

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ



POŽÁR OSOBNÍHO AUTOMOBILU

Praha 2012

Bc. Martin Benýšek

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne 19. 12. 2012

.....

Martin Benýšek

Děkuji prof. Ing. Františku Waldovi, CSc. za odborné vedení, poskytnutí potřebných materiálů a znalostí a za míru konzultací při řešení problémů.

Martin Benýšek

Obsah

1	Úvod	4
2	Požár automobilu	5
2.1	Průběh požáru	5
2.2	Určení teplot	6
2.3	Klasifikace aut podle množství uvolněné energie	6
2.4	Rychlost uvolňování tepla	7
2.5	Definice podle ČSN EN 1991-1-2	10
2.6	Hodnoty HRR podle druhu dopravního prostředku	10
2.7	Experimenty	12
2.8	Měření dalších veličin	15
2.9	Popis testu požáru automobilu	15
2.10	Modelování požárů automobilů	17
3	Šíření požáru	20
3.1	Model RHR při požáru v garážích	20
3.2	Experimenty v otevřené garáži	21
4	Instalace sprinklerů	23
4.1	Úvod	23
4.2	Model vlivu sprinklerů dle ČSN EN 1991-1-2	24
4.3	Aplikace normy při experimentu	24
5	Praktická část	26
5.1	Úvod	26
5.2	Statistika vzorků	26
5.3	Vyhodnocení vzorků	28
6	Závěr	30
7	Literatura	31

Seznam použitých zkratk

RHR - rate of heat release – rychlost uvolňování tepla

HRR - heat release rate – rychlost uvolňování tepla

HRRPUA - heat release rate per unit area - rychlost uvolňování tepla na jednotku plochy

SSHZ – samočinné stabilní hasicí zařízení

1 Úvod

Požáry osobních vozidel způsobují ztráty na majetku a představují riziko pro zdraví a životy lidí. Nebezpečné jsou hlavně požáry v tunelech a v garážích a to zejména kvůli přestupu požáru z vozidla na vozidlo a kvůli množství kouře uvolněného při hoření. Při požáru vozidel vzniká velké množství toxických látek, které jsou škodlivé a nebezpečné pro životní prostředí.

Popis požáru vozidel se provádí pomocí křivky rychlosti uvolňování tepla. Tato křivka je odlišná pro různé druhy automobilů v závislosti na místě, kde vozidlo hoří. Požární scénáře se rozdělují na: volná prostranství, mosty, otevřené garáže, uzavřené garáže a tunely. V garážích a tunelech lze využít sprinklery, které umožní zvýšení počtu parkovacích míst, snižují teploty při hoření a přestup požáru mezi vozidly.

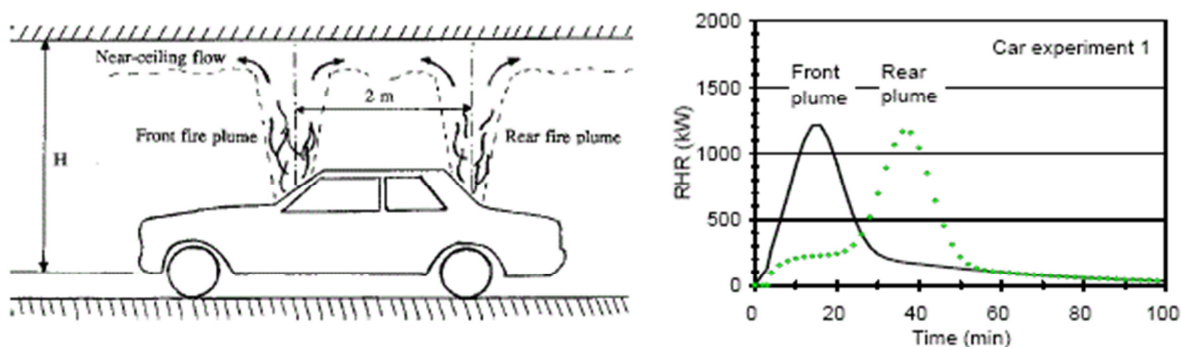
Křivku rychlosti uvolňování tepla lze popsat více modely. Lze ji určit numericky pomocí softwarů nebo analyticky pomocí vztahů. Přesný popis křivky a zjištění chování materiálů při požáru lze zjistit malými nebo velkorozměrnými experimenty.

2 Požár automobilu

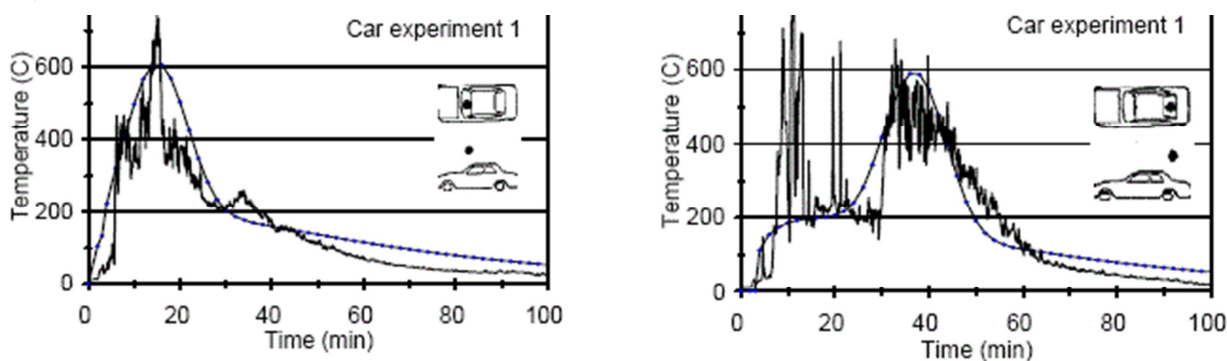
2.1 Průběh požáru

Požár osobního automobilu je definován dvěma plameny. Automobil lze uvažovat jako dobře zapouzdřenou konstrukci, která má oddělené otvory – okna, a není proto možné adekvátně popisovat tento druh požáru pouze jedním plamenem. Plamen v přední části, myšleno vynoření plamenů ze středu čelního skla, popisují požár přední části, kde hlavním palivem je motor, přední pneumatiky a přední sedadla pro pasažéry. Zadní plamen, myšleno vynoření plamenů ze středu zadního okna, popisuje zadní část vozidla, kde palivo (benzín nebo nafta), zavazadlový prostor, zadní pneumatiky a zadní místa pro pasažéry jsou hlavním palivem pro požár (Mangs, 2004).

Křivka RHR charakterizuje stabilní, celkové hoření, které je ekvivalentně rozděleno mezi přední a zadní plameny. Křivka rychlosti uvolňování tepla a teploty v závislosti na čase ze přední a zadní části je zobrazena na Obr. 2-1 a Obr. 2-2 (Mangs, 2004).



Obr. 2-1 – Rozdělení plamene na přední a zadní část a jejich křivky RHR (Mangs, 2004)



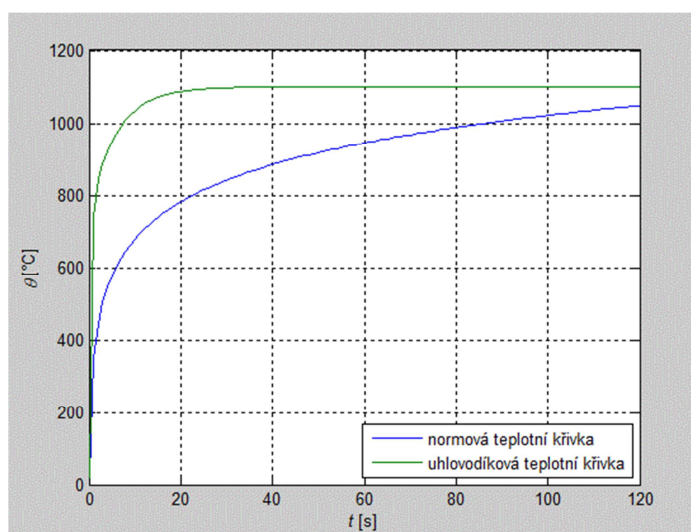
Obr. 2-2 – Průběhy teploty předního a zadního plamene (Mangs, 2004)

Obr. 2-2, vlevo, zobrazuje průběh teploty v přední části automobilu, vpravo je zadní část. Graf plnou čarou je z výsledků měření z experimentu, tečkovaná čára zobrazuje vypočtené hodnoty. Umístění měřících termočlánků je znázorněno pomocí teček na schématu automobilu (Mangs, 2004).

2.2 Určení teplot

Teploty lze stanovit přímým měřením při experimentu pomocí termočlánků, nebo určit výpočtem.

Nominální normová křivka, viz ČSN EN 1991-1-2, popisuje hoření v budovách, ale je konzervativní, pokud se určuje teplota plynů v tunelech hlavně proto, že je zde pomalejší nárůst teplot, než byl zjištěn při experimentech. Hydrokarbonová křivka HC byla vyvinuta v sedmdesátých letech dvacátého století. Hlavní rozdíl mezi těmito dvěma křivkami je rychlejší nárůst a rozdílný vrchol teplot. Ani jedna z těchto křivek není přesná při určování teplot (Mangs, 2004).



Obr. 2-3 – Rozdíl křivek ISO 834 a HC křivky (Benýšek, 2012)

K dispozici jsou dále pokročilé metody a software, kterým se dá vystihnout reálný průběh teplot a požáru.

2.3 Klasifikace aut podle množství uvolněné energie

Podle uvolněné energie při požáru mohou být evropské automobily rozděleny do pěti kategorií, jak znázorňuje Tab. 1. Pro každou kategorii podle Tab. 1 je v Tab. 2 zobrazena průměrná hodnota uvolněné energie a úbytek hmoty. Požáry aut jsou studovány mnoho let, ale studie rychlosti uvolňování tepla aut začala až s testem uskutečněného VTT ve Finsku v roce 1991 s Požární výzkumnou stanicí v Anglii a INERIS ve Francii. Zaměření testů bylo pro nové automobily, které byly umístěny v blízkosti stěny nebo rohu v otevřených parkovištích s existujícím stropem, a pro zkoumání přestupu požáru mezi dvěma vozidly.

Uvolněná energie v tabulce je uvedena na základě celkového shoření vozidla s plnou nádrží paliva (Zhao & Kruppa, 2004).

Tab. 1 – Druhy aut a jejich zařazení do kategorií (Zhao & Kruppa, 2004)

Výrobce	Kategorie 1	Kategorie 2	Kategorie 3	Kategorie 4	Kategorie 5
Peugeot	106	306	406	605	806
Renault	Twingo, Clio	Megane	Laguna	Safrane	Espace
Citroen	Saxo	ZX	Xantia	XM	Evasion
Ford	Fiesta	Escort	Mondeo	Scorpio	Galaxy
Opel	Corsa	Astra	Vectra	Omega	Frontera
Fiat	Punto	Bravo	Tempra	Croma	Ulysse
Volkswagen	Polo	Golf	Passat	-	Sharan

Tab. 2 – Hodnoty uvolněné energie a hmotnosti hořlavého materiálu pro jednotlivé kategorie (Zhao & Kruppa, 2004)

Kategorie	Hmotnost hořlavého materiálu	Uvolněná energie	Hmotnost automobilu
	[kg]	[MJ]	[kg]
1	200	6000	850
2	250	7500	1000
3	320	9500	1250
4	400	12000	1400
5	400	12000	1400

2.4 Rychlost uvolňování tepla

Rychlost uvolňování tepla popisuje míru růstu a velikost požáru. Pro úbytek hmoty m se stanovuje rychlost uvolňování tepla ze vztahu:

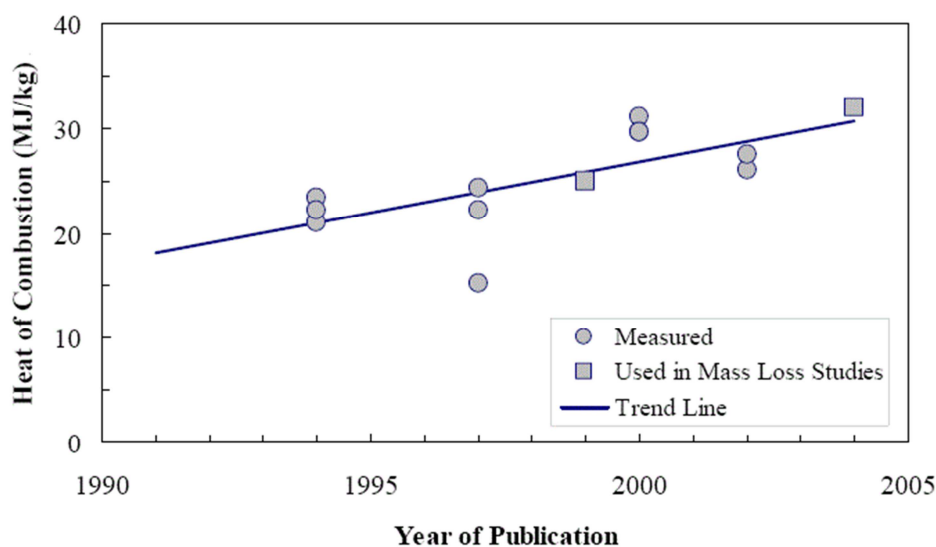
$$Q = \chi \times m \times \Delta H_c \quad (1)$$

kde spalovací účinnost χ určuje neúplné spalování a ΔH_c je spalné teplo, které bylo určeno a tabelováno pro odlišná paliva (Mangs, 2004).

Tab. 3 a Obr. 2-4 zobrazují celkové uvolněné teplo, úbytek hmoty, spalné teplo a rok kdy tyto hodnoty byly publikovány (Janssens, 2008).

Tab. 3 – Hodnoty uvolněného tepla, úbytku hmoty a spalného tepla (Janssens, 2008)

Č.	Celkové uvolněné teplo	Celkový úbytek hmoty	Spalné teplo	Rok publikace
	[MJ]	[kg]	[MJ/kg]	
1	3300	141	23,4	1994
2	3000	143	21,0	1994
3	3900	176	22,2	1994
4	2100	138	15,2	1997
5	6670	275	24,3	1997
6	4090	184	22,2	1997
7	3100	100	31,0	2000
8	3200	108	29,6	2000
9	8000	270	29,6	2000
10	6806	262	26,0	2002
11	7000	255	27,5	2002



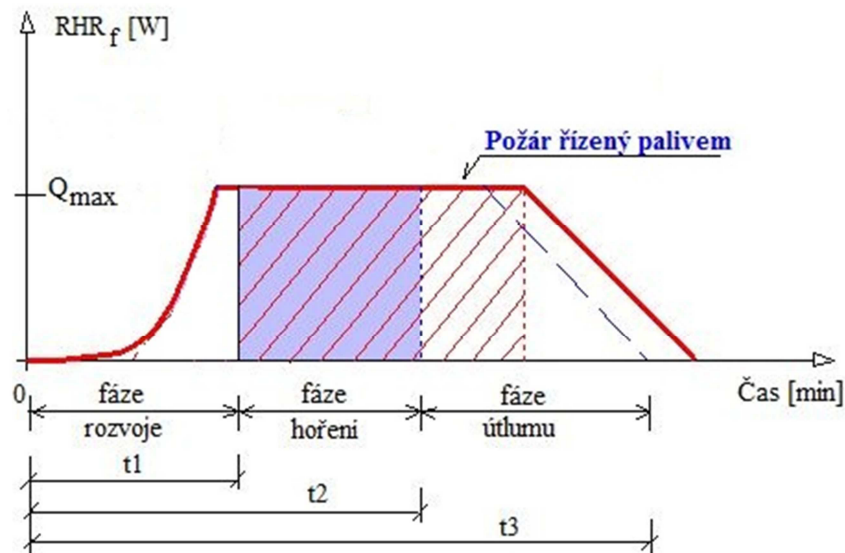
Obr. 2-4 – Graf závislosti spalného tepla a roku publikace (Janssens, 2008)

Rozvoj a útlum požáru je ovlivněn rychlostí odhořívání požárního zatížení v čase. Shodné požární zatížení může hořet velmi rychle nebo velmi pomalu, což vede k naprosto rozdílným teplotním křivkám.

Hodnota rychlosti uvolňování tepla ovlivňuje průběh teploty plynů v čase. Fáze rozvoje, kdy z požáru malých rozměrů vzniká požár rozsáhlý, je závislá na množství kyslíku dostupného při hoření. Při dostatečném přístupu kyslíku do místa hoření je rychlost uvolňování tepla ovlivněna množstvím požárního zatížení v požárním úseku – požár řízen palivem. V případě malých ploch otvorů obvodových konstrukcí je rychlost uvolňování tepla ovlivněna nedostatečným množstvím kyslíku pro hoření – požár řízen ventilací. U obou případů dochází k razantnímu nárůstu rychlosti uvolňování tepla RHR po celkovém vzplanutí tzv. flashover

efektu. Tento okamžik určuje přechod mezi lokálním a prostorovým požárem, který pohltí veškeré hořlavé materiály požárního úseku (Wald & Horová, 2012).

Dále je popsán postup výpočtu křivky RHR (Sokol, 2011).



Obr. 2-5 – Popis křivky RHR (Sokol, 2011)

Rychlost uvolňování tepla ve fázi rozvoje lze vyjádřit

$$Q(t) = 1MW \times \left(\frac{t}{t_\alpha} \right)^2 \quad (2)$$

kde t je čas [s]

t_α doba potřebná pro dosažení uvolňování tepla 1 MW.

Maximální dosažená rychlost uvolňování tepla ve fázi hoření, pokud je požár řízený palivem, lze popsat

$$Q_{\max} = RHR_f \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \quad (3)$$

Fáze hoření končí v okamžiku, kdy je spotřebováno 70% celkové energie Q_{fi} , je

$$Q_{fi}(t) = Q_{\text{celkové}} = q_{fi,d} \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \quad (4)$$

Čas, kdy dojde k ukončení fáze rozvoje, lze vyjádřit

$$t_1 = t_\alpha \cdot \sqrt{\frac{Q_{\max}}{1000}} \quad (5)$$

Čas, kdy dojde k ukončení fáze hoření, se popíše jako

$$t_2 = \frac{2}{3} \cdot t_\alpha \cdot \sqrt{\frac{Q_{\max}}{1000}} + 0,7 \cdot \frac{O_{fk} \cdot 1000}{Q_{\max}} \quad (6)$$

Čas, kdy dojde k ukončení fáze útlumu, se stanoví z

$$t_3 = t_2 + \frac{O_{fk} \cdot 1000}{Q_{\max}} \quad (7)$$

2.5 Definice podle ČSN EN 1991-1-2

Rychlost uvolňování tepla se značí Q a je v normě ČSN EN 1991-1-2 popsána jako

$$Q = 10^6 \times \left(\frac{t}{t_\alpha} \right)^2 \quad [\text{W}] \quad (8)$$

kde t je čas [s];

t_α je doba potřebná pro dosažení uvolňování tepla 1 MW.

Parametr t_α a maximální rychlost uvolňování tepla jsou pro různé provozy uvedeny v tabulce E.5 v normě ČSN EN 1991-1-2. Při velmi rychlém šíření požáru odpovídá parametr $t_\alpha = 75$ s.

Fáze rozvoje je omezena vodorovnou rovinou, odpovídající ustálenému stavu. Tato rovina je omezena fází útlumu hoření (dohořívání), která začíná při shoření 70% celkového požárního zatížení. Fázi útlumu hoření lze vyjádřit jako lineární pokles, začínající po vyhoření 70% požárního zatížení a končící po jeho úplném vyhoření.

Pokud je v podmínkách požáru řízeného větráním maximální hodnota rychlosti uvolňování tepla snížena, musí být křivka rychlosti uvolňování tepla protažena tak, aby odpovídala existující energii uvolněné požárním zatížením. Pokud není křivka protažena, předpokládá se, že existuje externí hoření, které vyvolává nižší teplotu plynů v úseku (ČSN EN 1991-1-2 - Zatížení konstrukcí vystavených účinkům požáru, 2006).

2.6 Hodnoty HRR podle druhu dopravního prostředku

Tab. 4 zobrazuje hodnoty přibližného maximálního HRR pro různé druhy dopravních prostředků, viz (Li, 2004).

Tab. 4 – Hodnoty HRR podle druhu dopravního prostředku (Li, 2004)

Druh dopravního prostředku	Maximální HRR [MW]	
	Ingason (2001)*	Shipp (2002)
Malé osobní auto	2,5	8
Velké osobní auto	5	
2 - 3 osobní auta	8	-
Dodávkové auto	15	-
Nákladní auto	-	17
Autobus	20	-
Školní autobus	-	30
Kamión s hořlavým zbožím (obecný případ)	20 - 30	-
Vlak	-	13 - 50
Vagon metra	-	35
Těžké nákladní vozidlo	-	120
Cisterna s benzinem	200	-

*) Hodnoty HRR jsou z experimentů v tunelu

Rychlosti uvolňování tepla pro malá a velká osobní vozidla kolísají mezi 1,5 až 8 MW, ale většina testů ukazuje hodnoty HRR menší než 5 MW. Když hoří dvě vozidla, maximální hodnota se pohybuje mezi 3,5 až 10 MW. Byla zjištěna velká různorodost v čase dosahu vrcholu hodnot HRR, který je mezi 10 až 55 min. Podle dat, která jsou prezentována v literaturách, se zjistila tendence, že vrchol HRR roste lineárně s celkovou hodnotou výhřevností osobních automobilů přítomných při požáru. Analýza dat ukázala, že průměrné navýšení je přibližně 0,7 MW/GJ. Nová vozidla uvolňují více energie, než stará. Bohužel není k dispozici mnoho testů pro autobusy, takže není přesně známo jejich chování při požáru. Tab. 5 zobrazuje hodnoty výhřevnosti a maxima HRR dvou testů autobusů a jiných dopravních prostředků.

Tab. 5 – Hodnota výhřevnosti a maxima HRR z testů v tunelech (Ingason & Lonnermark, 2004)

Typ dopravního prostředku	Výhřevnost	Maximální HRR	Čas maximální hodnoty HRR
	[GJ]	[MW]	[min]
3 testy osobních vozidel, r.v. 1970	4	1,5 ; 1,8 ; 2	12 ; 10 ; 14
VW Golf + Trabant + Ford Fiesta	-	8,9	33
12m autobus Volvo, 40 sedadel, u = 0,3	41	29	8
Autobus v tunelu Shimizu, u = 3-4	-	30 *	7
Přívěs s 10,9 t dřeva (82%) a plastových palet (18%), u = 3	240	203	18

u = hodnota podélného větrání v tunelu [m/s]

*) Předpokládaná hodnota, sprinklerový systém byl aktivován, když hodnota HRR byla 16,5 MW. Předpokládá se, že bylo uvolněno 67% tepla (20 MW) => HRR = 20/0,67 = 30 MW.

Jak je zobrazeno v Tab. 5, autobusy měly maximální hodnotu HRR kolem 30 MW, kterou dosáhly za méně než 10 min (Ingason & Lonnermark, 2004).

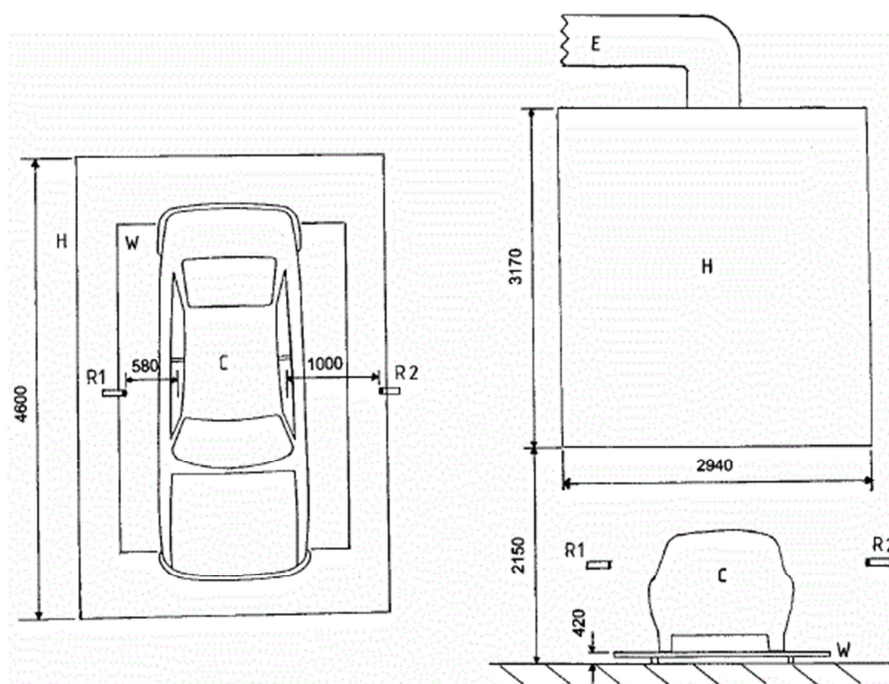
2.7 Experimenty

Velkorozměrné požární experimenty jsou drahé, ale poskytují informace o celkovém chování produktů při požáru. Osvědčila se série menších experimentů obsahujících několik nebo pouze jeden prvek, které jsou levnější. Po zapálení a založení hoření se požár vyvine podle vlastností vzorků, které jsou používány. Výsledky měření umožní výběr materiálů (Janssens, 2008).

Jednou z metod k určení rychlosti uvolňování tepla je kyslíková kalorimetrie, která je založena na předpokladu, že uvolňované teplo na jednotku spotřebovaného kyslíku, je přibližně stejné pro většinu běžných hořlavých přítomných látek při požáru. Změny koncentrace kyslíku díky spalinám mohou být použity k určení rychlosti uvolňování tepla, viz (Mangs, 2004).

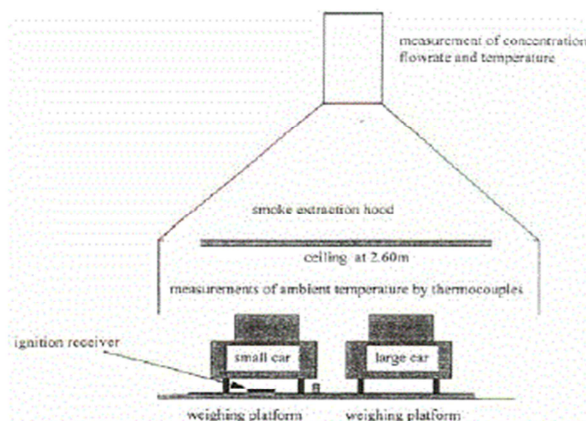
Obr. 2-6 zobrazuje polohu automobilu při požárním experimentu, kde půdorys je vlevo a pohled je vpravo (Mangs, 2004).

- C – automobil
- E – odsávací potrubí
- H – trychtýř zachycující plyny
- Ri – měřiče tepelného toku zaměřené na okna předních dveří
- W – vážicí plošina



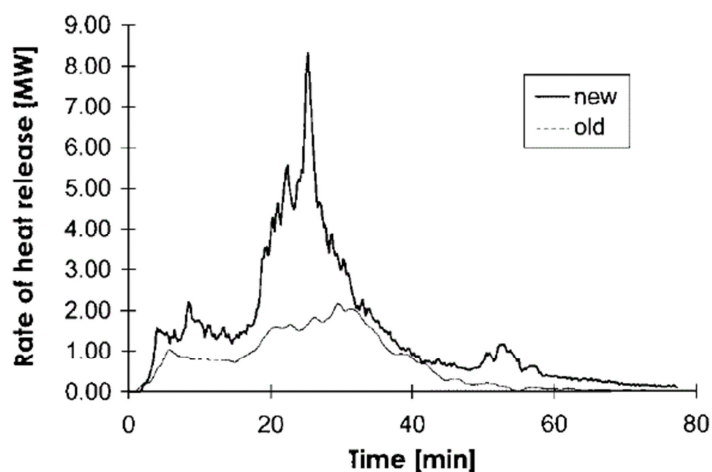
Obr. 2-6 – Schéma automobilu v kalorimetru při experimentu (Mangs, 2004)

Experimentální zařízení, které je vyobrazeno na Obr. 2-7, je kalorimetr, který se používá pro testování požáru až pro dva automobily (Zhao & Kruppa, 2004).



Obr. 2-7 – Kalorimetr (Li, 2004)

Obecně, během testů, jsou automobily vybaveny jako ve skutečnosti olejem, čtyřmi pneumatikami, rezervní pneumatikou a nádrží naplněnou do 2/3. V letech 1995 a 1996 bylo provedeno deset testů, vozidla byla roku výroby 1970, 1980 a 1990. Pět testů bylo pro samostatné automobily, zbylé byly pro dva automobily dohromady. V prvních sedmi testech byly automobily zapáleny 1,5 l petroleje, který byl umístěn v otevřené misce pod levým předním sedadlem. Levé přední okno bylo celé otevřené, pravé přední bylo do půlky. Všechny dveře byly zavřené. Při požáru dvou osobních vozidel byly dveře a okna druhého vozidla zavřeny. V posledních třech testech byly automobily zapáleny 1 l petroleje umístěného pod převodovkou. Průběhy rychlosti uvolňovaného tepla vozidel kategorie 3 (starší vs. novější generace), používající metodu spotřeby kyslíku, jsou na Obr. 2-8 (Zhao & Kruppa, 2004).



Obr. 2-8 – RHR z experimentu (Zhao & Kruppa, 2004)

V testech, při požáru dvou vozidel, ke studování možnosti rozšíření požáru z jednoho automobilu na druhé se zjistilo, že se druhé vozidlo, vzdálené přibližně 70 cm (průměrná vzdálenost v evropských parkovištích) od hořícího automobilu, zapálilo ve všech případech po přibližně 12 min. po zapálení prvního. Zapálení bylo zapříčiněno přestupem požáru přes pneumatiky nebo gumou okolo dveří, což je nejčastější přestup požáru mezi dvěma vozidly.

Průběh požáru automobilu při experimentu:

Sports Utility Vehicle

3000 cc



Ignition

Obr. 2-9 – Zapálení automobilu při požárním experimentu (Janssens, 2008)



20 min



20 min

Obr. 2-10 – 20.min. požáru vozidla při experimentu (Janssens, 2008)



40 min



40 min

Obr. 2-11 – 40.min. požáru vozidla při experimentu (Janssens, 2008)



70 min



End

Obr. 2-12 – 70.min. a konec požáru vozidla (Janssens, 2008)

2.8 Měření dalších veličin

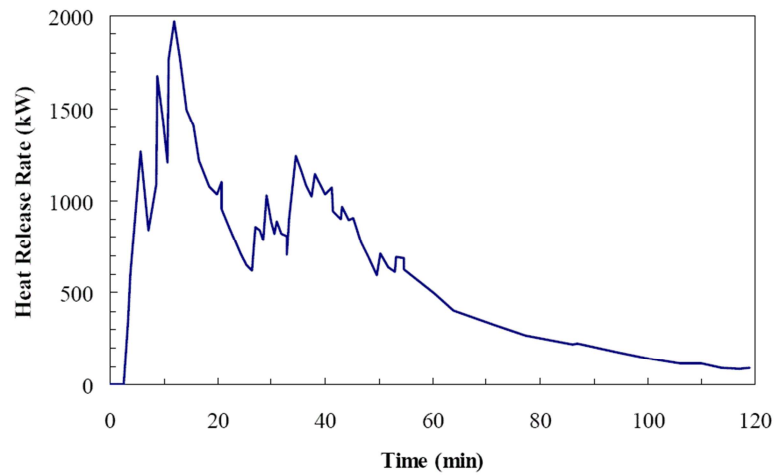
Velkorozměrné požární experimenty obvykle obsahují další přístroje k měření ostatních parametrů pro charakterizování požárního nebezpečí. Jedná se o měření úbytku hmoty a efektivního spalného tepla, tepelného toku, produkce kouře, teplot (plynů, povrchu, interiéru, exteriéru) a produkce plynů (Mangs, 2004).

2.9 Popis testu požáru automobilu

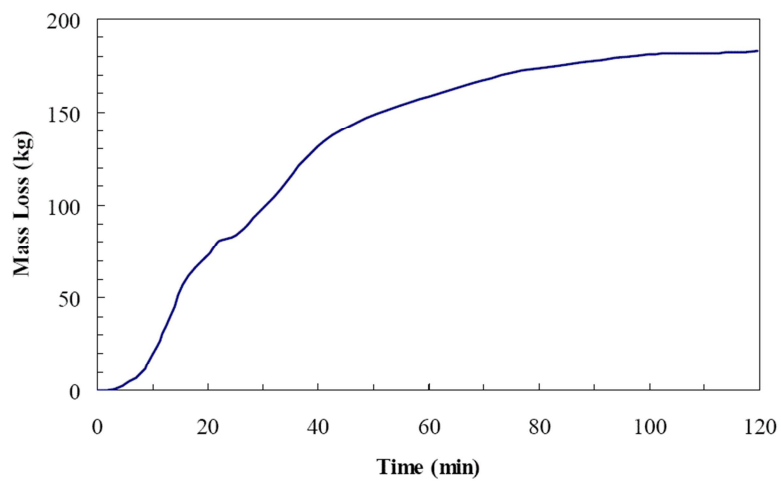
Hodnoty z Tab. 3 byly stanoveny pomocí zkoušek. Pro příklad je popsán test číslo 4, který je v Tab. 6 (Janssens, 2008).

Tab. 6 – Popis výsledků testu požáru automobilu (Janssens, 2008)

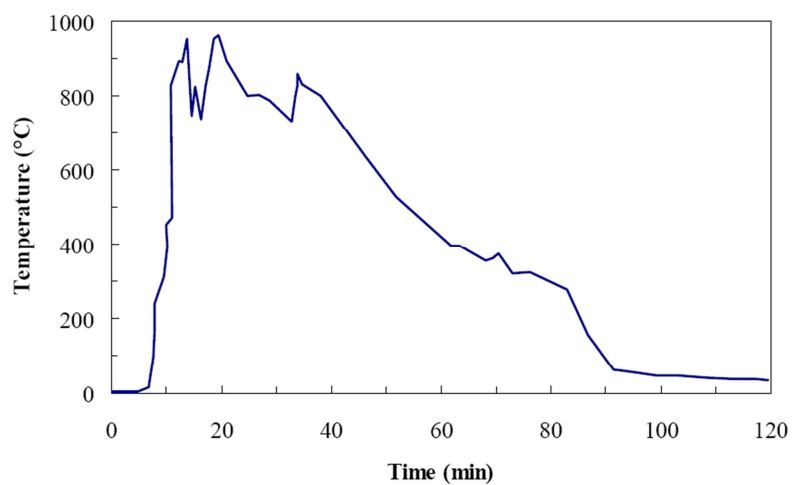
Město:	Espoo	
Stát:	Finsko	
Druh zařízení:	Otevřený kalorimetr	
Účel testu:	Požární inženýrství	
Typ vozu:	Datsun	
Model:	180B Sedan	
Hmotnost vozu:	1102	kg
Materiál nádrže vozu:	ocel	
Obsah nádrže:	30	l
Větrání:	- všechny dveře zavřené - levé přední okno celé otevřené - ostatní okna stáhnuty dolů o 5 cm	
Místo zapálení:	pod motorem	
Zápalný zdroj:	3 l heptanu v otevřené misce	
Začátek hořící periody:	2,9	min
Konec hořící periody:	91,6	min
Vyhoření vozidla:	ano	
HRR měřící metoda:	Spotřeba kyslíku	
Nejvyšší hodnota HRR:	1972	kW
Celkové uvolněné teplo:	3900	MJ
Celkový úbytek hmoty:	176	kg
Rok publikace:	1994	



Obr. 2-13 – Závislost HRR v čase (Janssens, 2008)



Obr. 2-14 – Závislost úbytku hmoty v čase (Janssens, 2008)



Obr. 2-15 – Závislost teploty v čase (Janssens, 2008)

2.10 Modelování požárů automobilů

Požáry se dají modelovat dynamickou analýzou plynů. Při modelování je důležité zadávání správných parametrů požáru, vlastnosti hořlavých látek (výhřevnost, hmotnost, rozměry...), větrání (tunely, otevřené garáže, uzavřené garáže, volný prostor) a mnoho dalších. Pneumatiky jsou z vulkanizované gumy a mají velkou rychlost uvolňování tepla a způsobí přestup požáru mezi automobily.

Obecně je výhřevnost dána vztahem

$$H = \frac{Q}{m} \text{ [J/kg]} \quad (9)$$

kde je Q uvolněné teplo [J]

m hmotnost [kg]

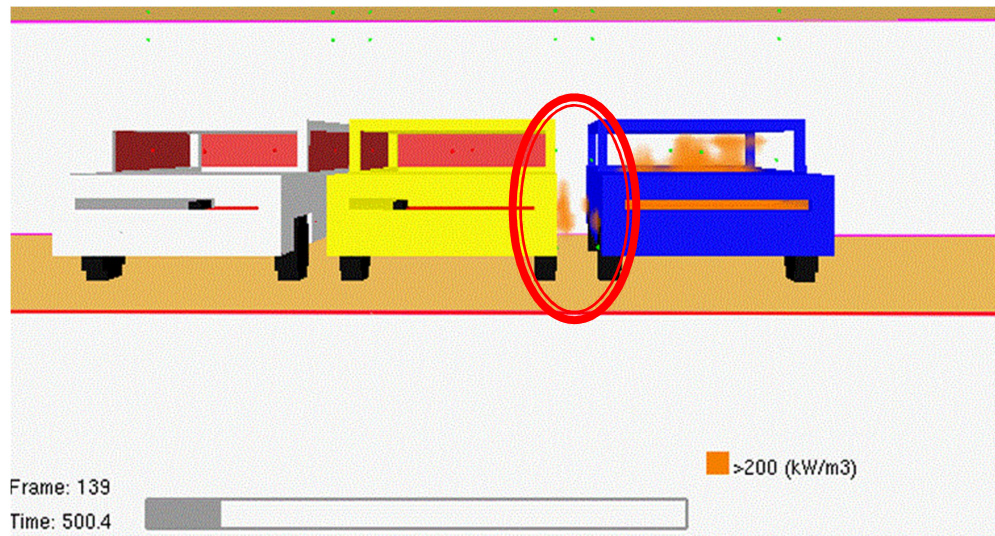
Tab. 7 - RHR pneumatik a doba potřebná pro dosažení RHR 1MW (Sokol, 2011)

Materiál	t_a	RHR
	[s]	[kW/m ²]
Pneumatiky	150	2500

Tab. 8 – Hodnoty čisté výhřevnosti materiálů (Sokol, 2011), (ČHMÚ, 2011), (ČSN 73 0824 Požární bezpečnost staveb - Výhřevnost hořlavých látek, 1992)

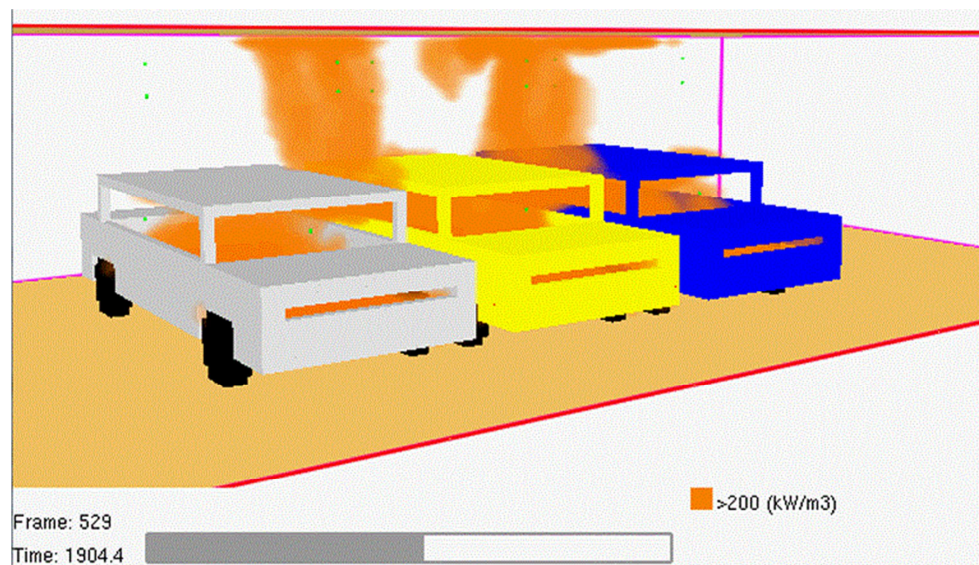
Hořlavé materiály			Hodnoty čisté výhřevnosti
			[MJ/kg]
Pevné látky	Dřevo		17,5
	Jiné celulózové materiály	oděvy, korek	20
	Uhlíkaté látky	uhlí, antracit	30
Chemické látky	Paliva	benzín, petrolej, nafta	45
	LPG		43,8
	Motorový olej		42
	Čisté uhlovodíkové plasty	PE, polystyren, polypropylen	40
Ostatní výrobky	ABS (plast)		35
	Polyester (plast)		30
	Kůže		20
	Polyizokyanát a polyuretan		25
	Polyvinylchlorid PVC		20
	Gumové pneumatiky		30
	Ostatní oleje		39,9
	Maziva		40,2

Na Obr. 2-16 je zobrazen průběh a přestup požáru při modelování dynamickou analýzou plynů programem FDS. Je zde názorně vidět, že k přestupu požáru mezi osobními automobily dojde přes pneumatiky.



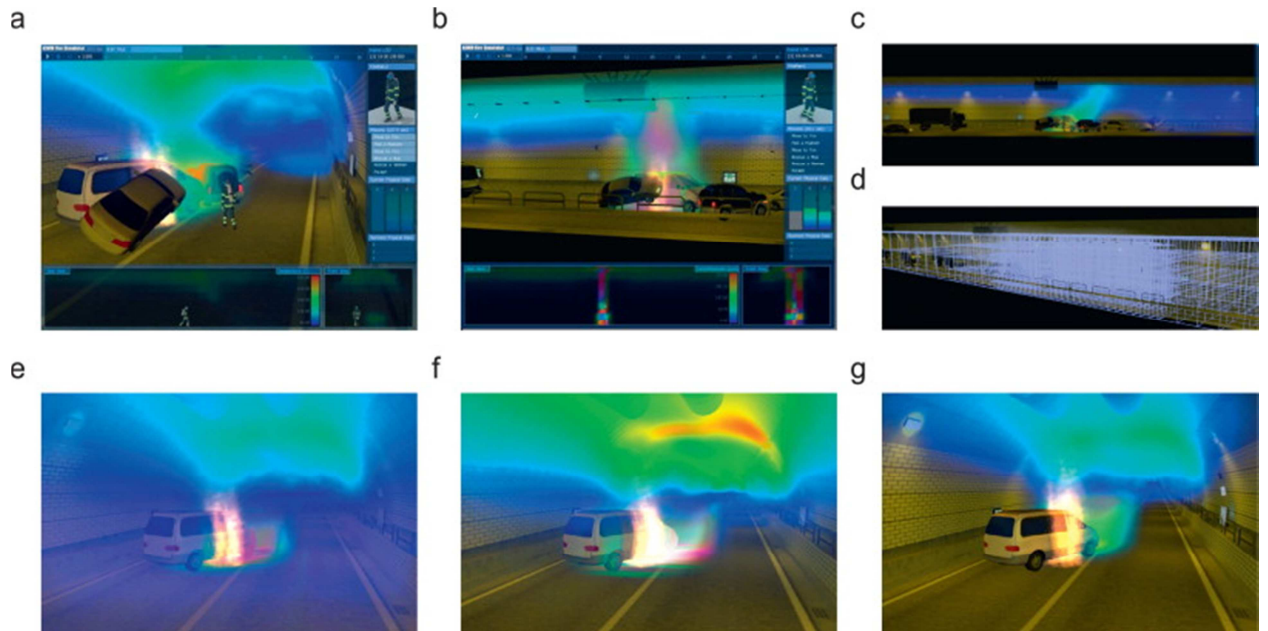
Obr. 2-16 – Model v FDS – přestup požáru mezi automobily (Heinisuo, 2012)

Obr. 2-17 zachycuje plný rozvoj požáru všech tří vozidel v 31. min.



Obr. 2-17 – Model v FDS – plně rozvinutý požár mezi třemi automobily (Heinisuo, 2012)

Na Obr. 2-18 a Obr. 2-19 je znázorněno modelování požáru v tunelu pomocí programu KIMM fire simulator.



Obr. 2-18- Ukázka modelování v programu KIMM fire simulator (Moohyun Chaa, 2012)



Obr. 2-19 – Ukázka v modelování KIMM fire simulator (Moohyun Chaa, 2012)

3 Šíření požáru

Požár osobního automobilu probíhá v závislosti na přívodu kyslíku. Požární scénáře lze rozdělit na

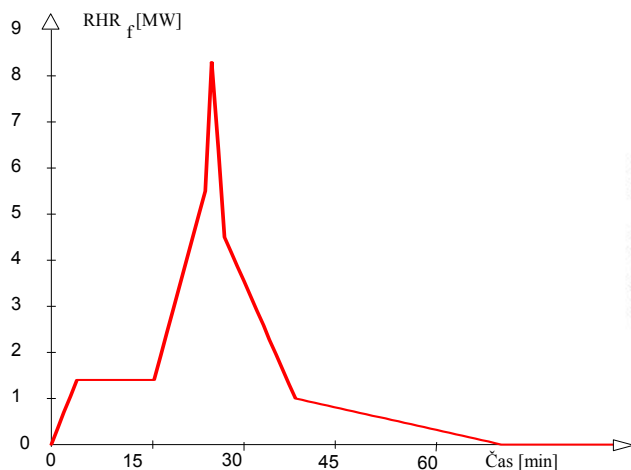
- Volná prostranství
- Mosty
- Otevřené garáže
- Uzavřené garáže
- Tunely

V některých zemích jsou požadavky na požární odolnost konstrukcí otevřených parkovišť, vyplývající z podmínek ISO-požáru, neúměrně vysoké. Z tohoto důvodu je analýza chování nosných konstrukcí při reálném požáru automobilů velmi cenná. Jeden z nejběžnějších návrhů těchto nosných konstrukcí je založen na použití kompozitních ocelobetonových nosníků a ocelových sloupů (Zhao & Kruppa, 2004).

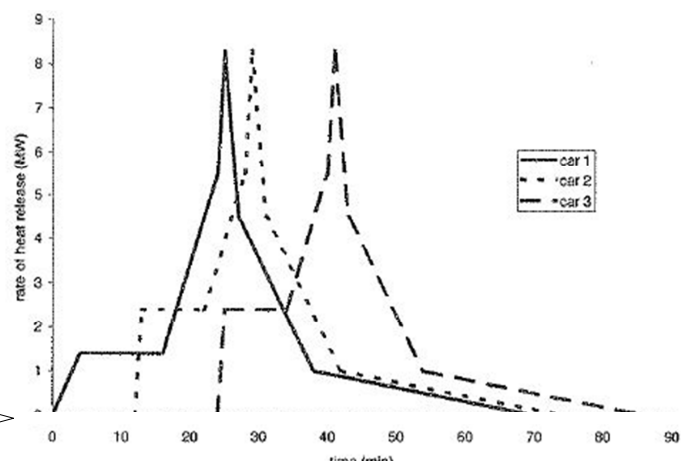
V následující kapitole je stručně popsána problematika požárů v otevřených garážích.

3.1 Model RHR při požáru v garážích

Tento model se využívá především pro lokalizované požáry v podzemních garážích, kde hoří automobil. Křivka je popsána multilineárním grafem.



Obr. 3-2 – Model RHR při požáru v garážích (Sokol, 2011)



Obr. 3-1 – Model RHR při požáru 3 vozidel kategorie 3 (Cajot, Pierre, & Schleich, 1999)

Tab. 9 – Určení modelu křivky RHR podle experimentu vozidla kategorie 3 (Cajot, Pierre, & Schleich, 1999)

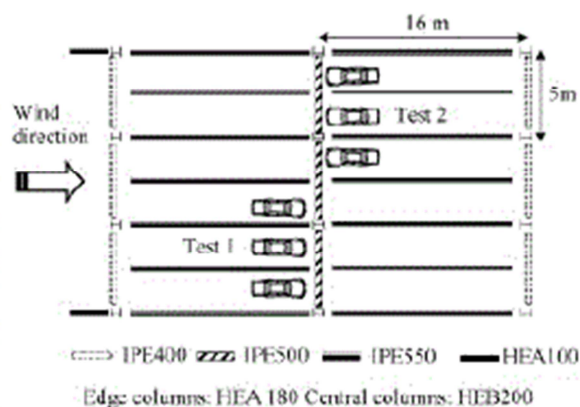
Čas [min]	RHR [MW]
0	0
4	1,4
16	1,4
24	5,5
25	8,3
27	4,5
38	1
70	0

3.2 Experimenty v otevřené garáži

Při rozhoříván v prostoru se horké plyny nad palivem pohybují směrem nahoru. V budově (např. v uzavřených garážích) je požár ovlivněn stropem, který vychýlí horké plyny vodorovně pod strop do dalších oblastí budovy vzdálených od požáru. Rychlý průtok plynů v tenké vrstvě pod stropem je řízen vztlakem (Mangs, 2004).

Pro požární experiment byl postaven objekt otevřeného parkoviště s plochou podlahy 480 m² (15 x 32 m) a výškou 3 m. Konstrukce byla složena z nechráněných ocelových sloupů HEA 180 (krajní sloupy), nechráněných ocelových sloupů HEB 200 (vnitřní sloupy) a kompozitních částí složených z nechráněných ocelových nosníků (IPE 550, IPE 400 a IPE 500) spojených s betonovou deskou o tloušťce 120 mm.

Při testech, požár vždy začal zapálením pod prostředním vozidlem v místě převodovky a požár pokračoval až do úplného shoření všech tří automobilů. Postup tohoto testu je zobrazen na Obr. 3-3, Obr. 3-4 a Obr. 3-5 (Zhao & Kruppa, 2004).



Obr. 3-3 – Popis konstrukce při testu (Zhao & Kruppa, 2004)



Position of cars



Ignition of the middle car

Obr. 3-4 – Pozice automobilů a zapálení prostředního vozidla při testu (Zhao & Kruppa, 2004)



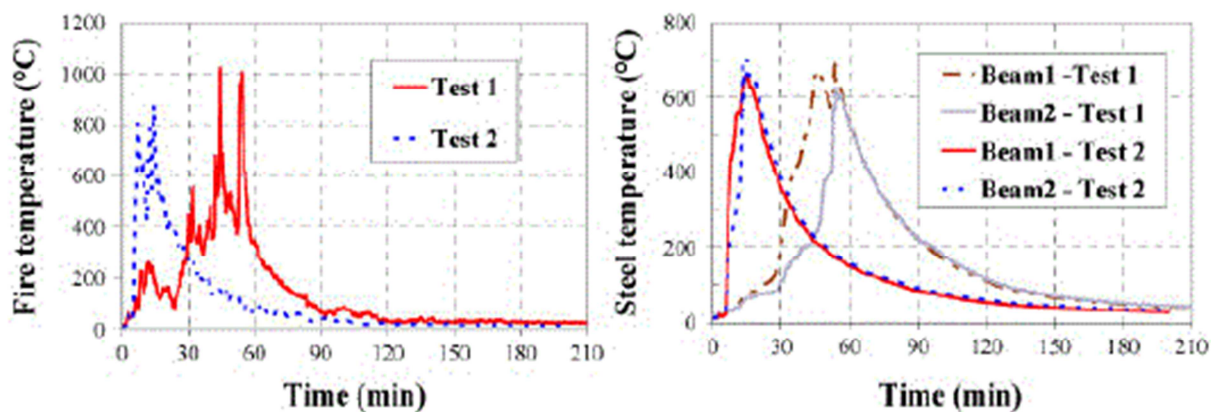
Full development of car fire



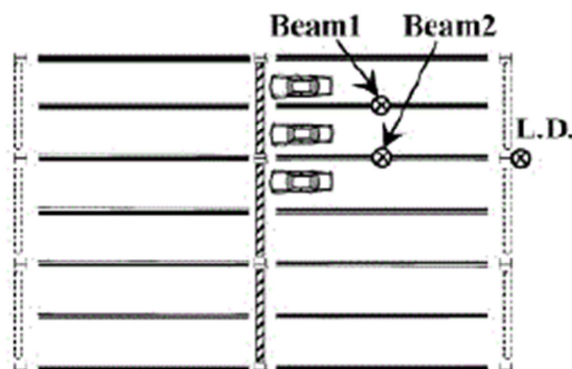
Burn-out of all three cars

Obr. 3-5 – Plný rozvoj požáru automobilů a shoření všech tří vozidel při testu (Zhao & Kruppa, 2004)

Při testech záleželo na směru a síle větru a na orientaci vozidel vůči směru větru. Zjistilo se, že se silným větrem foukajícím směrem od motoru do zadní části vozidla, bylo rozšíření požáru poměrně rychlé. Při opačném směru větru, rozšíření požáru trvalo mnohem déle. Z toho vyplývá, že čas kdy nastal vrchol teplot, byl odlišný. Nicméně v obou případech maximální teploty konstrukce byly téměř stejné. Obr. 3-6 znázorňuje teplotu plynu a konstrukce při požárním experimentu v otevřeném parkovišti, Obr. 3-7 umístění nosníku 1 a 2, ke kterým se vztahují teploty.



Obr. 3-6 – Teplota plynu a teplota konstrukce při požáru v otevřeném parkovišti (Zhao & Kruppa, 2004)



Obr. 3-7 – Umístění nosníků 1 a 2 (Zhao & Kruppa, 2004)

4 Instalace sprinklerů

4.1 Úvod

Při požáru automobilu v garáži vzniká z hořících plastů a pneumatik velké množství kouře, což může být rizikem pro unikající osoby. Ani zásah hasičů není jednoduchý, je třeba použít dýchací techniku a v zakouřeném prostoru hledat ohnisko požáru. Déle trvající požár by mohl narušit konstrukci budovy. Řešením je instalace SSHZ (Krupka, 2012).

Druhy samočinného stabilního hasicího zařízení v garážích:

- Polostabilní (PHZ)
- Doplnkové (DHZ)
- Stabilní (SHZ)

Velikost požárního úseku garáží je omezena maximálním počtem parkovacích stání. Tento počet vychází podle typu garáže, konstrukčního systému, členění prostoru, odvětrání a toho, zda je použito samočinné stabilní hasicí zařízení. Instalací SSHZ je možno výrazně zvýšit povolený počet parkovacích stání. Norma ČSN 73 0804, příloha I, přímo stanovuje typy garážových prostor, kdy je SSHZ povinné (Krupka, 2012).

Základem pro sprinklerové zařízení je dostatečný vodní zdroj, na který navazuje strojovna s požárním čerpadlem, čerpadlem pro udržování tlaku v potrubní síti, či tlakovou nádobou se stejnou funkcí. Na požární čerpadlo jsou napojeny ventilové stanice, ze kterých pokračuje potrubní síť ke sprinklerovým hlavicím, rozmístěným po celém požárním úseku (Kafka, 2004).

Podle informací společnosti BRE v letech 1994 – 2005 vypuklo v garážích 3096 požárů, v 1592 z těchto případů byl ohniskem požáru automobil. Ve většině případů se požár nešířil

z jednoho vozu na druhý. Pokud by k tomu došlo, byly by důsledky požárů mnohem horší. Ročně se při požárech v garážích zraní minimálně 7 osob (Colt International).

4.2 Model vlivu sprinklerů dle ČSN EN 1991-1-2

Eurokód 1 (ČSN EN 1991-1-2) obsahuje přílohu E, která povoluje projektantům požární bezpečnosti redukovat návrhové hodnoty požárního zatížení, pokud jsou instalována různá aktivní protipožární zařízení (ČSN EN 1991-1-2 - Zatížení konstrukcí vystavených účinkům požáru, 2006).

Výpočet požárního zatížení se provádí podle přílohy E, normy ČSN EN 1991-1-2.

4.3 Aplikace normy při experimentu

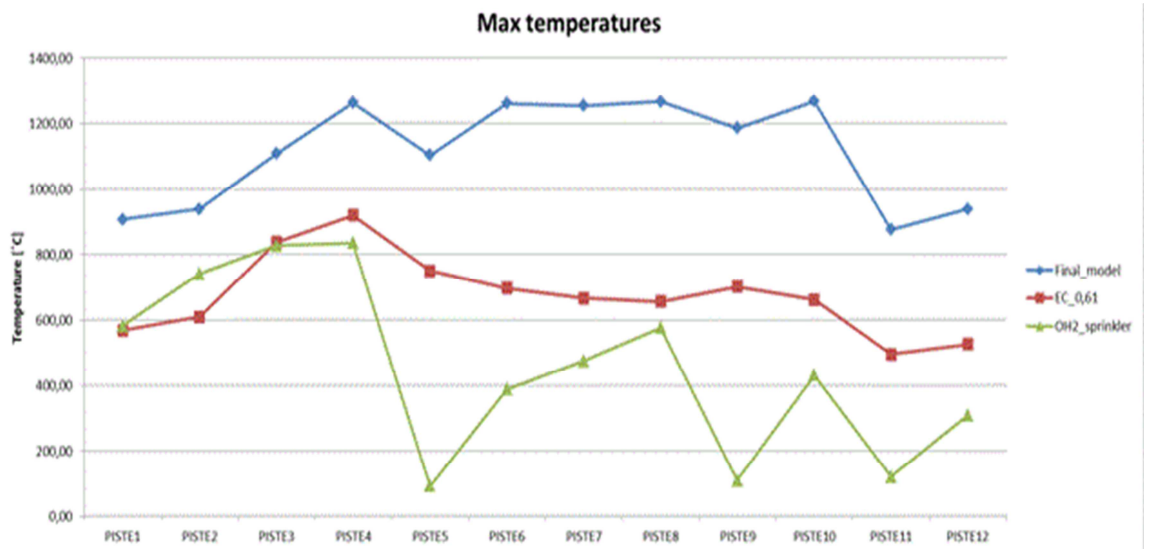
Tato problematika se dá řešit pomocí ručního výpočtu, nebo se dá simulovat v programech.

Na Univerzitě technologie ve Finsku byl proveden test rozvoje požáru s a bez vlivu sprinklerů. Jedná se o dynamickou analýzu plynů v programu FDS, který testuje tři osobní automobily vedle sebe – modelová situace zaparkovaných vozidel v garáži.

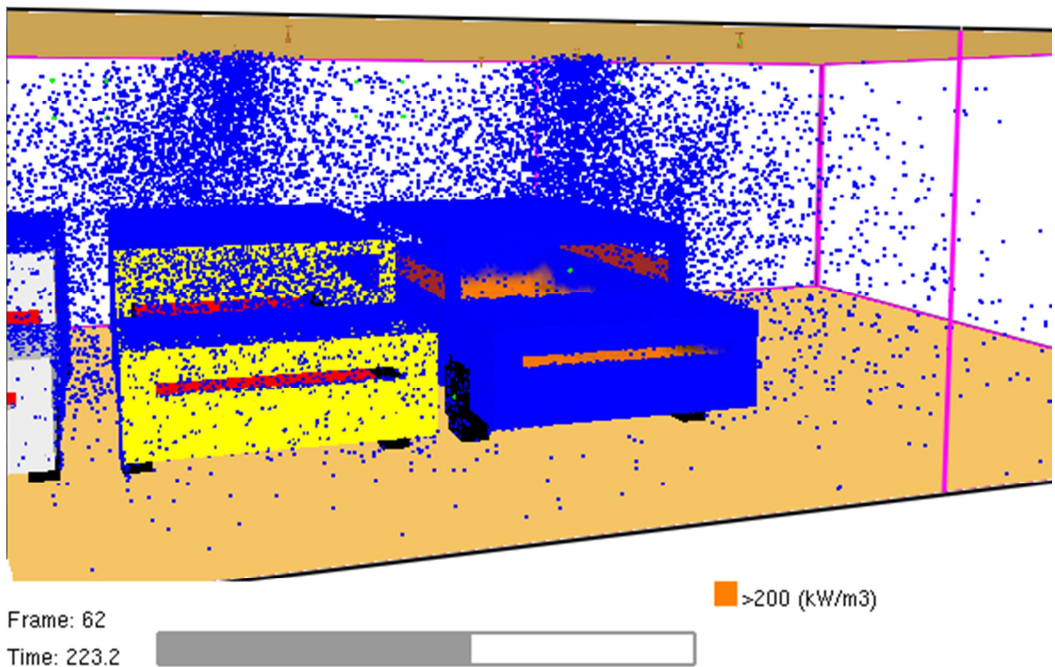
Při testu bez vlivu sprinklerů dosahovala teplota plynu 1200 °C u stropu. Plameny ze dvou osobních automobilů pronikly skrz prasklá okna a vytvořily velmi teplé a vysoké plameny. Teplota plynu se snížila, když se instalovaly sprinklery, nebo když se hodnoty HRRPUA redukovaly podle Eurokódu 1. Pro tento model byly použity sprinklery s hasící schopností 5 mm/min a 9 m³ vody pro sprinklerovou hlavu. Celkem bylo použito 9 sprinklerů. Po redukcí byly maximální teploty sníženy na 800°C. Sprinklery zabránily požáru před rozšířením z jednoho osobního automobilu na druhé, ale nepotlačily požár prvního automobilu. Průběhy křivek při použití sprinklerů a EC 0,61 (redukce podle Eurokódu 1) vykazují podobné teploty během prvních 20 min.

Při tomto modelování vzniká několik problémů se zápalnými teplotami v simulaci. Je to zapříčiněno tím, že modelování je stále ve fázi vývoje (Heinisuo, 2012).

Obr. 4-1 znázorňuje teploty v závislosti na čase a zobrazuje výstup z programu FDS při použití sprinklerů.



Obr. 4-1 – Rozdíly maximálních teplot (Heinisuo, 2012)



Obr. 4-2 – Model z FDS – použití sprinklerů (Heinisuo, 2012)

5 Praktická část

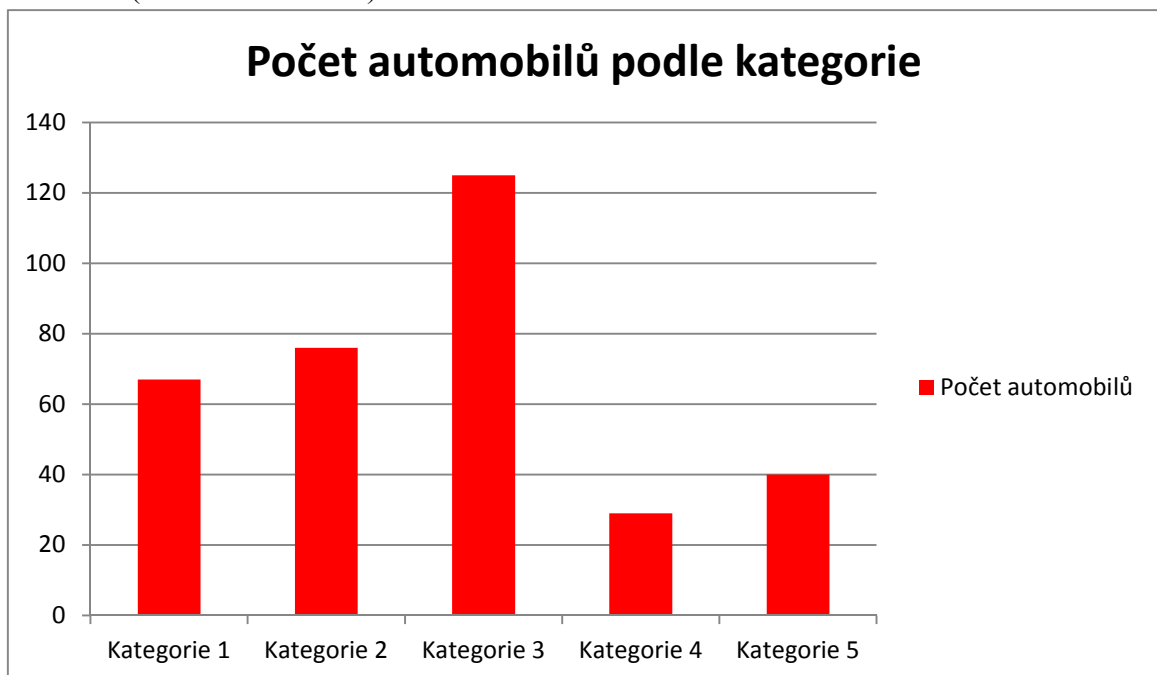
5.1 Úvod

Z hlediska zjištění informativního počtu druhu automobilů, klasifikovaných z požárního hlediska do pěti kategorií, které se mohou vyskytovat v garážích, tunelech atd., byla v rámci seminární práce provedena statistika na pražské silnici.

Tato statistika byla založena na vizuálním třídění vozidel projíždějících na dané silnici v závislosti na čase a následném třídění do kategorií. Byly provedeny čtyři vzorky na čtyř proudové silnici na Černém mostě, přičemž při jednom vzorku byly monitorovány dva jízdní pruhy najednou.

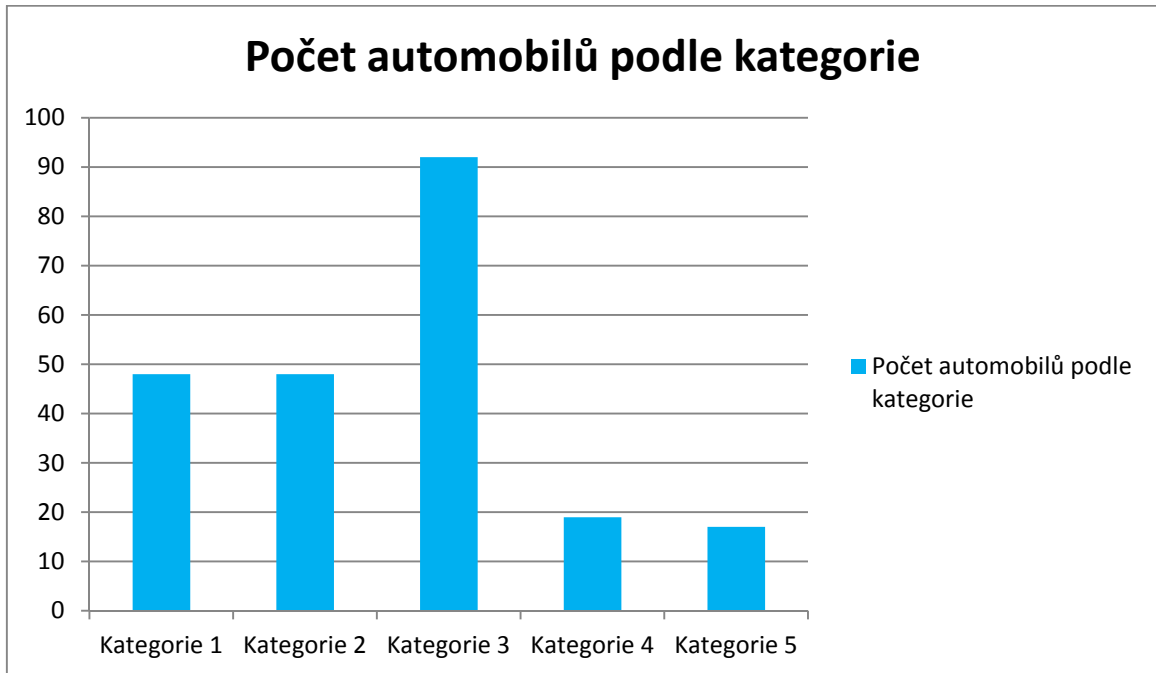
5.2 Statistika vzorků

Vzorek 1 (čas 14:26 – 14:41)



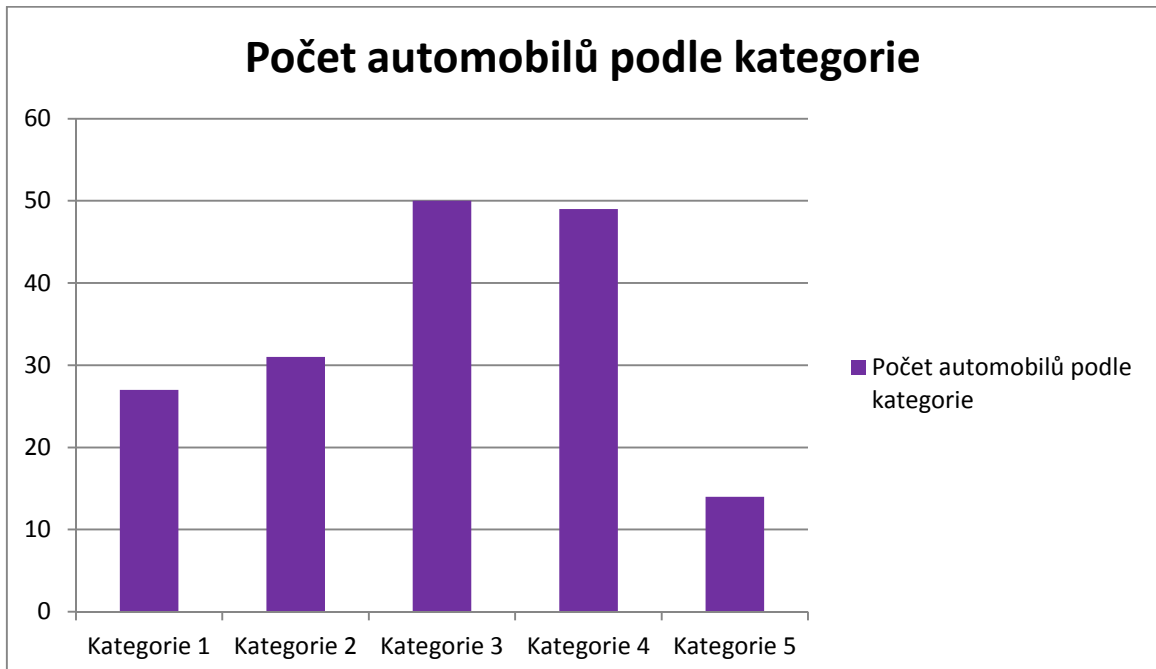
Celkově v daný čas projelo 337 automobilů za 15 min. Z grafu je patrné, že nejvíce se vyskytuje vozidel kategorie číslo 3 a nejméně kategorie číslo 4.

Vzorek 2 (čas 19:26 – 19:43)



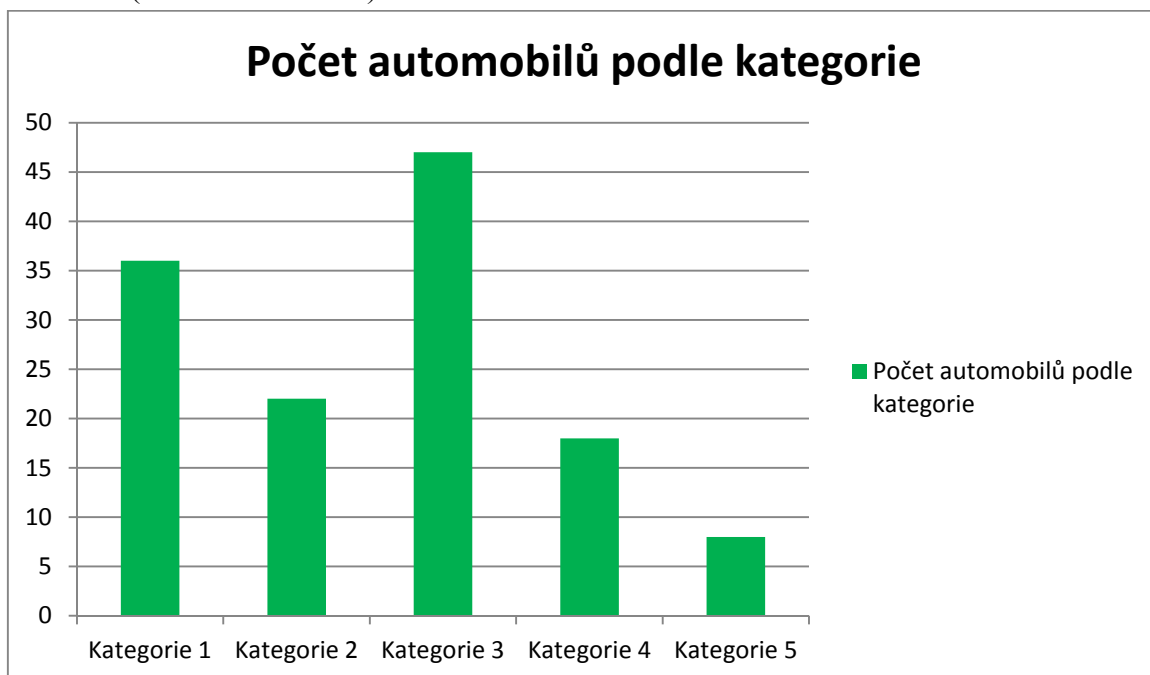
Celkově v daný čas projelo 224 automobilů za 17 min. Z grafu je patrné, že nejvíce se vyskytuje vozidel kategorie číslo 3 a nejméně kategorie číslo 5.

Vzorek 3 (čas 19:26 – 19:43)



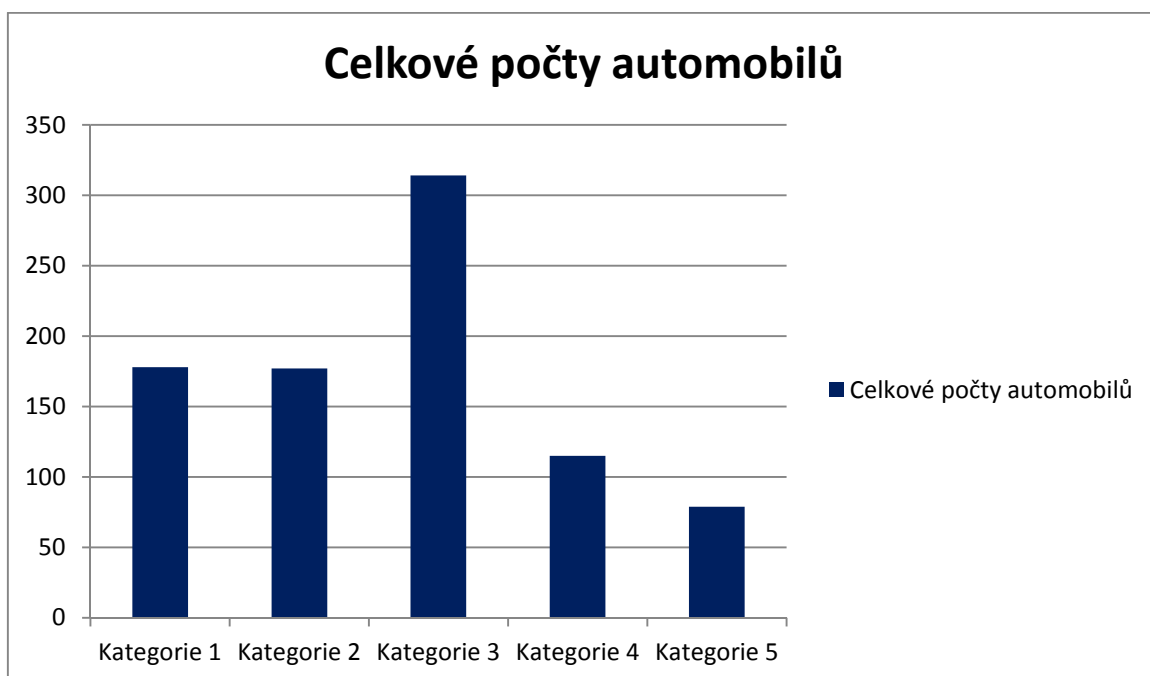
Celkově v daný čas projelo 171 automobilů za 17 min. Z grafu je patrné, že nejvíce se vyskytuje vozidel kategorie číslo 3 a nejméně kategorie číslo 5.

Vzorek 3 (čas 10:05 – 10:20)



Celkově v daný čas projelo 131 automobilů za 15 min. Z grafu je patrné, že nejvíce se vyskytuje vozidel kategorie číslo 3 a nejméně kategorie číslo 5.

5.3 Vyhodnocení vzorků



Při součtu vzorků byly zjištěny tyto hodnoty:

- Kategorie 1 : 178 vozidel
- Kategorie 2 : 177 vozidel

- Kategorie 3 : 314 vozidel
- Kategorie 4 : 115 vozidel
- Kategorie 5 : 79 vozidel

Ze změřené statistiky vyplývá, že nejvíce vyskytující se osobní automobily, při klasifikaci podle požárního hlediska, jsou kategorie 3.

6 Závěr

V práci jsou popsány výsledky experimentů popisující maximální hodnoty RHR, u kterých můžeme pozorovat zvyšující se tendenci. Vyšší hodnoty jsou zapříčiněny na jedné straně vzrůstajícími požadavky na pohodlí a komfort, a tedy většími nároky na vybavení osobních automobilů, ale i větší přesností a lepší kvalitou experimentů na straně druhé.

Hodnoty RHR jsou důležité pro návrh konstrukcí a pro popis průběhu hoření materiálů. Dobrá předpověď může zajišťovat ekonomický návrh konstrukcí, vyšší bezpečnost osob a životního prostředí, a v neposlední řadě také ochranu majetku. Nejpřesnější hodnoty RHR jsou stanoveny pomocí experimentů.

V současné době se pro modelování požáru a určování hodnot RHR využívají především softwary. Tento způsob modelování není nicméně příliš rozšířen a je stále ve fázi vývoje, s čímž mohou souviset mnohé komplikace, jako je např. problematické definování zápalných teplot.

Požár osobního automobilu probíhá v závislosti na množství dostupného kyslíku, model odpovídá požárním scénářům. Z hlediska zvýšení bezpečnosti a ochrany majetku jsou v garážích instalována sprinklerová zařízení, jejichž hlavním úkolem je snižovat dosažené teploty a omezovat přestup požáru na další vozidla.

7 Literatura

- Benýšek, M. (2012). Tvorba výpočetních nástrojů pro výpočet teploty plynů v požárním úseku. *BenyFire 1.0*.
- Cajot, L., Pierre, M., & Schleich, J. (1999). *Statistics of Fires in Car Parks*. Luxembourg.
- Colt International, s. (nedatováno). *Systém odvětrání garáží*. Získáno 12 2012, z Colt: <http://www.coltinfo.cz/view.aspx?/produkty-a-systemy/pozarni-ochrana/odvetrani-garazi/Colt-Odvod-tepla-a-koure.pdf>.
- ČHMÚ. (2011). *Národní hodnoty výhřevnosti a emisních a oxidačních faktorů*. Získáno 27. 11 2012, z Ministerstva životního prostředí: www.mzp.cz/cz/narodni_hodnoty
- ČSN 73 0824 *Požární bezpečnost staveb - Výhřevnost hořlavých látek*. (1992). Praha: ÚNMZ.
- ČSN EN 1991-1-2 - *Zatížení konstrukcí vystavených účinkům požáru*. (2006). Praha: ÚNMZ.
- Heinisuo, M. (2012). Tampere University of Technology - Research centre of metal structure. *Effect of Eurocode 1 Annex E factors to the gas temperatures in car park fires*. Tampere, Seinajoki, Hameenlinna, Finland.
- Ingason, H., & Lonnermark, A. (2004). Recent Achievements Regarding Measuring of Time-Heat and Time-Temperature Development in Tunnels. Sweden.
- Janssens, P. M. (2008). Development of a database of full-scale calorimeter test of motor vehicles. Charlottesville.
- Kafka, B. (2004). *Požární bezpečnost - sprinklerové hasicí zařízení*. Získáno 12 2012, z tzb info: <http://www.tzb-info.cz/2017-pozarni-bezpecnost-i-sprinklerove-hasici-zarizeni>
- Krupka, I. (2012). *Samočinné stabilní hasicí zařízení v garážích*. Získáno 12 2012, z SPRINKPLAN: http://www.sprinkplan.cz/shz_garaze.html
- Li, Y. (5 2004). Assessment of Vehicle Fires in New Zealand Parking Buildings. New Zealand.
- Mangs, J. (2004). VTT publications 521 - On the fire dynamics of vehicles and electrical equipment.
- Moohyun Chaa, S. H. (5 2012). *A virtual reality based fire training simulator integrated with fire dynamics data*. Získáno 11 2012, z ScienceDirect - the world's leading full-text scientific database: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0379711212000136>
- Sokol, Z. (2011). *Tepelná a mechanická zatížení - přednášky*. Praha.
- Wald, F., & Horová, K. (2012). *Tepelná a mechanická zatížení konstrukcí při požáru*. Získáno 20. 11 2012, z TZB info: <http://stavba.tzb-info.cz/pozarni-ochrana/8853-tepelna-a-mechanicka-zatizeni-konstrukci-pri-pozaru>
- Zhao, B., & Kruppa, J. (2004). Structural behaviour of an open car park under real fire scenarios.