



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

**Fakulta biomedicínského inženýrství
Katedra zdravotnických oborů a ochrany obyvatelstva**

Možnosti použití útočného vedení D25 při likvidaci požárů ve vnitřním prostoru.

The Possibilities of Using of the Attack Line D25 During the Liquidation of Fires in the Interiors.

Diplomová práce

Studijní program: Ochrana obyvatelstva

Studijní obor: Civilní nouzové plánování

Vedoucí práce: Ing. Jan Žižka

Bc. Petr Vejražka

Kladno, květen 2019

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Vejražka** Jméno: **Petr** Osobní číslo: **434331**
Fakulta: **Fakulta biomedicínského inženýrství**
Garantující katedra: **Katedra zdravotnických oborů a ochrany obyvatelstva**
Studijní program: **Ochrana obyvatelstva**
Studijní obor: **Civilní nouzové plánování**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Možnosti použití útočného vedení D25 při likvidaci požárů ve vnitřním prostoru.

Název diplomové práce anglicky:

The Possibilities of Using of the Attack Line D25 During the Liquidation of Fires in the Interiors.

Pokyny pro vypracování:

Předmětem diplomové práce bude analýza možnosti použití útočného proudu D25 při požárech ve vnitřním prostoru. V teoretické části bude popsána současná taktika zásahu při likvidaci požáru s charakteristikou vnitřního prostoru. Popsány budou správné zásady používání práce s proudnicí včetně standardně používaných technických prostředků pro tento typ zásahu. V praktické části budou pro získání vybraných fyzikálních veličin navrženy a realizovány požáry simulující podmínky prostředí požáru v uzavřeném prostoru. Reálné simulace rozvoje a likvidace požáru budou provedeny dle standardizovaných taktických postupů používaných HZS ČR. Soubor měření proběhne ve výcvikovém zařízení pro simulaci reálných podmínek požáru. Analýzou z naměřených hodnot bude porovnána účinnost hašení, ochlazování prostoru a vlastní bezpečnost zasahujících hasičů při použití útočného proudu D25 ve srovnání se standardně používaným útočným proudem C52. Na základě vyhodnocených výsledků bude navrženo doporučení o možnostech využití útočného proudu D25 pro likvidaci požárů s charakteristikou vnitřního prostoru.

Seznam doporučené literatury:

- [1] KVARČÁK, M., Základy požární ochrany, Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství Ostravě, 2005, ISBN 80-86634-76-0
- [2] BLAHOŽ, Vladimír a Zdeněk KADLEC, Základy sdílení tepla, Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 1996, ISBN 80-902001-1-7
- [3] KUČERA, Petr, Požární inženýrství: dynamika požáru, Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2009, ISBN 978-80-7385-074-6
- [4] GRIMWOOD, Paul, 3D fire fighting: training, techniques, and tactics, Oklahoma State University, 2005, ISBN 0-87939-258-4

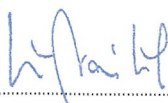
Jméno a příjmení vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Jan Žižka

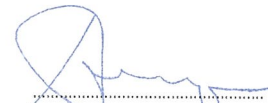
Jméno a příjmení konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **01.10.2018**

Platnost zadání diplomové práce: **18.09.2020**



prof. MUDr. Leoš Navrátil, CSc., MBA, dr.h.c.
podpis vedoucí(ho) katedry



prof. MUDr. Ivan Dylevský, DrSc.
podpis děkana(ky)

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem Možnosti použití útočného vedení D25 při likvidaci požárů ve vnitřním prostoru vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů, které uvádím v seznamu bibliografických odkazů.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Kladně dne 10. 05. 2019.

.....

podpis

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval svému vedoucímu Diplomové práce panu Ing. Janu Žižkovi, za trpělivost, odborné vedení, cenné připomínky a předané zkušenosti při zpracování Diplomové práce. Dále pak děkuji Školícímu a výcvikovému zařízení ve Zbirohu za umožnění provedení experimentálního měření. Poděkování patří také Technickému ústavu požární ochrany Praha, oddělení výzkumu a vývoje a Vysoké škole Báňské – Technické univerzitě Ostrava – Fakultě bezpečnostního inženýrství za poskytnutí měřících přístrojů a odbornou účast při realizaci experimentálního měření.

Abstrakt

Obsahem diplomové práce je zhodnocení možnosti použití útočného vedení D25 při hašení požárů ve vnitřním prostoru. Pro naplnění stanovených cílů jsou v práci prezentovány a porovnány hodnoty získané z provedeného měření z pohledu ochlazující schopnosti nasazení různých útočných proudů v podmínkách požáru ve vnitřním prostoru při změně vybraných vstupních parametrů každého z porovnávaných proudů.

V teoretické části práce jsou uvedeny některé pojmy z dynamiky požáru. V úvodu této části je popsáno základní rozdělení požárů. Jsou zde vyjmenovány vybrané parametry požáru, které ovlivňují nasazení sil a prostředků a použitou taktiku hašení. Následuje popis chemicko-fyzikálních vlastností vody a popis jejího hasebního účinku jako nejdostupnějšího hasiva. Současně je zde popsána taktika hašení při likvidaci požárů, zejména ve vnitřním prostoru. Závěr této části je věnován současnému stavu používaných útočných vedení určených pro hašení požárů v uzavřeném prostoru v České republice i v zahraničí.

Součástí práce je návrh a popis vlastní realizace experimentálního měření porovnávající ochlazovací schopnost útočných vedení C52 a D25 při jejich nasazení na likvidaci požáru ve vnitřním prostoru. Práce představuje použitou metodiku provedeného měření a popis použitých měřicích přístrojů a technických prostředků.

Praktická část se zabývá vyhodnocením dat získaných z vlastního měření. Cílem vyhodnocení byla analýza a porovnání změny teplotního pole při použití vody distribuované ve sledovaném vnitřním prostoru pomocí útočného vedení C52 a nově nastupujícího trendu s využitím útočného vedení D25. V závěru jsou naměřené hodnoty vzájemně porovnány a diskutovány s ohledem na možnost využití útočného vedení D25 při hašení požárů, nejen ve vnitřním prostoru.

Klíčová slova

Útočné vedení, D25, C52, vnitřní prostor, měření, ochlazující schopnost

Abstract

This diploma thesis analyze the possibilities of using D25 hoses for fire extinguishing of inner areas. In order to achieve given goals I present and compare data collected from various tests and measurements. The purpose of these tests was to compare different cooling ability of different hoses usage in conditions during inner area fire.

Theoretical part names some of fire dynamics and it also describes types of fires. It also lists chosen parameters of fires which have the main influence on fire extinguishing strategy used. It also narrows physical and chemical characteristics of water and its impact on fire as the most common fire extinguisher. This part also describes inner area extinguishing tactics. Analysis of current tactics which are meant for fire extinguishing in both the Czech Republic and abroad is at the end of this chapter.

Part of my diploma thesis describes and suggests experimental data collection comparing the cooling ability of C52 and D25 hoses used for fire extinguishing in inner areas. Methods used for mentioned measuring as well as description of used devices and technical means are also covered.

Practical part deals with an analysis of collected data. The main object is the analysis and temperature change comparison in temperature field during water usage in inner areas, for both C52 and D25 hoses. All results are then compared and discussed with regards to the possibility of using D25 hose for fire extinguishing, not only in inner areas but also in other cases.

Keywords

Fire extinguishing, D25 hose, C52 hose, inner area, measuring, cooling ability

Obsah

1	Úvod.....	9
2	Současný stav.....	11
2.1	Teoretický základ.....	11
2.2	Taktika hašení	23
2.3	Situace v ČR.....	32
2.4	Situace v zahraničí.....	36
3	Cíl práce a hypotézy	38
4	Metodika	40
4.1	Návrh měření:	40
4.2	Realizace měření	42
5	Výsledky	57
5.1	Zpracování výsledků	58
5.2	Výsledky při tlaku 0,4 MPa.....	61
5.3	Výsledky při tlaku 0,6 MPa.....	63
5.4	Výsledky při tlaku 0,7 MPa.....	64
5.5	Výsledky při tlaku 0,8 MPa.....	65
5.6	Výsledky při tlaku 1,0 MPa	66
5.7	Měření hustoty tepelného toku	67
5.8	Meteorologická situace.....	68
5.9	Konfigurace měřeného prostoru	69
6	Diskuze	70

7	Závěr	81
8	Seznam použitých zkratek	83
9	Seznam použité literatury	84
10	Seznam použitých obrázků	90
11	Seznamu použitých tabulek	95
12	Seznam příloh	97

1 ÚVOD

Podnět pro téma této diplomové práce vznikl s nástupem nových trendů spojených s likvidací požáru. Jedním z těchto nastupujících trendů je používání útočného hadicového vedení D25. Mnohé z jednotek požární ochrany se v současné době technickými prostředky pro vytvoření bojového rozvinutí s použitím útočného vedení D25 vybavují.

Útočné vedení se skládá z hadicového vedení zakončeného proudnicí a obecně používá při hašení různých druhů požáru. Jedná se například lesní požáry, kdy určitou roli hraje dostupnost, plocha požáru, členitost terénu, převýšení hadicového vedení, nebo způsob šíření požáru. Dalším diskutovaným způsobem využití útočného vedení D25 je použití tohoto vedení při likvidaci požárů ve výškových budovách, nebo naopak využití při požárech sklepních prostor. Jistá specifika vyžaduje i hašení dopravních prostředků. Využití je možné i při hašení požárů v uzavřených prostorách, kdy tento druh požárů vykazuje různé projevy rozvoje požáru a v mnohých případech vyžaduje použití přesně definované techniky dodávky vody do prostoru požáru.

Důvodů nástupu tohoto trendu, je bezpochyby několik. Hadicové vedení je menšího průměru. Vzhledem k menšímu průměru je objem vody v hadicích menší a tedy i manipulace s vlastním hadicovým vedením je při hašení snadnější. Dalším aspektem uváděným pro použití tohoto útočného vedení je menší dodávka vody, kdy průtok vody je ovlivněn nastavením proudnice a tlakem. Kombinovaná proudnice D25 v tomto ohledu umožňuje maximální průtok 230 l/min oproti kombinované proudnici C52, která umožňuje průtok až 415 l/min. Tento důvod je zohledňován mnohdy nedostatkem hasební vody v prvních fázích likvidace požáru, kdy je nežádoucí vysoká spotřeba vody při hašení. Také kultura hašení při některých typech požárů, jako jsou požáry ve výškových budovách, je ovlivněna dodávkou vody do prostoru požáru. Při nevhodném nastavení proudnice je použito nadměrné množství vody, kdy aplikovaná voda do prostoru bez účinku odtéká a způsobuje další škody. Vlastní kultura hašení je ovšem především ovlivněna osobními schopnostmi a zkušenostmi zasahujících hasičů. V souvislostech s použitím útočných proudů s možností nižší dodávky vody, přichází v úvahu správné nasazení těchto technických prostředků a také používání vhodné taktiky při likvidaci požáru.

Vzhledem k velmi široké problematice používání útočného vedení D25 v praxi není možné vyhodnotit veškeré možnosti jeho užití v rámci jedné práce. Po důsledném zvážení bylo vyhodnoceno, že tato práce bude zaměřena na možnosti použití tohoto útočného vedení při hašení požárů ve vnitřním prostoru.

2 SOUČASNÝ STAV

Tématem této práce jsou možnosti použití útočného vedení D25 při likvidaci požárů ve vnitřním prostoru. Pro popsání této problematiky je důležité v této práci rozvést základní koncepci nauky hasičů. Hasiči získávají teoretické zkušenosti při absolvování kurzů ve školících a výcvikových zařízeních, při odborné přípravě vedené na stanicích, při výkonu služby včetně různých taktických a prověřovacích cvičení. Další zkušenosti jsou získávány praktickou formou z účasti při zdolávání mimořádných událostí. Různorodost těchto činností je velmi široká a použití útočného vedení při likvidaci požárů ve vnitřním prostoru je jen jednou z diskutovaných možností jeho nasazení. Přesto, jako každá jiná činnost tak i tato, vyžaduje určitou míru teoretických znalostí, praktických zkušeností a dovedností. Hasiči potřebují mít naučené a zažité taktické postupy, včetně vhodného použití zvolených technických prostředků, základní znalosti o požáru, parametrech požáru, znalosti o vhodné volbě hasiva pro efektivní a úspěšnou likvidaci požáru a znalost technických parametrů používaných věcných prostředků požární ochrany (dále jen „VPPO“).

2.1 Teoretický základ

Hoření

Působením tepla na hořlavé materiály dochází k velkému počtu chemických a fyzikálních pochodů. Základním procesem hoření je chemická reakce, při které dochází vždy k uvolňování tepla a k vyzařování světla. Hoření vzniká a probíhá za určitých podmínek. Potřebná je hořlavá látka ve formě paliva (hořlavá látka), oxidační prostředek (vzdušný kyslík) a teplo (zdroj zapálení). Účinkem tepla na hořlavé materiály dochází také k fyzikálním dějům a chemickým reakcím [1].



Obrázek 1 - Trojúhelník hoření [zdroj autor]

V souvislosti s hořením se používá rozdílné názvosloví **oheň** a **požár**.

- **Oheň** je lidmi řízené a prostorem ohraničené kontrolované hoření,
- **požár** je nekontrolované hoření a prostor není předem ohraničený [1, 2].

Hořlavý soubor je směs okysličovadla s hořlavou látkou, jakmile hořlavá látka začne uvolňovat plynnou složku. Ve většině případů je okysličovadlem kyslík obsažený ve vzduchu. Hořlavý soubor je směs par a plynů se vzduchem [3]. K hoření hořlavého souboru může dojít pouze při splnění určitých podmínek a musí mít určité složení ze strany hořlavé látky i oxidačního prostředku. Hořlavý soubor nebude hořet, dokud mu nebude dodáno dostatečné množství energie pro zahájení chemické reakce. Proces může být zahájen různými zdroji zapálení. Nejčastěji se jedná o zdroje tepelné energie, kterými jsou plamen, elektrický výboj, tepelné záření a další. Výsledkem zapálení hořlavého souboru je vznik těchto dějů:

- Plamenné hoření,
- žhnutí,
- uhelnatění,
- tlení,
- exploze [1].

Průběh hoření lze rozdělit do několika fází:

- Iniciační,
- propagační,
- terminační.

V průběhu fáze iniciační dochází k zapálení hořlavého materiálu, působením tepla. Hořlavý materiál vzplane, vznítí se, nebo dojde k samovznícení. Propagační fáze je charakterizována plamenným nebo bezplamenným hořením a při fázi terminační dochází k dohořívání hořlavého materiálu [1].

Podle skupenství jednotlivých látek hořlavého souboru lze rozdělit na hoření:

- Homogenní,
- heterogenní.

Homogenním hoření má hořlavý soubor složky v jednom skupenství. Mezi tyto se zařazuje hoření hořlavých kapalin a plynů. Plamen je charakteristickým znakem homogenního hoření [1].

Heterogenní hoření má hořlavý soubor složený ze dvou skupenství. Palivem je tuhá látka, oxidačním prostředkem je plyn, například vzdušný kyslík. Pro heterogenní hořením je charakteristickým znakem žhnutí na povrchu hořlavé látky [1].

Tuhé hořlavé látky obvykle při hoření nereagují přímo s oxidačním prostředkem (kyslíkem), ale samotnému hoření předchází tepelný rozklad za vzniku plynných produktů a par. Pokud je tato směs hořlavá, dojde k promísení s kyslíkem a za příznivých podmínek k plamennému hoření. Působením tepla na některé pevné látky dochází ke změně skupenství. U zkapalněných látek dále probíhá odpařování a tepelný rozklad je provázen úbytkem hmotnosti. Vzniklé plynné produkty a páry se mísí s oxidovadlem a vytváří směs. Pokud je směs hořlavá, po dalším působení zdroje tepla hoří [1].

Plamen je nejčastějším projevem hoření látek. Vlastní charakter plamene může být velmi odlišný. Plamen je charakteristický pro homogenní hoření směsi plynů, které nemají povrchové rozhraní a má zásadní vliv na rozvoj požáru. Při hoření se můžeme setkat s plameny svítivými a nesvítivými [1].

Pro hoření, nebo pro požáry hořlavých látek je charakteristický takzvaný difusní plamen. Difusní plamen lze rozdělit na zónu:

- Předehřívání,
- reakce,
- svítící,
- spalin.

V zóně předehřívání se vyskytují jenom hořlavé plyny a páry. Ty se vlivem přenosu tepla zahřívají na teplotu blízkou teplotě plamene a při ohřevu se mohou rozkládat. Na zónu předehřívání navazuje zóna reakce. V zóně reakce probíhá vlastní chemický proces hoření. Na zónu reakce navazuje velmi slabá vrstva, kde probíhá vyzařování světelné energie. Následně navazuje zóna spalin, kde vznikají spaliny, které jsou produktem chemické reakce hoření látek a vzniká kouř [1].

Požár

Vznik požáru lze považovat za přechodný jev. Tento je závislý na teplotě okolí, podmínkách zahřívání nebo samozahřívání a na akumulaci tepla v prostředí hořlavých látek. Pro vznik požáru je nezbytné, aby hořlavé látce byla dodána potřebná tepelná energie, která zajistí dostatečné uvolnění hořlavých plynů pro vytvoření hořlavé směsi se vzdušným kyslíkem. Aby byly splněny podmínky samovolného pokračování procesu hoření především u tuhých a kapalných látek a dalšího rozvoje požáru, je nezbytnou podmínkou uvolňování dalších hořlavých plynů z hořlavých materiálů. Podmínky iniciace procesu hoření úzce souvisí s koncentrací paliva a oxidačního prostředí [1]. Nejčastějším oxidačním prostředkem u požárů je vzdušný kyslík, který je obsažen ve složení atmosféry v objemu 21 %. Funkci oxidačního prostředí mohou plnit i jiné látky s oxidačními vlastnostmi [4].

Požáry lze rozdělit do skupin podle předem dohodnutých charakteristických všeobecných, nebo dílčích znaků. Mezi tyto znaky, které jsou společné pro všechny typy požárů, patří:

- Způsob výměny plynů,
- vlastnosti hořících látek,
- možnosti šíření požáru,
- doba trvání požáru,
- poloha požáru.

Důvodem členění je rozdělit požáry do obecných a specifických tříd a tím získat poznatky o požáru. V důsledku toho lze hodnotit situaci na místě zásahu, způsob vedení zásahu, nebo charakterizovat podmínky na místě. Nejčastěji požáry dělíme podle podmínek výměny plynů a tepla s okolním prostředím na:

- Požáry na otevřeném (volném) prostranství,
- požáry v uzavřeném (ohraničeném) prostoru [1].

Požáry na otevřeném prostranství mají dostatek oksyličovadla v podobě vzdušného kyslíku a jsou ovlivněny především množstvím a druhem hořlavé látky (paliva). Jistý vliv na požáry tohoto typu mají meteorologické podmínky.

Požáry v uzavřeném prostoru jsou řízeny především ventilací neboli přístupem oksyličovadla do prostoru požáru. Požár je omezen množstvím oksyličovadla v ohraničeném prostoru stavebními konstrukcemi. Další podrobnosti požárů ve vnitřním prostoru jsou popsány na straně 20.

Požáry rozlišujeme i podle dalších charakteristických znaků. Druhy požárů členíme podle:

- Skupenství hořlavých látek,
- typu objektu,
- podle polohy a místa požáru,

- podle průběhu požáru.

Dalším kritériem je velikost požáru:

- Plocha požáru,
- doba hašení,
- výše škod,
- nasazené množství sil a prostředků [1].

Prostor, ve kterém probíhá požár a všechny jevy, které požár doprovázejí, dělíme na vzájemně související pásma. Jedná se o pásma:

- Hoření,
- přípravy,
- zakouření.

Pásma hoření je část požáru, kde probíhají procesy tepelného rozkladu a tavení pevných hořlavých látek, odpařování hořlavých kapalin a hoření produktů rozkladu v objemu difusního plamene. Toto pásmo představuje objem plynů a par, který je ohraničen povrchem plamene a hořících látek. V některých případech může být pásmo hoření ohraničeno konstrukcemi budov a jinými aparáty. Hoření probíhá ve svítící vrstvě plamene. Pro zjednodušení se pod povrchem hoření rozumí povrch pevných a kapalných hořlavých látek, ze kterého se v důsledku tepelného působení uvolňují hořlavé plyny a páry. Při požárech v budovách se pásmo hoření může vyskytovat i mimo vnitřní prostory objektu. Produkty tepelného rozkladu z důvodu nedostatku kyslíku neshoří uvnitř prostor a v důsledku výměny plynů se dostávají otvory ve stavebních konstrukcích i mimo vnitřní prostory budov [1].

Pásma přípravy je prostor požáru, který navazuje na pásmo hoření a kde dochází k působení uvolněného tepla vedením, prouděním a sáláním na materiály a stavební konstrukce. U nehořlavých látek dochází k akumulaci tepla a procesům, které souvisí se změnou teploty konkrétní látky. Dochází například k roztaživosti, tím ke změně rozměrů u oceli a snižuje se její pevnost. U nehořlavých stavebních hmot dochází

k uvolňování volné i vázané vody a tím se mění jejich vlastní fyzikální vlastnosti. Mění se zejména měrná hmotnost, tepelná vodivost a kapacita. Odpadáváním jejich částic dochází k destrukci materiálu. Jiné hmoty mohou měnit své skupenství. U pevných hořlavých látek, vlivem nárůstu teploty dochází k odpařování vody a rozkladu za vzniku plynných produktů a tuhého zbytku. Hořlavé kapaliny se působením tepla vypařují a rozkládají. Velikost a tvar pásma přípravy je závislá na velikosti teploty požáru a přenosu tepla. Teplo uvolněné požárem se může šířit do okolí vedením přes stavební konstrukce. Plameny, spaliny a zahřáté konstrukce vyzařují tepelnou energii do svého okolí jak uvnitř, tak vně objektu [1].

Pásmo zakouření je část prostoru požáru, který navazuje na prostor hoření. Toto pásmo je zaplněno plynnými a drobnými pevnými produkty hoření než dojde k jejich rozptýlu do volného prostranství. U požárů na volném prostranství toto pásmo závisí na intenzitě požáru, druhu hořící látky a meteorologických podmínkách. Plocha požáru, její růst a intenzita hoření má vliv na velikost pásma zakouření. V objektech ovlivňuje pásmo hoření nejvíce vlastní stavební řešení objektu, počet a rozmístění otvorů, nebo instalovaná vzduchotechnika [1].

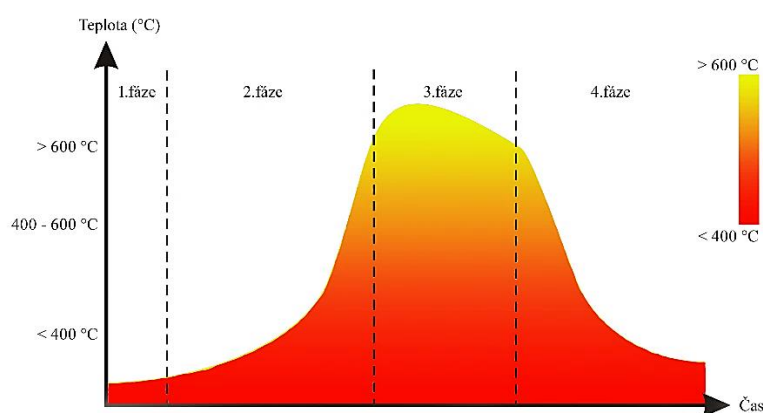
Požár je popisován parametry požáru. Tyto parametry se mění v čase. Jsou-li známé parametry požáru, můžeme určit množství sil a prostředků k úspěšné likvidaci požáru, nebo samotný růst plochy a obvodu požáru. Hlavními parametry požáru jsou:

- Plocha požáru,
- obvod požáru,
- fronta požáru,
- lineární rychlost šíření požáru,
- rychlost odhořívání,
- výška plamene,
- teplota požáru,
- intenzita výměny plynů,
- intenzita sálání,
- stupeň zakouření [5].

Průběh požáru

Z pohledu času a teplotní charakteristiky můžeme požár rozdělit do čtyř fází [6].

- Vznik,
- rozvoj,
- plné rozvinutí,
- dohořívání [1, 6].



Obrázek 2 - Fáze požáru [zdroj autor].

Vznik požáru - na začátku procesu hoření je nezbytné, aby materiál zahřátý na kritickou teplotu degradace a současně rychlost hořlavých produktů byla dostatečná na vytvoření hořlavé směsi s kyslíkem. Iniciace a její podmínky jsou omezeny druhem a množstvím hořlavých látek a obsahem kyslíku. Dále vznik závisí na typu, tepelné kapacitě zdroje zapálení a dobou tepla působícího na hořlavý materiál [1, 6].

Rozvoj požáru - je závislí na propagaci procesu hoření a jeho iniciační fázi. Požár se rozvíjí podle podmínek, kdy musí být v prostoru dostatečné množství oxidovadla a musí být zajištěny podmínky pro dostatečné ohřívání hořlavých látek a tím dostatečné uvolňování hořlavých par a plynů vlivem tepelné degradace. Postupným šířením plamene, odhoříváním materiálů a sdílením tepla se mohou zapálit ostatní hořlavé látky v prostoru [1, 6].

Plně rozvinutý požár - v této fázi shoří až 80 % přítomných hořlavých látek. Dřevo je reprezentantem hořlavého materiálu. Ostatní materiály se přepočítávají na ekvivalentní normovou výhřevnost dřeva mimo některé typy požárů, které jsou řízeny povrchem paliva například u nádrží hořlavých kapalin. Charakteristické pro tuto fázi požáru je rozšíření se na většinu prostoru v místnosti a všechny přítomné hořlavé materiály. Rychlost hoření je ovlivněna množstvím přítomného kyslíku v prostoru. Teploty plynů dosahují 500 až 600 °C [1, 6].

Dohořívání - fáze, která je charakterizována poklesem teploty a končící okamžikem trvalého poklesu teplot, kdy už většina hořlavých látek vyhořela [1, 6].

Doba trvání jednotlivých fází požáru je závislá na geometrii prostoru, fyzikálně chemických charakteristikách materiálu a ventilačních podmínkách. Obecně lze říci, že pokud materiál bude ochlazovaný, dojde k uhasnutí. Většina požárů začíná na malé ploše ve fázi rozhořívání. Hořlavý materiál je odizolován od okolního prostoru. V určitém stupni dochází k nahromadění velkého množství hořících par a plynů a tím se v objektu vytvoří zóna, kde po dosažení kritické teploty nahromaděné plyny vzplanou, nebo se vznítí a požár přechází do stavu plně rozvinutého [1, 6].

Průběh požáru ovlivňuje zásadně teplota v prostoru hoření. S teplotou se mění vlastnosti hořících materiálů a stavebních konstrukcí. Také se urychlují procesy hoření a tím se zhoršují podmínky pro zásah požárních jednotek. Teplotou požáru u požárů na volném prostranství rozumíme střední hodnotu teploty plamene. U požárů uvnitř objektu je teplotou požáru střední hodnota teploty zplodin hoření ve směsi se vzduchem. Teplota požáru se neustále mění v prostoru i čase [1].

Při požárech v uzavřených prostorách je výměna plynů a tepla složitá. Tato výměna je závislá na stavebním řešení objektu a to především výškou místností, počtem, rozmístěním a velikostí stavebních otvorů. Při výměně plynů je odváděno značné množství tepla z prostoru hoření. U rozvinutých požárů, kdy je teplota přesahuje 800 °C, je převazující složkou přenosu tepla záření. Tento přenos tepla způsobuje ohřev okolních konstrukcí a materiálů, jejich vlastní přípravu k hoření, případně jde-li o hořlavé látky i zapálení. Intenzivní záření znemožňuje vést zásah v blízkosti prostoru hoření [1].

Požáry ve vnitřním prostoru

Požáry ve vnitřním prostoru lze definovat jako požáry, které probíhají uvnitř objektů ohraničených stavebními konstrukcemi. Rozvoj požáru v uzavřeném prostoru nesouvisí pouze s množstvím a druhem hořlavého materiálu, ale také na rozměrech a geometrii objektu, na druhu a těsnosti konstrukcí a především na ventilaci prostoru. Požár je také ovlivňován množstvím uvolněného a odvedeného tepla [1].

Jak je již výše zmíněno, požáry ve vnitřním prostoru jsou ovlivněny především ventilací. To znamená, že při těchto požárech je omezeno množství vzduchu s obsahem kyslíku pouze na prostor ohraničený stavební konstrukcí. Další přívod vzduchu zajišťují především stavební otvory, ventilace, klimatizace a jiné netěsnosti ve stavebních konstrukcích. Pokud je přívod vzduchu dostatečný, hořlavé látky shoří a oheň se šíří především směrem k otvorům [1]. Síla požáru je přímo ovlivněna přístupem vzduchu [7]. Teploty v prostoru dosahují 500 °C až 600 °C a může dojít k prostorovému hoření většiny hořlavých látek. Prudce vzrůstá teplota a požár se šíří velmi rychle na ostatní hořlavé materiály. Vlivem takto silné tepelné expozice se narušuje celistvost stavebních konstrukcí a to především oken a dveří. Požár následně probíhá podobně jako požár venkovní, ovšem není téměř ovlivňován meteorologickými podmínkami [1].

Pokud lepší odolnost a těsnost konstrukcí nedá možnost vzniku otvorů pro odvětrání, v prostoru požáru v tomto důsledku klesá obsah kyslíku. Plamenné hoření postupně ustává a mění se v hoření bezplamenné (žhnutí). Stoupá objem oxidu uhelnatého a dalších nespálených produktů hoření, které jsou hořlavé i výbušné. Vlivem uvolněného tepla jsou tyto plyny zahřáty nad teplotu jejich zapalitelnosti a k hoření chybí pouze oxidační prostředek. Pokud nedojde k vytvoření otvoru pro odvětrání, dochází ke snížení intenzity hoření a vývinu tepla. Vrstva plynů postupně klesá k podlaze. Pokud ovšem vznikne, nebo je vytvořen dostatečně velký otvor pro přívod oxidačního prostředku a plyny mají teplotu nad teplotou vznícení, může dojít nelineárnímu rozvoji požáru [1].

Výjimkami jsou požáry velkých skladovacích hal, průmyslových objektů, nebo supermarketů, které svými rozměry simulují venkovní požáry [1].

Nelineární rozvoj požáru

Požáry provázejí také jevy, které se nemusí vyskytovat často. Pokud k těmto jevům ovšem dojde, jsou intenzivní a nebezpečné. Obecně se označují termínem nelineární průběh rozvoje požáru. Po jejich vzniku dochází k velkým rychlým nárůstům teploty a ke změnám v průběhu požáru. Z těchto nelineárních jevů je nezbytné zmínit například **rollover**, **flashover**, **backdraft** a **smoke explosion** [1].

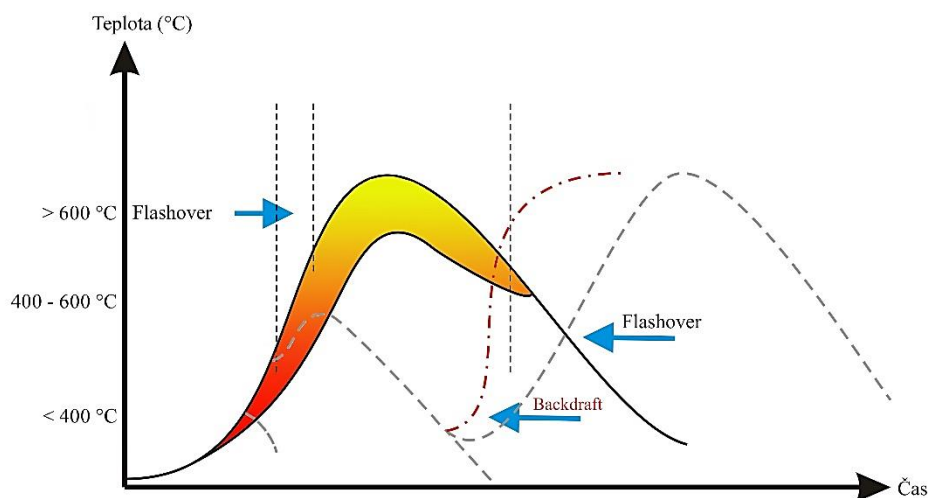
Flashover vzniká při požárech uvnitř uzavřeného prostoru. Tento jev znamená v podstatě přeskok, nebo celkové zapálení. Pojem celkové zapálení definuje tento jev přesněji. V praxi se často používá termín celkové vznícení. Teplo uvolněné hořením se do prostoru šíří formou sálání, vedení a záření [8]. Vznikající plameny, horký povrch hořících látek a zahřátý povrch ostatních látek v prostoru, vyzařují teplo do okolí. Intenzita vyzařování závisí na teplotě horkých povrchů, na jejich schopnosti vyzařovat a také na velikosti vyzařované plochy. Největší podíl na sdílení tepla do okolí má po vzniku požáru vedení ve formě horkých spalin a následně horkého kouře. S rozvojem požáru roste tepelné působení na všechny okolní hořlavé látky. Po dosažení teploty vzplanutí plameny přeskakují na další a další hořlavé látky. Po přeskoku plamenů narůstá prudce teplota v prostoru. Při tomto ději přechází požár skokově do požáru rozvinutého. Flashover není jev, ke kterému při požárech ve vnitřním prostoru dochází vždy. Je zásadně ovlivněn podmínkami v prostoru, kde požár vznikl. Zásadními podmínkami pro vznik flashoveru jsou velikost, těsnost a hodnota požárního zatížení prostoru. Jinými slovy množství uvolněného tepla. Tento jev může vzniknout pouze tehdy, pokud dochází ke sdílení uvolněného tepla na okolní konstrukce [1].

Smoke Explosion je další z jevů nelineárního rozvoje šíření požáru, který může vznikat při požárech ve vnitřním prostoru. Pokud se požár rozvíjí v relativně těsném prostoru, hoření po nějakou dobu pokračuje vlivem drobných netěsností. K těmto netěsnostem patří například netěsnost okolo oken, dveří, nebo okolo technologických prostupů. Oproti tomu musí být ohraničující konstrukce dostatečně odolná. V této situaci hoření pokračuje a neustále stoupá teplota a množství kouře. Rozhraní mezi vrstvou kouře a vzduchu, neustále klesá. Toto rozhraní se nazývá neutrální rovina. Hoření se v prostoru postupně utlumuje z důvodu nedostatku kyslíku. V kouři jsou obsaženy i hořlavé páry a plyny z tepelného rozkladu hořlavých látek [9]. Hoření probíhá nedokonale

za neustálého vývinu dalších hořlavých plynů. Tyto plyny, zabírají po určitém časovém úseku mnohem větší objem v prostoru než původní hořlavé látky. Pokud dojde náhle k porušení konstrukce vlivem vyššího tlaku v prostoru požáru, unikají tyto hořlavé plyny do okolních prostor. Plyny se mísí se vzduchem a vzniká hořlavá směs, která má dostatek energie k zahájení procesu hoření. Vysoká rychlost celého děje se projeví na promísení plynů se vzduchem a na následném intenzivním hoření. Hoření probíhá explozivně [1].

Backdraft vzniká tehdy, pokud není zajištěn přísun kyslíku do místa požáru po delší dobu. Bez přístupu vzdušného kyslíku se plamenné hoření utlumuje a přechází na hoření bezplamenné (žhnutí). Teplota v prostoru klesá, ovšem tepelný rozklad nadále pokračuje. Prostor obsahuje dostatečné množství plynů a par zahřátých nad teplotu zapalitelnosti. Pokles teploty způsobuje snížená produkce tepla hoření s dostatečným odvodem tepla přes stavební konstrukce. Plyny snižují svůj objem vlivem tepelné roztaživosti a neutrální rovina stoupá [10]. Pokud v této fázi požáru dojde k vytvoření dostatečného otvoru pro přívod vzdušného kyslíku, může být navozen tento jev. Ačkoliv je hoření velmi intenzivní a teplota při něm rychle narůstá, není tolik objemové jako při flashoveru [1].

Rollover je odvalování plamene pod stropem. Rollover vzniká, pokud se v počáteční fázi požáru nahromadí nespálené plyny u stropu. Nespálené plyny jsou tlakem z prostoru požáru vháněny do nezasazených prostor požárem, kde se mísí s kyslíkem. Pokud dosáhnou teploty vznícení, začnou hořet a požár se dále šíří [3, 11].



Obrázek 3 - Graf vzniku nelineárních rozvoje požáru [zdroj autor].

2.2 Taktika hašení

Nasazení sil, prostředků a způsob směřující k úspěšné likvidaci požáru, můžeme souhrnně nazvat taktikou zdolávání požárů. Pro Hasičský záchranný sbor (dále jen „HZS“) České republiky (dále jen „ČR“), jsou taktické postupy sjednoceny v podobě metodických listů v bojovém řádu. Z bojového řádu lze identifikovat požáry, které charakterizují požáry v uzavřeném prostoru. Pro takzvaná bojová rozvinutí používá HZS ČR jako metodiku Cvičební řád. Další používanou metodikou pro úspěšné zdolávání mimořádných událostí jsou Konspekty odborné přípravy I a II. Důležité je zmínit, že v žádné z výše jmenovaných metodik není nikde ukotveno používání útočného vedení D25, kromě Bojového řádu jednotek požární ochrany kapitoly P 21 – Lesní požáry. Tato kapitola obsahuje mimo jiné úkony, které jsou nezbytné vykonat pro úspěšnou likvidaci požáru. Mezi tyto úkony patří *„nasadit k hašení požáru techniku a věcné prostředky úměrné k jeho intenzitě a šíření a k dostatku hasební vody (útočné proudy umožňující lehkou manipulaci a snižující spotřebu hasiva (např. vysokotlaký proud, D proud), jednoduché hasební prostředky (lopaty, tlumnice) a jiné ženijní nářadí“* [12].

Z bojového řádu přímo vychází, že zdolávání požáru je hašení požáru s použitím hasiv, rozebírání konstrukcí a odvětrání místa požáru od zplodin hoření. Pro provedení těchto činností se nasazují síly a prostředky, provádí bojová rozvinutí. Velitel dbá při nasazování sil a prostředků, aby bylo dosaženo lokalizace a likvidace požáru co nejučelněji [13].

Na každou hořlavou látku není možné použít stejný druh hasiva. Z tohoto důvodu je nezbytné znát fyzikálně chemické jevy a podmínky hoření. Přerušení procesu hoření lze docílit různými způsoby. Hoření můžeme přerušit výběrem a použitím vhodného hasiva, nebo mechanicky pomocí tlumice apod. Pokud není vybráno vhodné hasivo, nebo je na místo dodáváno nevhodným způsobem, nemusí být hašení efektivní, může trvat příliš dlouho a požár se i přes úsilí zasahujících hasičů může dále šířit. Následkem toho vzrůstají škody způsobené požárem. Jak je popsáno výše, při procesu hoření je uvolňováno velké množství tepla mimo oblast hoření. Hašení má za cíl zmenšit rychlost uvolňování tepla, nebo uvolňované teplo odvést z pásma hoření. Toho lze dosáhnout:

- Zředěním reagujících látek, které vstupují do pásma hoření látkami nehořlavými,
- izolací pásma hoření od pásma přípravy,
- chemickým zpomalováním procesu hoření,
- ochlazováním pásma hoření [14].

Hašení vodou

Hašení vodou je nejběžnější způsob likvidace požáru. Voda je nejběžnějším hasivem také pro různorodost hasebního efektu, pro svůj široký výskyt a dostupnost [5, 15].

Čistá voda (H_2O), je bezbarvá kapalina bez chuti a zápachu, v silné vrstvě namodralá. Voda se vyskytuje ve skupenství kapalném, plynném i pevném [16]. Vzhledem k tomu, že voda sehrává důležitou roli v životě člověka, je mnoho fyzikálních konstant odvozeno od vlastností vody. Například základní body Celsiovy teplotní stupnice jsou odvozeny od skupenských změn vody. Teplota, kdy existuje vedle sebe voda a led, je nulovým bodem Celsiovy stupnice [17]. Při tuhnutí se objem vody zvětšuje o 10 %. To bývá příčinou například roztržení nádob, nebo armatur i hadic, pokud tyto hadice nejsou dostatečně elastické. Teplota varu je definována bodem, kdy voda vře za normálního tlaku. To je teplota 100 °C. Přejdem kapalnou formu na vodní páru se změní objem vody 1700 krát [5, 18].

Tabulka 1 - Zvětšení objemu při změně skupenství vody z kapalného na plynnou [5].

Zvětšení původního objemu vody odpařením při různé teplotě požáru	
Teplota [°C]	Zvětšení objemu
100	1700 x
250	2400 x
650	4200 x

Měrná hmotnost vody se mění s teplotou. Maximální měrné hmotnosti voda dosahuje při 4 °C, kdy se měrná hmotnost rovná jedné. Nad teplotou 4 °C a pod touto teplotou je měrná hmotnost vody vždy menší. Voda o teplotě 4 °C klesá ke dnu a lehčí led plave a vytváří vrstvu proti dalšímu zamrznání. Tomuto jevu se říká anomálie vody. Pro správné použití je třeba brát v úvahu i možný termický rozklad vody a elektrickou vodivost.

K termickému rozkladu ovšem při teplotách běžného požáru nedochází. K tomuto jevu dochází až při vyšších teplotách [5].

Hasební účinek vody lze zvyšovat přidáváním různých chemikálií v podobě různých smáčedel, nebo pěnotvorných přísad. Smáčedla jsou povrchové aktivní organické sloučeniny, které výrazně snižují povrchové napětí vody. Tyto vlastnosti se využívají v hasební technice [5].

Největším hasebním efektem vody je ochlazování. Voda má vysokou hodnotu výparného tepla. Proto z požáru může pohltit velké množství tepla při přeměně z kapalné na plynnou fázi, kdy odebere z ohně 2257 kJ na kilogram vody (litr vody) [19, 20]. Další literatura uvádí, že chladicí schopnost vody je 2,6 MW ($2,6 \text{ MJ}\cdot\text{s}^{-1}$) [21]. Výzkumy ovšem uvádějí, že v praxi při reálných zásazích je možné počítat přibližně s jednou třetinou této hodnoty. To je přibližně 0,8 MW. Velké množství hasiva je bez účinku z důvodu odtoku z místa požáru [15].

Při hašení vodou se hořící látky se ochladí pod bod vzplanutí a hoření je přerušeno. Kromě toho voda působí i dusivým způsobem. Odpařením vody se zvětší její objem a vzniklá pára vytěsňuje z požářiště vzdušný kyslík. Pokud ovšem hoří některé vybrané látky neplamenným způsobem, je dusivý efekt vody nevýznamný. To způsobuje dostatek kyslíku v molekulách například dřeva, textilií a jiných [5].

Hasební účinek vody je ovlivněn vlastnostmi hořlavých látek, velikostí kapiček vody, intenzitou dodávky vody a přísadami chemikálií. Voda se používá především při požárech žhnoucích látek v podobě sprchového, nebo plného proudu. Při požárech uhlovodíků s teplotou vyšší než 80 °C v podobě sprchového proudu. V uzavřených místnostech v podobě mlhového proudu, nebo vodní páry. Hasební účinek je ovlivněn vlastnostmi hořlavých látek, intenzitou dodávky, přísadami a velikostí kapiček vody [5]. Podle konspektu 1-3-01 Požární taktiky jsou ideální kapičky o velikosti 0,1 až 1 mm. Tato velikost je dosažena u proudnic kolem tlaku 0,4 MPa [5]. Ideální velikost kapiček pro hašení požárů ve vnitřním prostoru je podle výsledků některých výzkumů uváděna mezi 0,2 až 0,6 mm, kdy optimální velikost je 0,4 mm [15]. V současné době je také některými výrobci pracovní tlak pro optimální funkčnost proudnice 0,7 MPa.

Vodní proud

Vodní proudy dělíme podle tvaru na:

- Plný proud,
- sprchový proud,
- mlhový proud.

Plný proud je proud s rovnoběžnými okraji. Tento proud je používán pro dosažení dlouhého dostřiku nebo síly proudu. Tímto proudem je minimalizováno nebezpečí opaření. Jeho dráha letu je kompaktní až ke dvěma třetinám délky letu. Zbytek dráhy je proud roztráštěný. Kompaktní proud má velký dostřik, průnikovou sílu. Při požárech ve vnitřním prostoru téměř nenaruší teplotní rozvrstvení a absorbuje málo tepla [5]. Definice vyplývající z konspektů odborné přípravy lze doplnit tvrzením, že míra narušení teplotní vrstvy je ovlivněna tím, zda se voda při průletu setká s horkým povrchem. Dalším upřesněním je vztah vedoucí ke snížení nebezpečí opaření zasahujících hasičů. Tvrzení lze předpokládat, že se nejedná o zásah ve vnitřním prostoru, ale o zásah z vnějšího prostoru budovy, nebo o vnější požár [15].

Sprchový proud obsahuje všechny formy tříštění proudu mezi proudem plným a mlhovým. Voda vychází z proudnice v roztráštěném stavu. Tím lze dosáhnout co největšího rozptýlení hasiva. Kapky jsou nepatrně větší než u mlhového proudu a tím mají větší pronikavost [5]. Sprchový proud je tvořen proudnicí, kdy vhodně tvarované lopatky a štěrby v proudnici udávají rotaci vodě. Sprchový proud také může vzniknout nárazem vody do pevné překážky, nebo nárazem na vhodně tvarovanou překážku apod. [15].

Mlhový proud mechanicky rozptyluje vodu na malé kapičky. Mlhový proud má vzhledem k hmotnosti kapek omezenou dráhu letu prostředím [15]. Kvalita rozprašení se posuzuje podle velikosti kapiček. Čím menší je průměr kapek je, tím větší je plocha povrchu, která pohlcuje teplo. Tím je dosaženo většího ochlazovacího účinku [5]. Malé kapky mlhového proudu umožňují provádět formy hašení, které jsou výhodné vzhledem k dobrému poměru mezi vodou, která se spotřebuje na hašení požáru a vodou, která bez efektu opustí prostor požáru, případně vyplní prostor přehřátou párou.

Průtok je objem nebo hmotnost tekutiny, která protéká daným průtočným průřezem za určitý čas. Udává se v $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ nebo v $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$. V požární ochraně se obvykle používají $\text{l} \cdot \text{min}^{-1}$ [5].

Délka dostřiku je vodorovný dosah proudu hasební látky. Stanovuje se v metrech pro kompaktní proud. Délka závisí na tlaku a výstřiku z proudnice, jejím průměru a úhlu sklonu. Největší je při úhlu přibližně 32° s vodorovnou rovinou [5].

Aplikace vody do prostoru požáru

Podle konspektů odborné přípravy 1-3-01 Požární taktiky je hašení požárů v uzavřeném prostoru spojeno s ventilací a může být použito mlhových proudů. Ventilací otvory v tomto případě umožní odvod kouři, tepla a páry. Pokud nejsou vytvořeny ventilační otvory, nebo jsou ventilační otvory nedostatečné, je nutné používat plný proud namířený na spodní část plamenů, protože se nevytváří tolik páry a není přisáváno velké množství vzduchu. Nedochází tak k narušení teplotního rozvrstvení v uzavřeném prostoru [5].

Hašení požáru může být prováděno podle rozsahu požáru, typu proudnic a podle výměny plynů na požářišti. S ohledem na tyto skutečnosti je možné provádět za účelem likvidace požáru: [5]

- Přímé hašení,
- nepřímé hašení,
- kombinované hašení [5],
- objemové hašení [15].

Přímé hašení je prováděno z malé vzdálenosti plným proudem. Voda je aplikována v krátkých intervalech přímo do pásma hoření. Pokud by byla dodávka vody do prostoru vysoká, zvýšil by se objem páry a snížila by se neutrální rovina a tím hrozí popálení zasahujících hasičů [5, 15]. Při použití této aplikace vody se nestíhá odpařit až 2/3 vody, která zůstává nevyužitá. Tato nevyužitá voda působí další potíže, například ve vícepodlažních budovách stékáním vody do nižších podlaží [15].

Při použití taktiky nepřímého útoku je možné použít plný i sprchový proud namířený na strop. Proud, který je tímto způsobem aplikován do prostoru horkých plynů, způsobuje vývin velkého množství páry. Je nezbytné proto aplikovat vodní proud do prostoru přerušovaně tak, aby nedošlo k narušení teplotního rozvrstvení [5]. Tato metoda je velice efektivní. Aplikace vody na horké povrchy, způsobuje vývin velkého množství páry, která působí jako hasivo chladícím efektem a dusivým efektem. Přesto je tento způsob aplikace vody vhodný spíše pro použití z vnější strany požáru. Při použití ve vnitřním prostoru přináší rizika ve formě popálení [15].

Kombinovaným útokem je využívána kombinace výše popsaných typů útoku. Při aplikaci vody do prostoru se využívá pohyb proudnicí ve tvaru písmen „Z“, „O“, nebo „T“. Hašení je třeba začínat vždy nasměrováním proudu do horkých plynů [5].

Objemové hašení je známo také jako 3D hašení. Tato technika je založena na dodávce vody do prostoru o velikosti kapiček, které při průletu prostředím nestihnou dopadnout na horký povrch konstrukcí. Objemové hašení lze považovat za ochlazování, které je využíváno především v souvislosti s ochranou zasahujících. Při tomto způsobu hašení nevzniká přebytečné množství páry, protože voda je dodávána do prostoru tak, že se stihne odpařit před dopadem na zem. To ovlivňuje především velikost kapiček, kdy ideální velikost je mezi 0,2 až 0,4 mm a technika aplikace vody do prostoru požáru [15].

Technika 3D hašení

Technika hašení při požárech v uzavřených prostorách vyžaduje specifickou práci s proudnicí a schopnost reagovat na vyvíjející se podmínky při požáru. Vhodnou proudnicí pro hašení těchto požárů je ručně ovládaná kombinovaná proudnice s nastavitelným průtokem a umožňující nastavení z plného proudu do sprchového pomocí hubice. Dalším z požadavků je specifický druh úchopu proudnice, kdy tento úchop umožňuje následnou manipulaci a práci s proudnicí. Držení proudnice tímto způsobem umožňuje optimální dodávku hasební vody do prostoru požáru, s ohledem na situaci a vývoj požáru v uzavřeném prostoru. Cílem dodávky vody do prostoru je maximální využití hasebních účinků vody ochlazováním a k využití inertních účinků ve formě páry. Držení proudnice a používaná dodávka vody byla převzata porovnáním různých technik

používaných ve světě, a v České republice je zpracována v podobě návrhu národní metodiky práce s proudnicí při požárech v uzavřeném prostoru [22].

Při požárech v uzavřeném prostoru používá několik technik s různými cíli:

- Krátký puls,
- dlouhý puls,
- opačný dlouhý puls,
- technika tužky,
- technika malování,
- technika použití šítu [22].

Pro zvládnutí uvedených postupů a pro jejich efektivní používání při požárech v uzavřeném prostoru je potřebný intenzivní výcvik. Výcvikem se hasiči naučí reagovat na vzniklé přechodné jevy při těchto požárech a adekvátně požívat vodní proud s ohledem na rizika vzniklá s nesprávnou dodávkou vody.

Technické prostředky používané pro útočná hadicová vedení

Pro likvidaci požárů se používá bojové rozvinutí [23]. Provedení bojového rozvinutí se provádí v rámci rozsahu práce jednoho družstva, nebo družstva o zmenšeném početním stavu. Toto rozvinutí se skládá z přívodního, dopravního a útočného vedení. Útočné vedení je hadicové vedení daného průměru zakončené proudnicí. K vytvoření útočného vedení při likvidaci požárů ve vnitřním prostoru se využívá tlakových požárních hadic a kombinované proudnice..

Tlakové požární hadice podle ČSN 80 8711, jsou používány k dopravě vody a vodních roztoků pěnidel a smáčedel [24]. Tlaková požární hadice se v nenaplněném stavu může naplocho složit a stočit. Tlakové hadice se v dobách minulých vyráběli z tkaných přírodních vláken. Tyto hadice se v současnosti již nepoužívají. V současné době se používají hadice izolované s gumovou vložkou. Tyto hadice jsou polyesterové s tenkostěnnou pryžovou, nebo polyuretanovou vložkou. Používají se i hadice oboustranně povrstvené. Tento typ hadic je vyroben ze syntetických vláken a oboustranně

povrstven vysoce kvalitní pryží. Takto upravené hadice jsou odolné zvenku i zevnitř většinou chemikálií. Oproti klasickým hadicím mají deseti násobně větší odolnost proti otěru. Oba druhy současně používaných hadic umožňují požití při teplotách -30 °C až +50 °C, krátkodobě až +80 °C [25]. Hadice jsou na obou koncích zakončeny tlakovými spojkami. Spojky odpovídají průměru hadice a jsou navázány na konec hadice pozinkovaným drátem [26].

Označení hadic a vnitřní průměry:

- Hadice A - vnitřní průměr 110 mm, délka 20 m,
- hadice B - vnitřní průměr 75 mm, složená má šířku 120 mm a vyrábí se v délce 20 metrů $\pm 5\%$ a v délce 5 m, obsah vody ve 20 metrové hadici je přibližně 82 litrů,
- hadice C - vnitřní průměr 52 mm, která je ve složeném stavu široká 85 mm, vyrábí se v délce 20 m $\pm 5\%$, obsah vody je 42 litrů ve 20 metrech hadice, váha prázdné hadice je přibližně 4,7 kg,
- hadice D - vnitřní průměr 25 mm, používá se u nástěnných hydrantů, džberových stříkaček a podobně, vyráběny jsou v různých délkách, kdy nejkratší má délku 5 m, a nejdelší 25 m [25], obsah vody je 10 litrů ve 20 metrech, váha prázdné hadice je 2,7 kg.

Tlakové vlastnosti hadic:

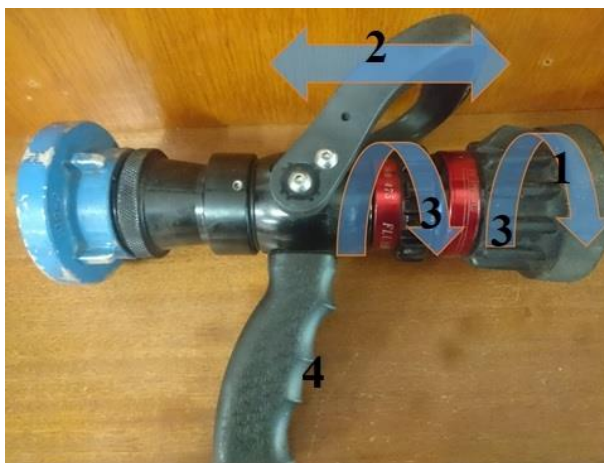
- Pracovní tlak (s navázanými spojkami) 1,6 MPa,
- zkušební tlak (bez navázaných spojek) 2,4 MPa,
- destrukční tlak (bez navázaných spojek) 4,9 MPa.

Hadice nesmí při zkušebním tlaku propouštět vodu. Nesmí dojít k porušení hadice. Při tlaku 0,5 MPa musí hadice odolávat působení plamene. V případě hadice izolované po dobu 5 vteřin a hadice oboustranně povrstvené 10 vteřin. Celý díl hadice nesmí přesáhnout maximální povolené ztráty tlaku při maximálních průtocích vody [26].

Pro tvorbu útočného vedení se používají hadice B75 a C52. V případě likvidace požárů s charakteristikou uzavřeného prostoru se především používají proudy C52.

Pro aplikaci vody do prostoru požáru se používají proudnice. Pro útočné vedení B75 můžeme použít například plno proudou proudnici B75, nebo proudnici kombinovanou. Pro aplikaci hasiva pomocí vodního proudu C52 můžeme využít plno proudou proudnici C52, clonovou proudnici C52, mlhovou proudnici C52 a kombinovanou proudnici C52 [26]. V současné době je při likvidaci požárů nejpoužívanější kombinovaná proudnice. Tyto proudnice jsou vyráběny mnoha výrobci. Proudnice musí splňovat požadavky normy ČSN EN 15182-1+A1. Podle této normy se kombinovaná proudnice skládá z těchto částí:

1. Hubice,
2. třmenové ovládací armatury,
3. rukojeť,
4. otočný ovládací prvek [27].



Obrázek 4 - Prvky kombinované proudnice [zdroj autor].

Mezi základní charakteristiky kombinované proudnice patří jejich hydraulické vlastnosti:

1. Tlak,
 - referenční tlak $p_R = (6 \pm 0,1)$ bar,
 - jmenovitý tlak $p_N = 16$ bar,
 - zkušební tlak $p_t = 25,5$ bar,

- poruchový tlak $p_B = 60$ bar,
- 2. průtok,
- 3. účinná délka dostřiku,
- 4. široký sprchový proud,
- 5. úzký sprchový proud [28].

2.3 Situace v ČR

Současná koncepce používání útočného vedení D25 v České republice je zatím v rovině otevřené diskuze. V metodikách určených pro odbornou přípravu příslušníku HZS ČR v současnosti není zakotven způsob využití tohoto útočného vedení pro likvidaci požáru ve vnitřním prostoru. Jedinou zmínkou je Bojový řád a jeho kapitola P 21 – Lesní požáry, kde je uvedeno možné použití vedení D25 [12]. Vzhledem k tomu, že používání útočného vedení D25 pro likvidaci požárů ve vnitřním prostoru není v žádné metodice přesně definováno, osloveni byli v rámci problematiky hlavní lektori všech krajů v České republice, jmenovaní pro vedení teoretické i praktické přípravy zdolávání požárů ve vnitřním prostoru. Pro zjištění současného stavu využívání útočného vedení D25 byl proveden upřesňující telefonický rozhovor s předem připravenými otázkami ve znění:

- Jakou máte zkušenost s využitím útočného hadicového vedení D25?
- Jak si představujete využití tohoto útočného vedení v praxi?
- Byl v rámci vašeho kraje proveden výcvik s útočným vedením D25 v zařízení simulujícím reálné podmínky požáru ve vnitřním prostoru?
- Jaké používáte útočné vedení pro výcvik v zařízení simulujícím reálné podmínky požáru ve vnitřním prostoru?
- Jaké používáte útočné vedení při likvidaci reálných požárů ve vnitřním prostoru?
- Jaké používáte útočné vedení při likvidaci požárů ve výškových budovách?

HZS Praha - Zkušenosti s využitím útočného vedení D25 HZS Prahy nemá. Představa o využití tohoto útočného vedení spočívá především v hašení lesních požárů. Výcvik byl proveden jednou s omezeným počtem lektorů v zařízení pro simulaci reálných podmínek požáru v ŠVZ Brno ve spolupráci s lektory HZS Středočeského kraje. Použity

byly proudnice D25 Supon, které nebyly vhodné pro tento druh výcviku. Jako útočné vedení pro zdolávání požárů ve vnitřním prostoru používají útočné vedení C52. Budoucnost využití útočných proudů při likvidaci požárů ve vnitřním prostoru vidí spíše v útočném vedení o průměru 38 mm, nebo 42 mm.

Středočeský kraj - Zkušenosti s používáním útočného vedení D25 ve Středočeském kraji mají. Hadicové vedení D25 je ve vybavení jednotlivých Územních odborů. Využívají se v rámci likvidace lesních požárů, nebo při dohašování požárů objektů po lokalizaci. V rámci výcviku v zařízení simulující reálné podmínky požárů v uzavřeném prostoru toto útočného vedení zkoušeno nebylo. Zkušenosti s jiným zmenšeným průměrem útočného vedení oproti C52 ve Středočeském kraji nemají. Využití je spatřeno spíše při likvidaci lesních požárů. Použití pro likvidaci požárů v uzavřeném prostoru se zdá být nevhodné.

Ústecký kraj - Zkušenosti s používáním útočného vedení D25 v Ústeckém kraji nemají. Nebyl proveden žádný výcvik v zařízeních simulujících reálné podmínky požáru ve vnitřním prostoru. Možnost použití útočného vedení D25 vidí pouze při hašení lesních požárů. Při likvidaci požárů včetně požárů ve vnitřním prostoru v současné době používají v Ústeckém kraji útočné vedení C52.

Liberecký kraj - Zkušenosti s využitím proudů D25 zatím nemají. V Libereckém kraji je plánován nákup technických prostředků pro vytvoření útočných vedení D25 během roku 2019. Výcvik byl proveden v Raspenavě, kde Liberecký kraj disponuje vlastním zařízením pro simulaci reálných podmínek požáru v uzavřeném prostoru. Po provedeném školení a výcviku nepanuje jednoznačný názor pro využívání tohoto útočného vedení při likvidaci požárů ve vnitřním prostoru. Budoucnost v Libereckém kraji je viděna spíše při likvidaci lesních požárů, kde výhodou vedení D25, je lehká manipulace i v obtížném terénu. V současné době používají v Libereckém kraji pro hašení požárů ve vnitřním prostoru útočné vedení C52 a C42.

Karlovarský kraj - V Karlovarském kraji mají zkušenost s útočným vedením D25 při hašení lesních požárů. Tímto vedením jsou vybaveny dle poskytnutých informací pouze velkokapacitní cisternové automobilové stříkačky (dále jen „CAS“) v kraji. Ve výcvikovém zařízení pro simulaci reálných podmínek požáru v uzavřeném prostoru

útočné vedení D25 v rámci Karlovarského kraje zkoušeno nebylo. Pro výcvik je používáno útočné vedení C52. Při likvidaci reálných požárů je v Karlovarském kraji používáno útočné vedení C52 a C42.

Plzeňský kraj - V Plzeňském kraji mají zkušenost s útočným vedením D25, z testování ve výcvikovém zařízení pro simulaci reálných podmínek požáru v uzavřeném prostoru ve Zbirohu ve spolupráci s HZS Středočeského kraje, územním odborem Beroun. Plzeňský kraj disponuje hadicovým vedením D25 pouze na velkokapacitních CAS, s možným použitím pro hašení lesních požárů. V současné době v Plzeňském kraji není doporučeno používat útočné vedení D25 při likvidaci požárů ve vnitřním prostoru. V tomto kraji je používáno útočné vedení C52.

Jihočeský kraj - V Jihočeském kraji je zkušenost s útočným vedením D25 minimální. Využitelné jsou především při hašení lesních požárů. Útočné vedení D25 bylo lektory Jihočeského kraje zkoušeno při výcviku v zařízení pro simulaci reálných podmínek požáru v uzavřeném prostoru. Výstupem z tohoto zkoušení byl negativní názor lektorů, na využití tohoto vedení pro hašení požárů ve vnitřním prostoru. Při výcviku standardně používají útočné vedení C52. Směrem pro využití zúženého útočného vedení oproti C52 vidí spíše v útočném vedení C42 pro využití při likvidaci požárů ve vnitřním prostoru.

Pardubický kraj - V Pardubickém kraji je útočné vedení D25 zkoušeno ve Vysokém Mýtě, kde tento kraj disponuje vlastním výcvikovým zařízením určeným pro simulaci reálných podmínek požáru v uzavřeném prostoru. Výsledky z těchto zkoušení se setkávají v Pardubickém kraji s pozitivním ohlasem. Zkušenosti z reálných požárů s použitím útočného vedení D25 zatím nejsou. Jako běžně používané útočné vedení pro likvidaci požárů ve vnitřním prostoru je v Pardubickém kraji využíváno vedení C52, C42, C38.

Královéhradecký kraj - V Královéhradeckém kraji zkušenost s využitím útočného vedení D25 v současné době není. Z dostupných informací vidí v tomto kraji spíše využití při hašení lesních požárů. Standardně používané útočné vedení je C52, jak při likvidaci reálných požárů, tak i při výcvicích v zařízení pro simulaci reálných podmínek požáru v uzavřeném prostoru.

Jihomoravský kraj - V současné době je útočné vedení D25 diskutované téma po provedeném výcviku v zařízení pro simulaci reálných podmínek požáru v uzavřeném prostoru, v ŠVZ Brno. Zkušenosti s D25 v tomto kraji mají především při likvidaci lesních požárů, kde toto uplatnění je spatřeno i do budoucna. Při likvidaci požárů je v Jihomoravském kraji používáno útočné vedení C52 v kombinaci s útočným vedením C42. Pro výcvik v zařízení pro simulaci reálných podmínek požáru v uzavřeném prostoru v ŠVZ Brno je používáno útočné vedení C52.

Zlínský kraj - Zkušenosti s použitím útočného vedení D25 zatím v tomto kraji nejsou. Výhody a možnosti využití tohoto vedení jsou ve Zlínském kraji spatřeny spíše pro využití při hašení lesních požárů. Útočné vedení D25 zatím v rámci kraje nebylo zkoušeno ve výcvikovém zařízení pro simulaci reálných podmínek požáru v uzavřeném prostoru. V současné době je používáno pro likvidaci požárů ve vnitřním prostoru pouze útočné vedení C52.

Olomoucký kraj - Po rozhovoru s lektorem z Olomouckého kraje je zřejmé, že je tento trend diskutované téma pro použití útočného vedení D25 při likvidaci požárů. Zkušenosti s použitím útočného vedení D25 jsou z provedeného výcviku v rámci lektorů, při výcviku v zařízení pro simulaci reálných podmínek požáru v uzavřeném prostoru v ŠVZ Brno. Plánovaný je nákup technických prostředků pro vytvoření útočného vedení, D25. Pro využití likvidace požárů ve vnitřním prostoru za použití vedení D25 mezi lektory zatím nelze definovat jednotný názor. Přednosti tohoto vedení jsou spatřovány především při likvidaci lesních požárů. V současné době jsou pro požáry ve vnitřním prostoru využívána útočná vedení C52, C42 a plánovaný je nákup vedení C38.

Moravskoslezský kraj - Také v tomto kraji diskutované téma s vhodným využitím útočného vedení D25. Provedený byl pokus při výcviku v zařízení pro simulaci reálných podmínek požáru v uzavřeném prostoru. Z pokusu byl lektory pro výcvik zdolávání požárů v uzavřeném prostoru jednoznačný závěr, že toto vedení není vhodné pro zdolávání tohoto druhu požárů. Přednosti útočného vedení D25 jsou viděny spíše při dohašování lesních požárů. V Moravskoslezském kraji jsou v současné době využívána útočná vedení C52, C42 a plánovaný je nákup vedení C38.

Kraj Vysočina - Zkušenosti s využitím útočného vedení D25 jsou v kraji Vysočina ve stádiu zkoušení možného použití. Možnosti reálného využití jsou zatím spatřeny především při hašení lesních požárů a jejich dohašování. Při výcviku v zařízení pro simulaci reálných podmínek požáru v uzavřeném prostoru zatím útočné vedení D25 zkoušeno nebylo. Přesto výstup lektorů vedoucích odbornou přípravu v rámci zdolávání požárů ve vnitřním prostoru je, že útočné vedení D25 je nevhodné pro likvidaci těchto požárů. V současné době jsou v kraji Vysočina používána útočná vedení C52 a C42.

Školící a výcvikové zařízení Brno - Kontaktováno bylo také ŠVZ Brno. V ŠVZ Brno dle slov lektora metodika zatím zkušenosti s využitím útočného vedení D25 nemají. V současné době byly objednány technické prostředky. Podle současného názoru útočné vedení D25 není vhodné pro hašení požárů ve vnitřním prostoru. Využitelnost vedení D25 je viděna spíše při hašení lesních požárů, ale pouze některých typů lesních požárů. Vhodnějším typem vedení pro likvidaci požárů ve vnitřním prostoru je lektorem metodikem uváděno útočné vedení C42, nebo C38.

2.4 Situace v zahraničí

Na základě literárních rešerší nebylo nalezeno zakotvení používání útočného vedení D25, při likvidaci požárů ve vnitřním prostoru v zahraničních metodikách. Informace o používání tohoto vedení v zahraničí jsou níže uvedeny na základě osobních rozhovorů a elektronické korespondence.

Vedení D25 je používáno například v Austrálii, Portugalsku, Španělsku a ve Francii při likvidaci lesních požárů, nízkého dřevního porostu a požáru trav. Tyto informace jsou získány na základě osobního rozhovoru s garantem odborné přípravy programu D25 z Územního odboru Beroun, HZS Středočeského kraje. Jeho poznatky plynou z rozhovorů s hasiči jmenovaných zemí, které získal v rámci absolvovaných služebních cest.

Další informace byly získány ze Slovenské republiky, na základě elektronické korespondence s prezidentem Hasičského a Záchraného zboru (dále jen „HaZZ“) Slovenské republiky. Z korespondence vyplynulo, že v rámci likvidace požárů se u HaZZ

Slovenské republiky používá hadicové vedení D25 pouze při likvidaci lesních požárů a to především z důvodů snadné manipulace a nízké váhy při zdolávání požárů v obtížném terénu.

3 CÍL PRÁCE A HYPOTÉZY

Hlavním cílem této diplomové práce je možnost využití útočného vedení D25 při hašení požárů ve vnitřním prostoru. V teoretické části byla uvedena základní teorie související s hořením, požárem, hašením ve vnitřním prostoru a také současná koncepce zdolávání těchto požárů v ČR. Teoretická část je nezbytnou součástí základních znalostí zasahujících hasičů nejen při požárech ve vnitřním prostoru. Teoretické znalosti také úzce souvisí s praktickými zkušenostmi prožitými při reálných zásazích, nebo získaných při výcviku.

Praktická část této práce byla věnována především analýze výsledků z provedeného experimentálního měření. Cílem měření bylo sledování ochlazujícího účinku útočného vedení D25, ve srovnání se standardně používaným útočným vedením C52. Měření bylo realizováno ve výcvikovém zařízení pro simulaci reálných podmínek požáru ve Zbirohu s účastí Technického ústavu požární ochrany Praha (dále jen „TÚPO“) a Vysoké školy Báňské - Technické univerzity Ostrava – Fakulty bezpečnostního inženýrství (dále jen „VŠB - TÚO - FBI“). Měřeno bylo teplotní pole, které bylo ochlazováno útočným vedením D25, nebo C52. Data z měření byla zpracována a vyhodnocena pomocí aplikace Excel. Porovnána byla ochlazující schopnost útočného vedení D25 s útočným vedením C52. Na závěr je v práci diskutováno možné využití útočného vedení D25 při likvidaci požárů ve vnitřním prostoru.

Cíle práce:

- Analýza vybraných hodnot z provedeného měření,
- analýza hodnot při ochlazování prostoru vodním proudem z proudnice D25,
- analýza hodnot při ochlazování prostoru vodním proudem z proudnice C52,
- porovnání ochlazujících schopností vodních proudů z proudnic D25 a C52,
- zhodnotit možnosti využití útočného vedení D25 při likvidaci požárů ve vnitřním prostoru.

Pracovní hypotéza 1: Proudnic útočného vedení C52 i D25 budou dodávat do prostoru stejné množství vody při stejném tlaku a při stejném nastavení průtoku na proudnici.

Pracovní hypotéza 2: Sledované teplotní pole bude v rámci provedeného experimentálního měření ochlazeno při použití proudnic útočných vedení D25 i C25 stejně rychle a voda bude působit v prostoru po stejnou dobu.

4 METODIKA

4.1 Návrh měření:

„Experiment vyžaduje přesné konstruování a vyhodnocování, zvláště pokud jde o stanovení kauzální závislosti mezi jednotlivými jevy“ [29].

Autorem práce byl navržen základní koncept měření. Měření bylo rozvrženo do tří dnů. První den byl určen k přesunu všech oslovených, pro vlastní přípravu měření a seznámení všech s problematikou a účelem navrženého měření. Další dva dny byly vyčleněny pro dílčí části měření, kdy každý den mělo být provedeno jedno měření v dopoledních hodinách a jedno měření v odpoledních hodinách.

Místem měření byl určen areál Školícího a výcvikového zařízení (dále jen „ŠVZ“) ve Zbirohu, nebo zařízení pro výcvik a pozorování nelineárního rozvoje požáru v Raspenavě.

Organizační zajištění:

- HZS Středočeského kraje,
- HZS Prahy
- ŠVZ, nebo HZS Libereckého kraje podle místa měření.

Stanované podmínky při měření:

- Základní měřená veličina byla teplota vnitřního prostoru pomocí vytvořeného teplotního pole,
- podmínkou bylo určení teploty nad pecí v pozorovacím kontejneru a dále v pěti místech a různých výškách,
- sledování venkovních podmínek pomocí meteorologické stanice,
- průtok vody stanoven pro optimální hašení ve vnitřním prostoru.

Průběh měření:

Měření bylo navrženo tak aby byl měřen prostor po dosažení stanovené teploty volného rozvoje požáru v uzavřeném prostoru.

Jako palivo byly určeny čtyři objekty A5 podle normy ČSN 3-7+A1 pro každý pokus. Po každém samostatném měření pozorovací kontejner odvětrat a ochladit, tak aby byly počáteční podmínky pro rozvoj požáru přibližně stejné.

Po zahájení ochlazování prostoru s volným rozvojem požáru, prostor požáru ochlazovat opakovaně pomocí útočného vedení C52. Další pokusy provádět totožným způsobem, ale ochlazování provádět pomocí útočného vedení D25.

Měřit teplotu pomocí vytvořeného teplotního pole v různých výškách a vzdálenostech. Analyzovat a porovnávat naměřené výsledné teploty a hodnotit rozdíl při hašení pomocí útočného C52 a D25. Zhodnotit možnost použití útočného vedení D25 při zdolávání reálných požárů ve vnitřním prostoru.

Rozvržen byl přesný časový harmonogram pro každou část měření a přípravné práce po celou dobu programu měření.

Cíle experimentu:

- Sledování teplot, teplotního pole při požáru čtyř objektů A5 dle normy ČSN 3-7+A1,
- sledování schopnosti ochlazení prostoru zasaženého požárem pomocí útočného vedení osazeného proudnicí C52 při stanoveném tlaku a průtoku na proudnici,
- sledování schopnosti ochlazení prostoru zasaženého požárem pomocí útočného vedení osazeného proudnicí D25 při stanoveném tlaku a průtoku na proudnici,
- porovnání schopností ochladit prostor zasažený požárem při nasazení proudnic D25 a C52,

- sledování vnějších meteorologických podmínek při měření,
- sledování hmotnostního úbytku paliva při hoření.

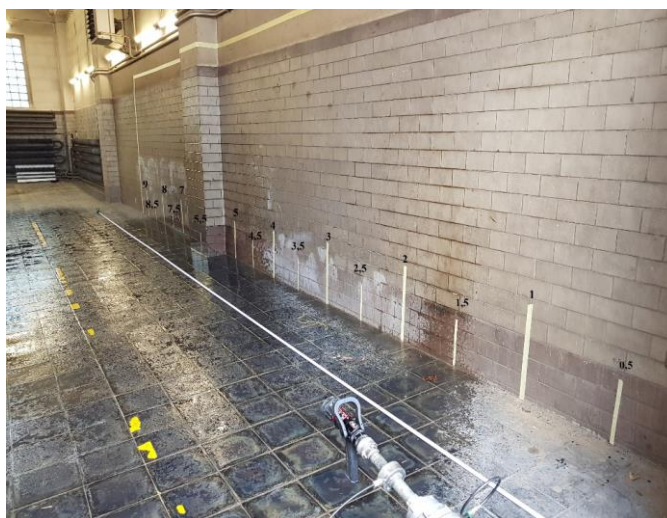
4.2 Realizace měření

Autorem práce byla navržena základní koncepce měření, která byla upravena po odborné konzultaci s vedoucím diplomové práce Ing. Janem Žižkou a kolegiem odborných pracovníků oddělení vývoje a výzkumu Technického ústavu požární ochrany.

Před experimentálním měřením, plánovaném v ŠVZ ve Zbirohu, bylo provedeno měření účinného dostřiku proudnic C52 a D25. Toto měření bylo provedeno na stanici Kladno, územní odbor Kladno, HZS Středočeského kraje. Cílem bylo zjistit účinný dostřik proudnic C52 a D25 při různém výstupním tlaku.

Pro měření byl zapůjčen tlakoměr Albhorn Almemo z TÚPO Praha, lafetová proudnice, a pomocné armatury pro montáž tlakoměru v průměrech vedení C52 a D25.

Protože měření ochlazujících schopností útočného vedení C52 a D25 ve vnitřním prostoru bylo navrženo v ISO kontejneru, byl obrys bočnice kontejneru vytýčen v prostorách myčky stanice Kladno pomocí maskovací pásky. Uvnitř myčky byly na stěně vyznačeny vzdálenosti a přiloženo pásmo pro měření vzdálenosti dostřiku.



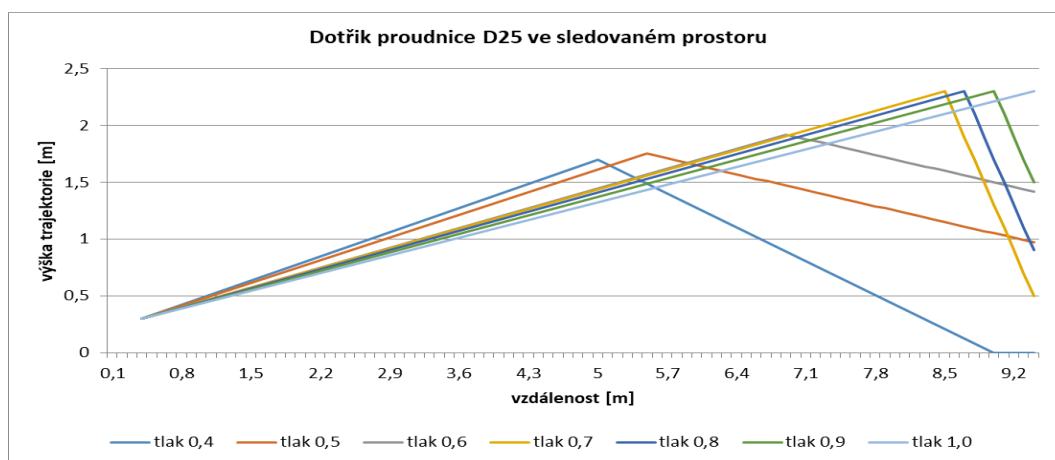
Obrázek 5 - Měření dostřiku [zdroj autor].

Po přípravě prostor, bylo provedeno vlastní měření účinného dostřiku nejprve pomocí proudnice D25 a následně pomocí proudnice C52 při tlaku 0,4 MPa, 0,5 MPa, 0,6 MPa, 0,7MPa, 0,8 MPa, 0,9 MPa a 1,0 MPa. Na obou proudnicích byl nastaven průtok 230 l/min. a kužel v úhlu 60° vodního proudu. Při každém tlaku bylo provedeno několik opakování a následně vybrána střední hodnota účinného dostřiku z těchto opakování. Protože bylo měření situováno ve vnitřním prostoru, který byl přesně definován rozměry ISO kontejneru (pozorovací kontejner ŠVZ Zbiroh), při některých tlacích došlo k dosažení světlé výšky kontejneru (stropu), nebo protilehlé stěny kontejneru od proudnice viz tabulky 2 a 3.

Tabulka 2 - Dostřik proudnicí D25 [zdroj autor].

Proudnice D25		
tlak Mpa	střední hodnota účinného dostřiku	nejvyšší bod proudu / ve vzdálenosti
0,4	9 m	1,7 m / 5 m
0,5	> 9,4 m	1,75 m / 5,5 m
0,6	> 9,4 m	1,92 m / 6,9 m
0,7	> 9,4 m	> 2,3 m / 8,5 m
0,8	> 9,4 m	> 2,3 m / 8,7 m
0,9	> 9,4 m	> 2,3 / 9 m
1,0	> 9,4 m	> 2,3 m / > 9,4 m

V následném grafu je vidět trajektorie vodního proudu při sledovaných tlacích proudnice D25.

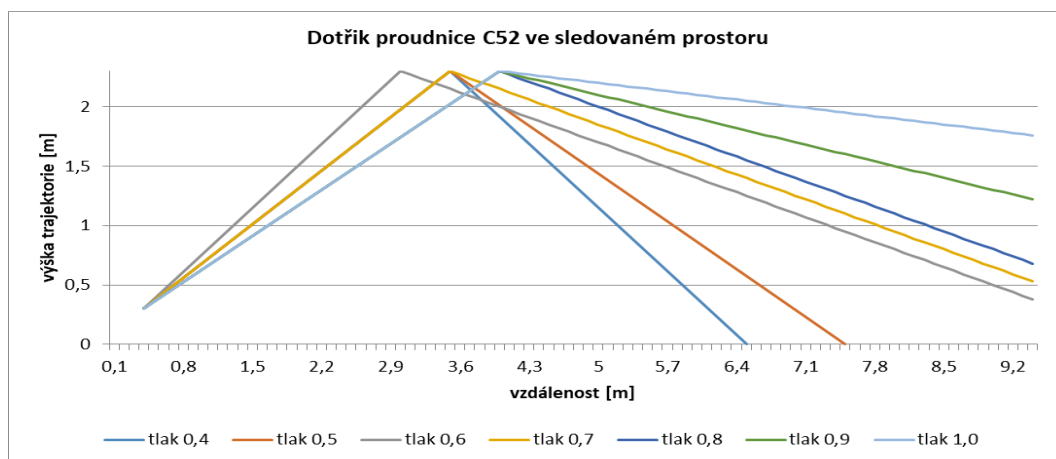


Obrázek 6 - Graf trajektorie vodního proudu D25 [zdroj autor].

Tabulka 3 - Dostřik proudnicí C52 [zdroj autor].

Proudnice C52		
tlak Mpa	střední hodnota účinného dostřiku	nejvyšší bod proudu/ ve vzdálenosti
0,4	6,5 m	2,3 m / 3,5 m
0,5	7,5 m	2,3 m / 3,5 m
0,6	> 9,4 m	2,3 m / 3 m
0,7	> 9,4 m	2,3 m / 3,5 m
0,8	> 9,4 m	> 2,3 m / 4 m
0,9	> 9,4 m	> 2,3 m / 4 m
1,0	> 9,4 m	> 2,3 m / 4 m

V následném grafu je vidět trajektorie vodního proudu při sledovaných tlacích proudnice C52.



Obrázek 7 - Graf trajektorie vodního proudu C52 [zdroj autor].

Použité technické prostředky

- CAS 32/8200/800 - S3R (CAS 32 - T 815),
- sací hadice,
- sací koš,
- tlakové požární hadice,
- přenosná lafetová proudnice,
- přechod výtlačného příslušenství B75/C52,
- přechod výtlačného příslušenství C52/D25,

- kombinovaná proudnice C52 – proudnice Protek, viz příloha 1,
 - regulovaný průtok 115-230-360-415 l/min,
 - pracovní tlak 0,7 MPa [30].
- kombinovaná proudnice D25 – proudnice Protek 361, viz příloha 2,
 - regulovaný průtok 50-100-150-230 l/min.
 - maximální pracovní tlak 40 MPa [31].

Použité měřicí prostředky

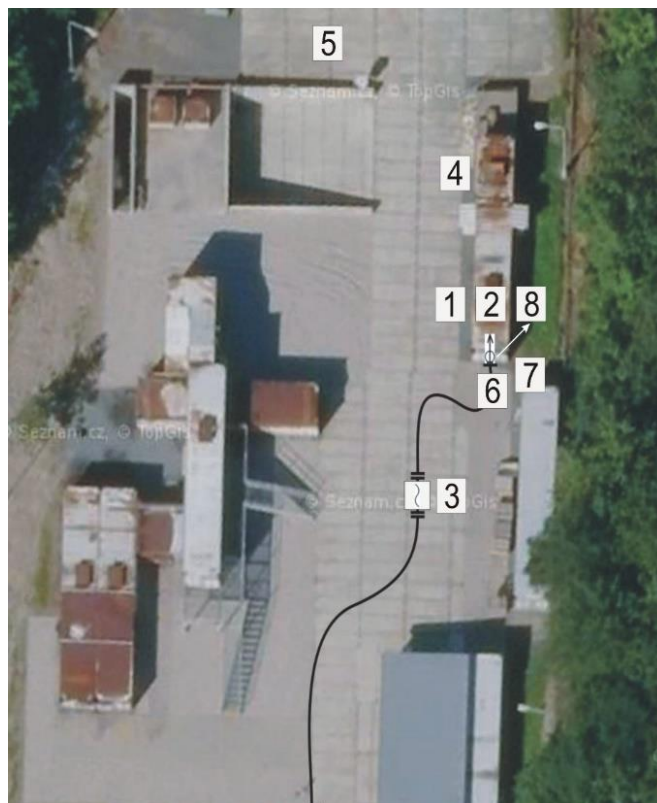
- Měřicí ústředna - Ahlborn Almemo 5690-2M, viz příloha 3,
 - frekvence měření 100 HZ, cyklus sběru dat 1 vteřina,
 - připojeno 34 ks termočlánků, váha, 2 ks radiometry,
- termovizní kamera Flir T1030SC, viz příloha 4,
- termočlánkové snímače typu K (NiCr), plášťové – izolovaný konec (průměr 2mm), třída přesnosti 2, viz příloha 5,
- radiometry - Hukseflux SBG01: rozsah 0 – 100 kW/m², zorné pole 180°, technologie senzoru - Gardon and Schmidt-Boelter, viz příloha 6,
- průtokoměr - ultrazvukový průtokoměr Proline Prosonic Flow 93T Portabl, viz příloha 7,
- měření tlaku – snímač tlaku FDA6022U a dataloger Almemo 2590, viz příloha 8,
- meteorologická stanice - sestava Ahlborn Almemo, měření teploty, atmosférického tlaku, rychlosti a směru větru, viz příloha 9,
- tenzní váha - tenzometrická váha o rozměrech 1 x 2 metry pro měření úbytku paliva, viz příloha 10,
- průtokoměr- elektromagnetický průtokoměr MAGFLO MAG 1100 s vyhodnocovací jednotkou MAG3000, viz příloha 11,
- detekční přístroj - MSA Altair 4X, viz příloha 12.

Experimentální měření bylo prováděno ve výcvikovém zařízení pro simulaci reálných podmínek požáru ve vnitřním prostoru ve Zbirohu, v takzvaném pozorovacím kontejneru. Tento kontejner se skládá z pece, ve které probíhá simulovaný požár a z pozorovací části, která je určená pro pozorování nelineárních jevů rozvoje požáru, které mohou vznikat

při požárech ve vnitřním prostoru. Vlastní konstrukce kontejneru je tvořena ISO kontejnerem, který je zkrácený pro účely výcviku. V kontejneru jsou dále vytvořeny různé stavební otvory ve formě dveří a oken, které simulují reálné otvory ve stavebních konstrukcích, viz příloha 19.

Příprava měření

Přípravné práce byly zahájeny 21. 1. 2019, v den příjezdu do ŠVZ Zbiroh. Bylo provedeno konečné rozmístění měřících přístrojů, čidel a záznamových zařízení, které je znázorněno na obrázku 8.



Obrázek 8 - Rozmístění měřících stanovišť [32] [zdroj autor].

Popis rozmístění měřících stanovišť na obrázku 6:

1. Centrální měřící pracoviště.
2. Měření teplotního pole.
3. Měření průtoku a tlaku.
4. Měření váhy paliva.

5. Meteorologická stanice.
6. Termovizní kamera.
7. Časomíra.
8. Měření tlaku.

Příprava měření teplotního pole

Pro měření vybraných parametrů požáru v tomto případě teploty a celého vytvořeného teplotního pole byl kontejner vybaven 34 termočlávkovými snímači typu K (NiCr), plášťovými s izolovaným koncem (průměr 2mm), třída přesnosti 2 [33].

Snímače byly upraveny krytím z plechových kalíšků. Tato úprava měla zajistit měření teploty prostoru bez ovlivnění výparným teplem z vody dopadající na termočlávkový snímač.

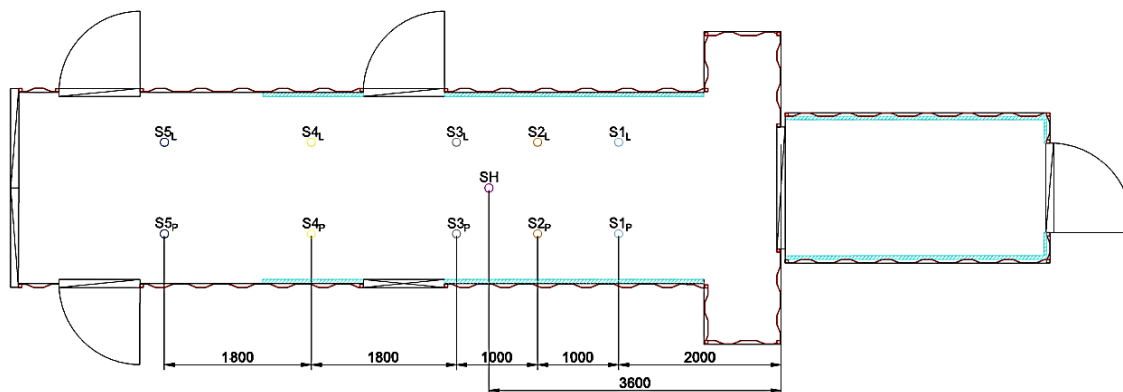
Termočlávky byly umístěny na svislém děrovaném drátu ve dvou řadách označených podle polohy. Levá strana byla označena S_L a pravá strana S_P . Dále byla označena vzdálenost sloupců, na kterých byly instalovány termočlávky směrem od pece. Označeno S_{1L} , S_{1P} až S_{5L} , S_{5P} . Termočlávky byly pro měření umístěny na každém sloupci několika výška. Tyto výšky byly od podlahy 1100 mm, 1600 mm a 2100 mm. Označeno S_{1L_110} , S_{1L_1600} , S_{1L_2100} atd., viz tabulka 4.

Tabulka 4 - Umístění termočlávků [zdroj autor].

umístění termočlávků				
vzdálenost od požáru v mm	levý sloupec	střední sloupec	pravý sloupec	výška termočlávků od podlahy v mm
2000	S_{1L}	neobsazeno	S_{1P}	1100, 1600, 2100
3000	S_{2L}	neobsazeno	S_{1P}	1100, 1600, 2100
3600	neobsazeno	SH	neobsazeno	1100, 2100
4100	S_{3L}	neobsazeno	S_{1P}	1100, 1600, 2100
5700	S_{4L}	neobsazeno	S_{1P}	1100, 1600, 2100
7800	S_{5L}	neobsazeno	S_{1P}	1100, 1600, 2100

Další sloupec termočlávků byl vytvořen ve středu podélné osy kontejneru ve vzdálenosti 3,6 metru od pece. Tento sloupec byl označen SH. Výška umístění termočlávků na tomto sloupci byla stanovena na 1100 mm a 2100 mm od podlahy. V těchto

výškách byl osazen vždy pár termočlánků, kdy jeden byl krytý kalíškem a druhý byl bez krytí pro porovnání efektu této úpravy termočlánků.



Obrázek 9 - Půdorys rozmístění termočlánků v pozorovacím kontejneru [zdroj autor].

Příprava měření hustoty tepelného toku

K měření parametrů byl instalován v prostoru kontejneru také radiometr Hukseflux SBG01 [34]. Tento radiometr měřil hustotu tepelného toku na pozici označené SA 1071 a SA 1072. Radiometry byly izolovány proti vodě a tepelné expozici a do stěny kontejneru byly vytvořeny otvory pro přívod chlazení.

Příprava měření koncentrací vybraných plynů

Určeno bylo místo pro detekční přístroje MSA, které byly instalovány vždy, před každým pokusem. Pro měření byly použity detekční přístroje MSA Altair 4X. Tyto přístroje byly umístěny na děrovaném drátu sloupce SP3 pro umístění termočlánků ve výškách 1100, 1600 a 2100 mm od podlahy. Tento detektor měřil dolní mez výbušnosti, obsah kyslíku, koncentraci oxidu uhelnatého a koncentraci sirovodíku viz příloha 12 [35].

Příprava měření průtoku

Stanoveno bylo místo ultrazvukového průtokoměru, který byl umístěn na europaletě a zafixován proti pohybu vznikajícím rázy v hadicovém vedení. Průtok byl měřen pomocí průtokoměru, Proline Prosonic Flow 93T Portabl VŠB TU Ostrava - FBI. Instalaci průtokoměru umožnila speciální armatura z pevného materiálu, o délce 1 500 mm.

Armatura má stejný vnitřní průměr jako hadicové vedení [36]. Instalace byla provedena před poslední hadicí vedení. Průtokoměr byl instalován dle pokynů výrobce a byl zajištěn proti nežádoucímu pohybu, způsobenému tlakovými rázy v hadicích při hašení, viz příloha 7 [37].

V průběhu měření byl výše zmíněný průtokoměr z důvodu poruchy nahrazen Elektromagnetickým průtokoměrem MAGFLO MAG 1100 z TÚPO, s vyhodnocovací jednotkou MAG3000

Příprava měření tlaku

Měření tlaku bylo prováděno na těle lafetové proudnice, kde byl osazen snímač tlaku AHLBORN ALMEMO FDA 6022 U. Měření tlaku určovalo přesný tlak ve vedení a tlak byl podle toho regulován s tlakem na CAS. V různých fázích měření byl tlak měněn v souvislosti s návrhem experimentu a porovnání hasebního účinku proudů při různém tlaku.

Příprava měření váhy paliva

V topeništi byla umístěna váha paliva, Tato váha byla vyrobena z čtvercového ocelového profilu a její celková plocha byla 2 x 1 metr. Osazena byla v každém rohu tenzometrem a nožičkou. Pro nedostatečnou tepelnou odolnost tenzometrů, musela být váha dokonale izolována. V prostoru pece byla předpokládána teplota vyšší než 800 °C. a vzhledem k tomu byla váha pečlivě izolována pomocí izolačních materiálů a protipožárních sádkartonových desek viz příloha 10.

Příprava stanoviště měření meteorologických podmínek

Vybráno bylo místo pro Meteorologickou stanici. Meteorologická stanice sestava Ahlborn Almemo, zaznamenávala při všech cyklech měření teplotu, atmosférický tlak, rychlost a směr větru.

Příprava stanovišť měřících a záznamových zařízení

Určena a připravena byla místa pro ústředny Almemo a další záznamová zařízení včetně počítačů.

Jedna ústředna Almemo zajišťovala sběr dat z připojených čidel. Do ústředny bylo připojeno 34 termočlánků, výstup váhy a 2 radiometry. Druhá ústředna Almemo zaznamenávala data z průtokoměru Proline Prosonic Flow 93T Portabl. Popis ústředny je v příloze 3.

Určeno bylo umístění termovizní kamery, pro pořízení IR video záznamu. Pro záznam byla použita vědecká termovizní kamera Flir T1030SC. Tato kamera byla umístěna u vstupu do kontejneru a snímala záznam při všech cyklech měření.

Příprava dalších záznamových zařízení

Jako další záznamová zařízení byly použity:

- Fotoaparát Canon 70D
- Kamera - GoPro Hero 4

Pro pořízení fotodokumentace byl využit fotoaparát Canon 70D s objektivem Canon EF-S 18-135mm f/3,5-5,6 IS STM. Fotoaparát byl využit pro záznam přípravy a průběhu experimentu.

Kamera GoPro Hero 4 byla využita pro video záznam z tepelně exponovaného prostředí přímo pod pecí kontejneru odkud snímala rozvoj požáru v prostoru a hašení.

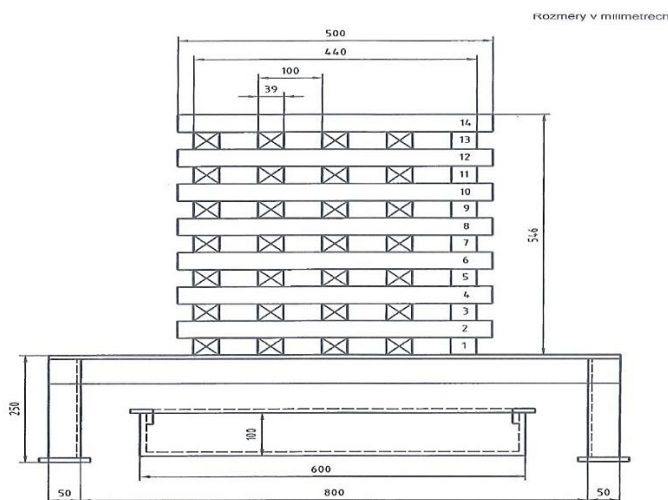
Zkouška funkčnosti

Provedena byla funkčnost všech použitých zařízení včetně napojení do ústreden, zda všechna používaná čidla a zařízení fungují a poskytují relevantní hodnoty. Všechna zařízení, která prováděla záznam, byla nastavena vteřinovou sekvencí záznamu.

Příprava paliva

Před vlastním měřením byla provedena stavba objektu 4 x A5 z dřevěných hranolů. Požár v kontejneru byl simulován pomocí 4ks zkušebních objektů A5 z dřevěných hranolů 40 x 40 mm o délce 500 mm. Dřevěné hranoly byly dle normy vyrobeny z borovice (*Pinus sylvestris*) s hmotnostním podílem vlhkosti 10 % až 15 %. Hranoly musí mít řezaný povrch se čtvercovým průřezem o straně (39 ± 2) mm. Dřevěné hranoly se skládají do 14 vrstev na kovový stojan [38].

Hranice byla umístěna na kovovém stojanu 250 mm vysokém, 900 mm širokém a o délce které odpovídá délce zkušebního objektu. Tento stojan byl vyroben z ocelových úhelníků podle ISO 657-1 [38].



Obrázek 10 - Zkušební objekt A5 [38].

Příprava technických prostředků HZS

Pro dodávku vody byla použita CAS 32 T 815 z Územního odboru Příbram HZS Středočeského kraje, která zajišťovala dodávku hasební vody do místa zkoušek. Do CAS byla voda doplňována z přilehlého vodního zdroje pomocí dvou sacích hadic zakončených sacím košem pro eliminaci hrubých nečistot.

Voda byla do prostoru experimentálního měření dodávána pomocí tlakového hadicového vedení C52 v počtu dvou hadic o délce 20 metrů a jedné hadice C52 o délce 5 metrů.



Obrázek 11 - Technické prostředky a hadicové vedení [32] [zdroj autor].

Popis obrázku 9:

1. CAS 32/8200/800 - S3R (CAS 32 - T 815).
2. Hadicové vedení C52.
3. Ultrazvukový průtokoměr.
4. Přenosná lafetová proudnice.

Lafetová proudnice byla použita pro zajištění stabilní pozice, ze které bylo prováděno ochlazování měřeného prostoru. Tato proudnice byla na vstupu napojena tlakovým hadicovým vedením C52. Na výstupu umožňovala pomocí přechodů instalaci proudnic C52 a D25. Pomocí lafetové proudnice mohl být stabilně nastaven úhel aplikace vody do prostoru

Proudnice C52 a D25 byly používány pro porovnání účinku ochlazení teplotního pole v prostoru. Proudnice byly od firmy Protek, které jsou standardní výbavou HZS Středočeského kraje, viz příloha 1 a 2. Nastavitelnost průtoku na proudnicích, umožnila nastavení stejného průtoku 230 l/min. Také byl nastaven stejný úhel rozptylu aplikované vody do prostoru.

Příprava proudnic

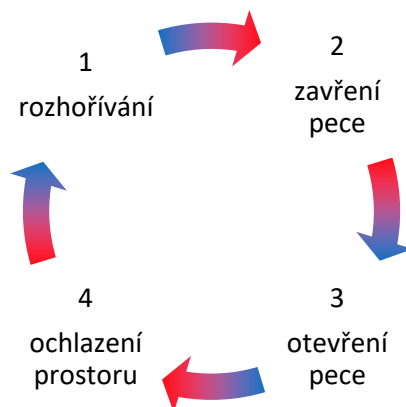
Připraveno bylo také nastavení proudnic, jejich průtoku 230 l/min a šíře kuželu vody vstupující do měřeného prostoru v úhlu 60°. Proudnice byly po nastavení označeny permanentní fixou pro možné stejné nastavení. Pro stanovení úhlu proudnice, byl aretován úhel na lafetové proudnici. Tento úhel byl nastaven na 15° od roviny podlahy. Místo polohy bylo označeno pomocí značkovacího spreje pro případ nechtěného pohybu lafetové proudnice.

Soubor měření

Soubor měření byl rozvržen do čtyř samostatných částí. Měřeno bylo ochlazení teplotního pole při simulovaném požáru ve vnitřním prostoru, při navozování nelineárního jevu rozvoje požáru. Sledovány byly změny při ochlazení teplotního pole ve vnitřním prostoru, pomocí standardně používaného útočného vedení C52 a pomocí útočného vedení D25, který je novým nastupujícím trendem používaným u HZS ČR.

Navozování nelineárního rozvoje požáru v prostoru kontejneru

Po zapálení hranice docházelo k volnému rozvoji požáru a zvyšování teploty do doby prvního možného vývinu nelineárního děje Rolloveru. Po prvním jevu byl tento jev navozován opakovaně, pomocí zavírání a otevírání dveří pece. Tento prostor byl po té ochlazován při různém tlaku střídavě proudnicí C52 a D25. Po ochlazení prostoru proudem probíhalo odvětrání prostoru a volný rozvoj hoření. Následně se celý postup opakoval, dokud to umožňovaly podmínky.



Obrázek 12 - Cyklus navozování Rolloveru při pokusu [zdroj autor].

Pro všechny následně popsané části měření bylo společným cílem sledování těchto parametrů:

- Tlaku,
- průtoku,
- teploty,
- hustoty tepelného toku.

První část měření

První část měření probíhala se značným zpožděním proti původnímu plánu, z důvodu úpravných a kontrolních prací. Vlastní měření začalo 22. 1. 2019 ve 12:44 hod. V této části měření bylo prováděno ochlazování prostoru pomocí proudnice C52. Ochlazování probíhalo opakovaně, dokud bylo možné navozovat výše zmíněný děj. Voda do prostoru byla aplikována pod úhlem 15° , s rozptylem kužele pod úhlem 60° . Po provedení čtyř pokusů byl změněn tlak. Použité tlaky byly předem určeny, viz tabulka 5. Konec pokusu byl v 13:14 hod.

Tabulka 5 - Počet pokusů v první části měření [zdroj autor].

nastavený tlak	počet ochlazení proudem
0,7 MPa	5 x C52
0,4 MPa	4 x C52
0,6 MPa	4 x C52
1,0 MPa	4 x C52
0,8 MPa	4 x C52

Druhá část měření

Druhé měření probíhalo 22. 1. 2019 od 15:57. Čas mezi měřeními byl určen k občerstvení zúčastněných osob, vyhoření materiálu s předchozího měření, ochlazení pece a dalšího skládání nového paliva pro další cyklus. Měření probíhalo opět pomocí navozování stejných dějů. Pro ochlazování prostoru byla v tomto cyklu používána proudnice D25. Úhel proudnice byl nastaven na 15°, s rozptylem kužele 60°. Ochlazování prostoru bylo prováděno při různém tlaku, viz tabulka 6. Konec pokusu byl v 16:27 hod.

Tabulka 6 - Počet pokusů v druhé části měření [zdroj autor].

nastavený tlak	počet ochlazení proudem
0,7 MPa	4 x D25
0,4 MPa	4 x D25
0,6 MPa	4 x D25
1,0 MPa	4 x D25
0,8 MPa	4 x D25

Třetí část měření

Začátek třetí části měření byl v 10:08 hod, dne 23. 1. 2019. Navozován byl opakovaně stejný jev. Ochlazování prostoru bylo prováděno pomocí proudnice C52 pod úhlem 15°, s rozptylem kužele 60°. Tlak byl měněn po každých čtyřech ochlazeních prostoru. Ochlazování proběhlo při tlacích, viz tabulka 7. Konec pokusu byl v 10:44 hod.

Tabulka 7 - Počet pokusů ve třetí části měření [zdroj autor].

nastavený tlak	počet ochlazení proudem
0,7 MPa	4 x C52
1,0 MPa	4 x C52
0,4 MPa	4 x C52
0,6 MPa	4 x C52
0,8 MPa	4 x C52

Čtvrtá část měření

Před čtvrtou částí prováděného měření bylo opět nutné nechat vyhořet palivo z přechozího pokusu, nechat vychladit pec, aby bylo možné znovu vystavět hranici pro další pokus. Tento čas byl využit opět pro občerstvení zúčastněných. Začátek byl v 12:29 hod, dne 23. 1. 2019. Čtvrté měření bylo oproti ostatním mírně změněno. Navozována byla stejná situace s vývojem nelineárního rozvoje požáru. Aplikace vody probíhala do prostoru pod stejnými úhly. Jiné bylo použití proudnic. Proudnic C52 i D25 byly použity při každém tlaku, viz tabulka 8. Konec pokusu byl v 13:11 hod.

Tabulka 8 - Počet pokusů ve čtvrté části měření [zdroj autor].

nastavený tlak	počet ochlazení proudem
0,7 MPa	7 x D25
0,7 MPa	3 x C52
1,0 MPa	2 x C52
1,0 MPa	3 x D25
0,4 MPa	3 x D25
0,4 MPa	3 x C52
0,6 MPa	2 x C52
0,6 MPa	3 x D25
0,8 MPa	4 x D25

5 VÝSLEDKY

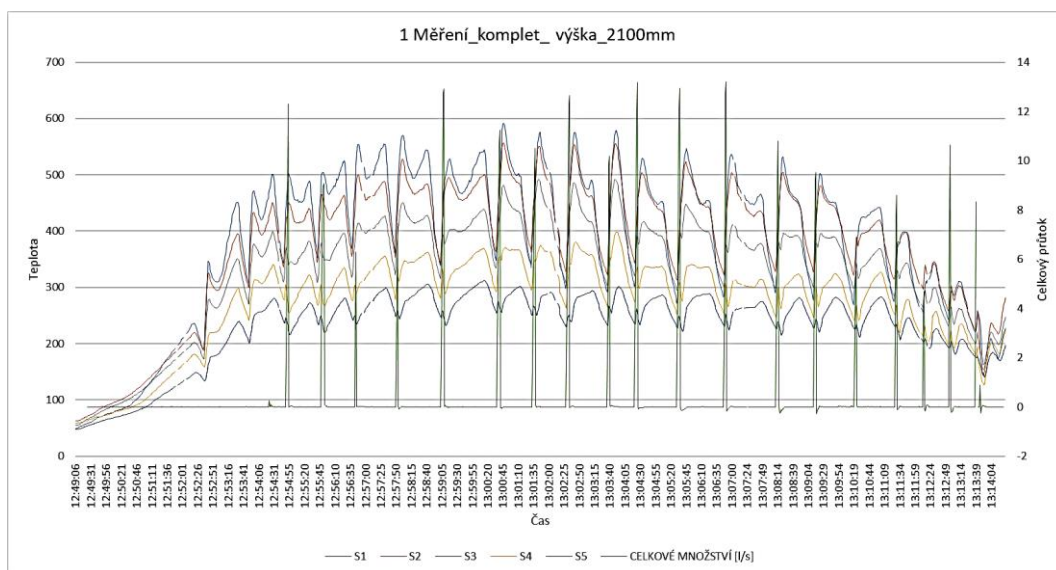
Předmětem experimentálního měření bylo porovnat ochlazení teplotního pole ve vnitřním prostoru pomocí útočného vedení D25 ve srovnání se standardně používaným útočným proudem C52 také s proudnicemi Protek. Sledované vybrané hodnoty, umožnily porovnat ochlazující schopnosti útočných vedení. Z analyzovaných hodnot bylo možné zjistit možnosti využití útočného vedení D25 pro likvidaci požárů ve vnitřním prostoru.

Předmětem experimentálního měření bylo porovnat změnu teplotního pole ve vnitřním prostoru při použití útočného vedení D25 a C52. Obě útočná vedení byla zakončena, kombinovanou proudnicí Protek daného průměru. Porovnání bylo vyhodnocováno na základě vybraných naměřených hodnot, jako je množství vody dodané do prostoru, doba působení vody v prostoru a rychlost ochlazení sledovaného prostoru. Dílčí výsledky byly zpracovány pro deset stanovišť, různě vzdálených od proudnice. Každé stanoviště obsahovalo tři výškové úrovně. K celkovému vyhodnocení výsledků bylo použito mediánů jako míry centrální tendence bez ovlivnění extrémními hodnotami.

Sledované hodnoty:

- Počáteční čas ochlazení v prostoru,
- konečný čas ochlazení prostoru,
- teplota v počátečním čase ochlazování prostoru,
- teplota v konečném čase ochlazování prostoru,
- aplikované množství vody do prostoru,
- tlak ve vedení,
- rychlost ochlazení prostoru,
- celkový čas chlazení prostoru po aplikaci vody.

Experimentální měření bylo rozděleno do čtyř částí. V každé ze čtyř částí bylo provedeno několik opakovaných pokusů při stejném tlaku a délce aplikace vody do prostoru. Po provedení předem určené série pokusů, byl tlak změněn a následovala další série jednotlivých pokusů, viz tabulky 5, 6, 7, 8.



Obrázek 13 - Graf celkového záznamu 1 části měření ve výšce 2100 mm [zdroj autor].

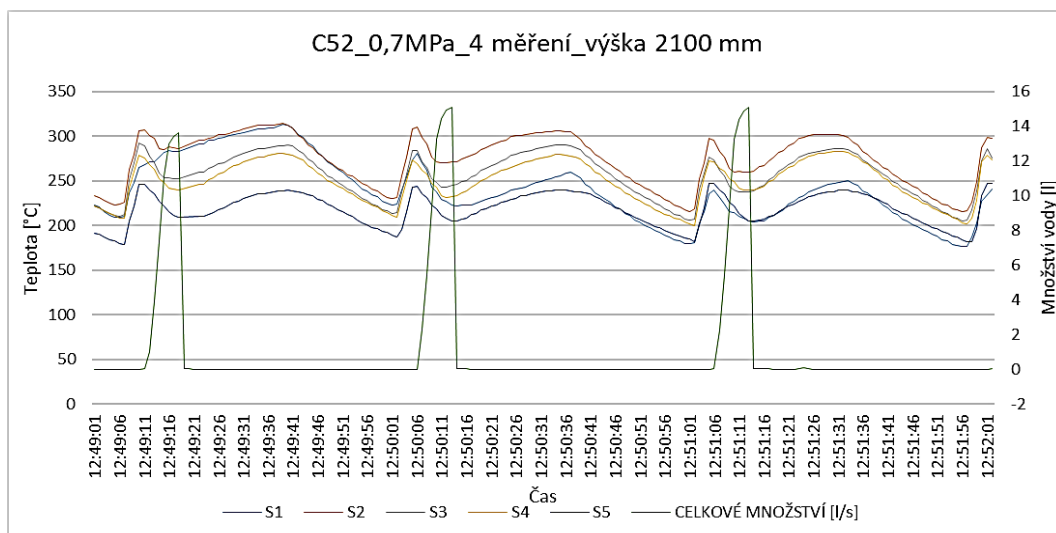
Hodnoty z jednotlivých měřících přístrojů, byly zaznamenávány ústředními Almemo a byly rozčleněny do čtyř jednotlivých souborů stejně, jak probíhaly jednotlivé části měření. Pro velké množství dat zaznamenaných hodnot, viz obrázek 11, byla data následně zpracována a rozčleněna do jednotlivých pokusů. Porovnávána byla ochlazující schopnost útočného vedení s proudnicí C52 a D25 vždy při stejném tlaku ze všech částí měření.

5.1 Zpracování výsledků

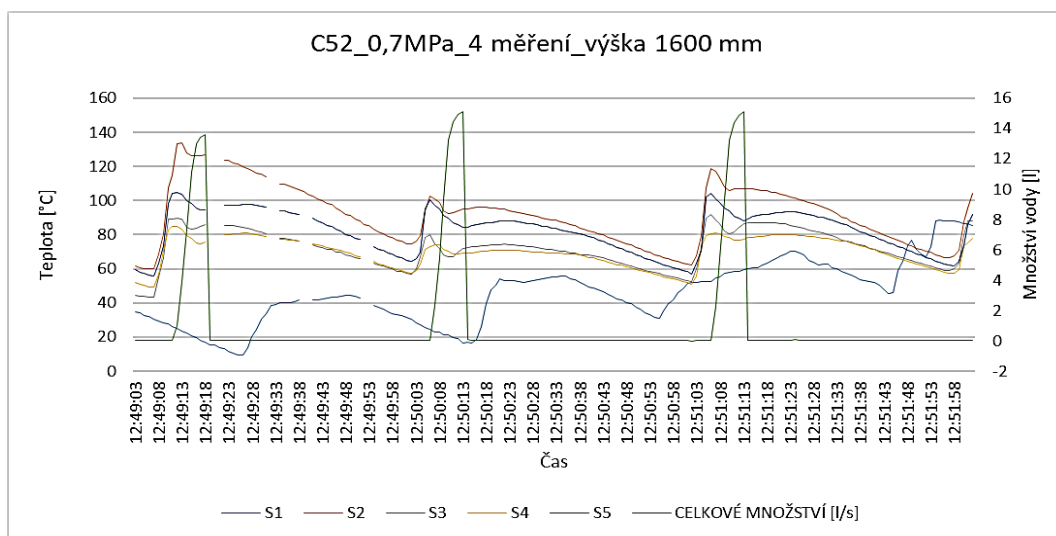
Pro příklad jsou níže uvedeny dílčí grafy a tabulka s jednotlivými pokusy. Výsledky byly zpracovány tak, aby bylo možné porovnat ochlazení prostoru v různých vzdálenostech (pozicích) od energetického zdroje (pece) a ve třech výškách od podlahy měřeného prostoru, viz tabulka 4 a obrázek 7.

Zpracovány byly grafy ze všech částí měření, které obsahovaly sadu pokusů při určitém tlaku v jedné výšce při použití proudnice C52 nebo D25. V každém grafu je možné sledovat vývoj teploty v čase na všech pozicích ve vzdálenosti od pece. Níže na obrázcích 12 a 13 jsou pro příklad uvedeny grafy se sadou pokusů při použití proudnice C52, při tlaku 0,7 MPa ve výšce 2100 mm a 1600 mm od podlahy. V grafu je vyznačena střední hodnota teplot naměřených na pozicích S1 až S5 a množství vody dodané do prostoru. Vzdálenost jednotlivých pozic je uvedena na obrázku 7. Každá teplotní

křivka v grafu zaznamenává střední hodnotu teplot naměřených na pozici S1_l (levá polovina kontejneru z pohledu proudnice) a S1_p (pravá polovina kontejneru z pohledu proudnice), až po střední hodnoty na pozicích S5_l a S5_p, viz příloha 19. Pro velké množství zpracovaných grafů jsou tyto grafy uvedeny v přílohách 13 až 17.



Obrázek 14 - Graf pokusů s C52 při tlaku 0,7 ve čtvrtém měření, výška 2100 mm [zdroj autor].



Obrázek 15 - Graf pokusů s C52 při tlaku 0,7 ve čtvrtém měření, výška 2100 mm [zdroj autor].

Z grafů byly dále zpracovány tabulky, ve kterých byly sledovány tyto hodnoty, viz tabulka 9:

- Počáteční čas ochlazení v prostoru,
- konečný čas ochlazení prostoru,
- teplota v počátečním čase ochlazování prostoru,
- teplota v konečném čase ochlazování prostoru,
- aplikované množství vody do prostoru,
- rychlost ochlazení prostoru,
- celkový čas chlazení prostoru po aplikaci vody.

Tabulka 9 - Tabulka pro vyhodnocení sledovaných dat z jednoho pokusu [zdroj autor].

CS2 / P = 0,7MPa - 1 pokus / 4 měření												
výška [mm]	sledované hodnoty	police stavovité										
		S1med		S2med		S3med		S4med		S5med		
		ochlazení	rozhoření	ochlazení	rozhoření	ochlazení	rozhoření	ochlazení	rozhoření	ochlazení	rozhoření	
2100	t počátek	12:49:10	12:49:14	12:49:10	12:49:14	12:49:10	12:49:17	12:49:17	12:49:18	12:49:18	12:49:10	12:49:17
	t konec	12:49:14	12:49:40	12:49:14	12:49:40	12:49:17	12:49:41	12:49:18	12:49:40	12:49:17	12:49:41	12:49:41
	t rozdíl	00004	00026	00004	00026	00007	00024	00008	00022	00007	00024	00024
	t poč [°C]	265,55	270,65	305,70	286,50	292,80	252,05	278,40	239,70	245,60	211,75	211,75
	t kon [°C]	270,65	312,65	286,50	312,65	252,05	288,90	239,70	280,05	211,75	239,05	239,05
	t sec	4,00	26,00	4,00	26,00	7,00	24,00	8,00	22,00	7,00	24,00	24,00
	v [°C/s]	-1,27	-1,62	4,80	-1,01	5,82	-1,54	4,84	-1,83	4,84	-1,14	-1,14
	Vvoda [l]	13,61										
1600	t počátek	chyba	chyba	12:49:13	12:49:17	12:49:13	12:49:15	12:49:13	12:49:17	12:49:13	12:49:18	
	t konec	chyba	chyba	12:49:17	12:50:02	12:49:15	12:49:18	12:49:17	12:49:27	12:49:18	12:49:27	
	t rozdíl	chyba	chyba	00004	00045	00002	00003	00004	00010	00005	00009	
	t poč [°C]	chyba	chyba	134,00	126,35	88,90	83,25	83,25	74,60	103,75	94,60	
	t kon [°C]	chyba	chyba	126,35	74,45	83,25	85,95	74,60	80,85	94,60	97,90	
	t sec	chyba	chyba	4,00	45,00	2,00	3,00	4,00	10,00	5,00	9,00	
	v [°C/s]	chyba	chyba	1,91	1,15	2,83	-0,90	2,16	-0,63	1,83	-0,37	
	Vvoda [l]	13,61										
1100	t počátek	nehodnoceno	nehodnoceno	nehodnoceno	nehodnoceno	nehodnoceno	nehodnoceno	nehodnoceno	nehodnoceno	nehodnoceno	nehodnoceno	
	t konec	nehodnoceno	nehodnoceno	nehodnoceno	nehodnoceno	nehodnoceno	nehodnoceno	nehodnoceno	nehodnoceno	nehodnoceno	nehodnoceno	
	t rozdíl	nehodnoceno	nehodnoceno	nehodnoceno	nehodnoceno	nehodnoceno	nehodnoceno	nehodnoceno	nehodnoceno	nehodnoceno	nehodnoceno	
	t poč [°C]	nehodnoceno	nehodnoceno	nehodnoceno	nehodnoceno	nehodnoceno	nehodnoceno	nehodnoceno	nehodnoceno	nehodnoceno	nehodnoceno	
	t kon [°C]	nehodnoceno	nehodnoceno	nehodnoceno	nehodnoceno	nehodnoceno	nehodnoceno	nehodnoceno	nehodnoceno	nehodnoceno	nehodnoceno	
	t sec	nehodnoceno	nehodnoceno	nehodnoceno	nehodnoceno	nehodnoceno	nehodnoceno	nehodnoceno	nehodnoceno	nehodnoceno	nehodnoceno	
	v [°C/s]	nehodnoceno	nehodnoceno	nehodnoceno	nehodnoceno	nehodnoceno	nehodnoceno	nehodnoceno	nehodnoceno	nehodnoceno	nehodnoceno	
	Vvoda [l]	13,61										

Pokusy ze všech čtyř částí měření, se stejnou proudnicí a stejným tlakem byly souhrnně vyhodnoceny. Pomocí zpracované tabulky byly ze všech pokusů spočítány střední hodnoty pro tyto parametry:

- Rychlost ochlazení prostoru,
- celkový čas chlazení prostoru po aplikaci vody,
- aplikované množství vody do prostoru.

5.2 Výsledky při tlaku 0,4 MPa

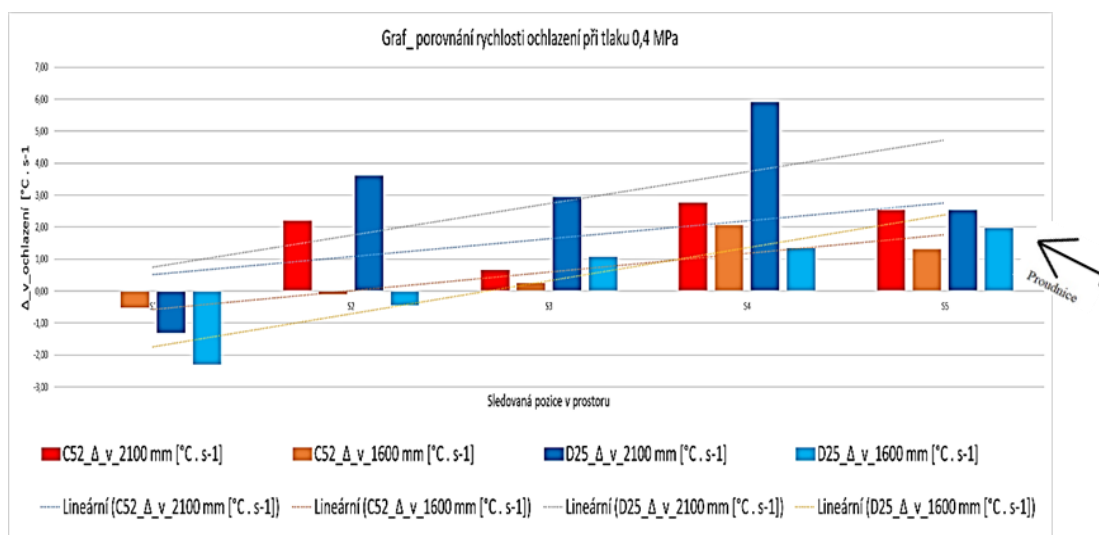
Tabulka 10 - Výsledky sledovaných parametrů - C52 při tlaku 0,4 MPa [zdroj autor].

Pokusy_C52_0,4MPa střední hodnoty						
medián	Pozice					Proudnice
	S1	S2	S3	S4	S5	
Δ_v 2100 mm [$^{\circ}\text{C} \cdot \text{s}^{-1}$]	0,03	2,20	0,66	2,78	2,53	
Δ_v 1600 mm [$^{\circ}\text{C} \cdot \text{s}^{-1}$]	-0,53	-0,10	0,26	2,08	1,31	
Δ_t ochlazení 2100 mm [s]	2,00	3,00	5,00	4,00	6,00	
Δ_t ochlazení 1600 mm [s]	2,00	2,00	2,00	4,00	5,00	
hasební voda [l]	10,50					

Tabulka 11 - Výsledky sledovaných parametrů – D25 při tlaku 0,4 MPa [zdroj autor].

Pokusy_D25_0,4MPa střední hodnoty						
medián	Pozice					Proudnice
	S1	S2	S3	S4	S5	
Δ_v 2100 mm [$^{\circ}\text{C} \cdot \text{s}^{-1}$]	-1,30	3,60	2,95	5,90	2,53	
Δ_v 1600 mm [$^{\circ}\text{C} \cdot \text{s}^{-1}$]	-2,30	-0,45	1,08	1,34	1,98	
Δ_t ochlazení 2100 mm [s]	5,00	3,00	2,00	3,00	7,00	
Δ_t ochlazení 1600 mm [s]	1,50	2,00	3,00	4,00	6,00	
hasební voda [l]	9,24					

Tabulka 10 a 11 zobrazuje vyhodnocené střední hodnoty při tlaku 0,4 MPa za použití proudnice Protek C52, viz tabulka 10 a proudnice Protek D25, viz tabulka 11.



Obrázek 16 - Graf porovnání rychlosti ochlazení při tlaku 0,4 MPa [zdroj autor].

Hodnocené parametry:

- Δ_v_{2100} mm [$^{\circ}\text{C} \cdot \text{s}^{-1}$] - střední hodnota rychlosti ochlazení za vteřinu na pozicích S1 až S5 ve výšce 2100 mm od podlahy měřeného prostoru,
- Δ_v_{1600} mm [$^{\circ}\text{C} \cdot \text{s}^{-1}$] - střední hodnota rychlosti ochlazení za vteřinu na pozicích S1 až S5 ve výšce 1600 mm od podlahy měřeného prostoru,
- $\Delta_t_{\text{ochlazení}_{2100}}$ mm [s] - střední hodnota doby ochlazení prostoru na pozicích S1 a S5 ve výšce 2100 mm od podlahy měřeného prostoru,
- $\Delta_t_{\text{ochlazení}_{1600}}$ mm [s] - střední hodnota doby ochlazení prostoru na pozicích S1 a S5 ve výšce 1600 mm od podlahy měřeného prostoru,
- $\Delta_{\text{hasební voda}}$ [l] - střední hodnota aplikované hasební vody do prostoru v litrech pomocí proudnic C52 nebo D25.

Zvýrazněné hodnoty:

- Žluté pole - označuje hodnotu lepších vlastností sledovaného parametru,
- červené písmo - označuje hodnoty, kdy ve sledované pozici v prostoru nedošlo k ochlazení,
- šedé pole - označuje stejné hodnoty ve sledovaném parametru u C52 i D25.

5.3 Výsledky při tlaku 0,6 MPa

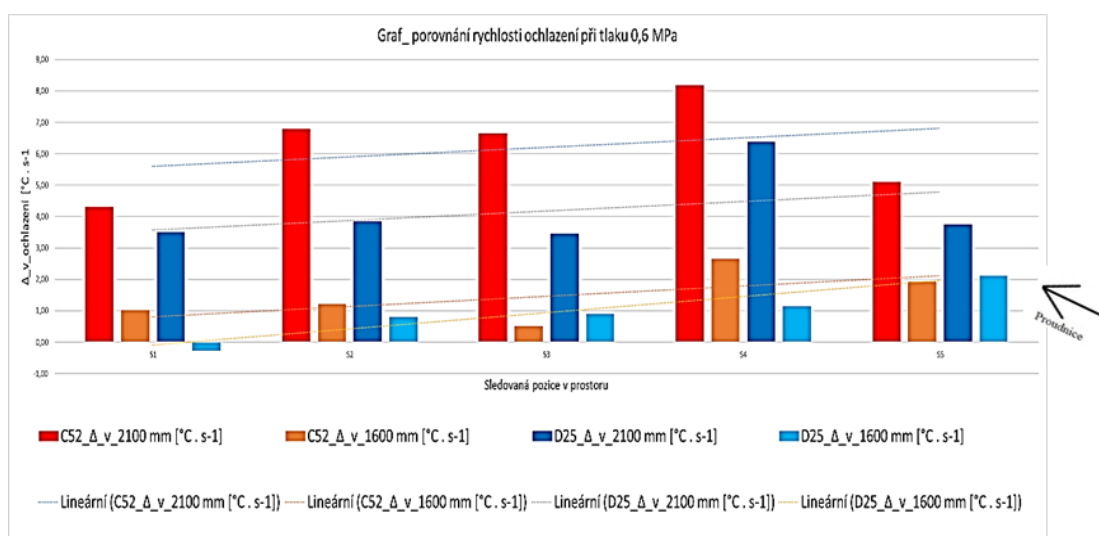
Tabulka 12 - Výsledky sledovaných parametrů - C52 při tlaku 0,6 MPa [zdroj autor].

Pokusy_C52_0,6 MPa střední hodnoty						
median	Pozice					Proudnice
	S1	S2	S3	S4	S5	
C52_Δ_v_2100 mm [°C . s ⁻¹]	4,30	6,78	6,66	8,18	5,11	
C52_Δ_v_1600 mm [°C . s ⁻¹]	1,02	1,21	0,50	2,65	1,93	
C52_Δ_t ochlazení 2100 mm [s]	7,50	6,00	4,50	5,00	6,00	
C52_Δ_t ochlazení 1600 mm [s]	8,00	9,50	5,50	5,00	6,00	
hasební voda [l]	13,20					

Tabulka 13- Výsledky sledovaných parametrů - D25 při tlaku 0,6 MPa [zdroj autor].

Pokusy_D25_0,6 MPa střední hodnoty						
median	Pozice					Proudnice
	S1	S2	S3	S4	S5	
D25_Δ_v_2100 mm [°C . s ⁻¹]	3,50	3,85	3,45	6,38	3,75	
D25_Δ_v_1600 mm [°C . s ⁻¹]	-0,28	0,80	0,90	1,15	2,12	
D25_Δ_t ochlazení 2100 mm [s]	8,00	9,00	3,00	3,00	5,00	
D25_Δ_t ochlazení 1600 mm [s]	6,00	4,00	2,00	3,00	4,00	
hasební voda [l]	10,36					

Tabulka 12 a 13 zobrazuje vyhodnocené střední hodnoty při tlaku 0,6 MPa za použití proudnice Protek C52, viz tabulka 12 a proudnice Protek D25, viz tabulka 13.



Obrázek 17 - Graf porovnání rychlosti ochlazení při tlaku 0,6 MPa [zdroj autor].

5.4 Výsledky při tlaku 0,7 MPa

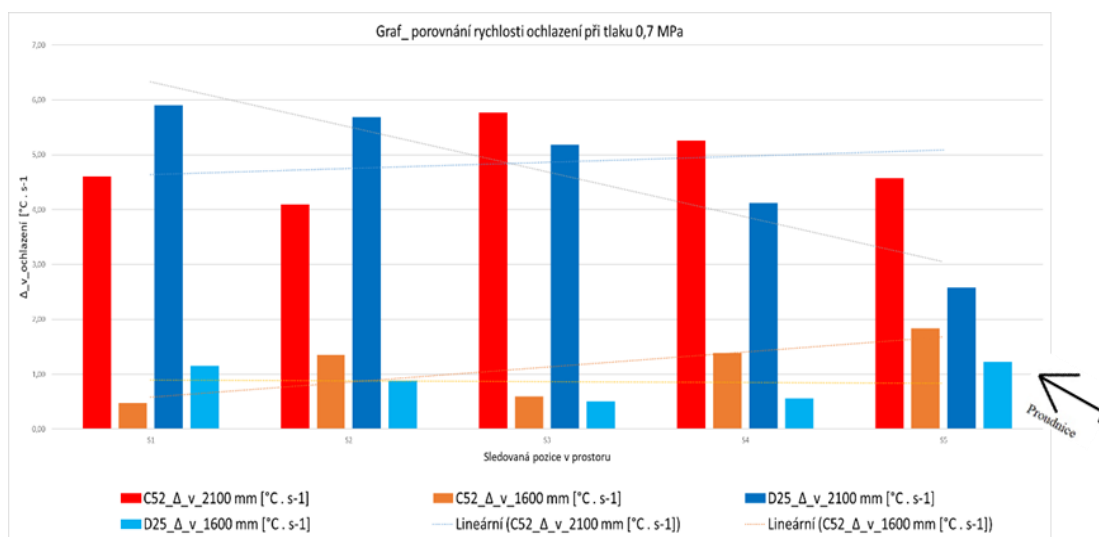
Tabulka 14 - Výsledky sledovaných parametrů - C52 při tlaku 0,7 MPa [zdroj autor].

Pokusy_C52_0,7MPa střední hodnoty						
medián	Pozice					Proudnice
	S1	S2	S3	S4	S5	
C52 Δv 2100 mm [$^{\circ}\text{C} \cdot \text{s}^{-1}$]	4,60	4,09	5,77	5,26	4,58	
C52 Δv 1600 mm [$^{\circ}\text{C} \cdot \text{s}^{-1}$]	0,48	1,36	0,59	1,39	1,84	
C52 Δt ochlazení 2100 mm [s]	12,00	9,50	7,50	6,50	7,00	
C52 Δt ochlazení 1600 mm [s]	4,00	4,00	4,00	4,00	5,00	
hasební voda [l]	13,10					

Tabulka 15 - Výsledky sledovaných parametrů - D25 při tlaku 0,7 MPa [zdroj autor].

Pokusy_D25_0,7MPa střední hodnoty						
medián	Pozice					Proudnice
	S1	S2	S3	S4	S5	
D25 Δv 2100 mm [$^{\circ}\text{C} \cdot \text{s}^{-1}$]	5,90	5,68	5,18	4,12	2,58	
D25 Δv 1600 mm [$^{\circ}\text{C} \cdot \text{s}^{-1}$]	1,15	0,88	0,50	0,57	1,23	
D25 Δt ochlazení 2100 mm [s]	10,00	9,00	9,00	8,00	10,00	
D25 Δt ochlazení 1600 mm [s]	19,00	10,00	10,00	5,00	9,00	
hasební voda [l]	10,90					

Tabulka 14 a 15 zobrazuje vyhodnocené střední hodnoty při tlaku 0,7 MPa za použití proudnice Protek C52, viz tabulka 14 a proudnice Protek D25, viz tabulka 15.



Obrázek 18 - Graf porovnání rychlosti ochlazení při tlaku 0,7 MPa [zdroj autor].

5.5 Výsledky při tlaku 0,8 MPa

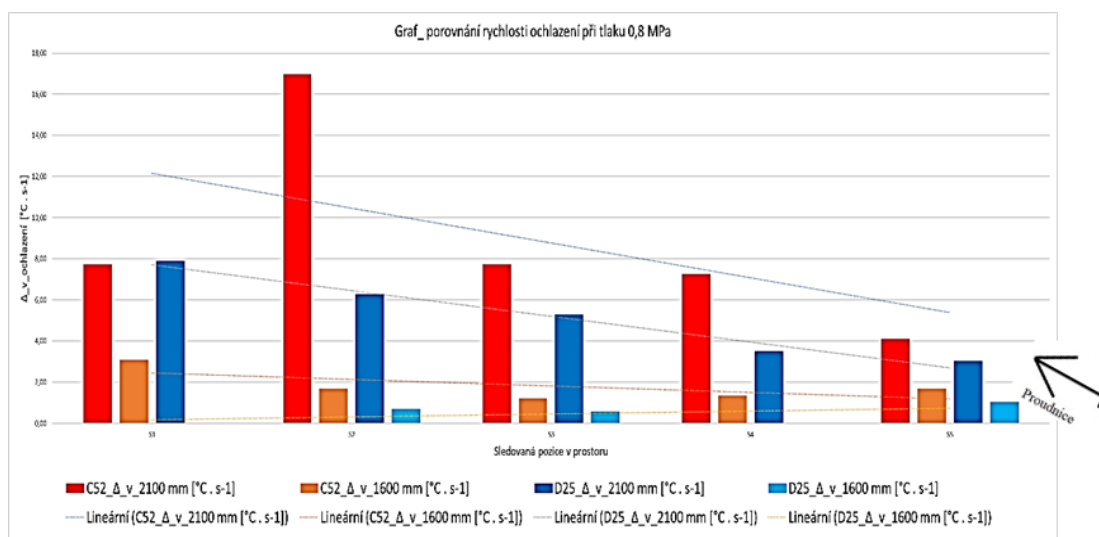
Tabulka 16 - Výsledky sledovaných parametrů - C52 při tlaku 0,8 MPa [zdroj autor].

Pokusy_C52_0,8 MPa střední hodnoty						
medián	Pozice					Proudnice
	S1	S2	S3	S4	S5	
C52 Δv 2100 mm [$^{\circ}\text{C} \cdot \text{s}^{-1}$]	7,72	16,98	7,74	7,27	4,11	
C52 Δv 1600 mm [$^{\circ}\text{C} \cdot \text{s}^{-1}$]	3,10	1,70	1,23	1,36	1,70	
C52 Δt ochlazení 2100 mm [s]	6,00	5,00	7,00	7,00	8,00	
C52 Δt ochlazení 1600 mm [s]	4,00	5,00	6,00	4,50	7,00	
hasební voda [l]	15,70					

Tabulka 17 - Výsledky sledovaných parametrů - D25 při tlaku 0,8 MPa [zdroj autor].

Pokusy_D25_0,8 MPa střední hodnoty						
medián	Pozice					Proudnice
	S1	S2	S3	S4	S5	
D25 Δv 2100 mm [$^{\circ}\text{C} \cdot \text{s}^{-1}$]	7,90	6,27	5,29	3,51	3,02	
D25 Δv 1600 mm [$^{\circ}\text{C} \cdot \text{s}^{-1}$]	chyba	0,70	0,56	0,00	1,05	
D25 Δt ochlazení 2100 mm [s]	6,00	6,27	6,00	3,00	7,00	
D25 Δt ochlazení 1600 mm [s]	chyba	3,00	3,00	3,00	6,00	
hasební voda [l]	11,88					

Tabulka 16 a 17 zobrazuje vyhodnocené střední hodnoty při tlaku 0,8 MPa za použití proudnice Protek C52, viz tabulka 16 a proudnice Protek D25, viz tabulka 17.



Obrázek 19 - Graf porovnání rychlosti ochlazení při tlaku 0,8 MPa [zdroj autor].

5.6 Výsledky při tlaku 1,0 MPa

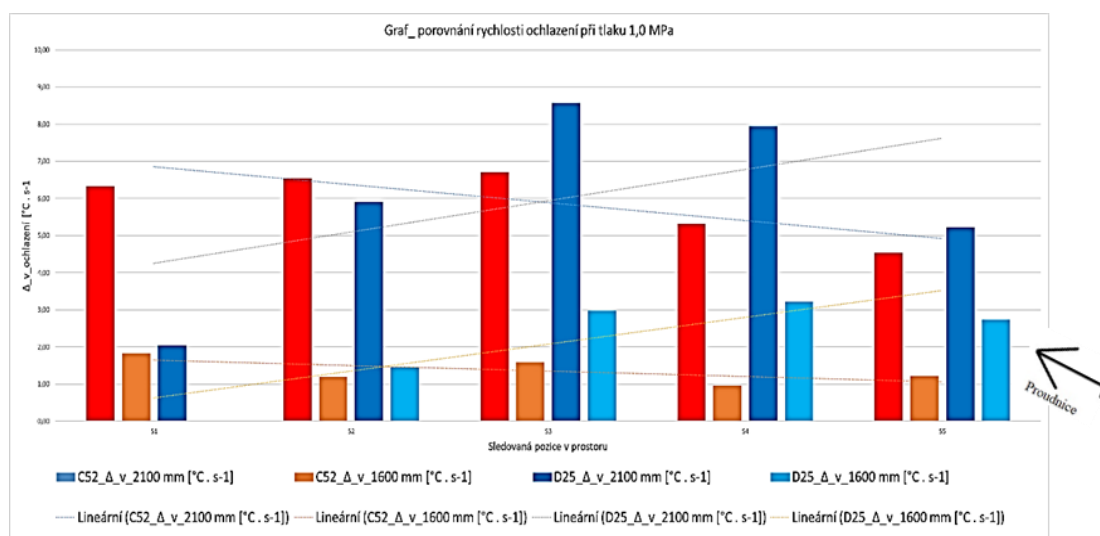
Tabulka 18 - Výsledky sledovaných parametrů - C52 při tlaku 1,0 MPa [zdroj autor].

Pokusy_C52_1MPa_střední hodnoty						
medián	Pozice					Proudnice
	S1	S2	S3	S4	S5	
C52 Δv 2100 mm [$^{\circ}\text{C} \cdot \text{s}^{-1}$]	6,33	6,55	6,71	5,31	4,54	
C52 Δv 1600 mm [$^{\circ}\text{C} \cdot \text{s}^{-1}$]	1,82	1,20	1,59	0,95	1,21	
C52 Δt ochlazení 2100 mm [s]	8,00	7,00	7,00	8,00	8,00	
C52 Δt ochlazení 1600 mm [s]	4,00	3,00	3,00	4,00	7,00	
hasební voda [l]	14,18					

Tabulka 19 - Výsledky sledovaných parametrů - D25 při tlaku 1,0 MPa [zdroj autor].

Pokusy_D25_1MPa_střední hodnoty						
median	Pozice					Proudnice
	S1	S2	S3	S4	S5	
D25 Δv 2100 mm [$^{\circ}\text{C} \cdot \text{s}^{-1}$]	2,03	5,90	8,58	7,95	5,22	
D25 Δv 1600 mm [$^{\circ}\text{C} \cdot \text{s}^{-1}$]	chyba	1,45	2,98	3,23	2,74	
D25 Δt ochlazení 2100 mm [s]	4,00	3,50	4,00	5,50	6,50	
D25 Δt ochlazení 1600 mm [s]	1,00	2,00	3,00	4,00	6,00	
hasební voda [l]	13,15					

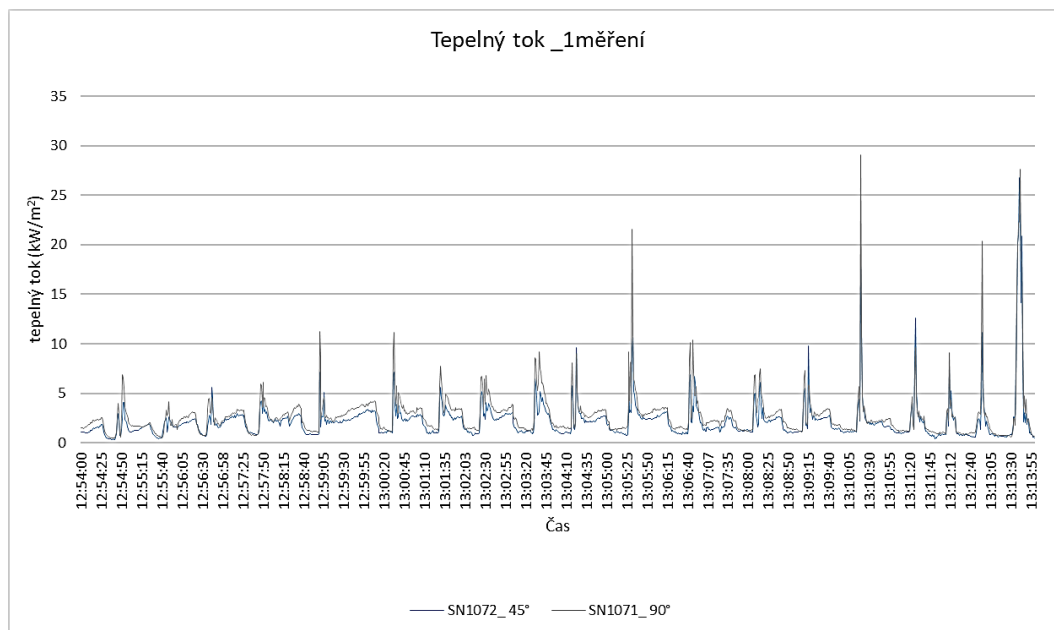
Tabulka 18 a 19 zobrazuje vyhodnocené střední hodnoty při tlaku 1,0 MPa za použití proudnice Protek C52, viz tabulka 18 a proudnice Protek D25, viz tabulka 19.



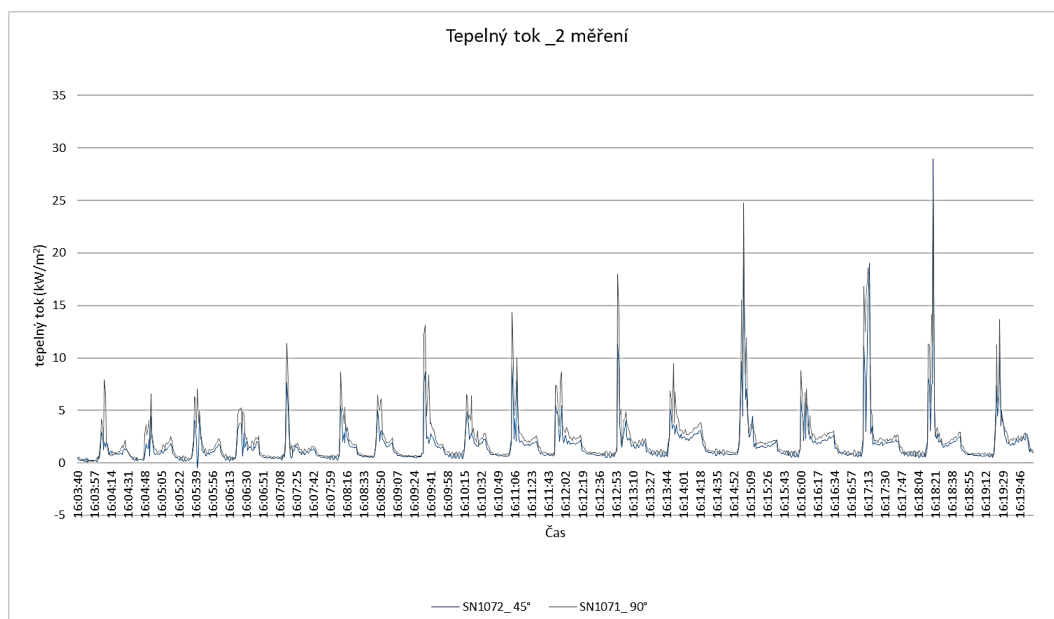
Obrázek 20 - Graf porovnání rychlosti ochlazení při tlaku 1,0 MPa [zdroj autor].

5.7 Měření hustoty tepelného toku

V průběhu experimentálního měření byl sledován dopad tepelného toku pomocí radiometrů, viz příloha 6. Radiometr označený SN 1071 byl nasměrován přímo proti zdroji tepelné energie. Druhý radiometr označený SN 1072 byl nasměrován v úhlu proudnice. Tento výsledek nebyl dále v práci hodnocen.



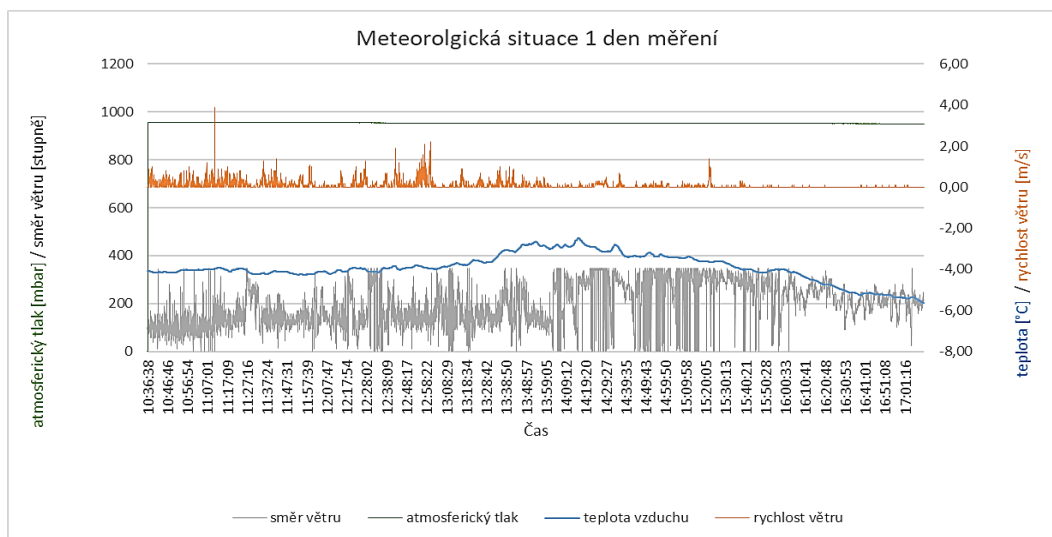
Obrázek 21 - Dopad tepelného toku v 1 části měření [zdroj autor].



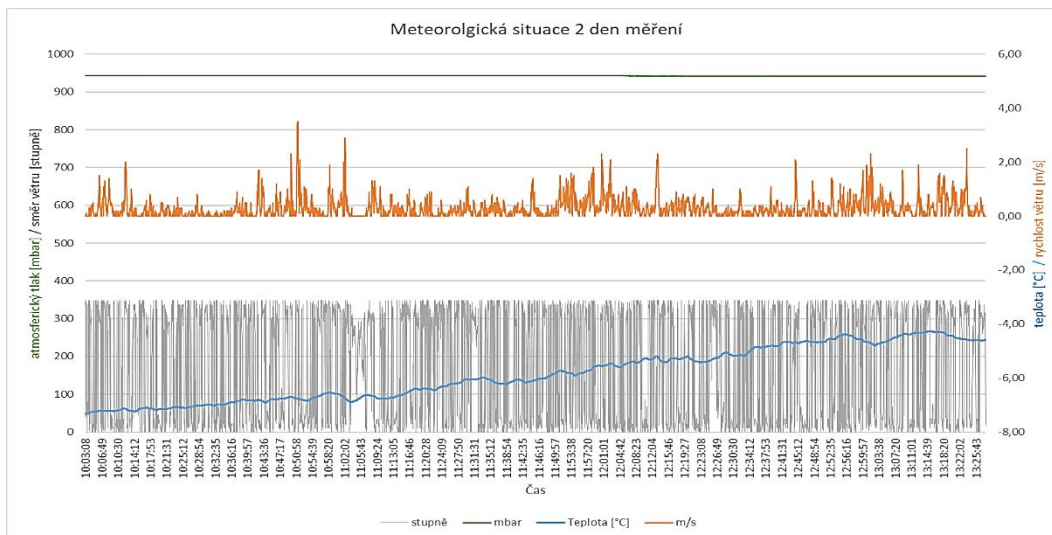
Obrázek 22 - Dopad tepelného toku v 2 části měření [zdroj autor].

5.8 Meteorologická situace

V průběhu celého experimentálního měření, byla pomocí meteorologické stanice Almemo sledována meteorologická situace. Dílčí grafy meteorologické situace jsou uvedeny v příloze 18 a jsou rozděleny po jednotlivých částech prováděného měření.



Obrázek 23 - Meteorologická situace během prvního dne měření [zdroj autor].



Obrázek 24 - Meteorologická situace během druhého dne měření [zdroj autor].

5.9 Konfigurace měřeného prostoru

Pro orientaci v prostoru byla kromě půdorysu, bokorysu a plánu rozmístění termočlánků vytvořena tabulka se vzdálenostmi pozic S1 až S5. Tabulka 20 ukazuje současně vzdálenost pozic od pece a vzdálenost sledovaných pozic od proudnice. Plány pozorovaného kontejneru a rozmístění termočlánků ve sledovaných pozicích jsou v příloze 19.

Tabulka 20 - Tabulka vzdáleností sledovaných pozic [zdroj autor].

Tabulka vzdáleností pozic							
Tepelný zdroj	vzdálenosti	Pozice S1	Pozice S2	Pozice S3	Pozice S4	Pozice S5	Proudnice
	vzdálenost od pece [m]	2	3	4	5,8	7,6	
	vzdálenost od proudnice [m]	7,4	6,4	5,4	3,6	1,8	

Pozorovací kontejner ve kterém bylo provedeno experimentální měření je pro účely výcviku osazen stavebními otvory v podobě dveří a oken. Tyto otvory byly v průběhu měření nakonfigurovány jak je uvedeno v tabulce 21.

Tabulka 21 - Konfigurace otvorů [zdroj autor].

Konfigurace otvorů	
otvor	konfigurace otvoru
dveře přední levá strana	zavřeno
dveře zadní levá strana	zavřeno
okno pravá strana	zavřeno
dveře zadní pravá strana	zavřeno
čelní vrata kontejneru	otevřeno

6 DISKUZE

Cílem této práce bylo zhodnotit možné použití útočného vedení D25 při likvidaci požárů ve vnitřním prostoru. Na základě tohoto cíle bylo navrženo a uskutečněno experimentální měření ve výcvikovém zařízení Flashover kontejneru (dále jen „FOK“) ŠVZ Zbiroh. Vlastní měření umožnilo analyzovat vybrané sledované fyzikální parametry a porovnat možnosti útočného proudu D25 s dosud standardně používaným útočným proudem C52. Sledovaný prostor byl jednoduchý, lineární, který je srovnatelný například se sklepní kójí, bytovým pokojem, nebo menší garáží. Prostor nebyl zatížen žádným vybavením, které by dále ovlivňovalo rozvoj požáru.

V uvedených výsledcích byly sledovány a porovnávány vybrané fyzikální parametry. Pro vzájemné porovnání byl sledován tlak v hadicovém vedení a byly hodnoceny ochlazující schopnosti jednotlivých proudů. Dále byl sledován průtok vody proudnicí při shodném tlaku a ve stejné časové délce aplikace vody do prostoru. Pomocí rozmístěných termočlánků v různých výškách a vzdálenostech od tepelného zdroje byly měřeny teploty, viz obrázek 9 a tabulka 10. Toto rozmístění dále umožnilo vyhodnotit ochlazující schopnosti v měřeném teplotním poli pomocí útočného proudu D25, ve srovnání s útočným proudem C52.

Při měření teplotního pole byl navozován opakovaně jeden z nelineárních jevů šíření požáru Rollover. Tento jev byl navozován po rozhoření normovaného objektu 4 x A5 v prostoru pece opakovaným otevíráním a zavíráním dveří pece. Každý z těchto cyklů obsahoval fázi rozhoření paliva v peci, zavření pece, otevření pece s rozvojem Rolloveru a ochlazení prostoru pomocí proudu D25, nebo C52, viz obrázek 12. V posledním cyklu, kdy docházelo k ochlazení měřeného prostoru, byly na pozicích S1 až S5 sledovány maximální, a minimální teploty po aplikaci vody jedním pulsem, viz tabulka 9. Tento potup umožnil sledovat nejen teploty, ale také spočítat rychlost ochlazení ve stupních Celsia za vteřinu a dobu účinku dodané hasební vody. Voda byla aplikována do prostoru vždy pod stejným úhlem těla proudnice a se stejným úhlem vodního kužele. Proudnic D25 i C52 byly nastaveny po celou dobu měření na průtok 230 l/min v úhlu 15° od podlahy. Kužel vody aplikované do prostoru byl 60°. Střední doba aplikované vody do prostoru (jeden puls) byla 5 vteřin.

Ochlazení teplotního pole bylo hodnoceno pouze ve výškách 2100 mm a 1600 mm od podlahy. Ve výšce 1100 mm od podlahy, nebyly naměřené hodnoty hodnoceny, z důvodu nízkých teplot, viz tabulka 9. Teploty v těchto výškách se pohybovaly na pozici S1, to je nejbližší k tepelnému zdroji, maximálně do 70 °C. Na pozicích S2 až S5 stále klesaly. Pozice S5 nepřekročila teplotu 25 °C.

Porovnání ochlazujících schopností při tlaku ve vedení 0,4 MPa

První porovnávaná schopnost ochlazení prostoru byla při tlaku vody v útočném vedení 0,4 MPa. Ochlazující schopnosti v prostoru při tomto tlaku, byly porovnávány především z důvodu zakotvení v Koncepcích požární ochrany, kapitole 1-3-01 Hašení vodou, vydané v roce 2001. Podle této starší nicméně stále platné literatury je uváděno, že ideální velikosti kapiček 0,1 až 1 mm u proudnic je dosaženo při tlaku 0,4 MPa [5]. V novější literatuře, například od Paula Grimwooda v knize 3D Fire Fighting Training, Techniques and Tactics, zabývající se aplikací hasební látky do uzavřeného prostoru jsou pro optimální velikost kapiček v prostoru 0,3 – 0,5 mm shodně uváděny tlaky okolo 0,8 MPa.

Ochlazující schopnosti v prostoru za použití útočného proudu s C52 při tlaku 0,4 MPa byly sledovány pouze do vzdálenosti 5 400 mm od proudnice, což je do měřené pozice S3, viz tabulka 20. Na pozicích S5, S4 a S3 v obou měřených výškách a na pozici S2 ve výšce 2 100 mm docházelo k ochlazení tohoto prostoru. Ve vzdálenosti 6 400 mm (od proudnice) na pozicích S2 ve výšce 1 600 mm od podlahy a na pozici S1 (7 400 mm od proudnice) ve výškách 1 600 mm a 2 100 mm od podlahy již k ochlazení nedocházelo a teplota stále stoupala. Ve většině měření při tomto tlaku došlo pouze ke zpomalení růstu teploty, viz příloha 13 výsledné grafy při tlaku 0,4 MPa. Střední hodnota množství vody aplikované do prostoru ze všech měření při jednom pulsu za použití proudnice C52 při tlaku 0,4 MPa byla 10,5 l.

Na základě vizuálního pozorování, bylo patrné, že při použití proudnice C52 při tlaku 0,4 MPa byla účinnost proudu malá. Aplikovaná voda do prostoru neměla dostatečnou energii, aby kapičky vody prolétly měřeným prostorem. Trajektorie aplikované vody byla velmi krátká, odpovídající provedené zkoušce účinného dostřiku v prostoru, při přípravě měření, viz tabulka 3. Kapičky vody vytvořené proudnicí byly velké a zřetelně viditelné.

Ochlazující schopnosti v prostoru při použití proudnice D25 při tlaku 0,4 MPa jsou podobné jako u proudnice C52. Ochlazení prostoru proběhlo shodně v obou měřených výškách do vzdálenosti 5 400 mm od proudnice, tj. do měřené pozice S3. Na pozici S2 ve vzdálenosti 6 400 mm od proudnice proběhlo ochlazení pouze ve výšce 2 100 mm. Na pozici S1 v obou výškách a na pozici S2 ve výšce 1 600 mm k ochlazení nedošlo. Na těchto pozicích došlo pouze k mírnému zpomalení růstu teplot. Střední hodnota množství vody aplikované do prostoru ze všech měření při jednom pulsu za použití proudnice D25 při tlaku 0,4 MPa byla 9,24 l, viz tabulka 11.

Závěry z vizuálního pozorování při ochlazování prostoru pomocí proudnice D25 s proudnicí C52 byly srovnatelné. Energie proudu dodávaného do prostoru byla malá a nebyla dostatečná na ochlazení celého měřeného prostoru. Ačkoliv zkouškou dostřiku provedenou při přípravě na měření, viz tabulka 2, byl prokázán při tomto tlaku a úhlu proudnice delší účinný dostřik, neměl proud dostatečnou energii na průlet celým měřeným prostorem.

Souhrnné hodnocení při tlaku 0,4 MPa

Při ochlazování sledovaného prostoru bylo shodně zhodnoceno, že použitý tlak nedává vodnímu proudu dostatečnou energii na průlet celým prostorem. Při aplikaci pulsů do prostoru dodává při stejném tlaku a stejném nastaveném průtoku na proudnici větší množství vody proudnice C52. Tato skutečnost vyvrací hypotézu 1.

Rychlost ochlazení hodnocená v tabulkách 10 a 11 byla na pozicích ve výšce 2 100 mm od podlahy vyšší u proudnice D25. Rychlost měřená na pozicích ve výšce 1 600 mm od podlahy, kde došlo k ochlazení, byla také vyšší nebo shodná s C52. Pomocí proudnice D25 docházelo k rychlejšímu ochlazení a v mnohých případech i k časově delšímu působení vody v prostoru, viz porovnání výsledných tabulek 10 a 11. Rychlejší ochlazení proudem D25, je s velkou pravděpodobností způsobeno lepší schopností proudnice při tomto tlaku vytvářet menší kapičky, které při průletu prostorem odeberou více tepla.

Porovnání ochlazujících schopností při tlaku ve vedení 0,6 MPa

Ochlazující schopnost proudů při tlaku 0,6 MPa je porovnána především s ohledem na zakotvení v normě ČSN EN 15182-1+A1, kde je uváděn referenční tlak $0,6 \pm 1,0$ MPa u kombinovaných proudnic PN 16. Referenční tlak je obvyklý tlak při provádění zkoušek [27, 28].

Ochlazující schopnost v prostoru při použití proudnice C52 použitým tlaku 0,6 MPa byla zhodnocena v tabulce 12. Tabulka ukazuje, že aplikovaná voda do prostoru měla tlakem dodávanou energii dostatečnou pro ochlazení celého prostoru. K ochlazení došlo na všech sledovaných pozicích. Rychlé ochlazení bylo sledováno především ve výšce 2 100 mm od podlahy. Doba působení vody po aplikaci pulsu byla na všech pozicích podobná a lze říci, že konstantní. Dobré výsledky dosahoval proud C52 i na pozicích ve sledované výšce 1 600 mm od podlahy. Voda působila efektivně ve všech výškách i vzdálenostech. Střední hodnota množství vody aplikované do prostoru jedním pulsem za použití proudnice C52 a při tlaku 0,6 MPa, byla 13,2 l.

Na základě vizuálního pozorování při aplikaci vody do prostoru při tlaku 0,6 MPa za použití proudnice C52 lze konstatovat, že hasicí účinek byl uspokojivý. Při tomto tlaku byla viditelná změna v účinném dostřiku proudnice napříč celým prostorem, oproti tlaku 0,4 MPa. Kapičky vody byly výrazně drobnější. Voda měla dostatečnou energii proletět celým prostorem a působit tak v celém sledovaném prostoru.

Oproti tomu ochlazující schopnost vody při stejném tlaku 0,6 MPa, ale při použití proudnice D25 nedosahovala takových účinků, jak je vidět v tabulce 13. Voda měla dostatečnou energii, aby proletěla celým prostorem a ochlazovala na všech pozicích a ve všech vzdálenostech, kromě pozice S1 (7 400 mm od proudnice) ve výšce 1 600 mm od podlahy. Na této pozici docházelo ve středních hodnotách z hodnocených pokusů, pouze ke zpomalení nárůstu teplot. Při použití proudnice D25 bylo do prostoru aplikováno v jednom pulsu, v rámci hodnocených pokusů 10,36 l.

Na základě vizuálního pozorování při použití proudnice D25 za tlaku 0,6 MPa, byl spatřen nedostatek ve vyplnění prostoru vodním proudem. Na první pohled bylo

zřejmé, že proud nemá dostatečnou sílu přetlačit tlak horkých spalin vycházející z prostoru hoření.

Souhrnné hodnocení při tlaku 0,6 MPa

Při porovnání sledovaných hodnot v tabulce 12 a 13 je na první pohled efektivnější ochlazování prostoru proudem C52. Při použití útočného vedení s proudnicí C52 jsou téměř všechny pozice ochlazený rychleji a voda působí v ochlazovaném prostoru déle. Při použití proudnice D25 jsou sledované rychlosti ochlazení na pozicích přibližně o polovinu pomalejší. Voda u D25 také působí v prostoru kratší dobu. To je pravděpodobně způsobeno množstvím aplikované vody do prostoru při tomto tlaku, které bylo vyšší u proudnice C52 oproti proudnici D25, což opět vyvrací hypotézu 1, viz tabulka 12 a 13.

Porovnání ochlazujících schopností při tlaku ve vedení 0,7 MPa

Porovnávaná ochlazující schopnost vody pro efektivní ochlazení vnitřního prostoru je diskutována především s ohledem na tlak doporučený výrobcem proudnice Protek C52 [30]. Stejně je tomu u použité proudnice D25 kdy výrobce udává, že tato proudnice dosahuje již při tlaku 0,7 MPa vynikajících výsledků [31].

Ochlazující účinek v testovaném prostoru byl pomocí proudnice C52 na všech sledovaných pozicích optimální. Jak je vidět v tabulce 14, při použití proudnice C52 dosahovala podobné rychlosti ochlazení na všech měřených pozicích. Voda aplikovaná do prostoru, působila ve srovnání s předchozími hodnocenými pokusy, za nižšího tlaku déle. Střední hodnota množství vody aplikované do prostoru z měřených pokusů při tlaku 0,7 MPa byla 13,10 litru při jednom pulsu, viz tabulka 14.

Na základě vizuálního pozorování lze říci, že při tlaku 0,7 MPa měla proudnice C52 dostatečnou energii pro přetlačení hořících zplodin v kouřové vrstvě, až k tepelnému zdroji. Aplikovaná voda efektivně působila po celém prostoru pozorovacího kontejneru, tedy v délce 9 400 mm.

Podobně jako proudnice C52 při tlaku 0,7 MPa dosahovala lepší efektivity ochlazení ve sledovaném prostoru i proudnice D25. V tomto případě došlo z naměřených hodnot poprvé ochlazení všech sledovaných pozic. Střední hodnota množství vody aplikované do prostoru z měřených pokusů při tlaku 0,7 MPa byla 10,9 litru při jednom pulsu, viz tabulka 15.

Při používání proudnice D25 bylo viditelné, že proud pracuje při tlaku 0,7 MPa výrazně lépe než při nižších tlacích. Ačkoliv probíhalo podle tabulky 15, ochlazení na všech pozicích a výškách, stále bylo viditelné, že proud vody aplikované pomocí proudnice D25 nemá dostatečnou energii k souměrnému přetlačení hořící vrstvy kouře. Plameny měli tendenci procházet kolem okrajových částí vodního kužele.

Souhrnné hodnocení při tlaku 0,7 MPa

Při tlaku 0,7 MPa, docházelo při použití proudnice C52, do vzdálenosti 5 400 mm (na pozicích S5, S4 a S3 které jsou blíže k proudnici) k rychlejšímu ochlazení. Oproti tomu použití proudnice D25 dosahovalo rychlejšího ochlazení ve vzdálenější části měřeném prostoru, konkrétně na pozicích S1 a S2. Doba působení aplikované vody v prostoru byla při použití proudnice C52 delší ve vzdálenějších měřených pozicích od proudnice (S1 a S2) ve výšce 2 100 mm od podlahy. Při použití proudnice D25 působila voda naopak déle v pozicích bližších proudnici v obou měřených výškách, viz tabulka 14 a 15. Proudnice C52 do prostoru dodala jedním pulsem více vody než proudnice D25, což vyvrací hypotézu 1. Přesto že jsou v tabulkách 14 a 15 zvýrazněné rozdíly v hodnotách rychlosti ochlazení a v délce působení vody v prostoru, je rozdíl těchto hodnot při porovnání zanedbatelný. Ve většině případů se jedná o rozdíly v desetínách stupně. Při měření za tlaku 0,7 MPa je možné konstatovat, že ochlazující efekt pomocí proudnice C52 i D25 byl srovnatelný a to potvrzuje hypotézu 2.

Porovnání ochlazujících schopností při tlaku ve vedení 0,8 MPa

Další dílčí hodnocení bylo porovnání ochlazující schopnosti účinného vedení s proudnicí C52 a D25 při tlaku 0,8 MPa. Proudnice C52 podle výsledné tabulky 16, ochlazovala sledovaný prostor lépe na všech pozicích a ve všech výškách. Rychlost

ochlazení v prostoru probíhalo na všech pozicích výrazně rychleji než při ochlazování prostoru za tlaku v útočném proudu 0,7 MPa. Střední hodnota množství vody aplikované do prostoru z měřených pokusů při tlaku 0,8 MPa byla 15,70 litru při jednom pulsu, viz tabulka 16.

Na základě vizuálních pozorování získaných při prováděných měření ve FOK Zbiroh byl ochlazující účinek při použití tlaku 0,8 MPa v útočném vedení velmi rychlý. Aplikovaný proud vody v kuželu měl dostatečnou energii proletět celým prostorem a vyplnit celou šířku i výšku kontejneru po celé délce.

Při ochlazování sledovaného prostoru pomocí proudnice D25 docházelo k ochlazení na všech pozicích. U měřených pokusů došlo na pozici S1 ve výšce 1 600 mm od podlahy k chybě termočlánku a tato pozice nemohla být hodnocena. Střední hodnota množství vody aplikované do prostoru z měřených pokusů při tlaku 0,8 MPa byla 11,88 litru při jednom pulsu, viz tabulka 17.

Na základě vizuálního pozorování aplikovaný vodní proud z proudnice D25 při tlaku 0,8 MPa, viditelně měnil podmínky v prostoru po celé délce. Viditelná zde byla tendence hořící kouřové vrstvy obcházet vodní kužel stejně, jako při tlaku 0,7 MPa.

Souhrnné hodnocení při tlaku 0,8 MPa

Efektivita ochlazení sledovaného prostoru je dle výsledných tabulek 16 a 17 vyšší při použití proudnice C52 téměř na všech sledovaných pozicích. Při porovnání hodnot na pozicích, kde mělo dle výsledků vyšší efektivitu D25 jsou tyto rozdíly zanedbatelné a to vyvrací hypotézu 2. Proudnice C52 do prostoru dodala jedním pulsem při tlaku 0,8 MPa více vody než proudnice D25, což vyvrací hypotézu 1.

Porovnání ochlazujících schopností při tlaku ve vedení 1,0 MPa

Ochlazující schopnost při aplikaci vody do prostoru pomocí proudnice C52 při tlaku 1,0 MPa je uvedena v tabulce 18. Ze sledovaných parametrů lze pomocí této tabulky vyhodnotit, že voda aplikovaná do prostoru efektivně působila po celém sledovaném prostoru. Kapičky vody ve vodním kuželu měli dostatečnou energii proletět celým

prostorem a rychle ochlazovat prostor. Rychlost ochlazení byla vyšší především na vzdálenějších pozicích (6 400 a 7 400 mm) od proudnice (pozice S1 a S2) ve výšce 2 100 mm od podlahy. Voda působila v prostoru delší dobu na všech sledovaných pozicích ve vzdálenosti od proudnice a to v obou sledovaných výškách. Střední hodnota množství vody aplikované do prostoru z měřených pokusů při tlaku 1,0 MPa byla 14,18 litru při jednom pulsu, viz tabulka 18.

Na základě vizuálního pozorování aplikace hasební vody ve sledovaném prostoru můžeme konstatovat, že distribuce vodního proudu celým prostorem byla vynikající až k tepelnému zdroji. Voda vyplnila celý prostor a snadno překonala přetlak hořících plynů v horní kouřové vrstvě sledovaného prostoru.

Při použití proudnice D25 za stejného tlaku působila voda na všech měřených pozicích, viz tabulka 19. Kinetická energie proudu byla při použití tlaku 1,0 MPa dostatečná. Střední hodnota množství vody aplikované do prostoru z měřených pokusů při tlaku 1,0 MPa, byla 13,15 litru při jednom pulsu, viz tabulka 19.

Vizuálním pozorováním při tomto tlaku bylo zhodnoceno, že proud má dostatečnou energii na průlet vodního proudu celým prostorem. Vodní proud měl energii účinně působit až k tepelnému zdroji.

Souhrnné hodnocení při tlaku 1,0 MPa

Při použití tlaku 1,0 MPa v útočném vedení je z porovnání výsledných hodnot zřejmé, že při použití proudnic C52 i D25 docházelo k ochlazení celého prostoru. Na bližších pozicích k proudnici (do 5 400 mm) byl ochlazován rychleji prostor pomocí proudnice D25. Na vzdálenějších pozicích (od 6 400 m) ochlazoval prostor lépe proud z proudnice C52. Při porovnání hodnot z tabulek 18 a 19 je viditelné, že při použití proudnice C52 je rychlost ochlazení srovnatelná na všech měřených vzdálenostech v obou sledovaných výškách. Při použití proudnice D25 je rychlost ochlazení na bližších pozicích proudnice vyšší než u C52, ovšem její schopnost ochladit prostor směrem k tepelnému zdroji výrazně klesá a rychlost se na vzdálenějších pozicích zpomaluje. Délka efektivního působení vody je při použití proudnice C52 výrazně delší. Při použití proudnice C52 bylo do prostoru aplikováno jedním pulsem více vody než při použití proudnice D25,

viz tabulky 18 a 19 a to vyvrací hypotézu 1. Vyvrácena je také hypotéza 2, protože při srovnání bylo vysledováno, že při použití proudnice C52 dojde k rovnoměrnějšímu ochlazení celého prostoru a voda efektivně působí v prostoru po delší časový úsek.

Celkové porovnání ochlazujících schopností při použití proudnic D25 a C52

Z výsledků vyhodnocených v tabulkách 10 až 19 a z dílčích hodnocení viz výše, lze uceleně konstatovat, že tlak 0,4 MPa není využitelný pro efektivní ochlazování vnitřního prostoru zasazeného požárem, což je v rozporu s Konspekty odborné přípravy 1-3-01 Požární taktiky [5]. Tímto tlakem se při použití obou druhů útočných proudů C52 a D25 nepodařilo sledovaný prostor dostatečně ochladit. Ani v jednom z případů, neměl proud dostatečnou energii na průlet prostorem. Ochlazení působilo pouze ve velmi krátkých vzdálenostech od proudnice, což může ohrožovat bezpečnost zasahujících hasičů při postupu vnitřním prostorem směrem k ohnisku požáru. Pokud vodní proud ochlazuje nedostatečně, neodebírání dostatečně teplo a nelze tak efektivně předcházet nelineárnímu rozvoji požáru. Nespálené pyrolýzní plyny v kouřové vrstvě si udržují kritickou teplotu, při které tak může dojít k rozvoji Rolloveru, Flashoveru, nebo Backdraftu, viz kapitola Taktika hašení. Při použití správné taktiky pro zdolávání požárů v uzavřeném prostoru dochází k ochlazení kouřové vrstvy a tím k úspěšnému předcházení vzniku výše zmíněných jevů. Správná a dostatečná aplikace vody do prostoru požáru je ovlivněna schopností zasahujícího hasiče správně pracovat s proudnicí, ale také nastaveným tlakem v útočném proudu, který ovlivňuje průtok hasební vody proudnicí. Proudnic C52 i D25 při tlaku 0,4 MPa nedávali vodnímu proudu dostatečnou energii na průlet prostorem a nepracovali tak, aby velikost kapiček při rozprašeném proudu byla ideální. Velikost kapiček byla pozorována jako nevhodná pouze vizuálně při tomto tlaku, jelikož vlastní měření velikosti kapiček nebylo součástí navrženého a realizovaného experimentálního měření.

V dalších sledovaných tlacích (0,6 MPa, 0,7 MPa, 0,8 MPa a 1,0 MPa) došlo při použití proudnice C52 k ochlazení celého sledovaného prostoru. Z dílčích hodnocení provedených pro každý tlak samostatně je zřetelné, že útočný proud s použitím proudnice C52 dosahuje převážně lepších výsledků v rychlosti ochlazení teplotního pole ve sledovaném prostoru i v délce působení vody ve sledovaném prostoru. Při použití proudnice D25 došlo k ochlazení celého prostoru až při třetím sledovaném tlaku

v útočném vedení a to při tlaku 0,7 MPa, což odpovídá tvrzení výrobce, že proudnice dosahuje optimálních výsledků právě při tomto tlaku [31]. Při tlaku 0,7 MPa byly sledované parametry srovnatelné u proudnice D25 i C52. Při tlaku 0,6 MPa, 0,8 MPa a 1,0 MPa lze hodnotit jako efektivnější proudnice C52 v rámci celkového účinku v prostoru. Souhrnně lze říci, že byla vyvrácena hypotéza 2.

Ve všech sledovaných dílčích pokusech v celém souboru měření bylo pomocí proudnice C52 do prostoru dodáno, vždy větší množství vody a to celkově vyvrací hypotézu 1. Tento objem byl větší o 1 až 3 litry vody v rámci jednoho 5 vteřinového pulsu u proudnice C52, což se výrazně projevilo ve prospěch ochlazující schopnosti vody v prostoru. Pokud je správně použita taktika hašení požárů ve vnitřním prostoru, je tento vyšší objem vody aplikované do prostoru zanedbatelný z pohledu kultury hašení například ve výškových budovách, kde odtékající voda působí další škody.

Zhodnocením výsledků z provedeného experimentálního měření lze doporučit pro likvidaci požárů v uzavřeném prostoru používání útočného proudu C52. Proudnice C52 má lepší vlastnosti při ochlazování prostoru a při jejím správném použití lze efektivněji předcházet vzniku nelineárních projevů požáru. Tímto lze částečně nebo zcela zamezit dalšímu šíření požáru a zajistit také bezpečnost zasahujících hasičů. Při použití proudnice C52 je také velmi důležitá schopnost nastavení vyššího průtoku vody. To umožňuje zasahujícím hasičům adekvátně reagovat na změny rozvoje požáru. U proudnice D25 byl v našem případě nastaven maximální průtok 230 l/min a tato proudnice v případě potřeby již neumožňuje nastavit vyšší průtok a pracuje tak na hranici svých možností.

Po provedeném experimentálním měření a získaných zkušenostech je také možné konstatovat, že použité palivo a systém navozování nelineárního jevu Rolloveru, bylo limitováno možnostmi paliva. Tímto nebylo možné provádět opakování většího množství dílčích pokusů při nastavení jednotlivých tlaků ve vedení. Měření bylo prováděno do doby, dokud to schopnosti paliva a vývoj zplodin hoření umožňovali. Také dosažené teploty v prostoru s ohledem na použité palivo nebylo možné regulovat. Rozsah teplot, které byly při měření sledovány, byl velmi rozdílný. Měření tohoto druhu by bylo optimálnější při realizaci v simulátorech, ve kterých se jako palivo používá např. plyn (Propan). Ovládání množství dodávky paliva do prostoru by umožnilo, porovnávat

sledované fyzikální veličiny v přesnějších časových intervalech, s větším množstvím opakování jednotlivých pokusů.

Výhoda pro použití útočného proudu D25 je především ve snadné manipulaci a ovládním proudu. Snadnější manipulace souvisí s nízkým objemem vody v hadicích a tím nízké hmotnosti vedení. Využití útočného proudu D25 je z nabytých zkušeností reálné například při dohašování požárů v uzavřeném prostoru po lokalizaci požáru a při jednoduchých zásazích na střešních konstrukcích. Uplatnění útočného proudu D25 je spatřováno také, při zdolávání lesních požárů, trav a nízkého dřevního porostu. Při lesních požárech usnadňuje práci zasahujícím hasičům právě nízká váha zavodněného vedení. Celková váha jedné zavodněné hadice D25 je pouhých 13 kg. Oproti tomu je váha jedné zavodněné hadice C52 téměř 50 kg. Tento hmotnostní rozdíl hraje významnou roli při likvidaci lesních požárů a to zejména při zdolávání komplikovaného terénu.

7 ZÁVĚR

Možnosti použití útočného proudu D25 při likvidaci požárů ve vnitřním prostoru bylo v této práci zhodnoceno na základě experimentálního měření. Koncepce měření byla situována tak, aby bylo možné hodnotit efektivitu ochlazení prostoru zasaženého požárem. Hodnocena byla rychlost ochlazení sledovaného prostoru a délka účinků vody v ochlazovaném prostoru pomocí útočného vedení s proudnicí D25 a její ochlazující schopnosti byly porovnány s proudnicí C52. Ochlazující schopnosti byly porovnány při několika vybraných tlacích v útočném vedení. Tímto byly porovnány tlaky, které uvádí odborná literatura, metodiky a také tlak který uvádí norma ČSN, pro ručně ovládané požární proudnice.

Ochlazující schopnost hasební vody aplikované do prostoru při likvidaci požárů ve vnitřním prostoru přímo ovlivňuje další vývoj požáru. Ochlazení kouřové vrstvy obsahující nespálené hořlavé produkty je v přímé souvislosti s dalším rozvojem požáru a možným vznikem nelineárního rozvoje požáru. Pokud je prostor dostatečně ochlazen, je omezeno, nebo zcela zastaveno jeho další šíření do vzdálenějších prostor zasaženého objektu požárem. Snížení teploty prostoru také ovlivňuje bezpečnost zasahujících hasičů při požárech v uzavřeném prostoru. Teplota v prostoru a intenzita sdílení tepla ovlivňuje míru rizika a vznik popálenin hasičů. Ochlazením prostoru, hasičům umožňuje postupovat prostorem k tepelnému zdroji, neboli k ohnisku požáru a k jeho vlastnímu uhašení. Pokud prostor není dostatečně ochlazen, tento postup není možný, což nevede k úspěšné, rychlé likvidaci požáru.

Provedeným měřením v rámci této práce bylo z výsledků souhrnně vyhodnoceno, že při zdolávání požárů v uzavřeném prostoru jsou možnosti útočného vedení D25 značně limitovány. Důležitým poznatkem je, že ochlazování je neefektivní u D25 i C52, při použití tlaku 0,4 MPa v útočném vedení. Při ostatních sledovaných tlacích pomocí proudu vody z útočného vedení D25 s kombinovanou proudnicí, nedocházelo při porovnání výsledků k ochlazení prostoru s takovou účinností, jako při použití útočného vedení s proudnicí C52. Při aplikaci vody do prostoru pomocí útočného vedení D25, bylo dodáno do prostoru vždy menší množství vody, než pomocí útočného vedení

C52 a to při stejně nastavených podmínkách. Množství vody přímo ovlivňuje ochlazující schopnosti vody v prostoru.

Závěrečným poznatkem z provedeného experimentálního měření je souhrnně zhodnoceno, že ochlazení prostoru pomocí D25 je pomalejší a voda působí kratší dobu v prostoru než při použití C52.

8 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

VPPO - Věcné prostředky požární ochrany.

HZS - Hasičský záchranný sbor.

ŠVZ - Školící a výcvikové zařízení

TÚPO - Technický ústav požární ochrany.

VŠB-TÚO - FBI - Vysoká škola Báňská - Technická univerzita Ostrava - Fakulta bezpečnostního inženýrství.

CAS - Cisternová automobilová stříkačka.

FOK - Flashover kontejnery.

HaZZ - Hasičský a záchranný zbor.

ČR - Česká republika

9 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- 1) KVARČÁK, Miloš. *Základy požární ochrany*. Ostrava : Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2005. ISBN 80-86634-76-0.
- 2) VILÍMEK, Miroslav,. *Nežádoucí hoření - požár*. Ostrava : Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2008. ISBN: 80-86111-46-6.
- 3) ŠENOVSKÝ, Michail. *Základy požární taktiky*. Ostrava : Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2001. ISBN 80-86111-73-3.
- 4) ORLÍKOVÁ, Kateřina. *Chemie procesu hoření*. Ostrava : Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 1999. ISBN 80-86111-39-3.
- 5) MV- Generální ředitelství Hasičského záchranného sboru ČR. Macht, Karel. *Hašení vodou, vodní proudy, proudnice - Konspekt 1-3-01 Požární taktika*. Praha : 2001.
- 6) BALOG, Karol., KVARČÁK, Miloš. *Dynamika požáru*. Ostrava : Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 1999. ISBN 80-86111-44-X.
- 7) KARLSON, Björn., QUINTIERE, G., James. *Explosure fire dynamics*. Boca Raton : FL:CRC Press, 2000. ISBN 0-8493-1300-7.
- 8) BLAHOŠ, Vladimír., KADLEC, Zdeněk. *Základy sdílení tepla*. Ostrava : Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 1996. ISBN 80-902001-1-7.
- 9) DUNN, Vincent. *Safety and survival on the fireground, Second edition*. Tulsa, Oklahoma : PennWell, 2015. ISBN 978-1-59370-349-3.
- 10) GARCIA, Kriss., KAUFFMANN, Reinhard., SCHELBLE, Raymond. *Positive pressure attack for ventilation & firefighting*. Tulsa, Oklahoma : Penwell, 2006. ISBN 978-1-59730-048-5.

- 11) TERPAK, A., Michael. *Fireground Size - Up*. Oklahoma : PennWell Corporation, 2003. ISBN 0-91221-299-3.
- 12) ČR, MV – Generální ředitelství Hasičského záchranného sboru ČR. *Bojový řád jednotek požární ochrany, kapitola P 21*. Ostrava : Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2001. ISBN 80-86111-91-1.
- 13) ČR, MV - Generální ředitelství Hasičského záchranného sboru ČR. *Bojový řád jednotek požární ochrany, kapitola P 1*. Ostrava : Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2001. ISBN 80-86111-91-1.
- 14) BALOG, Karol. *Hasiace látky a jejich technologie*. Ostrava : Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2018. ISBN 978-80-7385-201-6.
- 15) TRČKA, Martin. *Provádění požárního zásahu*. Ostrava : Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2013. ISBN 978-80-7385-135-4.
- 16) COTE, Arthur E. *Operation of fire protection systems: a special edition of the Fire Protection Handbook*. Quincy : National Fire Protection Association, 2003. ISBN 0-87765-584-7.
- 17) PROTECTION, ASSOCIATION NATIONAL FIRE. *Fundamentals of fire fighter skills. Second edition*. Sudbury : Jones and Bartlett Publishers, 2009. ISBN 978-0-7637-5342-9.
- 18) *Fire engineering's skill drills for Firefighter I & II*. Oklahoma : Fire, 2009. ISBN 978-1593701352.
- 19) ORLÍKOVÁ, Kateřina. *Hasební látky*. Ostrava : Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 1995. ISBN 80-902001-0-9.
- 20) GRIMWOOD, Paul. *3D Fire Fighting Training, Techniques, and Tactics*. Oklahome State University : Fire Protection Publication, 2005. ISBN 0-87939-258-4.

- 21) GRIMWOOD, Paul., DESMET, Koen. Oreola.org. *Firetactics.com*. [Online] CEMAC, www.cemac.org, © 2003. [cit. 21-2-2019].
Dostupné z: <http://www.olerdola.org/documentos/cemac-kd-pg-2003.pdf>.
- 22) HAMRY, FLASHOVER KONTEJNER. Metodika práce s proudnicí. *Flashover.cz*. [Online] © 2007-2015. [cit. 15-2-2019]. Dostupné z: <http://www.flashover.cz/Dokumenty/prace-s-proudnicí-verze-I-2015.pdf>.
- 23) ČR, MV - Genrální ředitelství Hasičského záchranného sboru. *Cvičební řád, Kapitola O 1*. Ostrava : Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství. 2007. ISBN 978-80-7385-010-4.
- 24) ČSN 80 8711. *Tlakové požární hadice*. Praha : Český normalizační institut, 1993.
- 25) JÁNOŠÍK, Ladislav. *Technické prostředky požární ochrany II*. Ostrava. Vysoká škola Báňská – Technická universita Ostrava, 2014. ISBN 978-80-248-3909-7.
- 26) KRATOCHVÍL Michal., KRATOCHVÍL, Václav. *Technické prostředky požární ochrany*. Ostrava : Vysoká škola Báňská - Technická univerzita Ostrava, Fakulta bezpečnostního inženýrství, 2009. ISBN 978-80-7385-064-7.
- 27) ČSN EN 15182-1+A1. *Ručně ovládané požární prodnice, Část 1. Všeobecné požadavky*. Praha. Český normalizační institut, 2010.
- 28) ČSN EN 15182-2+A1, *Ručně ovládané požární prodnice - Část 2. Kombinované proudnice PN 16*. Praha. Český normalizační institut, 2010.
- 29) PRŮCHA, J., WALTEROVÁ, E., MAREŠ, J. *Pedagogický slovník*. Praha : Portál, s.r.o., 2003. ISBN 80-7178-772-8.
- 30) PROBO-NB. *Probo-nb. cz*. [Online] www.probo-nb.cz, © 2019. [cit. 4-3-2019] Dostupné z: <https://www.probo-nb.cz/proudnicí-kombinovaná-c52-protek-366-p1808/#gallery>.

- 31) POŽÁRNÍ BEZPEČNOST. *Vyzbrojna.cz*. [Online] www.core.cz, © 2019. [cit. 4-3-2019] Dostupné z: <https://www.vyzbrojna.cz/cz/901/3181/d25-protek-361-vysokotlaka-proudnice.html>.
- 32) MAPY. *Mapy.cz*. [Online] www.seznam.cz, © 26. 8 2016. [cit. 1-4-2019]. Dostupné z? <https://mapy.cz/zakladni?x=13.7550672&y=49.8621591&z=18&base=ophoto&source=muni&id=1511>.
- 33) ZPA NOVÁ PAKA. *ZPA Nová Paka.cz*. [Online] Webdesign & SEO eStudio.cz, © 2019. [cit. 5-2-2019]. Dostupné z: <https://www.zpanp.cz/files/doc/snimac-teploty-termoelektricky-bez-ochrann-armatury-plastove-termoclanky-45-5.pdf>.
- 34) HUKSEFLUX THERMAL SENSORS. *Huxeflux.cz*. [Online] © 2019. [cit. 5-2-2019]. Dostupné z: <https://www.hukseflux.com/products/heat-flux-sensors/heat-flux-meters/sbg01-heat-flux-meter>.
- 35) POŽÁRNÍ BEZPEČNOST. *Vyzbrojna.cz*. [Online] www.cora.cz, © 2019. [cit. 5-2-2019]. Dostupné z: <https://www.vyzbrojna.cz/cz/2403/1971/altair-4x-multiplynovy-prenosny-detektor-se-senzorovou-technologiei-msa-xcell.html>.
- 36) ŽIŽKA, Jan. *Soubor experimentálních zkoušek při simulovaném požáru v podmínkách uzavřeného prostoru provedených ve výcvikovém zařízení Zbiroh*. Ostrava : Vysoká škola báňská - Technická universita Ostrava, Fakulta bezpečnostního inženýrství, Katedra požární ochrany, 2012.
- 37) ENDRESS AND HAUSER AG. *Endress.com*. [Online] © 2019. [cit. 5-2-2019]. Dostupné z: <https://www.cz.endress.com/cs/Polni-instrumentace-sita-na-miru/mereni-prutoku/Ultrazvukovy-prutokomer-Proline-Prosonic-Flow-93T>.
- 38) ČSN EN 3-7+A1. *Přenosné hasící přístroje, Část 7: Vlastnosti, požadavky na hasící schopnost a zkušební metody*. Praha : Český normalizační institut, 2008.

- 39) ALBHORN. *Albhorn.cz*. [Online] www.albhorn.cz, © 2019. [cit. 4-3-2019]. Dostupné z: <https://www.ahlborn.cz/univerzalni-merici-ustredna-datalogger-ahlborn-almemo-5690-2m-vicekanalova.html>.
- 40) FLIR. *Termokamery-flir.cz*. [Online] W-Technikagroupe s.r.o., © 2019. [cit. 5-3-2019]. Dostupné z: <https://www.termokamery-flir.cz/flir-tl030sc-termovizni-kamera-s-hd-rozlisenim/>.
- 41) ZPA NOVA PAKA. *ZPA Nová Paka. cz*. [Online] www.estudio.cz, © 2019. [cit. 6-3-2019]. Dostupné z: <https://www.zpanp.cz/files/doc/snimac-teploty-termoelektricky-bez-ochrann-armatury-plastove-termoclanky-45-5.pdf>.
- 42) HUKSEFLUX THERMAL SENSORS. *Hukseflux Thermal Sensors.com*. [Online] www.hukseflux.com, © 2019. [cit. 3-4-2019]. Dostupné z: <https://www.hukseflux.com/products/heat-flux-sensors/heat-flux-meters/sbg01-heat-flux-meter>.
- 43) HUKSEFLUX THERMAL SENSORS. *Hukseflux Thermal Sensors.com*. [Online] www.hukseflux.com, © 2019. [cit. 3-4-2019]. Dostupné z: https://www.hukseflux.com/uploads/product-documents/SBG01_manual_v1722.pdf.
- 44) ALBHORN. *Albhorn.cz*. [Online] www.albhorn.cz, © 2019. [cit. 20-4-2019]. Dostupné z: <https://www.ahlborn.cz/out/pictures/wysiwigpro/FDA602Lxx.pdf>.
- 45) ALBHORN. *Albhorn.cz*. [Online] www.albhorn.cz, ©2019. [cit. 14-4-2019] Dostupné z: https://www.ahlborn.cz/datalogger-ahlborn-almemo-2590-4as-4-univerzalni-vstupy.html?gclid=Cj0KCQjwtMvlBRDmARIsAEoQ8zSJEKa15J5INSO73tE0LX1AUWNhuq-GHHOMFVfMoI2F4QA9Zwcz3waAvQBEALw_wcB.
- 46) ALBHORN. *Albhorn.cz*. [Online] www.albhorn.cz, © 2019. [cit. 5-3-2019]. Dostupné z: <https://www.ahlborn.cz/pristroje/meteo-zarizeni/meteo-mobilni-stanice-ahlborn-almemo.html>.

47) VAHYLEVNE. *Váhlevně.cz*. [Online] www.web-rychle.eu. [cit. 4-4-2019].
Dostupné z: https://www.vahylevne.cz/fotky1255/fotov/d__ps_616H8C.pdf.

48) SIEMENS. *New.Siemens.com*. [Online] Copyright Siemens s.r.o., © 2016-2019.
[cit. 1-4-2019.]

Dostupné z: http://stestl.etnetera.cz/ad/current/content/data_files/procesni_instrumentace/mereni_prutoku/magneticko_indukcni_prutokomery/brochure_sitrans_fm_magflo_2006_cz.pdf.

49) JSP INDUSTRIAL CONTROLS. *Jsp.cz*. [Online] © 2019. [cit. 1-5-2019].

Dostupné z: <http://www.jsp.cz/cz/sortiment/predni-dodavatele/siemens/prutok/indukcni-prutokomer-sitrans-f-m-mag-1100-1100-ht.html>.

10 SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ

Obrázek 1 - Trojúhelník hoření.....	12
Obrázek 2 - Fáze požáru.	18
Obrázek 3 - Graf vzniku nelineárních rozvoju požáru.	22
Obrázek 4 - Prvky kombinované proudnice	31
Obrázek 5 - Měření dostřiku.	42
Obrázek 6 - Graf trajektorie vodního proudu D52.....	43
Obrázek 7 - Graf trajektorie vodního proudu C52.	44
Obrázek 8 - Rozmístění měřících stanovišť.....	46
Obrázek 9 - Půdorys rozmístění termočlánků v pozorovacím kontejneru.....	48
Obrázek 10 - Zkušební objekt A5.....	51
Obrázek 11 - Technické prostředky a hadicové vedení.	52
Obrázek 12 - Cyklus navozování Rolloveru při pokusu.....	54
Obrázek 13 - Graf celkového záznamu 1 části měření ve výšce 2100 mm.	58
Obrázek 14 - Graf pokusů s C52 při tlaku 0,7 ve čtvrtém měření, výška 2100 mm...	59
Obrázek 15 - Graf pokusů s C52 při tlaku 0,7 ve čtvrtém měření, výška 2100 mm...	59
Obrázek 16 - Graf porovnání rychlosti ochlazení při tlaku 0,4 MPa.	61
Obrázek 17 - Graf porovnání rychlosti ochlazení při tlaku 0,6 MPa.....	63
Obrázek 18 - Graf porovnání rychlosti ochlazení při tlaku 0,7 MPa.....	64
Obrázek 19 - Graf porovnání rychlosti ochlazení při tlaku 0,8 MPa.	65
Obrázek 20 - Graf porovnání rychlosti ochlazení při tlaku 1,0 MPa.	66

Obrázek 21 - Dopad tepelného toku v 1 části měření.	67
Obrázek 22 - Dopad tepelného toku v 2 části měření.	67
Obrázek 23 - Meteorologická situace během prvního dne měření.....	68
Obrázek 24 - Meteorologická situace během druhého dne měření.....	68
Obrázek 25 - Proudnice Protek C52.....	98
Obrázek 26 - Proudnice Protek C52.....	99
Obrázek 27 - Proudnice Protek D25.	100
Obrázek 28 - Měřicí ústředna Albhorn.	101
Obrázek 29 - Termovizní kamera Flir.	102
Obrázek 30 - Snímek z termovizní kamery.	102
Obrázek 31 - Snímek s termovizní kamery	103
Obrázek 32 - Radiometr Huseflux.	105
Obrázek 33 - Měření průtoku průtokoměrem Proline Prosonic Flow 93T Portabl. ..	106
Obrázek 34 - Instalace průtokoměru.	107
Obrázek 35 - Umístění průtokoměru s armaturou.....	107
Obrázek 36 - Tlakové čidlo FDA 6022 U.	108
Obrázek 37 - Datalogger Almemo 2590.....	108
Obrázek 38 - Instalace meteorologické stanice Almemo.	109
Obrázek 39 - Tenzometrický snímač H8C load cell.....	110
Obrázek 40 - Instalace tenzní váhy v prostoru pece..	110
Obrázek 41 - Průtokoměr Magflo MAG 1100.	111

Obrázek 42 - Detekční přístroj MSA ALTAIR 4X.....	112
Obrázek 43 - Graf teplot_C52_0,4 MPa_výška 2100 mm.....	113
Obrázek 44 - Graf teplot_C52_0,4 MPa_výška 1600 mm.....	113
Obrázek 45 - Graf teplot_C52_0,4 MPa_výška 2100 mm.....	114
Obrázek 46 - Graf teplot_C52_0,4 MPa_výška 1600 mm.....	114
Obrázek 47 - Graf teplot_C52_0,4 MPa_výška 2100 mm.....	115
Obrázek 48 - Graf teplot_C52_0,4 MPa_výška 1600 mm.....	115
Obrázek 49 - Graf teplot_D25_0,4 MPa_výška 2100 mm.....	116
Obrázek 50 - Graf teplot_D25_0,4 MPa_výška 1600 mm.....	116
Obrázek 51 - Graf teplot_D25_0,4 MPa_výška 2100 mm.....	117
Obrázek 52 - Graf teplot_D25_0,4 MPa_výška 1600 mm.....	117
Obrázek 53 - Graf teplot_C52_0,6 MPa_výška 2100 mm.....	118
Obrázek 54 - Graf teplot_C52_0,6 MPa_výška 1600 mm.....	118
Obrázek 55 - Graf teplot_C52_0,6 MPa_výška 2100 mm.....	119
Obrázek 56 - Graf teplot_C52_0,6 MPa_výška 1600 mm.....	119
Obrázek 57 - Graf teplot_C52_0,6 MPa_výška 2100 mm.....	120
Obrázek 58 - Graf teplot_C52_0,6 MPa_výška 1600 mm.....	120
Obrázek 59 - Graf teplot_D25_0,6 MPa_výška 2100 mm.....	121
Obrázek 60 - Graf teplot_D25_0,6 MPa_výška 1600 mm.....	121
Obrázek 61 - Graf teplot_D25_0,6 MPa_výška 2100 mm.....	122
Obrázek 62 - Graf teplot_D25_0,6 MPa_výška 1600 mm.....	122

Obrázek 63 - Graf teplot_C52_0,7 MPa_výška 2100 mm.	123
Obrázek 64 - Graf teplot_C52_0,7 MPa_výška 1600 mm.	123
Obrázek 65 - Graf teplot_C52_0,7 MPa_výška 2100 mm	124
Obrázek 66 - Graf teplot_C52_0,7 MPa_výška 1600 mm.	124
Obrázek 67 - Graf teplot_C52_0,7 MPa_výška 2100 mm	125
Obrázek 68 - Graf teplot_C52_0,7 MPa_výška 1600 mm.	125
Obrázek 69 - Graf teplot_D25_0,7 MPa_výška 2100 mm.....	126
Obrázek 70 - Graf teplot_D25_0,7 MPa_výška 1600 mm.....	126
Obrázek 71 - Graf teplot_D25_0,7 MPa_výška 2100 mm.....	127
Obrázek 72 - Graf teplot_D25_0,7 MPa_výška 1600 mm.	127
Obrázek 73 - Graf teplot_C52_0,8 MPa_výška 2100 mm.	128
Obrázek 74 - Graf teplot_C52_0,8 MPa_výška 1600 mm.	128
Obrázek 75 - Graf teplot_D25_0,8 MPa_výška 2100 mm.....	129
Obrázek 76 - Graf teplot_D25_0,8 MPa_výška 1600 mm.....	129
Obrázek 77 - Graf teplot_C52_1,0 MPa_výška 2100 mm.....	130
Obrázek 78 - Graf teplot_C52_1,0 MPa_výška 1600 mm.....	130
Obrázek 79 - Graf teplot_C52_1,0 MPa_výška 2100 mm.....	131
Obrázek 80 - Graf teplot_C52_1,0 MPa_výška 1600 mm.	131
Obrázek 81 - Graf teplot_C52_1,0 MPa_výška 2100 mm.	132
Obrázek 82 - Graf teplot_C52_1,0 MPa_výška 1600 mm.....	132
Obrázek 83 - Graf teplot_D25_1,0 MPa_výška 2100 mm.....	133

Obrázek 84 - Graf teplot_D25_1,0 MPa_výška 1600 mm	133
Obrázek 85 - Graf teplot_D25_1,0 MPa_výška 2100 mm.	134
Obrázek 86 - Graf teplot_D25_1,0 MPa_výška 1600 mm.	134
Obrázek 87 - Meteorologická situace během 1 části měření.	135
Obrázek 88 - Meteorologická situace během 2 části měření.	135
Obrázek 89 - Meteorologická situace během 3 části měření.	136
Obrázek 90 - Meteorologická situace během 4 části měření.	136
Obrázek 91 - Půdorys pozorovacího kontejneru s pecí.	137
Obrázek 92 - Půdorys pozorovacího kontejneru s rozmístěním čidel.....	138
Obrázek 93 - Bokorys rozmístění sloupců sledovaných pozic a výška termočlánků.	139

11 SEZNAMU POUŽITÝCH TABULEK

Tabulka 1 - Zvětšení objemu při změně skupenství vody z kapalného na plynnou. ..	24
Tabulka 2 - Dostřik proudnicí D25.	43
Tabulka 3 - Dostřik proudnicí C52.....	44
Tabulka 4 - Umístění termočlánků.....	47
Tabulka 5 - Počet pokusů v první části měření.	55
Tabulka 6 - Počet pokusů v druhé části měření.	55
Tabulka 7 - Počet pokusů ve třetí části měření.....	56
Tabulka 8 - Počet pokusů ve čtvrté části měření.	56
Tabulka 9 - Tabulka pro vyhodnocení sledovaných dat z jednoho pokusu.....	60
Tabulka 10 - Výsledky sledovaných parametrů - C52 při tlaku 0,4 MPa.	61
Tabulka 11 - Výsledky sledovaných parametrů - D25 při tlaku 0,4 MPa.	61
Tabulka 12 - Výsledky sledovaných parametrů - C52 při tlaku 0,6 MPa.....	63
Tabulka 13 - Výsledky sledovaných parametrů - D25 při tlaku 0,6 MPa.....	63
Tabulka 14 - Výsledky sledovaných parametrů - C52 při tlaku 0,7 MPa.....	64
Tabulka 15 - Výsledky sledovaných parametrů - D25 při tlaku 0,7 MPa.....	64
Tabulka 16 - Výsledky sledovaných parametrů - C52 při tlaku 0,8 MPa.....	65
Tabulka 17 - Výsledky sledovaných parametrů - D25 při tlaku 0,8 MPa.....	65
Tabulka 18 - Výsledky sledovaných parametrů - C52 při tlaku 1,0 MPa.	66
Tabulka 19 - Výsledky sledovaných parametrů - D25 při tlaku 1,0 MPa.	66
Tabulka 20 - Tabulka vzdáleností sledovaných pozic.	69

Tabulka 21 - Konfigurace otvorů.....	69
--------------------------------------	----

12 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 - Proudnice Protek C52 366	98
Příloha 2 - Proudnice D25 361.....	100
Příloha 3 - Ústředna Almemo	101
Příloha 4 - Termovizní kamera Flir	102
Příloha 5 – Termočlánky	104
Příloha 6 – Radiometr	105
Příloha 7 - Průtokoměr	106
Příloha 8 - Měření tlaku	108
Příloha 9 – Meteorologická stanice Albhorn Almemo	109
Příloha 10 - Tenzní váha	110
Příloha 11 - Průtokoměr MAGFLO MAG 1100	111
Příloha 12 – Detekční přístroj – MSA Altair 4X	112
Příloha 13 - Výsledné grafy s pokusy při tlaku 0,4 MPa.....	113
Příloha 14 - Výsledné grafy s pokusy při tlaku 0,6 MPa.....	118
Příloha 15 - Výsledné grafy s pokusy při tlaku 0,7 MPa.....	123
Příloha 16 - Výsledné grafy s pokusy při tlaku 0,8 MPa.....	128
Příloha 17 - Výsledné grafy s pokusy při tlaku 1,0 MPa.....	130
Příloha 18 - Meteorologická situace	135
Příloha 19 - Plány pozorovacího kontejneru a rozmístění termočlánku ve sledovaném prostoru	137

Příloha 1 - Proudnice Protek C52 366

Kombinovaná proudnice PROTEK 366 je určena k vedení hasebního zásahu vodou a vodními hasivky, kompaktním i sprchovým proudem. Nastavení průtoku zajišťuje ovládací kulisa:

- 115 l/min,
- 230 l/min,
- 360 l/min,
- 415 l/min.



Obrázek 25 – Proudnice Protek C52 [30].

Nastavení clony umožňuje samostatná otočná hlavice s kuličkovou aretací. Konstantní průtok je zaručen při jakémkoliv rozptylu proudu. Změna průtoku lze provést bez jakékoliv změny rozptylu. Proudnicí disponuje polohou proplachování „Flush“ kterou lze nastavit bez toho, aniž by se musel uzavřít ventil [30].

- Kompaktní plný přímý vodní proud,
- lineární vodní clona s rozptylem 0-110°.

Gumové ochranné prvky zabezpečují ochranu proudnice. Tlaková spojka je k tělesu proudnice připojena otočným spojem zabraňujícím překroucení, popř. uvolnění připojené hadice. Vyrobená je z odolných eloxovaných hliníkových slitin s vysokou pevností a nízkou hmotností [30].

Technická data:

- Maximální průtok [l/min] 415 l/min,
- pracovní tlak [MPa] 0,7 MPa,
- hmotnost [kg] 2,1 kg,
- rozměry [mm] 205 mm,
- plný proud [l/min] 115-415 l/min. [30]



Obrázek 26 Proudnice Protek C52 [30].

Příloha 2 - Proudnice D25 361

Multifunkční proudnice PROTEK 2361 s připojením G1, použitelná pro zásah standardním i vysokým tlakem. Proudnice je určena k vedení hasebního zásahu vodou, kompaktním i sprchovým proudem. Nejvíce namáhané části jsou vyrobeny z nerezové oceli. Označení průtoků a nastaveného proudu je na eloxované části vypáleno laserem [31].



Obrázek 27 – Proudnice Protek D25 [31].

- Váha: 1,1kg,
- délka: 178 mm
- pracovní tlak: 4 MPa – excelentního výkonu dosahuje již při tlaku od (0,5 MPa),
- maximální průtok: 230 l/min.

Čtyři konstantní průtoky jsou jednoduše nastavitelné otočným ovladačem v rozsahu:

- 50 l/min,
- 100 l/min,
- 150 l/min,
- 230 l/min.

Nastavený průtok může být celou dobu zásahu konstantní. Proudnice umožňuje provádět zásah přímým proudem, nebo vodní clonou. Dostatečně široká clona zajišťuje optimální ochranu zasahujících hasičů [31].

Příloha 3 - Ústředna Almemo

Měřicí ústředna ALMEMO 5690-2 s velkoplošným displejem, komfortním ovládáním, velkou kapacitou paměti, velkou rychlostí měření a malými rozměry. Možnost rozšiřování počtu měřicích míst pomocí vkládání jednotlivých vstupních měřicích karet. Možnost měření až devadesáti snímačů s využitím sta měřicích kanálů s volbou až sedmdesáti měřicích rozsahů. Připojení k počítači optickým kabelem, modemem nebo rádiové umožňuje přenos dat a to i pomocí ethernetu a internetu [39].



Obrázek 28 – Měřicí ústředna Albhorn [39] [zdroj autor].

Příloha 4 - Termovizní kamera Flir



Obrázek 29 - Termovizní kamera Flir [40].

Termovizní kamera FLIR T1030sc je přenosná a bateriově napájená. Tato termovizní kamera je určena pro nejnáročnější vědecko-výzkumné aplikace. Termovizní kameru je možné kalibrovat až do teploty 2000°C. Patentovaný systém FLIR OSX™ Precision HDIR Optical System umožňuje velmi jemné a přesné zaostření optiky. Vědecko-výzkumnou kamerou lze používat samostatně jako ruční. Pomocí vestavěných funkcí lze provádět veškerou základní analýzu přímo během měření, bez nutnosti připojení termovizní kamery k počítači. [40]



Obrázek 30 - Snímek z termovizní kamery [zdroj autor].



Obrázek 31 - Snímek s termovizní kamery [zdroj autor].

Příloha 5 – Termočlánky

Termočlánekové snímače typu K (NiCr), plášťové – izolovaný konec (průměr 2mm), třída přesnosti 2.

Používá se pro taková měření teploty, kde je požadován krátký čas teplotní odezvy (rychlá reakce snímače na změnu měřené teploty). Snímač má tyto vlastnosti:

- Malé rozměry,
- ohebnost,
- odolnost proti tlaku, rázům, vibracím,
- reaguje na rychlé změny teploty
- odolnost proti korozi.

Plášťové termočlánky jsou vyráběny v širokém sortimentu provedení, typ "J" nebo "K", o vnějším průměru 1-1,5-2-3-4,5-6 mm, v jednoduchém nebo dvojitým provedení s izolovaným nebo uzemněným měřícím koncem [41].

Příloha 6 – Radiometr

SBG01 je snímač vodou chlazený, který měří tepelný tok. SBG01 používá při zkouškách požáru. Především se používá ke zkoušení reakce na oheň a při zkoušení požární odolnosti. Používá se také jako kalibrační referenční standard pro zkušební zařízení, například při zkouškách hořlavosti a v kouřových komorách [43].

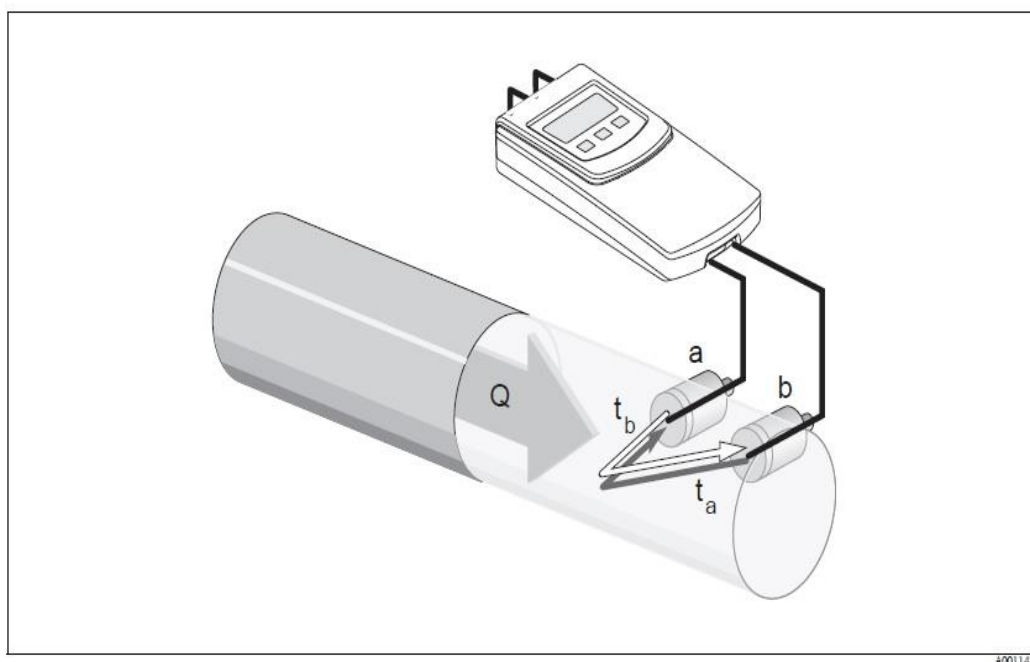


Obrázek 32 - Radiometr Huseflux [42].

SBG01 měří tepelný tok v rozsahu $(5 \text{ až } 200) \times 10^3 \text{ W / m}^2$. Použití v prostředí s nižší úrovní ozáření než $50 \times 10^3 \text{ W / m}^2$, nebo v prostředí s výrazným přenosem tepla konvekcí je možné, ale vyžaduje pečlivé vyhodnocení nejistoty měření. Vodní chlazení je většinou prováděno pomocí vody z vodovodu. Existuje několik volitelných konstrukcí těla. Standardní tělo radiometru je vybaveno přírubou. Společnými vlastnostmi je hladké tělo válce bez příruby (model -C) a závitového tělesa (model -T) [43].

Příloha 7 - Průtokoměr

Průtokoměr Proline Prosonic Flow 93T Portabl. Tento měřicí systém pracuje na principu časového rozdílu v dopravě vody. Při této metodě je měření, akustické (ultrazvukové) signály jsou přenášeny mezi dvěma senzory. Signály jsou odesílány v obou směrech, to znamená, že snímač pracuje jak jako vysílač a také jako přijímač zvuku [37].



Obrázek 33 - Měření průtoku průtokoměrem Proline Prosonic Flow 93T Portabl [37].

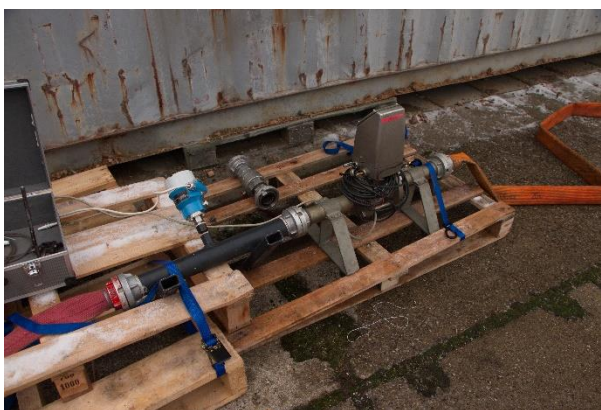
Zásada metody měření průchodu časového rozdílu

- $Q = v \times A$
- a senzor
- b Senzor
- Q Tok objemu
- v Rychlost proudění ($v \sim \Delta t$)
- Δt Časový rozdíl průchodu ($t = t_a - t_b$)
- Oblast průřezu potrubí

Měřicí systém vypočítává objemový tok kapaliny z naměřeného rozdílu doby průchodu a průřezu potrubí. Kromě měření časového rozdílu tranzitu systém současně měří rychlost zvuku kapaliny. Tato dodatečná měřená proměnná může být použita k rozlišování různých tekutin, nebo jako měřítko kvality výrobku. Měřicí přístroj lze nakonfigurovat na místě tak, aby vyhovoval konkrétní aplikaci [37].



Obrázek 34 - Instalace průtokoměru [zdroj autor].



Obrázek 35 - Umístění průtokoměru s armaturou [zdroj autor].

Příloha 8 - Měření tlaku

Tlak byl měřen pomocí tlakového čidla FDA 6022 U, který byl zapojen do dataloggeru Almemo 2590.

Technické parametry tlakového snímače FDA 6022 U:

- Třída přesnosti $\pm 0,5 \%$ z koncové hodnoty (linearita, hysterze, reprodukovatelnost),
- celková přesnost 0 až 50 °C $\pm 1\%$ z koncové hodnoty, -10 a 80 °C $\pm 1,5 \%$,
- doba odezvy < 5 ms,
- provozní teplota -40 °C až 100 °C,
- tlaková přípojka – vnější závit G ¼ " [44].



Obrázek 36 - Tlakové čidlo FDA 6022 U [44].



Obrázek 37 - Datalogger Almemo 2590 [45].

Příloha 9 – Meteorologická stanice Albhorn Almemo

Stanice je určena pro měření, záznam a přenos veličin rychlosti větru, teploty, relativní vlhkosti vzduchu, atmosférického tlaku, množství a intenzitě srážek.

Meteorologická stanice je vybavena následujícími komponenty:

- Dataloggerem ALMEMO 202 s paměťovou SD-kartou,
- snímačem rychlosti a směru větru, teploty, relativní vlhkosti a atmosférického tlaku vzduchu a množství a intenzity srážek FMD760,
- odolnou zamykací skříní OA9760AG2 s průhlednými zamykatelnými dvířky, držáky pro stativ a datalogger a síťovým adapterem 230 V AC / 12 V DC,
- třínohým vysouvacím stativem až do výšky až 4,4 m s lanovým kotvením a držákem pro snímač včetně transportní brašny,
- transportním Al-kufrem 51 x 30 x 35 cm,
- software pro tabulkové a grafické vyhodnocení měřených hodnot, výpočty, statistika [46].



Obrázek 38 – Instalace meteorologické stanice Almemo [zdroj autor].

Příloha 10 - Tenzní váha

Tenzometrická váha byla použita pro měření úbytku paliva. Váha se skládala z ocelových profilů svařených do obdélníku o rozměrech 2 x 1 metr. Osazena byla tenzometrickými čidly v každém rohu s pružnou nožičkou.

Technické parametry:

- Nosnost - 5000 kg,
- třída přesnosti - C,
- kombinovaná chyba - $\pm 0,020$,
- nulová bilance - $< \pm 1\%$ [47].



Obrázek 39 - Tenzometrický snímač H8C load cell [47].



Obrázek 40 - Instalace tenzní váhy v prostoru pece [zdroj autor].

Příloha 11 - Průtokoměr MAGFLO MAG 1100

Průtokoměr MAGFLO MAG 1100 je elektromagnetický průtokoměr. Osazen byl vyhodnocovací jednotkou MAG 3000. Použit byl při realizaci měření místo poškozeného průtokoměru Proline Prosonic Flow 93T Portabl.

Technické parametry:

- DN - 2 - 100 mm / 1 /12” až 4“,
- provozní teploty - -20 - 200 °C / -5 - 400 °F,
- jmenovitý tlak max. - PN 40 / Max 600 PSI,
- materiál výstelky - keramika, PFA,
- materiál elektrod - Platina, Hastelloy C [48].



Obrázek 41 - Průtokoměr Magflo MAG 1100 [49].

Příloha 12 – Detekční přístroj – MSA Altair 4X

Detekční přístroj MSA ALTAIR 4X je multiplynový přenosný detektor. Tento přístroj byl v rámci experimentálního měření zkoušen v extrémních podmínkách. Zkoušena byla jeho odolnost při působení vysokých teplot a odolnost proti vodě ve třech výškách současně [35].

Detektor vyhodnocuje:

- LEL,
- CO,
- H₂S,
- O₂.

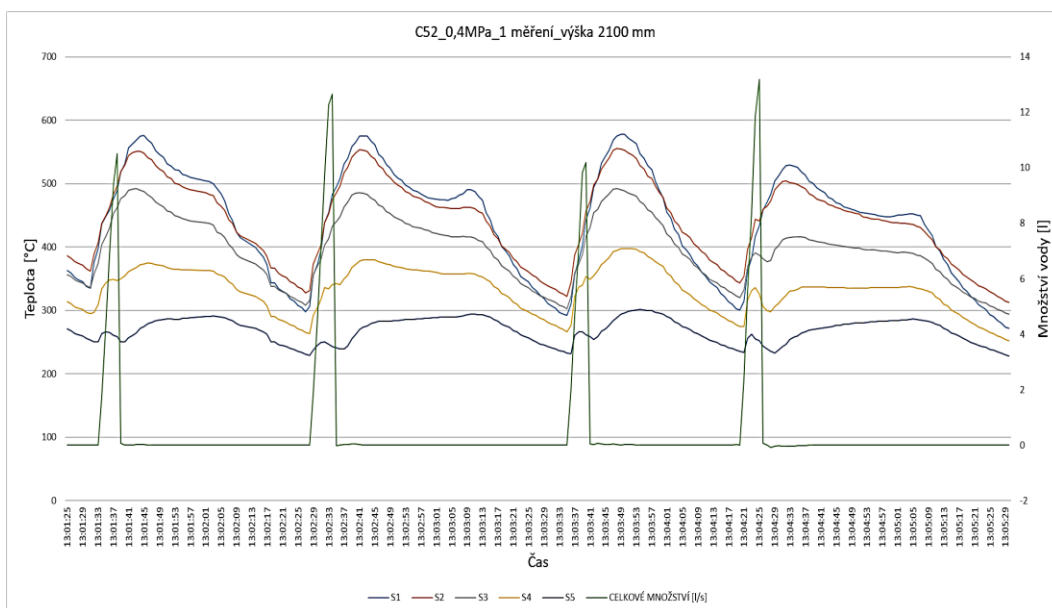
Technická specifikace rozsahu měřených plynů:

- LEL - 0 až 100 %,
- O₂ - 0 až 30%,
- CO - 0 až 1999 ppm,
- H₂S - 0 až 200 ppm [35].

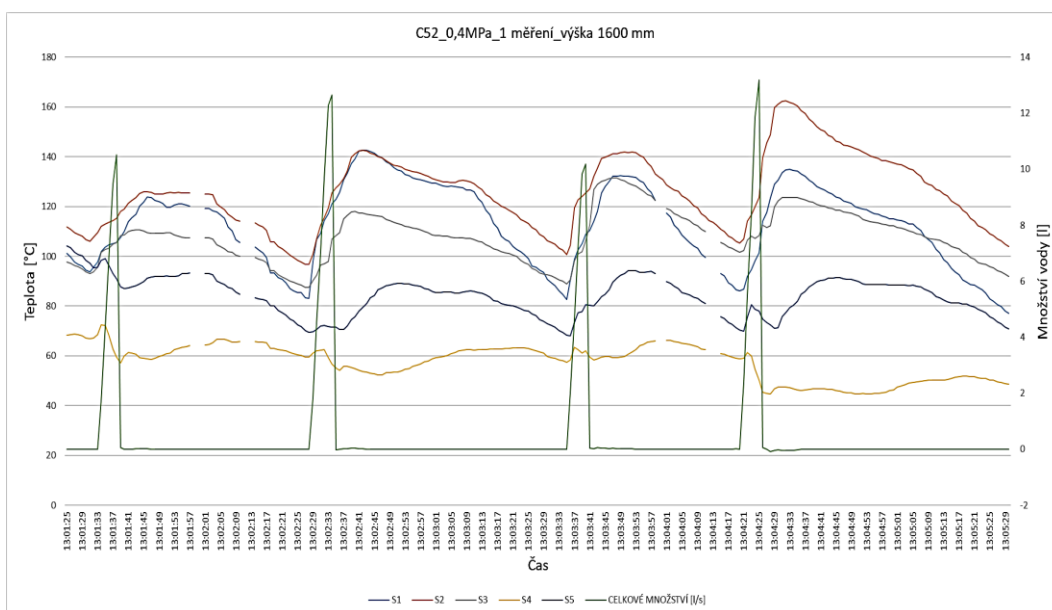


Obrázek 42 - Detekční přístroj MSA ALTAIR 4X [35].

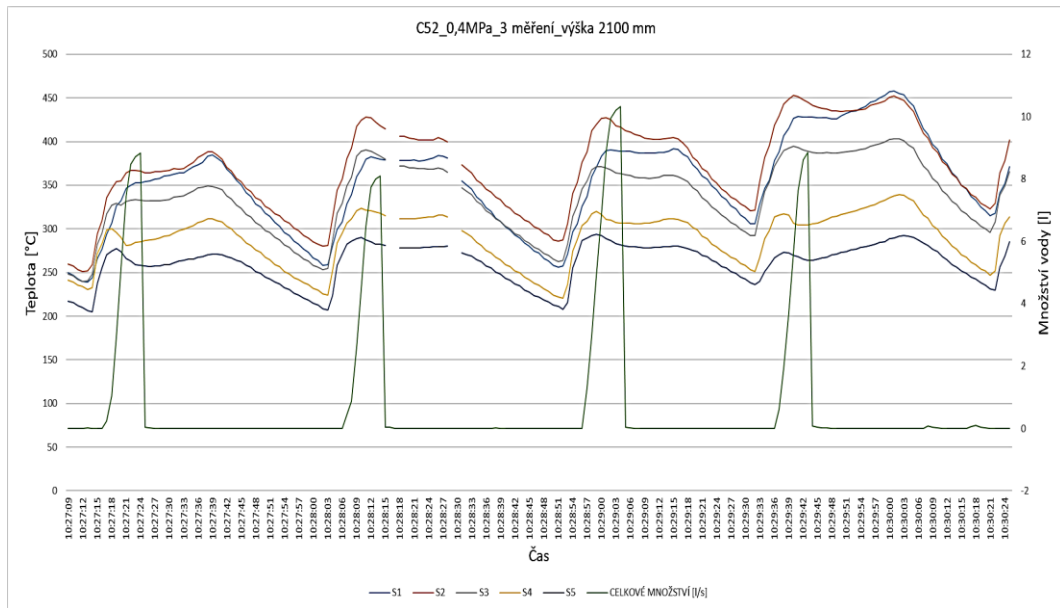
Příloha 13 - Výsledné grafy s pokusy při tlaku 0,4 MPa



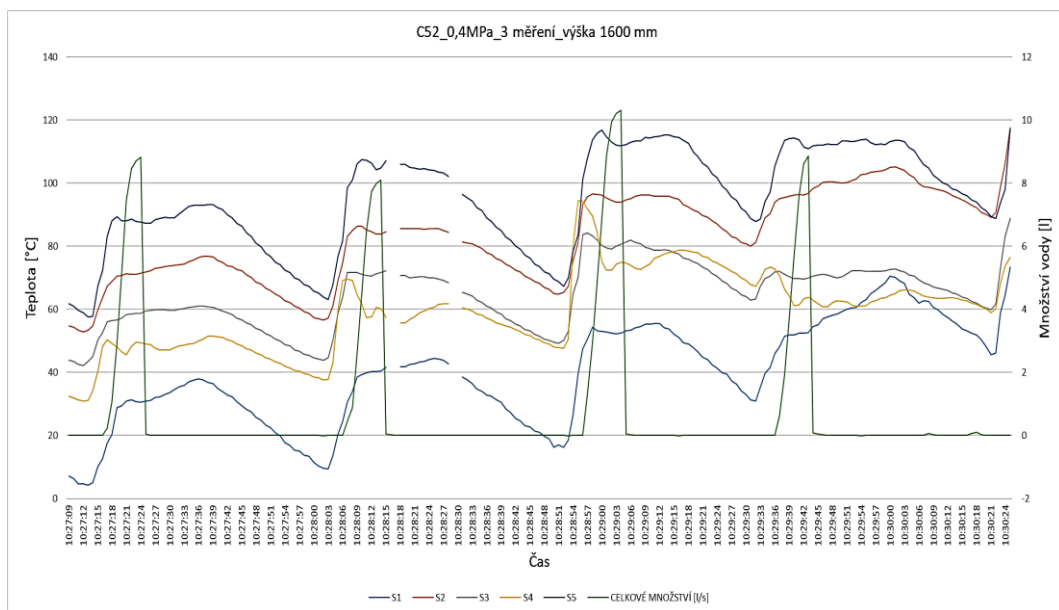
Obrázek 43 - Graf teplot_C52_0,4 MPa_výška 2100 mm [zdroj autor].



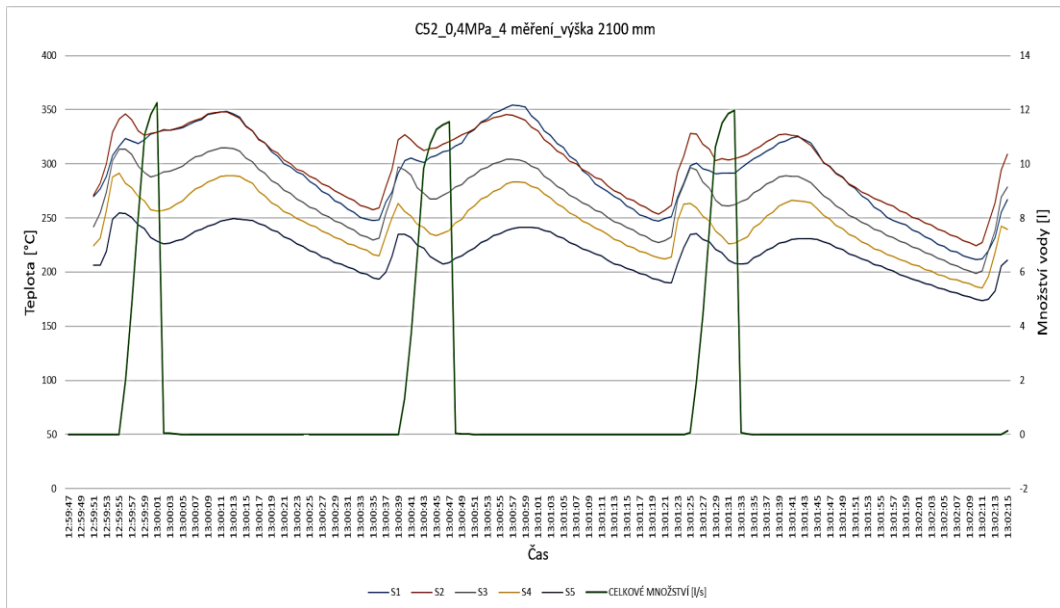
Obrázek 44 - Graf teplot_C52_0,4 MPa_výška 1600 mm [zdroj autor].



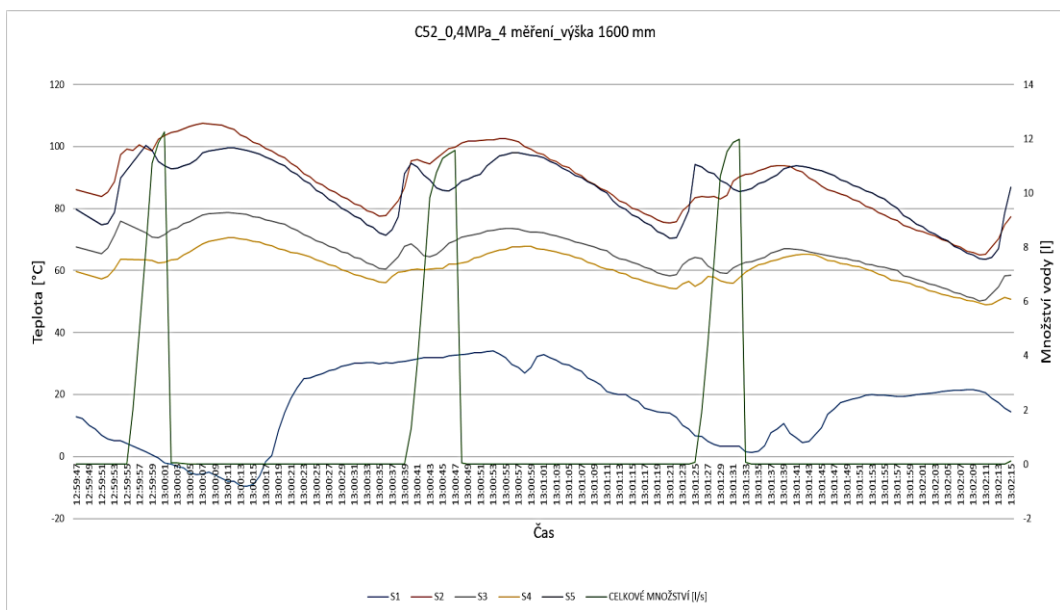
Obrázek 45 - Graf teplot_C52_0,4 MPa_výška 2100 mm [zdroj autor].



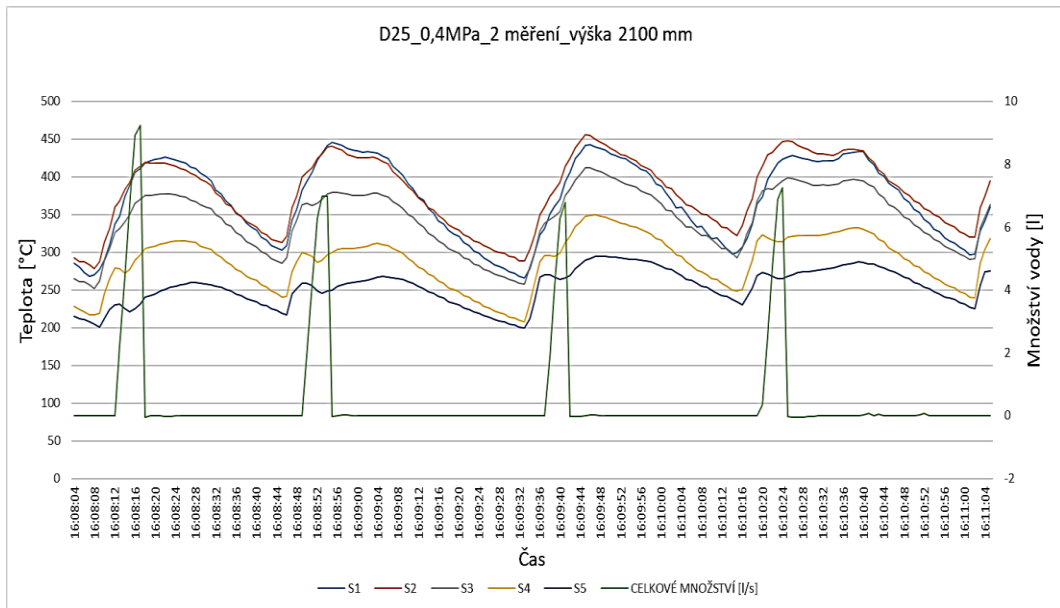
Obrázek 46 - Graf teplot_C52_0,4 MPa_výška 1600 mm [zdroj autor].



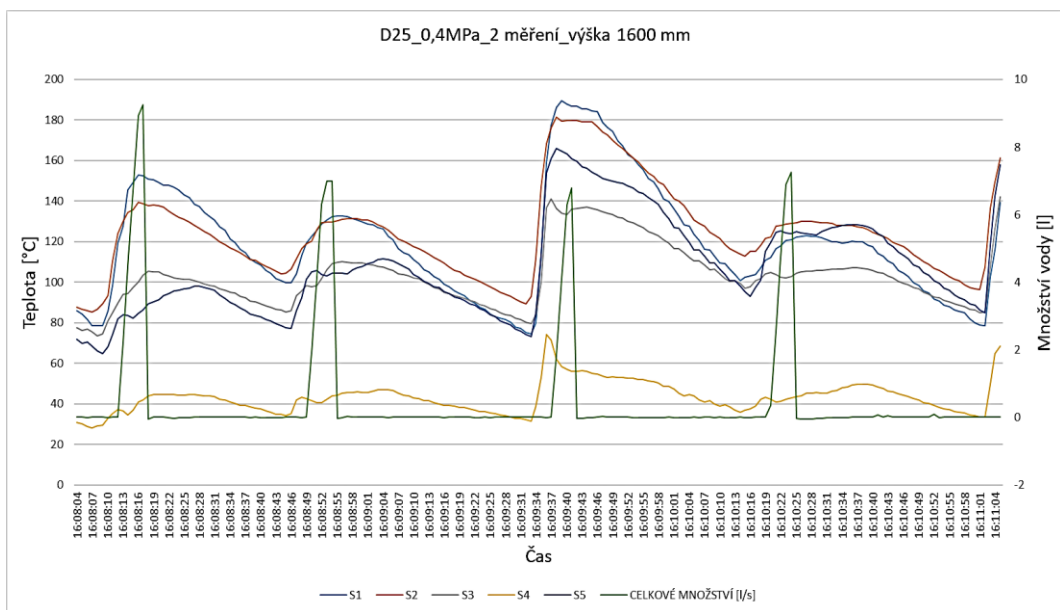
Obrázek 47 - Graf teplot_C52_0,4 MPa_výška 2100 mm [zdroj autor].



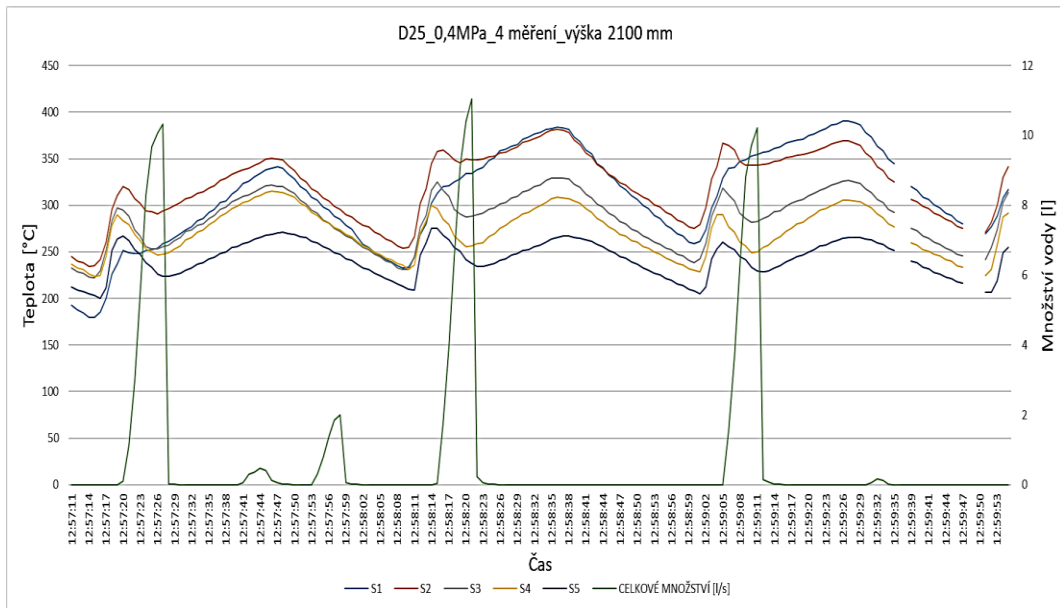
Obrázek 48 - Graf teplot_C52_0,4 MPa_výška 1600 mm [zdroj autor].



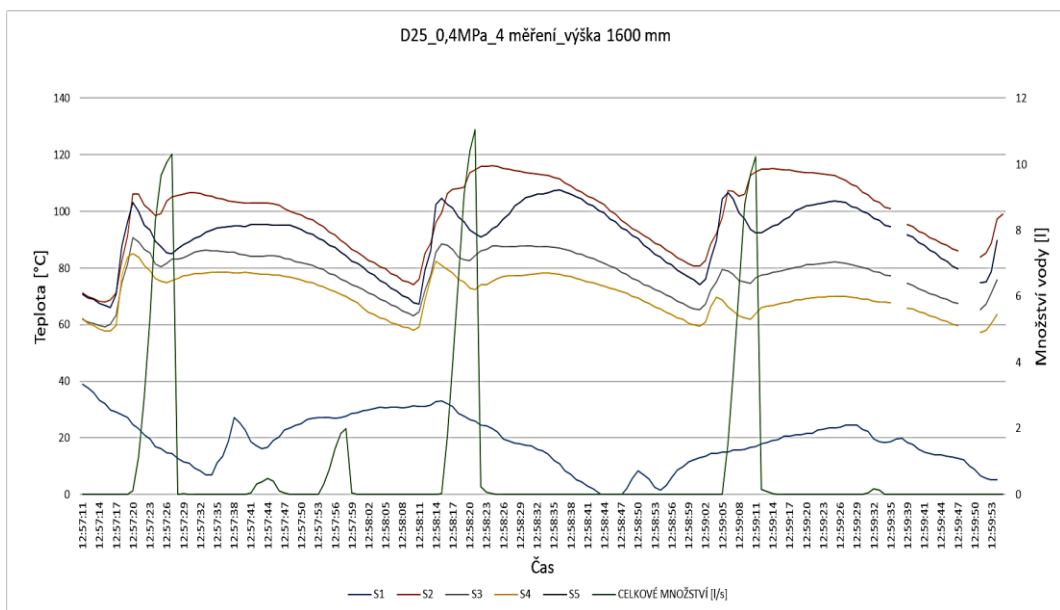
Obrázek 49 - Graf teplot_D25_0,4 MPa_výška 2100 mm [zdroj autor].



Obrázek 50 - Graf teplot_D25_0,4 MPa_výška 1600 mm [zdroj autor].

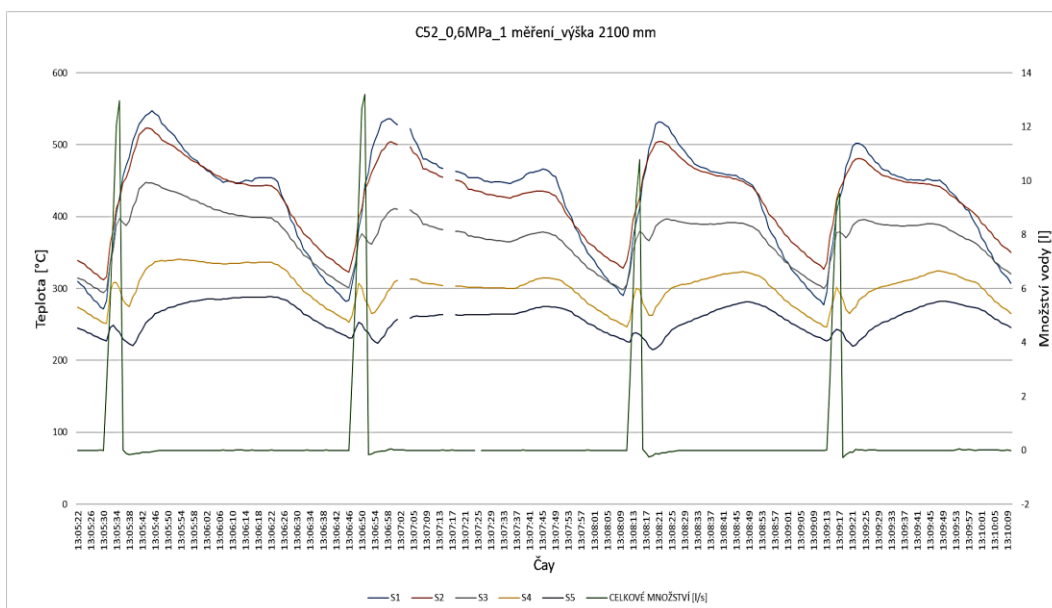


Obrázek 51 - Graf teplot_D25_0,4 MPa_ výška 2100 mm [zdroj autor].

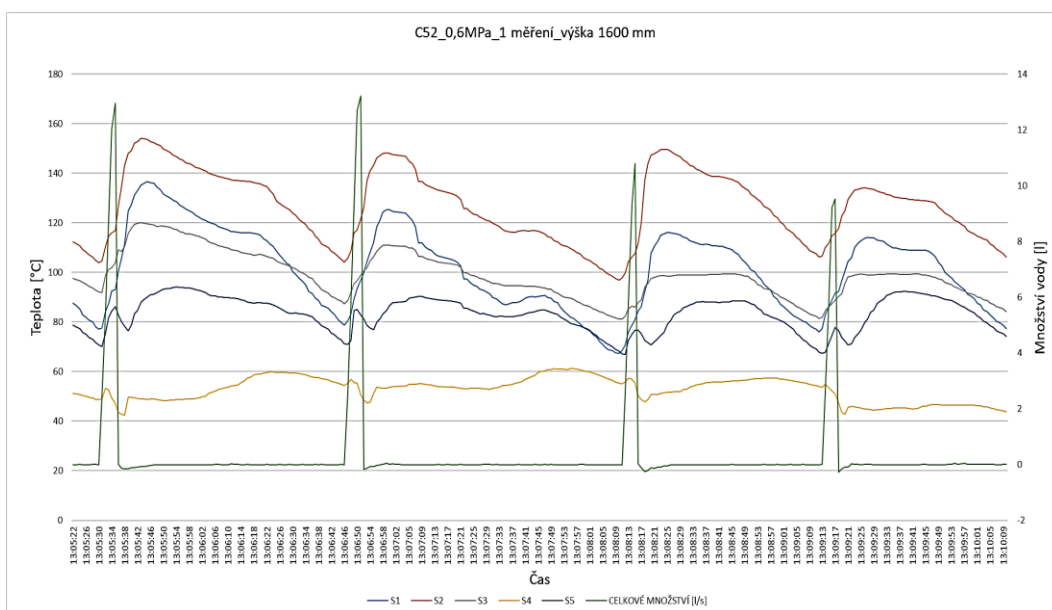


Obrázek 52 - Graf teplot_D25_0,4 MPa_ výška 1600 mm [zdroj autor].

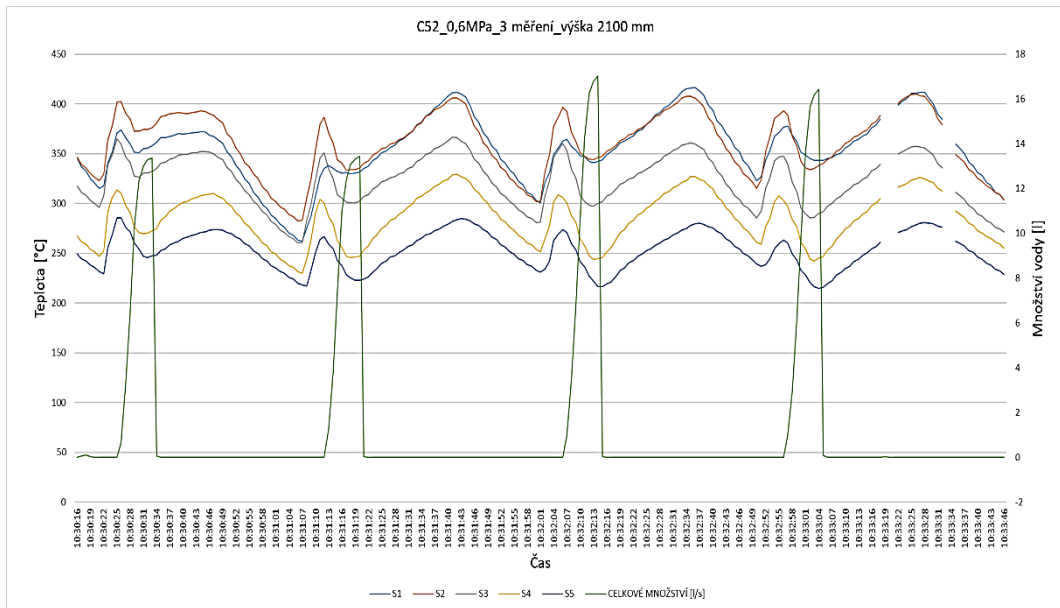
Příloha 14 - Výsledné grafy s pokusy při tlaku 0,6 MPa



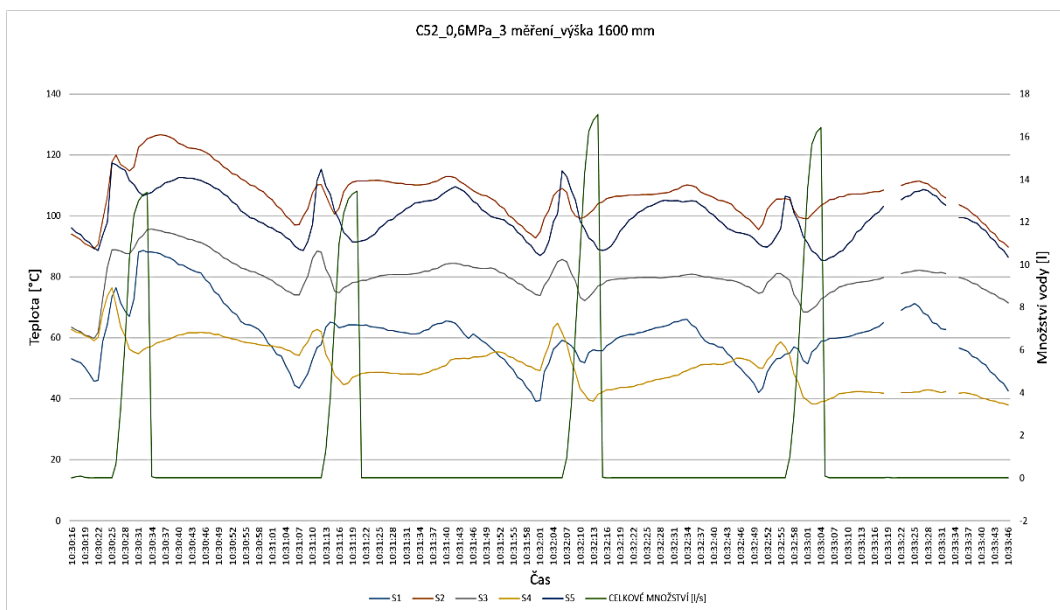
Obrázek 53 - Graf teplot_C52_0,6 MPa_výška 2100 mm [zdroj autor].



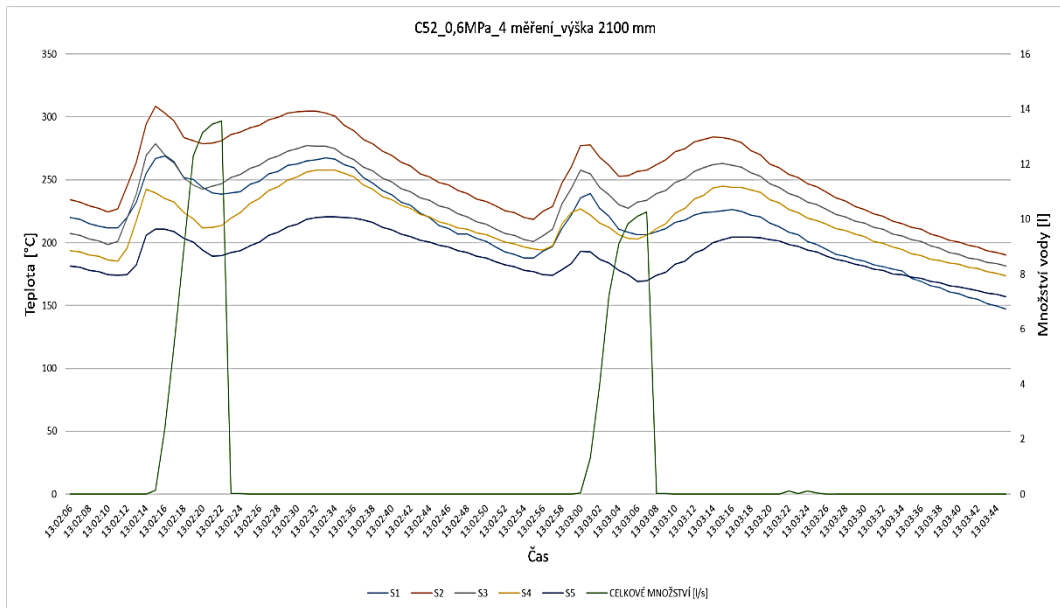
Obrázek 54 - Graf teplot_C52_0,6 MPa_výška 1600 mm [zdroj autor].



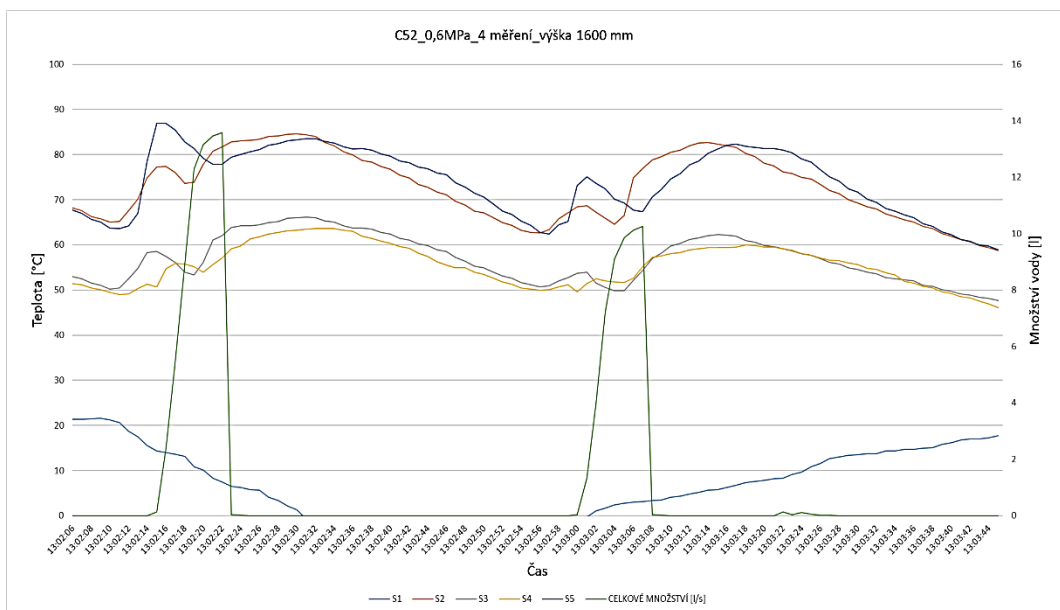
Obrázek 55 - Graf teplot_C52_0,6 MPa_výška 2100 mm [zdroj autor].



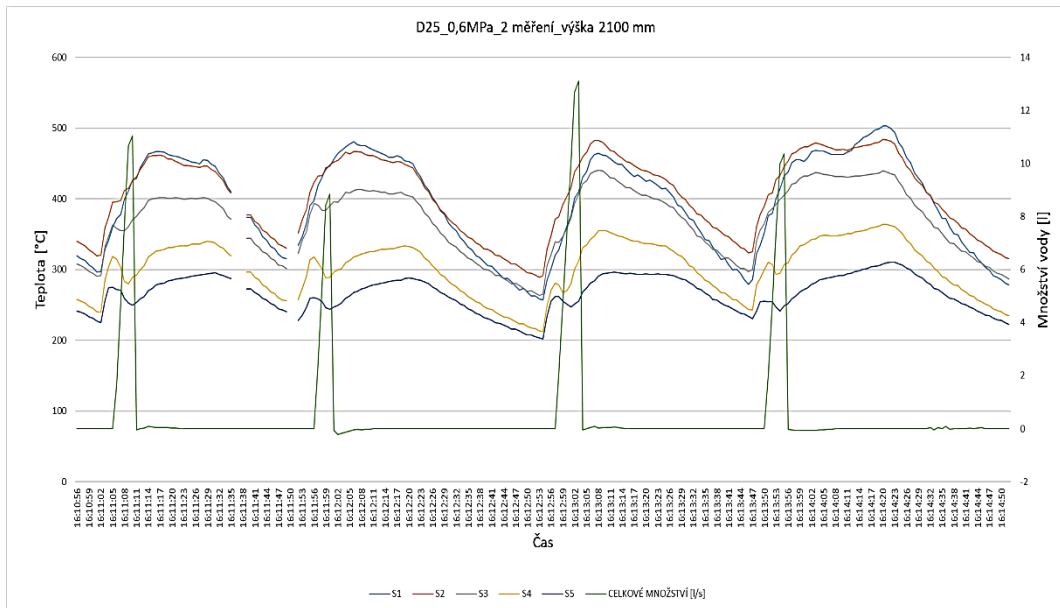
Obrázek 56 - Graf teplot_C52_0,6 MPa_výška 1600 mm [zdroj autor].



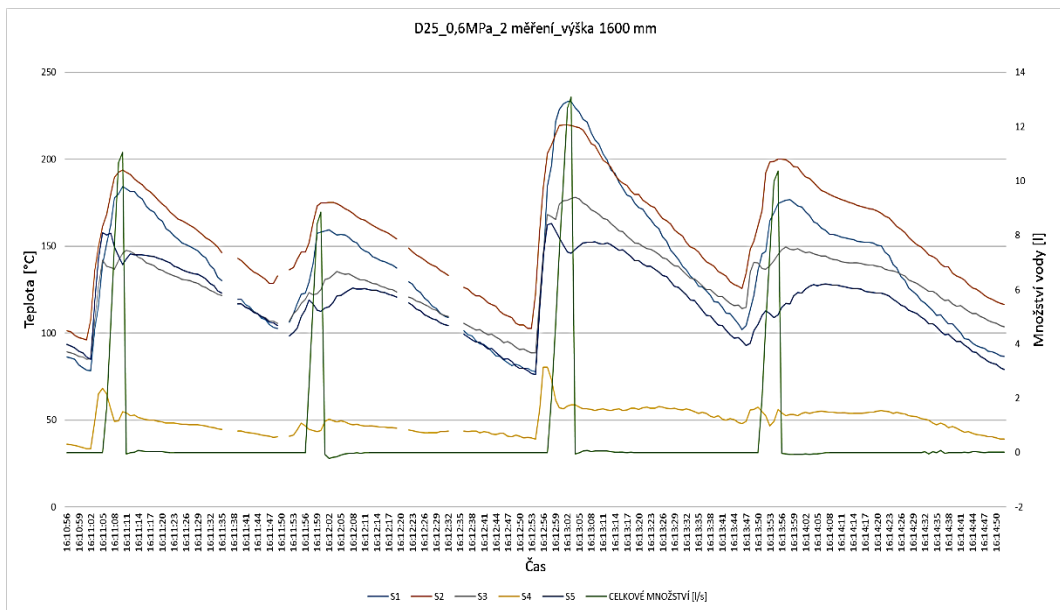
Obrázek 57 - Graf teplot_C52_0,6 MPa_výška 2100 mm [zdroj autor].



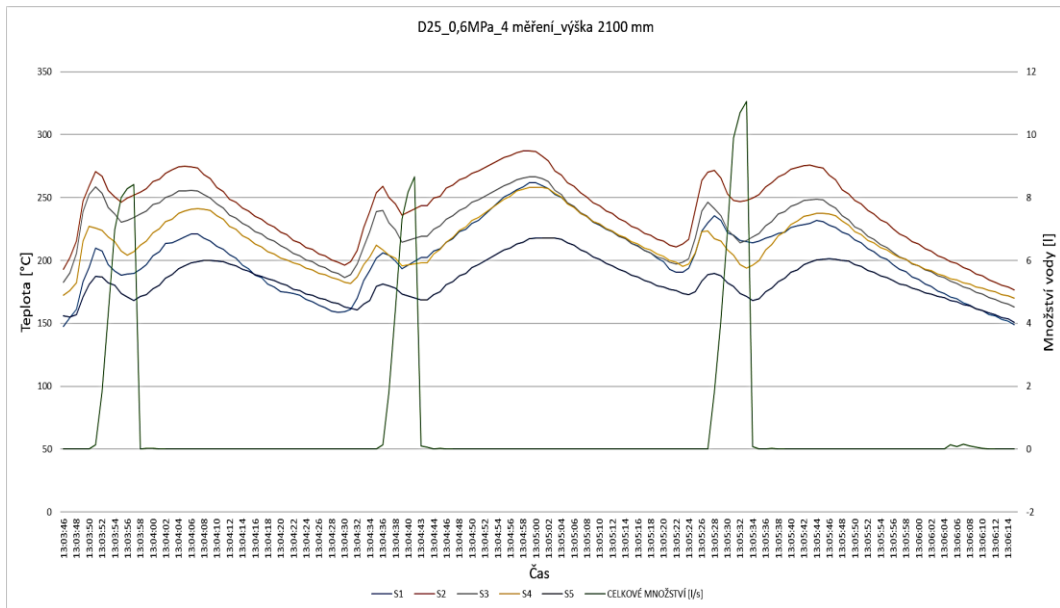
Obrázek 58 - Graf teplot_C52_0,6 MPa_výška 1600 mm [zdroj autor].



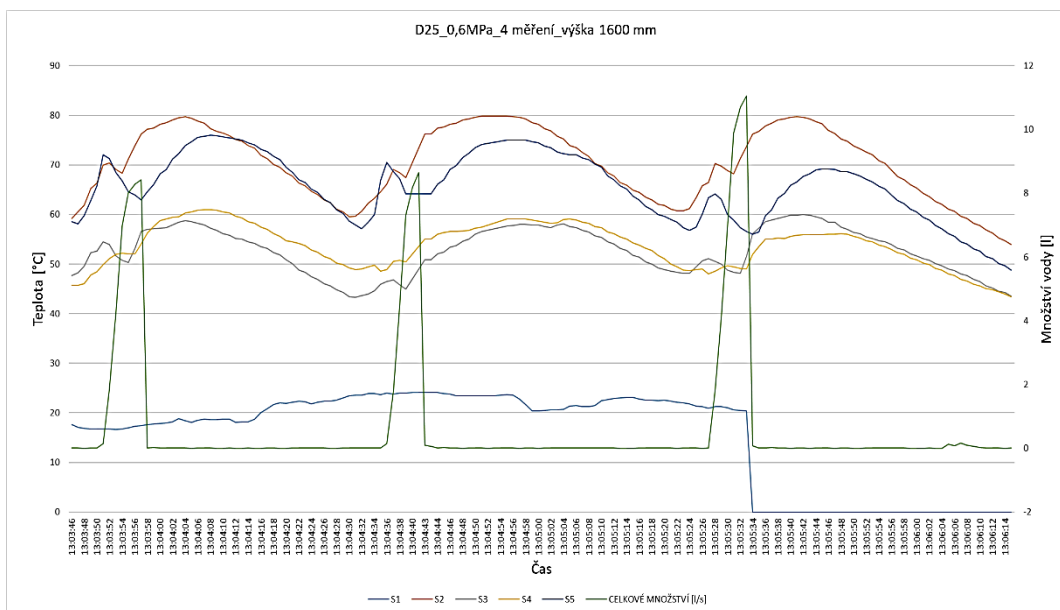
Obrázek 59 - Graf teplot_D25_0,6 MPa_výška 2100 mm [zdroj autor].



Obrázek 60 - Graf teplot_D25_0,6 MPa_výška 1600 mm [zdroj autor].

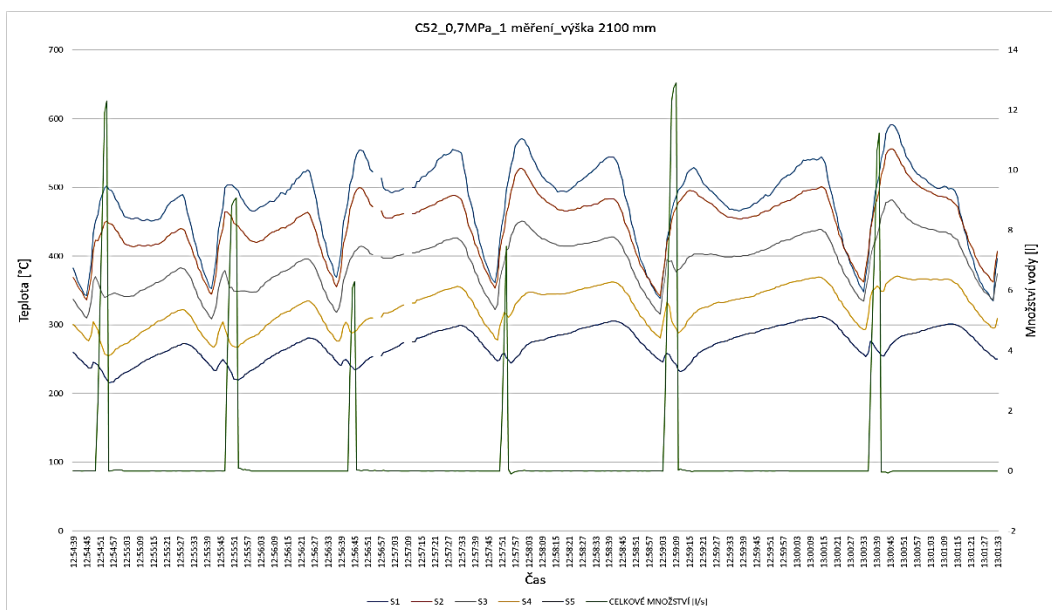


Obrázek 61 - Graf teplot_D25_0,6 MPa_výška 2100 mm [zdroj autor].

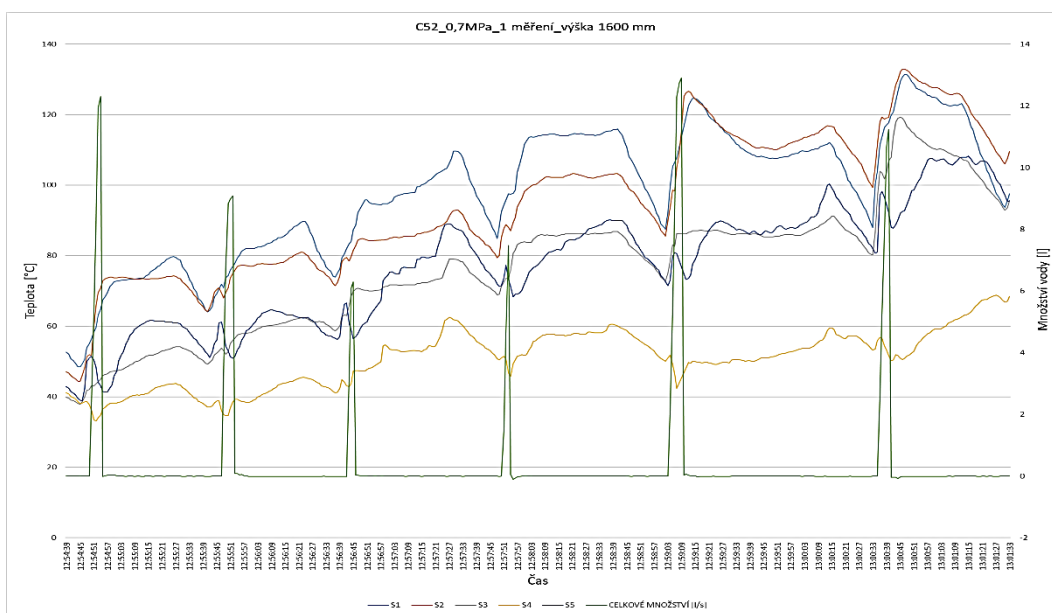


Obrázek 62 - Graf teplot_D25_0,6 MPa_výška 1600 mm [zdroj autor].

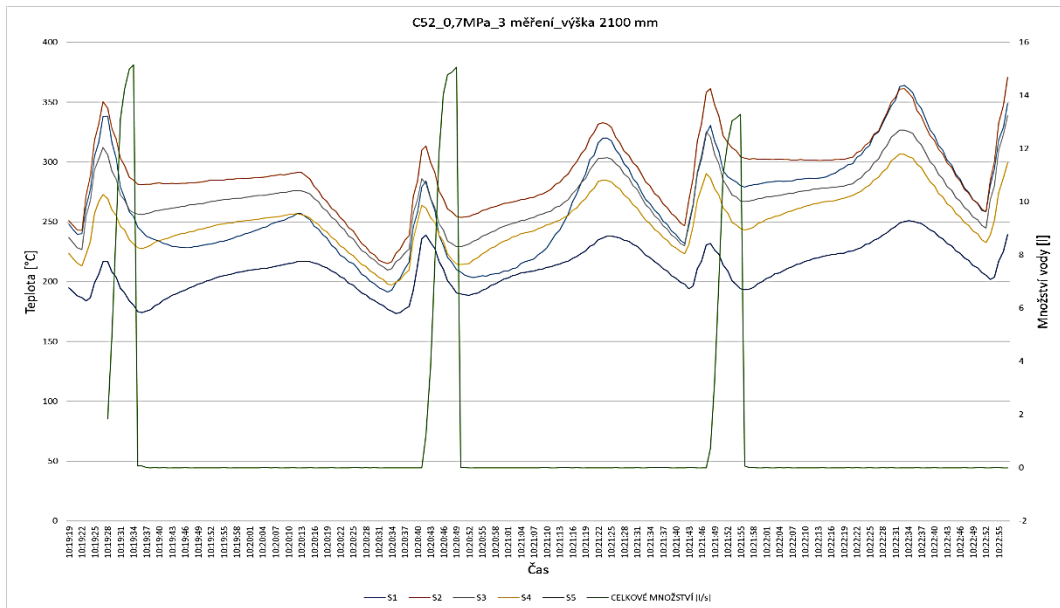
Příloha 15 - Výsledné grafy s pokusy při tlaku 0,7 MPa



Obrázek 63 – Graf teplot_C52_0,7 MPa_výška 2100 mm [zdroj autor].



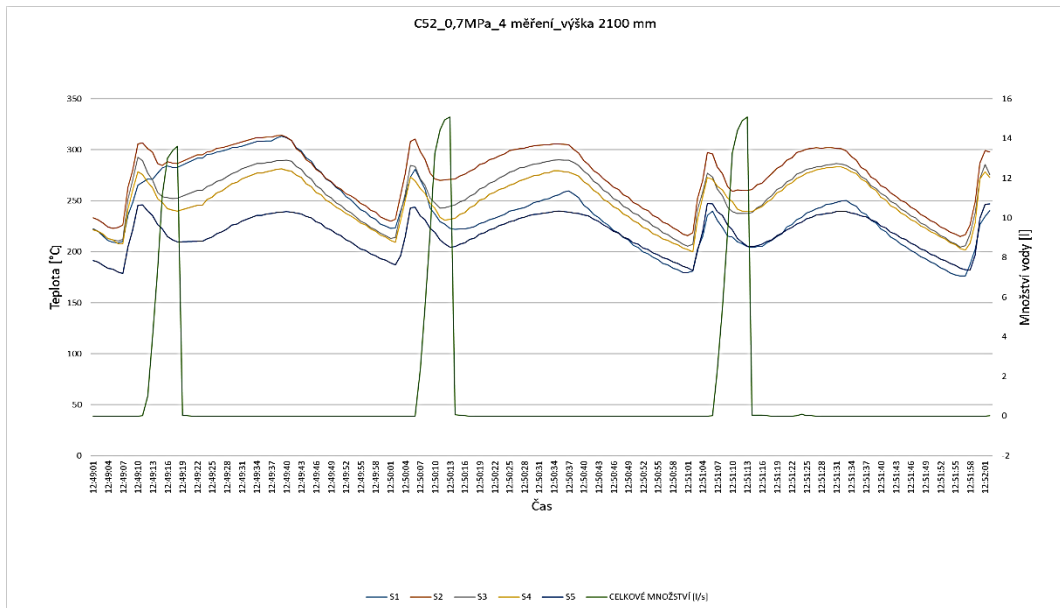
Obrázek 64 - Graf teplot_C52_0,7 MPa_výška 1600 mm [zdroj autor].



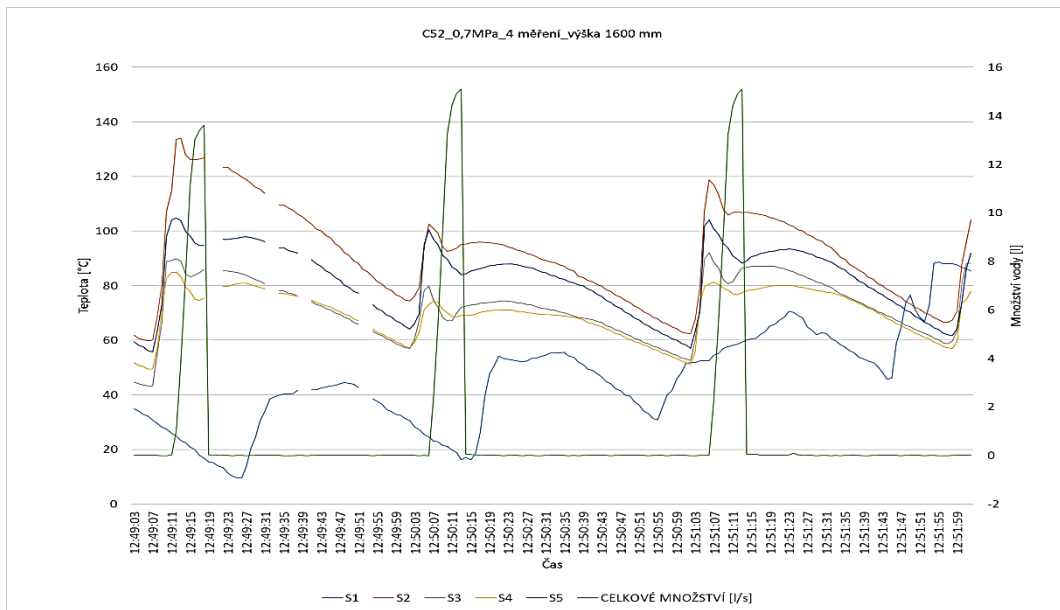
Obrázek 65 - Graf teplot_C52_0,7 MPa_výška 2100 mm [zdroj autor].



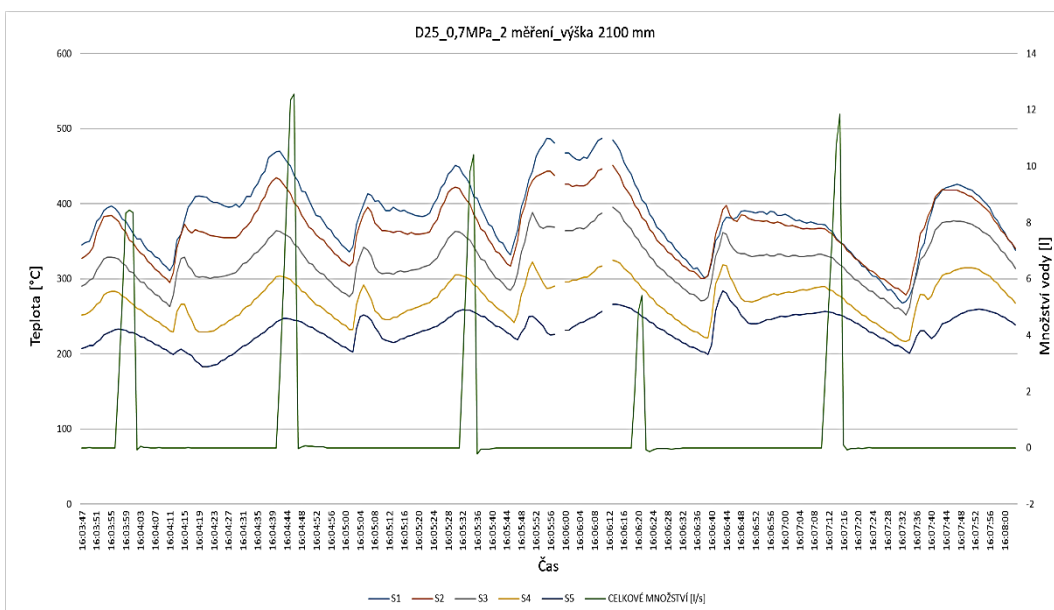
Obrázek 66 - Graf teplot_C52_0,7 MPa_výška 1600 mm [zdroj autor].



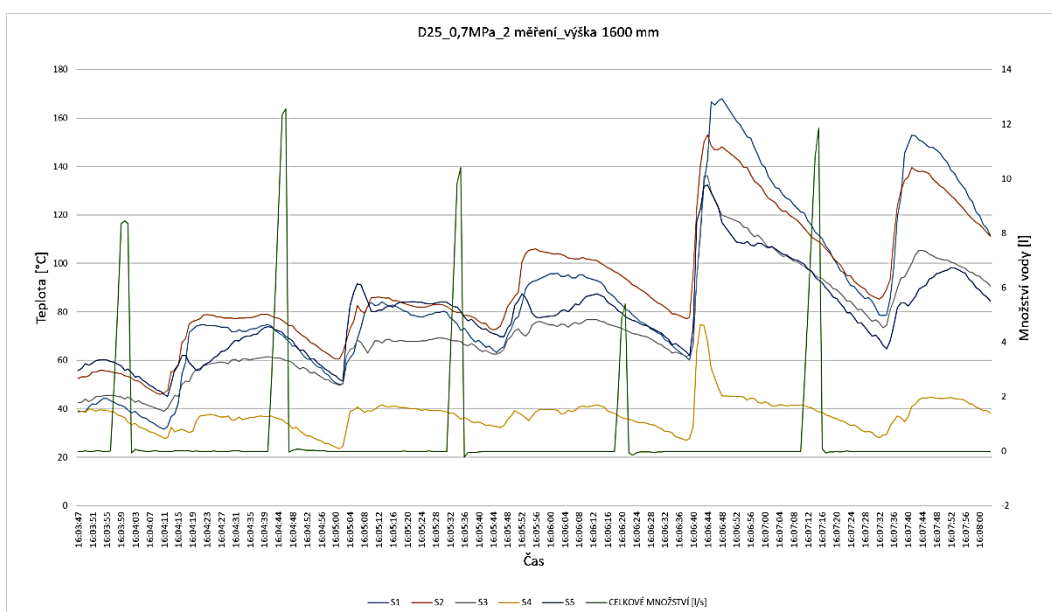
Obrázek 67 - Graf teplot_C52_0,7 MPa_výška 2100 mm [zdroj autor].



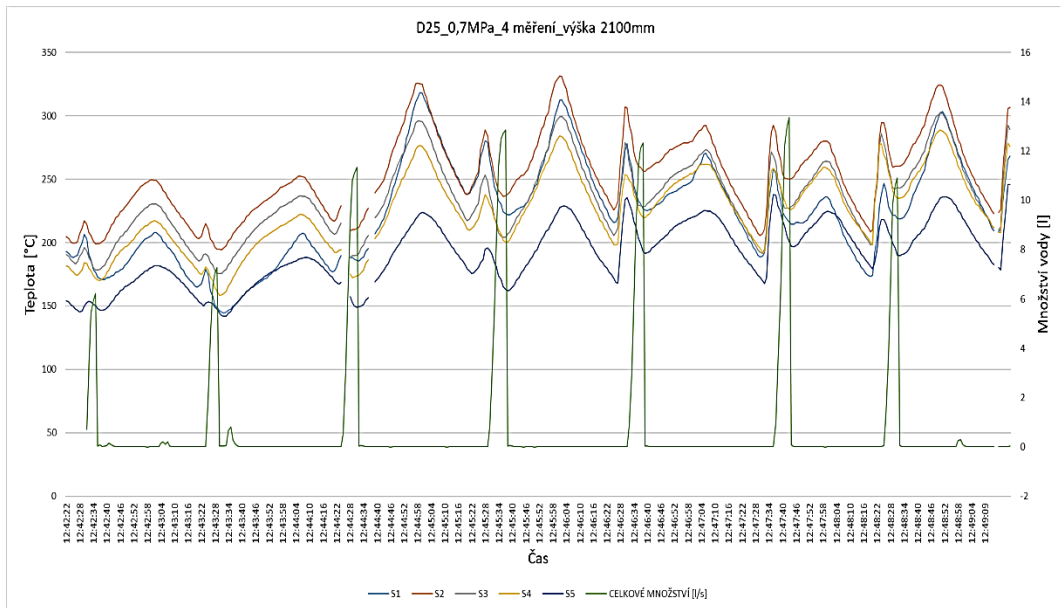
Obrázek 68 - Graf teplot_C52_0,7 MPa_výška 1600 mm [zdroj autor].



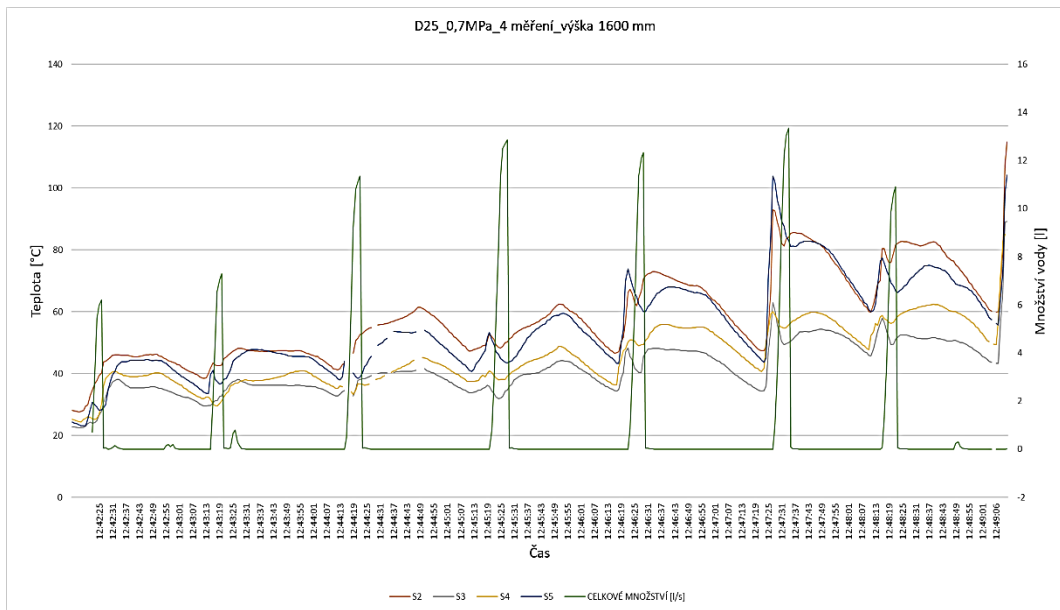
Obrázek 69 - Graf teplot_D25_0,7 MPa_výška 2100 mm [zdroj autor].



Obrázek 70 - Graf teplot_D25_0,7 MPa_výška 1600 mm [zdroj autor].

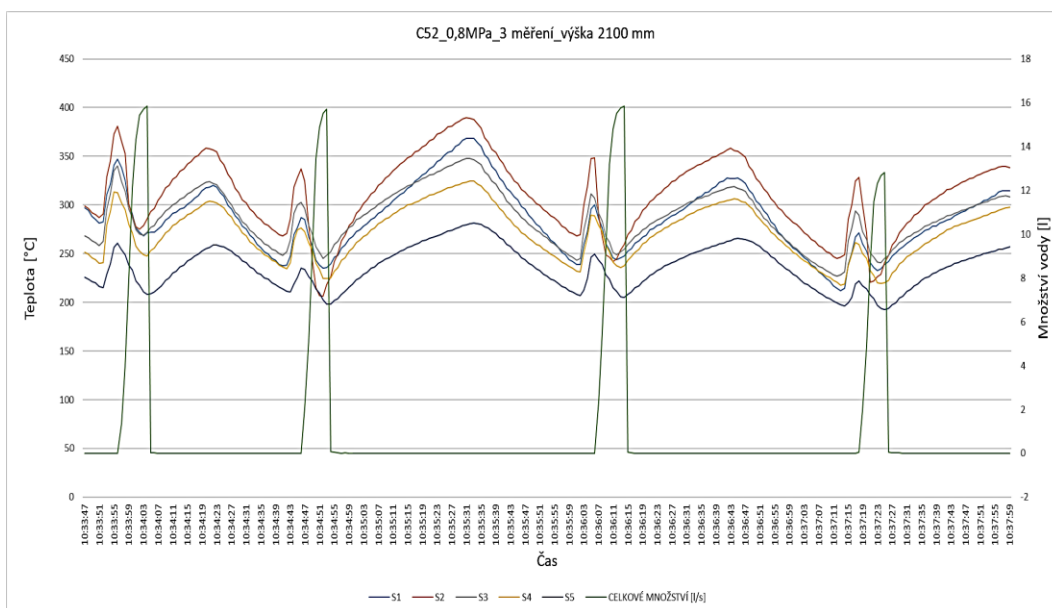


Obrázek 71 - Graf teplot_D25_0,7 MPa_výška 2100 mm [zdroj autor].

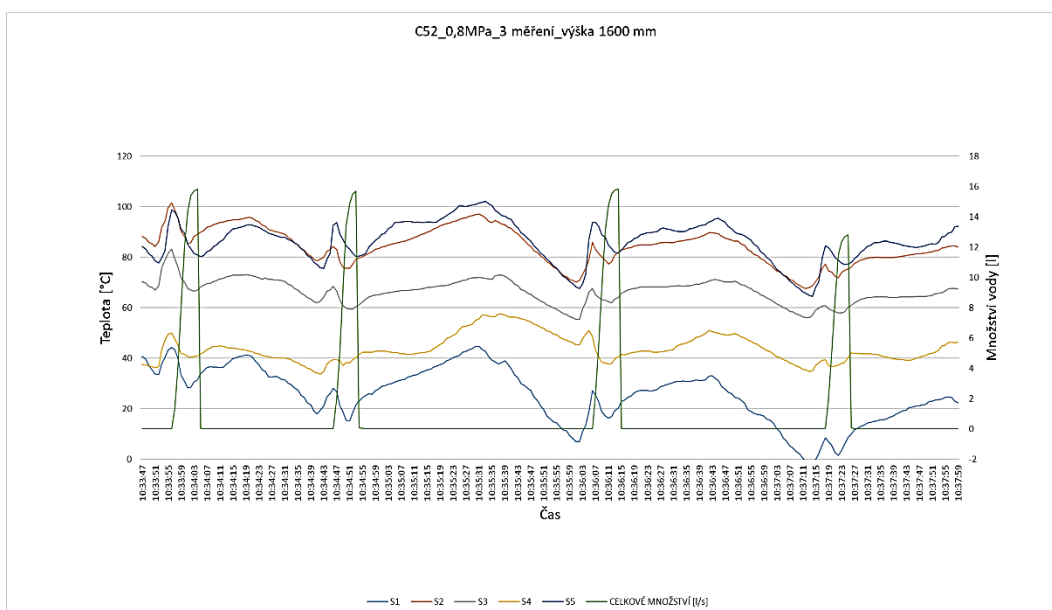


Obrázek 72 - Graf teplot_D25_0,7 MPa_výška 1600 mm [zdroj autor].

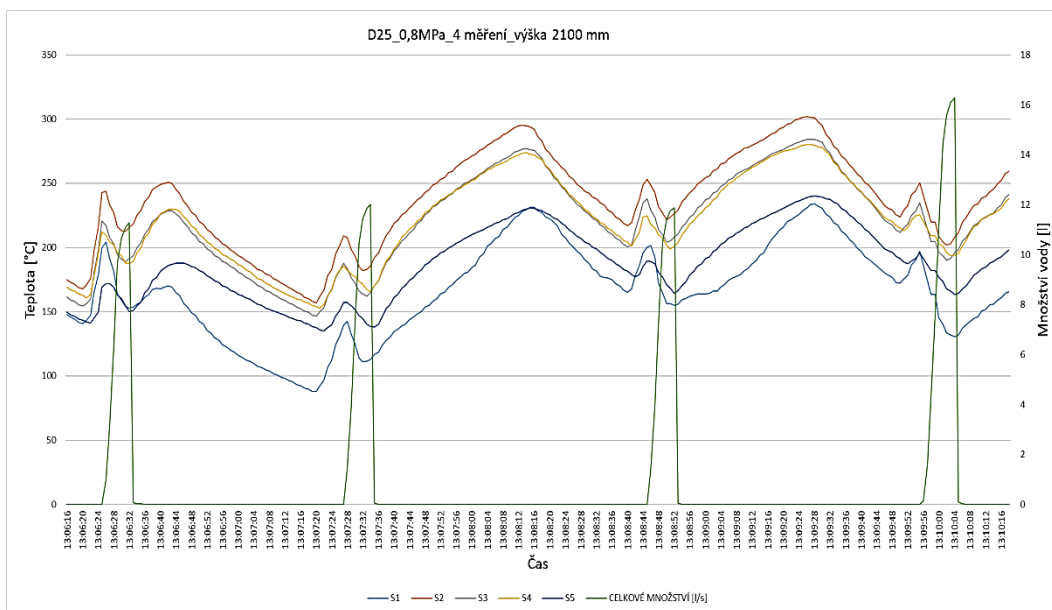
Příloha 16 - Výsledné grafy s pokusy při tlaku 0,8 MPa



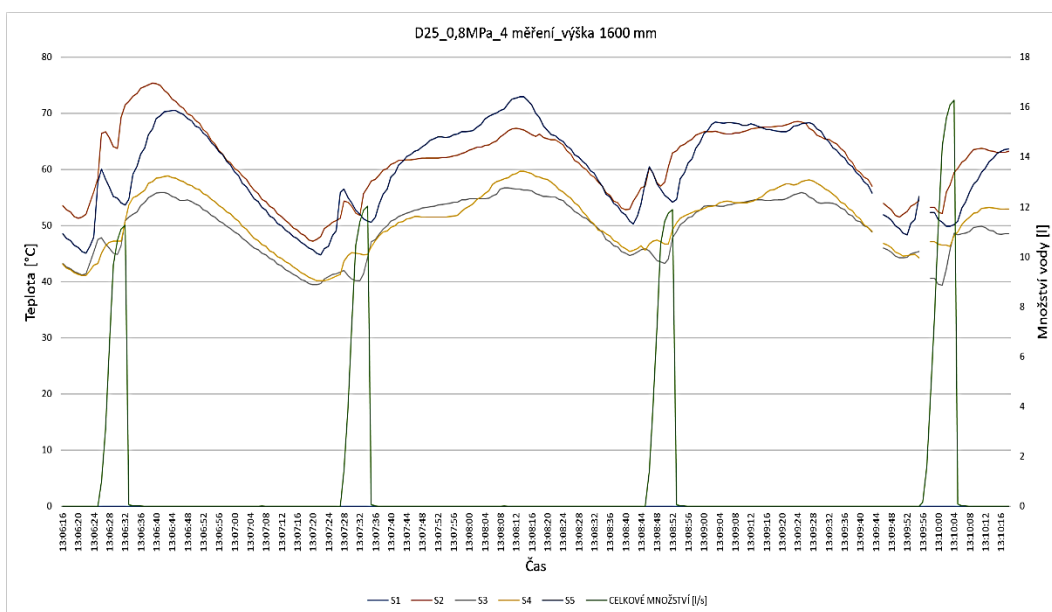
Obrázek 73 - Graf teplot_C52_0,8 MPa_výška 2100 mm [zdroj autor].



Obrázek 74 - Graf teplot_C52_0,8 MPa_výška 1600 mm [zdroj autor].

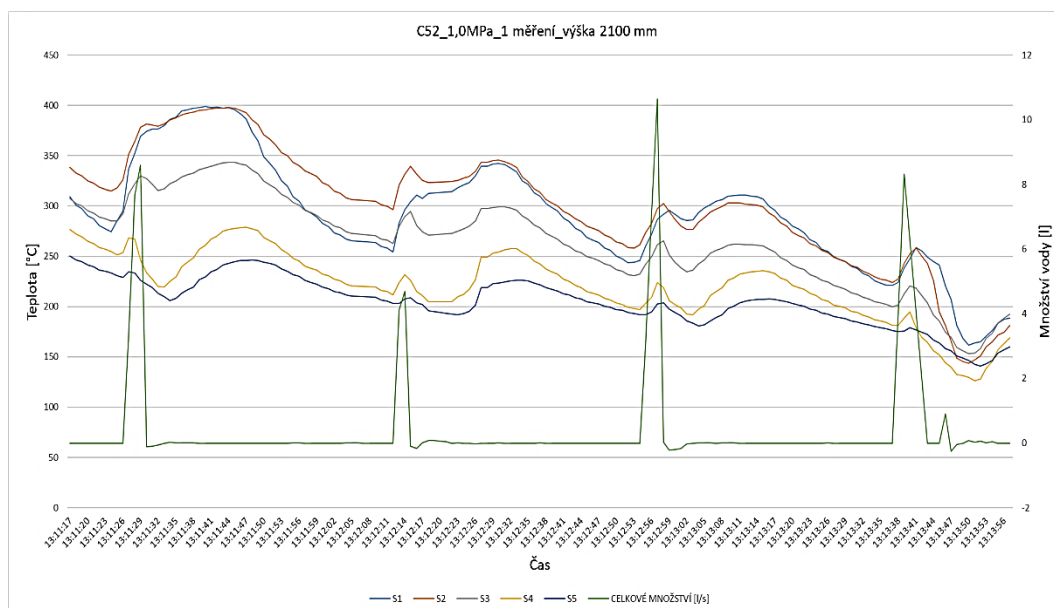


Obrázek 75 - Graf teplot_D25_0,8 MPa_výška 2100 mm [zdroj autor].

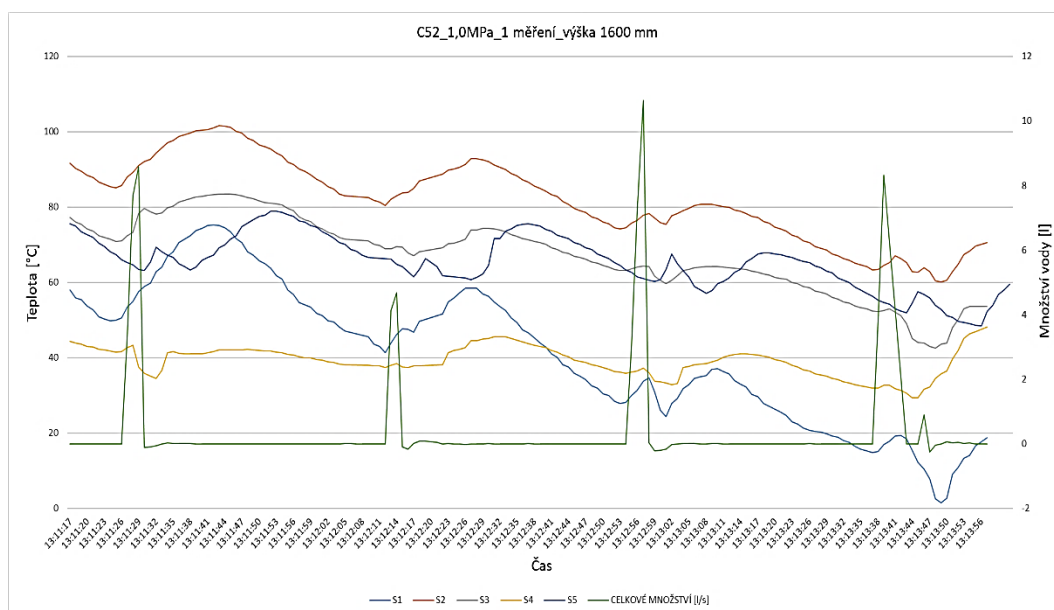


Obrázek 76 - Graf teplot_D25_0,8 MPa_výška 1600 mm [zdroj autor].

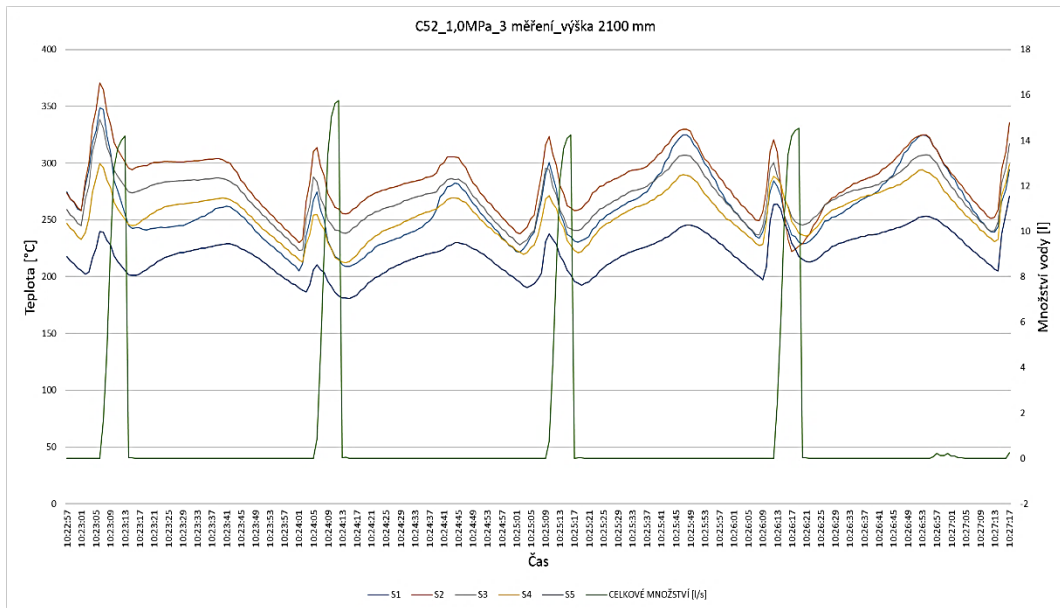
Příloha 17 - Výsledné grafy s pokusy při tlaku 1,0 MPa



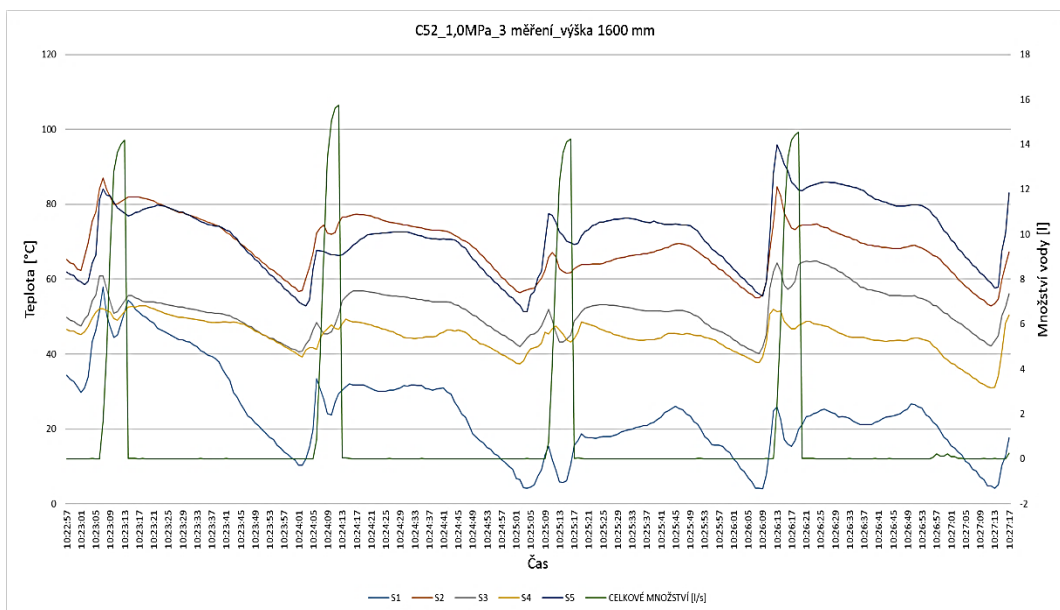
Obrázek 77 - Graf teplot_C52_1,0 MPa_výška 2100 mm [zdroj autor].



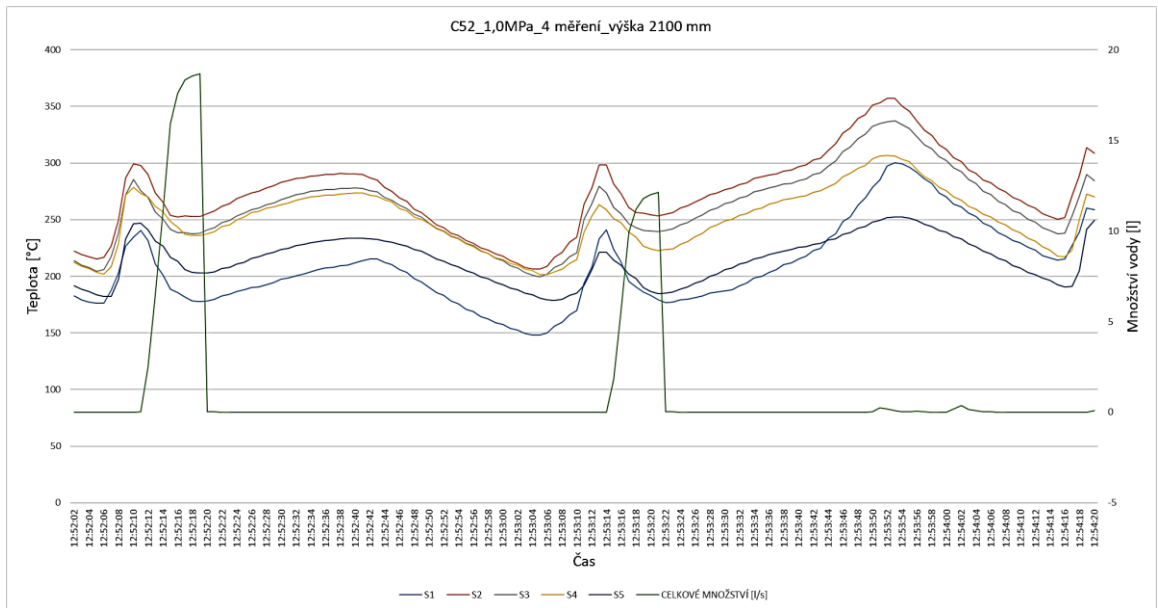
Obrázek 78 - Graf teplot_C52_1,0 MPa_výška 1600 mm [zdroj autor].



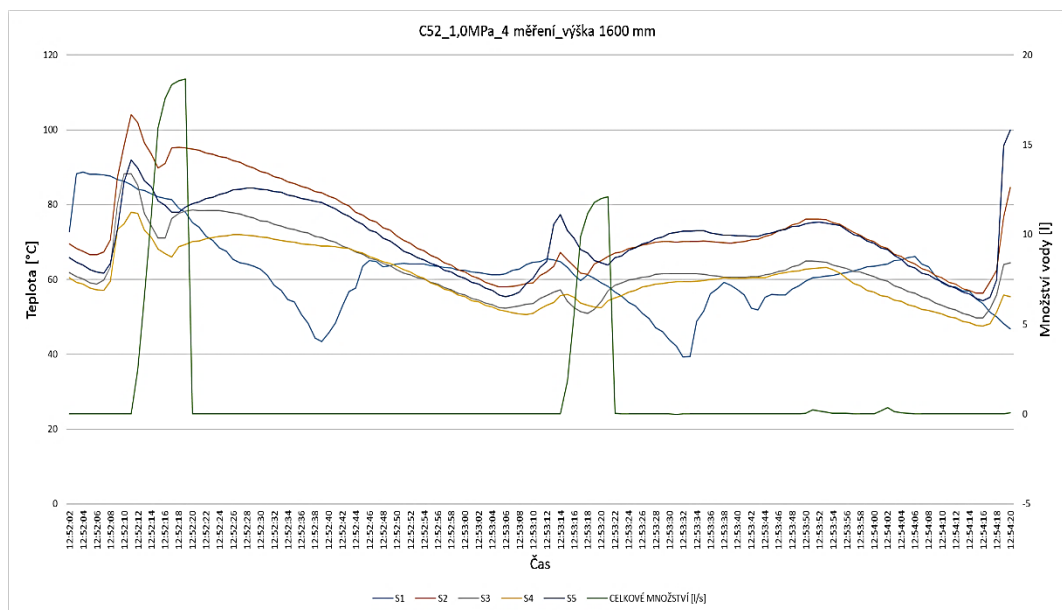
Obrázek 79 - Graf teplot_C52_1,0 MPa_ výška 2100 mm [zdroj autor].



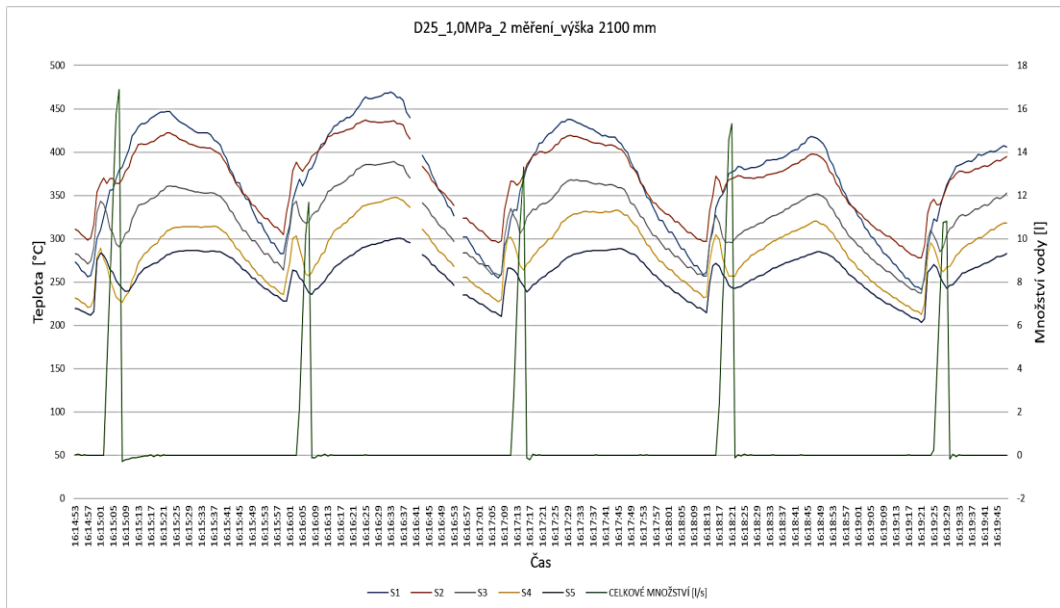
Obrázek 80 - Graf teplot_C52_1,0 MPa_ výška 1600 mm [zdroj autor].



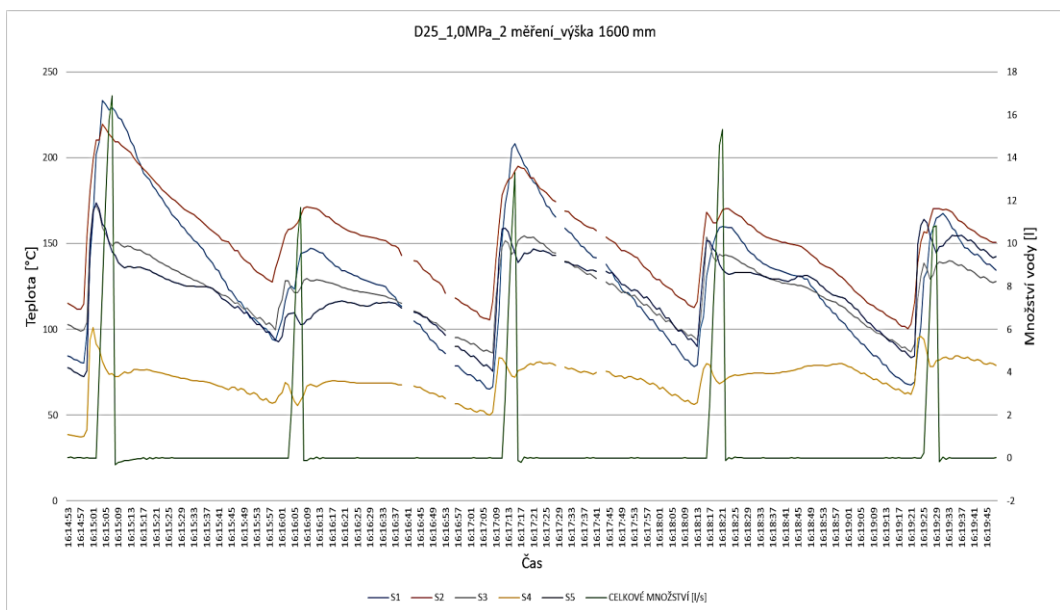
Obrázek 81 - Graf teplot_C52_1,0 MPa_výška 2100 mm [zdroj autor].



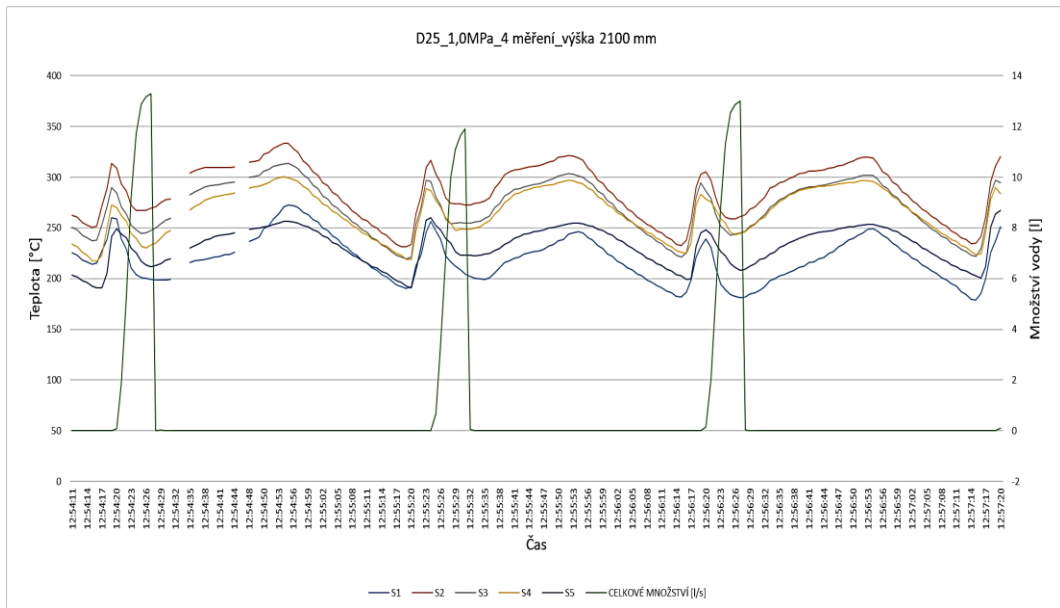
Obrázek 82 - Graf teplot_C52_1,0 MPa_výška 1600 mm [zdroj autor].



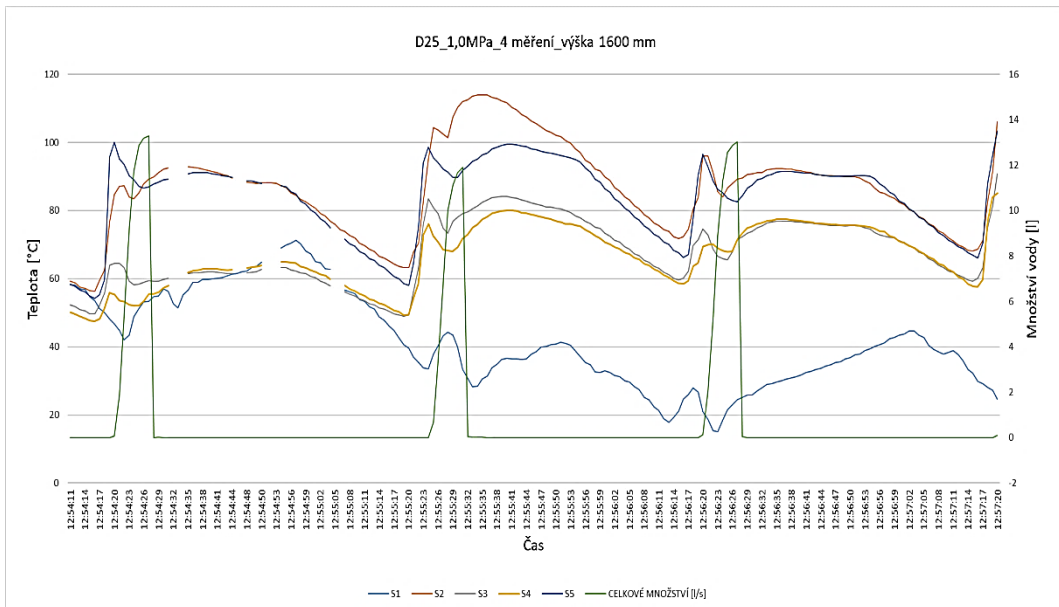
Obrázek 83 - Graf teplot_D25_1,0 MPa_výška 2100 mm [zdroj autor].



Obrázek 84 - Graf teplot_D25_1,0 MPa_výška 1600 mm [zdroj autor].

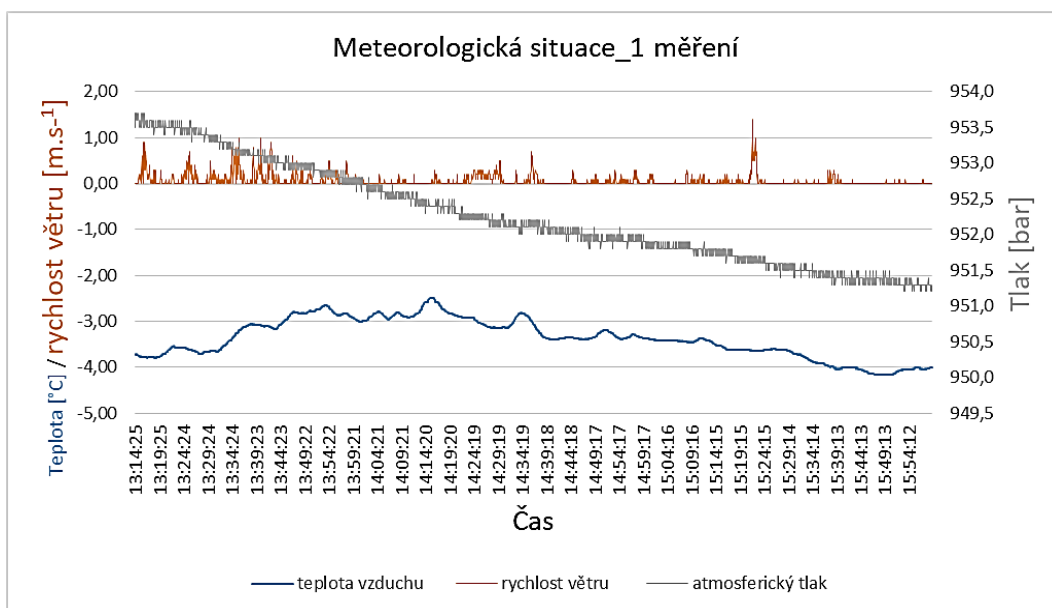


Obrázek 85 - Graf teplot_D25_1,0 MPa_výška 2100 mm [zdroj autor].

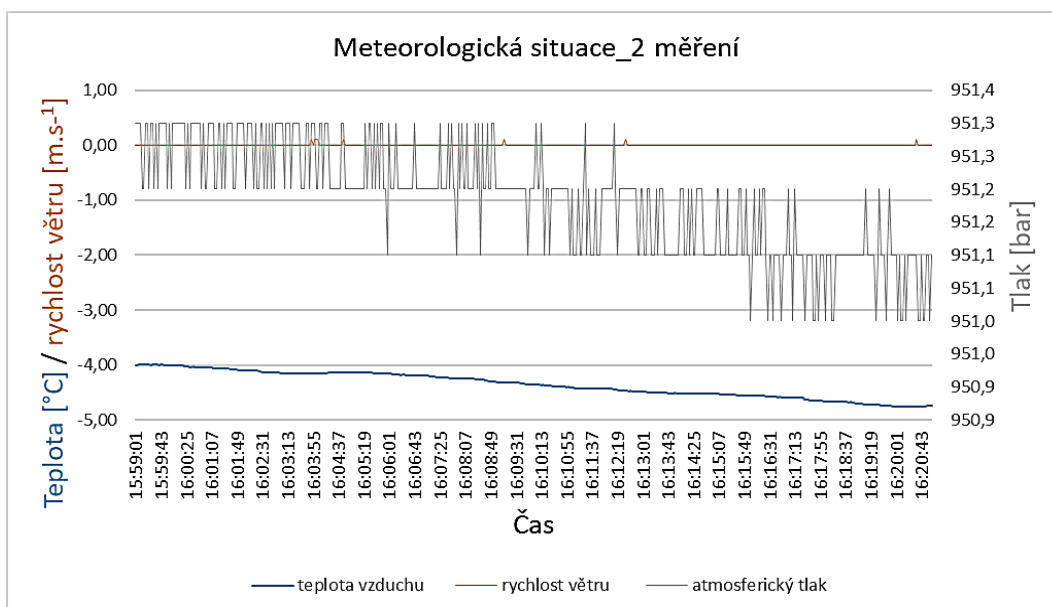


Obrázek 86 - Graf teplot_D25_1,0 MPa_výška 1600 mm [zdroj autor].

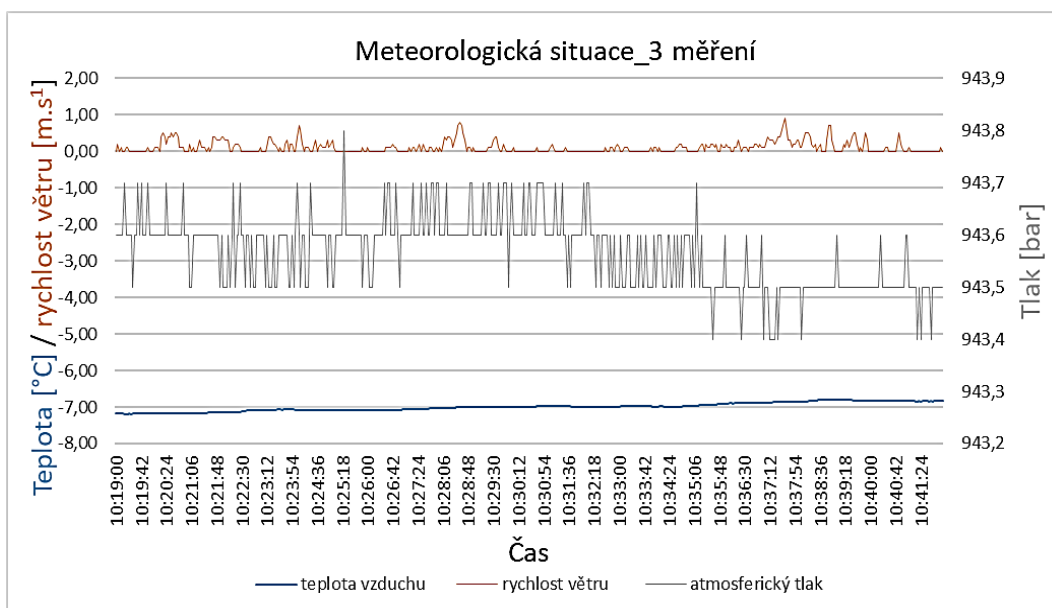
Příloha 18 - Meteorologická situace



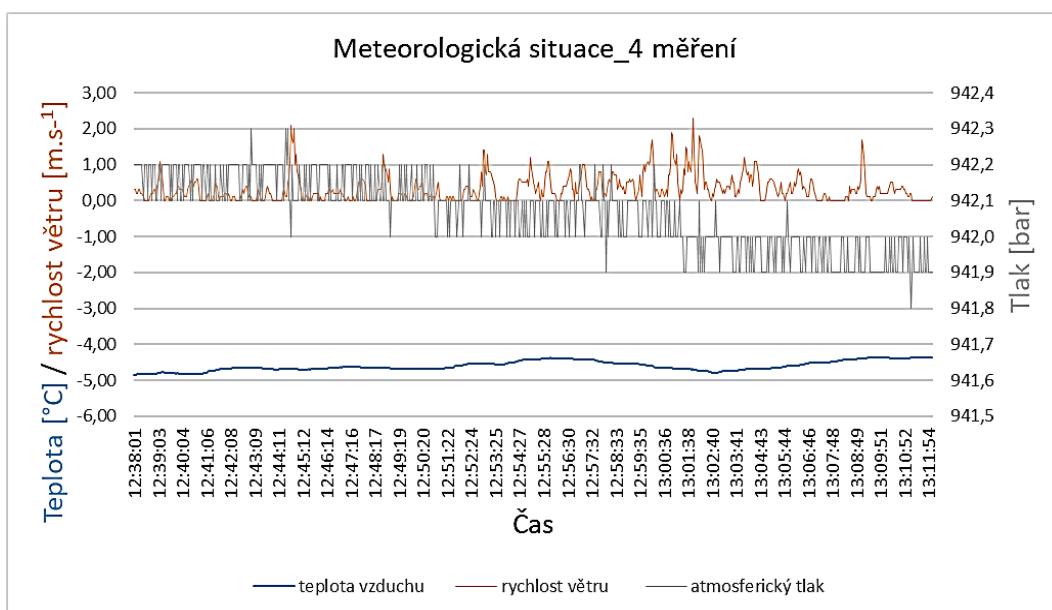
Obrázek 87 - Meteorologická situace během 1 části měření [zdroj autor].



Obrázek 88 - Meteorologická situace během 2 části měření [zdroj autor].

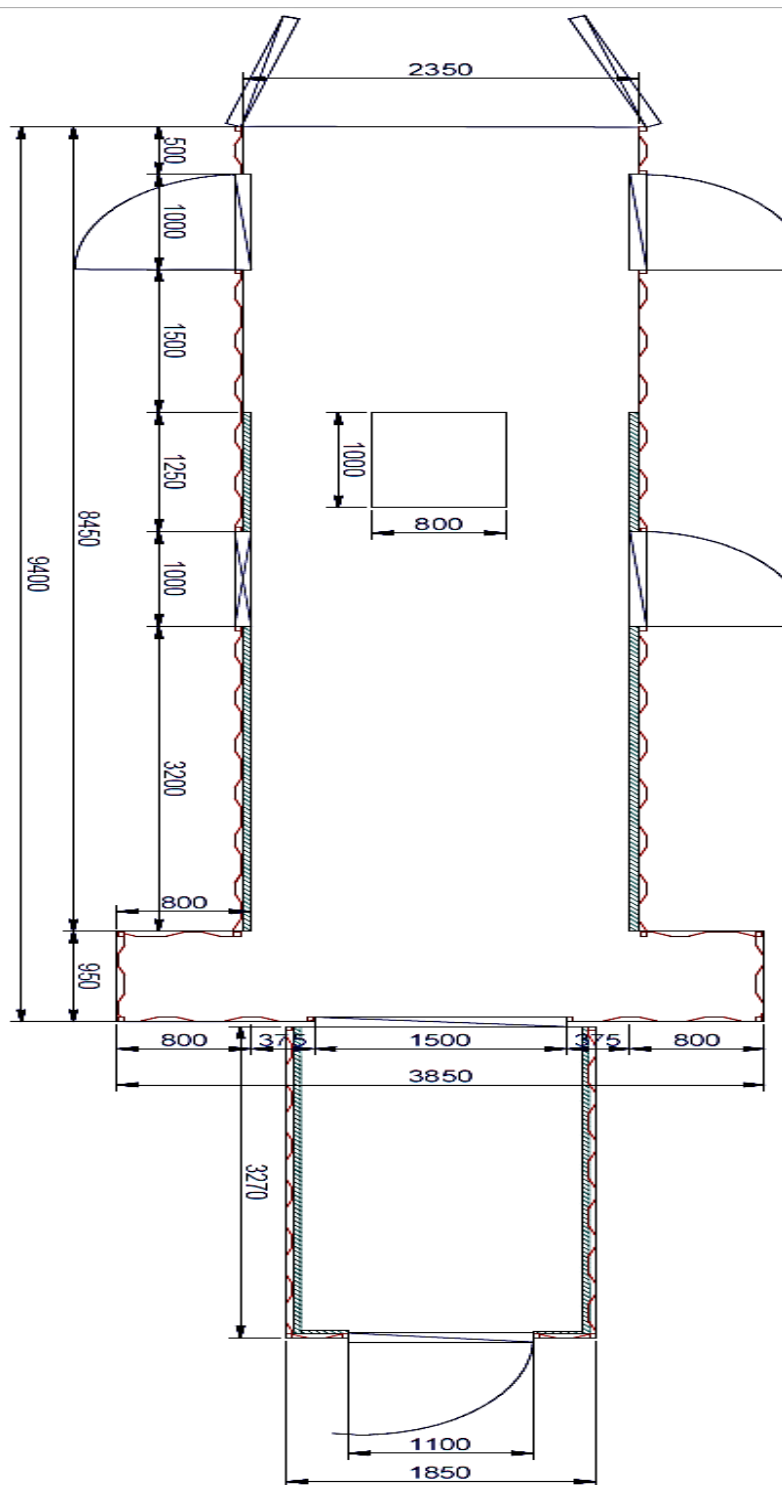


Obrázek 89 - Meteorologická situace během 3 části měření [zdroj autor].

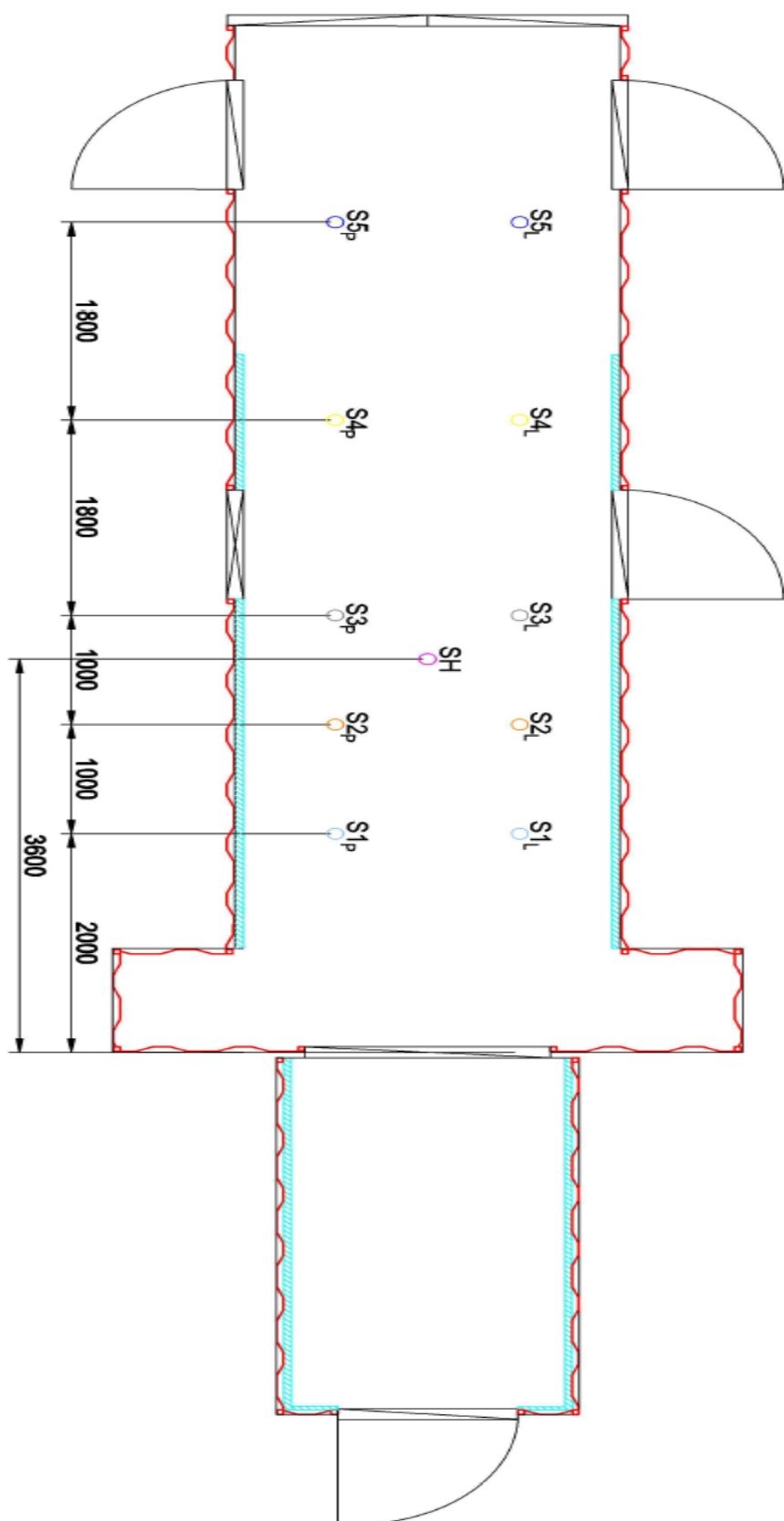


Obrázek 90 - Meteorologická situace během 4 části měření [zdroj autor].

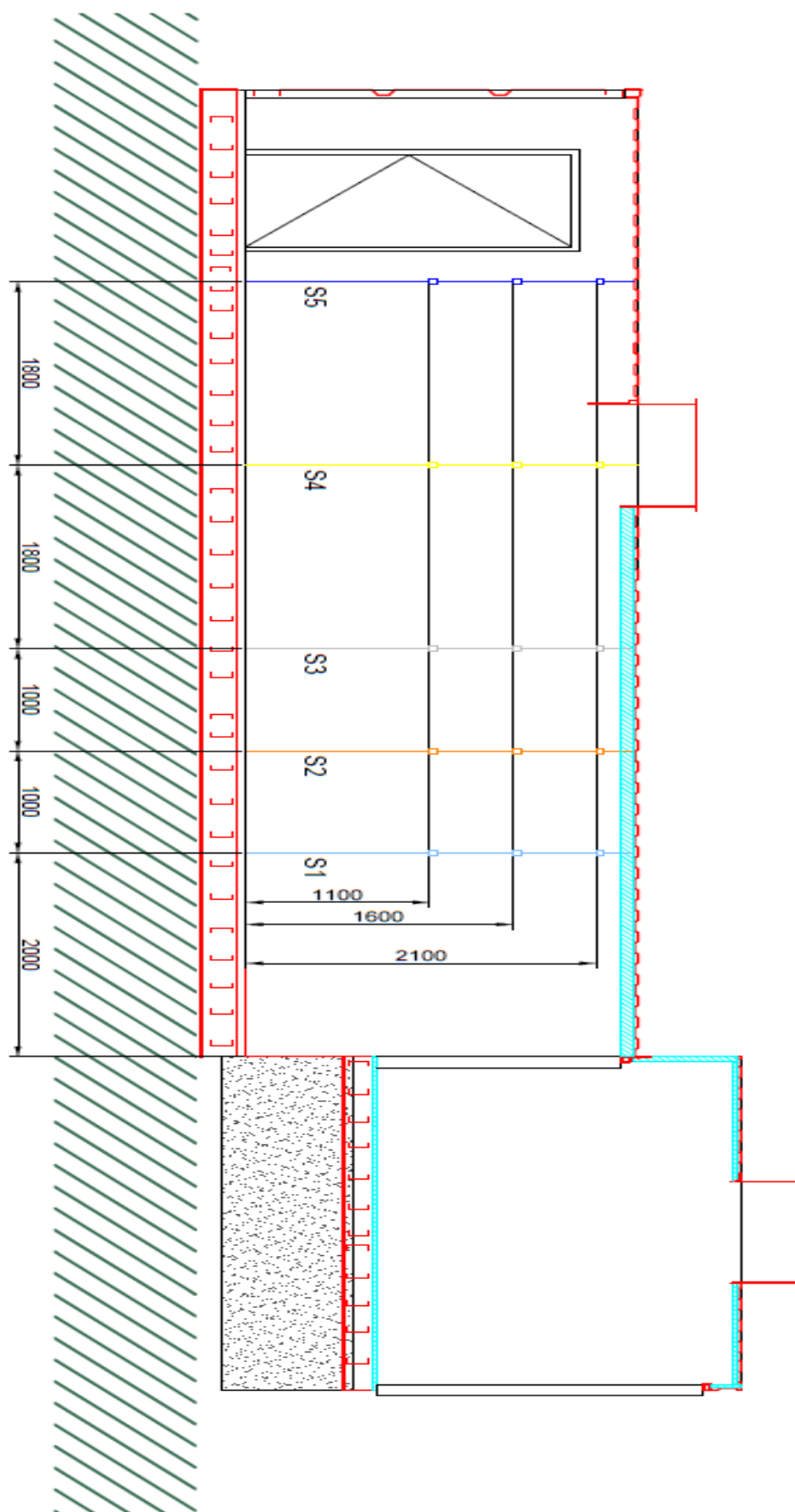
Příloha 19 - Plány pozorovacího kontejneru a rozmístění termočlánku ve sledovaném prostoru



Obrázek 91 – Půdorys pozorovacího kontejneru s pecí [zdroj autor].



Obrázek 92 – Půdorys pozorovacího kontejneru s rozmístěním čidel [zdroj autor].



Obrázek 93 – Bokorys rozmístění sloupců sledovaných pozic a výška termočlánků [zdroj autor].