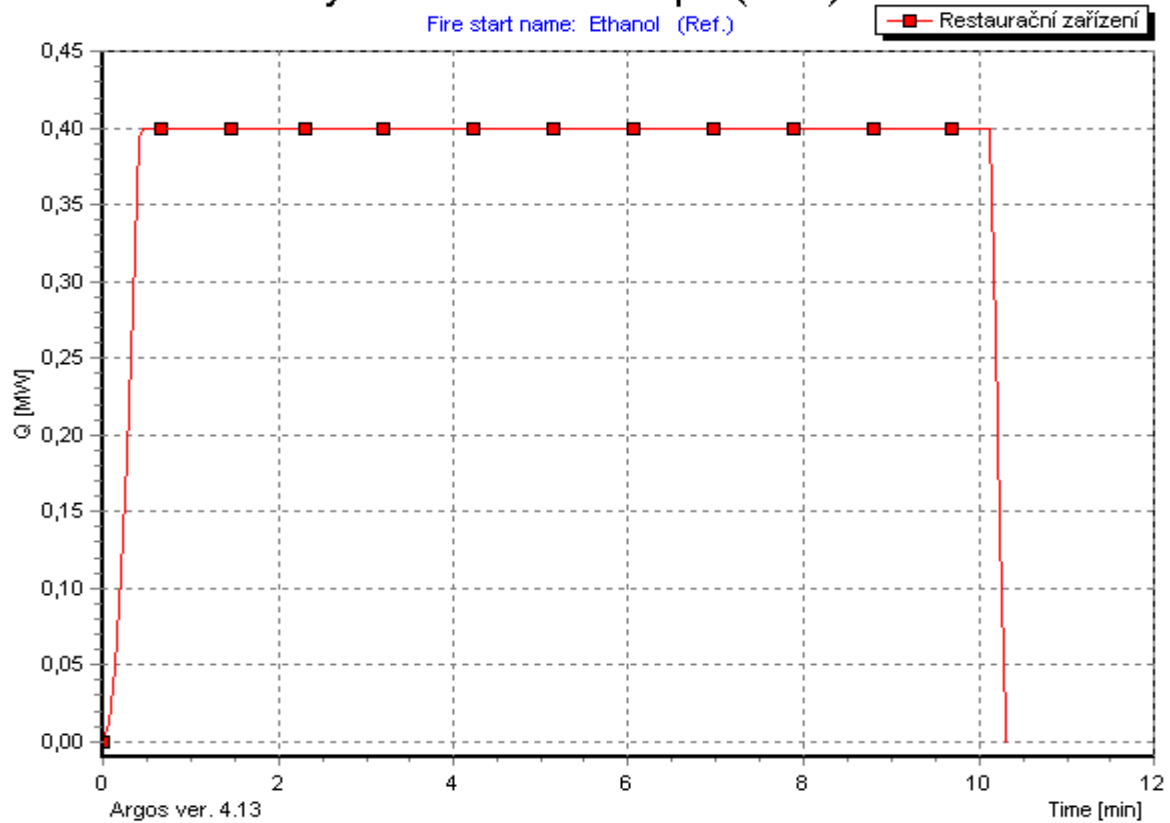
## Podíl kyslíku v místnosti



Výsledky reprezentující požární scénář S<sub>8</sub>

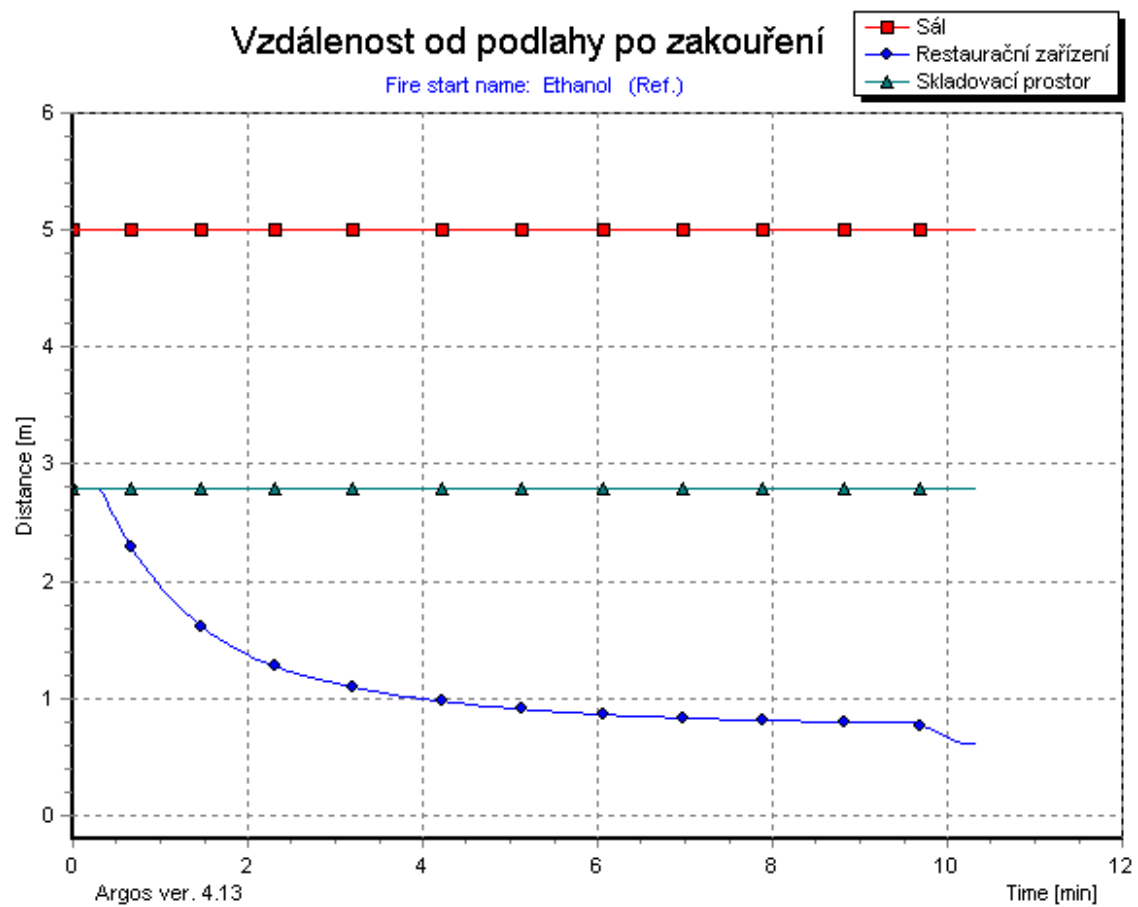
### Rychlost uvolňování tepla (HRR)

Fire start name: Ethanol (Ref.)

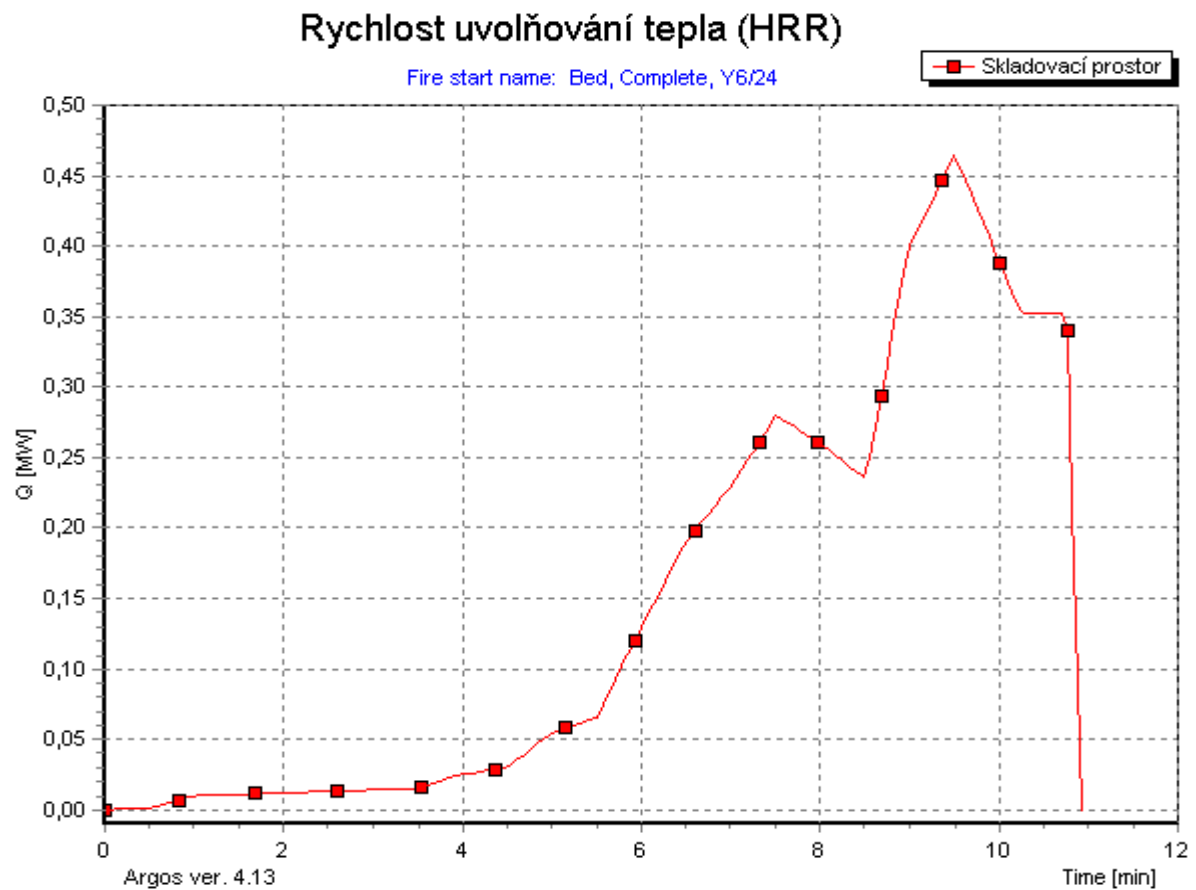
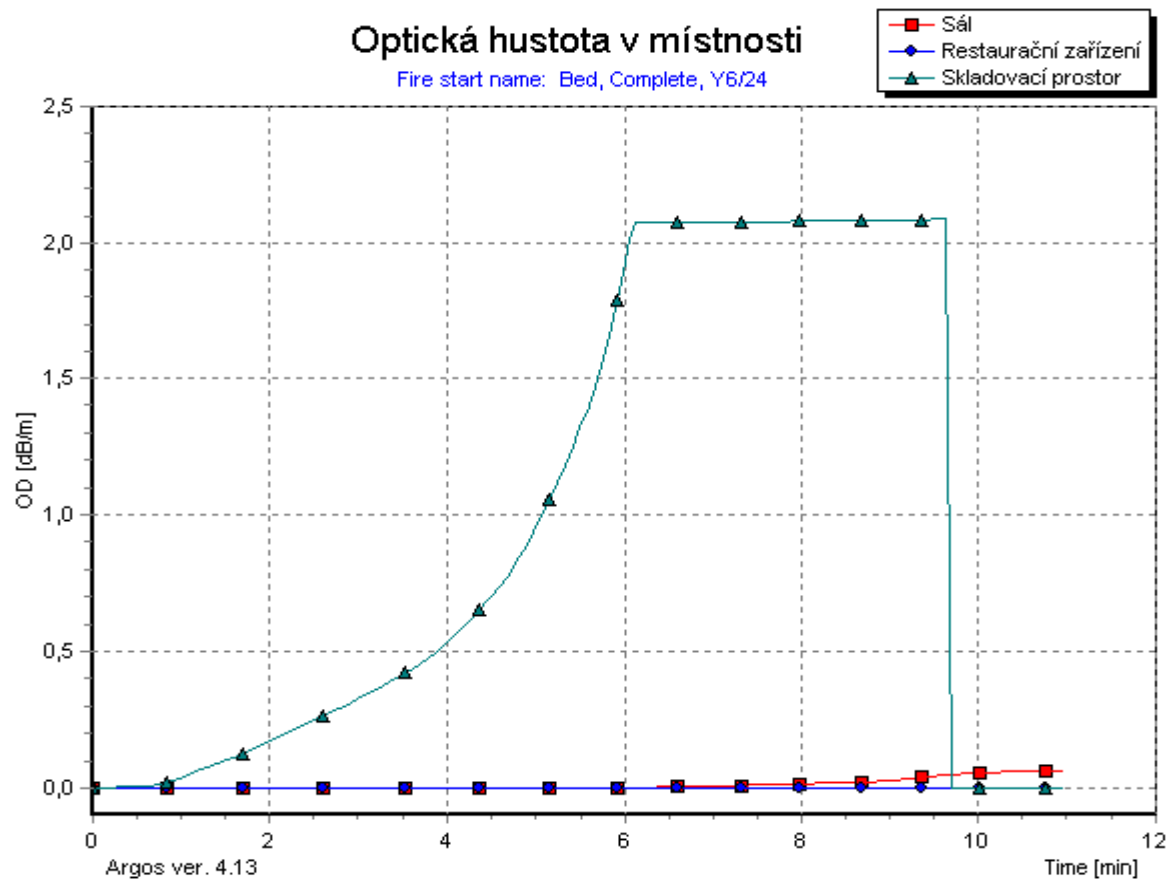


### Vzdálenost od podlahy po zakouření

Fire start name: Ethanol (Ref.)

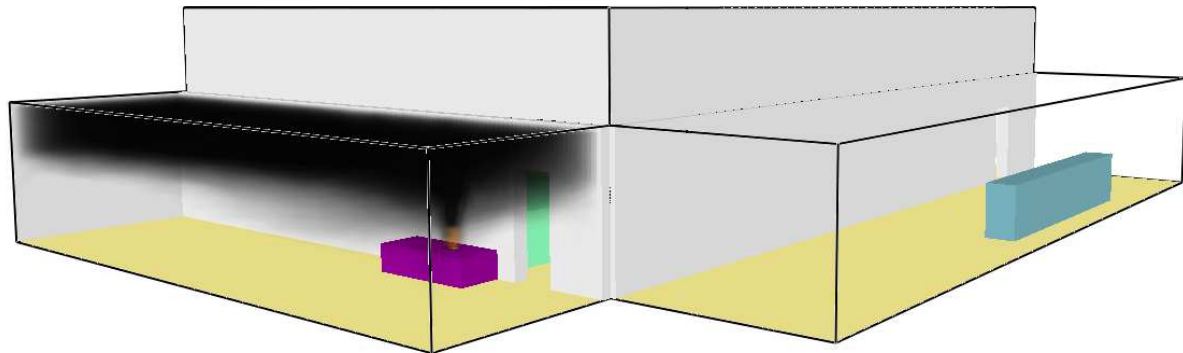


Výsledky reprezentující požární scénář S<sub>11</sub>



## Příloha 5 – Výsledky z modelu FDS

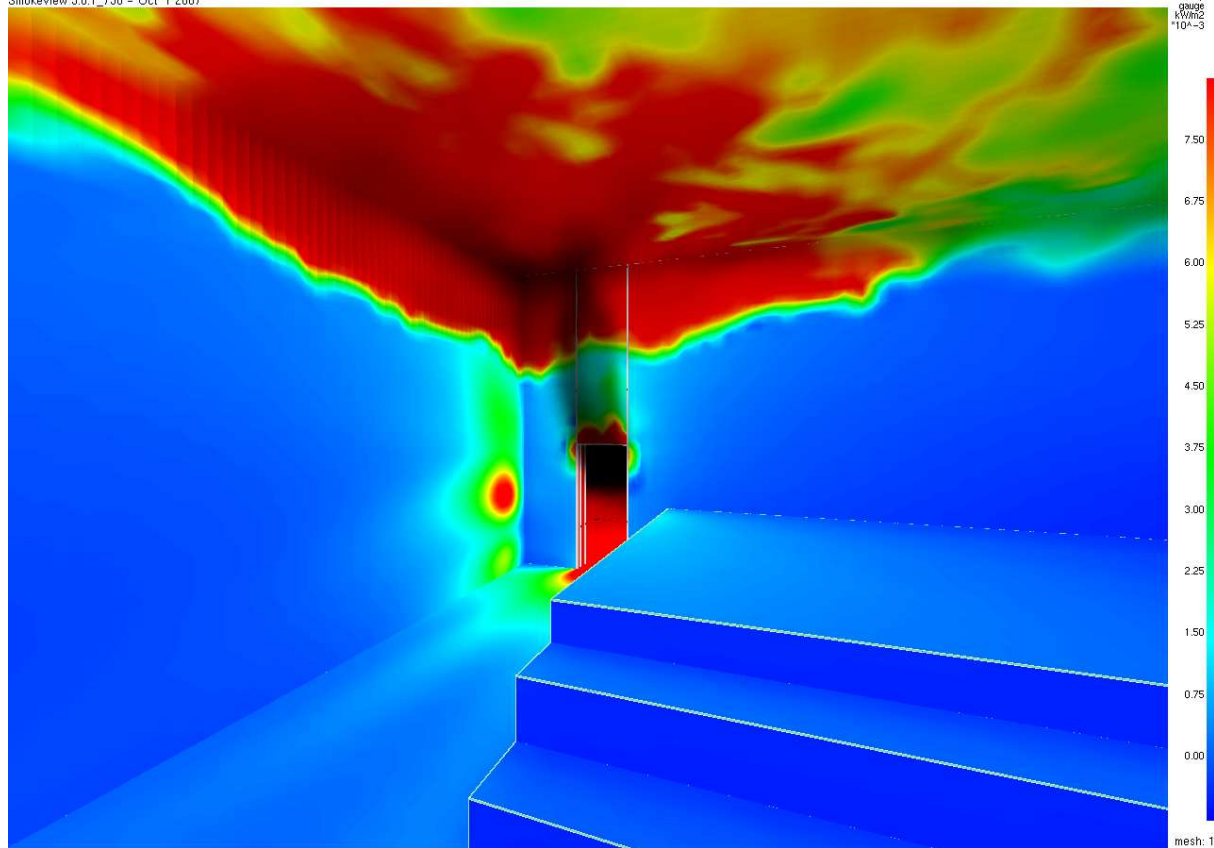
Výsledky reprezentující požární scénář S<sub>13</sub>



Frame: 113  
Time: 90.4

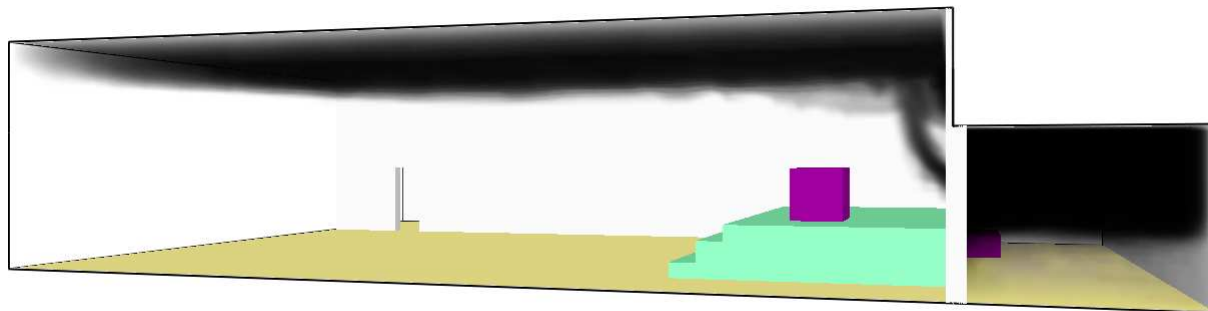
V čase 90 sekund od začátku dochází k rozšíření kouře do sálu.

Smokeview 5.0.1\_730 - Oct 1 2007

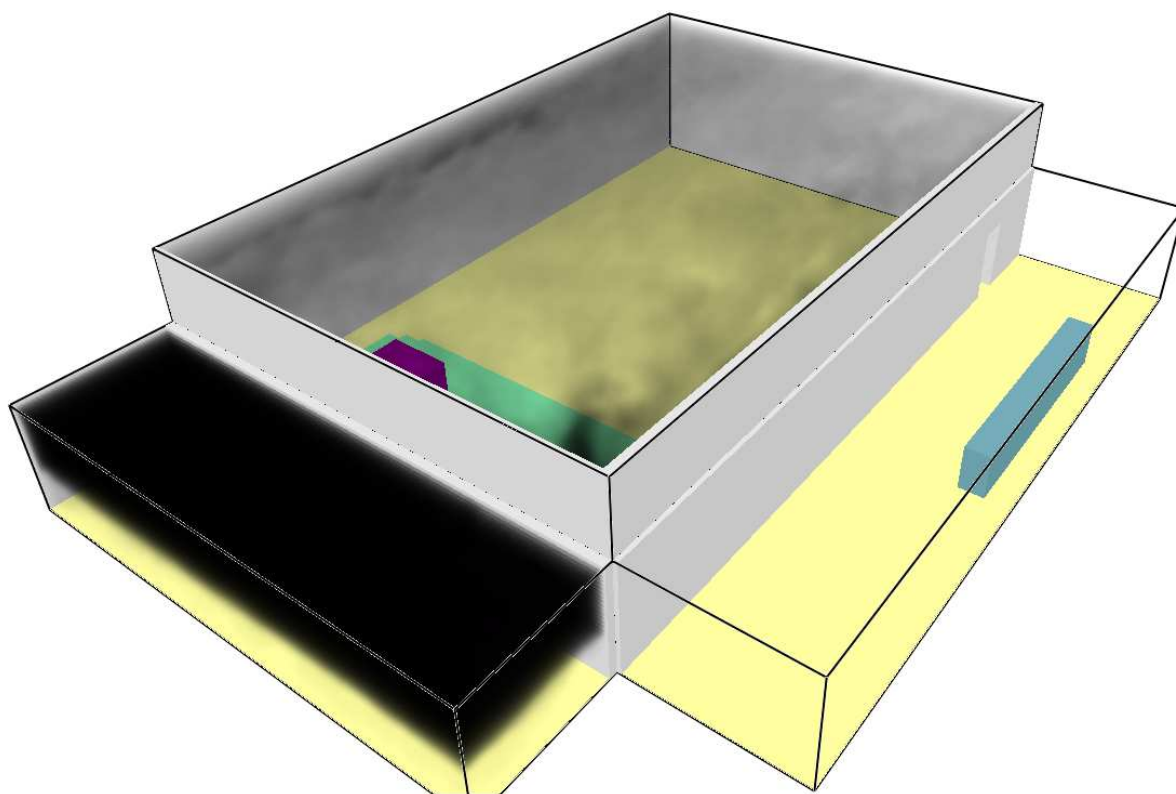


Frame: 790  
Time: 632.0

Zde je již 10 . minuta a kouř se šíří zcela po celé ploše stropu sálu.



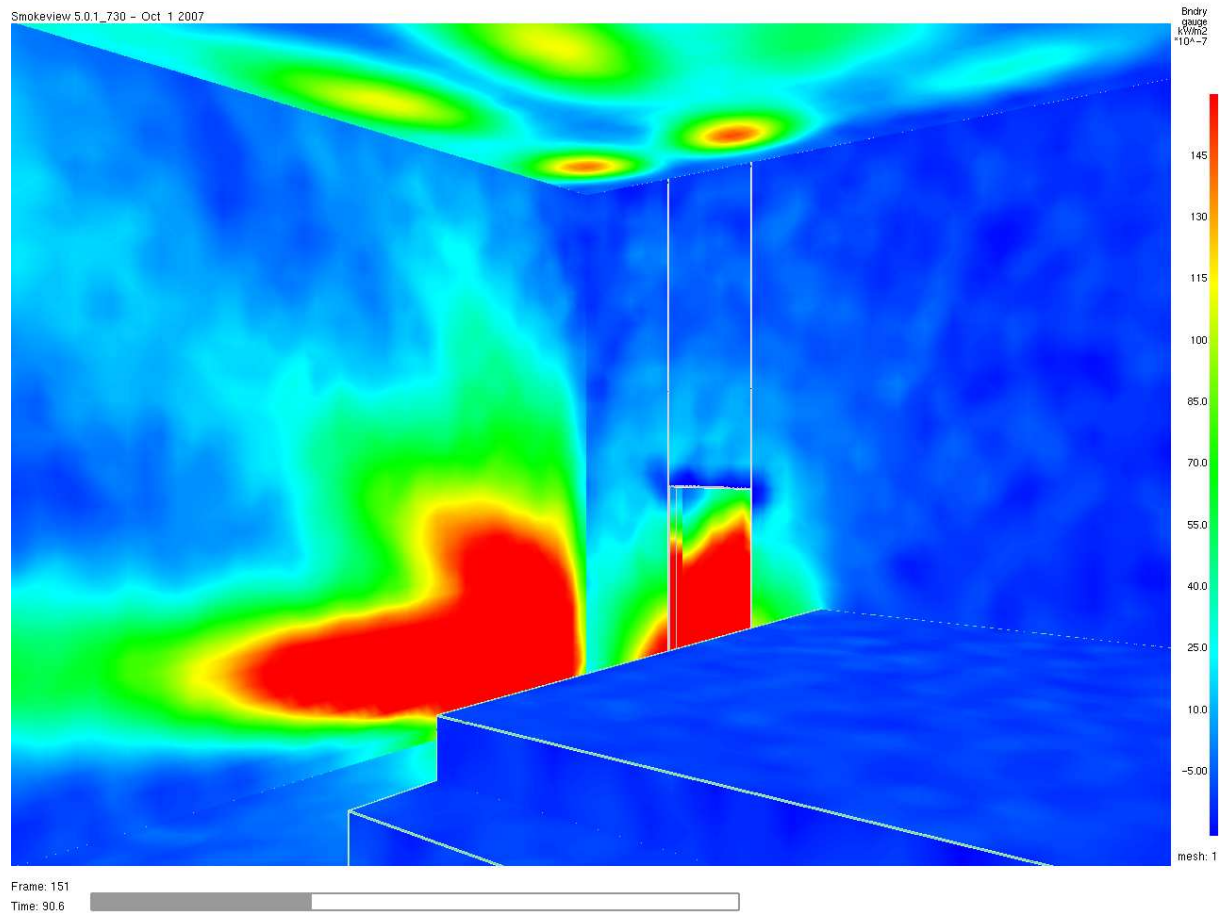
Frame: 790  
Time: 632.0



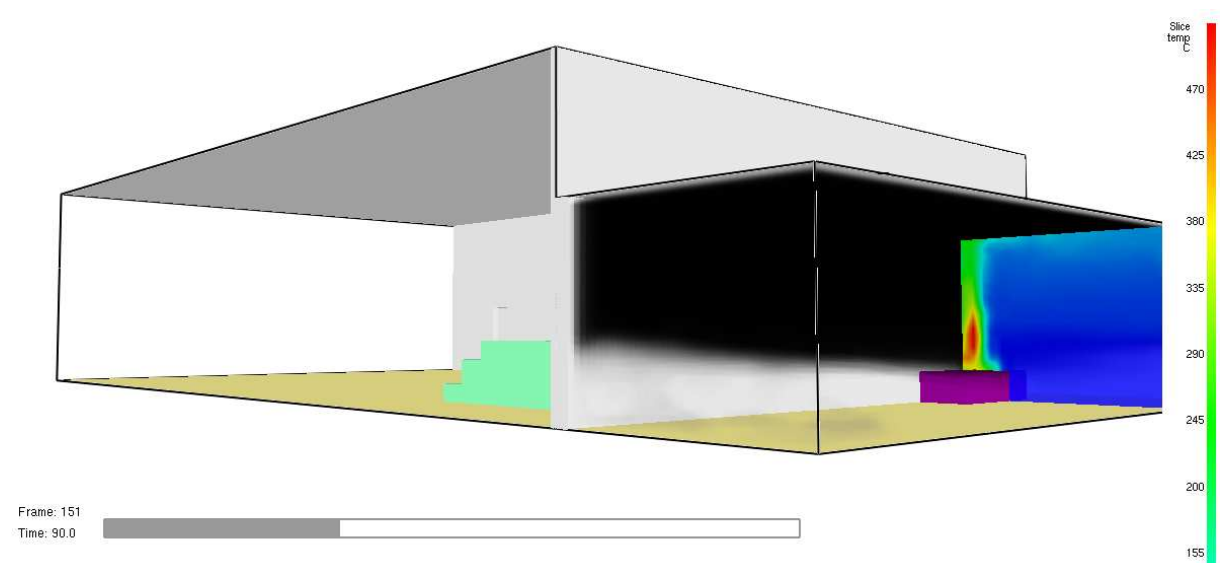
Frame: 790  
Time: 632.0

Na těchto dvou obrázcích jde vidět, jakou tloušťku má horní zakouřená vrstva, je to zhruba dva metry pod stropní konstrukcí. Kouř tvoří souvislou vrstvu po celém půdorysu sálu.

## Výsledky reprezentující požární scénář S<sub>12</sub>



Na tomto obrázku jde vidět jak teplo působí na zavřené dveře v čase 90 sekund. V tomto čase dochází při otevřených dveřích k průniku kouře do sálu.



V čase 90 sekund při zavřených dveřích je teplota nad pohovkou přes 400 °C.