

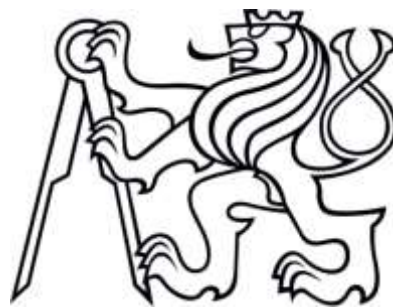
ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA DOPRAVNÍ

Požární bezpečnost osobních motorových vozidel

Fire Safety of Personal Motor Vehicles

Diplomová práce



2014/2015

Bc. JAKUB GVOZD

Zadání diplomové práce

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci vypracoval zcela samostatně a použil jsem literatury a zdroje, které jsou uvedené v příloze na konci této práce.

Schvaluji, aby tato diplomová práce, byla užita jako školní dílo ve smyslu §60 autorského zákona č. 121/2000 Sb. o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne.....

Podpis.....

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval panu prof. Ing. Janu Kovandovi, CSc. a paní doc. Ing. Hedvice Kovandové, Ph.D. za odborné vedení a za cenné rady, které mi pomohly k vypracování této diplomové práce

Dále bych rád poděkoval mému otci, který mi byl velmi nápomocen a to nejenom při tvorbě této práce, ale i během studia. A mé přítelkyni děkuji za to, že mě během studia podporovala a vždy mi byla oporou.

Anotační záznam

Jméno autora:	Bc. Jakub Gvuzd
Název bakalářské práce:	Požární bezpečnost osobních motorových vozidel
Zadavatel:	Ústav bezpečnostních technologií a inženýrství, ČVUT Fakulta dopravní
Rozsah práce:	66 stran, 23 obrázků, 14 tabulek a 30 grafů
Školní rok vyhotovení:	2014/2015
Vedoucí bakalářské práce:	Prof. Ing. Jan Kovanda, CSc. doc. Ing. Hedvika Kovandová, Ph.D.
Klíčová slova:	Požár, experiment, osobní vozidla
Anotace:	Práce se zabývá legislativou v oblasti požárů, problematikou týkající se požárů v dopravě, přípravou požární zkoušky, reálným experimentem a vyhodnocením dat.

Abstrakt

Tato diplomová práce je zaměřena na legislativu vyskytující se v oblasti požární ochrany osobních vozidel homologovaných pro silniční provoz, problematiku v této oblasti a především na vlastní experiment. Jedná se o full scale test, který proběhl za účasti Fakulty dopravní ČVUT- ústav bezpečnostních technologií a inženýrství, Fakulty stavební ČVUT – katedra konstrukcí pozemních staveb, technického ústavu požární ochrany Ministerstva vnitra České republiky a především Univerzitního centra energeticky efektivních budov.

První kapitola se zabývá legislativou v oblasti požární odolnosti vozidel, jedná se konkrétně o předpis Evropské hospodářské komise číslo 34, který popisuje odolnost palivových nádrží proti účinku požáru, a dále o směrnici Evropského parlamentu a Rady číslo 95/28/EC:1995, která popisuje požární testy interiérových komponentů.

Následuje druhá kapitola, která popisuje problematiku požární odolnosti vozidel, intoxikaci posádky, tepelné působení plamenů a horkého kouře na lidský organismus. Dále ztrátu viditelnosti z důvodu nadměrného kouře, udušení a škodlivý účinek aerosolů.

Ve třetí kapitole se čtenář seznámí se samotnou přípravou vlastního experimentu a tím co, který tým měl za úkol, aby tato zkouška mohla proběhnout, na což se zaměřuje kapitola čtvrtá, ve které se dočtete o průběhu tohoto testu. Čtvrtá kapitola obsahuje zpracované a vyhodnocené výsledky celého testu.

Abstract

This thesis is focused on a) legislation occurring in the fire car protection homologated for the using on the road, b) the issue that occurs in this field and c) especially on the own experiment.

This is a full scale test with the participation of the ČVUT – Faculty of Transportation Sciences – Department of Security Technologies and Engineering, Faculty of Civil Engineering - Department of Building Structures, Technical Institute of Fire Protection of the Ministry of Interior of the Czech Republic, and especially the University Center of energy-efficient buildings.

The first chapter describes the legislation in the field of the vehicle fire protection. This means specifically a prescription of European Economic Commission No. 34, which describes the resistance of fuel tanks against the effect of fire, and a Directive of the European Parliament and European Council No. 95/28 / EC: 1995, which describes Fire tests of the interior components.

The first chapter is followed by a second chapter that describes the issue of the fire resistance of vehicles, intoxication of the crew and the influence of the heat and open flames and hot smoke on the human body. Further this chapter describes the loss of visibility due to excessive smoke, choking and harmful effects of the aerosols.

The third chapter describes the preparation of the experiment and what was the task of every team. The fourth chapter contains the processing and evaluation of the results of the test.

Obsah

Prohlášení.....	3
Poděkování.....	4
Anotační záznam.....	5
Abstrakt.....	6
Abstract.....	7
Seznam použitých zkratk a symbolů	10
Úvod.....	11
1. Legislativa v oblasti požární ochrany vozidel	13
1.1. Rozsah platnosti a homologace EHK 34	13
1.2. Směrnice Evropského parlamentu a rady 95/28/EC:1995.....	17
1.2.1. Rychlosti vodorovného hoření	17
1.2.2. Vertikální rychlosti hoření	17
1.2.3. Tavitelnost.....	17
2. Stav problematiky v oblasti požární odolnosti vozidel	19
2.1. Stručná statistická analýza nebezpečí požárů osobních automobilů a potenciální nebezpečí pro posádku a okolí.....	19
2.1.1. Intoxikace zplodinami hoření.....	20
2.1.2. Tepelné působení plamenů a horkého kouře	21
2.1.3. Ztráta viditelnosti po zakouření vnitřních prostor kabiny vozidla	21
2.1.4. Udušení pro nedostatek kyslíku v zasažené kabině	21
3. Příprava vlastního experimentálního požáru osobního vozidla.....	22
3.1. Fakulta dopravní ČVUT.....	22
3.1.1. Zkušební objekt.....	22
3.1.2. Měření teploty	24
3.1.3. Měření koncentrace CO v interiéru.....	26
3.1.4. Způsob vyvedení kabeláže a měření	26
3.2. Technický ústav požární ochrany	26
3.2.1. Teplotní pole	26
3.2.2. Pole hustot toku tepla.....	27
3.2.3. Šíření horkého kouře.....	27
3.2.4. Koncentrace vybraných toxikantů.....	27
3.2.5. Rychlost proudění ovzduší v blízkosti zkušebního požáru	28

3.3.	Fakulta stavební a Univerzitní centrum energeticky efektivních budov.....	28
3.3.1.	Místo pro realizaci zkoušky	28
3.3.2.	Měření úbytku hmotnosti	29
3.3.3.	Měření meteorologické situace	30
4.	Průběh požární zkoušky	31
4.1.	Meteorologické podmínky	32
4.2.	Měření teploty a hustoty toku tepla	33
4.2.1.	Uvnitř vozidla	34
4.2.2.	Vně vozidla	34
5.	Vyhodnocení požární zkoušky.....	35
5.1.	Teplotní pole uvnitř vozidla	35
5.2.	Teplotní pole vně vozidla	39
5.3.	Vzorkování a chemická analýza odebraných vzorků na obsah polutantů uvnitř vozidla 42	
5.3.1.	Technický ústav požární ochrany	42
5.3.2.	Fakulta dopravní.....	47
5.4.	Vážení úbytku hmotnosti vozidla hořením při požární zkoušce	48
5.5.	Odhady v rychlosti vývinu tepla, špičkové hodnoty rychlosti vývinu tepla a celkového množství uvolněného tepla při požáru vozidla	49
5.6.	Měření optické hustoty kouře	49
5.7.	Matematický model	49
5.7.1.	Porovnání výsledků modelu s naměřenými daty	50
5.7.2.	Vizuální porovnání záběrů z termovizních kamer a řezu modelu teplotního pole 56	
5.7.3.	Porovnání záznamu z videokamery a teplotního profilu modelového scénáře v definovaném čase	58
6.	Závěr.....	60
7.	Seznam použitých zdrojů	61
7.1.	Seznam obrázků	62
7.2.	Seznam tabulek.....	63
7.3.	Seznam grafů.....	64

Seznam použitých zkratek a symbolů

c_{max} (ppm / % obj)	maximální hodnota koncentrace
ČVUT	České vysoké učení technické v Praze
Full-scale test	zkouška v plném měřítku (velkorozměrová)
H_v (MJ/kg)	výhřevnost
ΔH_v (kJ/kg)	výparné teplo
HRR (kW)	rychlost vývinu tepla (heat release rate)
ORBO	označení trubic pro vzorkování plynů
ppm	jednotka koncentrace (jedna miliontina v celku)
τT_{max} (s)	doba k dosažení maximální teploty T _{max}

Úvod

V minulosti byl v oblastní silniční dopravy, konkrétně u osobních automobilů, brán ohled především na vzhled a bezpečnost byla až druhotná. Tomu je však v současnosti jinak a design vozidel jde ruku v ruce s bezpečností. Dbá se především na bezpečnost posádky, ale i na ty, co jsou vně vozidla. Tato diplomová práce je zaměřena na oblast požární bezpečnosti a to z důvodu, že požár vozidla představuje závažné nebezpečí pro posádku, což jednoznačně vyplývá ze statistik počtu usmrcených nebo zraněných osob v důsledku požáru vozidla. S tímto jsou spojeny i značné škody na majetku.

Přestože všechna motorová vozidla, než jsou uvedena do provozu na pozemních komunikacích, procházejí zdlouhavým procesem testů za účelem získání homologace, výrobce není schopen zajistit, aby takový vůz nevzplanul. Důvodů pro vznik požárů je mnoho, ale podle statistik se jedná nejčastěji o požár v důsledku havárie, dále se jedná o technické závady nebo o neopatrnost uživatele motorového vozidla. Propukající požár se může rozšířit po celém vozidle, včetně interiéru, pokud není včas a správně zakročeno k jeho uhašení.

V dobách, kdy po veřejných komunikacích na území České republiky jezdila převážně vozidla typu škoda Favorit, měla v případě požáru největší procentuálně hmotnostní podíl hořlaviny především palivová nádrž s pohonnou hmotou. V současnosti již tomu tak není a to z důvodu, že v porovnání množství hořlavých látek, ať už se jedná o plasty a polstrování v interiéru nebo množství izolace elektrické kabeláže, mají moderní vozidla tento hmotnostní podíl mnohem větší, než tomu bylo kdysi. A právě z tohoto důvodu již nádrž a její obsah není jediným důležitým prvkem při požáru osobního motorového vozidla.

Moderní předpisy a normy nutí výrobce jednotlivých komponentů pro vozidla dělat různé zkoušky, při kterých zjišťují vlastnosti použitých materiálů. Přestože všechny materiály, které jsou ve vozidlech použity, mají certifikáty o nezávadnosti, vlastnostech při nízkých nebo vysokých teplotách, chemické rozborů a mnoho dalších informací, když je vozidlo kompletní, dělají se na něm pouze nárazové zkoušky tzv. crasch testy a automobilky netestují svá vozidla na požární bezpečnost.

Pro objektivní hodnocení toho, jak může být požár nebezpečný u daného modelu motorového vozidla, nám nejlépe může posloužit reálná velkorozměrová požární zkouška

tzv. full scale test. Tento test simuluje požár za předem nadefinovaných podmínek, při kterých lze za pomoci speciálního měřicího zařízení zjistit velké množství informací. Jedná se především o rychlost vývinu tepla v interiéru, exteriéru a motorovém prostoru. Dále můžeme zaznamenávat teplotní pole, hustotu toku tepla, rychlost šíření ohně, hustotu kouře, množství a koncentraci toxických látek, které se uvolňují při hoření jednotlivých částí interiéru a jiných komponentů obsažených ve vozidle a v neposlední řadě čas, který má posádka k tomu, aby mohla včas a bezpečně opustit vozidlo.

1. Legislativa v oblasti požární ochrany vozidel

V oblasti předpisů týkajících se požární ochrany vozidel toho není mnoho. Jedním z hlavních dokumentů je předpis EHK 34 (Evropská hospodářská komise), který pojednává o homologačních zkouškách pro palivové nádrže. Druhým předpisem je směrnice Evropského parlamentu a rady 95/28/EC:1995, která pojednává o standardizovaných požárních zkouškách hořlavosti interiérových materiálů motorových vozidel.

1.1. Rozsah platnosti a homologace EHK 34

Rozsah platnosti tohoto předpisu lze aplikovat pro homologaci vozidel kategorií M, N, O z hlediska nádrže, případně vícero nádrží, pro kapalné pohonné hmoty. Pokud chce výrobce přijít na trh s novým typem vozidla, potažmo s novou nádrží, musí požádat o homologaci, jejíž nezbytností jsou tyto dokumenty a náležitosti:

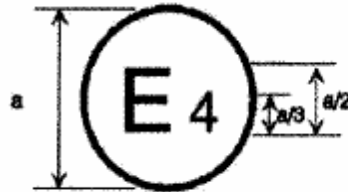
- Podrobné údaje o daném typu vozidla, včetně čísel a symbolů specifikující typ motoru
- Výkres s charakteristikou palivové nádrže obsahující specifikaci materiálu, ze které je vyrobena
- Schéma palivové plnicí soustavy a elektrické instalace

Zkušebna, která je za homologační proces zodpovědná, musí od žadatele převzít:

- Vozidlo reprezentující typ, který má být homologován, případně části vozidla, které homologační zkušebna považuje za nezbytné pro homologační zkoušky
- V případě, že vozidlo je vybaveno nádrží vyrobenou z plastového materiálu, musí výrobce dodat sedm dalších nádrží s příslušenstvím
- V případě, že vozidlo je vybaveno nádrží vyrobenou z jiného materiálu, musí výrobce dodat dvě další nádrže s příslušenstvím

Každému typu, který projde v pořádku celým homologačním procesem, se přidělí tzv. homologační číslo. Toto číslo musí být vyznačeno na schváleném typu v přístupném místě a uvedeno v osvědčení o homologaci. Mezinárodní homologační značka musí být zřetelně čitelná, nesmazatelná a také umístěna na štítku s údaji o vozidle. Značka se skládá z kružnice, ve které je písmeno „E“ následované rozlišovacím číslem

státu. V případě České republiky se jedná o číslici 8. Příklad, jak musí taková značka vypadat, je znázorněn na obrázku (Obr. č.1).



Obrázek. č. 1 – Homologační značka, $a=8\text{mm min.}$ [2]

Předpis EHK 34 obsahuje čtyři homologační testy. Jedná se o testy proti nárazu, mechanické pevnosti, nepropustnosti paliva a především test požární odolnosti. Vzhledem k tématu této práce bude zmíněna pouze zkouška požární odolnosti.

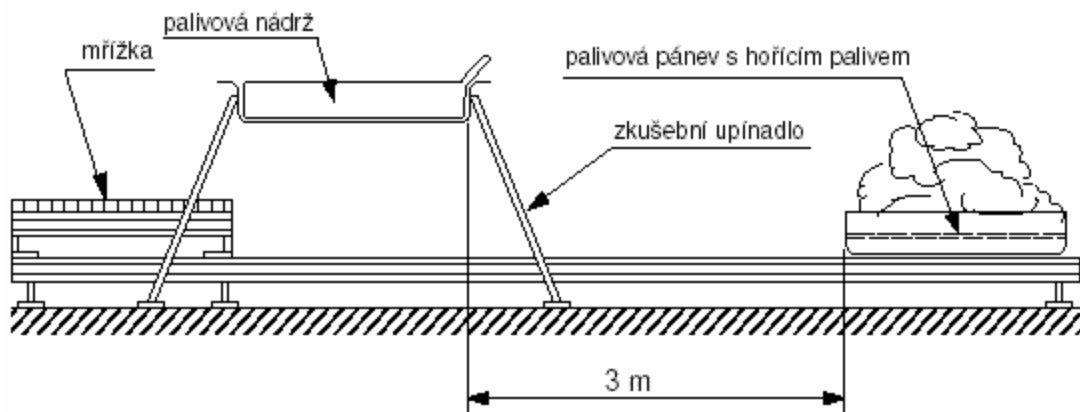
K tomu, aby nádrž dostala homologační osvědčení, musí podstoupit několik zkoušek. Základní zkouškou je, aby materiál, ze kterého je nádrž vyrobena, vydržel nápor přímým plamenem po dobu dvou minut. Během těchto dvou minut nesmí dojít k prohoření obalu ani k žádnému úniku paliva. Pokud se testují nádrže, které jsou určeny jak pro benzínové, tak i pro dieselové automobily, jsou naplněny do poloviny svého objemu vysokooktanovým benzínem a zkouška je provedena třikrát na třech nádržích. Pokud se však jedná o nádrž, která bude montována striktně jen do dieselových vozidel, je naplněna motorovou naftou.

Aby se zkouška odolnosti proti ohni co nejvíce podobala reálnému stavu, je naplněná nádrž se vším příslušenstvím umístěna do zkušebního přípravku, který co možná nejvíc napodobuje situaci, jako by byla umístěna v reálném vozidle včetně všech částí vozidla, které jsou schopny chránit nádrž před přímým působením ohně. Plamen, který působí na nádrž, vzniká spalováním běžně dostupného paliva, které hoří ve speciální pánvi. Tato pánev je umístěna pod „vozidlem“ v místě nádrže a musí mít rozměry takové, aby plamen působil i na boky nádrže. Rozměry pánve jsou přesně dány tak, aby na každou stranu nádrže přesahovaly minimálně o 200 mm, ale ne více než 500 mm. Vzdálenost mezi hladinou a dnem nádrže musí být totožná se vzdáleností mezi dnem a povrchem vozovky nenaloženého vozidla.

Zkouška je složena ze čtyř nutných kroků:

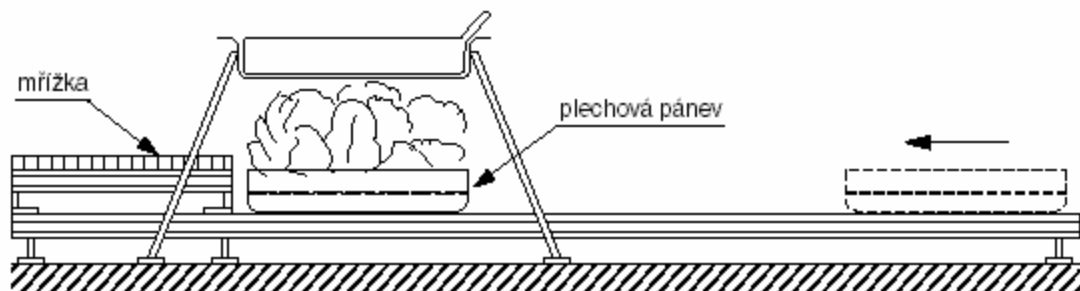
- Předehřátí
- Přímé působení plamene
- Nepřímé působení plamene
- Ukončení zkoušky

Při předehřívání (Obr. 2) je palivo v pánvi zapáleno ve vzdálenosti minimálně tři metry od nádrže a po uplynutí jedné minuty se pánev musí přemístit pod nádrž.



Obrázek č. 2 – Předehřívání [2]

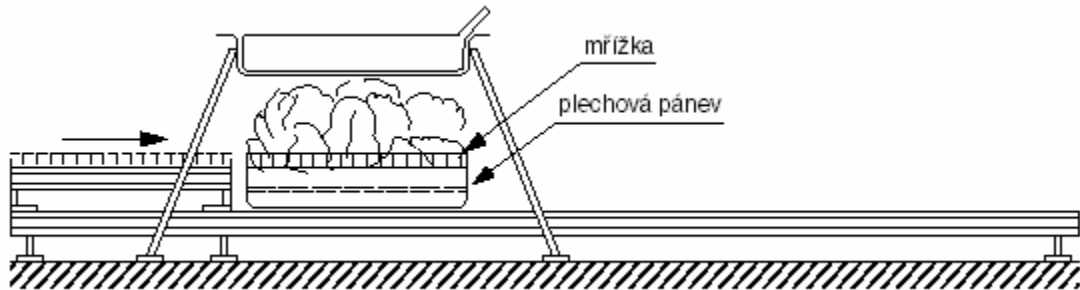
Při druhém kroku, kdy je již pánev přemístěna (Obr. 3), je nádrž vystavena přímému působení plamene po dobu jedné minuty.



Obrázek č. 3 – Přímé působení plamene [2]

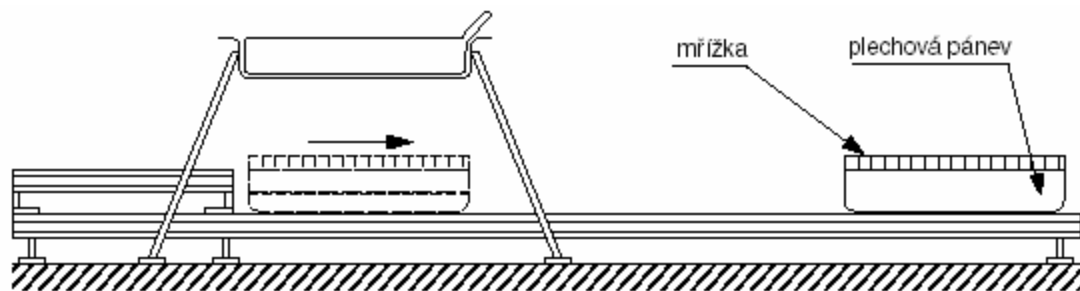
Při třetím kroku se hořící pánev překryje speciální clonou (Obr. 4) předehřátou na $35\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$, která částečně redukuje intenzitu hoření, a nechá se působit další minutu. Tato

speciální clona je vyrobena z ohnivzdorného materiálu a je umístěna 3 ± 1 cm nad hladinou paliva. Rozměry clony musí být o 2 až 4 cm menší než jsou rozměry pánve a to z důvodu, aby bylo umožněno odvětrávání.



Obrázek č. 4 – Nepřímé působení plamene [2]

Při posledním kroku se pánev s clonou vytáhne zpod nádrže (Obr. 5), přesune do vzdálenosti 3 m, a pokud stále hoří, uhasí se.



Obrázek č. 5 – Ukončení zkoušky [2]

Zkouška odolnosti proti ohni by se měla provádět v místě, kde nebude docházet k povětrnostním vlivům, protože maximální přípustná rychlost větru na úrovni hladiny je 2,5 km/h. Výsledek testu je pozitivní pouze za předpokladu, že nedojde ke značnému poškození nádrže a úniku paliva.

1.2. Směrnice Evropského parlamentu a rady 95/28/EC:1995.

Pro zajištění bezpečnosti cestujících a bezpečnosti provozu na pozemních komunikacích a v garážích je nutné, aby interiérové materiály motorových vozidel splňovaly minimální požadavky pro zamezení nebo alespoň výrazné zpomalení vzniku a šíření plamenů v případě vzniku požáru. Mezní hodnoty hořlavosti, které tyto materiály musí splnit, jsou testovány podle následujících zkušebních předpisů této směrnice.

1.2.1. Rychlosti vodorovného hoření

Materiály použité pro čalounění sedadla a jeho příslušenství, pro vnitřní obložení, na tepelnou anebo zvukovou izolaci a pro svítidla, musí splňovat požadavky tohoto testu:

- Čas potřebný k tomu, aby se plamen rozšířil mezi dvěma měřicími body nebo aby zhasnul po dosažení prvního měřicího bodu je zaznamenán
- Pokud plamen zhasne, než se dostane do druhého měřicího bodu, zaznamená se prohořelá dráha až do bodu, kde se plamen uhasí
- Vzorek materiálu tomuto testu vyhoví, pokud na základě nejhoršího výsledku horizontální rychlost hoření nepřevýší 100 mm za minutu, nebo pokud plamen zhasne před dosažením posledního měřicího bodu.[1]

1.2.2. Vertikální rychlosti hoření

Materiály na záclony, rolety a podobné závěsné prostředky musí splňovat požadavky zkoušky na stanovení rychlosti vertikálního hoření materiálů.

- Měří se doba od přiložení plamene do přepálení tří značkovacích nití
- Maximální rychlost hoření se používá pro účely výpočtu. Vzorek vyhoví zkoušce, pokud na základě nejhoršího výsledku vertikální rychlost hoření nepřevýší 100 mm za minutu.[1]

1.2.3. Tavitelnost

Materiály používané pro vnitřní obložení stropu a přilehlé části musí vyhovět zkoušce na odkapávání.

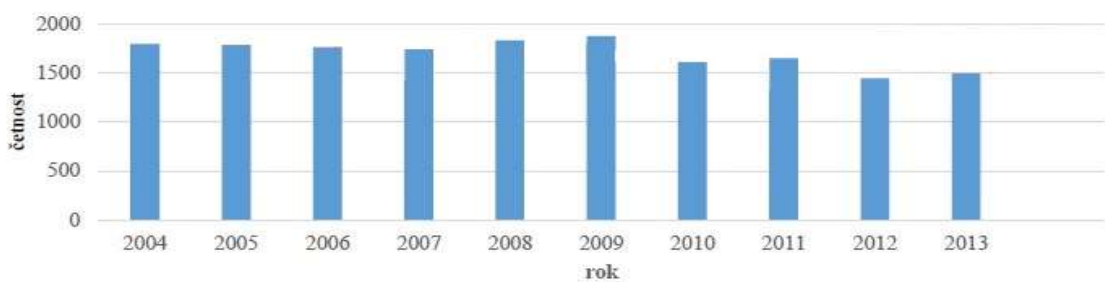
- Pokud se vzorek vznítí během prvních 5 minut zkoušky, tepelný zářič se vytočí mimo testovaný vzorek za 3 sekundy k ověření, zda plamen nezhasne

- Po prvních 5 minutách nebo poté, co plamen hořícího vzorku zhasne, se tepelný zářič ponechá na místě k ověření, zda dojde k zapálení nebo ne po zbývajícím časovém intervalu
- Vzorek vyhoví zkoušce, pokud kapky vytvořené tavením a odkápnuté nezapálí vatou umístěnou 300 mm pod laboratorním vzorkem a to ani v jednom případě opakovaných zkoušek.[1]

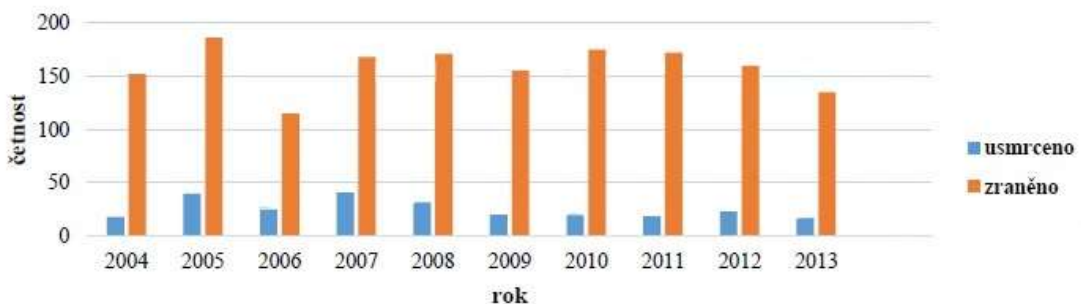
2. Stav problematiky v oblasti požární odolnosti vozidel

2.1. Stručná statistická analýza nebezpečí požárů osobních automobilů a potenciální nebezpečí pro posádku a okolí

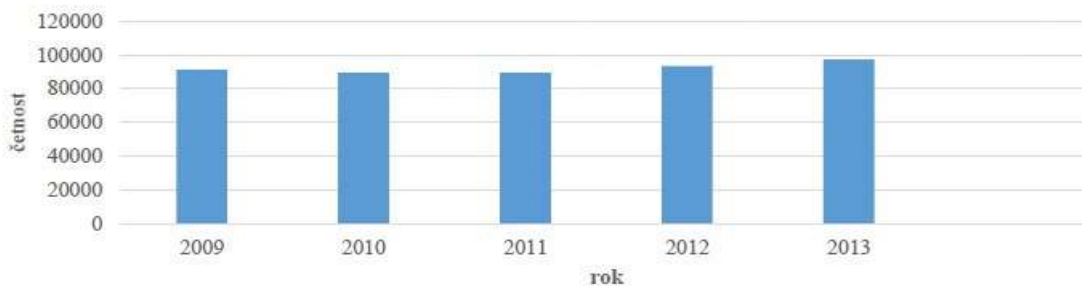
Riziko požárů osobních motorových vozidel a jejich nebezpečí pro osádku a okolí je celosvětový problém. Stav v ČR lze dokladovat pomocí sloupcových diagramů vypracovaných z výběru statistických dat v databázích MV – GŘ HZS ČR, Policejního prezidia PČR a Ministerstva dopravy ČR (Obrázek 6, 7, 8) [1]:



Obrázek č. 6 - Roční četnosti požárů osobních automobilů v ČR za období 2004 – 2013 [4]



Obrázek č. 7 - Roční celkové četnosti usmrcených a zraněných osob od požárů osobních automobilů v ČR za období 2004 – 2013 [4]



Obrázek č. 8 - Roční celkové četnosti nehod osobních automobilů v ČR za období 2009 - 2013 vyšetřovaných PČR [5]

Potenciální ničivé účinky požárů motorových vozidel na jejich osádku a okolí lze členit na následujících pěti složek:

1. intoxikaci zplodinami hoření,
2. tepelné působení plamenů a horkého kouře,
3. ztrátu viditelnosti po zakouření vnitřních prostor kabiny vozidla,
4. udušení pro nedostatek kyslíku v zasažené kabině,
5. škodlivý účinek aerosolových částic v kouři.

2.1.1. Intoxikace zplodinami hoření

Moderní automobily mají lehké nosné konstrukce kryté plastovými obloženími na vnitřní straně. Pokud jsou zachváceny požárem, generují více jedovatého kouře s obsahem např. CO, HCN, HCl, acroleinu (CH₂CHCHO) atd. Složení zplodin hoření jsou funkcí druhu, formy a množství hořlavého materiálu, teploty rozkladu, teploty hoření a množství přiváděného vzduchu. Při hoření, když se oběti nacházejí v prostoru jejich vzniku, se riziko toxicity vztahuje na první fázi rozvoje požáru v průběhu několika minut. Pro orientaci lze uvést několik limitních hodnot přípustného expozičního limitu a nejvyšší přípustné koncentrace plynů, které v ovzduší požáru motorového vozidla vznikají (viz Tab. 1) [1].

Látka		Přípustný expoziční limit (mg/m ³)	Nejvyšší přípustná koncentrace (mg/m ³)
Oxid uhelnatý	CO	30,0	150,0
Oxid uhličitý	CO ₂	9000,0	45000,0
Oxidy dusíku	NO _x	10,0	20,0
Oxid siřičitý	SO ₂	5,0	10,0
Chlorovodík	HCl	8,0	15,0
Fluorovodík	HF	1,5	2,5
Kyanovodík	HCN	3,0	10,0
Formaldehyd	HCHO	0,5	1,0
Acetaldehyd	CH ₃ CHO	50,0	100,0
Akrylonitril	CH ₃ CHCN	2,0	6,0
Benzo(a)pyren	C ₂ H ₁₂	0,005	0,025

Tabulka č. 1 - Limitní hodnoty přípustného expozičního limitu a nejvyšší přípustná koncentrace vybraných plynů a par [6]

2.1.2. Tepelné působení plamenů a horkého kouře

Účinek tepla požáru na lidský organismus lze členit na:

- Zahřátí lidského těla vedoucího ke zvýšení jeho tělesné teploty (nad 42 °C již může být smrtelná)
- Vysušení/popálení hrdla, hrtanu, průdušnic a plicních sklípků
- Popálení kůže sáláním tepla (od plamene nebo horkého kouře), viz příklady v Tab. č. 2. [1]

Teplo (kW/m ²)	Účinky
1,0	jako u slunečního záření v tropech
2,5	pro kůži snesitelné po dobu 30 minut
5,0	puchýře do 30 s
8,0	počátek samovolného vznícení dřeva
9,5	dosažení prahu bolestivosti do 6 s
90,0	okamžitá destrukce kůže

Tabulka č. 2 – Fyziopatologické účinky toku tepla sáláním [7]

2.1.3. Ztráta viditelnosti po zakouření vnitřních prostor kabiny vozidla

Viditelnost se vyjadřuje v m, součinitel útlumu v m⁻¹. Opacitou kouře (O) se rozumí míra útlumu paprsku světla prošlého vrstvou kouře. Optickou hustotou kouře (D) se rozumí dekadický logaritmus opacity. V zakouřeném prostoru s D = 0,5 klesá rychlost úniku na 0,3 m/s [1].

2.1.4. Udušení pro nedostatek kyslíku v zasažené kabině

Potenciální ničivé účinky z hlediska nižšího obsahu kyslíku ve vzduchu jsou názorné v Tab. 3.

Kyslík (% obj.)	Účinky
17	snížení nočního vidění, zrychlení dechu a tepu
16	závratě
15	ztráta soudnosti a pozornosti
12	ztráta koordinace pohybu, ztráta vědomí, nevratná poškození mozku
10	neschopnost pohybu, zvracení
6	nepřavidelné dýchání, křečovitě pohyby, smrt do 5-8 minut

Tabulka č. 3 - Fyziopatologický účinek nižšího obsahu kyslíku ve vzduchu [8]

3. Příprava vlastního experimentálního požáru osobního vozidla

Na požární zkoušce full scale testu osobního vozidla se ve spolupráci s Fakultou dopravní ČVUT podílela také Fakulta stavební ČVUT – katedra konstrukcí pozemních staveb, univerzitní centrum energeticky efektivních budov v Buštěhradě, Technický ústav požární ochrany Ministerstva vnitra České republiky.

3.1. Fakulta dopravní ČVUT

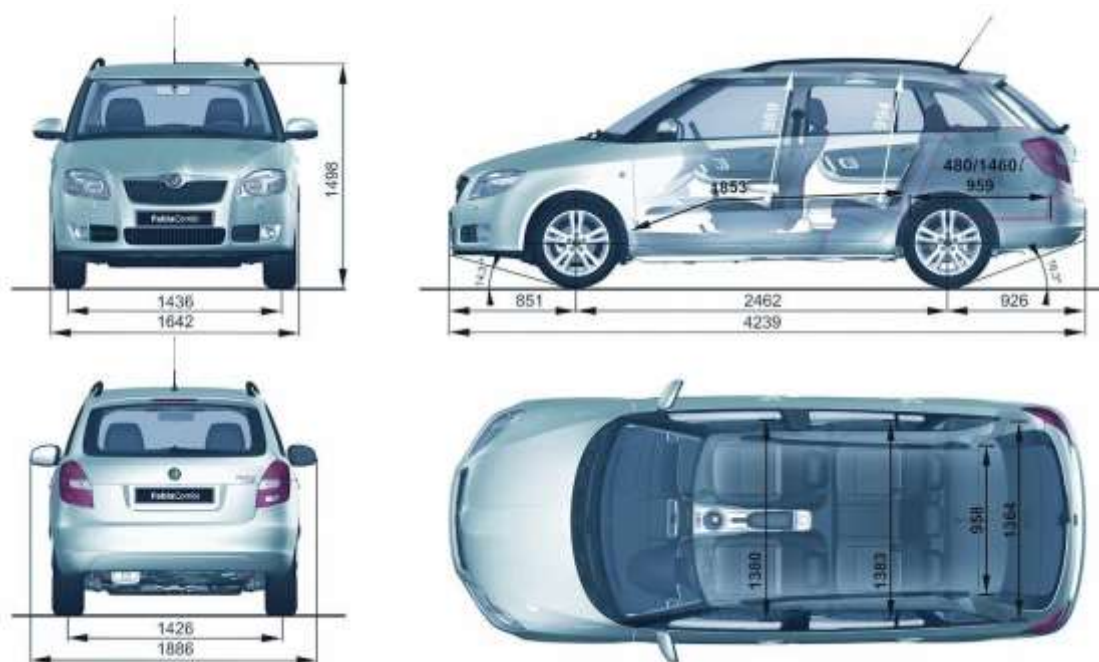
Úkoly Fakulty dopravní byly následující:

1. Poskytnout zkušební objekt
2. Měřit teploty na specifikovaných místech
3. Měřit koncentraci CO v interiéru vozidla

Záměrem Fakulty dopravní a celého realizačního týmu bylo zjištění, jak se bude šířit požár v daném typu vozidla. Cílem tohoto full scale testu bylo především zjistit rychlost proniknutí požáru z exteriéru vozidla do interiéru k posádce. Dalším úkolem bylo prověřit, jakou rychlostí stoupá teplota v kabině, protože lidský organismus je schopen zvládnout teplotu okolo 160°C, po překročení této teploty člověk upadá do bezvědomí. Následně bylo potřeba za úkol zjistit koncentraci oxidu uhelnatého v interiéru vozidla a to především z důvodu, že tento jedovatý plyn bez chuti a zápachu, je nedráždivý, lehčí než vzduch a může být pro lidský organismus smrtelný. Jeho jedovatost je zapříčiněna silnou schopností slučovat se s hemoglobinem, to má za následek skutečnost, že krev není schopna přenášet kyslík z plic do tkání. Díky tomu, že oxid uhelnatý má schopnost se vázat na červené barvivo asi 200x až 300x víc než je tomu u kyslíku, trvá jeho odstranění z krve mnoho hodin až několik dní.

3.1.1. Zkušební objekt

Při full scale testu bylo použito osobní vozidlo tovární značky škoda. Jednalo se konkrétně o model Fabia s motorem 1.2 Tdi o výkonu 55kW (Obr. č. 9). Tento vůz byl použit jako zkušební pomůcka pro popisovaný experiment.



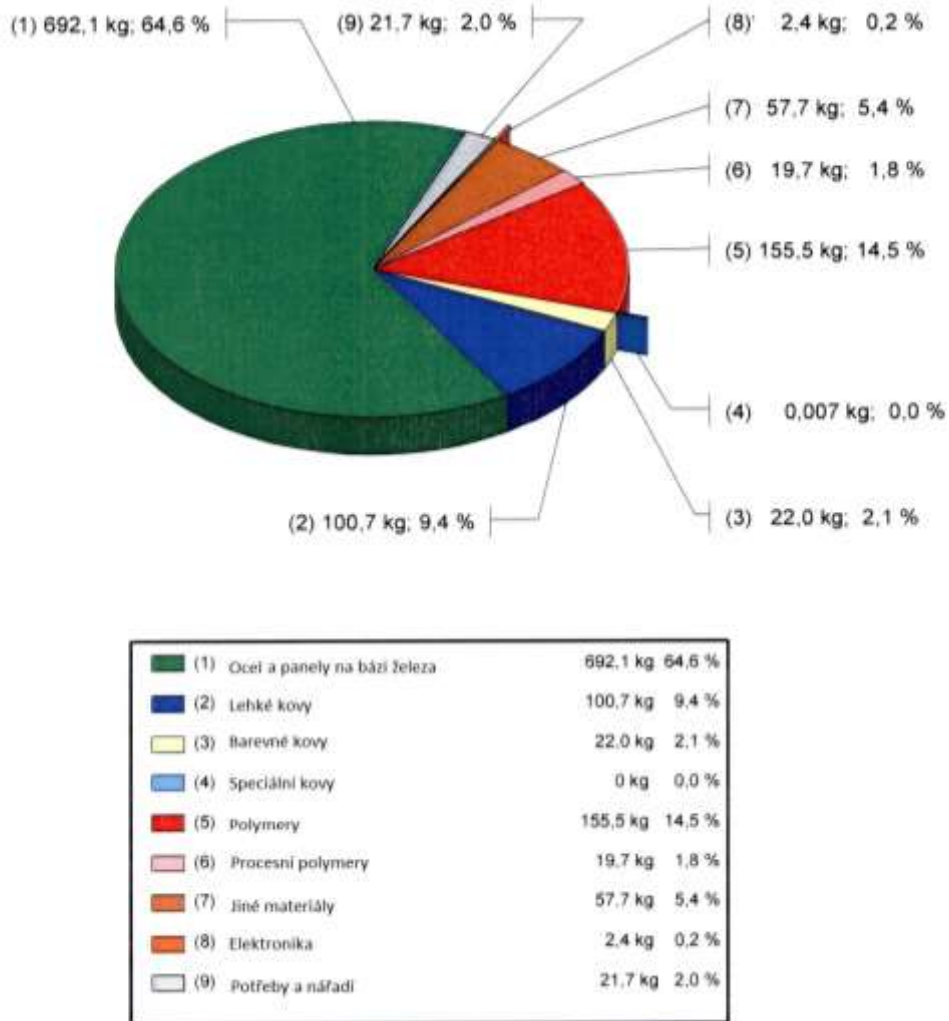
Obrázek č. 9 – škoda Fabia 1.2 Tdi s rozměry [1]

Technická data k vozidlu (Tab. č. 4):

Typ karoserie	Kombi
Druh motoru	Vznětový
Zdvihový objem [ccm ³]	1199
Výkon motoru [kW]	55
Počet válců	3
Hnaná náprava	Přední
Převodovka	Pětistupňová, manuální
Pohotovostní hmotnost [kg]	1095

Tabulka č. 4 – Technická data škoda Fabia

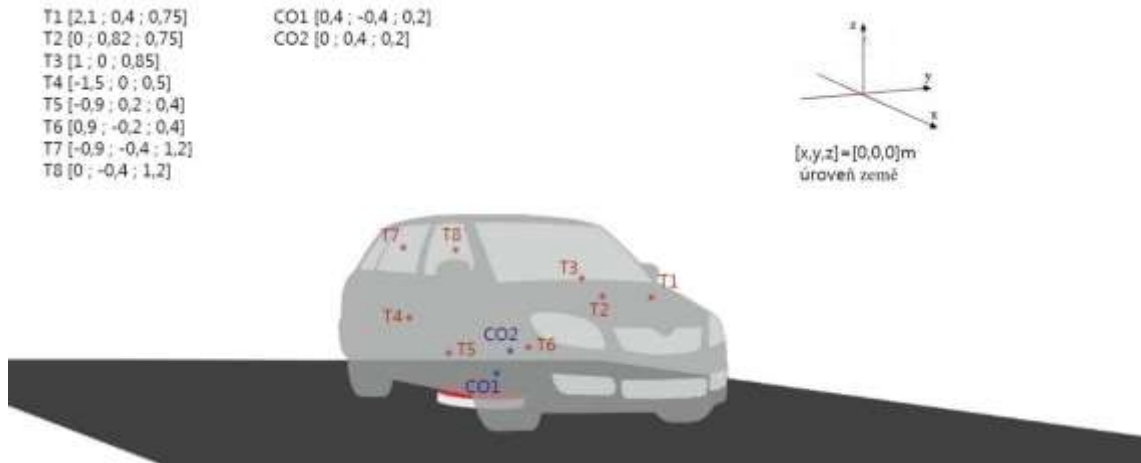
Materiálové složení zkušebního vozidla škoda Fabia 1.2 Tdi (obr. č. 10)



Obrázek č. 10 – materiálové složení škoda Fabia 1.2 Tdi

3.1.2. Měření teploty

Teplota byla snímána jak v interiéru, tak i v exteriéru vozidla na předem vytipovaných místech (obr. č. 11) pomocí termočlánků typu WTK-8-12 = typ K, na přišroubování šroubem M4, délka termočlánku s vedením byla 30cm a měla skleněnou izolaci. (obr. č. 12). Teplotní odolnost je výrobcem Omega Engineering garantována do 480°C. Napojení termočlánků k měřicímu zařízení bylo zajištěno za pomoci tepelně odolných kabelů typu GG-K-24S se skleněnou izolací, které mají stejnou tepelnou garanci jako termočlánky.



Obrázek č. 11 - Axonometrický pohled na pozice termočlánků (T1 – T8) a detektorů CO (CO1, CO2) a jejich souřadnice (x, y, z) počítány od úrovně země pod geometrickým středem vozidla

Popis rozmístění termočlánků v interiéru a exteriéru vozidla (tab. č. 5):

T1	Vzduchový filtr v motorovém prostoru
T2	Vnější klika levých předních dveří
T3	Vnitřní spodní strana čelního skla
T4	Víko rezervy v zavazadlovém prostoru
T5	Na palivové nádrži z horní strany
T6	Motorová přepážka ze strany kabiny
T7	Před zadní pravou opěrkou hlavy
T8	Před přední levou opěrkou hlavy

Tabulka č. 5 – popis rozmístění termočlánků ve vozidle



Obrázek č. 12 – termočlánky typ K [3]

3.1.3. Měření koncentrace CO v interiéru

Snímání plynu CO bylo zajištěno pomocí senzorů od společnosti Figaro. Konkrétně se jednalo o typ TGS5042, které byly umístěny před pravou a za levou přední sedačkou v úrovni podlahy (obr. č. 11). Teplotní odolnost je výrobcem udávána do 70°C.

3.1.4. Způsob vyvedení kabeláže a měření

Kabeláž od čidel umístěných v interiéru byla vyvedena z vozu bočním trojúhelníkovým okénkem v zadních levých dveřích. Toto okénko bylo nahrazeno nerezovým plechem, kterým byla prostrčena nerezová roura o průměru 80 mm a délce 1000 mm. Kabeláž byla v této rouře obalena Sibralem. Sibrál je speciální vata, která je schopna odolat přímému působení plamene do teploty 1200°C.

Kabely od čidel byly napojeny do sběrného modulu typu NI9213 umístěného do CompactRio od společnosti NI Instruments. Toto zařízení bylo napojeno na notebook, ve kterém byl vytvořen speciálně pro tento full scale test projekt v programu Labview.

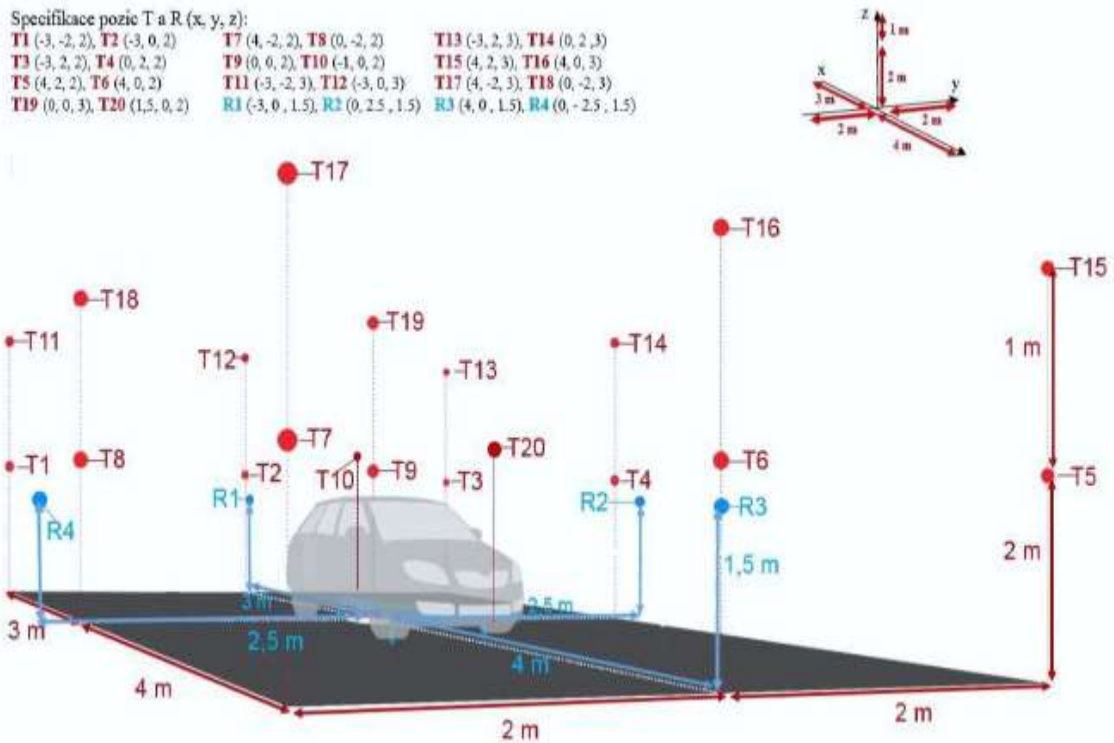
3.2. Technický ústav požární ochrany

Technický ústav požární ochrany se na tomto testu podílel z důvodu bohatých zkušeností v oblasti měření potřebných hodnot souvisejících s požáry. Konkrétně měl za úkol měřit tyto složky:

1. Teplotní pole
2. Pole hustot toku tepla
3. Šíření horkého kouře
4. Koncentrace vybraných toxikantů
5. Rychlosti proudění ovzduší v blízkosti zkušebního požáru

3.2.1. Teplotní pole

Teplotní pole a teplota ovzduší v průběhu zkušebního požáru byly měřeny v definovaných pozicích (obr. č. 13) za pomoci 20 ks termočlánků označených T1 až T20 typu K s rozsahem do 1200°C. Napojení termočlánků bylo pomocí termočlánekového vedení XS-K do autonomní měřicí ústředny MS 98CW a notebooku. Teplotní pole bude dále snímat termovizní kamera FLIR S65.



Obrázek č. 13 – rozmístění termočlánků (T1-T18) a radiometrů (R1-R4) [1]

3.2.2. Pole hustot toku tepla

Snímání pole hustot toku tepla proběhlo ve čtyřech pozicích R1 až R4 pomocí radiometrů St- Boltz upevněných na železných stojanech v definovaných pozicích (obr. č. 13) s propojením na tlakové zásobníky s vodou, která tyto radiometry chladila.

3.2.3. Šíření horkého kouře

Šíření horkého kouře bylo snímáno pomocí měřidla optické hustoty kouře MIREX EC-911 napojeného na dataloger OM-CP-VOLT101, který sbíral data. Měřidlo bylo umístěno na kovovém stojanu do kouřové vlečky před vozidlem ve směru větru.

3.2.4. Koncentrace vybraných toxikantů

Koncentrace vybraných toxikantů ve vzorkovaném ovzduší kouřové vlečky v podélném směru bylo vzorkováno ve výšce 2 a 4 metry odběrovou sondou s následnou analýzou plynů (CO, CO₂, O₂, SO₂, NO a NO₂) pomocí analyzátoru plynů TESTO 350XL. Dále bylo za pomoci aktivní sorpce trubiček ORBO provedeno vzorkování z interiéru vozidla skrze zadní pravé trojúhelníkové okénko s následnou analýzou pomocí GCMS za účelem stanovení těkavých organických sloučenin.

3.2.5. Rychlost proudění ovzduší v blízkosti zkušebního požáru

Rychlost proudění větru v blízkosti požární zkoušky bylo snímáno za pomoci ultrazvukového anemometru.

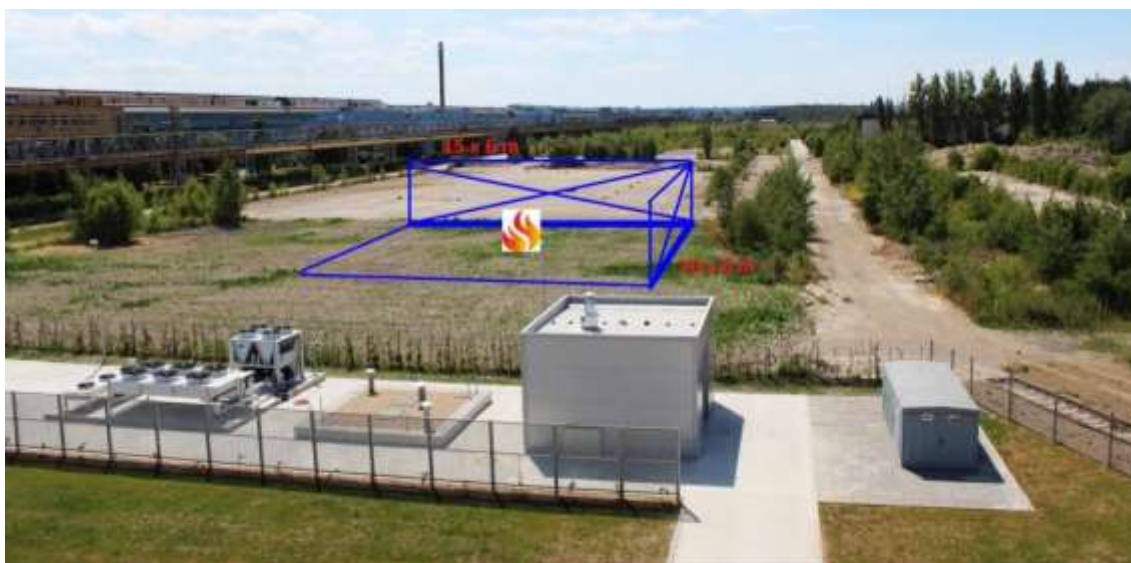
3.3. Fakulta stavební a Univerzitní centrum energeticky efektivních budov

Fakulta stavební ČVUT, pod kterou spadá Univerzitní centrum energeticky efektivních budov, měla za úkol zajistit následující body k požární zkoušce:

1. Místo pro realizaci zkoušky
2. Měření úbytku hmotnosti vozidla
3. Měření meteorologické situace

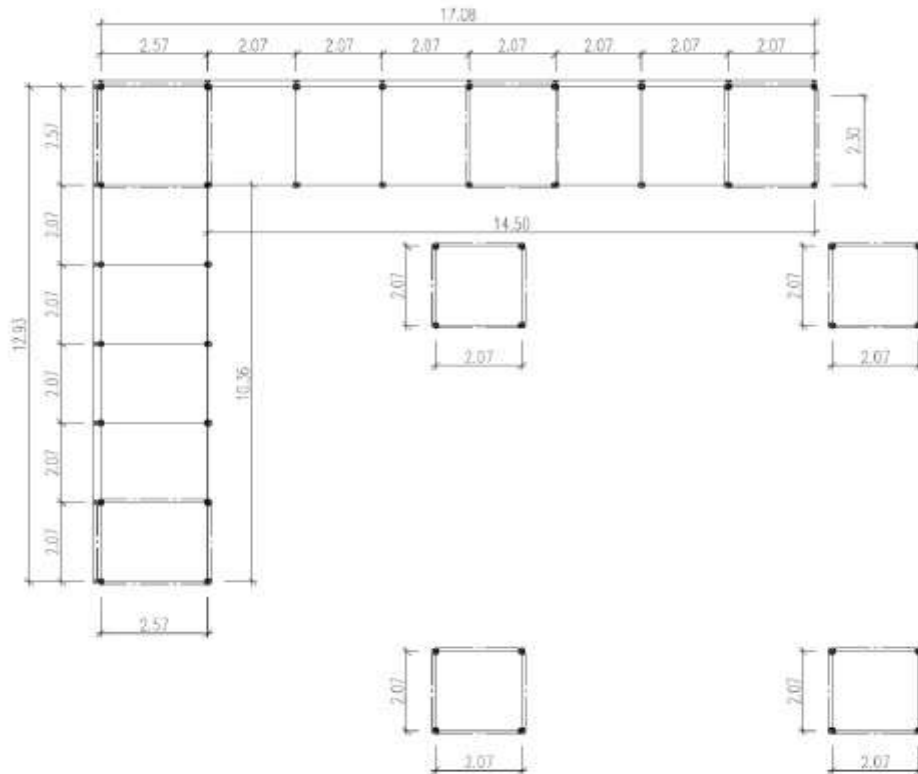
3.3.1. Místo pro realizaci zkoušky

Místo pro realizaci požární zkoušky bylo zvoleno v areálu Univerzitní centrum energeticky efektivních budov v Buštěhradě nedaleko Kladna. Jednalo se o částečně zpevněnou plochu (obr. č. 14) z udusané hlíny s obsahem kameniva.



Obrázek č. 14 – pohled na místo realizace zkoušky [1]

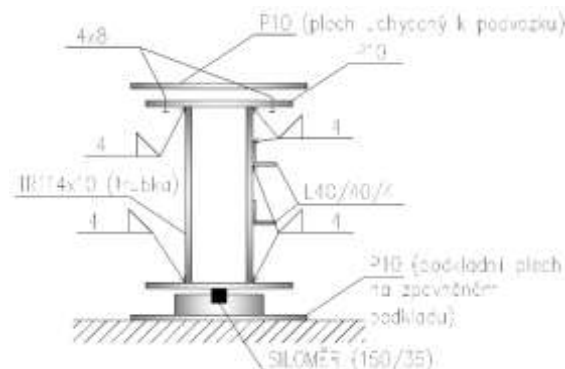
Okolo vozidla byla vystavěna v dostačené vzdálenosti zástěna z lešení, aby nedocházelo k ovlivnění zkoušky větrem (obr. č. 15). V blízkosti zástěn byly vystavěny čtyři věže a to z důvodu, že na ně byly následně ve výšce 2 a 3 metry od země vypnuta lana, na které byly zavěšeny měřící termočlánky technického ústavu požární ochrany.



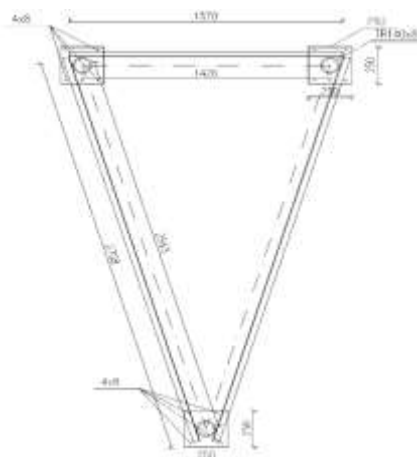
Obrázek č. 15 – zástěna a rozmístění sloupů [1]

3.3.2. Měření úbytku hmotnosti

Měření úbytku hmotnosti bylo snímáno v reálném čase za pomoci vah, které byly pro tento test speciálně vyrobeny. Vážení auta bylo na třech stojkách (obr. č. 16), které byly navzájem propojeny úhelníky (obr. č. 17). Přední stojky byly umístěny vedle předních kol pod nápravu a zadní byla umístěna ve středu zadní nápravy. Pod stojkami byly umístěny siloměry (obr. č. 18) o maximálním zatížení 2000 kg na jednu stojku a s celkovou rozlišovací schopností 0,1 kg.



Obrázek č. 16 – detail ocelové stojky [1]



Obrázek č. 17 – půdorys konstrukce pod vozidlo [1]



Obrázek č. 18 – siloměr o průměru 150mm a výšce 35mm [1]

3.3.3. Měření meteorologické situace

Zázemí Univerzitního centra energeticky efektivních budov je vybaveno meteorologickou stanicí pro snímání teploty a vlhkosti ovzduší, směru a rychlosti proudění větru. Snímání je možno provádět v pozemní úrovni a na střeše budovy.

4. Průběh požární zkoušky

Požární zkouška proběhla 8. října 2014 v již zmiňovaném areálu Univerzitního Centra Efektivně Energetických Budov v Buštěhradě nedaleko Kladna ve 14:00.

Full scale test měl za úkol simulovat požár osobního automobilu v důsledku úniku paliva z jeho palivové nádrže a vznícení par pod automobilem od výfuku. Uniklé palivo bylo při testu reprezentováno 15 litry automobilového benzínu ve čtvercové železné nádobě o rozměrech 90 cm x 90 cm x 15 cm umístěné pod automobilem před zadními koly. K iniciaci paliva došlo zapálením hořící pochodní příslušníkem jednotky požární ochrany v ochranném oděvu (obr. č. 20). Z důvodu ochrany životního prostředí je pod automobil instalována záchytná vana: část terénu přesahující obrys vozidla je zpevněna a opatřena dvojitou vrstvou polyethylenové folie, pískového podsypu a tuhých desek z minerálních vláken (2x 30 mm), k ochraně kabelů měřících zařízení (obr. č. 19). [1]



Obrázek č. 19 – záchytná jímka s rámem vah [1]



Obrázek č. 20 - Pohled na zkušební automobil v záchytné jímce těsně po zapálení [1]

V průběhu požáru byly sledovány následující veličiny:

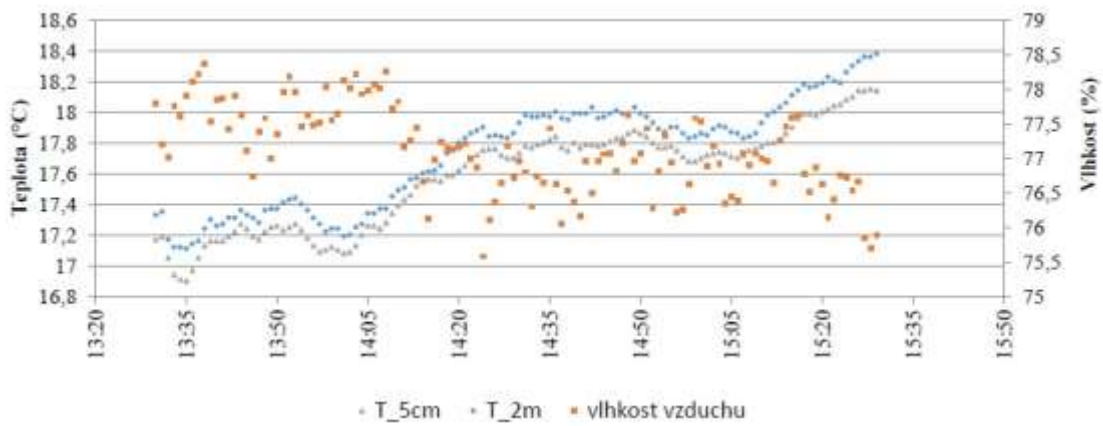
- V definovaných pozicích vně automobilu bylo měřeno teplotní pole, hustota toku tepla, optická hustota kouře, rychlost a směr větru a teplota ovzduší
- V definovaných pozicích uvnitř automobilu bylo měřeno teplotní pole a vzorkovaly zplodiny hoření k následné chemické analýze na obsah vybraných polutantů
- Optická hustota kouře vznikajícího při požáru automobilu
- Úbytek hmotnosti hořícího automobilu v důsledku hoření hořlavých materiálů v jeho konstrukci a vnitřním vybavení, a to pomocí speciálních vah, na kterých je vozidlo upevněno. Ze znalostí úbytků hmotnosti a vybraných požárně technických charakteristik hořlavých materiálů ve vozidle se následně výpočetně odhaduje rychlost vývinu tepla, špičková hodnota rychlosti vývinu tepla a celkové množství uvolněného tepla při požáru
- Jevy při požáru automobilu pomocí videa, termovizních kamer a fotoaparátů s následným vyhodnocením příčin jevů. [1]

Kolem požářiště bylo páskou vyznačeno bezpečnostní pásmo pro diváky ve vzdálenosti 15 m, k zajištění hasebního zásahu, pro případ potřeby, je zajištěna asistence jednotky požární ochrany s cisternovou automobilovou stříkačkou. Celou zkoušku řídil vedoucí zkoušky, prof. F. Wald z Fakulty stavební, který dával pokyn k zapálení automobilu a zahájení měření, dále informoval diváky o průběhu zkoušky a poskytoval informace o aktuálním úbytku hmotnosti. [1]

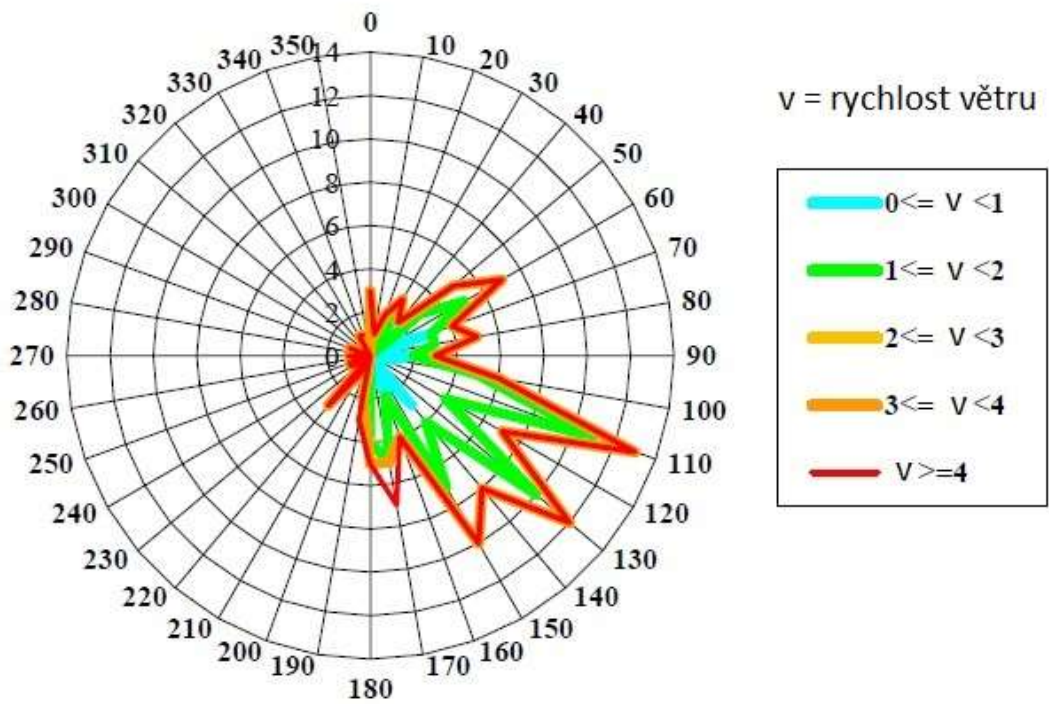
4.1. Meteorologické podmínky

Během požární zkoušky byly snímány Univerzitním centrem energeticky efektivních budov hodnoty ovzduší (graf č. 1), rychlost a směr větru (graf č. 2) ve dvou úrovních (0.05m a 2.0m) nad úrovní země.

Dále byla technickým ústavem požární ochrany v průběhu zkoušky snímána rychlost proudění větru v blízkosti hořícího vozidla. Rychlost větru se pohybovala v rozmezí $v = 0.01$ až 1.0 m/s.



Graf č. 1 – teplota a vlhkost ovzduší [1]



Graf č. 2 – Směr a rychlost větru [1]

4.2. Měření teploty a hustoty toku tepla

Při požáru byla teplota měřena jak v exteriéru, tak i v interiéru vozidla. Hustota toku tepla byla měřena pouze vně vozidla. Všechna místa byla předem definovaná (obr. č. 11 a 13)

4.2.1. Uvnitř vozidla

Termočlánky byly zafixovány horkými konci v požadovaných pozicích. Kompenzačním vedením byly propojeny s měřicí ústřednou a PC, které byly umístěny za zástěnou. Průběhy teplot při zkoušce v měřených pozicích T1 až T8 uvnitř interiéru vozidla (obr. č. 11), jsou patrný z grafů v následující kapitole.[1]

4.2.2. Vně vozidla

Technický stav požární ochrany měřil teplotní pole ve 20 a hustotu toku tepla ve 4 pozicích (obr. č. 13). Teploty byly snímány pomocí termočlánků typu K v pozicích vyznačených symboly T1 až T20, z nichž:

- 8 ks bylo ve výšce 2,0 m (pozice T1 a T8),
- 8 ks bylo ve výšce 3,0 m (pozice T11 až T18),
- 4 ks byly umístěny přímo nad zkušebním vozidlem.

Termočlánky byly zafixovány horkými konci na lankách napnutých mezi věžemi v požadovaných pozicích. Kompenzačním vedením byly propojeny s měřicí ústřednou a PC, které byly umístěny za zástěnou. Hustoty toku tepla byly snímány pomocí 4 ks radiometrů v pozicích R1 až R4 ve výšce 1,50 m. Tělesa radiometrů (přívody a odvody chladicí vody, elektrické vodiče) byla umístěna na železných stojanech a situována měřicím terčíkem na osobní automobil Fabia (obr. č. 20). Datová vedení radiometrů byla natažena za zástěnu k měřicí ústředně a PC. [1]

5. Vyhodnocení požární zkoušky

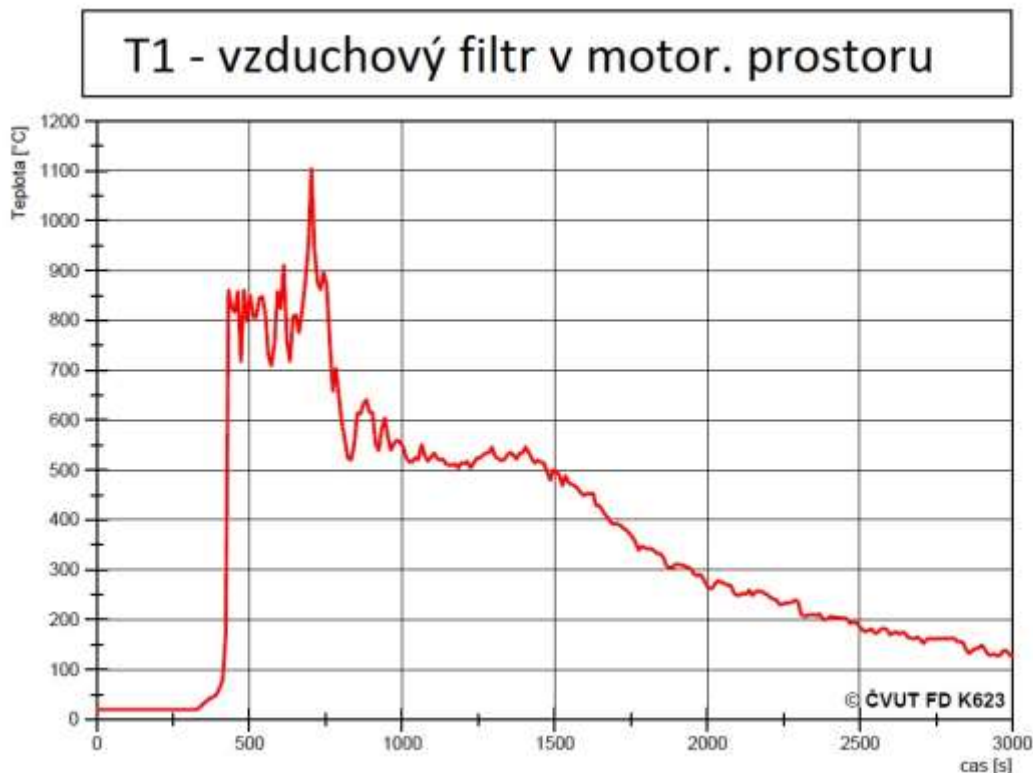
5.1. Teplotní pole uvnitř vozidla

Měření teploty uvnitř vozidla měla v režii Fakulta dopravní, která měřila ve specifikovaných pozicích (obr. č. 11). V tabulce č. 6 jsou vyhodnoceny nejvyšší dosažené teploty v průběhu zkušebního požáru. Měření bylo ukončeno v 68. minutě od jejího zahájení. Výpočetně odhadnutá celková nejistota výsledků měření $U_c = 3,25 \text{ °C}$ je součinem kombinované nejistoty měření a koeficientu rozšíření $k = 2$, což odpovídá pravděpodobnosti pokrytí 95 % při normálním rozdělení. [1]

Termočlánek	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
$T_{max} \text{ [°C]}$	1104,8	1264,2	930,4	915,1	968,3	880,6	896,9	981,4
Čas [s]	700	690	960	980	1050	930	960	1060

Tabulka č. 6 – maximální naměřené teploty s časem dosažení [1]

V následujících grafech (č. 3 – 10) je znázorněn průběh teploty ve specifikovaných pozicích T1 – T8.



Graf č. 3 – průběh teploty v pozici T1



Graf č. 4 – průběh teploty v pozici T2



Graf č. 5 – průběh teploty v pozici T3



Graf č. 6 - průběh teploty v pozici T4



Graf č. 7 - průběh teploty v pozici T5



Graf č. 8 - průběh teploty v pozici T6



Graf č. 9 - průběh teploty v pozici T7



Graf č. 10 - průběh teploty v pozici T8

5.2. Teplotní pole vně vozidla

V tabulce č. 7 a č. 8 jsou vyhodnoceny nejvyšší dosažené teploty termočlánků v pozicích T1 – T20 a hustoty toku tepla R1 – R4 v průběhu zkušebního požáru (obr. č. 13). Odhad nejistoty výsledků měření:

- teploty: $UT = \pm 1,8 \text{ } ^\circ\text{C}$
- hustoty toku tepla: viz tabulka

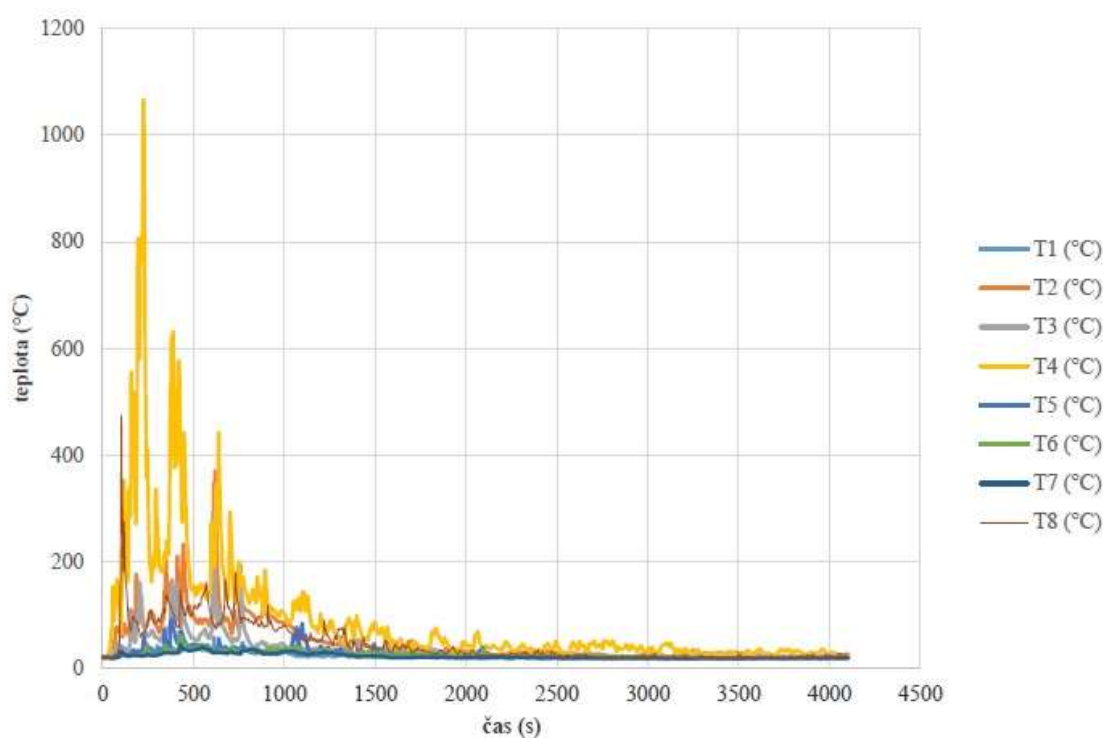
Veličina	Čidlo									
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10
T_{max} [°C]	58,6	370,2	292,6	1066,7	91,7	61,5	44,0	468,3	582,1	883,8
Čas [s]	1314	618	609	225	378	426	429	102	675	717
Veličina	Čidlo									
	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18	T19	T20
T_{max} [°C]	56,8	237,4	203,2	664,6	83,1	60,6	37,0	271,9	580,0	934,3
Čas [s]	513	621	438	222	372	426	429	99	480	540

Tabulka č. 7 -Maximálně naměřené hodnoty teplot vně hořícího zkušebního vozidla s časem jejich dosažení [1]

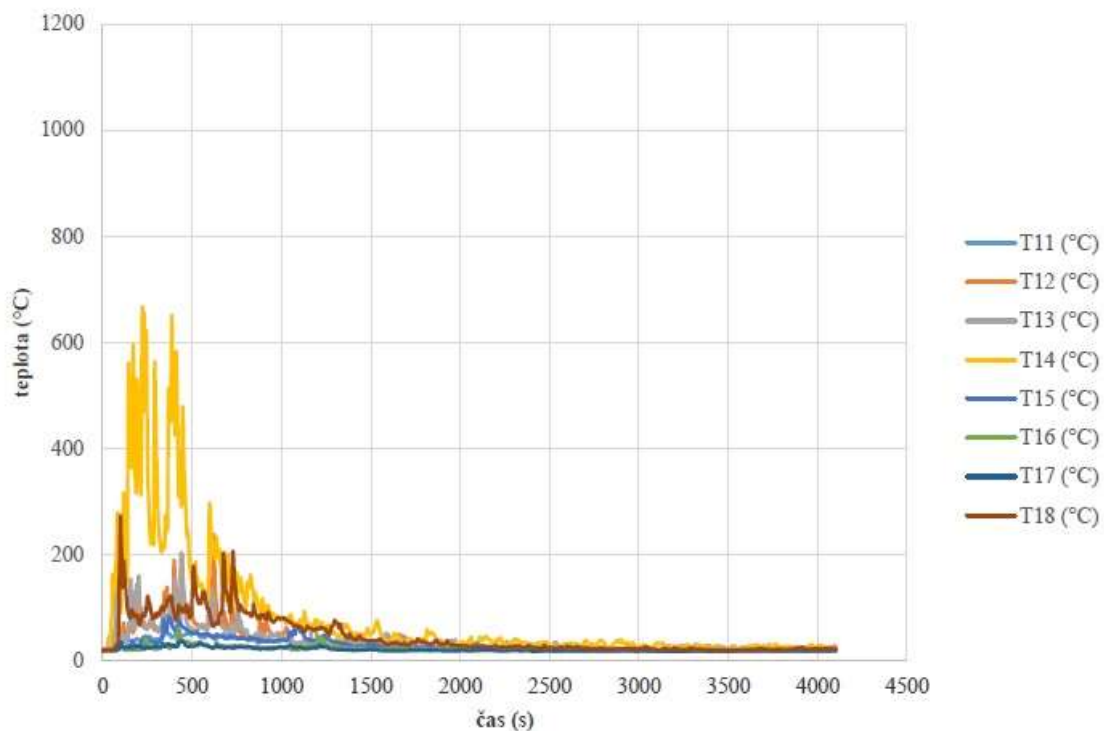
Veličina	Čidlo			
	R1	R2	R3	R4
max. hodnoty tepla (kW/m²)	30,14	85,83	11,61	67,53
U_{RQ} (kW/m²)	± 1,96	± 5,58	± 0,75	± 4,39
čas (s)	183	156	186	117

Tabulka č. 8 - Maximálně naměřené hodnoty hustot toku tepla Q vně zkušebního vozidla v čase jejich dosažení a s odhadem rozšířené nejistoty U_{RQ} [1]

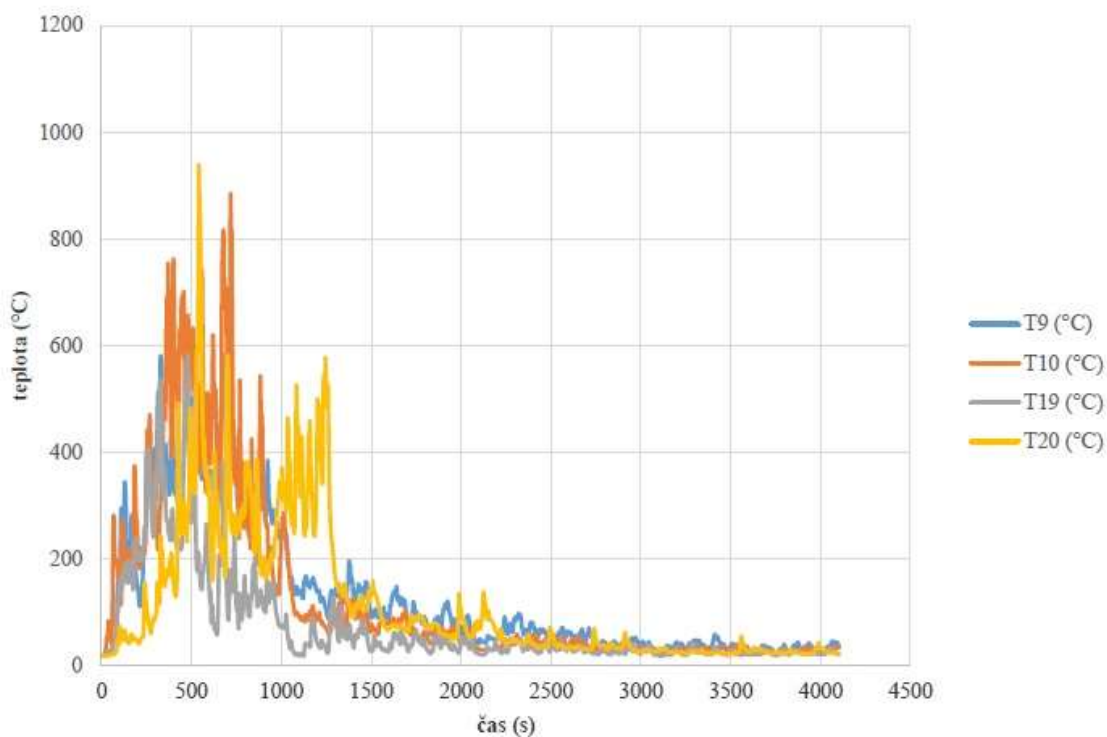
V následujících grafech (č. 11 – č. 14) jsou znázorněny průběhy teplot ve specifikovaných pozicích T1 – T20.



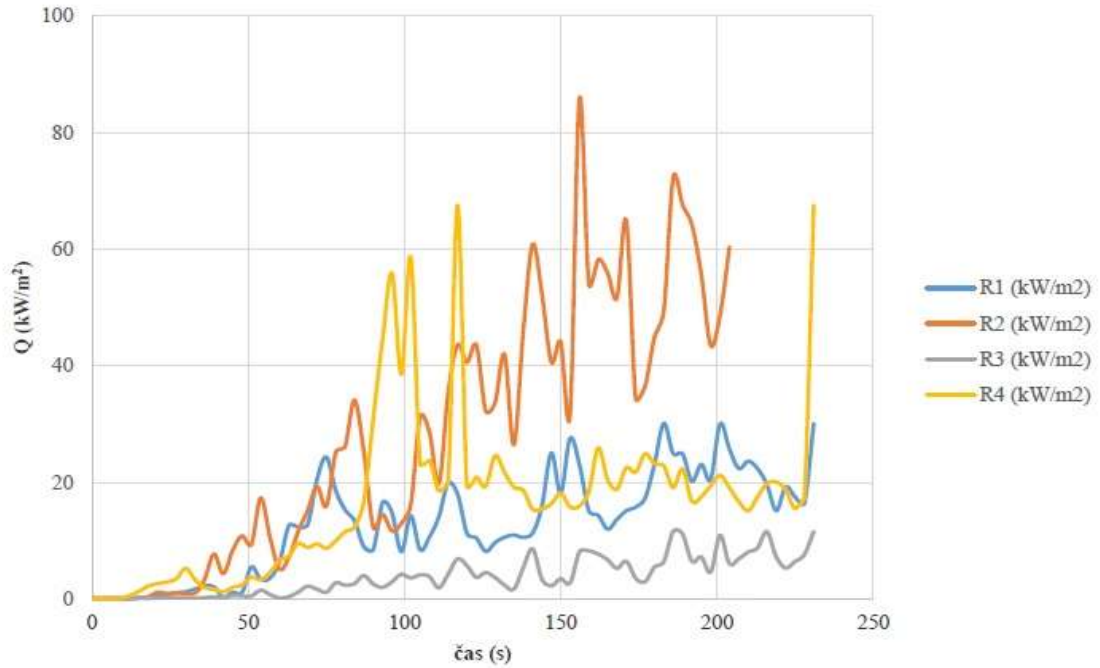
Graf č. 11 - Průběh teplot v čase požární zkoušky v pozicích T1 – T8, výška 2,0 m [1]



Graf č. 12 - Průběh teplot v čase požární zkoušky v pozicích T11 – T18, výška 3,0 m [1]



Graf č. 13 - Průběh teplot v čase požární zkoušky v pozicích T9, T10, T19 a T20, prostor nad automobilem [1]



Graf č. 14 - Průběh hustot toku tepla v čase požární zkoušky v pozicích R1 až R4 [1]

5.3. Vzorkování a chemická analýza odebraných vzorků na obsah polutantů uvnitř vozidla

5.3.1. Technický ústav požární ochrany

Technický ústav požární ochrany měl natažené vzorkovací vedení (obr. č. 21) z boku vozidla skrze trojúhelníkové okénko v pravých zadních dveřích, které bylo vyjmuté, před hlavovou opěrkou zadního sedadla.

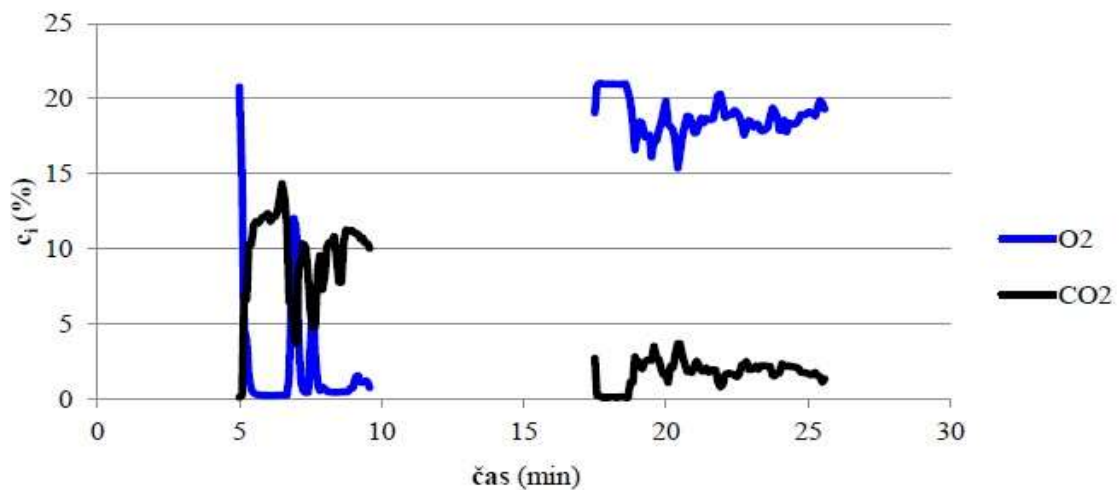


Obrázek č. 21 - Pozice vzorkovacích sond TÚPO (1 a 2) a FD (3), 1 - vzorkovací kovová sonda pro analyzátor plynů TESTO 350 L, 2 - vzorkovací kovová sonda pro ORBO, 3 – ochranná trubice pro termočláanky a kompenzační vedení detektoru CO [1]

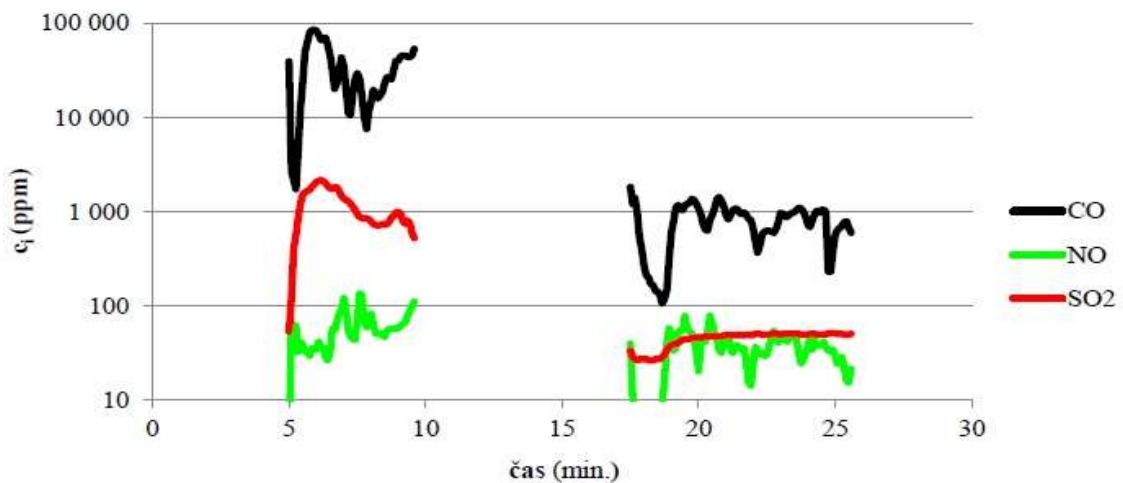
Na opačném konci vzorkovacího vedení, které je na obrázku č. 21 označeno čísly 1 a 2, ve vzdálenosti cca 2,0 m od automobilu, byly na něj připojeny silikonové hadice, cca 10 m dlouhé, vedené za ochrannou stěnu, kde se napojily přes filtry a vymrazovací jednotku do analyzátoru Testo 350 L a přes hmotnostní průtokoměr, jehlicový ventil, plováчковý průtokoměr na vzorkovací ORBO trubice. [1]

Analyzátor Testo 350 L vyhodnocoval přímo na místě koncentrace - CO, CO₂, O₂, NO, SO₂. Výsledky z analyzátoru popisují následující grafy č. 15, 16 a tabulka č. 9.

Při měření v průběhu požární zkoušky došlo 2x k výpadku snímání dat odběrovým softwarem analyzátoru plynů: v 1. – 5. a 9. – 17. minutě, viz graf č. 15 a 16.



Graf č. 15 - Výsledky chemických analýz ovzduší uvnitř interiéru vozidla při jeho požáru [1]



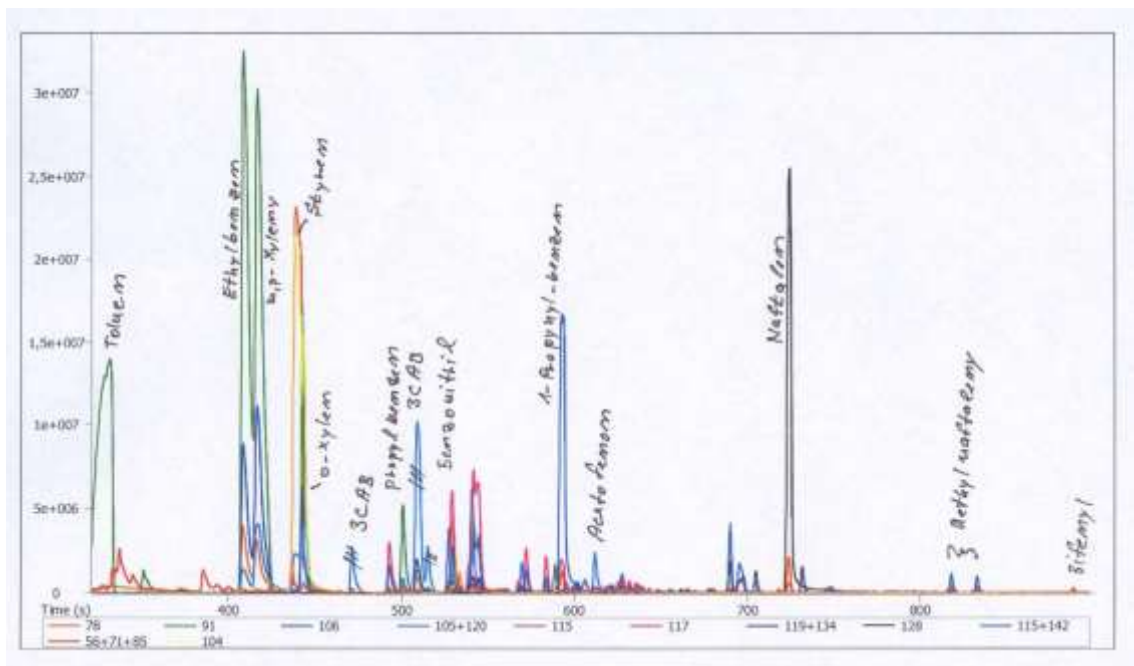
Graf č. 16 - Výsledky chemických analýz ovzduší na obsah CO, NO a SO₂ uvnitř interiéru zkušební vozidla při jeho požáru [1]

V tabulce č. 9 jsou vyhodnoceny nejvyšší dosažené koncentrace v průběhu požární zkoušky. Měření bylo ukončeno v 68. minutě od jejího zahájení.

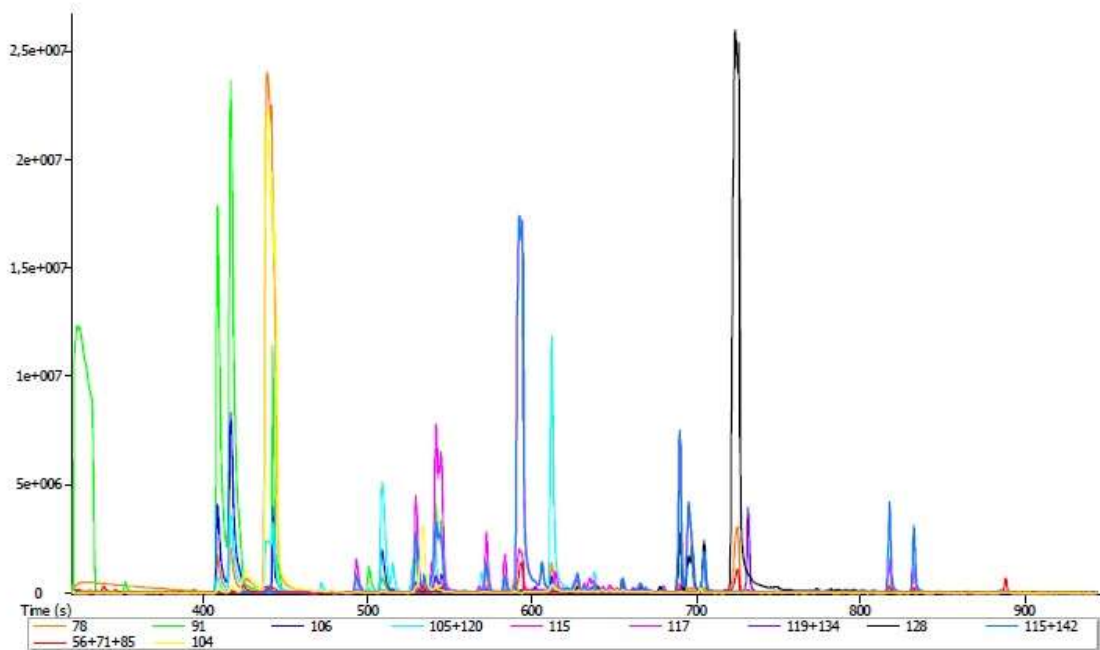
plyn	C _{max}	τ _{Cmax} (h:min:s)	nejvyšší přípustná koncentrace plynů [mg/m ³]	U _R = ±
O ₂	C _{min} = 0,21 % obj	14:22:57	0,2 (% obj)	O ₂
CO	84 898 ppm	14:22:47	133 ppm	30 (ppm)
CO ₂	14,35 % obj.	14:23:22	2,5 % obj.	0,2 (% obj)
NO	134 ppm	14:24:27	12,2 ppm	15 (ppm)
SO ₂	2150 ppm	14:23:22	1,9 ppm	10 (ppm)

Tabulka č. 9 - Maximální naměřené hodnoty koncentrací uvnitř hořícího zkušebního vozidla s časy jejich dosažení a hodnotami nejvyšší přípustné koncentrace plynů a rozšířená nejistota UR koncentrací plynů naměřených analyzátořem TESTO 350 L [1]

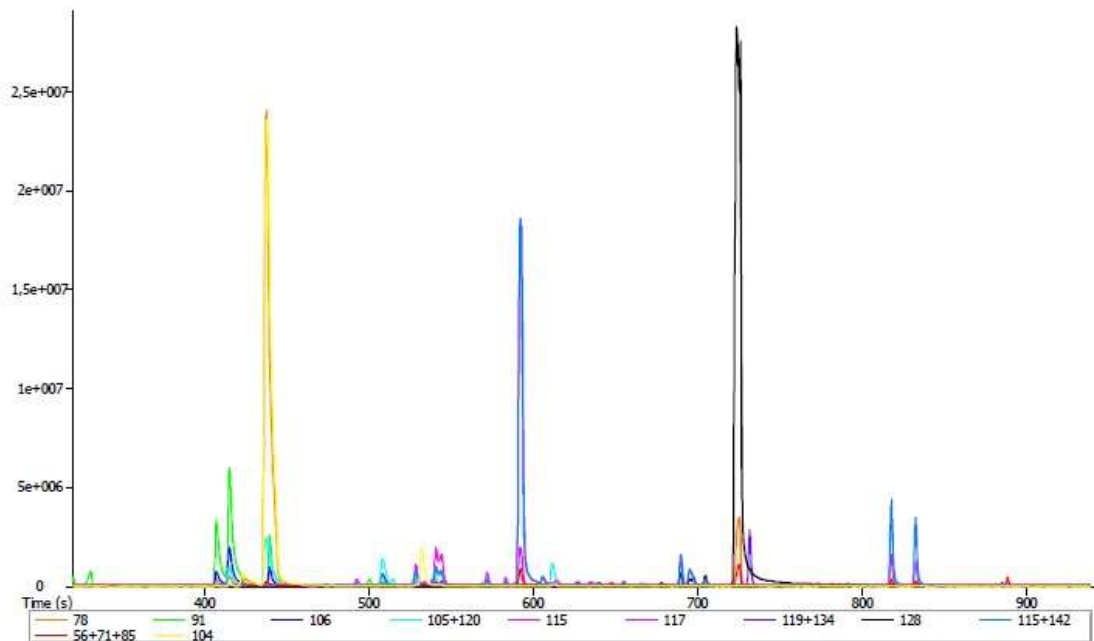
Vyhodnocení přes ORBO trubičky proběhlo v laboratoři. Výsledky popisují grafy č. 17 – 20 a tabulka č. 10.



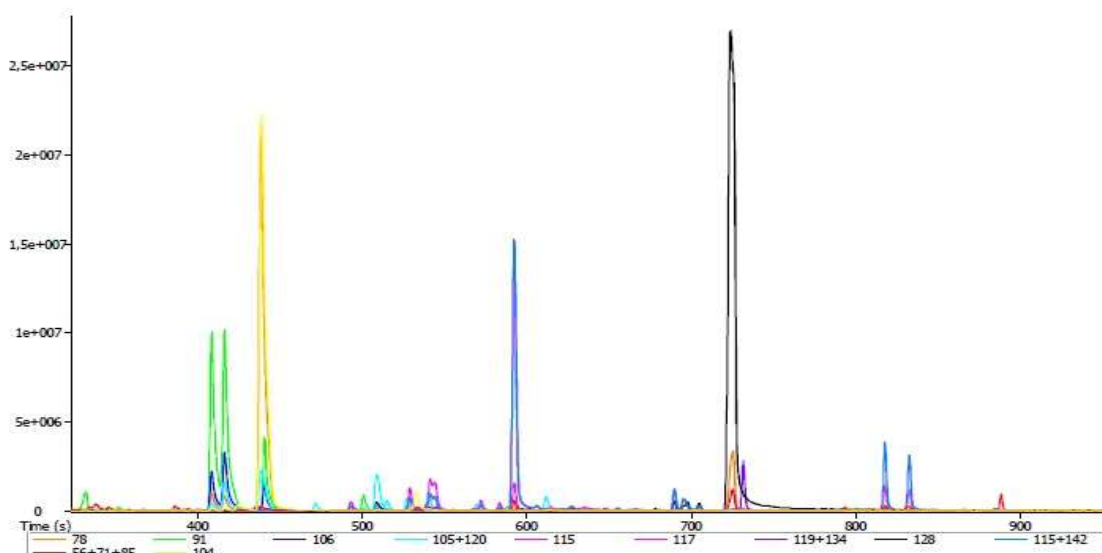
Graf č. 17 – Chromatogram chemických analýz ovzduší uvnitř interiéru zkušebního vozidla při jeho požáru na obsah těkavých organických sloučenin a polyaromatické uhlovodíky, trubička ORBO 1 (5-7 min) [1]



Graf č. 18 – Chromatogram chemických analýz ovzduší uvnitř interiéru zkušebního vozidla při jeho požáru na obsah těkavých organických sloučenin a polyaromatické uhlovodíky, trubička ORBO 2 (8-11 min) [1]



Graf č. 19 – Chromatogram chemických analýz ovzduší uvnitř interiéru zkušebního vozidla při jeho požáru na obsah těkavých organických sloučenin a polyaromatické uhlovodíky, trubička ORBO 3 (15 - 18 min) [1]



Graf č. 20 – Chromatogram chemických analýz ovzduší uvnitř interiéru zkušebního vozidla při jeho požáru na obsah těkavých organických sloučenin a polyaromatické uhlovodíky, trubička

ORBO 4 (21 – 25,5 min) [1]

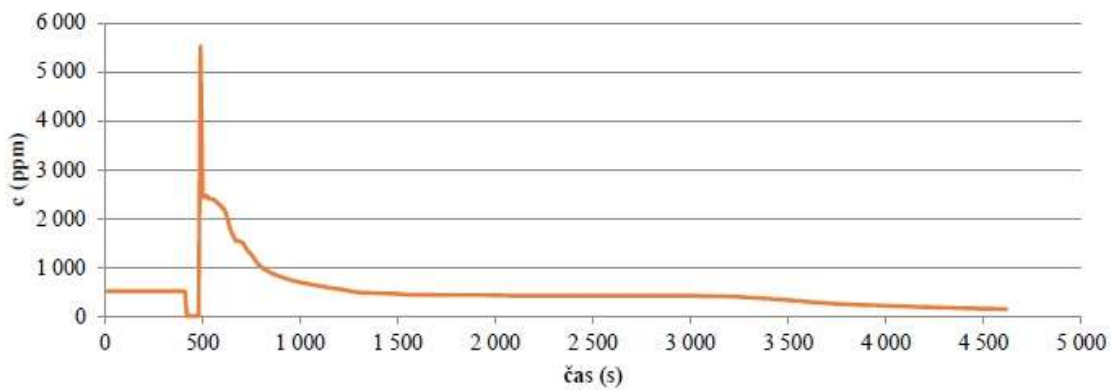
název složky	RT [s]	char. hm.	ORBO 1	ORBO 2	ORBO 3	ORBO 4
			[% plochy] (5-7) min	[% plochy] (8-11) min	[% plochy] (15-18) min	[% plochy] (21-25,5) min
Toluen (C7H8)	315	91	18,0	15,1	11,2	8,3
Ethyl Benzen (C8H10)	408	91, 106	7,1	2,4	2,7	3,6
m, p, Xyleny (C8H10)	416	91, 106	1,8	6,9	1,9	4,9
Fenyl Ethin (C8H6)	424	76, 102	29,4	5,5	25,3	4,8
o-Xylen (C8H10)	442	91, 106	3,1	1,2	0,8	1,1
Styren (C8H8)	444	104	0,3	0,8	3,1	22,6
Benzaldehyd (C7H6O)	509	77,	-	1,5	0,6	0,1
cis--Methyl Styren (C9H10)	529	117, 118	4,2	2,8	0,7	-
Benzonitril (C7H5N)	533	76, 103	0,2	11,0	19,6	6,4
skupina tri alkyl Benzenů	-	105, 120	6	2	0,3	1,4
Indan (C9H10)	524	118	1,1	0,9	0,2	0,1
1-Propynyl Benzen (C9H8)	592	115, 116	4,9	8,0	9,5	7,2
Inden (C9H8)	606	115, 116	0,3	0,5	0,1	0,1
Acetofenon (C8H8O)	612	51, 77, 120	1,2	5,7	6,6	0,5
Naftalen (C10H8)	724	128	3,5	5,9	6,6	19,3
Methyl Naftaleny (C11H10)	818, 832	115, 142	0,7	2,1	2,6	2,0
Bifenyl (C12H10)	885	154	0,3	0,7	1,2	0,7

Tabulka č. 10 - Souhrnná tabulka hlavních identifikovaných složek těkavých organických sloučenin a polyaromatické uhlovodíky [1]

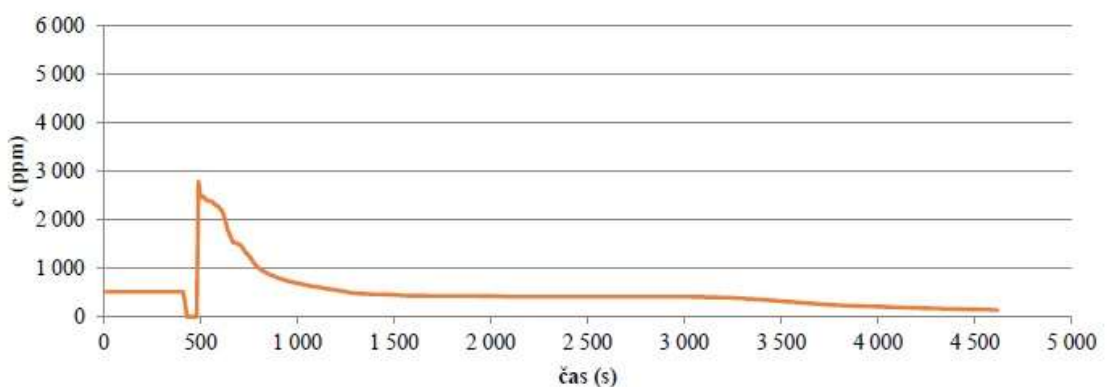
5.3.2. Fakulta dopravní

Fakulta dopravní vzorkovala a analyzovala plynné zplodiny hoření na obsah CO uvnitř interiéru vozidla s detektory umístěnými na podlaze před levým předním sedadlem a na podlaze za pravým předním sedadlem. Tepelně izolované prodlužovací kompenzační vedení od detektorů bylo vedeno ochrannou trubicí (obr. č. 21) o délce 1.0 m z nerez oceli malým zadním levým okénkem do měřicí ústředny mající stanoviště za pravým rohem ochranné zástěny. [1]

Detektor CO snímal data koncentrace v jednotkách μA při požární zkoušce v 10s intervalech. Všechna data uložená v měřicí ústředně byla pomocí korekčního faktoru ($\text{ppm}/\mu\text{A}$) transformována na koncentrace v jednotkách ppm. Z nich byl sestrojen graf průběhu koncentrací CO uvnitř vozidla v čase zkoušky (graf č. 21 a 22). [1]



Graf č. 21 - Průběh koncentrace CO v interiéru zkušebního vozidla, pozice CO-1 [1]

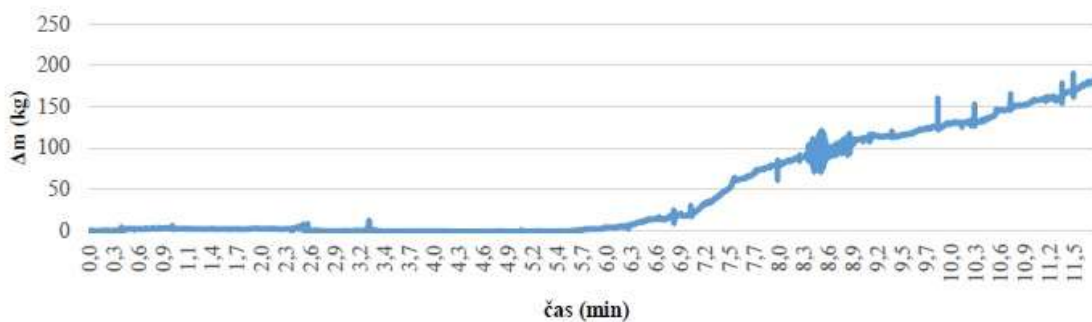


Graf č. 22 – Průběh koncentrace CO v interiéru zkušebního vozidla, pozice CO-2 [1]

V průběhu měření CO došlo k výpadku ve snímání dat u obou detektorů v intervalu od 430 s do 480 s. V grafech byl výpadek doplněn pravděpodobným průběhem koncentrační křivky v dotčeném intervalu. Nejvyšší koncentrace CO byly naměřeny na pozici CO-1 ve výši 5331,68 ppm a na pozici CO-2 ve výši 2742,6 ppm ve 490. s. Výsledky měření jsou pouze orientační, neboť elektrochemické čidlo TGS 5042 je výrobcem určeno pro měření obsahu CO v ovzduší při teplotách od $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$, kdy při koncentracích CO do 500 ppm výrobce uvádí odchylky od správných hodnot ve výši $\pm 5\%$ naměřené hodnoty. [1]

5.4. Vážení úbytku hmotnosti vozidla hořením při požární zkoušce

Z důvodu potřeby vážení úbytku hmotnosti v průběhu požáru, byly vyrobeny speciální váhy. Váhy a datové kabely byly obaleny pomocí minerální izolace, aby nedošlo k jejich poškození v důsledku vysokých teplot. Vozidlo bylo na váhy postaveno autojeřábem a následně byly kalibrovány. Úbytek hmotnosti znázorňuje graf č. 23.



Graf č. 23 - Úbytek hmotnosti hořícího zkušební vozidla (v kg) v průběhu zkoušky [1]

Vážení bylo započato v čase 14:14:53 h a ukončeno ještě funkčními vahami za 702,7 vteřin s výsledným úbytkem hmotnosti 1,79 kN, tj. 179,67 kg. Zrychlení v úbytku hmotnosti bylo pozorováno po uplynutí cca 400 sekund. Odečteme-li známá množství motorové nafty v nádrži (cca 32,8 kg) a 5 ks pneumatik (cca 35 kg), vyhořelo cca 111, 87 kg dalších hořlavých hmot v konstrukci a ve vnitřním vybavení vozidla. Informaci o druzích těchto hořlavých hmot, jejich množství a požárně technických charakteristik se nepodařilo u výrobce vozidla získat. [1]

5.5. Odhady v rychlosti vývinu tepla, špičkové hodnoty rychlosti vývinu tepla a celkového množství uvolněného tepla při požáru vozidla

Rychlost vývinu tepla, špičkové hodnoty rychlosti vývinu tepla a celkové množství uvolněného tepla při požáru hořícího objektu jsou považovány za nejdůležitější charakteristiky jeho požárního nebezpečí.

Protože se nepodařilo sumarizovat konkrétní druhy hořlavých materiálů v konstrukci a vnitřním vybavení spáleného vozidla, jejich množství a základní požárně technické charakteristiky (výhřevnost, hmotnostní rychlost odhořívání), nebylo možno pouze ze znalostí naměřených hmotnostních úbytků hořícího vozidla v čase požární zkoušky výpočetně odhadnout výše uvedené parametry. [1]

5.6. Měření optické hustoty kouře

Podle předchozí dohody měl měření optické hustoty kouře realizovat technický ústav požární ochrany. Při instalaci a ověření funkčnosti aparatury na místě experimentu byla zjištěna závada, ke které došlo při převozu. Závada nebyla opravitelná na místě v reálném čase. Z tohoto důvodu nebylo měření optické hustoty kouře realizováno. [1]

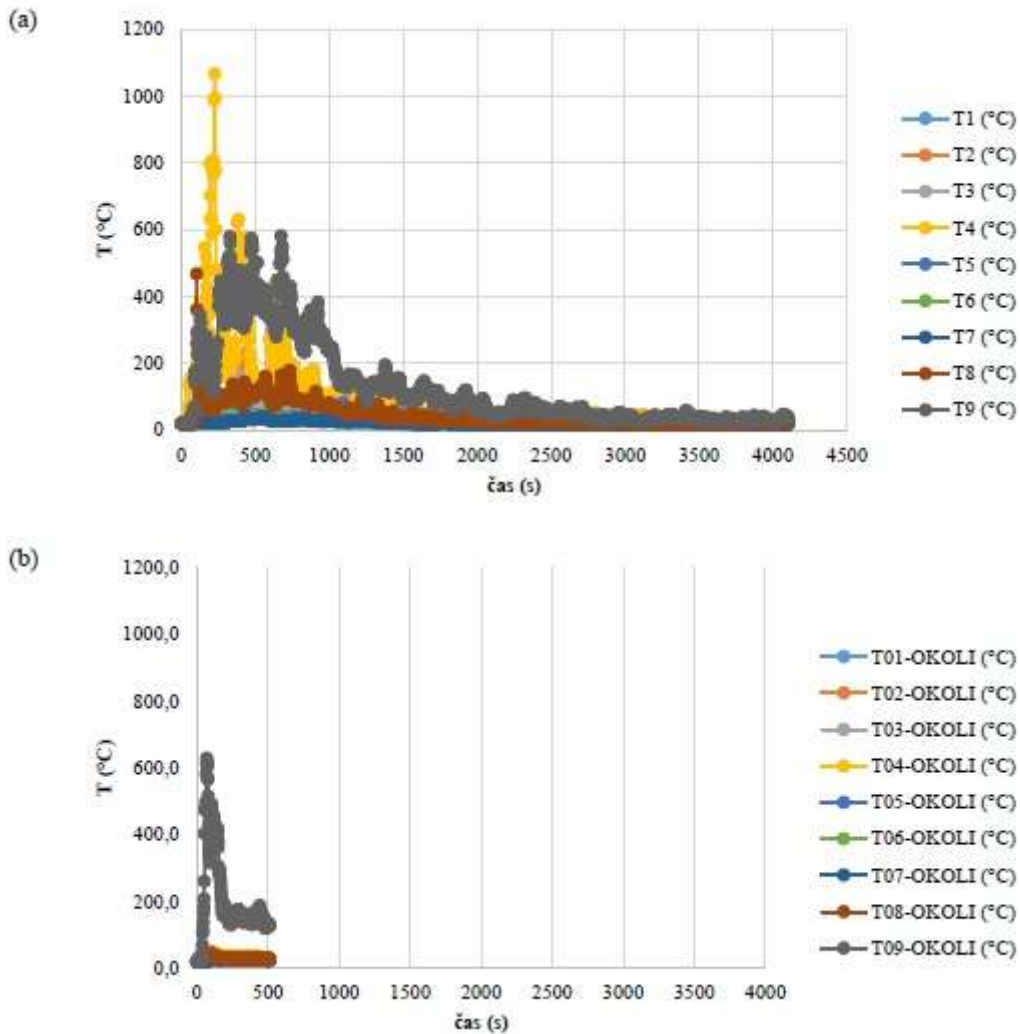
5.7. Matematický model

V současné době se přechází od reálných zkoušek k počítačovým modelům a to především z důvodu velkých finančních nákladů, které jsou potřeba k realizaci takového reálného testu. Tak tomu bylo i v případě popisovaného full scale testu. Technický ústav požární ochrany disponuje softwarem, s jehož pomocí je možno takovýto test namodelovat. Konkrétně v tomto případě se jednalo o software Pyrosim 2014.2.0807, ve kterém se definuje scénář zkoušky, vlastní výpočet se simuloval v softwaru Fire Dynamics Simulator 6.1.1. a grafický výstup byl zprostředkován pomocí softwaru Smokeview 6.1.11.

Vstupní informace pro získání počítačové simulace byly totožné s realitou. Iniciale požáru byla za pomoci 15 litrů benzínu umístěného ve čtvercové nádobě o rozměrech 600mm x 600mm x 100mm. Rozměry modelovaného vozidla byly zadány tak, aby co nejvíce vystihovaly realitu.

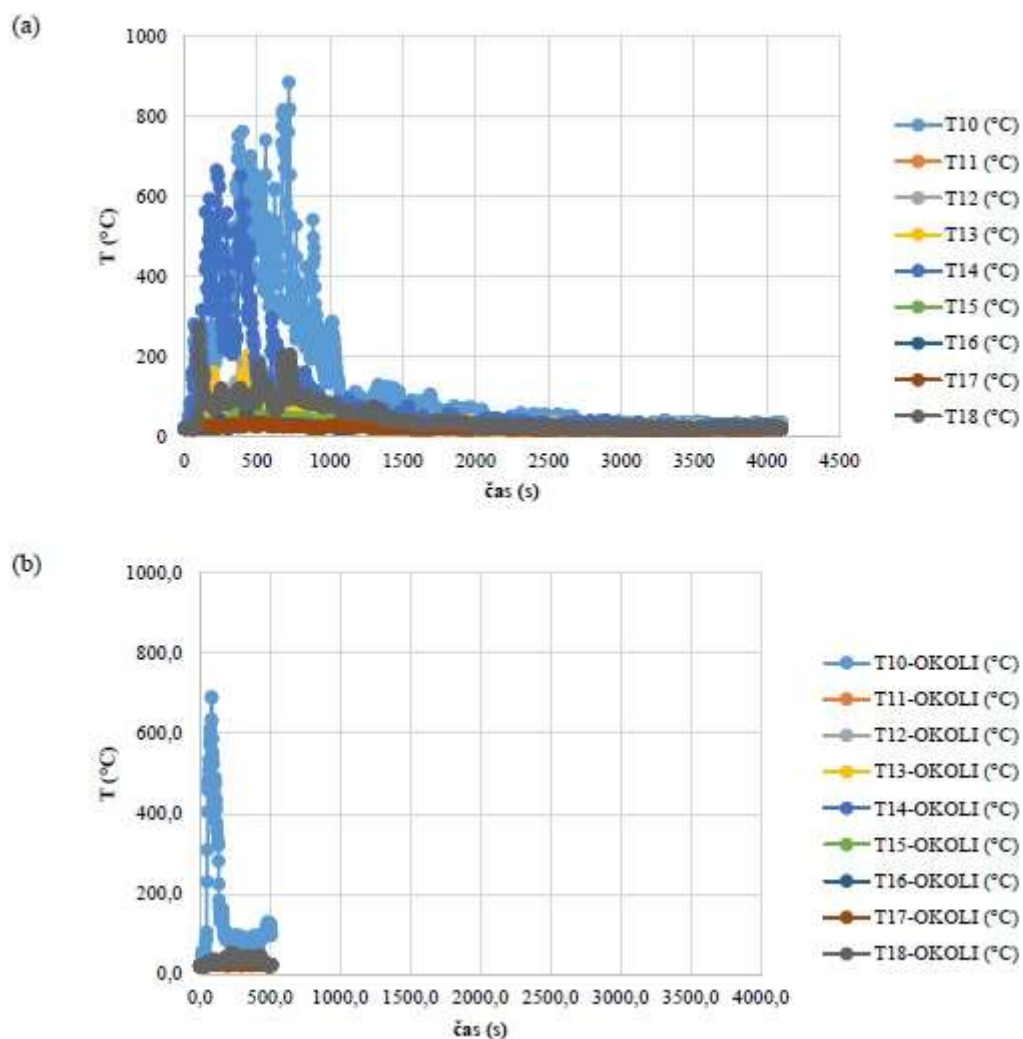
5.7.1. Porovnání výsledků modelu s naměřenými daty

Následující grafy porovnávají naměřené hodnoty teplotního pole v exteriéru vozidla během reálné zkoušky a data, která byla získána počítačovým modelem. Z grafů je zřejmé, že počítačový model byl dopočítán pouze do 510. sekundy, pak software oznámil numerickou nestabilitu. Důvod této chyby nebyl zjištěn.

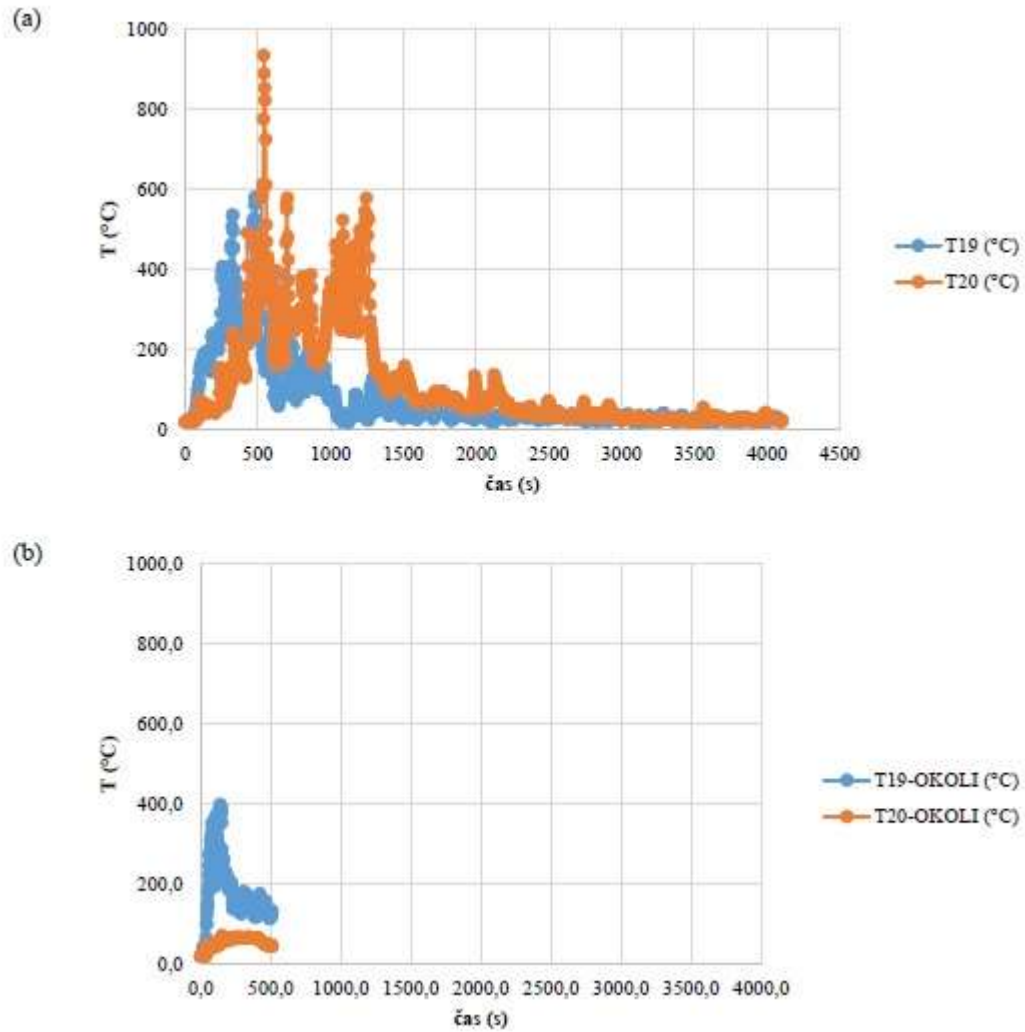


Graf č. 24 - Porovnání naměřených teplot (a) a modelových teplot (b) v definovaných pozicích

T1 - T9 ve výšce 2,0 m [1]



Graf č. 25 – Porovnání naměřených teplot (a) a modelových teplot (b) v definovaných pozicích T10 – T18 ve výšce 3,0 m [1]

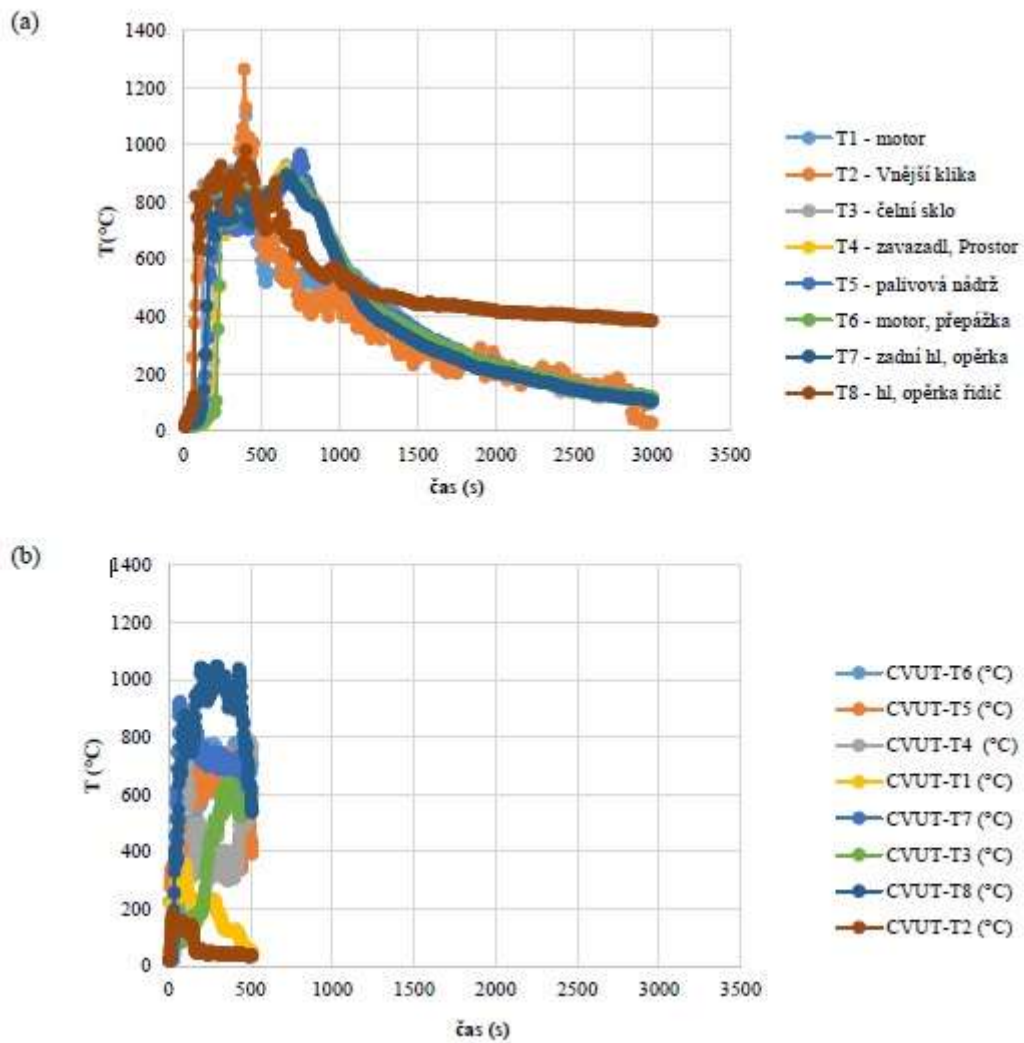


Graf č. 26 – Porovnání naměřených teplot (a) a modelových teplot (b) v definovaných pozicích termočlánky T 19 a T20 [1]

Veličina	čidlo									
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10
T_{max} [°C]	58,6	370,2	292,6	1066,7	91,7	61,5	44,0	468,3	582,1	883,8
čas [s]	1314	618	609	225	378	426	429	102	675	717
T_{max,model} [°C]	32,6	50	32,3	44,3	27,4	28,7	26,4	42,7	629,1	692,4
čas [s]	96,6	94,6	90,3	134,4	310,8	403,2	256,2	86,1	69,3	81,9
Veličina	čidlo									
	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18	T19	T20
T_{max} [°C]	56,8	237,4	203,2	664,6	83,1	60,6	37,0	271,9	580,0	934,3
čas [s]	513	621	438	222	372	426	429	99	480	540
T_{max,model} [°C]	28,6	37,4	29,3	34,9	24,2	26,7	23,1	53,5	399,0	71,2
čas [s]	96,6	90,3	111,3	86,1	153,3	386,4	153,3	220,5	138,6	153,3

Tabulka č. 11 – Porovnání maximálních teplot v exteriéru vozidla [1]

Následující grafy a tabulka porovnávají naměřené hodnoty teplotního pole v interiéru vozidla v definovaných pozicích, které měřila Fakulta dopravní.

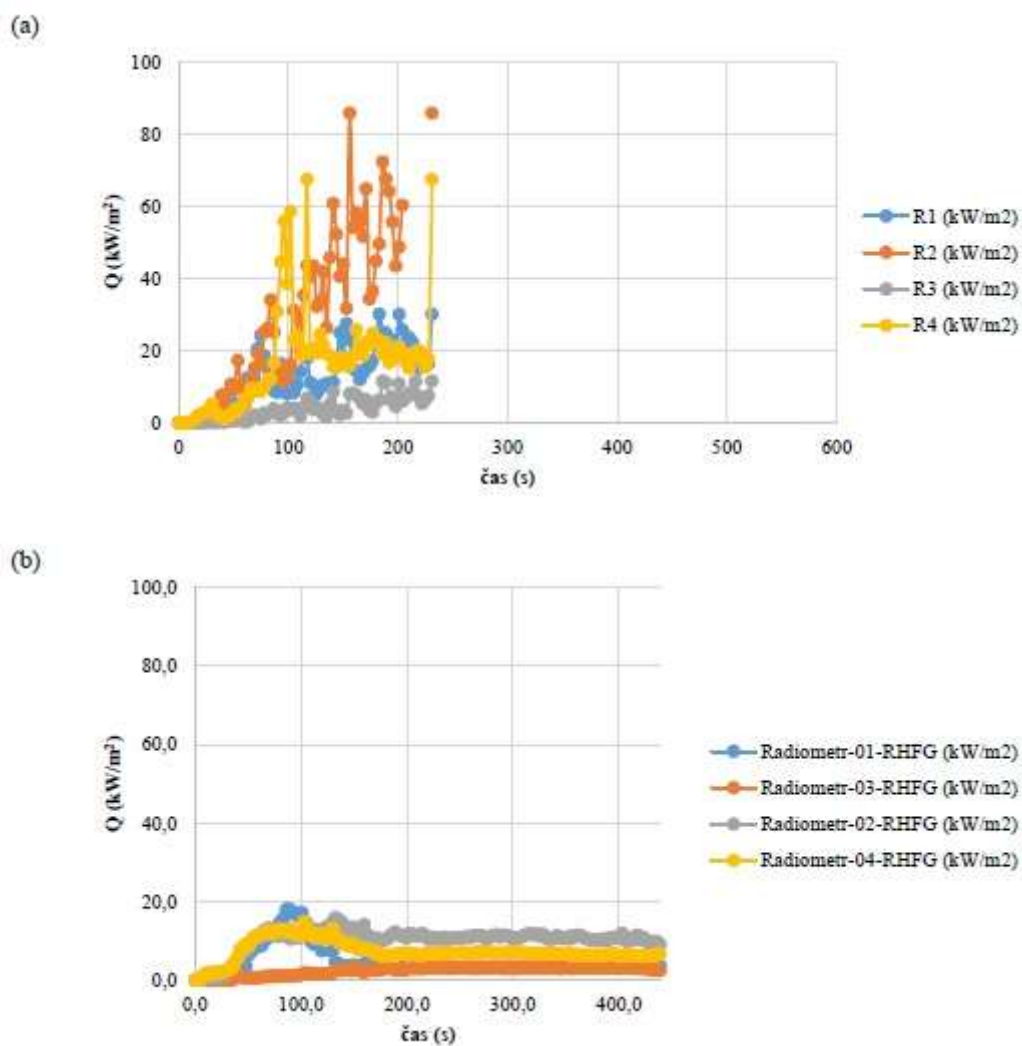


Graf č. 27 - Průběh naměřených teplot (a) a modelovaných teplot (b) uvnitř zkušebního vozidla v pozicích T1 – T8 [1]

Veličina	Čidlo							
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
T_{max} (°C)	1104,8	1264,2	930,4	915,1	968,3	880,6	896,9	981,4
čas (s)	700	690	960	980	1050	930	960	1060
$T_{max,model}$ (°C)	353,2	178,7	641,2	897,9	845,8	779,6	924,7	1048,3
čas (s)	67,2	18,9	361,2	88,2	136,5	401,1	69,3	289,8

Tabulka č. 12 – Porovnání naměřených hodnot a vypočtených

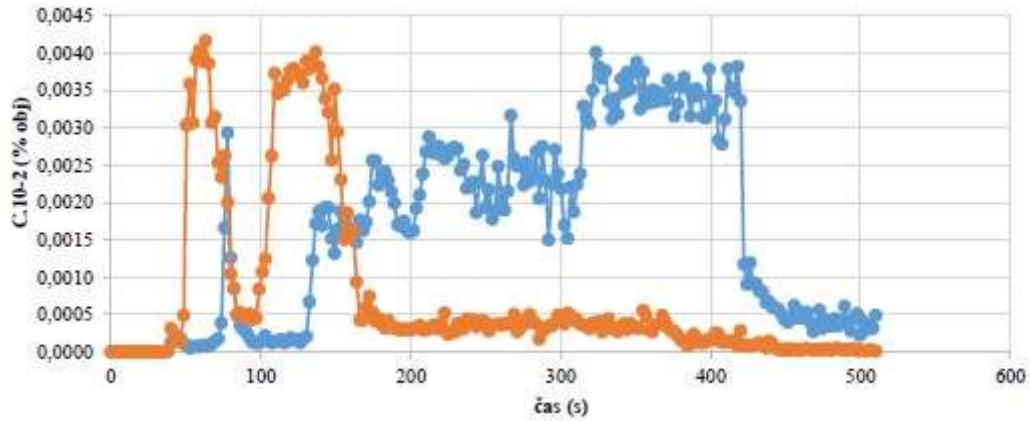
Následující grafy a tabulka popisují naměřené hodnoty hustot teplotního toku.



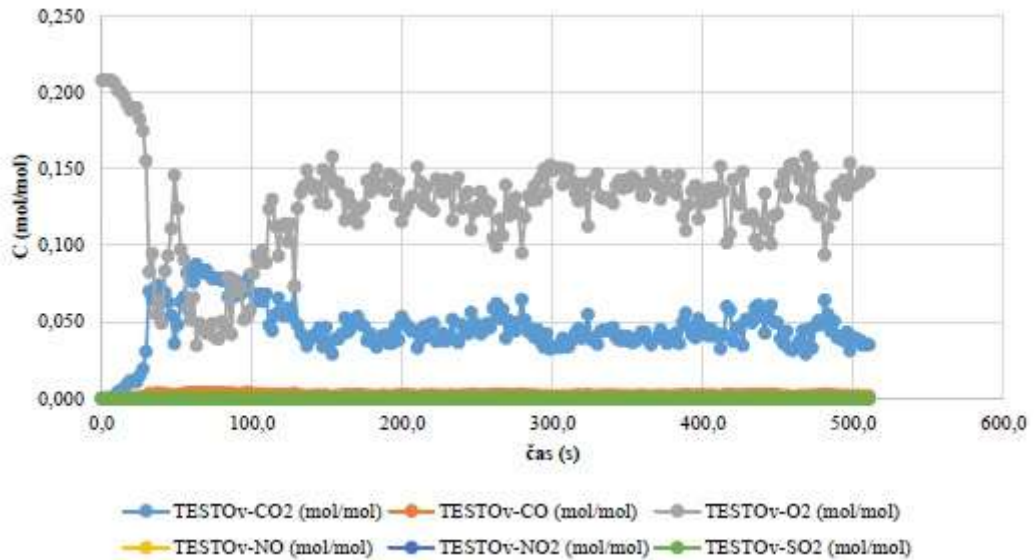
Graf č. 28 – Porovnání naměřených hodnot (a) a modelových hodnot (b) hustot toku tepla R1 – R4 [1]

Veličina	Radiometr			
	R1	R2	R3	R4
Q_{max} (kW/m ²)	30,14	85,83	11,61	67,53
U_Q (kW/m ²)	± 1,96	± 5,58	± 0,75	± 4,39
čas (s)	183	156	186	117
$Q_{max, model}$ (kW/m ²)	18,2	15,9	3,3	14,8
čas (s)	88,2	132,3	249,9	102,9

Tabulka č. 13 – Porovnání maximálních hodnot hustot toku tepla [1]



Graf č. 29 – Průběh objemové koncentrace oxidu uhelnatého v měřících bodech CO-1 a CO-2 uvnitř zkušebního vozidla [1]

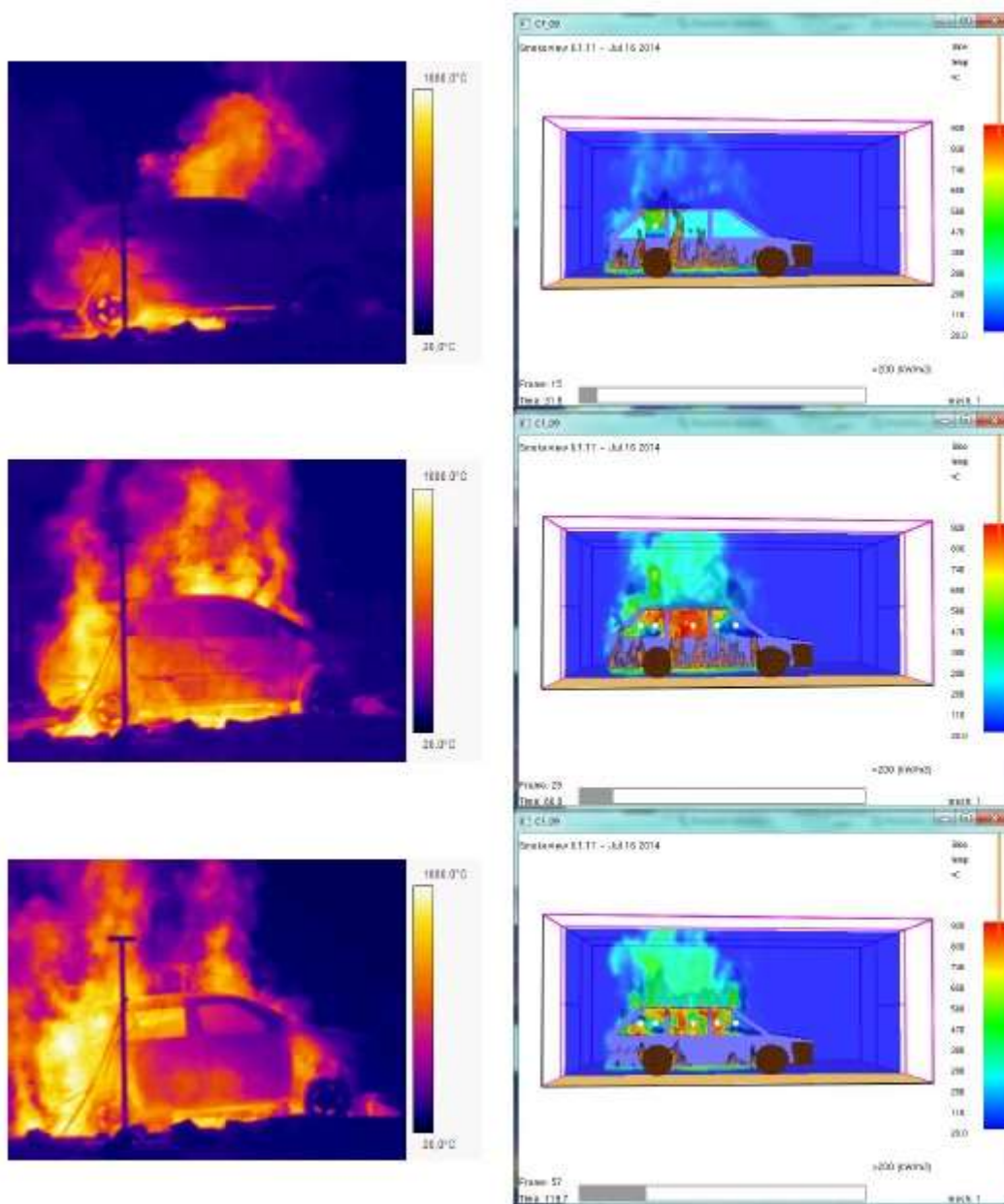


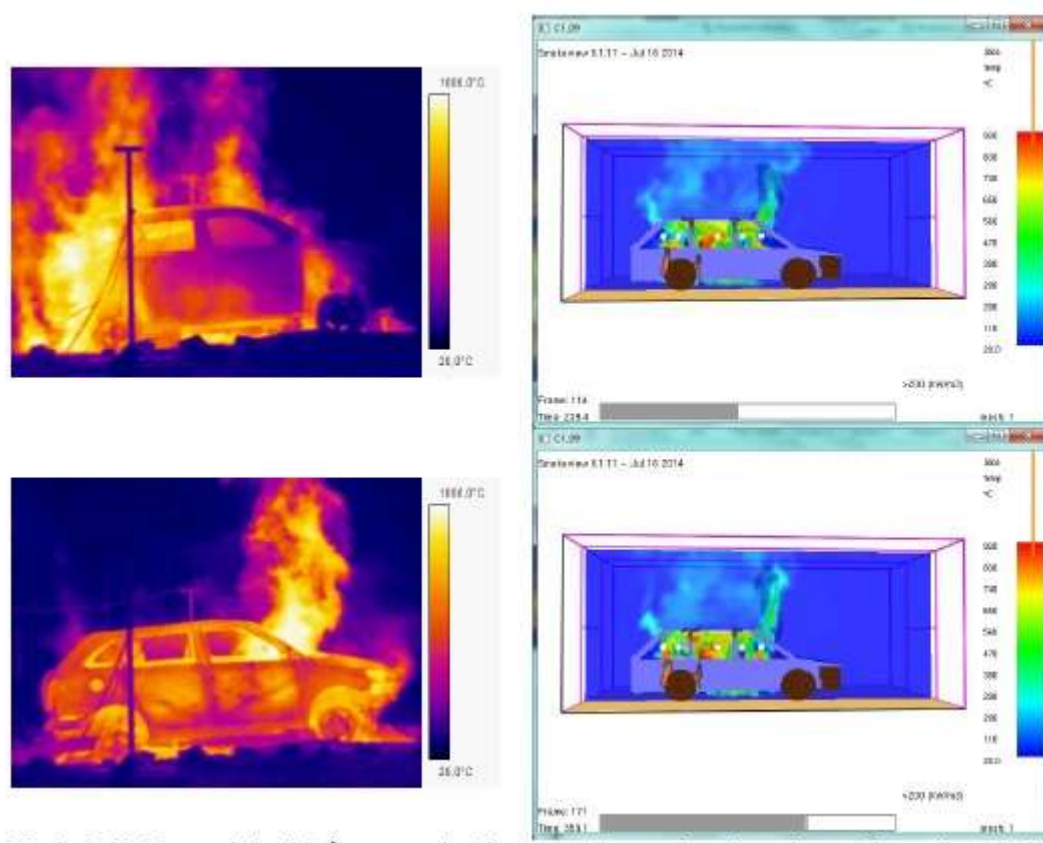
Graf č. 30 - Průběh objemové koncentrace vybraných plynů v měřícím bodě TESTA [1]

Veličina	Čidlo							
	CO-1 [ppm]	CO-2 [ppm]	Testo CO ₂ [% obj]	Testo CO [% obj]	Testo O ₂ [% obj]	Testo NO [ppm]	Testo NO ₂ [% obj]	Testo SO ₂ [ppm]
C_{max,model.}	4016	4168	8,8	0,4	20,8	0	0	0
τ(s)	323,4	63	63	63	6,3	0	0	0
C_{max,nam.}	5332	2743	14,35	8,5	cmin 0,21	134	0	2150
τ(s)	490	490	14:23:22	14:22:27	14:22:57	14:24:27	0	14:23:22

Tabulka č. 14 – Porovnání maximálních koncentrací a časů jejich dosažení [1]

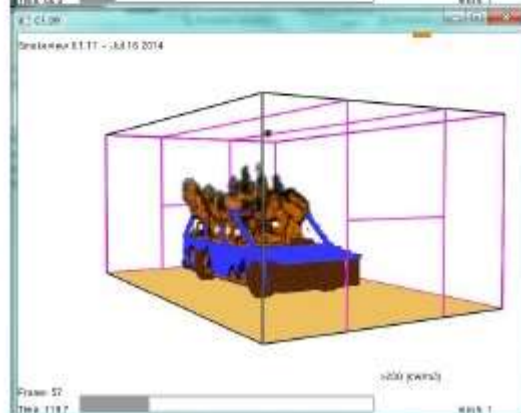
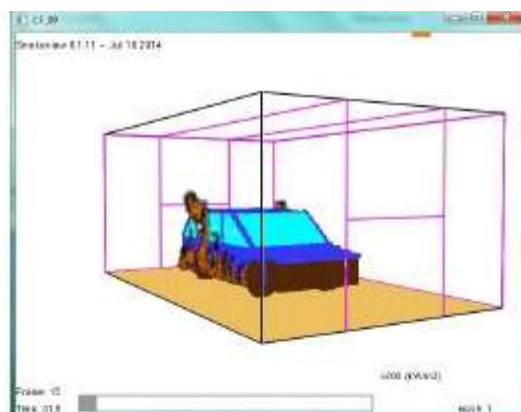
5.7.2. Vizuální porovnání záběrů z termovizních kamer a řezu modelu teplotního pole

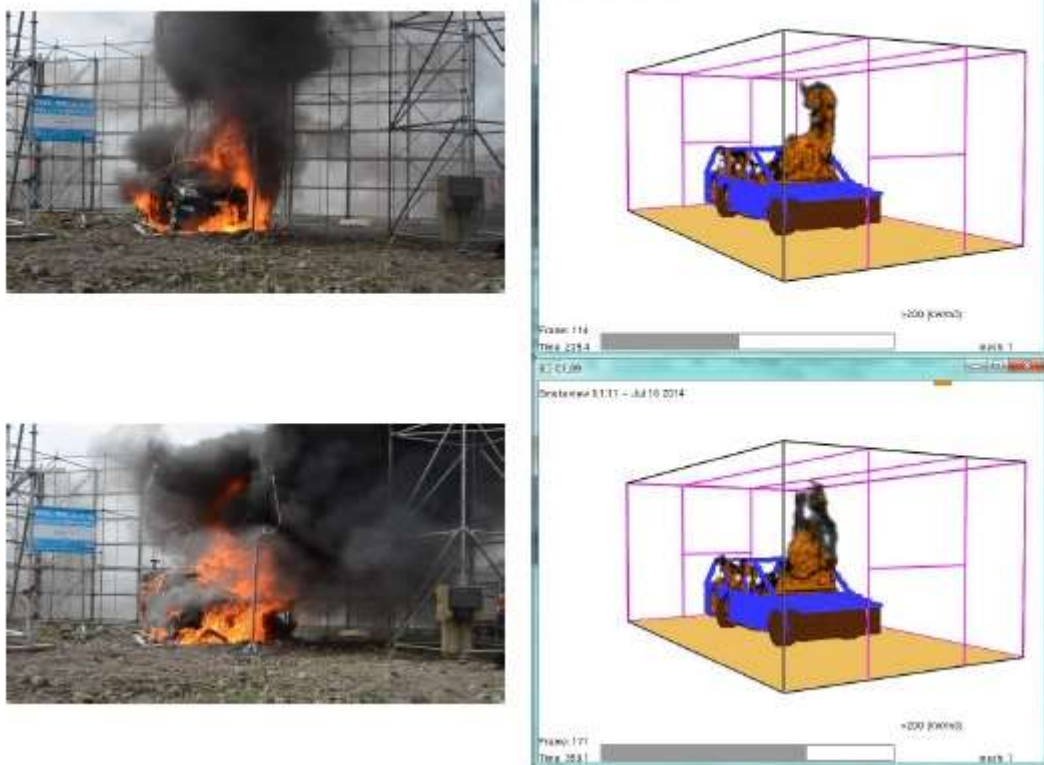




Obrázek č. 22 - Porovnání záběrů z termovizní kamery a řezu teplotního pole modelovaného scénáře v 30. s., 60. s., 120. s., 240. s. a 360. s. [1]

5.7.3. Porovnání záznamu z videokamery a teplotního profilu modelového scénáře v definovaném čase





Obrázek č. 23 - Vizuelní porovnání průběhu požární zkoušky a modelu v 30. vteřině, 60. s, 120. s, 240. s. a 360. s. [1]

6. Závěr

Hlavním cílem popisovaného full scale testu bylo zjistit a zmapovat, jaký je vývin teplot a toxických látek při požáru. Z naměřených dat lze konstatovat, že posádka, která by se nacházela uvnitř vozidla, jenž zachvátí požár, má jen pár desítek sekund na to, aby zareagovala a opustila vozidlo. Neučiní-li tak, vystavuje se riziku narůstajících teplot a koncentrace toxických látek, které by měly v první fázi za následek stav bezvědomí a následně úmrtí, pokud by posádce nikdo nepomohl opustit vozidlo. A právě z důvodu eliminace úmrtí následkem požárů vozidel je nadále velmi důležité, aby se i tomuto odvětví bezpečnosti věnovala velká pozornost a prováděly se požární testy jednotlivých typů vozidel. Velkorozměrové zkoušky, jako byla i tato jsou však časově a hlavně i finančně náročné, proto se vyvíjejí sofistikovanější počítačové modely, které jsou pro tyto účely validované.

Z důvodů uvedených výše byly při tomto full scale testu teplotní pole a toxikanty porovnány s počítačovým modelem. Při pohledu na výsledky měření a modelování můžeme vidět jisté rozdíly, které jsou zapříčiněny hlavně tím, že software, který byl pro modelování použit, není schopen pojmout přesnou geometrii zkušebního vozidla a také proto, že chybělo množství potřebných informací, které je nutné do modelu zadat. Hlavním nedostatkem byla nevědomost o materiálových vlastnostech a jejich množství, které byly na tomto konkrétním vozidle použity. Neznalost požárně technických charakteristik hořlavých materiálů mělo za následek, že byly použity tyto data z jiných testů, které byly tomuto nejpodobnější. Tento fakt mohl mít negativní vliv na to, že na počátku má počítačový model rychlejší rozvoj než jaký byl ve skutečnosti a tak i nižší teploty než byly ve skutečnosti naměřeny.

I přes komplikace, které během testu nastaly, můžeme konstatovat, že počítačový model je k prospěchu věci a lze jeho pomocí namodelovat simulaci, která bude velmi podobná reálnému full scale testu. Tato fakta dokládají i záznamy z termovizních kamer, které jsou téměř totožné s teplotami uvnitř vozidla.

Závěrem můžeme konstatovat, že kromě naměření optické hustoty kouře, která byla zapříčiněna neočekávanou poruchou na měřicích zařízení, byly všechny ostatní dílčí úkoly, které jsou v této práci popsány, naměřeny a mohou tak posloužit k dalšímu vývoji v oblasti uvedené problematiky.

7. Seznam použitých zdrojů

- [1] DVOŘÁK O. a kol.: Zpráva o výsledcích velkorozměrové požární zkoušky s automobilem Škoda Fabia Combi 1,2 TDI. Praha, 2015.
- [2] Předpis EHK 34 – Jednotná ustanovení pro homologaci vozidel z hlediska ochrany proti nebezpečí požáru. 2004
- [3] <http://www.omegaeng.cz/ppt/pptsc.asp?ref=WT>
- [4] Podklad z databáze MV - GŘ HZS ČR (plk. Ing. V. Vonásek). Praha: 2014
- [5] Podklad z databáze MV - Policejního prezidia PČR (plk. Ing. P. Sobotka). Praha: 2014.
- [6] ČESKÁ REPUBLIKA. Nař. vlády č. 361/2007 Sb.
- [7] CRAME, C. *Human Tolerance Limit to elevated Temperatures*. Report No. ACC-114-78-2, 1978.
- [8] DVOŘÁK, O. Působení požáru na lidský organismus. *112: Odborný časopis požární ochrany*. Praha: Ministerstvo vnitra - Generální ředitelství Hasičského záchranného sboru ČR, 2013, č. 12, s. 8-11. ISSN 1213-7057.
- [9] JANSSENS, P.M.: Development of a database of full-scale calorimeter test of motor vehicles. Charlottesville, 2008.
- [10] MANGS, J.: VTT publications 521 - On the fire dynamics of vehicles and electrical equipment. 2004
- [11] ZHAO, B., KRUPPA, J.: Structural behaviour of an open car park under real fire scenarios. 2004
- [12] LI, Y.: Assessment of Vehicle Fires in New Zealand Parking Buildings. New Zealand, 2004.
- [13] Sbírka zákonů: *Vyhláška č. č.283/2009 Sb. novela vyhlášky č. 341/2002 Sb. o schvalování technické způsobilosti a o technických podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích, Praha 2003.*
- [14] Statistická ročenka 2012 hasičského záchranného sboru ČR

Dostupná z: <http://www.hzscr.cz/clanek/statisticke-rocenky-hasickeho-zachranneho-sboru-cr.aspx>

7.1. Seznam obrázků

Obrázek č. 1: Homologační značka, $a=8\text{mm}$ min. [2].....	14
Obrázek č. 2: Předehřívání [2].....	15
Obrázek č. 3: Přímé působení plamene [2].....	15
Obrázek č. 4: Nepřímé působení plamene [2].....	16
Obrázek č. 5: Ukončení zkoušky [2].....	16
Obrázek č. 6: Roční četnosti požárů osobních automobilů v ČR za období 2004 – 2013 [4].....	19
Obrázek č. 7: Roční celkové četnosti usmrcených a zraněných osob od požárů osobních automobilů v ČR za období 2004 – 2013 [4].....	19
Obrázek č. 8: Roční celkové četnosti nehod osobních automobilů v ČR za období 2009 - 2013 vyšetřovaných PČR [5].....	19
Obrázek č. 9: škoda Fabia 1.2 Tdi s rozměry [1].....	23
Obrázek č. 10: materiálové složení škoda Fabia 1.2 Tdi.....	24
Obrázek č. 11: Axonometrický pohled na pozice termočlánků (T1 – T8) a detektorů CO (CO1, CO2) a jejich souřadnice (x, y, z) počítány od úrovně země pod geometrickým středem vozidla.....	25
Obrázek č. 12: termočlánky typ K [3].....	25
Obrázek č. 13: rozmístění termočlánků (T1-T18) a radiometrů (R1-R4) [1].....	27
Obrázek č. 14: pohled na místo realizace zkoušky [1].....	28
Obrázek č. 15: zástěna a rozmístění sloupů [1].....	29
Obrázek č. 16: detail ocelové stojky [1].....	29
Obrázek č. 17: půdorys konstrukce pod vozidlo [1].....	30
Obrázek č. 18: siloměr o průměru 150mm a výšce 35mm [1].....	30

Obrázek č. 19: záchytná jímka s rámem vah [1].....	31
Obrázek č. 20: Pohled na zkušební automobil v záchytné jímce těsně po zapálení [1]...31	
Obrázek č. 21: Pozice vzorkovacích sond TÚPO (1 a 2) a FD (3), 1 - vzorkovací kovová sonda pro analyzátor plynů TESTO 350 L, 2 - vzorkovací kovová sonda pro ORBO, 3 – FD ochranná trubice pro termočlánky a kompenzační vedení detektoru CO [1].....	42
Obrázek č. 22: Porovnání záběrů z termovizní kamery a řezu teplotního pole modelovaného scénáře v 30. s., 60. s., 120. s., 240. s. a 360. s. [1].....	57
Obrázek č. 23: Vizuální porovnání průběhu požární zkoušky a modelu v 30. vteřině, 60. s, 120. s, 240. s. a 360. s. [1].....	59

7.2. Seznam tabulek

Tabulka č. 1: Limitní hodnoty přípustného expozičního limitu a nejvyšší přípustná koncentrace vybraných plynů a par [6].....	20
Tabulka č. 2: Fyziopatologické účinky toku tepla sáláním [7].....	21
Tabulka č. 3: Fyziopatologický účinek nižšího obsahu kyslíku ve vzduchu [8].....	21
Tabulka č. 4: Technická data škoda Fabia.....	23
Tabulka č. 5: popis rozmístění termočlánků ve vozidle	25
Tabulka č. 6: maximální naměřené teploty s časem dosažení [1]	35
Tabulka č. 7: Maximálně naměřené hodnoty teplot vně hořícího zkušebního vozidla s časem jejich dosažení [1]	39
Tabulka č. 8: Maximálně naměřené hodnoty hustot toku tepla Q vně zkušebního vozidla v čase jejich dosažení a s odhadem rozšířené nejistoty URQ [1]	40
Tabulka č. 9: Maximální naměřené hodnoty koncentrací uvnitř hořícího zkušebního vozidla s časy jejich dosažení a hodnotami nejvyšší přípustné koncentrace plynů a rozšířená nejistota UR koncentrací plynů naměřených analyzátořem TESTO 350 L [1]	44

Tabulka č. 10: Souhrnná tabulka hlavních identifikovaných složek těkavých organických sloučenin a polyaromatické uhlovodíky [1].....	46
Tabulka č. 11: Porovnání maximálních teplot v exteriéru vozidla [1]	52
Tabulka č. 12: Porovnání naměřených hodnot a vypočtených	53
Tabulka č. 13: Porovnání maximálních hodnot hustot toku tepla [1]	54
Tabulka č. 14: Porovnání maximálních koncentrací a časů jejich dosažení [1].....	55

7.3. Seznam grafů

Graf č. 1: Teplota a vlhkost ovzduší [1].....	33
Graf č. 2: Směr a rychlost větru [1].....	33
Graf č. 3: Průběh teploty v pozici T1	35
Graf č. 4: Průběh teploty v pozici T2	36
Graf č. 5: Průběh teploty v pozici T3	36
Graf č. 6: Průběh teploty v pozici T4	37
Graf č. 7: Průběh teploty v pozici T5	37
Graf č. 8: Průběh teploty v pozici T6	38
Graf č. 9: Průběh teploty v pozici T7	38
Graf č. 10: Průběh teploty v pozici T8	39
Graf č. 11: Průběh teplot v čase požární zkoušky v pozicích T1 – T8, výška 2,0 m [1]..	40
Graf č. 12: Průběh teplot v čase požární zkoušky v pozicích T11 – T18, výška 3,0 m [1].	41
Graf č. 13: Průběh teplot v čase požární zkoušky v pozicích T9, T10, T19 a T20, prostor nad autmobilem [1]	41
Graf č. 14: Průběh hustot toku tepla v čase požární zkoušky v pozicích R1 až R4 [1] ..	42

Graf č. 15: Výsledky chemických analýz ovzduší uvnitř interiéru vozidla při jeho požáru [1]	43
Graf č. 16: Výsledky chemických analýz ovzduší na obsah CO, NO a SO ₂ uvnitř interiéru zkušebního vozidla při jeho požáru [1]	43
Graf č. 17: Chromatogram chemických analýz ovzduší uvnitř interiéru zkušebního vozidla při jeho požáru na obsah těkavých organických sloučenin a polyaromatické uhlovodíky, trubička ORBO 1 (5-7 min) [1]	44
Graf č. 18: Chromatogram chemických analýz ovzduší uvnitř interiéru zkušebního vozidla při jeho požáru na obsah těkavých organických sloučenin a polyaromatické uhlovodíky, trubička ORBO 2 (8-11 min) [1]	45
Graf č. 19: Chromatogram chemických analýz ovzduší uvnitř interiéru zkušebního vozidla při jeho požáru na obsah těkavých organických sloučenin a polyaromatické uhlovodíky, trubička ORBO 3 (15 - 18 min) [1]	45
Graf č. 20: Chromatogram chemických analýz ovzduší uvnitř interiéru zkušebního vozidla při jeho požáru na obsah těkavých organických sloučenin a polyaromatické uhlovodíky, trubička ORBO 4 (21 – 25,5 min) [1]	46
Graf č. 21: Průběh koncentrace CO v interiéru zkušebního vozidla, pozice CO-1 [1]	47
Graf č. 22: Průběh koncentrace CO v interiéru zkušebního vozidla, pozice CO-2 [1]	47
Graf č. 23: Úbytek hmotnosti hořícího zkušebního vozidla (v kg) v průběhu zkoušky [1]	48
Graf č. 24: Porovnání naměřených teplot (a) a modelových teplot (b) v definovaných pozicích T1 - T9 ve výšce 2,0 m [1]	50
Graf č. 25: Porovnání naměřených teplot (a) a modelových teplot (b) v definovaných pozicích T10 – T18 ve výšce 3,0 m [1].....	51
Graf č. 26: Porovnání naměřených teplot (a) a modelových teplot (b) v definovaných pozicích termočlánky T 19 a T20 [1].....	52

Graf č. 27: Průběh naměřených teplot (a) a modelovaných teplot (b) uvnitř zkušebního vozidla v pozicích T1 – T8 [1].....	53
Graf č. 28: Porovnání naměřených hodnot (a) a modelových hodnot (b) hustot toku tepla R1 – R4 [1]	54
Graf č. 29: Průběh objemové koncentrace oxidu uhelnatého v měřících bodech CO-1 a CO-2 uvnitř zkušebního vozidla [1].....	55
Graf č. 30: Průběh objemové koncentrace vybraných plynů v měřícím bodě TESTA [1]	55