

Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava

Fakulta bezpečnostního inženýrství

Katedra požární ochrany

**Experimentální měření změny teplotního pole
při nasazení 3D vodní mlhy
v kontejneru pro speciální výcvik hasičů u
HZS Olomouckého kraje.**

Student: Bc. Petr Ošlejšek

Vedoucí diplomové práce: Ing. Marek Sobek

Studijní obor: Technika požární ochrany a bezpečnosti průmyslu

Datum zadání diplomové práce: 30. listopadu 2009

Termín odevzdání diplomové práce: 30. dubna 2010

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta bezpečnostního inženýrství
Katedra požární ochrany a ochrany obyvatelstva

Zadání diplomové práce

Student:

Bc. Petr Ošlejšek

Studijní program:

N3908 Požární ochrana a průmyslová bezpečnost

Studijní obor:

3908T006 Technika požární ochrany a bezpečnost průmyslu

Téma:

Experimentální měření změny teplotního pole při nasazení 3D vodní mlhy v kontejneru pro speciální výcvik hasičů u HZS Olomouckého kraje

Experimental Measurement of a Change in Temperature Field When Using 3D Water Fog in a Container for Special Training of Firefighters in the Case of Fire and Rescue Service of Olomouc Region

Zásady pro vypracování:

Cíle práce:

1. Obecné využití a způsob aplikace 3D vodní mlhy pro hašení požárů v uzavřených prostorech.
2. Modelování rozložení teplotního pole a stanovení množství hasební látky pro ochlazení prostoru.
3. Experimentální měření rozložení teplotního pole a jeho změna při aplikaci 3D vodní mlhy.
4. Posouzení hasebního efektu 3D vodní mlhy na základě změny teplotního pole.
5. Zobecnění závěrů a případný návrh na úpravu bezpečnostních zásad nebo metodiky výcviku.

Charakteristika práce:

Požáry v uzavřených prostorech patří z pohledu zasahujících jednotek mezi nejnebezpečnější a vyžadují specifické taktické postupy. Na hašení požárů v uzavřených prostorách je nutné hasiče dlouhodobě připravovat. Samotný výcvik musí probíhat v takových podmínkách, aby co nejvíce simuloval skutečný požár. Při výcviku je ale důležitá i adekvátní změna parametru prostředí při správné aplikaci hasební látky. Pro tento výcvik hasičů se před několika lety v České republice začaly využívat tzv. flashover kontejnery. Zkušenosti ze zahraničí ukázaly, že pro hašení požárů v uzavřených prostorech se nejvíce využívá taktika hašení s využitím 3D vodní mlhy. Diplomová práce by měla zhodnotit efektivitu využití 3D vodní mlhy při hašení požáru v uzavřených prostorech, zhodnocení by mělo vycházet z teoretického modelu a experimentálního měření. Při ověření hasebního efektu 3D vodní mlhy lze vycházet z poklesu teplot a změny rozložení teplotního pole v prostoru zasaženém požárem. Experimentální měření ve výcvikovém zařízení by mělo probíhat za podmínek, při kterých probíhá i výcvik hasičů. Zjištěné skutečnosti a definované závěry by mělo být možné využít i pro úpravu bezpečnostních zásad výcviku a případnou úpravu metodiky výcviku.

Seznam doporučené odborné literatury:

BALOG, K., KVARČÁK, M., Dynamika požáru. 1. vyd. Ostrava: Edice SPBI Spektrum, 1999. 118 s. ISBN 80-86111-44-X.
GRIMWOOD, P., Fog Attack . www.firetactics.com,
GRIMWOOD, P., Tactical firefighting: www.firetactics.com
GRIMWOOD, P., New Wave 3-D Water Fog Tactics: www.firetactic.com
KALOUSEK, J., Základy fyzikální chemie hoření, výbuchu a hašení. 1. vyd. Ostrava: Edice SPBI Spektrum 1999. 201 s. ISBN 80-86111-34-2.
BLAHOŽ, V., KADLEC, Z., Základy sdílení tepla. 2. vyd. Ostrava: Edice SPBI Spektrum 2000. 109 s. ISBN 80-902001-1-7.
ŠENOVSKÝ, M., PROKOP, P., BEBČÁK, P., Větrání objektů. 2. vyd. Ostrava: Edice SPBI Spektrum 2007. 200 s. ISBN 978-80-7385-008-1.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Marek Sobek**

Konzultant diplomové práce: Ing. Bohdan Filipi, Ph.D.

Datum zadání: 30.11.2009

Datum odevzdání: 30.04.2010

Bradáčová

Ing. Isabela Bradáčová, CSc.
vedoucí katedry



Dudáček

prof. Dr. Ing. Aleš Dudáček
děkan fakulty

Místopřísežně prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci vypracoval samostatně.

V Mostkovicích dne 20. dubna 2010

.....

Bc. Petr Ošlejšek

Poděkování

Děkuji panu Ing. Marku Sobkovi za odborné vedení diplomové práce, panu Ing. Petru Ošlejškovi Ph.D, panu Ing. Bohdanu Filipimu Ph.D za poskytnutí materiálů a odbornou pomoc, vedoucí k řešení diplomové práce.

Anotace

OŠLEJŠEK, P. *Experimentální měření změny teplotního pole při nasazení 3D vodní mlhy v kontejneru pro speciální výcvik hasičů u HZS Olomouckého kraje*: Diplomová práce. Ostrava VŠB-Technická Universita Ostrava, 2010. 55s.

Klíčová slova: uzavřené prostory, likvidace požáru, technika 3D vodní mlhy, aplikace hasiva, požární taktika, Flashover, Backdraft, speciální výcvik, experimentální měření.

Diplomová práce se zabývá měřením změn, ke kterým dochází v teplotním poli při aplikaci 3D vodní mlhy v kontejneru pro speciální výcvik HZS Olomouckého kraje.

V první části práce je uveden popis samotného kontejneru pro speciální výcvik, jeho umístění, konstrukce a základní rozměry. Je zde popsán výcvik, který v zařízení probíhá. V následující kapitole je podrobně probrána problematika chování požáru v uzavřených prostorech. V další části jsou uvedeny poznatky o 3D vodní mlze, její vývoj, aplikace, výhody. Poslední část se týká samotného měření, jeho vyhodnocení a závěrečného shrnutí a vyvození závěrů.

Annotation

OŠLEJŠEK, P. *The experimental measurement of a change in temperature field when using 3D water fog in a container for special training of firefighters in the case of fire and rescue service of Olomouc region*: Dissertaion thesis. Ostrava VSB-Technical University Ostrava, 2010. 55 p.

Key words: closed spaces, fire elimination, three-dimensional technology of water fog, application of fire extinguisher, fire tactic, Flashover, Backdraft, special training, experimental measurement.

The dissertation is focused on the measurement of changes which occur inside the temperature field during the application of 3 D water fog in a container for special training of firefighters in the case of fire and rescue service of Olomouc region.

In the first part of the dissertation there is the description of the special training container itself, its location, construction and basic proportions. The training which takes place in the facility is also described in this part. In the following chapter there is a detailed examination of the issue of fire behavior in closed spaces, including its formation and gradual spreading. In the next part I have listed the observations about 3 D water fog, its development, application and advantages. The last part concerns the actual measurement, its evaluation, final summary and conclusion

Obsah

1	Úvod	3
2	Rešerše literatury.....	4
3	Kontejner pro speciální výcvik hasičů HZS Olomouckého kraje	6
3.1	Účel zařízení.....	6
3.2	Konstrukce zařízení pro speciální výcvik.....	7
3.2.1	Základní informace.....	7
3.2.2	Výcviková část	8
3.2.3	Topeniště	9
3.2.4	Backdraftová část.....	10
3.3	Systém výcviku.....	11
3.3.1	Teoretická část výcviku	11
3.3.2	Výcvik techniky hašení.....	12
3.3.3	Praktický výcvik.....	13
4	Specifikace požárů v uzavřených prostorech	15
4.1	Volný rozvoj požáru	15
4.2	Produkty hoření a jejich vlastnosti, proudění plynů při požáru	16
4.3	Vliv stavebních konstrukcí na rozvoj požáru.....	18
4.4	Požáry řízené ventilací	19
4.5	Přenos tepla při požáru.....	20
4.6	Tepelné záření působící na zasahující hasiče	21
5	Hašení požárů jednotkami požární ochrany	24
5.1	Metody hašení	24
5.2	Voda, jako hasební látka	25
5.3	Hasební efekty vody.....	26
5.4	3D vodní mlha	26
5.4.1	Vývoj 3D vodní mlhy	26
5.4.2	Popis 3D vodní mlhy	27
5.4.3	Výhody 3D vodní mlhy	30
5.4.4	Aplikace 3D vodní mlhy.....	31
5.5	Charakteristika proudnice používané v zařízení pro speciální výcvik.....	32
5.5.1	Popis	32
5.5.2	Měření množství vody dodané do prostoru hašení, prostřednictvím jednoho pulsu ...	33
5.5.2.1	Příprava na měření.....	33
5.5.2.2	Postup měření	34
5.5.2.3	Objem vody v jednom pulsu.....	34
6	Modelování průběhu požáru v zařízení pro speciální výcvik	36
6.1	Úvod	36
6.2	Popis programu použitého k vytvoření modelu.....	36
6.3	Vyhodnocení počítačového modelu	37

7	Přípravy měření.....	38
7.1	<i>Fotodokumentace a termovizní záznam</i>	38
7.2	<i>Měření teploty</i>	39
8	Provedení experimentálního měření.....	42
8.1	<i>Příprava před započítím zkoušky</i>	42
8.2	<i>Nastavení ventilačních otvorů</i>	42
8.3	<i>Definování paliva a jeho iniciace.....</i>	42
8.4	<i>První zkouška – Volný rozvoj požáru</i>	43
8.4.1	<i>Grafické vyhodnocení průběhu a změn teplot po aplikaci vody.....</i>	44
8.5	<i>Druhá zkouška – měření změny teplot po aplikaci 3D vodní mlhy</i>	45
8.5.1	<i>Průběh zkoušky.....</i>	45
8.5.2	<i>Grafické vyhodnocení průběhu a změn teplot po aplikaci vody.....</i>	46
8.6	<i>Třetí zkouška – měření změny teplot po aplikaci 3D vodní mlhy</i>	47
8.6.1	<i>Průběh zkoušky.....</i>	47
8.6.2	<i>Grafické vyhodnocení průběhu a změn teplot po aplikaci vody.....</i>	47
9	Vyhodnocení naměřených hodnot	49
10	Závěr	52
11	Seznam literatury	53
12	Seznam příloh	55

1 Úvod

Přestože požáry v České republice tvoří asi jen pětinu všech zásahů jednotek požární ochrany (dále jen JPO) a požáry v uzavřených prostorech představují jen menší část z těchto událostí, patří zásahy u těchto požárů k těm nejnebezpečnějším a nejsložitějším. Velký podíl na tom má současný trend výstavby, kdy je snaha docílit co nejmenší tepelné ztráty budov při jejich běžném užívání. Tato opatření se ale mohou negativně projevit při vzniku požáru a představují nebezpečí pro zasahující. Zasahující jednotky jsou vystaveny mnoha nebezpečím, které plynou z pohybu v neznámých zakouřených prostorech, také použití vody jako hasební látky představuje nebezpečí, hlavně v podobě vodní páry, která vzniká a kumuluje se v prostoru během celého hasebního zásahu. Velké nebezpečí představuje i množství hořlavých látek vyskytujících se v uzavřených prostorech.

Pro rychlou a bezpečnou likvidaci požárů v uzavřených prostorech je nutné hasiče systematicky a dlouhodobě připravovat. Samotný výcvik musí probíhat v takových podmínkách, které simulují reálné podmínky požáru v uzavřených prostorech. Na základě zkušenosti získaných v zahraničí bylo vyhodnoceno, že pro hašení požárů v uzavřených prostorech se nejvíce využívá taktika hašení s využitím 3D vodní mlhy.

Proto je při přípravě hasičů na likvidaci požárů v uzavřených prostorech technika 3D vodní mlhy užívána jako hlavní postup při ofenzivním útoku. Pro výcvik se před několika lety v České republice začaly využívat kontejnery pro speciální výcvik hasičů při reálných podmínkách požáru, tzv. flashover kontejnery. V tomto zařízení je možno hasiče, procházející výcvikem, bezpečně vystavit reálným podmínkám požáru v uzavřených prostorech a jevům s nimi spojeným.

Při výcviku užití techniky hašení 3D vodní mlhou je důležitá adekvátní změna parametrů prostředí při správné aplikaci hasební látky. Při ověření hasebního efektu 3D vodní mlhy lze vycházet z poklesu teplot a změny rozložení teplotního pole v prostoru zasaženém požárem. Experimentální měření ve výcvikovém zařízení bude probíhat za podmínek, při kterých probíhá i samotný výcvik hasičů.

V této práci se budu snažit vyhodnotit výhody použití techniky 3D vodní mlhy při výcviku, který probíhá v zařízení pro speciální výcvik hasičů HZS Olomouckého kraje. Vyhodnocení efektivity využití 3D vodní mlhy bude vycházet hlavně z experimentálního měření změn probíhajících v teplotním poli po aplikaci 3D vodní mlhy.

2 Rešerše literatury

Pro popis dané problematiky jsem provedl literární rešerši odborné literatury a textů. Informace jsem vyhledával v tištěných materiálech a na Internetu. Mezi hlavní zdroje mé práce patří především:

- KVARČÁK, M., *Základy požární ochrany*. 1. vyd. Ostrava: Edice SPBI Spektrum, 2005. 134 s. ISBN 80-86634-76-0

Publikace vysvětluje základní principy vzniku požáru a působení na okolí. Vysvětluje základní chemické a fyzikální mechanismy hoření. Popisuje jevy, které doprovází hoření, jako je Backdraft, Flashover. Popisuje jednoduché postupy pro likvidaci požárů

- BALOG, K., KVARČÁK, M., *Dynamika požáru*. 1. vyd. Ostrava: Edice SPBI Spektrum, 1999. 118 s. ISBN 80-86111-44-X.

Publikace řeší problematiku dynamiky požáru. Popisuje vznik, rozvoj a plně rozvinutý požár. Zabývá se také problematikou přerušení hoření a v neposlední řadě také problematikou jevů, spojených s požáry na otevřeném prostranství a v uzavřených prostorech. Ukazuje možnost způsobu využití výsledků požárních testů při hodnocení požárního rizika.

- KOLEKTIV AUTORŮ., *Bojový řád jednotek požární ochrany*. Praha, Ministerstvo vnitra Generální ředitelství HZS ČR, 2002< <http://www.mvcr.cz/hasici> >.

Materiál definuje základní taktické postupy jednotek požární ochrany při zdolávání mimořádných událostí. Bojový řád jednotek se skládá z metodických listů, které jsou členěny do kapitol. Kromě popisu základních nebezpečí obsahuje i postupy konkrétních činností při zásahu jednotky u mimořádné události.

- GRIMWOOD, P., DESMET, K., *Tactical fire fighting a compresive guide to compartmentfirefighting and live fire training (CFBT)*,Crisis and Emergency Management center 2003, 126s.

Publikace popisuje základní poznatky z požární taktiky. Řeší problematiku požárů v uzavřených prostorech, jejich likvidaci, nebezpečí a jevy, které tyto požáry doprovázejí. V publikaci je podrobně popsána problematika a metodika využití techniky hašení pomocí 3D vodní mlhy.

- GRIMWOOD, P., DESMET, K., *Tactical fire fighting Flashover and nozzle techniques*, Crisis and Emergency Management center. 2002, 41 s.

V knize je popsána problematika rozvoje požárů. Jsou zde popsány jevy spojené s dynamickým rozvojem požáru, jako jsou Backdraft, Flashover, Rollover, Smoke Explosion. Je zde uvedeno jak postupovat při vzniku těchto jevů a jak se chránit před jejich účinky.

- GRIMWOOD, P., HARTIN, E., McDONOUGH, J., RAFAEL, S., *3D fire fighting – training, techniques and tactics*. Crisis and Emergency Management center. 2004, 50 s.

Publikace udává účinné taktické postupy při likvidaci požárů v uzavřených prostorech. Dává srovnání jednotlivých metod hašení, popisuje jejich výhody a nevýhody, na jejichž základě udává techniku hašení 3D vodní mlhou jako nejefektivnější

- GRIMWOOD, P., *Fog Attack – Firefighting strategy and Tactics anInternational View*. Redhill: FJM International publications Ltd. 192. 301 s.

Publikace týkající se podrobného řešení techniky hašení vodní mlhou. Popisuje také samotné způsoby aplikace vodní mlhy a taktiku vedení zásahu s maximálním využitím hasebního potenciálu vodní mlhy.

- LIU, Z., KASHEF, A., LOUGHEED, G. D., BENICHO, N., *Review of Three Dimensional Water Fog Techniques for firefighting*. OttawaNational reserch coouncil Canada. 2002. 18 s.

Zpráva mezinárodního zasedání, která podrobně popisuje problematiku likvidací požárů v uzavřených prostorech s využitím techniky hašení 3D vodní mlhou. Je zde popisována jako nejefektivnější metoda.

3 Kontejner pro speciální výcvik hasičů HZS Olomouckého kraje

3.1 Účel zařízení

Zařízení se nachází v areálu HZS ČR Olomouckého kraje, v areálu skladu humanitární pomoci Hamry. V areálu skladu je také skladováno palivo, užívané pro simulaci při výcviku. Zařízení bylo vybudováno na základě poznatků ze Švédska a Německa, kde výcvik v podobných zařízeních probíhá již od roku 1986[1].



Obrázek 1: Areál skladu humanitární pomoci v Hamrech a umístění zařízení. [3]

Zařízení slouží k výcviku hasičů pro zdolávání požárů v uzavřených prostorech při reálných podmínkách požáru. Zařízení umožňuje hasičům bezpečně si vyzkoušet a shlédnout vznik, průběh požáru a průběh jevů spojených s požáry v uzavřených prostorech. Dává možnost bezpečně si vyzkoušet jak samotný požár v uzavřeném prostoru a s ním spojené jevy působí na zasahující hasiče a okolí. V neposlední řadě také umožňuje vyzkoušet si možnosti, jak zabránit vzniku jednotlivých jevů, a možnost ochrany před jejich působením.

Zařízení bylo vybudováno za účelem[2]:

- výcviku a ověření schopnosti hasiče efektivně a bezpečně pracovat v předem definovaných podmínkách,
- praktického ověření závěrů teoretického zkoumání dynamických požárních jevů,
- ověření technických a taktických parametrů věcných prostředků požární ochrany a taktických postupů.

3.2 Konstrukce zařízení pro speciální výcvik

3.2.1 Základní informace

Jedná se o trenažér na pevná paliva, který umožňuje simulaci reálných podmínek požáru.

Zařízení je rozděleno do pěti základních částí:

- 1) výcvikový prostor,
- 2) backdraftová část,
- 3) topeniště.

Zařízení se skládá z jednoho kontejneru ISO, řady 1 A a z jednoho kontejneru ISO, řady 1 C. Tyto kontejnery se běžně užívají při silniční, železniční a lodní přepravě. Kontejnery jsou spojeny do písmene tvaru ‘‘L’’, kde výcvikový prostor navazuje na topeniště, jenž sousedí s backdraftovou částí a je odděleno pomocí dvoukřídlých vrat.

Základní rozměry užitých kontejnerů jsou:

- a) ISO, řady 1 C, - 2500 x 2500 x 6000 mm[4] – Topeniště a backdraftová část,
- b) ISO, řady 1 A, - 2500 x 2500 x 12000 mm[4] – Výcvikový prostor.



Obrázek 2: Zařízení pro speciální výcvik.

3.2.2 Výcviková část

Prostor, kde probíhá samotný výcvik.

Podlaha výcvikové části je tvořena původní dřevěnou nášlapnou vrstvou. Pouze v prostoru od hrany topeniště 1800mm do výcvikové části je na podlaze poležena zámková betonová dlažba tloušťky 50 mm.

Obvodové stěny výcvikové části jsou tvořeny vnějším trapézovým plechem, který není izolován. V obvodových stěnách se nachází několik uzavíratelných otvorů. Jedná se o 3 postranní dveře o rozměrech 1900 x 1000 mm[4]. Na protější straně prvních dveří, směrem od topeniště, je ve výšce 1210 mm[4] nad podlahou umístěno okno o rozměrech 930 x 730 mm[4]. V zadní části jsou původní kontejnerová vrata, která slouží k uzavření výcvikové části. Ve stropním prostoru výcvikové části se nachází klapky ovládané pomocí táhla, jak zevnitř, tak zvenčí. Klapka kryje větrací otvor o rozměrech 500 x 500 mm[4].

Výcviková část je od topeniště oddělena pomocí dvoukřídlých izolovaných vrat o rozměrech 1830 x 1920 mm[4], které jsou pokryty trapézovým plechem, ten kryje izolaci z minerální vlny o tloušťce 40 mm[4]. Ve vrchní části nad dveřmi je topeniště, od výcvikové části odděleno malou stěnou, tvořenou trapézovým plechem. Výškový rozdíl podlahy ve výcvikové části a v topeništi je 595 mm[4].

Dále je možno do výcvikové části variabilně instalovat kouřovou zástěnu o výšce 600 mm. Zástěna se instaluje pomocí zavěšení na oka, navařená ve výcvikové části. Kouřová zástěna plní důležitou funkci, určuje výšku horní horké vrstvy kouře.

Nosná konstrukce je tvořena stávajícím nosným systémem kontejneru.



Obrázek 3: Pohled do výcvikové části, u stropu je vidět instalovaná zástěna. [25]

3.2.3 Topeniště

Prostor, pro naložení paliva. Prostor topeniště je ohraničen stěnami, které jsou tvořeny sendvičovou konstrukcí, ta zabezpečuje co nejreálnější navození podmínek požáru. Díky sendvičové konstrukci bylo docíleno minimalizace tepelných ztrát, prostřednictvím sdílení tepla do okolí.

Sendvičová konstrukce obvodových stěn je uspořádána následovně:

1. vnitřní plech (krycí),
2. pórobetonová vyzdívka,
3. izolace tvořena minerální vlnou tloušťky 40 mm[4],
4. vnější trapézový plech (stěna kontejneru).

Celá sendvičová stěna je umístěna v původním nosném rámu kontejneru a spojena železnými kotvami. Ty prochází přes všechny vrstvy a tím konstrukci chrání před posunem, způsobeným vysokým tepelným namáháním.

Strop topeniště je také tvořen sendvičovou konstrukcí, uspořádanou následovně:

1. vnitřní plech,
2. pórobetonové vláknité desky,
3. izolace tvořena minerální vlnou tloušťky 40 mm[4],
4. vnější trapézový plech (stěna kontejneru).

Ve stropní části se nachází otvor o rozměrech 500 x 500 mm[4]. Otvor je uzavřen pomocí klapky, která je ovládaná jak zevnitř, tak zvenčí kontejneru. Podlaha je v prostoru topeniště řešena položením pěnositíkatových tvarovek tloušťky 80 mm[4], které jsou vyspárovány pískem. Nosná konstrukce je tvořena stávajícím nosným systémem kontejneru



Obrázek 4: Pohled z výcvikové části do topeniště. [25]

3.2.4 Backdraftová část

Stěny Backdraftové části jsou tvořeny trapézovým plechem. Prostor backdraftové části je oddělen od topeniště pomocí původně vstupních dvoukřídlých vrat. Tato zároveň tvoří vnitřní izolovanou stěnu topeniště. Na místo vstupních vrat byla instalována stěna se dvěma,

nad sebou umístěnými a nezávislými otvory, o rozměrech 1000 x 940 mm a 1000 x 1010 mm[4]. Stěna je izolována vrstvou minerální vlny o tloušťce 30 mm[4], krytou trapézovým plechem. Strop v backdraftové části je tvořen trapézovým plechem.

Nosná konstrukce je tvořena stávajícím nosným systémem kontejneru



Obrázek 5: Pohled do Backdraftové část při přípravě na simulaci jevu. [25]

3.3 Systém výcviku

Průběh výcviku je systematicky seřazen do třech po sobě jdoucích etap:

1. teoretická část (na úvod výcviku),
2. výcvik techniky hašení,
3. praktická část výcviku v kontejneru.

3.3.1 Teoretická část výcviku

Na úvod výcviku je zařazena teoretická část, která probíhá na učebně. Během teoretické části jsou účastníci výcviku seznámeni s problematikou vzniku požáru v uzavřených prostorech a jeho následným šířením. Dále jsou popsána různá nebezpečí, která mohou ohrožovat zasahující hasiče, při likvidaci požárů v uzavřených prostorech. Velký důraz je

kladen hlavně na možnost vzniku nelineárního rozvoje požáru a s ním spojenými jevy, jako jsou hlavně jevy Flashover, Backdraft a Smoke Explosion. Hasiči jsou po teoretické stránce seznámeni s podmínkami, za nichž tyto jevy mohou nastat, samozřejmě i s následným průběhem těchto jevů a možností ochrany. V neposlední řadě jsou hasiči seznámeni se základními zásadami pohybu v neznámých zakouřených prostorech.



Obrázek 6: Teoretický výcvik na učebně

3.3.2 Výcvik techniky hašení

Po dokončení teoretické části výcviku jsou hasiči seznámeni s technikou hašení 3D vodní mlhou, která je během praktického výcviku užívána jako hlavní postup při ofenzivním útoku. Pro kvalitní zvládnutí této techniky je důležité, aby hasiči dokonale ovládali práci s proudnicí.

Při výcviku techniky hašení je kladen velký důraz hlavně na nácvik ovládání úhlu rozstříku proudu vystupujícího z proudnice a na ideální způsob aplikace vodní mlhy pomocí krátkých a dlouhých pulsů.



Obrázek 7: Výcvik práce s proudnicí. [25]

3.3.3 Praktický výcvik

Praktický výcvik je rozdělen do dvou částí. Obě části probíhají v zařízení pro speciální výcvik, kde jsou během výcviku simulovány reálné podmínky požáru. V první části se pozoruje volný rozvoj požáru, pokles neutrální roviny a chování samotného požáru. Po té následuje výcvik 3D vodního hašení následujícím způsobem:

- po důkladném rozhoření dojde k uzavření dveří, které oddělují topeniště od výcvikové části,
- zhruba po 1 až 2 minutách dojde k otevření dveří a vycházející horké kouřové plyny se ochladí pomocí dvou krátkých pulsů. Tím dojde k uhašení postupujícího ohně,
- poté jsou dveře opět zavřeny a celá procedura se tak opakuje znovu, dokud ji neabsolvuje každý účastník výcviku.

V druhé části praktického výcviku posluchači vstupují ve dvojicích do výcvikové části, kde jsou simulovány reálné podmínky požáru. Při vstupu jsou procvičovány zásady bezpečného vstupu do uzavřeného prostoru, kde probíhá požár. Důraz je kladen na bezpečné otevření dveří, ochlazení prostoru za dveřmi, následný vstup do prostoru, zásady bezpečného pohybu v zakouřeném prostoru a v neposlední řadě zásady vyhledávání osob v zakouřeném prostoru.



© **FLASHOVER KONTEJNER HAMRY**

Obrázek 8: Hasiči při výcviku. [25]

4 Specifikace požárů v uzavřených prostorech

4.1 Volný rozvoj požáru

Šíření požáru v uzavřeném prostoru ovlivňuje mnoho faktorů, zejména množství a rozložení hořlavých látek, ventilace a další. Na směr a rychlost šíření požáru má velký vliv rozložení hořlavých látek v objektu a také jejich požárně technické vlastnosti. Zde platí, že největší rychlost šíření požáru vykazují látky, které mají vysokou hodnotu rychlosti odhořívání.

Požáry v uzavřených prostorech jsou specifické i z pohledu sdílení tepla. Vznikající teplo působí na okolní látky, které zahřívá a připravuje je tak k hoření. Velké množství tepla je do prostoru šířeno prostřednictvím spalín vznikajících při hoření a jejich následným prouděním v prostoru. Při proudění spalín také dochází k přenášení malých hořících nebo žhnoucích částecí, které mohou iniciovat hoření v místech vzdálených několik desítek metrů od samotného požáru. Hořlavé materiály, vlivem působícího tepla, uvolňují látky, jež ve směsi se vzduchem hoří. Nejvýznamnější složkou sdílení tepla při požárech v uzavřených prostorech představuje konvekce. Přenos tepla zářením je markantní až u teplot požáru převyšujících 800°C.

Proces rozvoje požáru je možné rozdělit do tří charakteristických fází[5]:

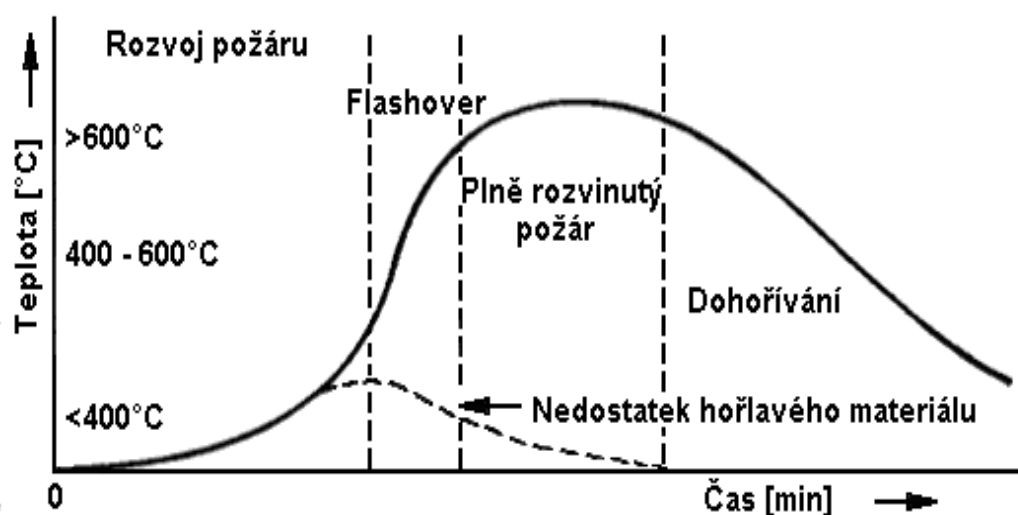
- I. dochází k rozvoji požáru, tedy k šíření ohně, jenž zachvacuje podstatnou část všech hořlavých materiálů,
- II. je dosaženo maximální rychlosti odhořívání hořlavých látek a požár se projevuje aktivním plamenným hořením a konstantní rychlostí odhořívání, oheň je plně rozvinut,
- III. rychlost odhořívání klesá a dochází k dohořívání tlejících a žhnoucích částí hořlavých materiálů.

Jedná-li se o požár v uzavřených prostorech, pak k ovlivnění jeho průběhu vnějšími vlivy nedochází. V I. fázi dochází ke zvyšování teploty a velkému vývinu spalín, které se v prostoru shromažďují. Pokud jejich koncentrace dosáhne spodní meze hořlavosti, může dojít k jejich celkovému vzplanutí a jevu, označovanému jako Flashover.

Pokud se v prostoru nenachází dostatečné množství vzduchu, dojde k nedokonalému hoření. Při nedokonalém hoření vzniká v prostoru velké množství oxidu uhelnatého. Tak, jak ubývá v prostoru vzduch, tedy oxidační činidlo, dochází i k poklesu intenzity hoření. Je-li náhle do prostoru hoření přiveden vzduch, nastává prudká změna. Kyslík způsobí zvýšení intenzity hoření a za určitých podmínek může nastat jev, označovaný jako backdraft.

Ve II. fázi je prostor kompletně zasažen požárem a je dosahováno maximálních hodnot teploty a rychlosti hoření. V tomto okamžiku není možné zajistit bezpečný pobyt osob v daném prostoru, ani za pomoci ochranných prostředků. V dané situaci je i samostatný hasební zásah velmi komplikovaný a nebezpečný.

Při postupném vyhořívání všech hořlavých látek se požár dostává do III. fáze, kdy je intenzita hoření velmi malá. Dochází k postupnému snižování rychlosti odhořívání. Prostor je zaplněn spalinami, jež v sobě kumulují teplo, stejně jako okolní nehořlavé materiály, teplota se snižuje jen minimálně. Dochází k postupnému a pomalému posunu neutrální roviny směrem ke stropu, což způsobuje pomalý únik spalin netěsnostmi a otvory ven, z prostoru hoření.



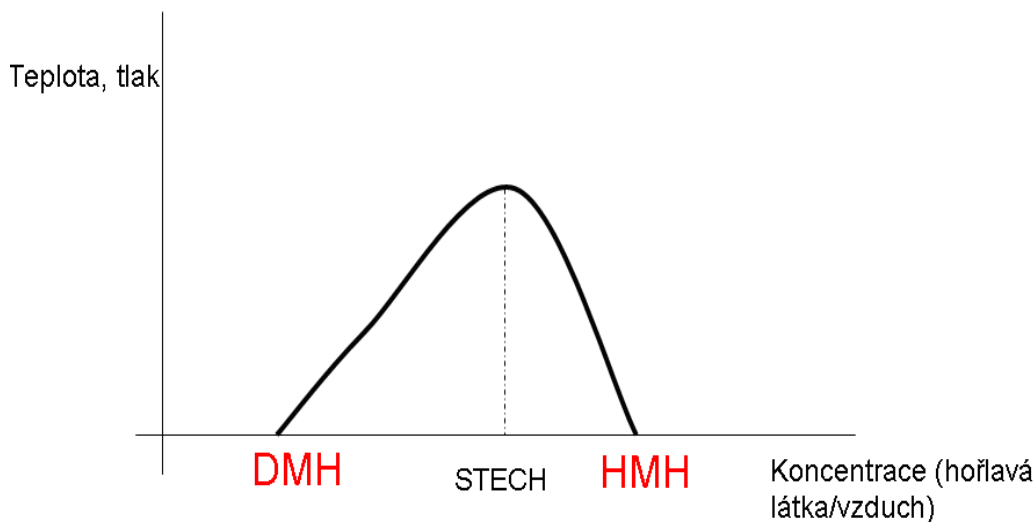
Obrázek 9: Schéma rozvoje a průběhu požáru [6].

4.2 Produkty hoření a jejich vlastnosti, proudění plynů při požáru

Hoření je fyzikálněchemická reakce, při které dochází k postupné přeměně látek vstupujících do reakce na látky z reakce vystupující. Žádná částice látky není úplně zničena, ale pouze dojde k přeměně na látku jinou. Požár je charakteristický: vývinem tepla, světla, kouře, hořlavými nespálenými plyny a nespálenými tuhými zbytky (popel) [5].

Při hoření vzniká mnoho produktů, z nichž velká část je pro lidské tělo velmi nebezpečná. Množství a druh těchto nebezpečných produktů je ovlivněno druhem hořlavé látky a množstvím kyslíku, jako oxidačního činidla, které do reakce vystupuje. V případě malého množství kyslíku, dochází k nedokonalému spalování, což vede k prudkému nárůstu

koncentrace nebezpečných produktů, především oxidu uhelnatého. Při nedokonalém spalování vznikají dále oxidy dusíku, síry a fosforu. Všechny tyto produkty jsou pro lidské tělo velmi nebezpečné, a to i v minimálních koncentracích.



Obrázek 10: Produkty pyrolýzy a jejich hořlavost. [7]

Další významnou složkou, obsaženou v kouři, jsou páry kapalin. Je-li teplota kouře vyšší než teplota kondenzace těchto par, chovají se páry v kouři jako plyny. Při poklesu teploty pod teplotu kondenzace se začnou páry postupně měnit v kapalinu a vytvářet malé kapky na stěnách.

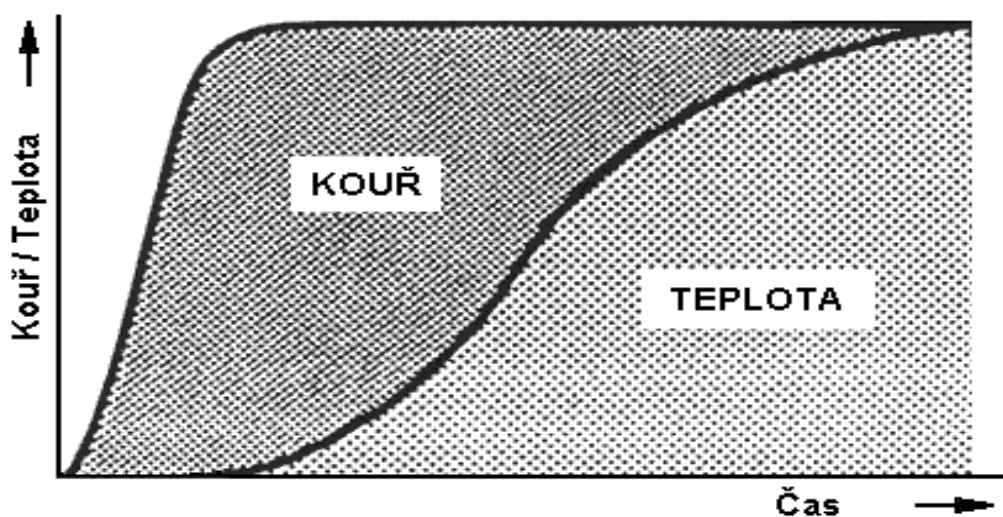
Všechny produkty hoření v sobě kumulují teplo vznikající hořením. Důsledkem kumulace tepla je nárůst objemu. Nárůstem objemu dochází ke snížení jejich měrné hmotnosti a stávají se lehčí než vzduch, což má za následek jejich stoupání vzhůru, ke stropu[5]. S rostoucí teplotou roste i rychlost pohybu proudu kouře a proud kouře tím dostává turbulentní charakter. Následkem toho je přisávání okolní vzduchu do objemu kouře.

Při požárech v uzavřených prostorech dochází vlivem narůstající teploty v místě hoření k proudění zplodin do vrchní části prostoru. Prostor je postupně zaplňován zplodinami směrem od stropu k podlaze. V prostoru se nachází pás, který odděluje pásmo kouře od pásma nezakouřeného. Místo, kde je rozhraní mezi těmito dvěma pásmy, se říká neutrální rovina. Ta se při vzniku požáru nachází těsně pod stropem a s postupným rozvojem požáru a kumulací zplodin hoření se začíná posunovat směrem k podlaze.

S nárůstem teploty kouře v uzavřeném prostoru je spojen i nárůst objemu a tlaku. Největší nárůst tlaku je u stropu. Tlak vně uzavřeného prostoru je konstantní a vůči prostoru zasaženému požárem se vytváří tlakový gradient. Vznik tlakového gradient má za následek

postupné pronikání kouře různými netěsnostmi z hořícího prostoru do okolí s konstantním tlakem. Toto proudění horkých plynů a spalin ven z prostoru způsobuje snižování tlaku v dolní části prostoru. Tento pokles tlaku vůči konstantnímu tlaku v okolí má za následek postupné přísávání vzduchu do hořícího prostoru. Velké množství tepla je do okolí šířeno prostřednictvím spalin vznikajících při hoření a jejich následným prouděním v prostoru. Při proudění spalin také dochází k přenášení malých hořících nebo žhnoucích částeczek, které mohou iniciovat hoření v místech vzdálených několik desítek metrů od samotného požáru.

Výměna plynu je u požárů v uzavřených prostorech velmi složitá a je ovlivněna několika faktory. Tím nejdůležitějším je stavební řešení daného objektu, zejména: výška místnosti, rozmístění otvorů, počet otvorů, rozměry otvorů, apod. Nachází-li se v objektu více otvorů v různých úrovních výšky, pak se poloha neutrální roviny ustálí takovým způsobem, že spodními otvory je nasáván čistý vzduch a horními otvory se dostává z prostoru kouř. V případě, že se v místnosti nachází pouze jediný otvor, pak výměna plynů probíhá skrze tento otvor a to tak, že spodní částí otvoru je nasáván čistý vzduch do prostoru hoření a horní částí otvoru se dostává kouř z místnosti ven[5]. Dalším důležitým faktorem ovlivňujícím proudění plynů je rychlost a směr větru, který má přímý vliv na polohu neutrální roviny. Ta se na závětrné straně nachází níže než na straně návětrné.



Obrázek 11: Schéma tvorby kouře a růstu teploty při požáru. [6].

4.3 Vliv stavebních konstrukcí na rozvoj požáru

Problematika likvidace požárů v uzavřených prostorech je stále obohacována o nové poznatky spojené se stavebním řešením a konstrukcí nově budovaných objektů. Tyto budovy v určitém směru představují větší nebezpečí, než budovy, které byly postaveny dříve. Hlavní

problémy jsou spojeny především s jejich rozměry a vlastnostmi stavebních hmot používaných v novostavbách. Většinou se jedná o vysoké budovy, tvořené prostory bez přirozených otvorů, kterými může vnikat vzduch. Na druhé straně jsou budovány rozsáhlé prostory obchodních galerií a komerčních center, kde je použito takových výplní stavebních otvorů, které jsou schopny více odolávat požáru. Tím, že není zabezpečen dostatečný přívod vzduchu, například porušením skleněných výplní oken, mají požáry v těchto objektech většinou specifický průběh, doprovázený vznikem Flashoveru nebo Backdraftu.

Velký vliv na šíření požáru má také využití nových materiálů při bytové výstavbě, což vede ke zvýšení produkce zplodin hoření a také ke zvýšení rychlosti šíření požáru v prostoru.

Použití nových stavebních technologií má velký význam na pozdější likvidaci případného požáru. Použití oken opatřených termo-izolačním sklem přináší vysoké energetické úspory při běžném užívání, při požáru ale okna díky své odolnosti zabraňují úniku spalin ven z objektu. Tyto spaliny se hromadí v prostoru hoření a nastává riziko vzniku nelineárního rozvoje požáru.

4.4 Požáry řízené ventilací

Mezi tyto požáry lze zařadit všechny požáry, které probíhají v uzavřených prostorech. Pouze požáry, které probíhají v rozsáhlých výrobních, montážních a skladovacích halách, mají podobný průběh jako požáry na otevřeném prostranství. Pro požáry řízené ventilací je charakteristické omezení obsahu oxidačního činidla, které se v uzavřeném prostoru vyskytuje a také do prostor hoření proniká z okolního prostředí. Přísun kyslíku z okolního prostředí vstupuje do prostoru hoření zpravidla otevřenými stavebními otvory, netěsnostmi v konstrukcích a uzávěrech, popřípadě prostřednictvím vzduchotechniky. Není-li zabezpečen dostatečný přívod vzduchu, může mít požár tzv. nelineární průběh doprovázený jevy, jakými jsou Flashover, Backdraft nebo Smoke Explosion. Tyto jevy jsou spojeny především s rozvojem požáru a jejich projevy jsou v mnoha případech podobné. Důsledkem uvedených jevů je vždy rozšíření požáru a rychlý nárůst teploty.

V případě dostatečného množství vzduchu, dochází téměř k dokonalému spalování v prostoru hoření, při němž uhlík oxiduje na oxid uhličitý. Dokonalé spalování je provázeno vznikem velkých plamenů, nárůstem teploty a intenzivní výměnou plynů s okolím. Pokud teplota překročí rozmezí 500°C - 600°C[5], dochází k okamžitému prostorovému vznícení směsi, která je tvořena zplodinami hoření, produkty teplotní degradace a oxidačního činidla. Při prostorovém vznícení dochází k prudkému nárůstu teploty a rychlému rozšíření požáru do

celého prostoru. Tento jev se označuje jako Flashover. Prudký nárůst teploty a rozšíření požáru může vést k narušení celistvosti a izolační schopnosti oken, dveří i jiných uzavěrů a otvorů. V důsledku porušení těsnosti uzavřeného prostoru dochází k většímu přísunu kyslíku do prostoru hoření a požár se začne chovat téměř jako požár na otevřeném prostranství.

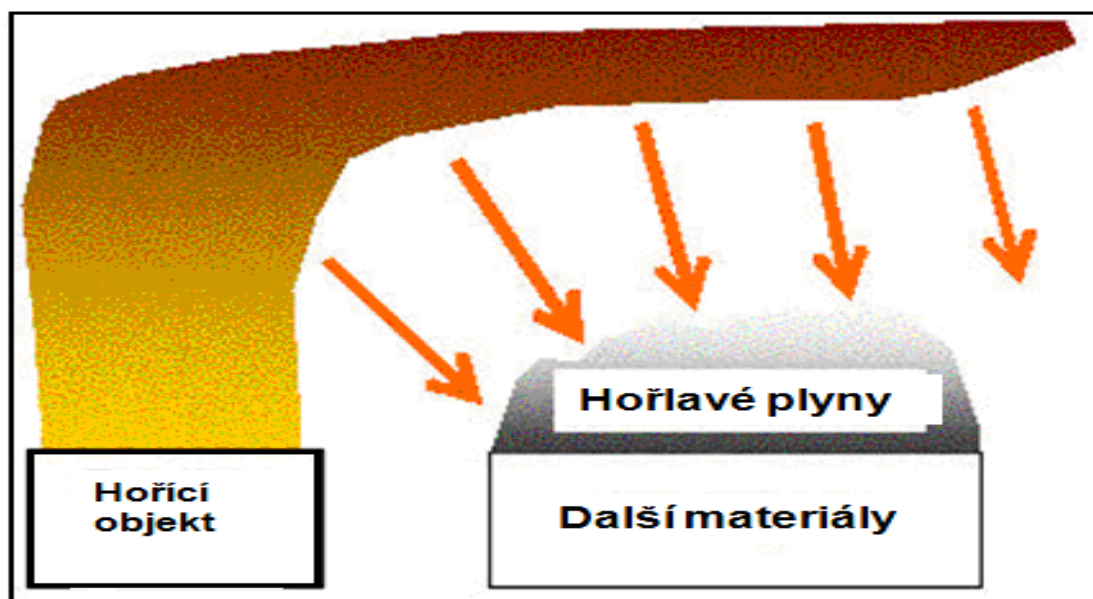
Pokud však mají stavební otvory dostatečnou požární odolnost, nebo se v prostoru nevyskytují, nemohou jejich porušením vzniknout cesty, kterými by se kyslík do prostoru dostával. Pak obsah kyslíku v prostoru začne prudce klesat a hoření začne přecházet na nedokonalé spalování, které vede až k postupnému bezplamennému hoření. Začne se zvyšovat koncentrace oxidu uhelnatého v prostoru[5]. V případě, že nedojde k přísunu kyslíku do prostoru hoření, dojde k pomalému snižování teploty, vrstva kouře začne klesat a požár pomalu ustane. V opačném případě, kdy dojde k vytvoření otvoru, kterým do prostoru vnikne dostatečné množství vzduchu a teplota v prostoru neklesla pod hranici teploty vznícení produktů hoření, může dojít k jevu označovanému jako Backdraft.

4.5 Přenos tepla při požáru

K přenosu tepla během požáru dochází třemi základními způsoby:

- a) konvekcí (prouděním), kdy dochází k přenosu tepla pomocí kapalných, nebo plynných médií. K proudění dochází díky rozdílu hustot mezi chladnými a horkými molekulami. Dochází-li k nárůstu teploty, pak hustota molekul klesá výrazně klesá. Dochází k jejich rozpínání a následnému vzestupu vzhůru. K určení tepelného toku se užívá jednoduchý vzorec, tzv. Newtonova rovnice [14.],
- b) radiací (sáláním), jde o složitý děj, při kterém dochází k přenosu tepla prostřednictvím elektromagnetických vln. Pro realizaci přenosu tepla prostřednictvím sálání není zapotřebí hmotného prostředí. Při přenosu se část zářivé energie mění na tepelnou energii. S rostoucí teplotou zářícího tělesa dochází k nárůstu vyzařované energie. Intenzita vyzařování se určí pomocí tzv. Stefanova – Boltzmannova zákona [14].
- c) kondukcí (vedením), při ní dochází v důsledku přímého kontaktu dvou ploch o různé teplotě k přímému přenosu tepla. S rostoucí teplotou dochází k postupnému zvyšování kinetické energie všech molekul. Materiál se následkem přenosu energie z molekuly na molekulu postupně prohřívá do hloubky. Vedení tepla

prostřednictvím kondukce je popsáno pomocí tzv. Fourierova zákona, který udává vztah mezi hustotou tepelného toku a teplotním gradientem. [14].



Obrázek 12: Přenos tepla při požáru [7].

4.6 Tepelné záření působící na zasahující hasiče

Při likvidaci požáru jsou v prostoru hoření, nebo v jeho blízkosti, přítomni zasahující hasiči a také zachraňované osoby, na které působí účinky požáru přímo. Hasiči jsou vystaveni nejen tepelnému působení plamenů, ale také tepelnému působení rozžhavených nehořlavých materiálů obsažených nejen ve stavebních konstrukcích. Při působení tepla na lidskou pokožku dochází k nárůstu teploty. Při překročení teploty 45°C [8] je překročen práh lidské bolesti, pokračuje-li tepelné namáhání dále, dochází k tvorbě popálenin v nebezpečnější formě. Při výzkumu působení tepla na lidský organismus bylo provedeno velké množství pokusů, testů a měření. V těchto testech byli lidé vystaveni tepelnému působení a byly zjišťovány jejich pocity a účinky tepelného působení na lidskou kůži. Údaje získané v souvislosti s působením tepla na lidský organismus jsou uvedeny v následujících tabulkách.

Tabulka 1: Hodnoty hustoty tepelného toku v závislosti na čase při ohrožení unikajících osob. [8]

Hustota tepelného toku [W.m ⁻²]	Doba působení [s]
9 600	5
5 900	10
3 800	20
2 900	30
2 500	40

Tabulka 2: Hodnoty hustoty tepelného toku v závislosti na době působení a pocitu bolesti osob. [8]

Hustota tepelného toku [W.m ⁻²]	Doba působení [s]
280 – 550	Neomezená
625 - 1 050	180 - 3 00
1 100 - 1 600	40 - 60
1 680 - 2 200	20 - 30
2 200 - 2 800	12 - 14
2 800 - 3 100	7 - 10
nad 3 500	2 - 5

Tabulka 3: Hodnoty hustoty tepelného toku v závislosti na pocitu člověka . [8]

Hustota tepelného toku [W.m ⁻²]	Pocit člověka
60 – 100	Vnímá teplo
200 – 600	Pocit'uje teplo
1 000 - 2 300	Pocit'uje horko
3 000 - 5 000	Pocit'uje bolest

Podle [9] je přípustná hodnota hustoty tepelného toku při krátkodobém působení 1050 W.m⁻² , při působení dlouhodobém 540 W.m⁻². Pro mobilní požární techniku, u které se nacházejí obsluhující hasiči v zásahovém obleku, jsou kritické podle [8] hodnoty toku udávány v rozmezí 12 600 – 12 800 W.m⁻².

Při hašení požáru se snažíme o snížení vývinu tepla, popřípadě o omezení jeho působení na lidský organismus nebo požární techniku.

5 Hašení požárů jednotkami požární ochrany

Teorie přerušení hoření je založena na omezení jednoho ze tří činitelů potřebných k hoření (hořlavá látka, iniciační zdroj a oxidační činidlo). Podle působení hasebních látek na proces hoření se rozlišují tři základní mechanismy hašení, a to fyzikální, chemický a kombinovaný. K přerušení hoření se používá základních opatření, mezi něž patří snižování teploty, přerušení probíhající chemické reakce, odstranění hořlavých látek, nebo zamezení přístupu kyslíku do prostoru hoření. V případě bezplamenného hoření existují jen tři základní opatření vedoucí k přerušení bezplamenného hoření. Mezi tyto metody patří zamezení přístupu kyslíku, snížení teploty a odstranění hořlavých látek. V České republice se v praxi na hašení požárů v uzavřených prostorech používá převážně metod založených na snížení teploty, snížení obsahu kyslíků v prostoru (ředění) a odstranění hořlavých látek[10].



Obrázek 13: Trojúhelník hoření

5.1 Metody hašení

Metoda založená na snižování obsahu kyslíku v prostoru (ředění) vychází ze snížení obsahu kyslíku jako oxidačního činidla v prostoru hoření. Pokud se podaří dosáhnout snížení až pod limitní obsah kyslíku, dojde v prostoru k přerušení hoření. Po určitou dobu musí být zajištěno, aby se obsah kyslíku nezačal opět zvyšovat a požár nezačal opětovně hořet.

Zředování kyslíku se provádí několika způsoby. Tím nejznámějším je inertizace prostoru hoření pomocí inertních plynů, mezi které patří N_2 , CO_2 , Ar. Speciálním způsobem je inertizace prostředí vodní párou.

Příklad výpočtu množství páry vzniklé z jednoho litru vody při dvou různých teplotách [11].

$$PV = nRT$$

$$PV = \frac{mRT}{M}$$

$$V = \frac{mRT}{MP}$$

$$n = \frac{m}{M} \quad [11]$$

P = tlak

V = objem

n = hmotnost/molární hmotnost

R = 8,31 [11]

T = teplota

Pro teplotu 100⁰C platí:

$$V = \frac{1000 * 8,31 * 373K}{18 * 101300} = 1,7m^3$$

Pro teplotu 600⁰C platí:

$$V = \frac{1000 * 8,31 * 873K}{18 * 101300} = 3.98m^3$$

Metoda snížení teploty je nejpoužívanější pro svoji jednoduchost. Podstatou je snížení rychlosti vývinu hořlavých plynů a par hořlavých látek, čehož je docíleno ochlazováním hořlavých látek. Pro hasební látky je charakteristické velké výparné a měrné teplo a malé povrchové napětí. Nejčastěji používaným hasivem je v tomto případě voda, která má výborné vlastnosti.

5.2 Voda,jako hasební látka

Voda je jako hasební látka užívána z mnoha důvodů. Ty nejvýznamnější jsou hlavně dostupnost, cena a chemické vlastnosti. Voda se vyznačuje hlavně ochlazujícím a izolačním hasebním efektem[12]. Je li voda ve formě páry, může mít i efekt inertizační. Pro zlepšení hasebního efektu vody se přidává různých přísad, jako například na snížení povrchového napětí, pro zvýšení mrazuvzdornosti, snížení korozivních vlastností apod. Voda má však i jednu velmi špatnou a nebezpečnou vlastnost, a to je vysoká elektrická vodivost, která

s obsahem solí roste [12]. Elektrická vodivost se zvyšuje i přidáváním různých přísad pro zlepšení hasicího účinku.

5.3 Hasební efekty vody

Voda má především tyto hasební efekty:

- dusivý hasební efekt je dán hlavně vzniklou vodní párou, která se hromadí v prostoru. Z jednoho litru vody při teplotě 100 °C vznikne 1 700 litrů páry. Dle výše uvedených výpočtů při teplotě 600 °C, která odpovídá skutečným teplotám požáru, vznikne 3 980 litrů páry,
- chladicí hasební efekt je dán hlavně hodnotou výparného tepla, která je až 2 257 KJ.Kg⁻¹ [12],
- dělicí hasební efekt je dán schopností vody oddělit hořlavé látky od zdroje hoření a bránit sálání tepla,
- zředovací hasební efekt je dán schopností vody mísit se se spoustou kapalných (polárních) látek. Tím dochází ke zmenšení objemu odpařených par a plynů.

Voda jako hasební látka je nevhodná pro některé druhy požárů. Mezi takové patří požáry tavenin železa a požáry lehkých kovů, kdy použití vody vede k vzniku výbušného vodíku. Dále se voda jako hasební látka nesmí používat na likvidaci požárů elektrických zařízení pod napětím a na požáry tuků a olejů.

5.4 3D vodní mlha

5.4.1 Vývoj 3D vodní mlhy

Základní taktický postup v boji proti požárům je založen na konceptu LOYD – LAYMANova přímého útoku na rozvíjející se požár[23]. Ve Švédsku roku 1982[23] umírají při požáru doprovázeném jevem Backdraft dva hasiči. Na tuto událost reagoval Švédský FIRE SERVICE a uvedl inovačně přepracovanou metodu LOYD – LAYMANova přímého útoku, která se jmenovala ofenzivní boj proti požáru a později byla přejmenována na útok 3D vodní mlhou.

Výzkum byl směřován i do oblasti výcviku hasičů. Ve Stockholmu bylo navrženo zařízení, skládající se z tepelně izolovaných přepravních kontejnerů, v nichž je možné simulovat rozvoj požáru a nacvičovat techniku hašení [23]. Zejména je možné simulovat jevy podobné Flashoveru. Toto zařízení bylo později označeno jako Flashover simulátor[23].

V roce 1984 začali zkoumat techniku hašení 3D vodní mlhou také hasiči v Londýně [18]. Později byla tato metoda oficiálně přijata Anglickou požární službou [18].

V roce 1990 [18] začala techniku hašení 3D vodní mlhou testovat i Americká pobřežní stráž s vojenským námořnictvem. Technika 3D vodní mlhy byla užita v systému hasícího zařízení, které využívá malé množství vody aplikované do prostoru ve formě 3D vodní mlhy.

Se vstupem do nového tisíciletí bylo užití techniky hašení 3D vodní mlhou zkoumáno požárními úřady nejen v Evropě, ale také v USA a Austrálii. V únoru 2001 [23] dokončil hasičský sbor města Austin úspěšně 146 pokusných měření v trenažéru a po vyhodnocení všech získaných výsledků ocenil užití techniky hašení 3D vodní mlhou v každé zkoumané situaci [22]. Bylo zjištěno, že u některých druhů požáru by mohlo být jeho šíření tak rychlé, že by bylo nedostačující použití 3D vodní mlhy. Tato situace může nastat hlavně tehdy, pokud by bylo množství uvolněného tepla několikanásobně větší, než množství odváděného tepla. Tato situace může nastat při požárech v rozsáhlých prostorech s velkým množstvím hořlavých látek. [23].

Závěrem testovacích požárů řekl jeden z organizátorů testů: *“Věřím tomu, že užití metody hašení 3D vodní mlhou bylo správnou volbou ve většině ze 146 požárů, se kterými jsme se při měření setkali. S podobnými situacemi se setkáváme i u skutečných zásahů. Použití pulsního proudu a techniky hašení 3D vodní mlhou jsou nejbezpečnější a nejefektivnější ve srovnání s ostatními metodami likvidace požáru v uzavřených prostorech, ačkoliv to neplatí pro všechny situace při požáru. My teď užití této techniky učíme ostatní hasiče”*. [23]

Zajímavý výzkum provedl Švédský vědec na universitě Lund [21]. Ten při svém výzkumu použil počítačový model, na němž demonstroval a předpověděl efekty během požáru, při použití ventilace. Výsledkem jeho výzkumu bylo, že metoda hašení 3D vodní mlhou se prokázala jako nejbezpečnější a nejefektivnější.

5.4.2 Popis 3D vodní mlhy

Taktiku hašení 3D vodní mlhou je možné využít jak při útoku, tak při obraně. Nejlepší vlastnosti 3D vodní mlhy jsou zjištěny při obraně. Hasiči využívají 3D vodní mlhu k vytvoření prostředí, ve kterém je možno se pohybovat co nejbližší k samotnému ohnisku požáru. Dále je nepřímého útoku užíváno při ochraně před jevy Flashover a Backdraft. Vodní mlha je tvořena malými kapičkami vody, které se odpaří ještě před dopadem na zem.

Vlastnosti a hasební efekt 3D vodní mlhy je závislý na několika faktorech. Důležitým faktorem ovlivňujícím vlastnosti 3D vodní mlhy je použitá proudnice (objemový průtok, výstřiková tryska) a způsob zvládnutí techniky hašení vodní mlhou (schopnost rozložit mlhu v prostoru). V případě kapiček platí u 3D vodní mlhy pravidlo, že čím jsou kapičky menší, tím lepší účinek mají při chlazení a zředování.

Tabulka 4: Závislost celkové plochy kapiček na jejich velikosti [16]

Velikost kapiček $v(\mu m)$	1000	100	10
Celkový počet kapiček	1.91×10^6	1.91×10^9	1.91×10^{12}
Celková plocha povrchu	6	60	600

Z tabulky vyplývá, že v jednom litru vody se redukcí kapiček z 100 μm na 10 μm celková plocha povrchu zvýší až desetkrát. Proto dochází k lepšímu odpařování a rychlejší absorpci tepla. Jak vyplývá z následující tabulky, tak s menší velikostí kapiček se zkracuje také doba jejich existence, tedy rychleji se odpařují.

Tabulka 5: Závislost doby existence kapiček na jejich velikosti a okolní teplotě [16]

T (°C)	100 (μm)	200 (μm)	300 (μm)	500 (μm)	1000 (μm)
200	0,8 s	1,6 s	2,4 s	4,0 s	8,0 s
300	0,533 s	1,06	1,6 s	2,66 s	5,33 s
400	0,4 s	0,8 s	1,2 s	2,0 s	4,0 s
600	0,36 s	0,52 s	0,78 s	1,3 s	2,6 s
800	0,2 s	0,4 s	0,6 s	1,0 s	2,0 s
1000	0,16 s	0,32 s	0,48 s	0,8 s	1,6 s

Velký význam na účinnost 3D vodní mlhy má také doba, kterou kapička vody stráví v horkých plynech. Tady platí, že čím delší dobu kapička v horkých plynech stráví, tím lepší chladicí efekt má 3D vodní mlha. Doba, kterou kapička ve spalínách stráví je závislá na rychlosti, kterou opouští proudnici, na její velikosti a dráze, kterou musí urazit.

Tabulka 6: Čas potřebný k dopadu kapičky na podlahu při prostupové vzdálenosti 3 metry [16]

Velikost kapiček [μm]	Výstupní tlak [MPa]			
	5	10	30	68
200	3 s	2 s	1.12 s	0.74 s
300	2.7 s	1.75 s	0.96 s	0.64 s
500	1.16s	0.77 s	0.41 s	0.27 s
1000	0.86 s	0.57 s	0.3 s	0.2 s

Faktor, jenž velice ovlivňuje chladicí efekt 3D vodní mlhy je objem vody, která se do prostoru aplikuje a úhel pod nímž je do prostoru rozstříkována (rozstříkový úhel). Při změně rozstříkového úhlu dochází ke zvětšování objemu a plochy, do níž je voda aplikována a se změnou úhlu, pod kterým je voda do prostoru vstříkována, se mění prostupová vzdálenost kapiček. Roli zde hraje i poloha proudnice vůči neutrální rovině, tedy to, pod jakým úhlem dopadá proud vody do prostoru zplodin hoření.

S rostoucím objemem vstříkované vody se zvýší chladicí efekt 3D vodní mlhy, pokud se však objem vody zvýší příliš, pak již část vody nepůsobí chladícím efektem, ale začíná se hromadit na podlaze.

Tabulka 7: Závislost prostupnosti kapiček na úhlu, pod kterým jsou kapičky do prostoru vstříkovány [16]

Rozstříkový úhel proudu (°)	30	60	90
Objem proudu (m ³) (Prostup 2m)	0,3	1,39	4,18
Objem proudu (m ³) (Prostup 3m)	0,676	3,14	9,42

Z údajů uvedených v předešlých tabulkách je zřejmé, že technika 3D vodní mlhy vykazuje oproti technice kompaktního proudu výborné chladicí a ředící schopnosti, které plynou z toho, že 3D vodní mlha je tvořena malými kapičkami a širokým rozstříkovým úhlem, pod nímž jsou tyto malé kapičky do prostoru rozstříkovány. Zjednodušeně lze označit za 3D vodní mlhu takovou, jejichž kapičky vydrží ve vznosu cca 3-4 vteřiny.

5.4.3 Výhody 3D vodní mlhy

Jak je uvedeno v [18], byly provedeny porovnávací zkoušky při třech různých požárech. Bylo užito techniky hašení 3D vodní mlhou a technika hašení kompaktním proudem.

První požár se rozšiřoval do okolí, zdroje hoření byly rozptýleny po celém prostoru. U stropu se nacházela vrstva kouře, ve které byly viditelné plameny. Teplota v této vrstvě dosahovala teplot 400 – 600 °C [18]. Podmínky byly shodné s podmínkami nutnými pro vytvoření jevu Flashover. V prostoru hoření byly také umístěny překážky. Po vstupu hasičů do prostoru hoření bylo zahájeno přímé hašení požáru hašení. V prostoru požáru nastaly, podmínky, které ohrožovaly zasahující hasiče, zejména vysoká teplota. V druhém simulovaném požáru byly podmínky totožné jako u první simulace. Jediný rozdíl byl v tom, že v prostoru nebyly rozmístěny překážky, což umožňovalo zahájit hašení, aniž by jednotky musely vstupovat do prostoru hoření, kde byla vysoká teplota. Při třetí simulaci nebyly plameny přímo viditelné a zdroje hoření byly rozmístěny po celém prostoru.

Na likvidaci všech tří požárů bylo užito hadice o průměru 38 mm a proudnice o průtoku 380 l/min. Vodní mlha byla aplikována pod úhlem 60° a sklon proudnice byl 45°. Při útoku kompaktním proudem byl proud vody do prostoru vstřikován pod úhlem 30°.

Vyhodnocení, která uvádí [18] jasně ukazují, že při požáru, kde byly rozmístěny překážky, a bylo nutné proniknout do prostoru hoření, vykazovala technika hašení 3D vodní mlhou jasné výhody oproti klasické technice kompaktního proudu. Výhoda byla především v rychlém ochlazení prostoru způsobeném odpařením 3D vodní mlhy. Pomocí několika krátkých pulsů, které trvaly 2 – 3 sekundy [18] došlo k uhašení plamenů v horní části prostoru. Tím došlo ke snížení teploty kouře, a tím i prostředí, na teplotu 200 až 250 °C a teplota se neustále snižovala. Při technice přímého proudu se teplota také zprvu snižovala, ale poté došlo k rychlému návratu k původním hodnotám. Technika 3D vodní mlhy také vykazovala menší množství vygenerované vodní páry, což vedlo ke snížení nebezpečí opaření. Naopak technika přímého proudu měla za následek vznik obrovského množství horké pronikavé páry, která způsobila silná opaření na rukách, zápěstí a dalších částech těla. Výhoda techniky 3D vodní mlhy se ukázala také při sledování tepelného toku, kde se neprojevovalo významné narušení přirozeného proudění spalin. Při testech s plným proudem docházelo často k narušení přirozeného proudění spalin. Při testech, kde se v prostoru nenacházely překážky se ani jedna z odzkoušených technik nejevila jako obzvláště výhodná. Výhoda techniky 3D vodní mlhy byla kompenzována schopností kompaktního proudu, který

rychlé zmírnil intenzitu hoření při jeho okamžitém použití. Při situaci s nízkou viditelností obě techniky prokázaly téměř shodné účinky a efektivitu. Proto v tomto případě požáru nebyl možno říci, že by jedna z technik poskytovala nějak obzvláště velké výhody.

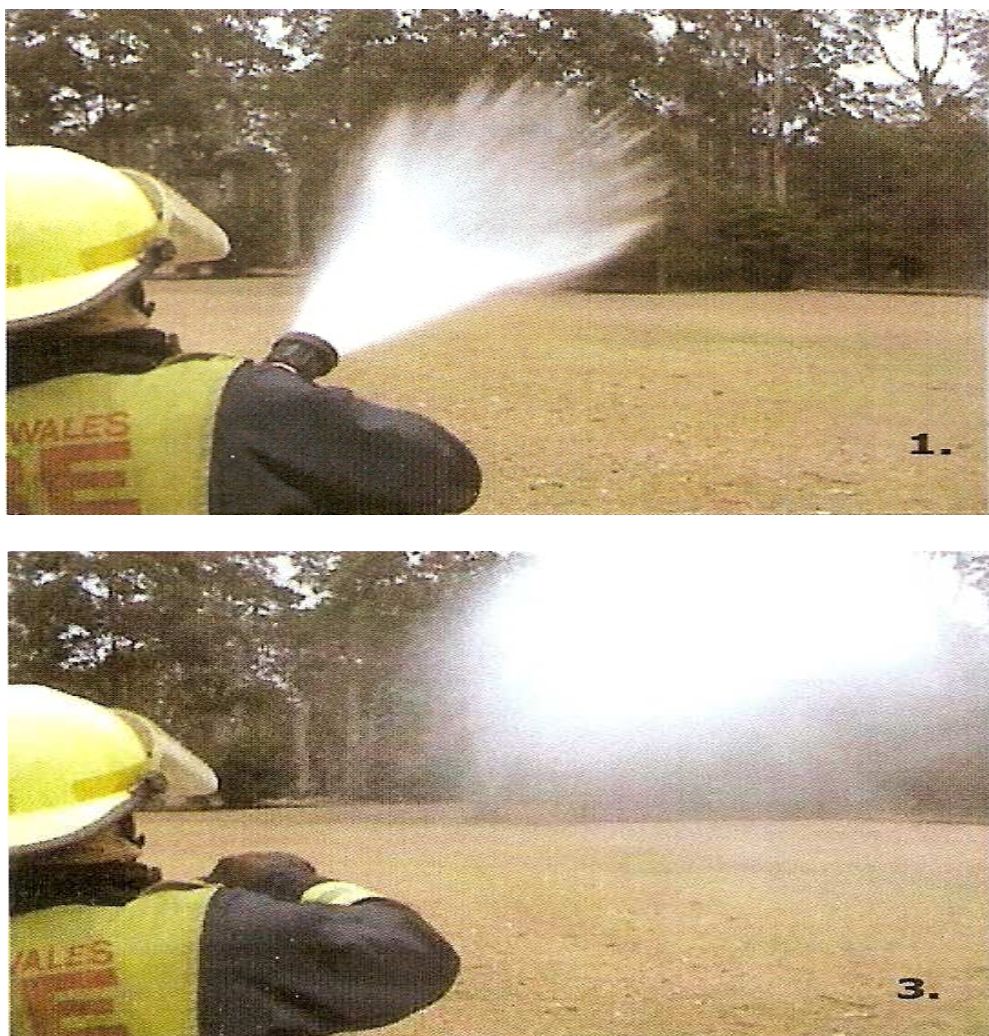
Další významné srovnání bylo provedeno Americkou námořní laboratoří [19], která provedla výzkum porovnávající poměr srdečního tepu k teplotě těla hasiče. Měření teploty bylo provedeno během zásahu. Teplota byla měřena na horních končetinách, hrudníku a stehnech. Provedené testy ukázaly, že při užití techniky 3D vodní mlhy byla teplota kouře snížena a byla urychlena řízená tepelná bilance. Lokalizace požáru a jeho následné uhašení proběhlo rychleji zhruba o dvě minuty, než při užití klasické metody plného vodního proudu. Snížení teploty prostředí vedlo k menšímu zatížení zasahujících hasičů. Testy ověřily, že poměr srdečního tepu a teploty těla zasahujících hasičů byl u techniky 3D vodní mlhy mnohem nižší, než tomu bylo u klasické techniky plného proudu.

Další testy provedené laboratoří (NRL) [17] potvrdily, že technika hašení 3D vodní mlhou může být použita k lokalizaci a likvidaci požárů, u kterých dochází k neustálému rozšiřování, ale ještě nebyl zasažen celý prostor. Útok může být veden přímo do ohniska požáru.

5.4.4 Aplikace 3D vodní mlhy

Aplikace se provádí kombinovanou proudnicí, vodní mlha je směřována do horní části místnosti, kde se nachází proud hořlavých plynů. Tím dochází k odpaření vody pouze v pásmu, kde se nacházejí horké plyny (ve volném 3D prostoru). Nedochozí zde k odpařování vody na rozžhavených nehořlavých materiálech. Opakovaná aplikace pulsů vodní mlhy zajistí dodávku optimálního množství vody. Délka aplikace se mění podle geometrického uspořádání prostoru zasaženého požárem [13].

Pro aplikaci vody je dle [13] optimální průtok pro likvidaci požárů v běžných bytových prostorech v rozmezí 120 – 180 l/min. Z proudnice vychází proud pod úhlem rozstříku 60°. Proudnice je pod úhlem 45° k rovině kouře a pomocí krátkých pulsů je mlha aplikována do prostoru kde se nachází zplodiny hoření.



Obrázek 14: Správná aplikace vodní mlhy. [13]

5.5 Charakteristika proudnice používané v zařízení pro speciální výcvik

5.5.1 Popis

Při výcviku hasičů je užívána kombinovaná proudnice JET C52 Protek 366. Tato proudnice je určena především k vedení hasebního zásahu, s využitím vody a vodných hasiv, které jsou aplikovány jak kompaktním, tak i sprchovým proudem. Proudnice umožňuje nastavení průtoku. Nastavení se provádí pomocí ovládací kulisy. Průtok lze nastavit na následující hodnoty: 115 – 230 – 360 – 415 l/min. Průtoky jsou uvedeny při tlaku 0,6 MPa. Další funkcí proudnice je možnost regulace rozptylu proudu. Proudnice zajišťuje konstantní průtok při jakémkoliv rozptylu proudu. Proudnice umožňuje přepnutí do polohy proplachování FLUSH, která umožňuje proplach proudnice, aniž by bylo nutné uzavírat ventil proudnice.



Obrázek 15: Proudnice JET C52 Protek 366. [25]

Aplikaci vody pomocí plného kompaktního proudu, nebo vodní clony. Proudnice zajišťuje kvalitní plný kompaktní proud, i za nízkého tlaku. Proudnice je chráněna proti poškození, při užití v náročných podmínkách, pomocí gumových ochranných prvků. Proudnice je spojena s tlakovou spojkou pomocí otočného spoje, který umožňuje snadnou manipulaci s proudnicí a brání překroucení nebo odpojení hadice. Proudnice je vyrobena ze speciálních, vysoce kvalitních hliníkových slitin, které zabezpečují vysokou pevnost a zároveň i nízkou hmotnost. Proudnici je také možné použít v kombinaci s pěnotvorným nástavcem. Je vyrobena dle standardů NFPA 1964.

5.5.2 Měření množství vody dodané do prostoru hašení, prostřednictvím jednoho pulsu

Aby bylo možno zjistit množství vody dodávané do prostoru hoření, bylo provedeno experimentální měření objemu vody, dodané pomocí jednoho pulsu. Měření probíhalo na Požární stanici Prostějov za účasti pěti instruktorů.

5.5.2.1 Příprava na měření

- 1) Nastavení tlaku čerpadla na 0,6 Mpa.
- 2) Nastavení průtoku na proudnici 115, 230, 360 l/min.
- 3) Příprava a nastavení tlaku na přetlakovém ventilu.
- 4) Příprava nádoby, na jímání aplikované vody.
- 5) Příprava odměrných nádob na měření množství vody.

5.5.2.2 Postup měření

Nejdříve byl nastaven výstupní tlak 0,6 MPa na čerpadle a také na přetlakovém ventilu, který byl umístěn hned za výtláčné hrdlo na čerpadle vozidla CAS 32 T 815. Na přetlakový ventil byla napojena 1 hadice C s proudnicí C52 Protek 366. Na proudnici byl postupně nastaven průtok 115, 230, 360. Jako sběrná nádoba byl použit barel o objemu 200 litrů. Jako odměrná nádoba bylo užito nádoby o objemu 15 l. Nádoba byla opatřena stupnicí po jednom litru od 1 do 15. Pro doměření byl využit odměrný válec o objemu 1 litr.

Průběh měření:

1. do odběrné nádoby bylo aplikováno pět krátkých pulsů. Jeden puls trval cca. 2 sekundy,
2. poté byla voda ze sběrné nádoby přelita do odměrné nádoby, kde byl odečten objem a zaznamenán do tabulky,
3. matematické vyhodnocení.

Jak bylo uvedeno výše, měření se zúčastnilo 5 instruktorů. Všechny 5 instruktorů mělo 3 pokusy u každého nastaveného průtoku. Vyhodnocení probíhalo matematicky, kdy z naměřených hodnot uvedených v tabulkách byl vypočítán průměrný objem vody obsažené v jednom pulsu. Měření bylo provedeno nejen na proudnici Protek 366, ale také na proudnici Turbosuppon, která je zařazena na výjezdových vozidlech na požární stanici Prostějov.

Na závěr měření byly ověřeny deklarované průtoky proudnic. Měřením bylo zjištěno, že hodnoty deklarované výrobcem jsou téměř shodné s hodnotami, které byly naměřeny.

5.5.2.3 Objem vody v jednom pulsu

Měření bylo vyhodnoceno matematicky, byly určeny aritmetické průměry objemu vody dodaného do prostoru prostřednictvím jednoho pulsu při jednotlivých průtocích.

Tabulka 8: Průměrný objem jednoho pulsu pro jednotlivé instruktory při určitém průtoku

průtok :	115 l/min	230 l/min	360 l/min
Instruktor 1	1,22	2,033333	2,66
Instruktor 2	1,133333	1,926667	2,473333
Instruktor 3	1,073333	1,966667	2,566667
Instruktor 4	1,16	2	2,546667
Instruktor 5	1,133333	1,986667	2,66

Tabulka 9: Průměrná odchylka od celkového průměrného objemu pro jednotlivé instruktory

průtok :	115 l/min	230 l/min	360 l/min
Instruktor 1	0,076	0,050666667	0,078667
Instruktor 2	0,010667	0,056	0,108
Instruktor 3	0,070667	0,016	0,014667
Instruktor 4	0,016	0,017333333	0,034667
Instruktor 5	0,010667	0,004	0,078667

Tabulka 10: Celkový průměrný průtok při jednom pulsu a celková průměrná odchylka

průtok :	115 l/min	230 l/min	360 l/min
Průměrný objem jednoho pulsu	1,144	1,982667	2,581333
Průměrná odchylka	0,0368	0,0288	0,062933

6 Modelování průběhu požáru v zařízení pro speciální výcvik

6.1 Úvod

V zájmu určení vhodného prostoru pro experimentální část práce, byl vytvořen numerický model rozložení teplotního pole v kontejneru pro speciální výcvik hasičů. Na základě tohoto modelu byla vyhodnocena doporučení instruktorů pro umístění jednotlivých termočlánků.

Pomocí programu byl vytvořen ideální model, který simuluje volný rozvoj požáru. Tento model nebere v úvahu tepelné ztráty, ke kterým ve skutečnosti dochází. Také parametry požáru nelze přesně zadat.

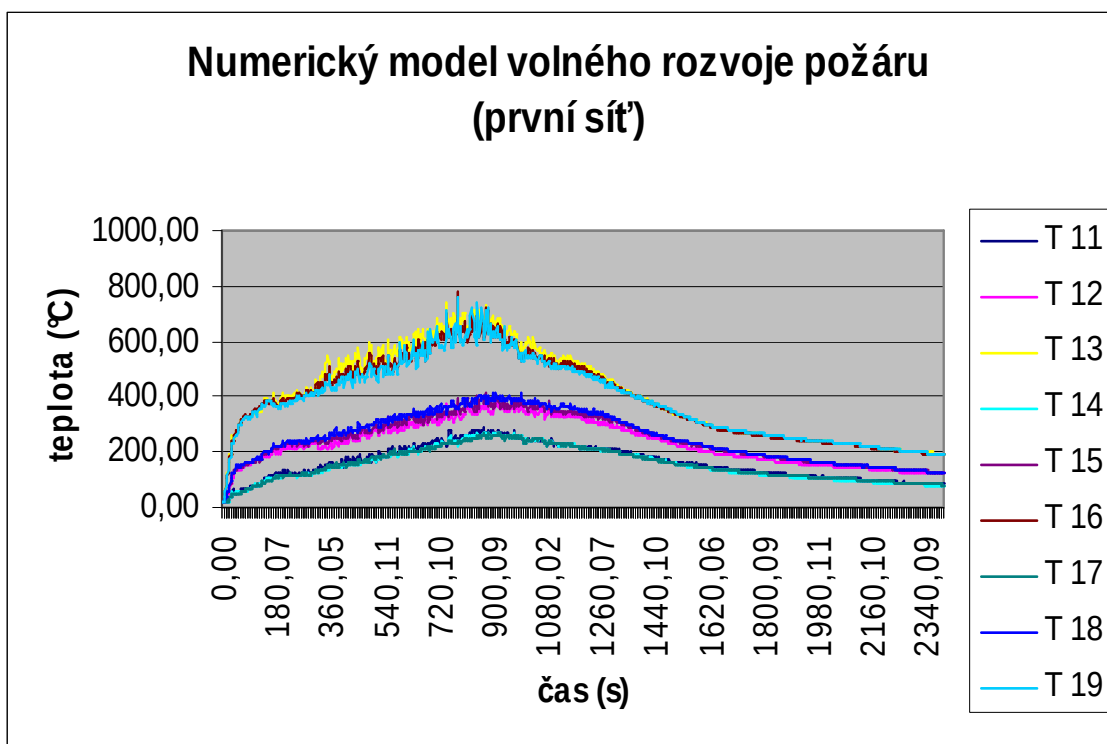
6.2 Popis programu použitého k vytvoření modelu

Model bude vytvořen v počítačovém programu FDS (Fire dynamics simulator) [24]. Program při svých výpočtech užívá algoritmy dynamického proudění kapalin CFD (Computational Fluid Dynamics) [24]. Řeší Navier – Stokesovy rovnice pro nestacionární proudění, s důrazem na proudění a přenos tepla od vznikajícího kouře. Při výpočtech program pracuje s parciálními diferenciálními rovnicemi pro zachování hmoty, energie a hybnosti. Tyto rovnice jsou uspořádány jako rovnice konečných rozdílů, jejichž výsledky jsou zachycovány během výpočtu do trojrozměrné pravoúhlé sítě. Při určení tepelné radiace program vychází z metody konečných objemů. Pohyb kouře program simuluje pomocí Lagrangenovy metody[24]. Výstupem programu jsou grafy, které jsou exportovány do programu MS EXCEL a také grafický výstup, který je exportován do programu SMOKEVIEW.

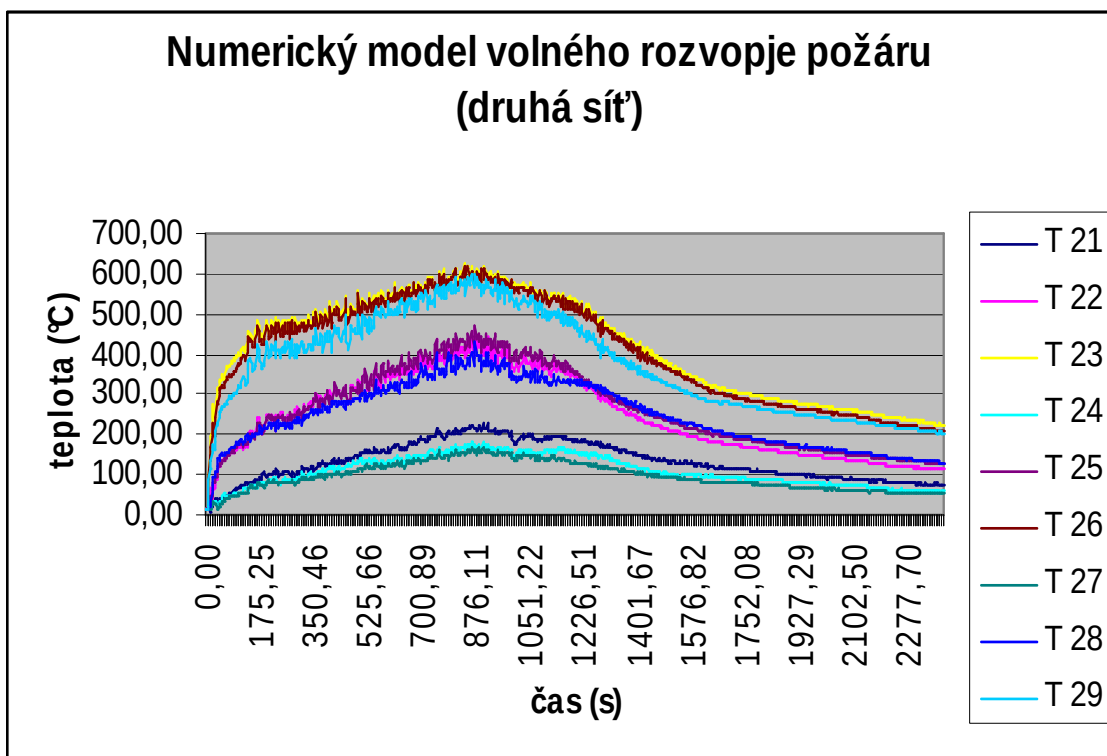
Postup práce programu:

1. vytvoření vstupního souboru,
2. spuštění programu FDS,
3. průběh výpočtu v MS DOS,
4. práce s výstupními soubory,
5. spuštění grafického programu SMOKEVIEW.

6.3 Vyhodnocení počítačového modelu



Obrázek 16: průběh teplot při numerickém modelování volného rozvoje požáru
(první síť)



Obrázek 17: průběh teplot při numerickém modelování volného rozvoje požáru
(druhá síť)

7 Přípravy měření

Měření změny teplotního pole v zařízení pro speciální výcvik bylo provedeno pro ověření efektivity výcviku hasičů. Měření se provádělo za stejných podmínek, při kterých probíhá samotný výcvik. Počátek souřadnicového systému pro rozmístění měřících zařízení byl zvolen na rozhraní topeniště a pozorovací části.

7.1 Fotodokumentace a termovizní záznam

V průběhu měření byla prováděna fotodokumentace, která byla následně využita při závěrečném vyhodnocení. Fotodokumentace byla realizována pomocí digitálního fotoaparátu.

Společně s fotografiemi byl průběh měření dokumentován pomocí termokamery Bullard T3 Max, kterou zapůjčil HZS Olomouckého kraje Územní odbor Prostějov. Termovizní záznam zachycoval vnitřní část pozorovacího prostoru v průběhu zkoušek. Termokamera byla umístěna v průběhu měření.



Obrázek 18: Umístění termokamery při měření

7.2 Měření teploty

Měření teploty probíhalo za pomoci 18 termočlánků typu K (niklchrom – niklhlíník) v klasickém drátovém provedení. Tyto články umožňují měřit v rozmezí teplot od - 200°C do 1250°C. Termočlánky jsou propojeny se záznamovým zařízením pomocí drátů izolovaných opletem ze skelných vláken.

Průběh teplot byl zaznamenáván v časových intervalech 1 a 5 s na dataloggery. Termočlánky byly rozmístěny na základě dlouholetých zkušeností instruktorů, kteří řídí celý výcvik.



Obrázek 19: Pohled na záznamové zařízení

Rozmístění termočlánků:

Termočlánky byly umístěny na dvě zavěšené armovací sítě, které byly umístěny v následujících vzdálenostech. První síť byla zavěšena v pozorovací části ve vzdálenosti 180 cm od hrany topeniště.



Obrázek 20: Umístění první sítě a rozmístění termočlánků

Rozmístění termočlánků na první síti (pohled z topeniště):

$T(x,y,z)$

X – vzdálenost od topeniště, Y - vzdálenost od levé stěny, Z – výška od podlahy. [cm]

T11 (180; 65; 205), T12 (180; 122; 205), T13 (180;179;205)

T14 (180; 65; 170), T15 (180; 122; 170), T16 (180;179;170)

T17 (180; 65; 100), T18 (180; 122; 100), T19 (180;179;100)

Druhá síť byla umístěna ve vzdálenosti 650 cm od hrany topeniště. Na každé síti byly tři řady termočlánků, v každé řadě po třech kusech.



Obrázek21: Umístění druhé sítě a rozmístění termočlánků
 Rozmístění termočlánků na druhé síti (pohled z topeniště):

T (x,y,z)

X – vzdálenost od topeniště, Y - vzdálenost od levé stěny, Z – výška od podlahy. [cm]

T21 (650; 65; 205),

T22 (650; 122; 205),

T23 (650;179;205)

T24 (650; 65; 170),

T25 (650; 122; 170),

T26 (650;179;170)

T27 (650; 65; 100),

T28 (650; 122; 100),

T29 (650;179;100)

8 Provedení experimentálního měření

Datum provedení experimentálního měření bylo po dohodě se všemi zúčastněnými stranami stanoveno na 25. – 26. března 2010 v areálu Skladu humanitární pomoci HZS Olomouckého kraje, Plumlov - Hamry.

8.1 Příprava před započítím zkoušky

Před měřením byly v zařízení rozmístěny všechny termočlánky dle parametrů uvedených v kapitole Příprava měření. Termočlánky byly propojeny se záznamovým zařízením a byla ověřena jejich správná funkčnost. Stejným způsobem byly rozmístěny i radiometry, které byly propojeny se záznamovým zařízením, a byla ověřena jejich správná funkčnost. Záznamová zařízení byla umístěna vně kontejneru tak, aby byla zajištěna jejich jednoduchá a bezpečná obsluha.

8.2 Nastavení ventilačních otvorů

Každé měření bude probíhat za předem definovaných podmínek ventilace, která je zajištěna pomocí systému otvorů. Tyto otvory se mohou nezávisle na sobě otvírat a zavírat, čímž dochází k ovlivnění průběhu hoření.

Tabulka 11: Tabulka stavu všech otvorů

Otvor	Stav otvoru
Vstupní vrata pozorovací část	Otevřena 1/2
Vrata pozorovací část - topeniště	Otevřeno
Postraní dveře	Zavřeno
Klapka pozorovací část	Zavřeno
Vrata topeniště – backdraftová část	Zavřeno

8.3 Definování paliva a jeho iniciace

Při každém měření bylo užito 130 kg paliva, které bylo naskládáno do prostoru topeniště a zde bylo následně iniciováno. Iniciace proběhla za pomoci papíru a tekutého urychlovače hoření. Při měření shořelo 80% paliva. Ve fázi plného rozvoje požáru shořelo 70% paliva,

což odpovídá váze 72 kg. Hodnota celkového uvolněného tepla byla dle [4] stanovena na 2,6 MW.



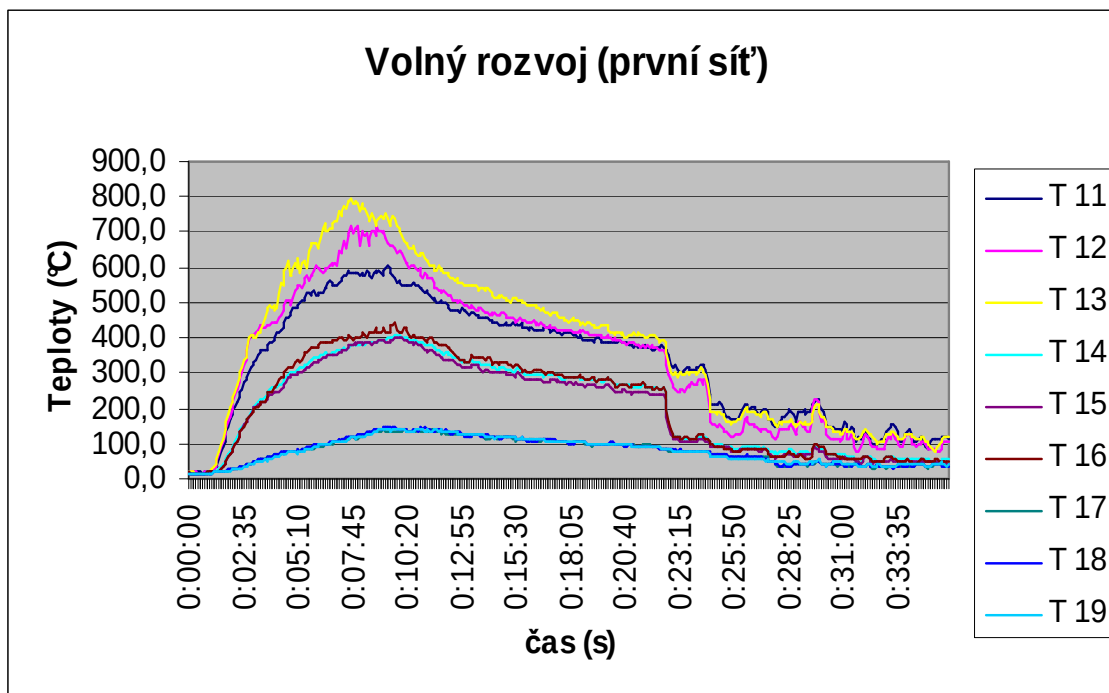
Obrázek 22: Pohled na naloženou rozhořívající pec

8.4 První zkouška – Volný rozvoj požáru

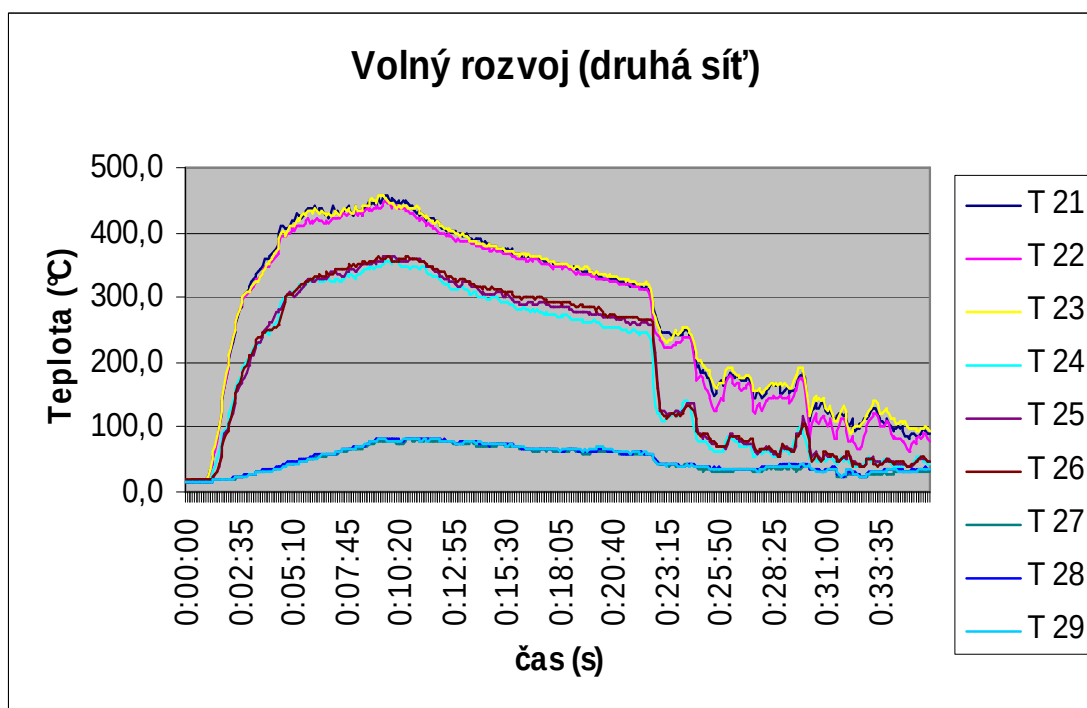
První měření se uskutečnilo 26. 3. 2010 v 9:40 hod. Měření mělo zjistit průběh volného rozvoje požáru. Do spalovací části bylo umístěno 130 kg paliva, které bylo iniciováno za pomoci papíru a tekutého podpalovače.

Měření ověřilo správnou funkčnost všech měřících a záznamových zařízení. Výstupem byla základní křivka požáru s podrobným průběhem teplot, které byly zaznamenávány v časovém intervalu 5 sekund.

8.4.1 Grafické vyhodnocení průběhu a změn teplot po aplikaci vody



Obrázek 2317: Teplotní průběh volného rozvoje požáru (první síť)

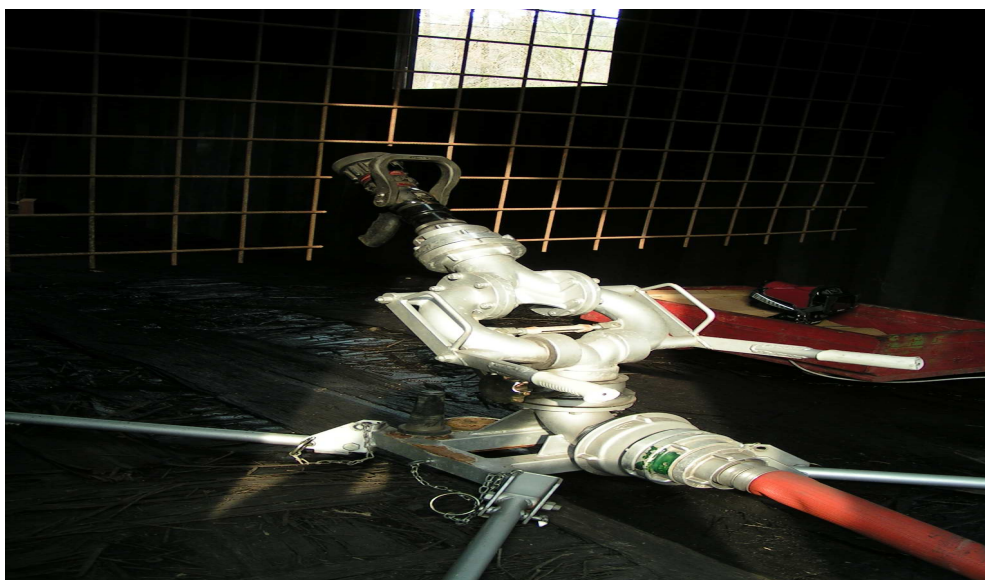


Obrázek 18: Teplotní průběh volného rozvoje požáru (druhá síť)

8.5 Druhá zkouška – měření změny teplot po aplikaci 3D vodní mlhy

8.5.1 Průběh zkoušky

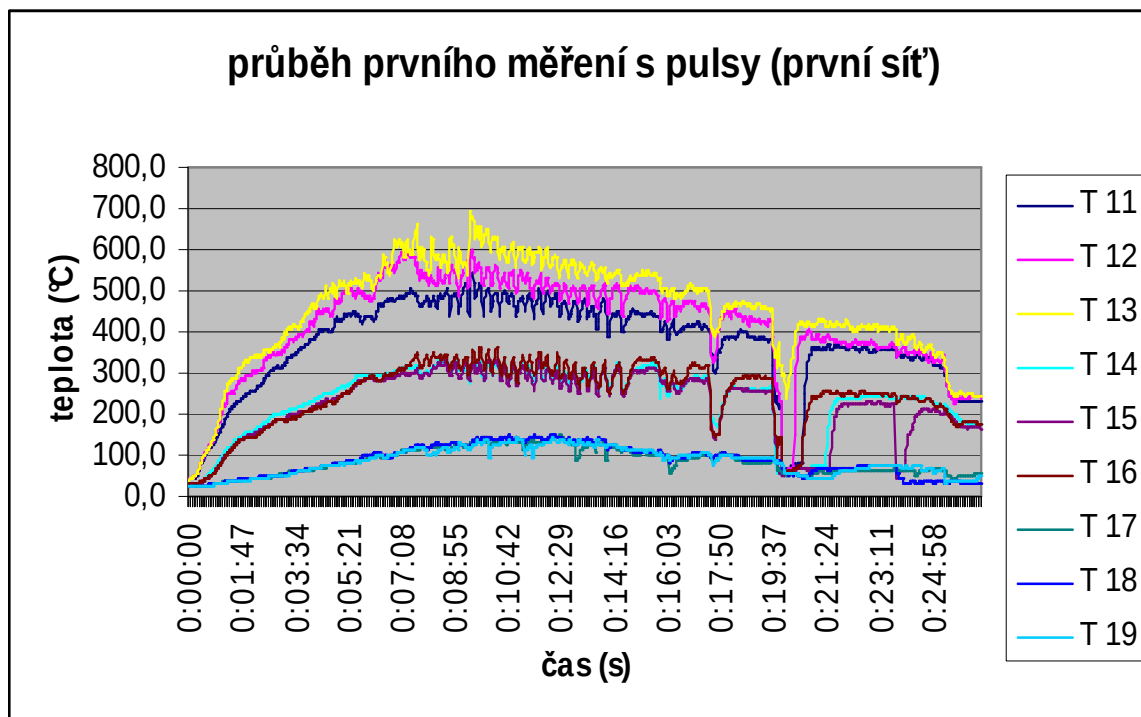
Začátek měření 26. 3. 2010 v 11:10 hod. Do spalovací části bylo umístěno 130 kg paliva, které bylo iniciováno za pomoci papíru a tekutého podpalovače. Záznam teplot byl nastaven v intervalu jedné sekundy, aby bylo možno přesně vyčíst změny teplot. Při měření byla do úrovně druhé sítě umístěna proudnice Protek 366, která je běžně užívána při výcviku. Z důvodu zajištění stability a docílení aplikace 3D vodní mlhy do stejného prostoru, byla proudnice připevněna na přenosný monitor. Proudnice byla nastavena jako při běžném výcviku, tedy na průtok 230 l/min, při tlaku na čerpadle 0,6 MPa a úhlu rozstříku 40 – 60°.



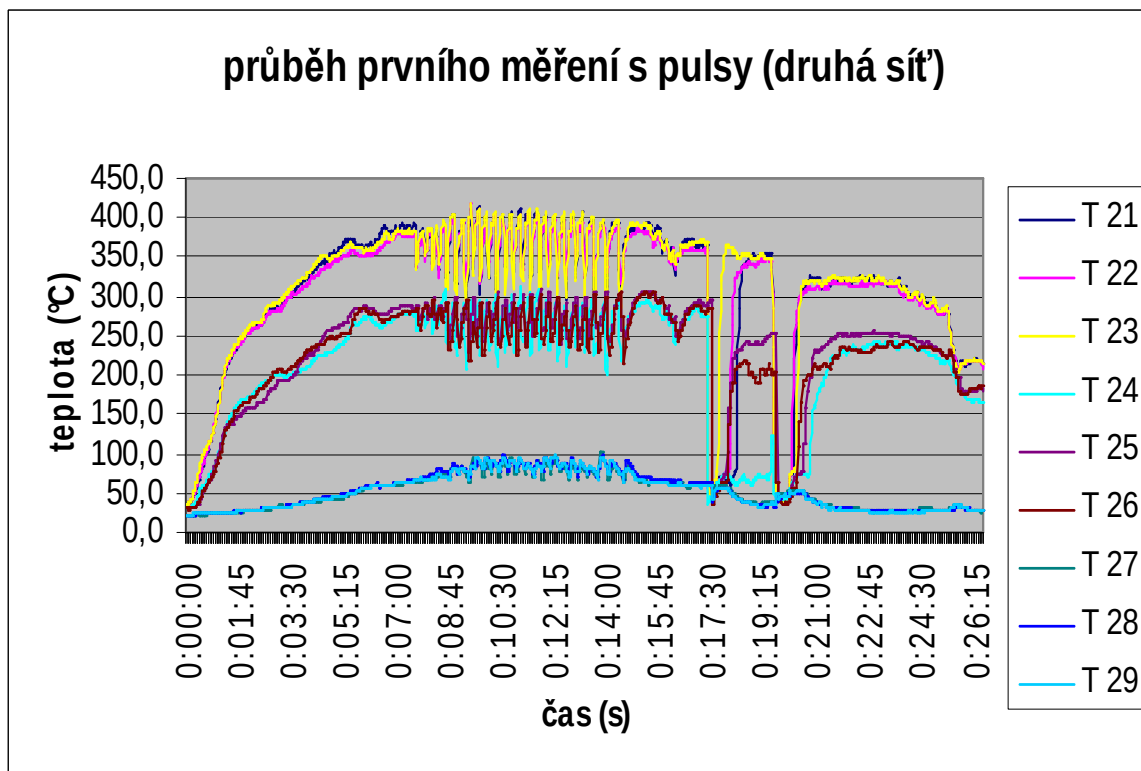
Obrázek 19: Proudnice připravena na aplikaci 3D vodní mlhy do prostoru měření

V průběhu zkoušky byla do prostoru, kde se nachází horké plyny aplikována voda. Nejdříve ve formě krátkých pulsů 3D vodní mlhy, následně pak pro porovnání pomocí krátkých pulsů kompaktního proudu. Dále byla voda aplikována pomocí dlouhého obranného pulsu 3D vodní mlhy. Na závěr byla vyzkoušena aplikace krátkých pulsů kompaktního proudu přímo do topeniště tzv. "TUŽKA". Všechny naměřené hodnoty byly zaznamenány na dataloggery a následně graficky vyhodnoceny pomocí programu Microsoft Excel.

8.5.2 Grafické vyhodnocení průběhu a změn teplot po aplikaci vody



Obrázek 26: Teplotní průběh prvního měření (první síť)



Obrázek 27: Teplotní průběh prvního měření (druhá síť)

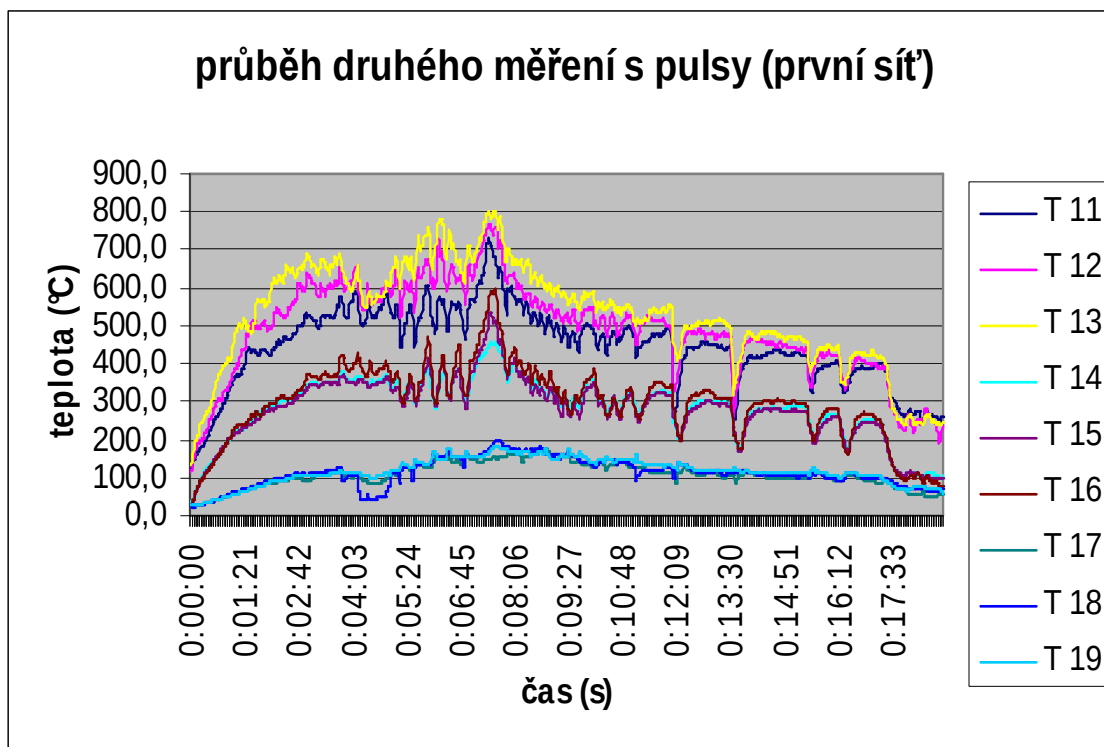
8.6 Třetí zkouška – měření změny teplot po aplikaci 3D vodní mlhy

8.6.1 Průběh zkoušky

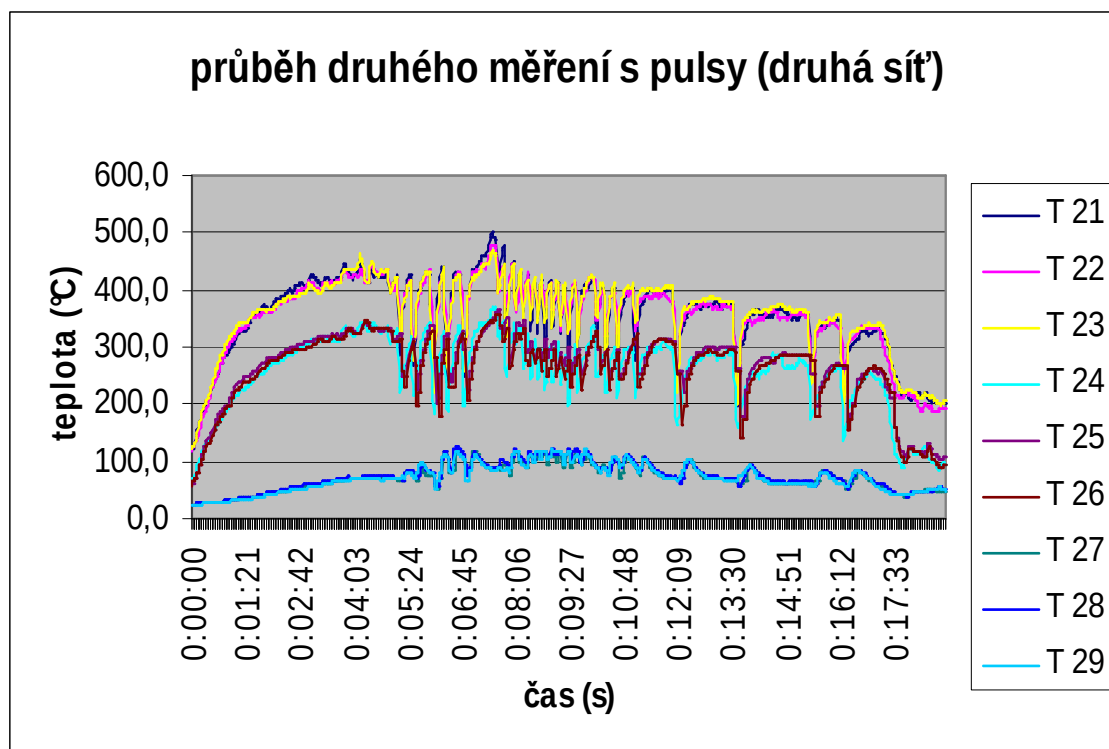
Začátek měření 26. 3. 2010. V 13:10 hod. Do spalovací části bylo umístěno 130 kg paliva, které bylo iniciováno za pomoci papíru a tekutého podpalovače. Záznam teplot byl nastaven v intervalu jedné sekundy, aby bylo možno přesně vyčíst změny teplot. Stejně jako při předešlém měření byl do úrovně druhé sítě umístěn monitor s proudnicí, která byla nastavena na stejné parametry jako při prvním měření.

Při tomto měření byla voda aplikována nejdříve pomocí jednoho pulsu 3D vodní mlhy, dvou pulsů 3D vodní mlhy a tří pulsů 3D vodní mlhy. Znovu také byla vyzkoušena aplikace dlouhého obranného pulsu 3D vodní mlhy, aplikace krátkých pulsů kompaktního proudu přímo do topeniště tzv. ``TUŽKA``. Na závěr poslední zkoušky byl proveden dlouhý obranný puls a následně byl dán pokyn k nouzovému odvětrání pozorovací části.

8.6.2 Grafické vyhodnocení průběhu a změn teplot po aplikaci vody



Obrázek 28: Teplotní průběh druhého měření (první síť)



Obrázek 29: Teplotní průběh druhého měření (druhá síť)

9 Vyhodnocení naměřených hodnot

Při hodnocení změn teplot po aplikaci 3D vodní mlhy, byly využity hodnoty z experimentálního měření. Hodnocení proběhlo prostřednictvím hodnot zaznamenaných termočlánky, umístěnými na druhé síti, která představovala konec prostoru, v němž se nacházejí hasiči při výcviku. Jelikož u podlahy docházelo jen k nepatrným změnám, hodnocení bylo provedeno pouze prostřednictvím termočlánků, umístěných ve výšce 170 cm a 205 cm. Na těch docházelo, po aplikaci 3D vodní mlhy, k výraznějším změnám teplot.

V tabulce č. 12 jsou uvedeny průměrné změny teplot, k nimž došlo po aplikaci jednoho pulsu 3D vodní mlhy. Z tabulky je patrné, že k největšímu poklesu teploty došlo na termočlánku T 23, kde teplota poklesla průměrně o 104,36 °C. Teplota se po aplikaci jednoho pulsu 3D vodní mlhy vrátila, na téměř totožnou hodnotu jako před aplikací, zhruba za 17 sekund.

Tabulka 12: Vyhodnocení průměrné změny teplot po aplikaci 1 pulsu 3D vodní mlhy

Termočlánek č:	T 21	T 22	T 23	T 24	T 25	T 26
průměrný pokles teploty:	83,42	61,46	104,36	74,90	51,64	53,20
průměrná doba poklesu:	0:04	0:04	0:04	0:03	0:02	0:03
průměrný nárůst teploty:	82,02	59,20	104,00	72,40	51,04	51,22
průměrná doba nárůstu:	0:13	0:13	0:13	0:14	0:15	0:14

V tabulce č. 13 jsou uvedeny průměrné změny teplot, ke kterým docházelo po aplikaci dvou pulsů 3D vodní mlhy. Z tabulky je patrné, že k největšímu poklesu teploty došlo na termočlánku T 21, kde teplota poklesla průměrně 125,7 °C. Teplota se po aplikaci dvou pulsů 3D vodní mlhy vrátila na téměř totožnou hodnotu jako před aplikací, zhruba za 18 sekund.

Tabulka 13: Vyhodnocení průměrné změny teplot po aplikaci 2 pulsů 3D vodní mlhy

Termočlánek č:	T 21	T 22	T 23	T 24	T 25	T 26
průměrný pokles teploty:	125,70	64,58	98,88	81,68	48,16	65,06
průměrná doba poklesu:	0:04	0:04	0:04	0:05	0:08	0:07
průměrný nárůst teploty:	124,46	68,36	95,44	89,12	46,18	62,10
průměrná doba nárůstu:	0:14	0:12	0:13	0:14	0:14	0:10

V tabulce č. 14 jsou uvedeny průměrné změny teplot, ke kterým docházelo po aplikaci dvou pulsů 3D vodní mlhy. Z tabulky je patrné, že k největšímu poklesu teploty došlo na

termočlánek T 23, kde teplota poklesla průměrně 186,94 °C. Teplota se po aplikaci tří pulsů 3D vodní mlhy vrátila téměř na totožnou hodnotu jako před aplikací zhruba za 17 sekund.

Tabulka 14: Vyhodnocení průměrné změny teplot po aplikaci 3 pulsů 3D vodní mlhy

Termočlánek č:	T 21	T 22	T 23	T 24	T 25	T 26
průměr. pokles teploty:	182,28	163,14	186,94	141,90	100,92	129,26
průměrná doba poklesu:	0:13	0:13	0:13	0:13	0:12	0:16
průměrný nárůst teploty:	174,46	159,80	157,22	127,32	86,42	113,46
průměrná doba nárůstu:	0:24	0:22	0:24	0:24	0:24	0:21

V tabulce č. 15 jsou uvedeny průměrné změny teplot, ke kterým docházelo po aplikaci obranného pulsu 3D vodní mlhy. Z tabulky je patrné, že k největšímu poklesu teploty došlo na termočlánek T 21, kde teplota poklesla průměrně 315,2 °C. Teplota se po aplikaci tří pulsů 3D vodní mlhy vrátila téměř na totožnou hodnotu jako před aplikací zhruba za 93 sekund.

Tabulka 15: Vyhodnocení průměrné změny teplot po aplikaci obranného pulsu 3D vodní mlhy

Termočlánek č:	T 21	T 22	T 23	T 24	T 25	T 26
průměr. pokles teploty:	315,20	308,85	314,65	163,15	195,45	209,40
průměrná doba poklesu:	0:13	0:14	0:14	0:10	0:15	0:16
průměrný nárůst teploty:	294,15	286,20	293,40	56,20	173,45	158,40
průměrná doba nárůstu:	1:20	1:20	1:20	1:21	1:12	1:14

Tabulka 16: Tabulka hodnot průměrného poklesu teploty po aplikaci 3D vodní mlhy a doba, za kterou se teplota vrátila na původní hodnotu

	1 puls 3D vodní mlhy	2 pulsy 3D vodní mlhy	3 pulsy 3D vodní mlhy	Obranný proud 3D vodní mlhy
Průměrný pokles teploty (°C)	71,49	80,68	150,74	251,12
Průměrná doba snížené teploty (s)	17	18	37	92

Při aplikaci jednoho pulsu 3D vodní mlhy klesá teplota zhruba o 71,5 °C na dobu přibližně 17 sekund. Aplikace dvou pulsů za sebou sníží teplotu průměrně o 80,5 °C na dobu přibližně 18 sekund. Je-li 3D vodní mlhy aplikována pomocí tří krátkých po sobě jdoucích pulsů, pak dojde k poklesu teploty v průměru o 150,7 °C na dobu asi 37 sekund. V případě

aplikace dlouhého obranného proudu 3D vodní mlhy je teplota snížena přibližně o 250 °C na dobu asi 1 minuty a 30 sekund.

Z uvedeného měření a hodnocení vyplývá, že při aplikaci 3D vodní mlhy, dojde k výraznému poklesu teploty produktů hoření nad zasahujícími hasiči. Doba tohoto poklesu teploty je dostatečně dlouhá pro provedení postupu, spojeného s aplikací 3D vodní mlhy. Měření též potvrdilo vhodnost použití jednoho, případně tří pulsů (2 – 6 litrů vody dodaných do prostoru). Ukázalo se však, že použití dvou pulsů, vykazuje téměř stejné účinky, jako použití jednoho pulsu.

Při použití obranného proudu dojde k nejvýraznějšímu snížení teploty. Doba snížené teploty je závislá na délce aplikace obranného proudu. Vzhledem k vzniku velkého množství vodní páry, subjektivní pocit změny teploty, neodpovídá naměřeným hodnotám.

10 Závěr

Hlavním cílem práce bylo zhodnotit efektivitu aplikace 3D vodní mlhy, při výcviku hasičů, v kontejneru pro speciální výcvik chování při hašení požárů v uzavřených prostorech, HZS Olomouckého kraje. Pro zhodnocení efektivitu aplikace 3D vodní mlhy jsem považoval za nezbytné, experimentálně zjistit změny teplotního pole, k nimž dochází po její aplikaci v kouřové vrstvě.

Naměřené hodnoty objemů vody dodané do prostoru jedním pulsem ukázaly, u instruktorů a absolventů výcviku, jen minimální odchylky. Provedená měření jednoznačně potvrdila, že metodika výcviku práce s proudnicí je správná.

Vyhodnocení výsledků experimentálního měření dále potvrdilo, že aplikace vody pomocí kompaktního proudu se vyznačuje jen minimálními změnami v teplotním poli. Naopak aplikace vody, pomocí 3D vodní mlhy, vykazovala znatelné změny, ke kterým docházelo v celém prostoru. Z výsledků měření lze opět jednoznačně vyvodit, že technika 3D vodní mlhy je efektivní. Vzhledem k úspěšnosti této techniky je možné konstatovat, že výcvik v zařízení HZS Olomouckého kraje probíhá správně.

Během měření byly ověřeny i dva způsoby nouzového ochlazení výcvikového prostoru. První - nouzové odvětrání kontejneru otevřením všech klapek a dveří se ukázalo jako naprosto dostatečné pro rychlé a výrazné snížení teploty. Druhá - při použití obranného pulsu došlo k výraznému snížení teploty, ale současně i k vytvoření velkého množství páry.

Tato práce, nemohla vzhledem ke svému rozsahu, popsat a vyhodnotit všechny další možné aspekty výcviku, jimiž by bylo možné a vhodné se v zájmu dalšího zvyšování kvality zabývat, m.j.:

- změnou tepelného toku působícího z kouřové vrstvy na zasahující hasiče po aplikaci 3D vodní mlhy,
- účinností 3D vodní mlhy při přímém hašení hořících zplodin hoření,
- působením účinků aplikace obranného proudu na zasahující hasiče z fyziologického pohledu,
- účinností aplikace tzv. tužek na ohnisko požáru.

Poznatky, zjištěné při tvorbě této práce, potvrdily úspěšnou implementaci zahraničních metod výcviku hasičů, v chování při hašení požárů v uzavřených prostorech, realizovanou ve výcvikovém zařízení HZS Olomouckého kraje.

11 Seznam literatury

- [1] SCHNELL, L. G., *Flashover Training in Sweden*, Fire Engineers Journal, NOV. 1996, pp. 25 – 28
- [2] DOSTÁL, L., *Příprava metodiky pro simulaci jevu Backdraft v zařízení Flashover kontejner*: bakalářská práce. Ostrava: VŠB – TUO, FBI, 2009, 55 s.
- [3] Mapy.cz [online]. Dostupný z: <http://www.mapy.cz>, [cit. 2010-02-02].
- [4] Havlíček, K., *Zkouška výcvikového trenážeru na spalování tuhých paliv*: diplomová práce. Ostrava: VŠB – TUO, FBI, 2007, 58 S.
- [5] KVARČÁK, M., *Základy požární ochrany*. 1. vyd. Ostrava: Edice SPBI Spektrum, 2005. 134 s. ISBN 80-86634-76-0
- [6] ŠŇUPÁREK, R., *Zajištění přístupových komunikací pro jednotky požární ochrany na sídlištích a místech soustředění velkého počtu obytných budov*. Diplomová práce. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2006. 74 s.
- [7] OŠLEJŠEK, P., *Požáry v uzavřených prostorech*: Výuková prezentace. Prostějov: HZS Olomouckého kraje, 2007. 83s.
- [8] BALOG, K., KVARČÁK, M., *Dynamika požáru*. 1. vyd. Ostrava: Edice SPBI Spektrum, 1999. 118 s. ISBN 80-86111-44-X.
- [9] LIU, Z., KASHEF, A., LOUGHEED, G. D., a BENICHO, N., *Review of Three Dimensional Water Fog Techniques for Firefighting*. Výzkumná zpráva. Ottawa: National Research Council Canada, 2002. 18 s.
- [10] ŠENOVSKÝ, M., *Základy požární taktiky*. 1. vyd. Ostrava: Edice SPBI Spektrum, 2001. 80 s. ISBN 80-86111-73-3.
- [11] KALOUSEK, J., *Základy fyzikální chemie hoření, výbuchu a hašení*, Ostrava: Edice SPBI Spektrum, 1999. 201 s. ISBN: 80 – 86111-34-2
- [12] ORLÍKOVÁ, K., *Hasební látky*. 1. vyd. Ostrava: Edice SPBI Spektrum, 2001. 90 s. ISBN 80-902001-0-9.
- [13] GRIMWOOD, P., HARTIN, E., McDONOUGH, J., RAFAEL, S., *3 D fire fighting – training, techniques and tactics*. Crisis and Emergency Management center. 2004, 50 .
- [14] KADLEC, Z., BLAHOŽ, V., *Základy sdílení tepla*, 2. Vyd. Ostrava: Edice SPBI Spektrum, 2000, 110s. ISBN: 80-902001-1-7
- [15] OŠLEJŠEK, P., *Prezentace Zařízení pro simulaci požáru v uzavřených prostorech*. Výuková prezentace. Prostějov: HZS Olomouckého kraje, 2008. 71s.

- [16] GRIMWOOD, P., DESMET, K., *Tactical fire fighting Flashover and nozzle techniques*, Crisis and Emergency Management center. 2002, 41 s.
- [17] SCHEFFEY, J. P., SIEGMANN, C. W., TOOMEY, T. A., "1994 Attack Team Workshop: Phase E -Full-Scale Offensive Fog Attack Tests," Naval Research Laboratory, NRL/MR/6180-977944,1997
- [18] LIU, Z., KASHEF, A., LOUGHEED, G. D., a BENICHO, N., *Review of Three Dimensional Water Fog Techniques for Firefighting*. Výzkumná zpráva. Ottawa: National Research Council Canada, 2002. 18 s.
- [19] HAGAN, R. D., BERNHARD, R. D., JACOBS, K. A., FARLEY, J. R., RAMIREZ, L. R., FEITH, S. J., AND HODGDON, J. A., *Ofenzive Fog Water Attack Reduces Firefighting Time and Heat Strain During Shipboard Firefighting*. Naval Health Research Center, Report No. 96 – 22, 19996
- [20] Fire Service Manual . Volume 2 (1997) .*Compartment Fires & Tactical Ventilation*. HMFSI
- [21] GOJKOVIC, D., & BENGSTON, L., *Some Theoretical and Practical Aspects on Fire Fighting in A Backdraft Situation*, Department of Fire Safety Engineering, Lund University a Helsingborg Fire Department, Švédsko, www.firetactics.com, [cit. 2010-02-02].
- [22] GRIMWOOD, P., *Fog Attack . Fog Attack – Firefighting strategy and Tactics anInternational View*. Redhill: FJM International publications Ltd. 192. 301 s. www.firetactics.com, [cit. 2010-03-04].
- [23] GRIMWOOD, P., DESMET, K., *Tactical fire fighting a compresive guide to compartmentfirefighting and live fire training (CFBT)*,Crisis and Emergency Management center 2003, 126s. www.firetactics.com, [cit. 2010-03-04].
- [24] McGRATTAN, K., HOSTIKKA, S., FLOYD, J., *Fire dynamics simulator User's guide*, SVN Repository Revision, 2009, 191s.
- [25] www.flashover.cz , oficiální webové stránky zařízení pro speciální výcvik Hamry, [cit. 2010-04-04].

12 Seznam příloh

- Příloha 1 - matematické zpracování změny teplot po aplikaci jednoho pulsu 3D vodní mlhy,
- Příloha 2 - matematické zpracování změny teplot po aplikaci dvou pulsů 3D vodní mlhy,
- Příloha 3 - matematické zpracování změny teplot po aplikaci tří pulsů 3D vodní mlhy,
- Příloha 4 - matematické zpracování změny teplot po aplikaci obranného pulsu 3D vodní mlhy,
- Příloha 5 – měření objemu jednoho pulsu 3D vodní mlhy,
- Příloha 6 - Grafické vyhodnocení změn při aplikaci vody při prvním měření,
- Příloha 7 - Grafické vyhodnocení změn při aplikaci vody při druhém měření,
- Příloha 8 – Podélný řez teplotami dle numerického modelu,
- Příloha 9 – Záznam teplot z průběhu měření (pouze na CD),
- Příloha 10 – Záznam pořízený termokamerou (pouze na CD).

Příloha č.1: zpracování změny teplot po aplikaci jednoho pulsu 3D vodní mlhy

a) Průběh teplot po aplikaci jednoho pulsu 3D vodní mlhy

T 21

poř	T0	T1	T2	t0	t1	t2
1	407,10	322,20	408,00	11:26	11:30	11:43
2	408,00	331,70	404,70	11:43	11:48	12:01
3	404,70	333,80	402,90	12:01	12:06	12:19
4	402,90	321,90	398,90	12:19	12:23	12:36
5	398,90	294,90	400,10	12:36	12:40	12:56

T22

poř	T0	T1	T2	t0	t1	t2
1	407,00	352,90	405,20	11:26	11:30	11:44
2	405,20	347,20	398,10	11:44	11:49	12:01
3	398,10	341,40	397,10	12:01	12:04	12:19
4	397,10	327,30	396,10	12:19	12:24	12:36
5	396,10	327,40	395,70	12:36	12:40	12:56

T 23

poř	T0	T1	T2	t0	t1	t2
1	410,50	306,60	410,90	11:26	11:29	11:43
2	410,90	299,30	408,90	11:43	11:48	12:00
3	408,90	312,60	405,00	12:00	12:05	12:17
4	405,00	303,90	406,70	12:17	12:22	12:36
5	406,70	297,80	408,70	12:36	12:40	12:56

T 24

poř	T0	T1	T2	t0	t1	t2
1	306,00	226,70	308,30	11:27	11:30	11:45
2	308,30	230,70	294,70	11:45	11:48	12:01
3	294,70	231,20	293,20	12:01	12:05	12:20
4	293,20	217,20	289,70	12:20	12:24	12:37
5	289,70	211,60	293,50	12:37	12:41	12:56

T 25

poř	T0	T1	T2	t0	t1	t2
1	301,20	250,00	310,20	11:30	11:33	11:51
2	310,20	256,10	307,20	11:51	11:52	12:07
3	307,20	259,10	297,20	12:07	12:08	12:23
4	297,20	239,80	291,30	12:23	12:27	12:42
5	291,30	243,90	298,20	12:42	12:47	12:59

T26

poř	T0	T1	T2	t0	t1	t2
1	297,20	248,00	301,20	11:32	11:36	11:51
2	301,20	239,80	290,30	11:51	11:55	12:07
3	290,30	240,90	299,20	12:07	12:11	12:26
4	299,20	239,80	281,30	12:26	12:27	12:42
5	281,30	234,70	287,30	12:42	12:46	12:59

b) Pokles teploty na jednotlivých termočláncích:

T 21

1	84,90
2	76,30
3	70,90
4	81,00
5	104,00
suma:	417,10
průměr:	83,42

T 22

1	54,10
2	58,00
3	56,70
4	69,80
5	68,70
suma:	307,30
průměr:	61,46

T 23

1	103,90
2	111,60
3	96,30
4	101,10
5	108,90
suma	521,80
průměr:	104,36

T 24

1	79,30
2	77,60
3	63,50
4	76,00
5	78,10
suma:	374,50
průměr:	74,90

T 25

1	51,20
2	54,10
3	48,10
4	57,40
5	47,40
suma:	258,20
průměr:	51,64

T 26

1	49,20
2	61,40
3	49,40
4	59,40
5	46,60
suma:	266,00
průměr:	53,20

c) Nárůst teploty na jednotlivých termočláncích

T 21

1	85,80
2	73,00
3	69,10
4	77,00
5	105,20
suma:	410,10
průměr:	82,02

T 22

1	52,30
2	50,90
3	55,70
4	68,80
5	68,30
suma:	296,00
průměr:	59,20

T 23

1	104,30
2	109,60
3	92,40
4	102,80
5	110,90
suma:	520,00
průměr:	104,00

T 24

1	81,60
2	64,00
3	62,00
4	72,50
5	81,90
suma:	362,00
průměr:	72,40

T 25

1	60,20
2	51,10
3	38,10
4	51,50
5	54,30
suma:	255,20
průměr:	51,04

T 26

1	53,20
2	50,50
3	58,30
4	41,50
5	52,60
suma:	256,10
průměr:	51,22

d) Doba poklesu teploty na jednotlivých termočláncích

T 21

1	0:04
2	0:05
3	0:05
4	0:04
5	0:04
suma:	0:22
průměr:	0:04

T 22

1	0:04
2	0:05
3	0:03
4	0:05
5	0:04
suma:	0:21
průměr:	0:04

T 23

1	0:03
2	0:05
3	0:05
4	0:05
5	0:04
suma:	0:22
průměr:	0:04

T 24

1	0:03
2	0:03
3	0:04
4	0:04
5	0:04
suma:	0:18
průměr:	0:03

T 25

1	0:03
2	0:01
3	0:01
4	0:04
5	0:05
suma:	0:14
průměr:	0:02

T26

1	0:04
2	0:04
3	0:04
4	0:01
5	0:04
suma:	0:17
průměr:	0:03

e) Doba nárůstu teploty na jednotlivých termočláncích

T 21

1	0:13
2	0:13
3	0:13
4	0:13
5	0:16
suma:	1:08
průměr:	0:13

T 22

1	0:14
2	0:12
3	0:15
4	0:12
5	0:16
suma:	1:09
průměr:	0:13

T 23

1	0:14
2	0:12
3	0:12
4	0:14
5	0:16
suma:	1:08
průměr:	0:13

T 24

1	0:15
2	0:13
3	0:15
4	0:13
5	0:15
suma:	1:11
průměr:	0:14

T 25

1	0:18
2	0:15
3	0:15
4	0:15
5	0:12
suma:	1:15
průměr:	0:15

T 26

1	0:15
2	0:12
3	0:15
4	0:15
5	0:13
suma:	1:10
průměr:	0:14

Příloha č.2: zpracování změny teplot po aplikaci dvou pulsů 3D vodní mlhy**a) Průběh teplot po aplikaci jednoho pulsu 3D vodní mlhy****T 21**

poř	T0	T1	T2	t0	t1	t2
1	419,10	295,80	417,30	8:45	8:48	8:57
2	405,20	275,70	407,00	9:20	9:24	9:34
3	408,70	286,50	405,10	10:17	10:21	10:34
4	405,10	277,70	404,90	10:34	10:38	10:57
5	404,90	278,80	402,50	10:57	11:05	11:26

T22

poř	T0	T1	T2	t0	t1	t2
1	408,20	371,20	411,20	8:45	8:48	8:57
2	391,80	324,20	413,90	9:20	9:24	9:35
3	396,00	319,80	394,00	10:17	10:21	10:32
4	394,00	321,30	397,40	10:32	10:38	10:53
5	398,80	329,40	391,20	11:00	11:05	11:20

T 23

poř	T0	T1	T2	t0	t1	t2
1	424,60	341,80	412,40	8:45	8:48	8:57
2	411,30	324,20	418,20	9:19	9:23	9:35
3	414,00	291,90	411,60	10:17	10:21	10:33
4	411,60	276,00	411,20	10:33	10:38	11:01
5	411,20	344,40	402,10	11:01	11:05	11:17

T 24

poř	T0	T1	T2	t0	t1	t2
1	297,60	225,30	303,50	8:45	8:48	8:58
2	284,90	195,50	302,90	9:21	9:24	9:35
3	287,40	219,50	300,00	10:17	10:21	10:34
4	300,00	209,10	298,90	10:34	10:38	10:54
5	298,90	211,00	300,70	10:54	11:05	11:28

T 25

poř	T0	T1	T2	t0	t1	t2
1	312,10	280,20	310,20	8:45	8:48	8:57
2	310,20	251,00	296,20	8:57	9:26	9:34
3	297,20	248,00	294,30	10:19	10:20	10:34
4	294,30	248,00	304,20	10:34	10:35	10:55
5	307,20	253,00	306,20	11:01	11:08	11:28

T26

poř	T0	T1	T2	t0	t1	t2
1	295,20	249,00	295,20	8:45	8:47	8:57
2	295,20	227,60	285,30	8:57	9:22	9:35
3	297,20	223,50	290,30	10:19	10:20	10:33
4	290,30	242,90	306,20	10:33	10:41	10:55
5	321,10	230,70	307,20	11:05	11:06	11:08

b) Pokles teploty na jednotlivých termočláncích:

T 21

1	123,30
2	129,50
3	122,20
4	127,40
5	126,10
suma:	628,50
průměr:	125,70

T 22

1	37,00
2	67,60
3	76,20
4	72,70
5	69,40
suma:	322,90
průměr:	64,58

T 23

1	82,80
2	87,10
3	122,10
4	135,60
5	66,80
suma:	494,40
průměr:	98,88

T 24

1	72,30
2	89,40
3	67,90
4	90,90
5	87,90
suma:	408,40
průměr:	81,68

T 25

1	31,90
2	59,20
3	49,20
4	46,30
5	54,20
suma:	240,80
průměr:	48,16

T 26

1	46,20
2	67,60
3	73,70
4	47,40
5	90,40
suma:	325,30
průměr:	65,06

c) Nárůst teploty na jednotlivých termočláncích

T 21

1	121,50
2	131,30
3	118,60
4	127,20
5	123,70
suma:	622,30
průměr:	124,46

T 22

1	40,00
2	89,70
3	74,20
4	76,10
5	61,80
suma:	341,80
průměr:	68,36

T 23

1	70,60
2	94,00
3	119,70
4	135,20
5	57,70
suma:	477,20
průměr:	95,44

T 24

1	78,20
2	107,40
3	80,50
4	89,80
5	89,70
suma:	445,60
průměr:	89,12

T 25

1	30,00
2	45,20
3	46,30
4	56,20
5	53,20
suma:	230,90
průměr:	46,18

T 26

1	46,20
2	57,70
3	66,80
4	63,30
5	76,50
suma:	310,50
průměr:	62,10

d) Doba poklesu teploty na jednotlivých termočláncích

T 21

1	0:04
2	0:05
3	0:05
4	0:04
5	0:04
suma:	0:22
průměr:	0:04

T 22

1	0:04
2	0:05
3	0:03
4	0:05
5	0:04
suma:	0:21
průměr:	0:04

T 23

1	0:03
2	0:05
3	0:05
4	0:05
5	0:04
suma:	0:22
průměr:	0:04

T 24

1	0:03
2	0:03
3	0:04
4	0:04
5	0:04
suma:	0:18
průměr:	0:03

T 25

1	0:03
2	0:01
3	0:01
4	0:04
5	0:05
suma:	0:14
průměr:	0:02

T26

1	0:04
2	0:04
3	0:04
4	0:01
5	0:04
suma:	0:17
průměr:	0:03

e) Doba nárůstu teploty na jednotlivých termočláncích

T 21

1	0:09
2	0:10
3	0:13
4	0:19
5	0:21
suma:	1:12
průměr:	0:14

T 22

1	0:09
2	0:11
3	0:11
4	0:15
5	0:15
suma:	1:01
průměr:	0:12

T 23

1	0:09
2	0:12
3	0:12
4	0:23
5	0:12
suma:	1:08
průměr:	0:13

T 24

1	0:10
2	0:11
3	0:13
4	0:16
5	0:23
suma:	1:13
průměr:	0:14

T 25

1	0:09
2	0:08
3	0:14
4	0:20
5	0:20
suma:	1:11
průměr:	0:14

T 26

1	0:10
2	0:13
3	0:13
4	0:14
5	0:02
suma:	0:52
průměr:	0:10

Příloha č.3: zpracování změny teplot po aplikaci tří pulsů 3D vodní mlhy**a) Průběh teplot po aplikaci jednoho pulsu 3D vodní mlhy****T 21**

poř	T0	T1	T2	t0	t1	t2
1	429,30	241,30	441,50	5:53	6:02	6:14
2	441,50	240,80	437,70	6:17	6:22	6:37
3	437,70	250,60	430,10	6:37	6:48	7:00
4	404,40	253,30	382,90	11:55	12:07	13:06
5	382,90	198,40	364,50	13:06	13:38	14:00

T22

poř	T0	T1	T2	t0	t1	t2
1	426,50	236,60	437,10	5:55	6:03	6:17
2	437,10	269,00	430,40	6:17	6:23	6:39
3	430,40	263,60	432,50	6:39	6:48	7:00
4	383,00	247,80	380,10	11:55	12:08	12:45
5	370,10	214,40	350,30	13:07	13:38	14:09

T 23

poř	T0	T1	T2	t0	t1	t2
1	436,50	218,90	439,10	5:56	6:02	6:17
2	439,10	252,60	428,30	6:17	6:23	6:39
3	428,30	256,10	421,90	6:39	6:47	7:01
4	404,20	233,90	290,90	11:55	12:08	13:01
5	385,10	197,00	364,40	13:04	13:37	14:00

T 24

poř	T0	T1	T2	t0	t1	t2
1	342,30	183,80	327,70	5:57	6:03	6:17
2	327,70	187,50	338,20	6:17	6:23	6:41
3	338,20	195,40	313,70	6:41	6:48	7:00
4	300,50	162,50	290,90	11:55	12:08	13:01
5	289,10	159,10	254,40	13:03	13:38	14:03

T 25

poř	T0	T1	T2	t0	t1	t2
1	339,80	199,90	322,10	5:57	6:01	6:19
2	322,10	238,80	327,00	6:19	6:23	6:39
3	327,00	222,50	310,20	6:39	6:46	7:02
4	312,1	256,1	300,2	11:57	12:07	13:01
5	300,2	179,3	269,2	13:04	13:43	14:03

T26

poř	T0	T1	T2	t0	t1	t2
1	329,00	180,40	313,10	5:57	6:04	6:19
2	313,10	228,60	322,10	6:19	6:21	6:41
3	322,10	208,10	308,20	6:44	6:54	7:02
4	311,20	162,40	293,30	11:54	12:14	12:58
5	291,30	140,90	251,00	13:01	13:43	14:03

b) Pokles teploty na jednotlivých termočláncích:

T 21

1	188,00
2	200,70
3	187,10
4	151,10
5	184,50
suma:	911,40
průměr:	182,28

T 22

1	189,90
2	168,10
3	166,80
4	135,20
5	155,70
suma:	815,70
průměr:	163,14

T 23

1	217,60
2	186,50
3	172,20
4	170,30
5	188,10
suma:	934,70
průměr:	186,94

T 24

1	158,50
2	140,20
3	142,80
4	138,00
5	130,00
suma:	709,50
průměr:	141,90

T 25

1	139,90
2	83,30
3	104,50
4	56,00
5	120,90
suma:	504,60
průměr:	100,92

T 26

1	148,60
2	84,50
3	114,00
4	148,80
5	150,40
suma:	646,30
průměr:	129,26

c) Nárůst teploty na jednotlivých termočláncích

T 21

1	200,20
2	196,90
3	179,50
4	129,60
5	166,10
suma:	872,30
průměr:	174,46

T 22

1	200,50
2	161,40
3	168,90
4	132,30
5	135,90
suma:	799,00
průměr:	159,80

T 23

1	220,20
2	175,70
3	165,80
4	57,00
5	167,40
suma:	786,10
průměr:	157,22

T 24

1	143,90
2	150,70
3	118,30
4	128,40
5	95,30
suma:	636,60
průměr:	127,32

T 25

1	122,20
2	88,20
3	87,70
4	44,10
5	89,90
suma:	432,10
průměr:	86,42

T 26

1	132,70
2	93,50
3	100,10
4	130,90
5	110,10
suma:	567,30
průměr:	113,46

d) Doba poklesu teploty na jednotlivých termočláncích

T 21

1	0:09
2	0:05
3	0:11
4	0:12
5	0:32
suma:	1:09
průměr:	0:13

T 22

1	0:08
2	0:06
3	0:09
4	0:13
5	0:31
suma:	1:07
průměr:	0:13

T 23

1	0:06
2	0:06
3	0:08
4	0:13
5	0:33
suma:	1:06
průměr:	0:13

T 24

1	0:06
2	0:06
3	0:07
4	0:13
5	0:35
suma:	1:07
průměr:	0:13

T 25

1	0:04
2	0:04
3	0:07
4	0:10
5	0:39
suma:	1:04
průměr:	0:12

T26

1	0:07
2	0:02
3	0:10
4	0:20
5	0:42
suma:	1:21
průměr:	0:16

e) Doba nárůstu teploty na jednotlivých termočláncích

T 21

1	0:12
2	0:15
3	0:12
4	0:59
5	0:22
suma:	2:00
průměr:	0:24

T 22

1	0:14
2	0:16
3	0:12
4	0:37
5	0:31
suma:	1:50
průměr:	0:22

T 23

1	0:15
2	0:16
3	0:14
4	0:53
5	0:23
suma:	2:01
průměr:	0:24

T 24

1	0:14
2	0:18
3	0:12
4	0:53
5	0:25
suma:	2:02
průměr:	0:24

T 25

1	0:18
2	0:16
3	0:16
4	0:54
5	0:20
suma:	2:04
průměr:	0:24

T 26

1	0:15
2	0:20
3	0:08
4	0:44
5	0:20
suma:	1:47
průměr:	0:21

Příloha č.4: zpracování změny teplot po aplikaci obranného pulsu 3D vodní mlhy

a) Průběh teplot po aplikaci jednoho pulsu 3D vodní mlhy

T 21

poř	T0	T1	T2	t0	t1	t2
1	365,00	49,10	352,50	17:21	17:28	19:10
2	354,60	40,10	325,00	19:30	19:49	20:48

T22

poř	T0	T1	T2	t0	t1	t2
1	360,00	49,00	348,20	17:19	17:31	19:10
2	345,20	38,50	311,70	19:30	19:47	20:48

T 23

poř	T0	T1	T2	t0	t1	t2
1	369,80	49,00	354,50	17:20	17:31	19:10
2	347,70	39,20	320,50	19:30	19:47	20:48

T 24

poř	T0	T1	T2	t0	t1	t2
1	275,10	33,50	72,30	17:22	17:26	19:07
2	124,30	39,60	113,20	19:33	19:49	20:51

T 25

poř	T0	T1	T2	t0	t1	t2
1	229,30	49,40	240,90	17:24	17:35	19:01
2	253,00	42,00	197,40	19:30	19:49	20:48

T26

poř	T0	T1	T2	t0	t1	t2
1	280,20	36,20	191,50	17:20	17:34	19:04
2	213,20	38,40	199,90	19:30	19:49	20:48

b) Pokles teploty na jednotlivých termočláncích:

T 21

1	315,90
2	314,50
suma:	630,40
průměr:	315,20

T 22

1	311,00
2	306,70
suma:	617,70
průměr:	308,85

T 23

1	320,80
2	308,50
suma:	629,30
průměr:	314,65

T 24

1	241,60
2	84,70
suma:	326,30
průměr:	163,15

T 25

1	179,90
2	211,00
suma:	390,90
průměr:	195,45

T 26

1	244,00
2	174,80
suma:	418,80
průměr:	209,40

c) Nárůst teploty na jednotlivých termočláncích

T 21

1	303,40
2	284,90
suma:	588,30
průměr:	294,15

T 22

1	299,20
2	273,20
suma:	572,40
průměr:	286,20

T 23

1	305,50
2	281,30
suma:	586,80
průměr:	293,40

T 24

1	38,80
2	73,60
suma:	112,40
průměr:	56,20

T 25

1	191,50
2	155,40
suma:	346,90
průměr:	173,45

T 26

1	155,30
2	161,50
suma:	316,80
průměr:	158,40

d) Doba poklesu teploty na jednotlivých termočláncích

T 21

1	0:07
2	0:19
suma:	0:26
průměr:	0:13

T 22

1	0:12
2	0:17
suma:	0:29
průměr:	0:14

T 23

1	0:11
2	0:17
suma:	0:28
průměr:	0:14

T 24

1	0:04
2	0:16
suma:	0:20
průměr:	0:10

T 25

1	0:11
2	0:19
suma:	0:30
průměr:	0:15

T26

1	0:14
2	0:19
suma:	0:33
průměr:	0:16

e) Doba nárůstu teploty na jednotlivých termočláncích

T

21

1	1:42
2	0:59
suma:	2:41
průměr:	1:20

T 22

1	1:39
2	1:01
suma:	2:40
průměr:	1:20

T 23

1	1:39
2	1:01
suma:	2:40
průměr:	1:20

T 24

1	1:41
2	1:02
suma:	2:43
průměr:	1:21

T 25

1	1:26
2	0:59
suma:	2:25
průměr:	1:12

T 26

1	1:30
2	0:59
suma:	2:29
průměr:	1:14

Příloha č. 5: měření objemu jednoho pulsu 3D vodní mlhy

a) Proudnice Protek 366, průtok 115 l/min

Změřený objem pěti pulsů

	Objem 5 pulsů	Objem 5 pulsů	Objem 5 pulsů
1	5,6	7,2	5,5
2	6	5,8	5,2
3	4	5,1	7
4	6,1	5,8	5,5
5	6,5	4,5	6

Vypočtený objem jednoho pulsu

	Objem 1 pulsu	Objem 1 pulsu	Objem 1 pulsu
1	1,12	1,44	1,1
2	1,2	1,16	1,04
3	0,8	1,02	1,4
4	1,22	1,16	1,1
5	1,3	0,9	1,2

Průměrný objem jednoho pulsu při průtoku 115 l/min	1,144 litru
--	-------------

b) Proudnice Protek 366, průtok 230 l/min

Změřený objem pěti pulsů

	Objem 5 pulsů	Objem 5 pulsů	Objem 5 pulsů
1	9	10,3	11,2
2	10,5	9,4	9
3	9,4	10,9	9,2
4	9	8,9	12,1
5	11,3	9,1	9,4

Vypočtený objem jednoho pulsu

	Objem 1 pulsu	Objem 1 pulsu	Objem 1 pulsu
1	1,8	2,06	2,24
2	2,1	1,88	1,8
3	1,88	2,18	1,84
4	1,8	1,78	2,42
5	2,26	1,82	1,88

Průměrný objem jednoho pulsu při průtoku 230 l/min	1,982667 litru
--	----------------

c) Proudnice Protek 366, průtok 360 l/min

Změřený objem pěti pulsů

	Objem 5 pulsů	Objem 5 pulsů	Objem 5 pulsů
1	13	12,8	14,1
2	12,1	13,5	11,5
3	14	12,3	12,2
4	12,5	13,8	11,9
5	12	14,1	13,8

Vypočtený objem jednoho pulsu

	Objem 1 pulsu	Objem 1 pulsu	Objem 1 pulsu
1	2,6	2,56	2,82
2	2,42	2,7	2,3
3	2,8	2,46	2,44
4	2,5	2,76	2,38
5	2,4	2,82	2,76

Průměrný objem jednoho pulsu při průtoku 360 l/min	2,581333 litru
--	----------------

d) Výpočty::

Průměrný objem jednoho pulsu pro jednotlivé instruktory při určitém průtoku

průtok :	115 l/min	230 l/min	360 l/min
1	1,22	2,033333	2,66
2	1,133333	1,926667	2,473333
3	1,073333	1,966667	2,566667
4	1,16	2	2,546667
5	1,133333	1,986667	2,66

Celkový průměr objemu jednoho pulsu při určitém průtoku

průtok :	115 l/min	230 l/min	360 l/min
Celkový průměr	1,144	1,982667	2,581333

Odchylka jednotlivých instruktorů od celkového průměru

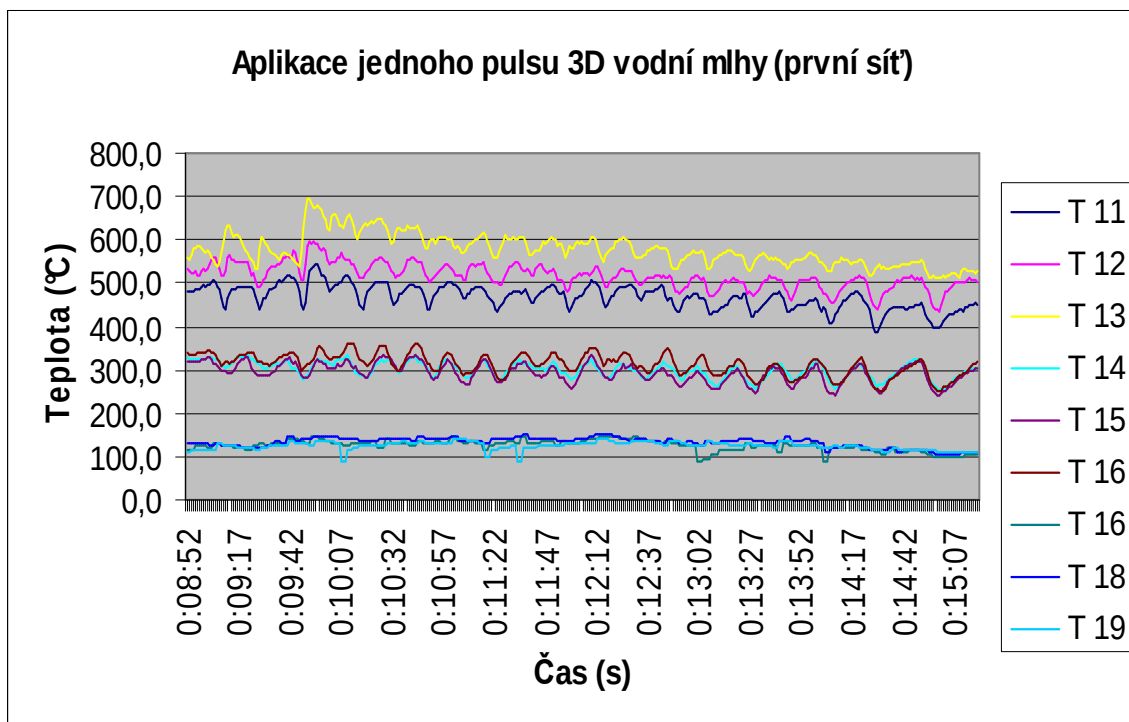
průtok :	115 l/min	230 l/min	360 l/min
1	0,076	0,050666667	0,078667
2	0,010667	0,056	0,108
3	0,070667	0,016	0,014667
4	0,016	0,017333333	0,034667
5	0,010667	0,004	0,078667

Celková průměrná odchylka pro jednotlivé průtoky

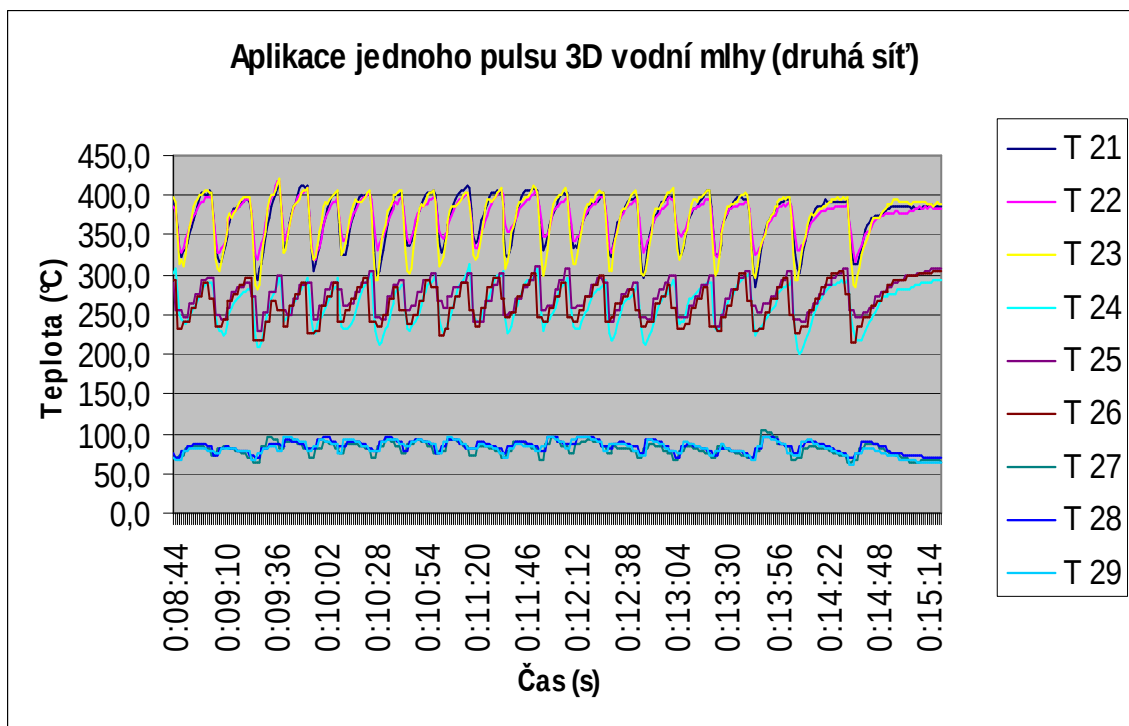
průtok :	115 l/min	230 l/min	360 l/min
1	0,0368	0,0288	0,062933

Příloha č. 6: Grafické vyhodnocení změn při aplikaci vody při prvním měření

a) aplikace jednoho pulsu 3D vodní mlhy:

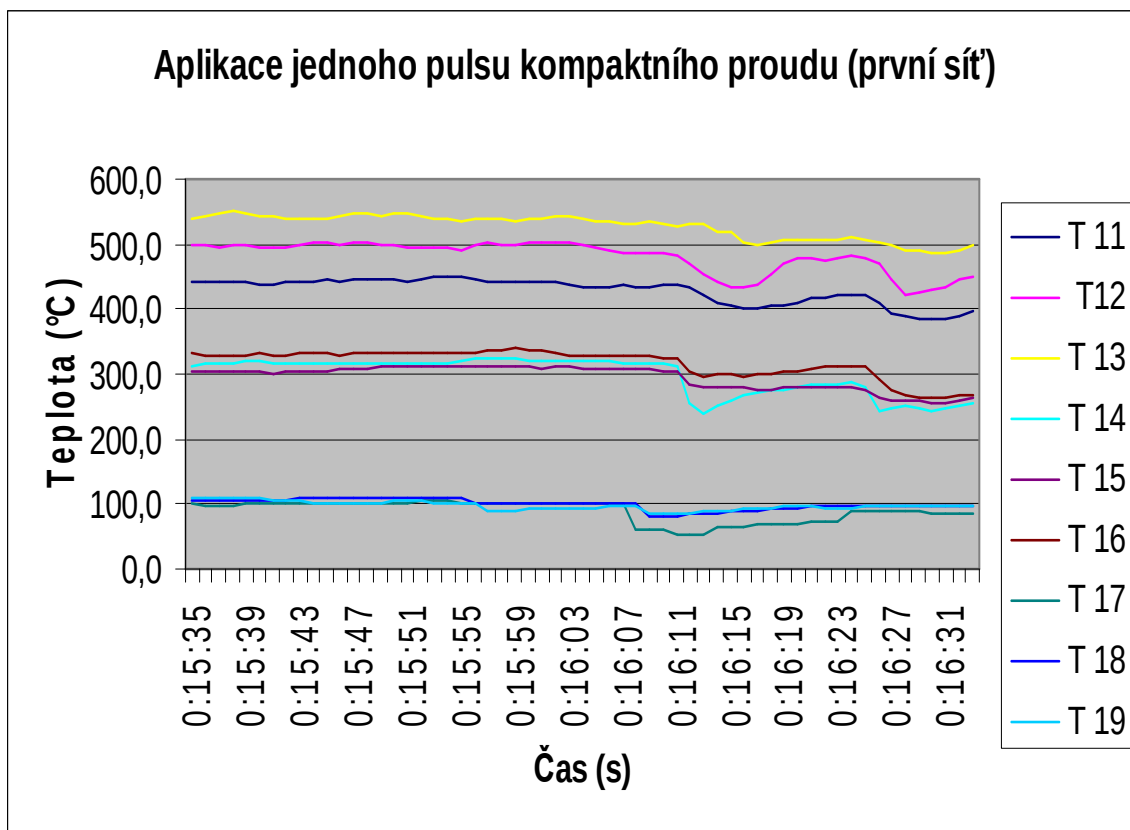


Detailní znázornění změny teploty při aplikaci jednoho pulsu 3D vodní mlhy na termočláncích umístěných na první síti.

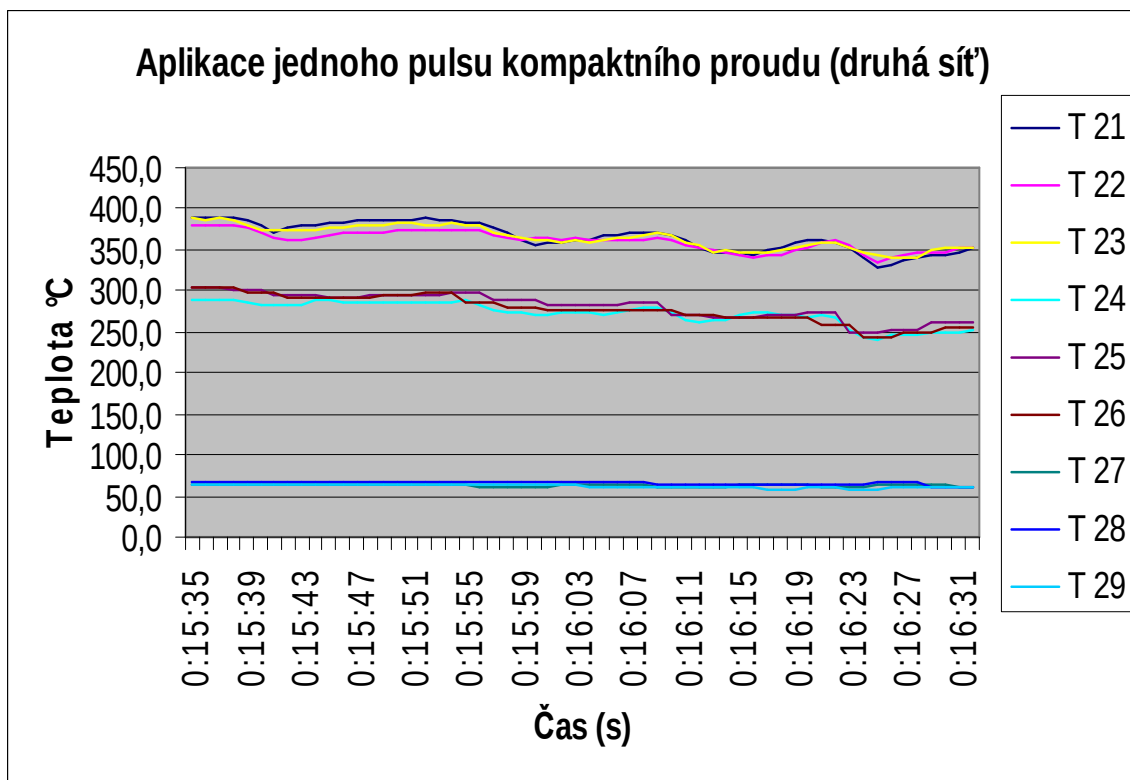


Detailní znázornění změny teploty při aplikaci jednoho pulsu 3D vodní mlhy na termočláncích umístěných na druhé síti.

b) aplikace jednoho pulsu kompaktního proudu:

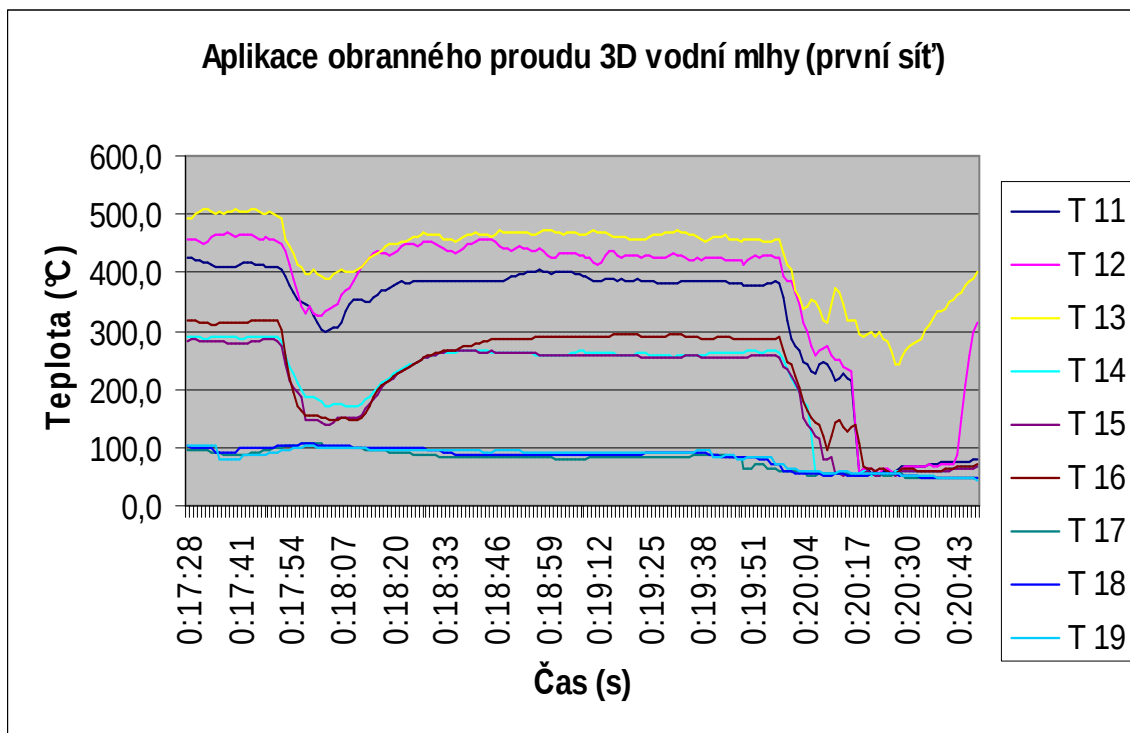


Detailní znázornění změny teploty při aplikaci jednoho pulsu kompaktního proudu na termočláncích umístěných na první síti.

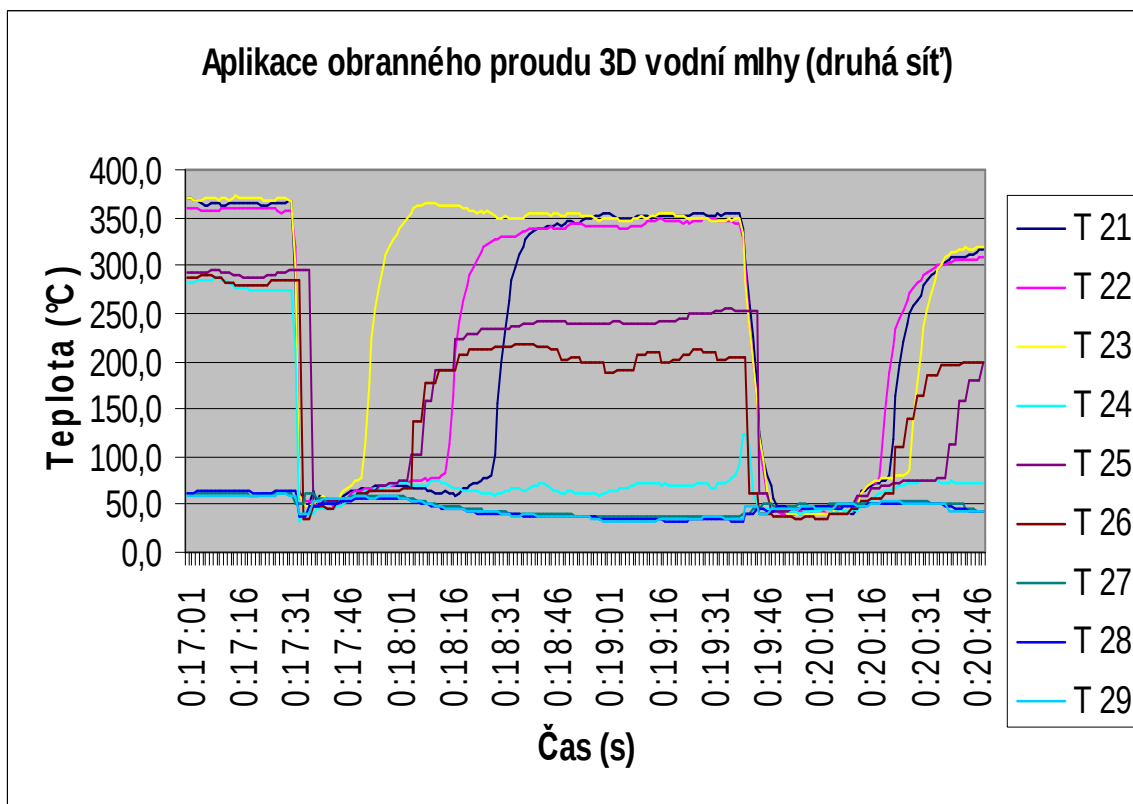


Detailní znázornění změny teploty při aplikaci jednoho pulsu kompaktního proudu na termočláncích umístěných na druhé síti.

c) aplikace obranného proudu:

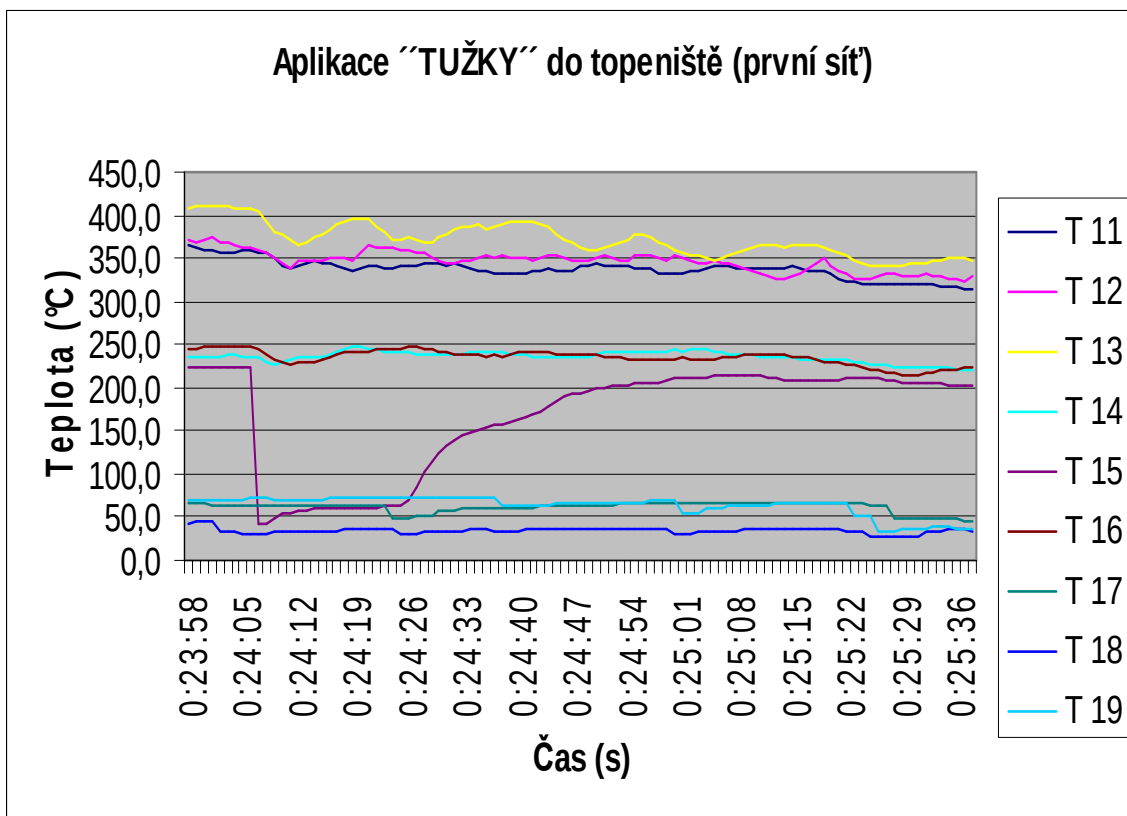


Detailní znázornění změny teploty při aplikaci obranného proudu 3D vodní mlhy na termočláncích umístěných na první síti.

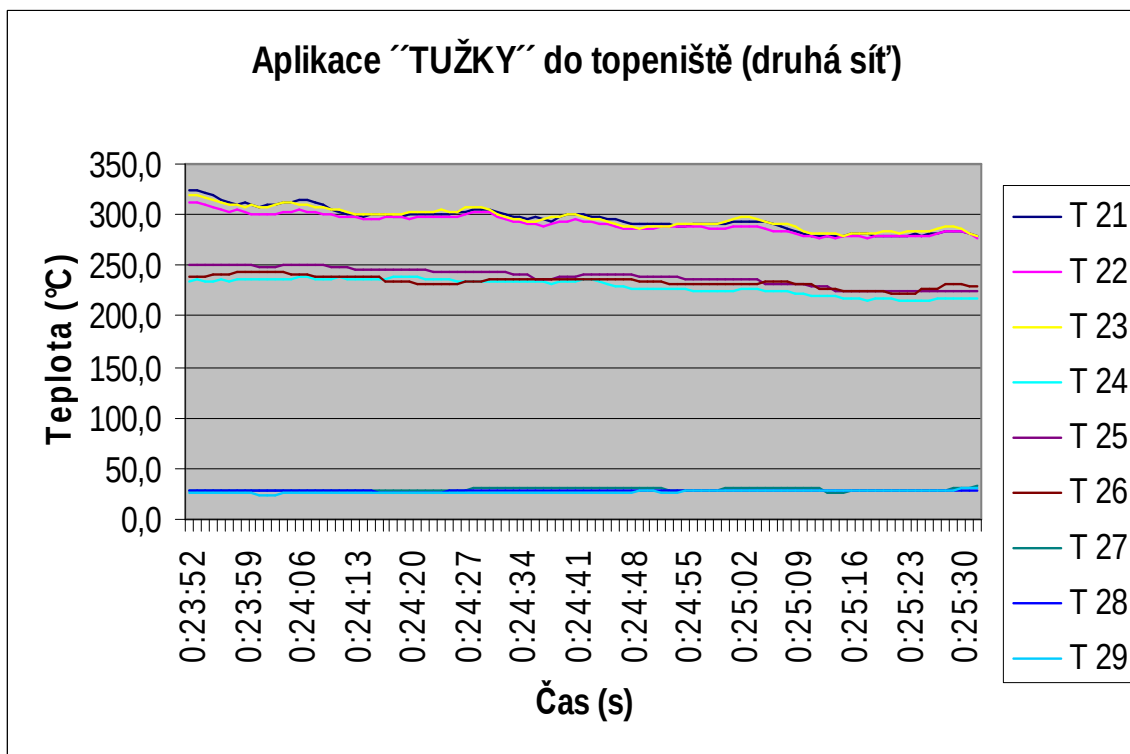


Detailní znázornění změny teploty při aplikaci obranného proudu 3D vodní mlhy na termočláncích umístěných na druhé síti.

d) aplikace tužky do topeniště:



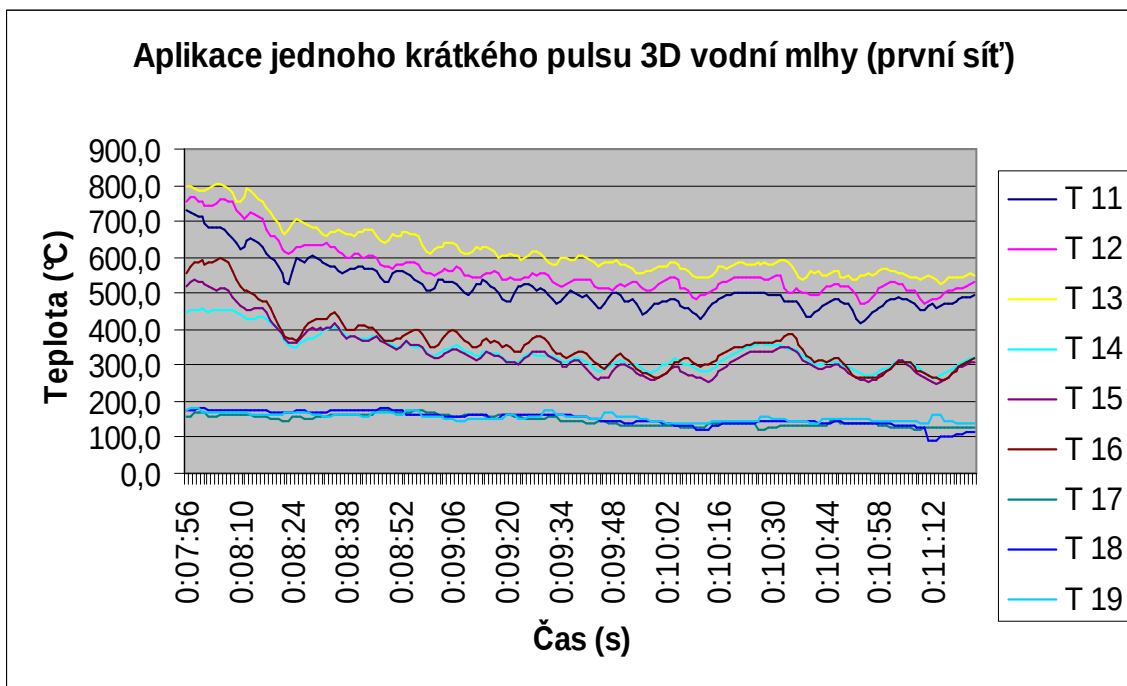
Detailní znázornění změny teploty při aplikaci "TUŽKY" do topeniště na termočláncích umístěných na první síti.



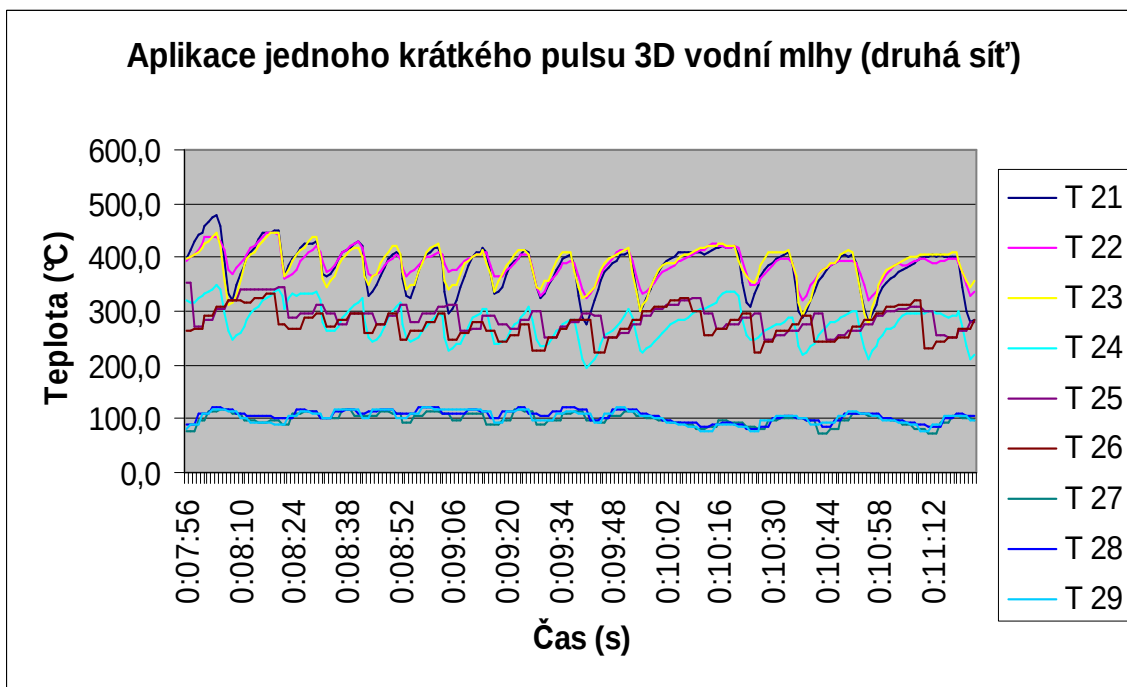
Detailní znázornění změny teploty při aplikaci "TUŽKY" do topeniště na termočláncích umístěných na druhé síti.

Příloha č. 7: Grafické vyhodnocení změn při aplikaci vody při druhém měření

a) aplikace jednoho pulsu 3D vodní mlhy:

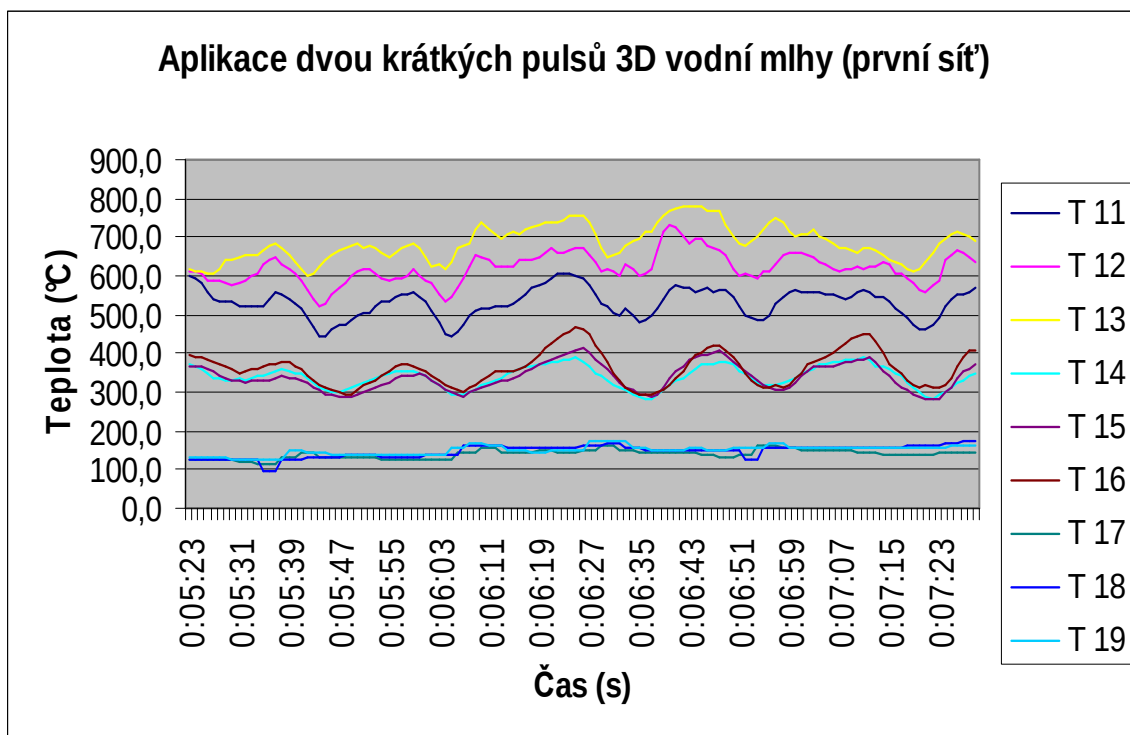


Detailní znázornění změny teploty při aplikaci jednoho pulsu 3D vodní mlhy na termočláncích umístěných na první síti.

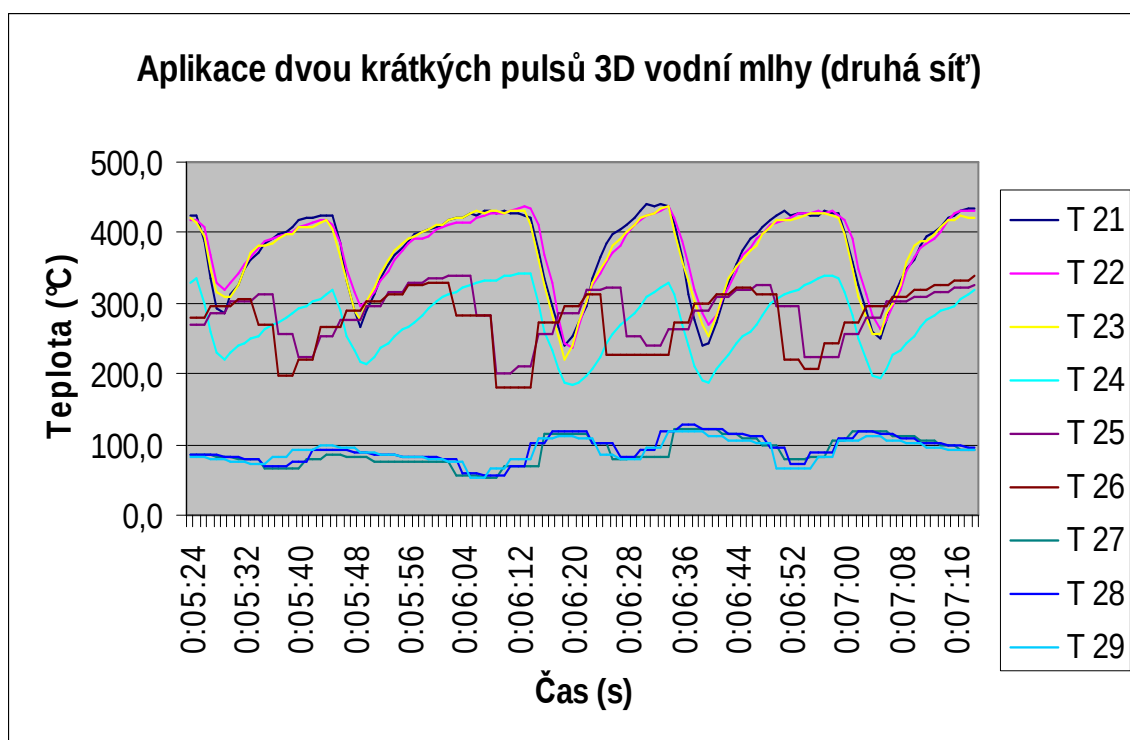


Detailní znázornění změny teploty při aplikaci jednoho pulsu 3D vodní mlhy na termočláncích umístěných na druhé síti.

b) aplikace dvou krátkých pulsů 3D vodní mlhy:

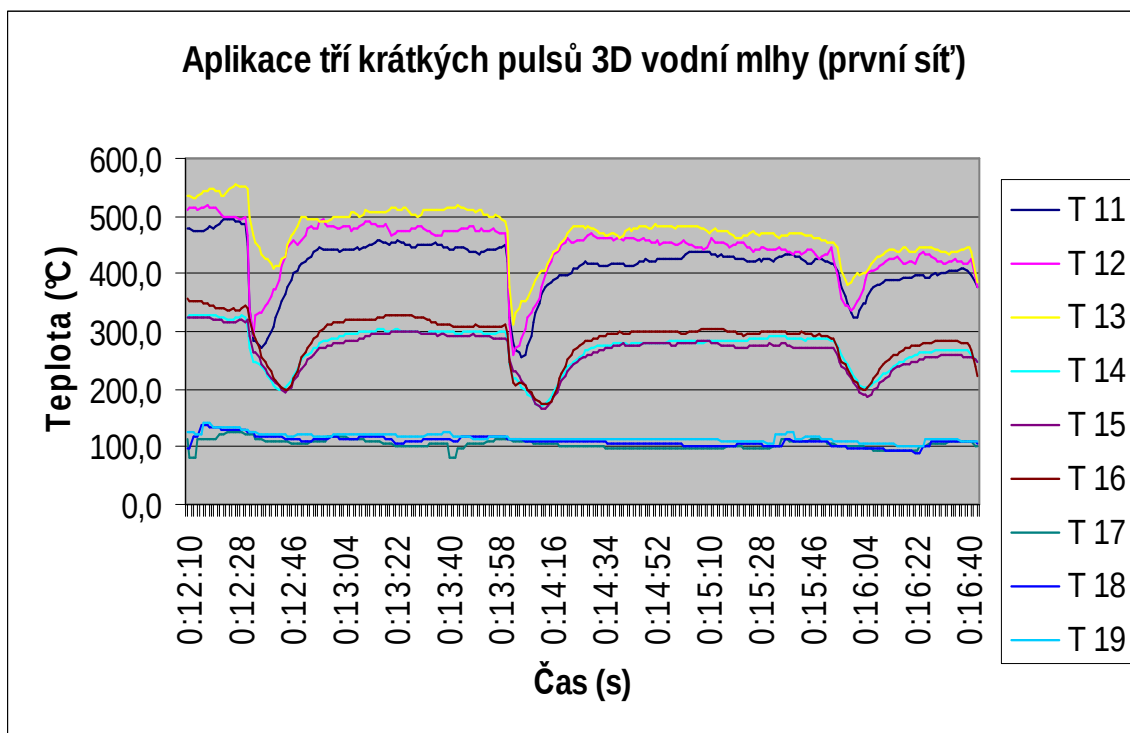


Detailní znázornění změny teploty při aplikaci dvou krátkých pulsů 3D vodní mlhy na termočláncích umístěných na první síti.

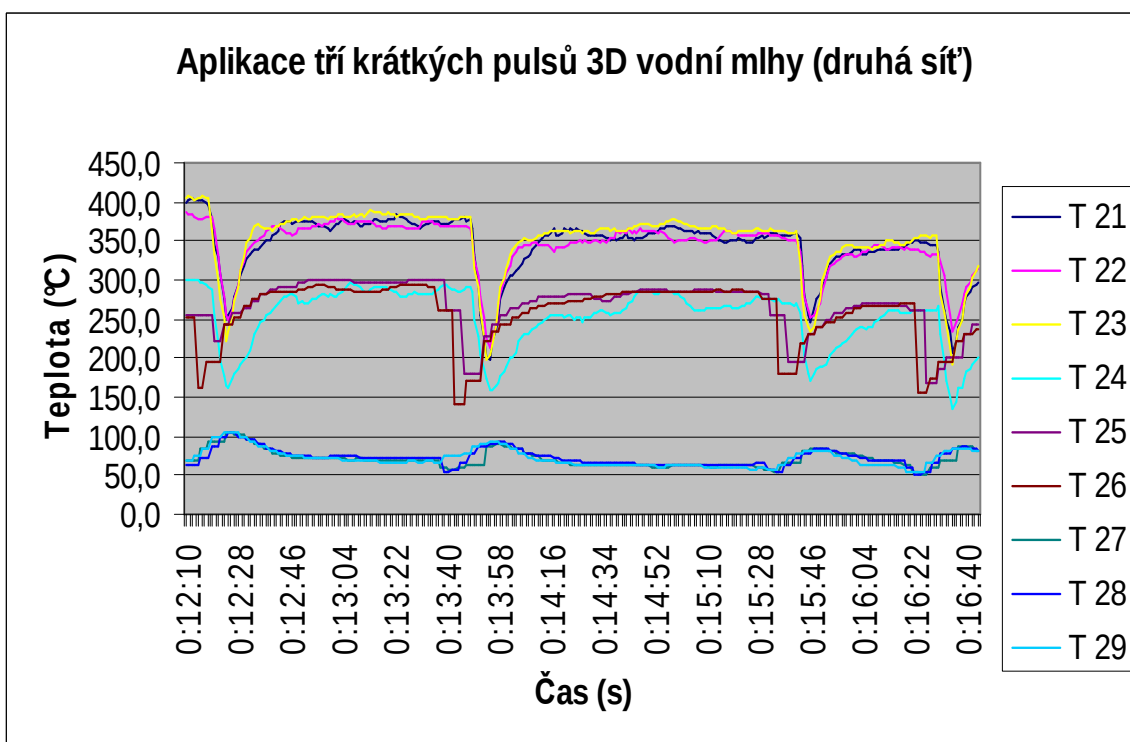


Detailní znázornění změny teploty při aplikaci dvou krátkých pulsů 3D vodní mlhy na termočláncích umístěných na druhé síti.

c) aplikace tří krátkých pulsů 3D vodní mlhy:

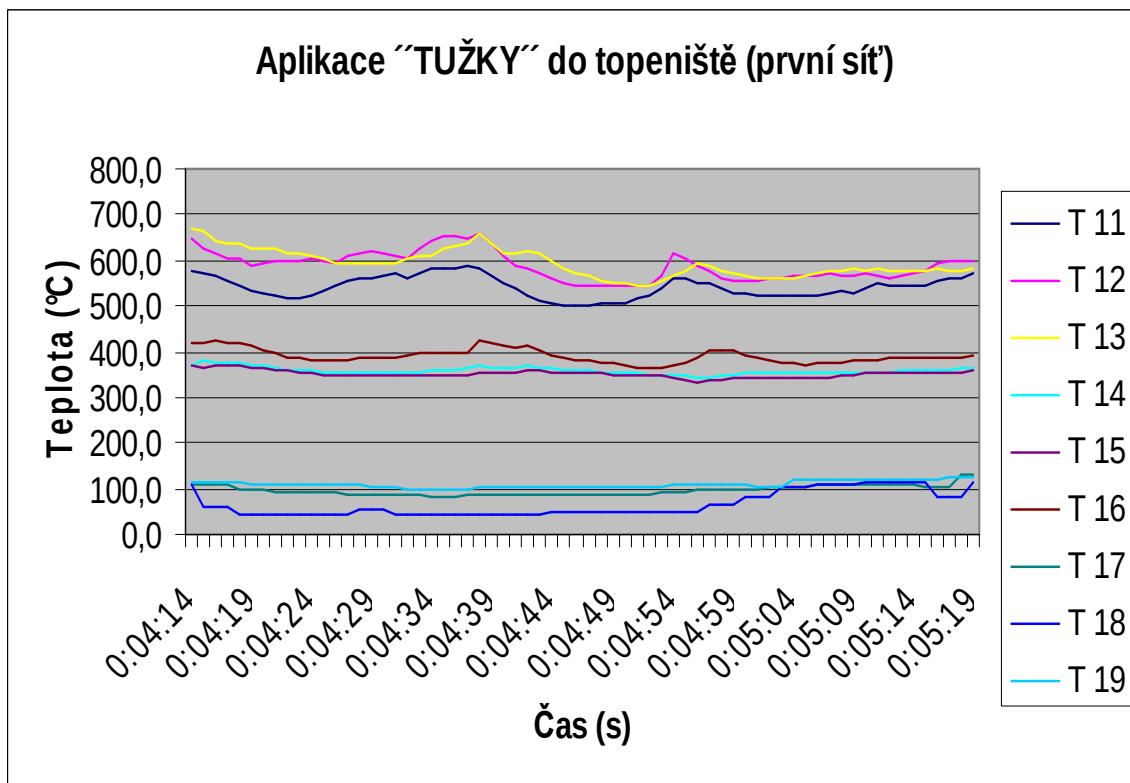


Detailní znázornění změny teploty při aplikaci tří krátkých pulsu 3D vodní mlhy na termočláncích umístěných na první síti.

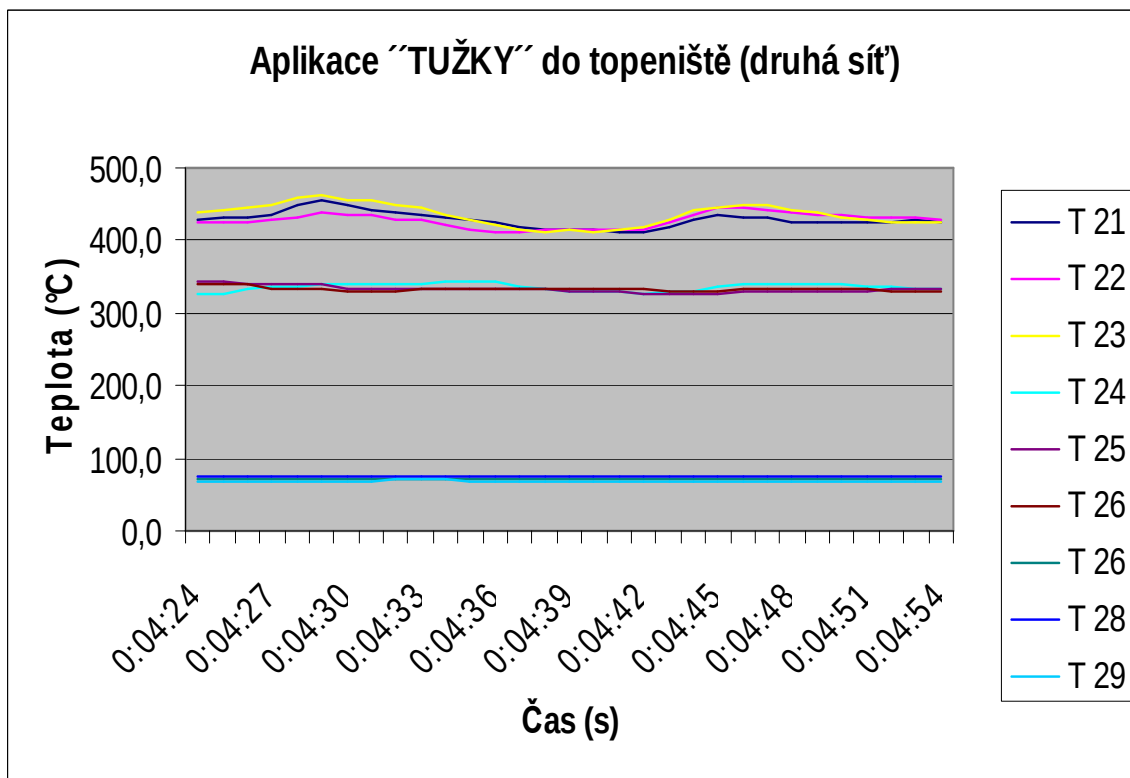


Detailní znázornění změny teploty při aplikaci tří krátkých pulsu 3D vodní mlhy na termočláncích umístěných na druhé síti.

d) aplikace TUŽKY do topeniště:

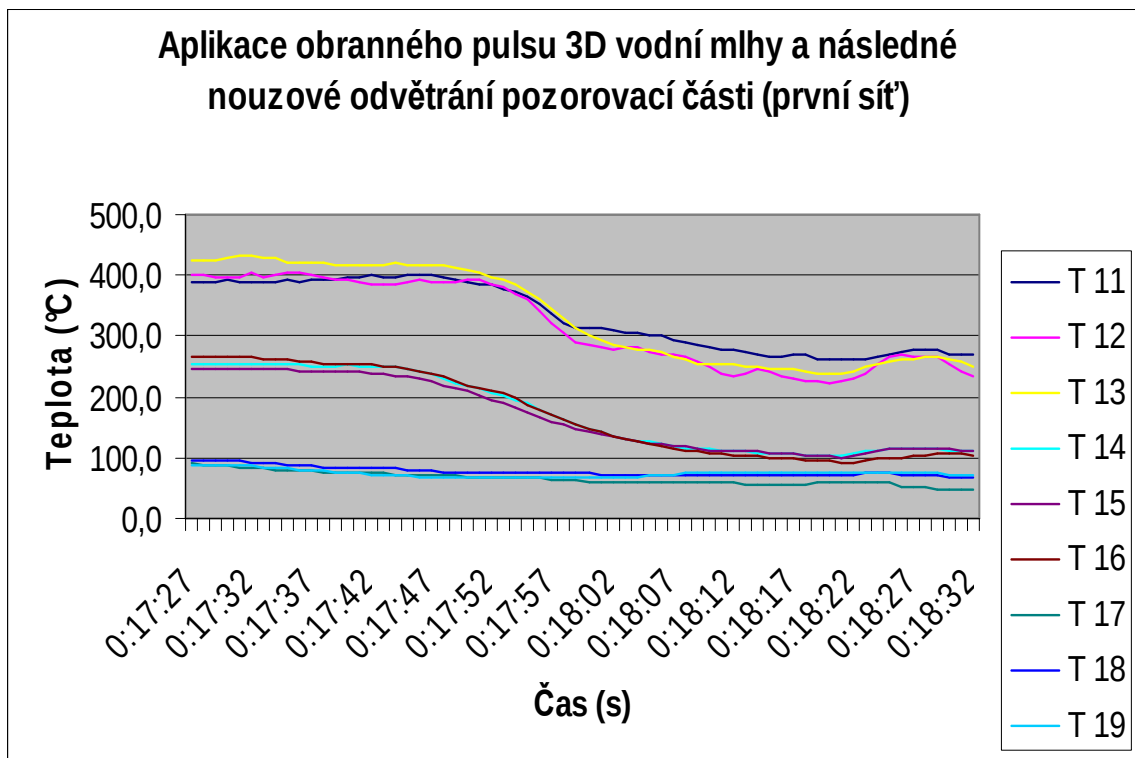


Detailní znázornění změny teploty při aplikaci "TUŽKY" do topeniště na termočláncích umístěných na první síti.

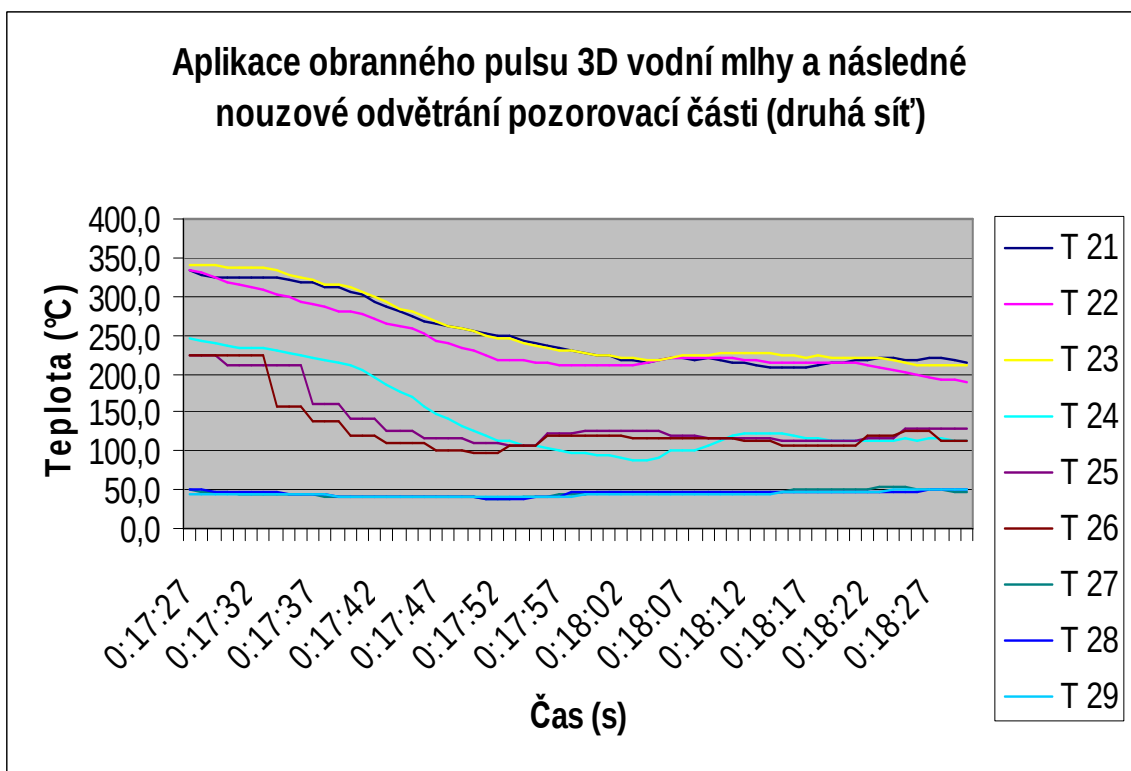


Detailní znázornění změny teploty při aplikaci "TUŽKY" do topeniště na termočláncích umístěných na druhé síti.

e) Aplikace obranného pulsu a následné nouzové odvětrání:

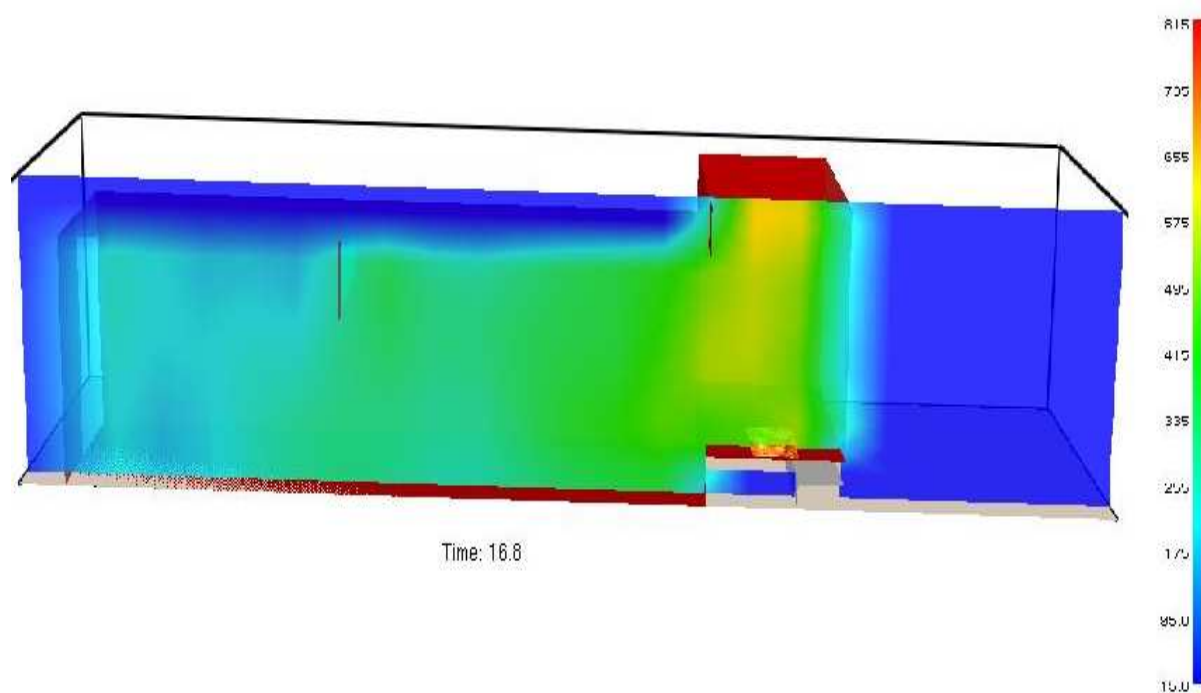


Detailní znázornění změny teploty při aplikaci obranného proudu 3D vodní mlhy a následném nouzovém odvětrání pozorovací části na termočláncích umístěných na první síti.

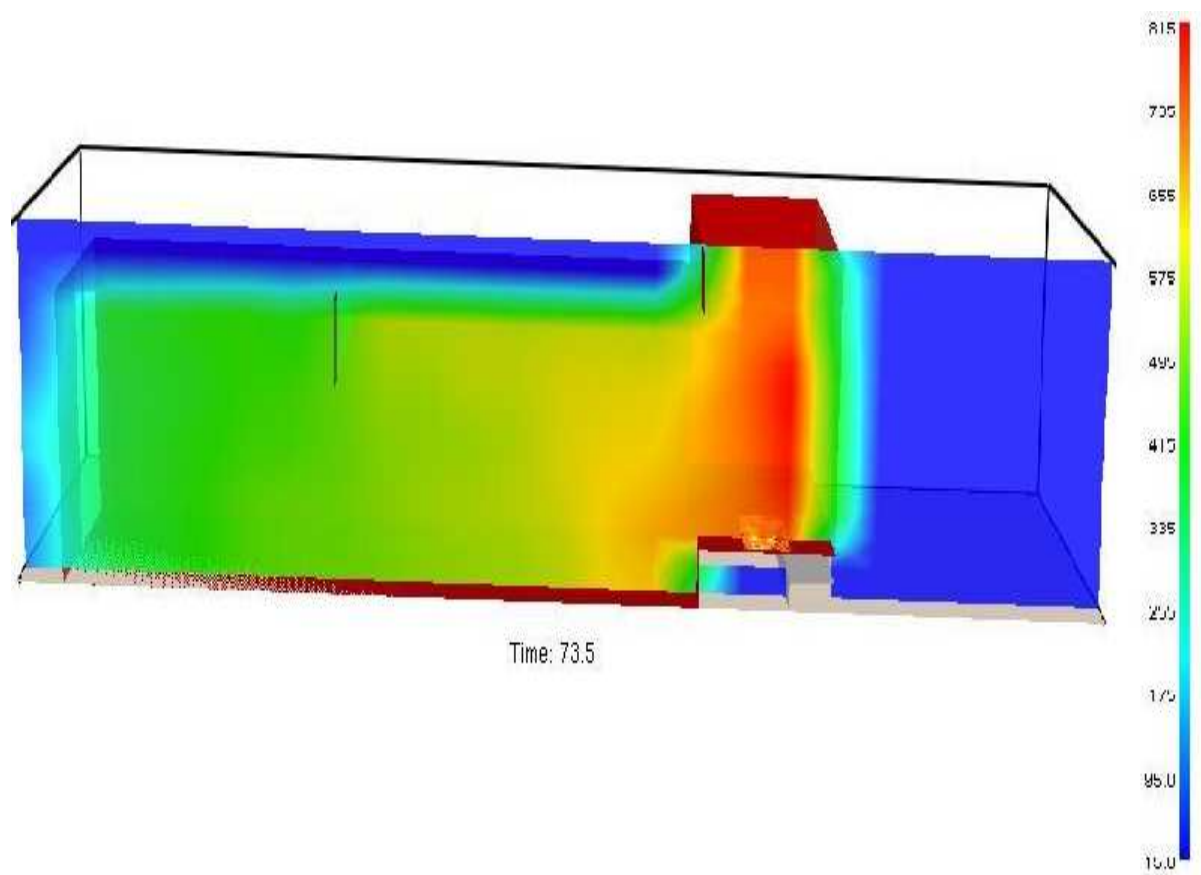


Detailní znázornění změny teploty při aplikaci obranného proudu 3D vodní mlhy a následném nouzovém odvětrání pozorovací části na termočláncích umístěných na druhé síti.

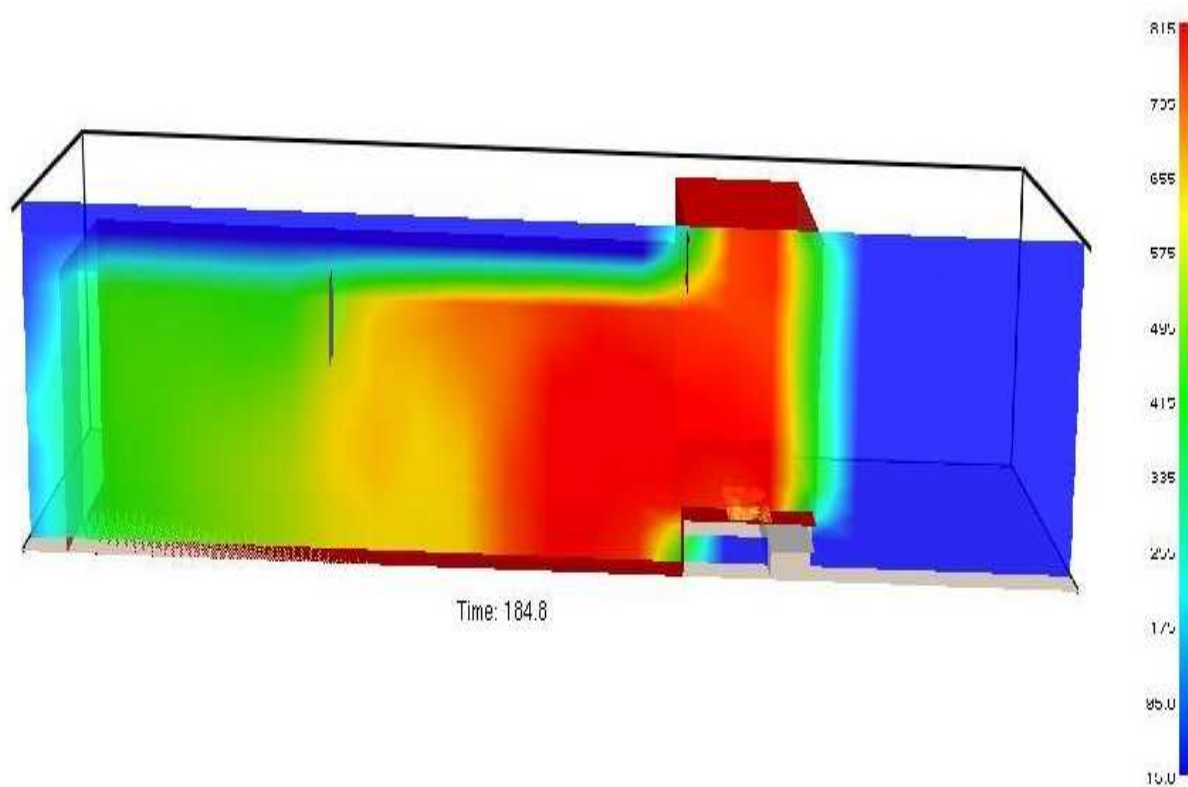
Příloha č. 8: podélný řez teplotami dle numerického modelu



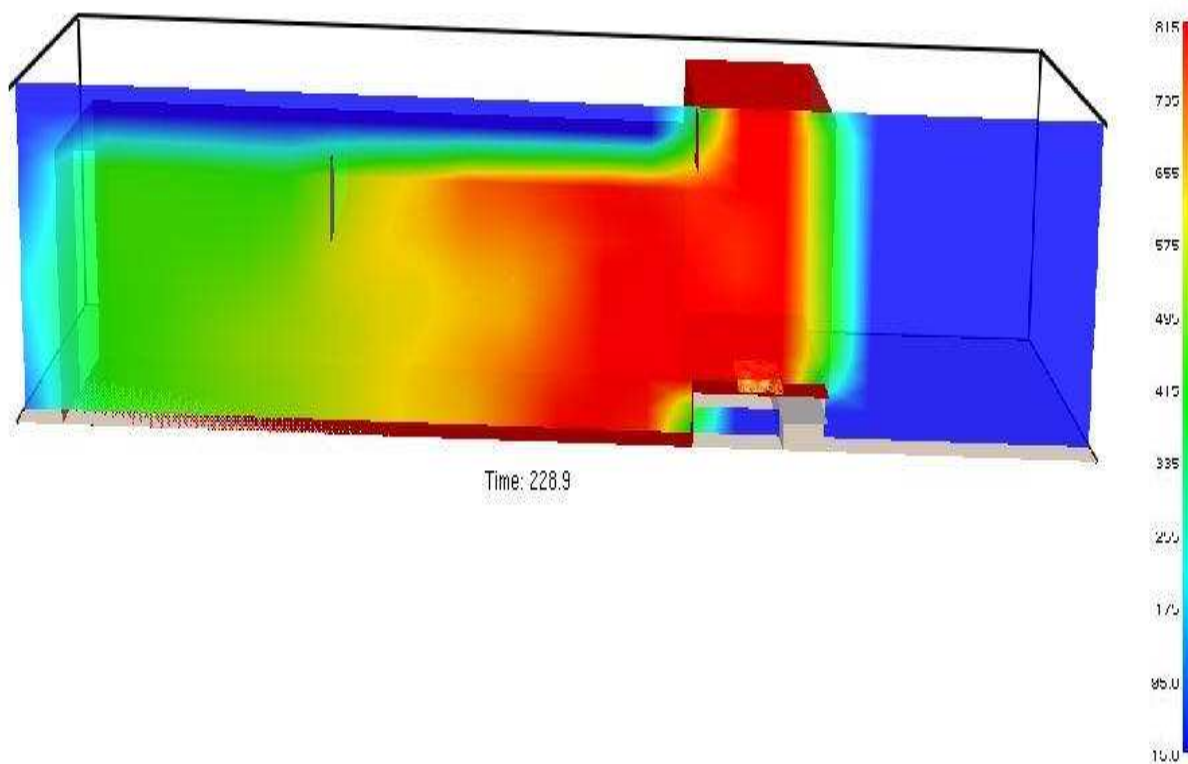
Detailní znázornění teplot v čase 16,8 sekundy od zahájení výpočtu.



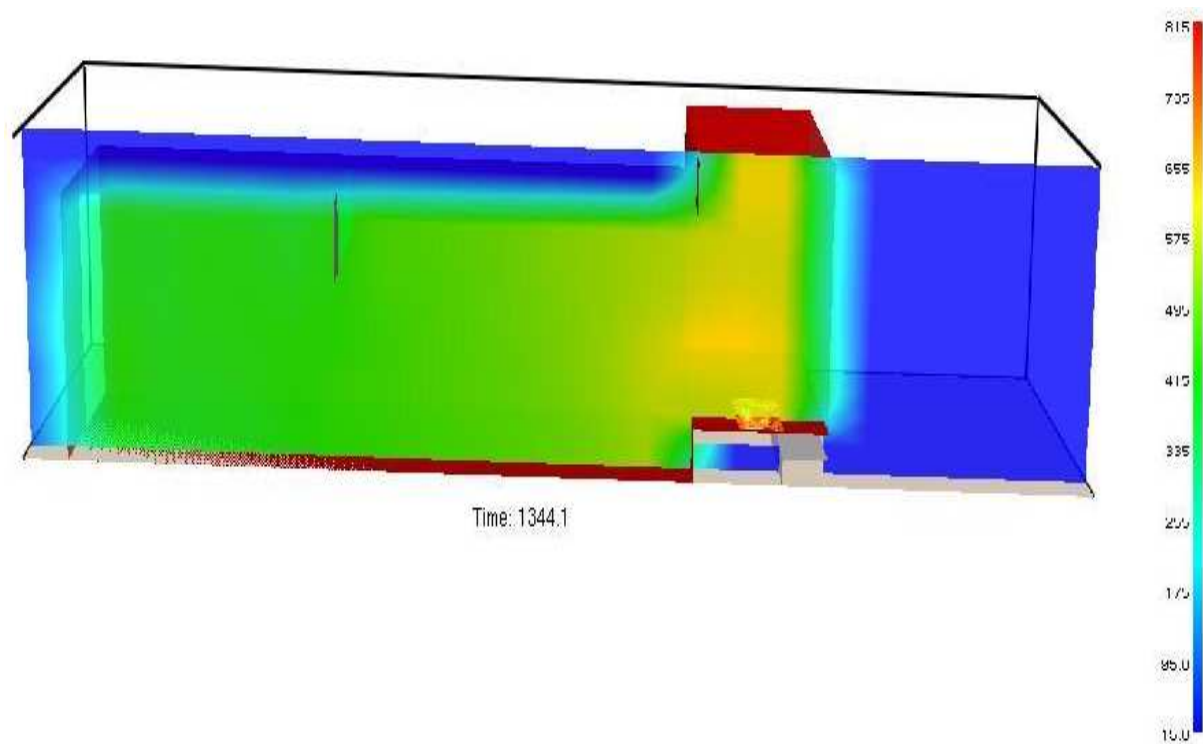
Detailní znázornění teplot v čase 73,5 sekundy od zahájení výpočtu.



Detailní znázornění teplot v čase 184,8 sekundy od zahájení výpočtu.



Detailní znázornění teplot v čase 228,9 sekundy od zahájení výpočtu.



Detailní znázornění teplot v čase 1344,1 sekundy od zahájení výpočtu.