Vliv vzduchotěsnosti chráněného prostoru na funkci plynového stabilního hasicího zařízení

Bc. Soňa Krejčová

Diplomová práce
2019

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta logistiky a krizového řízení

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta logistiky a krizového řízení
Ústav ochrany obyvatelstva
akademický rok: 2018/2019

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení:	**Bc. Soňa Krejčová**
Osobní číslo:	**L17103**
Studijní program:	**N3953 Bezpečnost společnosti**
Studijní obor:	**Bezpečnost společnosti**
Forma studia:	**prezenční**
Téma práce:	**Vliv vzduchotěsnosti chráněného prostoru na funkci plynového stabilního hasicího zařízení**

Zásady pro vypracování:

1. **Posuďte současný stav dané problematiky.**
2. **Proveďte kontrolu těsnosti chráněného prostoru zvolenou metodou.**
3. **Proveďte praktickou zkoušku s vypuštěním hasiva a zevšeobecněte získané poznatky.**

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

[1] RYBÁŘ, Pavel. Stabilní hasicí zařízení plynová, prášková, aerosolová a inertizační, provozuschopnost a účinnost SHZ. Praha: Profesní komora požární ochrany, 2016. Edice Profesní komory požární ochrany. ISBN 978-80-260-9155-4.

[2] KRATOCHVÍL, Václav, Šárka NAVAROVÁ a Michal KRATOCHVÍL. Požárně bezpečnostní zařízení ve stavbách: stručná encyklopedie pro jednotky PO, požární prevenci a odbornou veřejnost. V Ostravě: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2011. Spektrum (Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství). ISBN 978-80-7385-103-3.

[3] NOVÁK, Jiří. Vzduchotěsnost obvodových plášťů budov. Praha: Grada, 2008, 203 s. Stavitel. nízkoenergetické domy. ISBN 978-80-247-1953-5.

Další odborná literatura dle doporučení vedoucího diplomové práce.

Vedoucí diplomové práce:	**doc. Ing. Miroslav Tomek, PhD.** Ústav ochrany obyvatelstva
Datum zadání diplomové práce:	**30. listopadu 2018**
Termín odevzdání diplomové práce:	**15. května 2019**

V Uherském Hradišti dne 30. listopadu 2018

L.S.

UNIVERZITA TOMÁŠE BATI VE ZLÍNĚ
Fakulta logistiky a krizového řízení

doc. Ing. Zuzana Tučková, Ph.D.
děkanka

prof. Ing. Dušan Vičar, CSc.
ředitel ústavu

PROHLÁŠENÍ AUTORA
DIPLOMOVÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

- diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování diplomové práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem diplomové práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

V Uherském Hradišti, dne: 15.5.2019

Jméno a příjmení studenta: Bc. Soňa Krejčová

.....
podpis studenta

ABSTRAKT

Diplomová práce popisuje vliv vzduchotěsnosti chráněného prostoru na funkci plynového stabilního hasicího zařízení. Pro práci jsou položeny dvě otázky vycházející z hypotéz, na které se bude odpovídat. Odpovědi na položené otázky byly získány provedením experimentu a jeho vyhodnocením. Práce je rozdělena na teoretickou část a praktickou část. Teoretická část se zabývá problematikou požární bezpečnosti staveb se zaměřením na plynová stabilní hasicí zařízení a zkoušku těsnosti prostoru pro plynová stabilní hasicí zařízení. Rovněž je navržen scénář pro provedení experimentu. Praktická část je zaměřena na přípravu a postup provedeného experimentu. V závěru práce jsou vyhodnoceny otázky vyplývající z hypotéz, stanovena obecná doporučení a návrhy na případné rozšíření této práce.

Klíčová slova: clony, Door Fan Test, experiment, hasicí, otvory, plyn, stabilní, vzduchotěsnost, zařízení, zkouška

ABSTRACT

The diploma thesis describes the effect of airtightness of the protected space on the function of gas fire extinguishing system. Two questions are asked for the thesis based on the hypotheses to be answered. The answers to the questions asked were obtained by carrying out the experiment and evaluating it. The thesis is divided into theoretical part and practical part. The theoretical part deals with the issue of fire safety of buildings with a focus on gas fire extinguishing system and Door Fan Test for gas fire extinguishing systems. A scenario for performing the experiment is also proposed. The practical part is focused on the preparation and procedure of the experiment. At the end of the thesis, questions arising from hypotheses are evaluated, general recommendations and suggestions for possible extension of this thesis are set.

Keywords: apertures, Door Fan Test, experiment, extinguishing, holes, gas, stable, airtightness, systems, test

Poděkování

Touto cestou bych chtěla poděkovat vedoucímu mé diplomové práce panu doc. Ing. Miroslavu Tomkovi, Ph.D., za praktické rady a připomínky, které mi pomohly při zpracování diplomové práce.

Dále bych zejména chtěla poděkovat panu Ing. Jiřímu Krejčovi za odborné vedení v oblasti zkoušek těsnosti prostorů, za ochotu, za poskytnutí cenných rad a připomínek, které mi pomohly při zpracování diplomové práce a také za věnování času při přípravě chráněného prostoru pro experiment a odborného dohledu při provádění experimentu.

Dále bych chtěla poděkovat konzultantům paní Ing. Pavle Pechové, Ph.D., panu Františkovi Klikovi, panu Ing. Jiřímu Novákovi, Ph.D., panu Ing. Markovi Pokornému, Ph.D. a panu Ing. Tomáši Sivčovi za odborné konzultace, které mi taktéž pomohly pro přípravu experimentu.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD **7**
I TEORETICKÁ ČÁST **8**
1 POŽÁRNÍ BEZPEČNOST STAVEB **9**
1.1 POŽÁRNĚ BEZPEČNOSTNÍ ZAŘÍZENÍ 9
1.2 STABILNÍ HASICÍ ZAŘÍZENÍ 11
2 PLYNOVÁ STABILNÍ HASICÍ ZAŘÍZENÍ **14**
2.1 ZÁKLADNÍ CHARAKTERISTIKA PLYNOVÝCH STABILNÍCH HASICÍCH ZAŘÍZENÍ 14
2.2 HASICÍ PLYNY 20
3 ZKOUŠKA INTEGRITY CHRÁNĚNÉHO PROSTORU **25**
3.1 VZDUCHOTĚSNOST CHRÁNĚNÉHO PROSTORU 25
3.2 DOOR FAN TEST 28
4 POPIS PROVÁDĚNÉHO EXPERIMENTU **37**
4.1 SCÉNÁŘ EXPERIMENTU 37
4.2 HASICÍ PLYN IG-100 (DUSÍK) 38
4.3 NEJISTOTY A NEDOSTATKY MĚŘENÍ 39
5 CÍLE A METODY ZPRACOVÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE **41**
II PRAKTICKÁ ČÁST **42**
6 PŘÍPRAVA EXPERIMENTU A POPIS MĚŘICÍCH PŘÍSTROJŮ **43**
6.1 PŘÍPRAVA NA EXPERIMENT 43
6.2 POUŽITÉ MĚŘICÍ PŘÍSTROJE 53
7 PRŮBĚH EXPERIMENTU A JEHO VÝSLEDKY **60**
7.1 PRŮBĚH A VÝSLEDKY ZKOUŠEK S REÁLNÝM VYPUŠTĚNÍM HASIVA 60
7.2 PRŮBĚH A VÝSLEDKY ZKOUŠEK DOOR FAN TESTU 73
8 VYHODNOCENÍ OTÁZEK HYPOTÉZ A DOPORUČENÍ **84**
8.1 VYHODNOCENÍ OTÁZEK HYPOTÉZ 84
8.2 DOPORUČENÍ 85
ZÁVĚR **86**
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY **87**
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK **92**
SEZNAM OBRÁZKŮ **94**
SEZNAM TABULEK **96**
SEZNAM GRAFŮ **97**
SEZNAM PŘÍLOH **98**

ÚVOD

Téma diplomové práce je vliv vzduchotěsnosti chráněného prostoru na funkci plynového stabilního hasicího zařízení. Pro uchování specifických materiálových hodnot jako jsou např. archivy a serverovny je potřeba dostatečná funkčnost plynového stabilního hasicího zařízení. To může zajistit jednak odborná instalace hasicího systému, ale hlavně dostatečná těsnost chráněného prostoru, která zajistí, že hasicí plyn bude mít přiměřený čas pro splnění své funkce. Na toto téma je zaměřena moje diplomová práce.

Práce je rozdělena do osmi kapitol. Teoretická část obsahuje pět kapitol. V první kapitole jsou obecně popsány požárně bezpečnostní zařízení a stabilní hasicí zařízení. Druhá kapitola je zaměřena na plynová stabilní hasicí zařízení a hasicí plyny, které se pro tyto zařízení používají. V třetí kapitole je definována vzduchotěsnost chráněného prostoru a zkouška Door Fan Test, která se provádí pro ověření těsnosti chráněného prostoru. Čtvrtá kapitola popisuje scénář experimentu, použitý hasicí plyn, možné nejistoty a nedostatky měření při experimentu. V páté poslední kapitole teoretické části jsou stanoveny hypotézy, na které jsou položeny otázky. Na tyto otázky se budou hledat odpovědi pomocí experimentu.

Praktická část je rozdělena do dalších tří kapitol. V šesté kapitole diplomové práce neboli v první kapitole praktické části je uvedena příprava chráněného prostoru pro experiment. Sedmá kapitola popisuje postup prováděného experimentu. V závěrečné kapitole práce je uvedeno vyhodnocení experimentu, kde jsou uvedeny odpovědi na položené otázky a rovněž jsou v této kapitole uvedena obecná doporučení a doporučení pro další experimenty.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 POŽÁRNÍ BEZPEČNOST STAVEB

V dnešní době se stále více zvyšují nároky na požární bezpečnost staveb a technologií. V úvodu diplomové práce jsou proto zmiňovány základní informace o požárních bezpečnostních zařízeních, které se dnes běžně využívají ve stavbách a technologiích. Dále jsou v této kapitole uvedeny informace o stabilních hasicích zařízeních.

1.1 Požárně bezpečnostní zařízení

„Požárně bezpečnostní zařízení (dále jen „PBZ“) jsou systémy a technická zařízení zabezpečující požární ochranu stavby nebo jiných zařízení, sloužící k zajištění evakuace osob i snížení intenzity požáru.“ [1]

Tato zařízení lze rozdělit na pasivní a aktivní PBZ. Pasivní PBZ jsou zařízení, která se podílejí na ochraně, ale pouze jako signalizátory a detektory. Mezi pasivní PBZ patří např. elektrická požární signalizace, plynová detekce, ruční poplachové zařízení a další.

Elektrická požární signalizace je zařízení sloužící k signalizaci vznikajícího ohniska požáru nebo požáru a k předání informací pověřeným osobám. Dále aktivuje zařízení bránící rozšíření požáru, či které usnadňuje nebo provádí protipožární zásah. Toto zařízení funguje pomocí lidského činitele nebo samočinně. [3]

Naopak aktivní PBZ jsou taková, která požár přímo hasí nebo eliminují zplodiny apod. Do aktivních PBZ se tedy řadí např. stabilní hasicí zařízení, polostabilní hasicí zařízení, doplňkové hasicí zařízení, zařízení pro odvod kouře a tepla a další. [2]

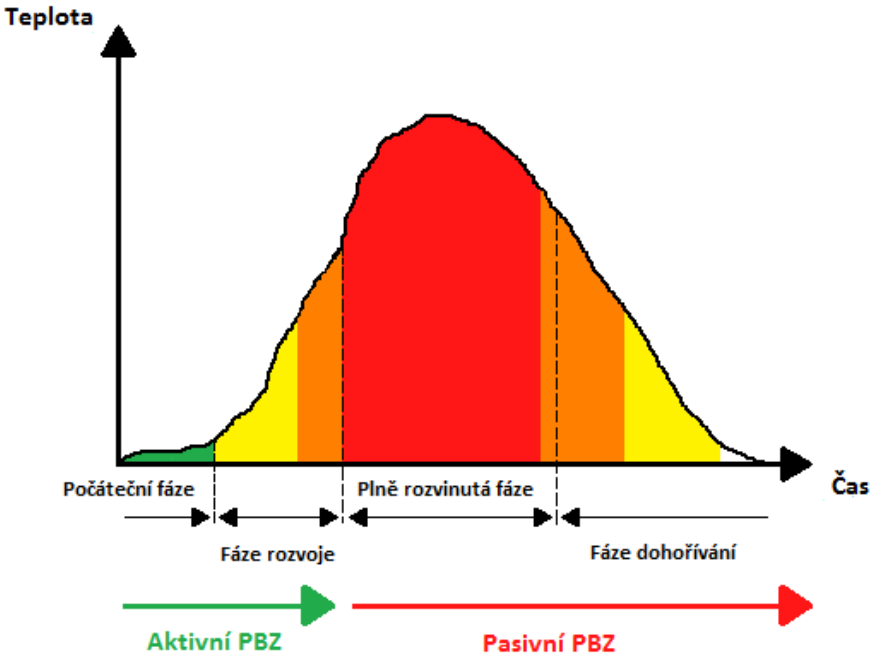
„*Stabilní hasicí zařízení patří jako jedno z nejvýznamnějších mezi základní druhy PBZ z důvodu, že jako jediné přímo hasí požár.“* Tato zařízení budou blíže popsána v další podkapitole. [1]

Zařízení pro odvod kouře a tepla slouží pro odvod zplodin hoření a snížení teploty v místě požáru. Pomocí tohoto zařízení se vytvoří vhodné podmínky pro evakuaci a umožní zásah jednotkám požární ochrany zejména z důvodu lepší viditelnosti. Dojde ke snížení rozsahu ztrát při působení zplodin na technologie a vybavení objektů a snížení tepelného namáhání konstrukcí. Při tvorbě návrhu odvětrávání je nutné odborné posouzení, jinak může jít o zbytečně vynaložené prostředky kvůli špatné funkčnosti. [3]

Dále se mezi PBZ řadí evakuační rozhlas, nouzové osvětlení, nouzové zvukové systémy, požární klapky, požární uzávěry, požární obklady, požární ucpávky a další. [2]

Aby ochrana objektů a technologií byla co nejvyšší, musí být PBZ v součinnosti s jinými zařízeními zahrnujícími pasivní a aktivní prvky požární ochrany (Obr. 1). Pasivními prvky zajištění požární ochrany jsou požárně dělící případně nosné konstrukce, které člení objekty na požární úseky. Aktivní prvky jsou požárně bezpečnostní zařízení a opatření k bezpečné evakuaci osob, rychlému zásahu požárních jednotek a snížení rozsahu škod. Obě skupiny těchto prvků se vzájemně doplňují, čímž se zvyšuje účinnost zabezpečení proti požáru. [4]

Na obrázku 1 je znázorněna součinnost aktivních a pasivních prvků PBZ s barevným označením jednotlivých fází požáru. Aktivní PBZ by měly zahájit činnost v počáteční fázi požáru, po iniciaci nebo nejpozději ve fázi rozvoje požáru, před úplným vzplanutím.



Obr. 1 Součinnost aktivních a pasivních PBZ [Upraveno dle [2]]

Kromě součinnosti s jinými zařízeními musí být PBZ ve správné součinnosti i vzájemně. Aby PBZ fungovala správně, musí každý, kdo se na instalaci podílí, dostatečně znát projektový záměr, parametry zařízení, jeho instalaci, funkčnost, vzájemné provozování, kontroly a použitelnosti neboli měli by vzájemně spolupracovat a komunikovat všichni, kdo se na instalaci jednotlivých PBZ podílejí. Při této spolupráci se docílí vzájemně navazujících operací mezi PBZ po zjištění požáru tzv. systémová integrita. Hlavním a nejdůležitějším prvkem celého systému je ústředna elektrické požární signalizace, která zajišťuje navazující operace. [4]

Pokud k takovéto spolupráci nedojde a zařízení nejsou vzájemně koordinována, účinnost PBZ klesá a po zjištění ohniska požáru není zajištěna návaznost zařízení, tak aby byl požár uhašen. Proto musí být vyřešena součinnost, kdy je logicky naplánován postup aktivace PBZ při požáru. [1]

„*U provozu plynových SHZ je velice důležité, pokud je ve stejném chráněném prostoru instalováno i zařízení pro odvod kouře a tepla, zajistit, aby zařízení pro odvod kouře a tepla bylo spuštěno pouze ručně po souhlasu velitele jednotky požární ochrany. Samočinnost tohoto zařízení v tomto případě je nepřípustná. Může dojít k předčasnému spuštění a tím by byl z místnosti odveden s kouřem i hasicí plyn. Celkově pokud bude odvětrání spuštěno dříve, odvede vzniklý kouř, který nespustí hlásiče a SHZ nebudou aktivována, nebo při odvodu tepla nebude zahájeno hašení sprinklerovým SHZ. Po kontrole každého systému samostatně musí být provedena i koordinační funkční zkouška systému PBZ.*“ [1]

Také je možné pro soustavu PBZ provést analýzu při koordinační zkoušce před uvedením do provozu, nebo v průběhu využívání budovy, či při změně užívání. Změny užívání nemusí být vázány na stavební úpravy, je tedy nutné zajistit vyhodnocení správné a účinné funkce všech instalovaných PBZ. [2]

Funkčnost aktivních PBZ je zajištěna kromě správného návrhu a provedení těchto zařízení i elektrickými rozvody a trvalou dodávkou energie z více zdrojů funkčních i při požáru a v případě výpadku. Porucha jednoho zařízení nesmí vyřadit dodávku elektřiny. V případě výpadku se musí automaticky přepnout na další zdroj. [5], [6]

Funkčnost PBZ je tedy podmíněna:

- ideálním projektovým řešením,
- odbornou montáží a ověřením provozuschopnosti,
- údržbou a kontrolou zařízení,
- správným ovládáním a využitím schopností PBZ ze strany operátorů řídících center a zejména velitelem zásahu při zásahu. [4]

1.2 Stabilní hasicí zařízení

Stabilní hasicí zařízení (dále jen „SHZ“) jsou trvale instalována v objektech, prostorech či na technologických zařízeních a jsou používána jako samočinná zařízení pro hašení požáru v počáteční fázi. Tímto způsobem jsou schopna minimalizovat škody způsobené požárem, případně alespoň omezit množství rozvíjeného tepla a kouře. [7]

Rychlé spuštění hašení SHZ je dáno tím, že je zabudováno přímo v prostoru, který má být chráněn. Systém může být spuštěn ručně a to přímo (otevřením ovládacího ventilu) nebo dálkově (elektricky, mechanicky, pneumaticky, hydraulicky). Dále také samočinně v součinnosti s elektrickou požární signalizací nebo jinými samočinnými systémy jako např. tavnými články a hlavicemi skrápěcího zařízení. [3], [5]

„Hlavní funkcí těchto zařízení je dodávání hasiva do chráněného prostoru v potřebném množství po stanovenou provozní dobu.“ [1]

Úkoly SHZ jsou:

- lokalizovat nebo likvidovat požár v počáteční fázi,
- nahrazovat prvotní zásah uživatelem objektu – ochrana osob,
- usnadňovat zásah jednotkám požární ochrany,
- minimalizovat možné škody,
- minimalizovat tepelné namáhání stavebních konstrukcí,
- umožňovat detekci začínajícího požáru a zajišťovat přenos informace o požáru. [8]

„*Dělí se do kategorií:*

- *sprinklerové SHZ,*
- *drenčerové SHZ,*
- *sprejové SHZ,*
- *mlhové SHZ,*
- *pěnové SHZ,*
- *plynové SHZ,*
- *práškové SHZ,*
- *aerosolové SHZ,*
- *doplňkové sprinklerové SHZ,*
- *polostabilní sprinklerové hasicí zařízení.*“ [1]

SHZ je nutné vybírat tak, aby i následné škody po hašení byli co nejmenší. V úvahu se bere objekt nebo prostor, který má SHZ chránit a co se v tomto objektu či prostoru nachází. Dále je nutné vybrat i vhodnou látku pro hašení tj. hasivo.

Při výběru se zvažuje jakou koncentraci potřebujeme, jaké škody látka vytvoří při hašení, jaké množství hasiva musí být uskladněno a jakým způsobem lze provést dekontaminaci. [12]

Komponenty SHZ jsou nádrže nebo tlakové zásobníky na hasivo, hasivo, čerpací zařízení, potrubní rozvody s řídícími ventily, měřící a monitorovací zařízení, výstřikové koncovky správně umístěné v chráněném prostoru a poplachové zařízení. [7]

Je-li v prostoru instalováno SHZ, musí zde být nainstalována elektrická požární signalizace pro správnou samočinnou funkci SHZ. Pokud je SHZ instalováno se zařízením pro dálkový přenos signálů do místa s nepřetržitou obsluhou, tak elektrická požární signalizace navíc již není potřeba. [1]

Při vznikajícím nebo vzniklém požáru musí být SHZ, tak jako PBZ, stále v provozu. Funkčnost těchto zařízení se zajišťuje dodávkou energie pro napájení při požáru. Tato dodávka je zabezpečena ze dvou na sobě nezávislých zdrojů. Použité zdroje musí mít takový výkon, aby zajišťovali funkčnost po určitou dobu. Může se jednat o elektrické rozvaděče, vlastní nezávislý záložní zdroj, zdroj nepřerušené dodávky elektrické energie UPS a další. Tyto zdroje zabezpečí napájení v prodlevě po startu dieselgenerátoru. [6]

Dále musí být funkčnost zabezpečena i součinností s dalšími PBZ. Tuto součinnost musí vzájemnou spoluprací zajistit projektanti jednotlivých PBZ. Může se však stát, že každý projektant vybaví objekt svým systémem dle projekčních zásad a návaznost již dále neřeší. Což znamená, že jednotlivé systémy jsou samostatně funkční, ale jako celek spolu nekomunikují, a v některých případech se funkčnost může překrývat nebo i rušit. Tuto situaci musí vyřešit projektant PBZ objektu, který stanoví pro každého dodavatele PBZ pravidla a požadavky na typ a návaznost mezi jednotlivými PBZ. [3]

„Pro správnou funkčnost musí být i SHZ správně navržena, instalována a provozována podle předpisů a zásad pro montáž. Spolehlivost se dá zabezpečit správnými provozními podmínkami a pravidelnými kontrolami, které jsou určeny normou.“ [1]

Tato zařízení musí mít svojí projektovou dokumentaci, kterou mohou zpracovat pouze odborně způsobilé osoby. Projektová dokumentace se zpracovává na základě podkladů, projekčních předpisů a průvodní dokumentace výrobce konkrétního typu SHZ. Obvykle se skládá ze dvou částí, kterými jsou technická zpráva a výkresová část. [3]

2 PLYNOVÁ STABILNÍ HASICÍ ZAŘÍZENÍ

Tato kapitola je zaměřena na základní charakteristiku plynových stabilních hasicích zařízení a na charakteristiku hasicích plynů používaných pro tato zařízení. V první podkapitole jsou uvedené komponenty, princip hašení, způsoby signalizace spuštění hašení a další zařízení, která se mohou nacházet v chráněném prostoru s nainstalovaným plynovým stabilním hasicím zařízením nebo v jeho blízkosti. Druhá podkapitola zaměřená na hasicí plyny obsahuje historii vybraných plynů, jejich rozdělení, princip hašení, účinky na osoby a některé základní vlastnosti vybraných hasicích plynů, které jsou uvedené mimo jiné i v českých technických normách ČSN EN 15004-X – Stabilní hasicí zařízení – Plynová hasicí zařízení – Část 2 - 10 – Fyzikální vlastnosti a návrh plynových hasicích zařízení.

2.1 Základní charakteristika plynových stabilních hasicích zařízení

Plynová stabilní hasicí zařízení (dále jen „GHZ“) se instalují v prostorech, kde nemohou být použita jiná např. vodní či prášková hasicí zařízení z důvodu poškození materiálních hodnot či zařízení. Těmito prostory jsou např. muzea, archivy, kabelové tunely, prostory s elektronickými a elektrickými zařízeními (serverovny, řídicí systémy, výpočetní střediska, zkušebny motorů, rozvodny atd.), prostory uvnitř objektu, kde se pracuje s hořlavými látkami apod. [9]

Funkce GHZ spočívá ve vypuštění hasiva, dosažení návrhové koncentrace ve stanovené době po spuštění a udržení požadované koncentrace v chráněném prostoru po dobu stanovenou návrhovým dokumentem. Tato doba je také stanovena např. v České technické normě ČSN EN 15004-1. [10]

Zařízení se skládá ze třech částí - detekční, řídící a hasicí část. Detekční část odhalí vznikající požár a pošle signál do řídicího zařízení. Řídicí zařízení přijímá signál od elektrické požární signalizace, vlastních hlásičů GHZ a ručního spouštěcího zařízení. Podmínkou odeslání informace do řídicího zařízení je příjem hlášení minimálně ze dvou hlásičů, čímž dochází i k minimalizování planých poplachů. Řídicí funkci zabezpečuje elektrické nebo neelektrické zařízení, které spustí hasicí zařízení, aktivuje poplachové zařízení, zastavuje vzduchotechnická zařízení, uzavírá požární klapky, případně dle potřeby otevírá a uzavírá tlakové vyrovnávací klapky a další zařízení, která se nachází v chráněném prostoru GHZ. [10]

Hlavními komponenty hasicí části jsou zásobníky s hasivem, potrubní rozvody s hubicemi a armatury. Jednotlivé armatury s technickými parametry jsou uvedeny v Českých technických normách ČSN EN 12094-X. Jedná se např. o tlakoměry a tlakové spínače, propojovací součásti, neelektrická blokovací zařízení a zpožďovací zařízení. [11]

GHZ jako stabilní zařízení jsou navrhovaná s centrální zásobou hasiva umístěnou v ocelových zásobnících (tlakové lahve). Počet zásobníků a hmotnost náplně určuje velikost prostoru. Pro tyto zařízení se využívají dvě metody použití hasiva. První metoda je úplné zaplavení prostoru (hašení objemové) a druhá metoda se používá jako lokální (objektové) hašení např. pro ochranu elektrických rozvaděčů, agregátů nouzových zdrojů, motorů nebo datových skříní. Lokální hašení (Obr. 2) je vhodné pro uhašení povrchových požárů hořlavých kapalin, plynů nebo v prostorech, které nejsou vhodné pro úplné zaplavení. Zásobníky pro lokální hašení jsou přenosné hasicí přístroje. [3]

Obr. 2 Systém pro lokální hašení [10]

Zaplavovací GHZ jsou dělena na:

- bateriová – tlakové zásobníky s plynem jsou umístěny v řadách vedle sebe, obvykle mimo chráněný prostor (ochrana velkých prostorů),
- modulová – zásobníky jsou opatřeny krátkým potrubím zakončeným jednou nebo dvěmi výstřikovými hlavicemi, nacházejí se mimo chráněný prostor a používají se zejména pro halonové hasicí plyny, není potřeba strojovna,

- centrální – velkoobjemový zásobník plynu, na který je napojen dusíkový nebo argonový potrubní rozvod, využívaný v závodech, kde jsou uvedené plyny součástí výrobního procesu. [10]

Zásobníky s hasivem jsou tedy umístěny uvnitř v chráněném prostoru nebo v místnosti mimo tento prostor. V praxi, pokud se jedná např. o jeden nebo dva zásobníky hasiva (Obr. 3) na hasicí plyn IG-541 (INERGEN) nebo FK-5-1-12 (NOVEC 1230), jsou tyto zásobníky umístěny v chráněném prostoru. V těchto prostorech se musí dodržovat skladovací podmínky, jinak může dojít k poškození zásobníků a výstřiku hasiva.

Obr. 3 Zásobníky s hasivem INERGEN umístěné v chráněném prostoru [Vlastní]

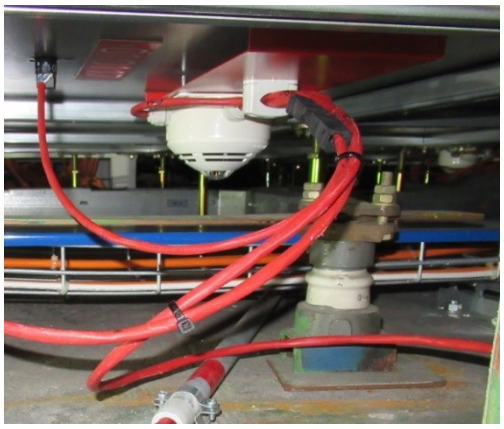
Hasivo je ze zásobníků vedeno do chráněného prostoru potrubím, které končí v místech, kde jsou umístěny výstřikové koncovky nebo koncovky s usměrňovací trubicí (kloboukem). V potrubních systémech se nachází škrtící clony, které snižují tlak z původního tlaku v zásobníku 200 nebo 300 bar na cca 40 až 60 bar. Nutné je také hasivo kontrolovat, zda nedochází k úniku ze zásobníku. Pro kontrolu se používají instalované speciální váhy nebo snímače úbytku hasiva. Chemická hasiva na rozdíl od inertních hasiv se na váhy nezavěšují, proto je možné použít i zásobníky s větším objemem. Na zásobnících těchto plynů, konkrétně jako součást ventilů, jsou umístěny tlakoměry pro kontrolu možných netěsností. U inertních plynů a CO_2 se dají použít i elektronická monitorovací zařízení. [10]

Dále se GHZ dělí podle počtu chráněných prostorů na:

- jednozónová,
- vícezónová. [10]

Vznikající požár je přednostně detekován vlastními hlásiči GHZ (autonomní detektory), dále elektrickou požární signalizací, plynovou detekcí a dalšími. Pokud požár detekují minimálně dva hlásiče (Obr. 4 a 5), signál je předán ústředně GHZ (tzv. hasicí ústředna), případně ústředně elektrické požární signalizace. [10]

Obr. 4 Požární hlásič [Vlastní]



Obr. 5 Požární hlásič ve zdvojené podlaze [Vlastní]

Když dojde k detekci pouze jedním hlásičem, jedná se o tzv. předpoplach. Při předpoplachu může být hašení přerušeno neboli zablokováno např. tlačítkem STOP (Obr. 11). Předáním signálu se aktivuje poplachová část a zastavují se zařízení, která při hašení nesmějí být v provozu. Jedná se o vzduchotechnické zařízení, uzavírání požárních klapek (Obr. 11), případně aktivace zpožďovacího zařízení apod. GHZ se může spustit i ručně pomocí tlačítka START (Obr. 11) nebo spouštěčem na pilotním zásobníku. Při ručním spouštění se musí provést alespoň dva úkony, aby nedošlo k náhodné aktivaci, případně využít jiná řešení. Tlačítko START (Obr. 6) se nachází mimo chráněný prostor, např. v blízkosti vstupních dveří do prostoru. Nedaleko tohoto tlačítka se nachází i tlačítko STOP (Obr. 7). STOP tlačítko se může nacházet i uvnitř chráněného prostoru, také v blízkosti vstupních dveří. Přerušení procesu aktivace hašení se provede stlačením a držením tohoto tlačítka. Po puštění tlačítka se proces hašení okamžitě aktivuje, pokud uplynula doba zpoždění. Delší oddálení procesu hašení je možné nastavením původního času s pomocí „resetu“ s novým odpočtem. Spolu s GHZ se doporučuje instalovat i elektrická požární signalizace z důvodu detekce, ale i pro kontrolu správné činnosti GHZ. [1], [2], [10]

Obr. 6 *Tlačítko START s informační tabulkou [Vlastní]*

Obr. 7 Tlačítko STOP v blízkosti ústředny GHZ [Vlastní]

Po detekci požáru dochází ke spuštění hasicí části. Spuštění je okamžitě signalizováno po detekování prvního hlásiče. Signalizace probíhá opticky s pomocí zábleskového majáku (Obr. 8) či zvukově sirénou (Obr. 9). Zábleskový maják spolu se sirénou má být umístěn uvnitř chráněného prostoru (Obr. 11). Další zábleskový maják má být umístěn i zvenku tohoto prostoru jako upozornění na vypouštění hasiva. [4]

Obr. 8 Zábleskový maják s informační tabulkou [Vlastní]

Obr. 9 Siréna [Vlastní]

Při spuštění může dojít i ke zpoždění pomocí zpožďovacího zařízení, které je nastaveno na zpoždění několika desítek sekund. Zpožďovací zařízení se používá zejména u GHZ před zahájením hašení v prostorech s přítomností osob, aby tyto osoby měly čas na evakuaci a nebyly zasaženy hasicím plynem. Některé hasicí plyny mohou mít negativní účinek na lidský organismus. Osobám je do chráněného prostoru přístup zakázán po celou dobu hašení a následného odvětrání. Chráněný prostor musí být také označen bezpečnostními tabulkami

(Obr. 10) upozorňujícími na instalované GHZ s vyznačením plynu, který je použit a s uvedením počtu zásobníků s hasicím plynem. [4]

Obr. 10 Bezpečnostní tabulky [1]

Po vypuštění hasicích plynů do chráněného prostoru dochází u některých plynů vzhledem k rychlosti vypuštění do prostoru k přetlaku a u některých při přeměně z kapalné fáze na plynnou k podtlaku (Tab. 1). Proto je doporučováno do chráněného prostoru nainstalovat tlakové vyrovnávací klapky (Obr. 11). Tyto klapky musí zajistit vyrovnání tlaku během vypouštění hasiva a poté udržování koncentrace hasicího plynu po stanovenou dobu od dosažení hasicí koncentrace. Pokud v prostoru nebudou instalovány, může dojít např. ke zničení stěn, stropu či celé budovy. [10]

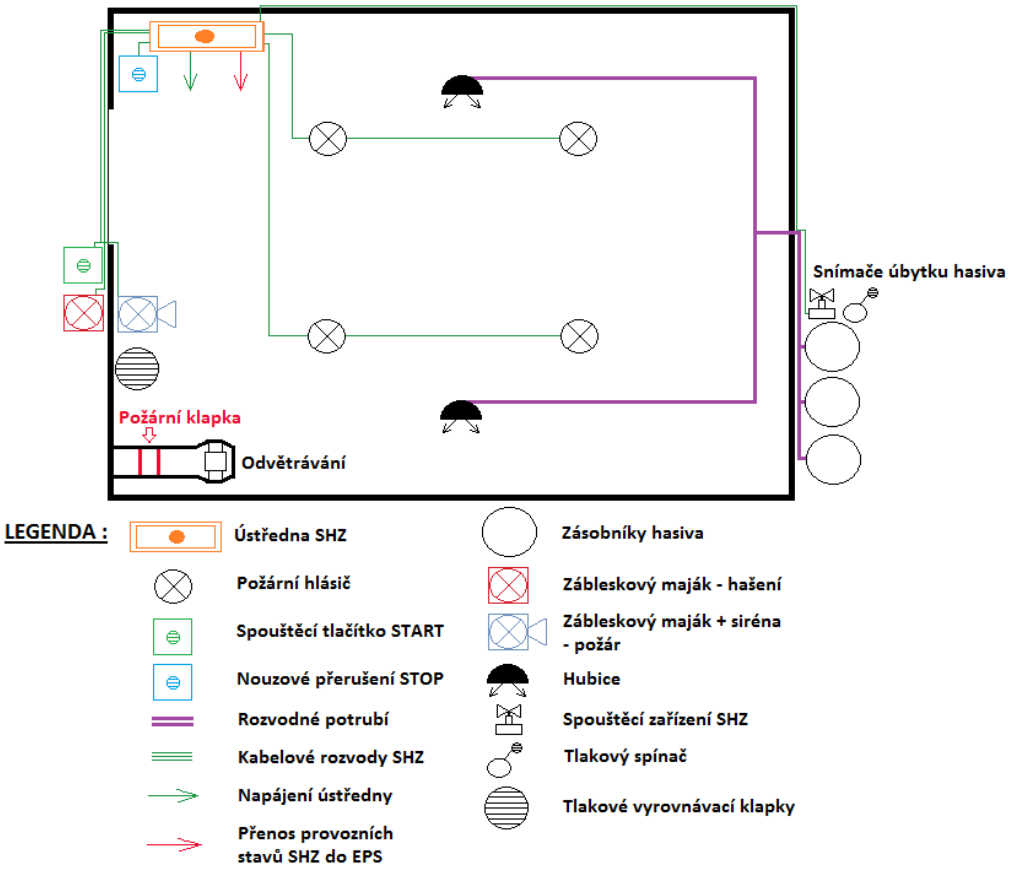
Tab. 1 Přetlak a podtlak při zaplavování chráněného prostoru u vybraných hasiv

Hasicí plyn	Příklad produktu	Přetlak	Podtlak
FK-5-1-12	NOVEC 1230, Sapphire	ano	ano
HFC 125	-	ano	ano
HFC 227ea	FM 200	ano	ano
HFC 23	FE 13	ano	ne
IG-01	Argon	ano	ne
IG-100	Dusík	ano	ne
IG-55	Argonite, TYCO i3^{TM}	ano	ne
IG-541	Inergen	ano	ne
CO_2	CO_2	ano	ne

[Upraveno dle [10]]

Po skončení hašení se prostor musí důkladně odvětrat. Osoby mohou do tohoto prostoru vstoupit až po odvětrání. Odvětrání může být zahájeno po zjištění, že nemůže dojít ke znovuobnovení hoření. Také se musí zajistit, aby se plyn při odvětrání nekoncentroval v jiných prostorech a neohrozil osoby i v místech, která nejsou chráněna GHZ. Odvětrávací zařízení (Obr. 11) se navrhuje pro konkrétní prostory s instalovaným GHZ. [2]

Obrázek 11 znázorňuje jednotlivé komponenty GHZ a další zařízení, která pracují v součinnosti s GHZ, nebo jeho funkci ovlivňují. Některé komponenty a zařízení se nachází uvnitř chráněného prostoru a některé mimo tento prostor.



Obr. 11 Jednotlivé komponenty GHZ a další zařízení [1]

2.2 Hasicí plyny

První GHZ s využitím hasicího plynu oxidu uhličitého (CO_2) bylo navrženo již v roce 1801 pro hašení lodí. Tento systém byl až v roce 1843 předveden v Londýně na výstavě. V roce 1883 bylo navrženo první samočinné GHZ v kterém byly použity výstřikové hubice s měděnými destičkami nebo destičkami z tavitelných kovů, které tlakem praskly nebo se roztavily a tím došlo k zaplavení prostoru. O pár let později bylo navrženo elektrické

spouštěcí GHZ taktéž na CO_2. Roku 1910 bylo navrženo samočinné GHZ na CO_2, které obsahovalo detekční část (tepelné hlásiče), řídicí část (spínací skříň s vlastní baterií) a hasicí část (vyvíječ CO_2). Toto zařízení bylo používáno pro ochranu transformátorů, elektrických rozvaděčů, skladů olejů, barev a dalších. Následně vývoj směřoval k nahrazení vyvíječe za zásobníky CO_2. Údajně bylo takové zařízení prvně instalované v Německu (1929). [10]

V 80. letech minulého století došlo k nástupu hasicích plynů halonů 1301, 1202, 1211 a 2402, což vedlo k odklonu od zaplavovacích zařízení s CO_2. Halon 1202 byl prohlášen za nejúčinnější, ale zároveň nejtoxičtější. Halon 1301 byl druhý nejúčinnější a nejméně toxický. Celkově tedy jejich výhodou byla vysoká hasicí účinnost, malé prostorové požadavky a nízká hmotnost zařízení. Nevýhodou byla vysoká pořizovací cena oproti zařízení s CO_2. Další negativní vlastností je jejich udržování se po dlouhou dobu v atmosféře, uvádí se více než 300 let. Ukázalo se také, že tyto plyny mají negativní dopady na životní prostředí, konkrétně porušují ozónovou vrstvu. Proto od vydání Montrealského protokolu (1987) byly postupně omezovány až k úplnému zákazu v roce 1994. V České republice jsou tato opatření zahrnutá v zákoně o ochraně ovzduší. Halony se používaly jako hasiva v knihovnách a počítačových místnostech, v České republice se halonová hasicí zařízení používala pro ochranu důlních velkostrojů, proudových motorů letadel apod. [13], [10], [16]

Několik let před očekávaným zákazem halonů se výzkum soustředil na tzv. druhou generaci plynových hasiv, mezi něž se řadí látky typu HFC, HCFC, HBC a inertní plyny. Nejvíce rozšířené byly chemické látky typu HFC 227ea (FM 200) a HFC 125 (FE-25). V porovnání hasiv HFC s inertními plyny vykazují hasiva HFC vyšší hasicí účinnost, nevýhodou je však vysoká cena. Také bylo zjištěno, že hasiva typu HFC, HCFC a HBC jsou řazena mezi skleníkové plyny, u nichž musí podle Kjótského protokolu dojít ke snížení používání, a u některých došlo k zákazu výroby. Mezi inertní plyny se řadí argon, dusík a směs plynů INERGEN. Inertní plyny splňují ekologické požadavky, mezi které patří neporušování ozonové vrstvy, nemají vliv na oteplování Země, nezůstávají po nich žádné zbytky po hašení v důsledku degradace. U těchto plynů se ale musí řešit přetlaková ochrana chráněného prostoru. Nejvíce rozšířená byla směs plynů INERGEN, která se skládá z dusíku, argonu a oxidu uhličitého (CO_2). [13], [10]

Na předešlou situaci s látkami typu HFC, HCFC a HBC chemický průmysl reagoval vyvinutím třetí generace hasiv. Mezi tyto hasiva se řadí hasiva na bázi fluoroketonů např. FK-5-1-12 s obchodním označením NOVEC 1230, který byl uveden na trh v roce

2002. Toto hasivo má vysokou hasicí účinnost a zároveň neporušuje ozónovou vrstvu ani se nepodílí na oteplování Země. Jeho nevýhodou je však vysoká cena. [13]

„*Dělení plynových SHZ podle druhu hasiva:*

- *oxid uhličitý (CO_2),*
- *přírodní plyny – argon, dusík a jejich sloučenina INERGEN,*
- *chemické plyny – halogenované uhlovodíky (hasivo FM 200) nebo hasiva na bázi fluorovaných ketonů (NOVEC 1230).*“ [1]

GHZ na CO_2 jsou dále dělena podle tlaku:

- nízkotlaká
- vysokotlaká. [10]

I přes negativní účinky CO_2 na oteplování země se toto hasivo používá i dnes, zejména z důvodu nízké ceny oproti ostatním hasivům. CO_2 má negativní účinky i na člověka, proto v prostorech s tímto hasivem musí dojít ke zpoždění hašení. Zároveň toto zařízení nemůže být instalováno kdekoliv z důvodu prostorových nároků a tedy i hmotnosti zařízení. [13]

Hasicí účinky u CO_2, inertních a chemických plynů jsou různé. CO_2 a inertní plyny mají dusivý účinek hašení. Dojde k vytlačení kyslíku a tím se snížení koncentrace z 21 obj. %, které se vyskytují v atmosféře pod 15 obj. %. Takto dojde k zastavení procesu hoření a oheň uhasne. Podobně pracují i chemická hasiva, která ještě využívají složku chlazení. Lze říci, že chemická hasiva mají proto vyšší účinnost než hasiva inertní. [15]

Hasiva mají i různé negativní účinky na osoby, které by se v době hašení pohybovaly v chráněném prostoru. U inertních plynů se za mezní hodnotu považuje koncentrace 12 obj. %. Pokud klesne pod tuto hranici, u postižených osob se zrychluje dýchání, zvyšuje se tepová frekvence, dostavují se bolesti hlavy, únava, závrať, dezorientace, zvracení. Koncentrace pod 5 obj. % může způsobit křeče, zástavu srdce nebo smrt. CO_2 není považován za nebezpečnou látku, záleží na jeho koncentraci. Při 4 obj. % až 5 obj. % ve vzduchu způsobuje bolesti hlavy, pocení, dušnost, při vyšších koncentracích dochází k mdlobám, křečím a bezvědomí a při koncentraci 17 obj. % až 30 obj. % se dostavuje kóma a smrt. Chemická hasiva např. typu HFC jsou dráždivá, jedovatá a toxická. Tento typ hasiv leptá sliznici, dýchací cesty a způsobuje popáleniny. [10]

V tabulce 2 jsou uvedeny a porovnány některé charakteristické vlastnosti inertních a chemických hasicích plynů. V tabulce je porovnán tlak v zásobnících, při kterém jsou hasiva

skladována, a čas zaplavení, který je uveden v sekundách a udává, do kolika sekund má být hasivo vypuštěno v chráněném prostoru. V tabulce je uvedeno, u kterých hasiv je potřeba ochrana proti přetlaku, podtlaku, či obojí. Dále jsou zaznamenány obecné účinky hasicích plynů na osoby. Následuje porovnání cen hasiva, kdy u inertních hasicích plynů je cena nižší než u chemických hasicích plynů. Na závěr je uvedena plocha pro skladování zásobníků, která je u inertních hasicích plynů větší než u chemických hasicích plynů, protože je potřeba více zásobníků s hasivem.

Tab. 2 Vlastnosti inertních a chemických plynů

Vlastnost	**Inertní hasicí plyny (kromě CO_2)**	**Chemické hasicí plyny**
Tlak (bar)	200/300	25/42/50
Čas zaplavení (s)	60	10
Ochrana proti přetlaku a podtlaku	Proti přetlaku	Proti přetlaku i podtlaku, u zcela těsných prostorů vždy, jinak posoudit
Nebezpečí pro osoby	Fyziologické účinky	Toxikologické účinky
Cena hasiva	Nízká	Vysoká
Plocha pro skladování zásobníků	Větší	Menší

[Upraveno dle [10]]

V tabulce 3 jsou uvedeny jednotlivé hasicí plyny s českými technickými normami, které tyto plyny popisují a uvádějí hodnoty potřebné pro jejich použití jako např. referenční hasební a návrhové koncentrace. Hasicí plyny uvedené v tabulce jsou dále zohledňovány v české technické normě ČSN EN 15004-1, kdy norma uvádí informace od návrhu zařízení přes popis komponentů až po zkoušku těsnosti prostoru a další. Mezi hasicí plyny patří i CO_2, který je upravován samostatnou normou „ČSN ISO 6183 Hasicí zařízení – hasicí zařízení na oxid uhličitý pro použití v objektech – návrh a instalace“.

Všechny hasicí plyny, které jsou uvedené v následující tabulce, mají např. odpovídající hasicí schopnost, dlouhou skladovací životnost, elektrickou nevodivost, nízkou toxicitu a další vlastnosti. Obecně platí, že inertní hasiva mají nižší hasicí schopnost než chemická hasiva, ale pro budoucnost jsou perspektivnější. [10]

Tab. 3 Hasicí plyny

Označení normy	Název hasiva	Označení	Hustota	Popis
ČSN EN 15004-2	FK-5-1-12	NOVEC 1230	11 násobek hustoty vzduchu	bezbarvý, téměř bez zápachu
ČSN EN 15004-3	HCFC směs A	směs	11 násobek hustoty vzduchu	bezbarvý, s citrusovým zápachem
ČSN EN 15004-4	HFC 125	NAF S 125	4 násobek hustoty vzduchu	bezbarvý, téměř bez zápachu
ČSN EN 15004-5	HFC 227ea	FM 200	6 násobek hustoty vzduchu	bezbarvý, téměř bez zápachu
ČSN EN 15004-6	HFC 23	FE-13	2,4 násobek hustoty vzduchu	bezbarvý, téměř bez zápachu
ČSN EN 15004-7	IG-01	ARGON	1,4 násobek hustoty vzduchu	bezbarvý, téměř bez zápachu
ČSN EN 15004-8	IG-100	DUSÍK	přibližně stejná jako hustota vzduchu	bezbarvý, bez zápachu
ČSN EN 15004-9	IG-55	ARGONITE TYCO i3™	přibližně stejná jako hustota vzduchu	bezbarvý, bez zápachu
ČSN EN 15004-10	IG-541	INERGEN	přibližně stejná jako hustota vzduchu	bezbarvý, bez zápachu
Hustota suchého vzduchu při 20 °C je 1,2047 $kg.m^{-3}$ [14]				

[1]

3 ZKOUŠKA INTEGRITY CHRÁNĚNÉHO PROSTORU

V této kapitole je popsána vzduchotěsnost chráněného prostoru, proč je pro zpracovávané téma důležitá a jak se dá změřit. V kapitole jsou také uvedeny některé netěsnosti, které se vyskytují v chráněných prostorech nejčastěji, a jak se vyhledávají. Dále je zde popsána zkouška vzduchotěsnosti prostoru, která se bude používat při prováděných experimentech.

3.1 Vzduchotěsnost chráněného prostoru

Vzduchotěsnost je schopnost prvku (obálky budovy, konstrukce, materiálu) nepropouštět vzduch. Čím méně prvek vzduch propouští, tím je těsnější. Když prvek propouští vzduch, splňuje dvě podmínky. První podmínka je, že obsahuje netěsnosti a druhou podmínkou, že prvek je vystaven tlakovému rozdílu neboli rozdílnému tlaku vzduchu ve vnitřním a vnějším prostředí, mezi kterými se prvek nachází. Tlakový rozdíl je způsoben kombinací několika účinků, těmi jsou působení větru, teplotní rozdíl mezi venkovním a vnitřním prostředím a tlakový rozdíl možného mechanického větracího systému. Velikost tlakového rozdílu závisí i na rozložení netěsností na obálce budovy a na jejich velikosti. „*Čím větší je tlakový rozdíl, tím více vzduchu prvkem protéká.*“ [17]

Vzduchotěsnost chráněného prostoru je důležitá zejména v souvislosti se základní funkcí GHZ, u kterého je pro uhašení požáru podstatné dosáhnout návrhové koncentrace v co nejkratším čase a udržet ji v chráněném prostoru po dobu stanovenou v návrhovém dokumentu tak, aby nedošlo k úniku hasiva a následně ke znovuobnovení hoření. Jinak řečeno pro uhašení požáru pomocí GHZ pro objemové hašení je důležité zajistit dostatečnou těsnost chráněného prostoru. [10]

Zdali je vzduchotěsnost chráněného prostoru dostatečná se dá zjistit dvěma způsoby. Prvním způsobem využívaným více v minulosti je ověřování těsnosti chráněného prostoru reálnou zkouškou s hasivem neboli hasivo se do chráněného prostoru zkušebně vypustilo, a měřením se zjistilo, zda se hasivo v chráněném prostoru udrží či nikoliv. Druhým způsobem více využívaným v současnosti, který nahradil reálnou zkoušku s hasivem, je Door Fan Test. Tato zkouška bude detailně popsána v další podkapitole. Reálná zkouška s hasivem má oproti Door Fan Testu několik nevýhod, jimiž jsou např. vysoké náklady, časová náročnost, výsledky ukazují pouze existenci netěsností zabezpečené oblasti a zkouška neurčuje ná-

sledná opatření. Oproti tomu Door Fan Test má hned několik výhod jako např. nízké náklady, časovou nenáročnost, jednoduchost, možnost zkoušku opakovat, rychlé identifikování netěsností, ekologickou nezávadnost a zajišťuje spolehlivé výsledky. [18]

V rámci Door Fan Testu se musí identifikovat netěsnosti a následně tyto netěsnosti odstranit. Netěsnosti jsou otvory v konstrukci, stavebním prvku nebo obálce budovy, které umožňují proudění vzduchu. Tyto otvory mohou být záměrné, navržené jako součást větracího systému nebo nechtěné, což jsou chyby při návrhu a výstavbě budovy. Většinou se jedná o netěsné spoje konstrukcí, netěsné stavební prvky, netěsné spoje či napojení na sousední a prostupující prvky nebo v místě lokální vady. Vzduchotěsnost je tedy zejména problémem stavebních detailů. [17]

Obrázek 12 je složen z několika podobrázků, které zobrazují časté netěsnosti, vyskytující se v chráněných prostorech:

- neutěsněný spoj mezi stropem a příčkou (Obr. 12.1),
- neutěsněný prostup do podlahy, který byl měřen pomocí anemometru (Obr. 12.2),
- neutěsněné prostupy kabelů a husích krků (Obr. 12.3) a (Obr. 12.4),
- neutěsněná mezera pod dveřmi (Obr. 12.5),
- popraskaná požární ucpávka prostupu odvětrávacího zařízení (Obr. 12.6).

Obr. 12 Možné netěsnosti chráněného prostoru [1]

Souhrnně se v praxi mohou typicky vyskytovat netěsnosti jako např. neutěsněné prostupy do podlahy/stropu, neutěsněné spáry mezi stropem a příčkou anebo u podlahy mezi podlahou a příčkou, popraskaná omítka nebo beton na podlaze, dále neutěsněné prostupy potrubí, elektroinstalace nebo husích krků, prostor mezi kabely a husím krkem, neutěsněné dveře, vypínače a zásuvky. Dále mezi netěsnosti patří i špatně utěsněné prostupy vzduchotechnického a odvětrávacího zařízení. Pozornost musí být věnována i požárním uzávěrám a požárním klapkám, které se musí při požáru samočinně uzavřít. To platí i pro tlakové vyrovnávací klapky.

Neutěsněné prostupy se mohou utěsnit požárními ucpávkami a dalšími. Každé utěsnění prostupů musí být požárně odolné jako požárně dělící konstrukce. Požární ucpávky musí být označeny štítkem (Obr. 13). Štítek obsahuje informace o objektu, má své pořadové číslo, dále označení požární odolnosti, druh nebo typ ucpávky, datum provedení, označení výrobce, systému a informace o zhotoviteli. [10], [1]

Obr. 13 Štítky označující požární ucpávky [Vlastní]

Příčiny vzniku některých netěsností jsou zřejmé a snadno odstranitelné. U ostatních je nutno definovat, zda netěsnost vznikla špatným provedením, vadou materiálu, použitím nevhodného materiálu nebo dodatečným zásahem, a netěsnost následně odstranit dle zjištěných informací. [17]

Netěsnosti v rámci Door Fan Testu se zjišťují pomocí anemometru nebo rukou, když je v chráněném prostoru pomocí externího ventilátoru vytvořen podtlaku 50 Pa a skrz netěsnosti proudí vzduch. Při vhodných podmínkách se může použít i termokamera nebo kouřový generátor. [19]

Jestliže se netěsnosti při Door Fan Testu projeví ve větší míře a zkouška vyjde negativně, je možné netěsnosti opravit a zkoušku zopakovat. Pokud má prostor demontovatelnou zvýšenou podlahu nebo snížený strop musí se netěsnosti vyhledávat i pod podlahou a nad stropem. [17]

Záleží také na tom, jaký hasicí plyn byl pro daný chráněný prostor vybrán. U některých plynů může být požadavek na těsnost prostoru vyšší než u jiných. Příkladem může být, že hasicí plyn FK-5-1-12 (NOVEC 1230) potřebuje lepší vzduchotěsnost prostoru než hasicí plyn IG-100 (dusík).

3.2 Door Fan Test

Principem zkoušky těsnosti prostoru neboli Door Fan Testu je v chráněném prostoru vytvořit podtlak a přetlak pomocí zkušebního zařízení s externím ventilátorem a následně výsledky vyhodnotit pomocí počítačového programu. Počítačový program propočítává velikost netěsností a rychlost poklesu reálné hasicí koncentrace hasicího plynu. Výsledkem je zjištění doby udržování hasicí koncentrace v chráněném prostoru a reálná chráněná výška na konci doby udržování hasiva. [10]

V rámci Door Fan Testu se využívá metoda tlakového spádu, jejíž princip spočívá v opakovaném měření průtoku vzduchu zkoumaným prvkem při daném tlakovém rozdílu, který je uměle vyvolaný a měřený. Tlakové rozdíly jsou vyvolané pomocí externího ventilátoru. Existuje několik typů blower door zařízení, která se pro tuto metodu dají využít. Všechny se skládají ze stejných částí, kterými jsou ventilátor s proměnnými otáčkami, manometr, zařízení pro měření průtoku vzduchu a vzduchotěsné prostředky pro osazení zařízení. Toto zařízení lze jednoduše osadit do okenních či dveřních otvorů. Zařízení blower door se používá i při provádění měření BlowerDoor testu neboli měření vzduchotěsnosti staveb. I u tohoto měření je využívána metoda tlakového spádu. [20]

Před samotnou zkouškou je potřebné provést několik úkonů. Zkoušený chráněný prostor by při zkoušce už měl být ve stavu, v jakém bude při vzniklém požáru. Nejprve je nutné si chráněný prostor projít a zjistit, jaká zařízení se zde nacházejí. Při prohlídce se již mohou nalézt i zjevné netěsnosti. Před zkouškou je důležité některá zařízení uvést do stavu, v jakém budou po dobu udržování koncentrace, jako např. vypnout zařízení pro odčerpání hasiva a klimatizační jednotku s odvodem vzduchu obsahující požární klapku, která musí být uzavřená. Recirkulační klimatizační zařízení, které je bez přívodu čerstvého vzduchu nebo odsávání a

nevyvolává změnu tlaku, se vypínat nemusí. To stejné platí i pro zařízení snižující teplotu v prostoru např. s počítači. Také je nutné zablokovat zařízení na zásobníku hasiva pomocí blokovacího systému, aby nedošlo během zkoušky ke spuštění. Místnosti, které sousedí s chráněným prostorem, je nutné propojit do jednoho celku tím, že se u těchto místností nechají otevřené dveře během zkoušky. Stejným způsobem se provede propojení prostoru s venkovním prostředím. V případě, že chráněný prostor má zdvojenou podlahu nebo strop, je nutné strop i podlahu demontovat, aby se docílilo spojení prostoru v jeden celek. Odstraní se alespoň tolik kazet, kolik jich je možné odstranit. Po demontování se sníží bezpečnost v daném prostoru, proto je nutné přijmout vhodná opatření. Pokud prostor nad sníženým stropem není počítán do prostoru chráněného hasivem, není potřeba ho demontovat. Také je nutné, aby o probíhající zkoušce byli informováni pracovníci. [21]

Po vykonání předchozích kroků se přejde k instalaci měřícího zařízení. Zkouška se může provést se zařízeními různých značek. Možné je použít měřící sady značky Minneapolis např. BlowerDoor Standard nebo BlowerDoor MiniFan (Obr. 14). Měřící sestavy se skládají z teleskopického rámu, vzduchotěsné plachty s dvěma otvory (pro externí ventilátor a kalibrační clonu) a dále z měřících zařízení pro měření tlakového rozdílu a objemového toku vzduchu, externího ventilátoru s proměnnými otáčkami a regulátoru otáček. [17]

Obr. 14 Měřící sada BlowerDoor MiniFan [22]

Nejprve je sestaven rám sestavy, který se nainstaluje do vhodného stavebního otvoru např. vstupních dveří, které většinou vedou na chodbu. V případě nutnosti se ze dveří mohou odstranit překážky znemožňující instalaci rámu např. dorazy, automatické zavírače. Rám je před samotnou instalací překryt vzduchotěsnou krycí plachtou. Po osazení do vhodného otvoru je rám rozepřen na velikost daného otvoru a nasadí se příčky. Do otvorů v plachtě se osadí ventilátor a kalibrační clona se zátkami. Otvory v plachtě jsou na dotykových místech s ventilátorem nebo kalibrační clonou utěsněny. Úkolem ventilátoru je v chráněném prostoru vytvořit podtlak nebo přetlak. Na příčky rámu se pověsí regulátor otáček a měřidlo. Měřidlo je následně propojeno přes USB kabel nebo Wi-Fi připojením k počítači. K měření je možné použít např. DG-700, novější DG-1000 či jiné vhodné zařízení. Měřidlo DG-700 je dvoukanálový diferenciální manometr (tlakoměr, měřící tlak plynu nebo kapaliny), který v jednom kanále měří tlakový rozdíl chráněného prostoru (Obr. 15) a v druhém kanále měří tlakový rozdíl na ventilátoru, z kterého se vypočítá průtok vzduchu ventilátorem (Obr. 15). Měřidlo snímá tlakové rozdíly pomocí čtyř hadiček (průhledná, zelená, červená a modrá). Kromě průhledné hadičky jsou ostatní v měřidle přímo zapojené (Obr. 15). Pro měření je nutné měřidlo propojit s počítačem, regulátorem otáček a ventilátorem. [1]

Na obrázku 15 je zobrazeno měřidlo DG-700 se zapojenými hadičkami a vyznačením, kde se měří jaký tlakový rozdíl.

Obr. 15 Měřidlo DG-700 [1]

Pomocí volného vstupu na měřidle DG-700 se měří tlak v prostoru. Spolu s venkovním tlakem, který se měří s pomocí zelené a průhledné hadičky se zjišťuje tlakový rozdíl chráněného prostoru. Zelená hadička je připojena z měřidla do průchodky na spodní straně vzduchotěsné plachty (Obr. 17). Na druhé straně průchodky je připojena průhledná hadička (Obr. 16), která je vyvedena mimo chráněný prostor. Pomocí červené hadičky (Obr. 17) a modré hadičky (Obr. 17), se propojí měřidlo s ventilátorem a měří se tlakový rozdíl na ventilátoru, z toho se vypočítá průtok vzduchu ventilátorem. Po kompletním sestavení sestavy a propojení jednotlivých měřidel je možné přejít k měření a zjišťování netěsností. [23]

Obr. 16 Průhledná hadička zapojená v průchodce plachty [1]

Obr. 17 Měřící sestava s komponenty [1]

Doporučuje se nejdříve při měření vytvořit podtlak, protože netěsnosti jsou vyhledávány právě při vytvořeném podtlaku. Podtlak se vytváří pomocí ventilátoru, kdy je osazen v plachtě clonami do chráněného prostoru neboli že vzduch je z místnosti vysáván. [1]

Po nalezení netěsností se přejde k samotnému měření. Pro měření se dají využít různé počítačové programy, které jsou určené pro Door Fan Test. V průběhu této práce budou dále zmiňovány konkrétně dva programy TECTITE Express 4.1 a FireProtection. Program

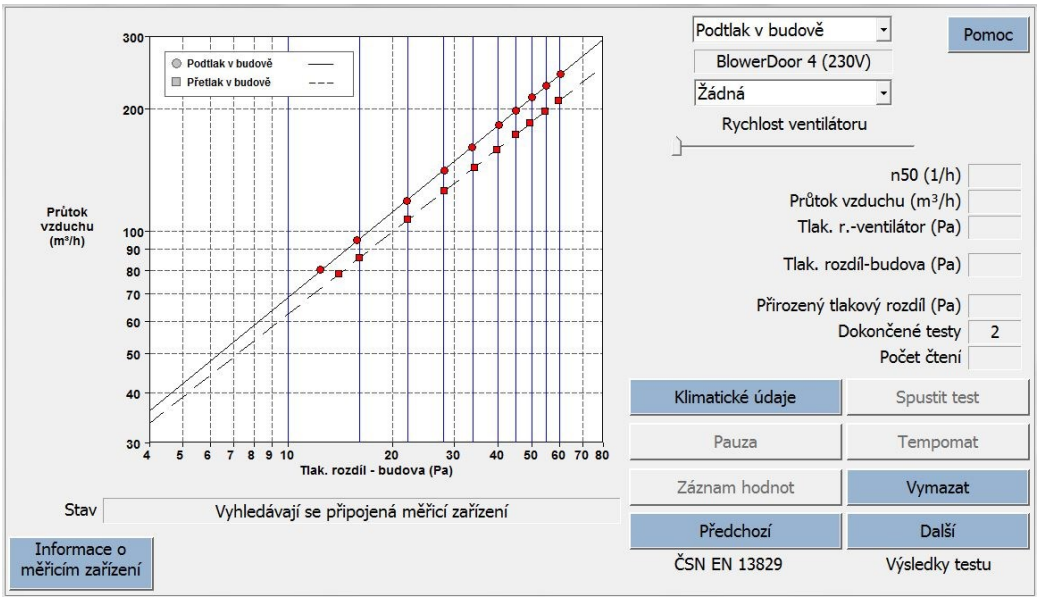
TECTITE Express 4.1 je zejména potřebný pro naměření údajů, které se vyplňují do programu FireProtection. Program FireProtection z vyplněných údajů a údajů o hasivu je schopen vypočítat dobu udržování koncentrace hasiva v chráněném prostoru a chráněnou výšku, která bude v prostoru na konci doby udržování hasiva.

Do programu FireProtection se před zahájením měření postupně vyplňují informace v jednotlivých záložkách. Těmito informacemi jsou údaje o místě měření, číslo projektu a norma, podle které se měření bude provádět. Také se zadá druh požárního rizika. Dále se uvedou informace o měřeném prostoru jako rok výstavby, barometrický tlak, nadmořská výška, doporučená teplota prostoru, tvar prostoru, celková výška, celkový objem případně korekce objemu, pokud se v prostoru nachází utěsněný přístroj, je nutné jeho objem odečíst a zadat tak čistý objem prostoru. Vyplňují se informace o použitém hasicím plynu jako je požadovaná počáteční koncentrace (podle příslušné ČSN vybraného hasicího plynu nebo z hydraulických výpočtů), reálné množství instalovaného hasiva a požadovaná doba udržování koncentrace hasiva. V programu se vyplňují i informace o zákazníkovi, firmě a technikovi provádějícím měření. Dále se vybírají měřící zařízení z předem uloženého seznamu, která budou při měření použita (měřidlo, ventilátor). U těchto zařízení musí být zadaná platná kalibrace. Po vyplnění záložek se zahájí samotné měření, k němuž bude použit program TECTITE Express 4.1. [24]

„Program TECTITE Express 4.1 se používá pro metodu tlakového spádu s externím ventilátorem, kdy se opakovaně měří objemový tok vzduchu skrz obálku chráněného prostoru při známém tlakovém rozdílu. Neboli měření se provádí při vytvořeném podtlaku a přetlaku při různých tlakových rozdílech. Požadované cílové tlakové rozdíly jsou rovnoměrně rozděleny mezi nejvyšším (max. 60 Pa) a nejnižším tlakem (min. 10 Pa nebo 10x absolutní hodnota výchozího tlakového rozdílu). Např. při nejvyšším tlaku 60 Pa a nejnižším tlaku 10 Pa budou cílové tlaky u přetlaku nastaveny na 10, 20, 30, 40, 50 a 60 Pa a u podtlaku na -10, -20, -30, -40, -50 a -60 Pa.“ [1]

Při spuštění měření se do programu zadává vnitřní teplota v chráněném prostoru a venkovní teplota, která se naměří před chráněným prostorem. Nejprve je naměřen výchozí tlakový rozdíl při nulovém průtoku mezi vnitřním a vnějším prostředím měřeného chráněného prostoru při vypnutém a zakrytém ventilátoru vzduchotěsným látkovým krytem. Naměření výchozího tlakového rozdílu trvá 30 vteřin. Je nutné, aby výchozí tlakový rozdíl byl v rozmezí od -3 do 3 Pa. Pokud vnitřní tlak je vyšší než vnější tlak, hodnota výchozího tlakového roz-

dílu je kladná. Naopak pokud vnější tlak je vyšší než vnitřní tlak, hodnota výchozího tlakového rozdílu je záporná. Pokud by hodnota výchozího tlakového rozdílu přesáhla dané rozmezí, musí se hodnota buď snížit anebo zvýšit. Hodnota, která je naměřena mimo dané rozmezí může být způsobena např. vztlakem nebo netěsnostmi chráněného prostoru. Potom, co se naměří hodnota výchozího tlakového rozdílu, se ventilátor odkryje a začne se měřit při vytvořeném podtlaku, kdy clony ventilátoru jsou dovnitř do prostoru. Naměřené hodnoty se zapisují jako body v grafu (Obr. 18). Po skončení měření při podtlaku se opět musí změřit výchozí tlakový rozdíl a to stejným postupem jako na začátku. Následně se ventilátor otočí clonami ven z prostoru. Znovu se stejným způsobem změří výchozí tlakový rozdíl. Po odkrytí ventilátoru jsou měřeny hodnoty při vytvořeném přetlaku, tj. že vzduch je vháněn do prostoru. Hodnoty tohoto měření jsou zapisovány do stejného grafu (Obr. 18) jako při měření podtlaku. Naposledy se změří výchozí tlakový rozdíl opět stejným způsobem jako na začátku a tím je ukončena jedna série měření. Z výsledných hodnot při podtlaku a přetlaku program pomocí aritmetického průmětu vypočte objemový tok vzduchu při referenčním tlakovém rozdílu. Všechna naměřená data musí být uložena. Výstupem z tohoto programu je soubor s příponou .bld, který se nahrává do programu FireProtection. [23]



Obr. 18 Výsledné hodnoty měřeného podtlaku a přetlaku zobrazené v grafu [25]

Soubor s příponou .bld, kde jsou uložené výsledné hodnoty z měření při vytvořeném podtlaku a přetlaku se nahraje do programu FireProtection. Při nahrávání se vybírá pořadí předchozího měření v tomto případě podtlak/přetlak. V programu FireProtection se také zadávají

plochy netěsností, které se v chráněném prostoru vyskytují běžně, ale při měření byly utěsněny (např. nalezená netěsnost ve spáře pod dveřmi, která byla při měření utěsněna měřicí sestavou). Tyto plochy po zadání budou zohledňovány při výpočtu. Naměřené hodnoty se zobrazí v záložce Data entry, kdy v této záložce se zároveň zobrazí graf, na němž je zobrazen modře přetlak a červeně podtlak. [24]

První série měření se provádí pro získání hodnoty ekvivalentní plochy netěsností (dále jen „ELA“). Program zaznamená hodnotu ELA v cm^2. Druhá série se provádí z důvodu kontroly provozní kalibrace ventilátoru. Provozní kontrola kalibrace ventilátoru se provede tak, že se zvýší naměřená hodnota ELA přidáním otvoru v cloně nad případně pod ventilátorem (Obr. 19). Velikost přidávaného otvoru nalezneme v záložce Field Calibration Check pod výslednou hodnotou ELA. [26]

Obr. 19 Přidání otvoru v cloně
[Vlastní]

Po přidání otvoru v cloně se provede druhá série měření. Při druhé sérii se zjišťuje, zda nová hodnota ELA je v souladu s původní hodnotou z prvního měření plus přidaný otvor v cloně s maximální tolerancí 15 %. Když je tolerance vyšší, musí být provedena rekalibrace ventilátoru. Na konci první série není nutné ventilátor otáčet, při druhé sérii se může začít měřit při přetlaku. Druhá série se provede stejně jako první série. Opět se po ukončení druhé série

nahraje soubor s příponou .bld do programu FireProtection, konkrétně do záložky Field Calibration Check. Při nahrávání se znovu musí vybrat pořadí, ve kterém se měřilo (přetlak/podtlak). Po nahrání nově naměřených dat jsou v programu zobrazeny čtyři nové hodnoty. Těmito hodnotami jsou nově vypočtená hodnota ELA, očekávaná hodnota ELA, rozdíl mezi vypočtenou a očekávanou hodnotou ELA v procentech a ověření kalibrace. Po skončení obou sérií měření se musí ještě změřit tlakový rozdíl při podmínkách doby udržování koncentrace. Tento tlakový rozdíl se měří pomocí manometru na horní netěsnosti a následně na dolní netěsnosti. Toto měření probíhá při zastaveném a zakrytém ventilátoru. Změřené tlakové rozdíly se ručně zapíší do dvou sloupců v záložce Bias pressure. Do levého sloupce se zapíše hodnota tlakového rozdílu na dolní netěsnosti a do pravého se zapíše hodnota tlakového rozdílu na horní netěsnosti. Jestliže je chráněný prostor příliš velký, musí se měření zopakovat na více místech a výsledky se také stejně zapíší do sloupců. Nad těmito dvěma sloupci se nachází tři políčka, ve kterých je zobrazen průměr tlakového rozdílu dolních netěsností (levé políčko), průměr tlakového rozdílu horních netěsností (pravé políčko) a výsledek tlakového rozdílu (uprostřed). Pokud je vnitřní tlak vyšší než vnější, tak je tlakový rozdíl kladný. Jestliže je vnější tlak vyšší než vnitřní, tak je tlakový rozdíl záporný. [26]

V záložce Hold time nalezneme výsledné vyhodnocení kontroly, kde je zobrazena výsledná předpokládaná doba udržování koncentrace a výsledná chráněná výška na konci doby udržování koncentrace. Tyto údaje jsou konečným výsledkem měření. Jestliže je výsledná doba vyšší než požadovaná doba, tak zkouška těsnosti vyšla pozitivně a množství hasiva se dokáže v chráněném prostoru udržovat po výslednou dobu i s možnými nalezenými netěsnostmi prostoru. Pokud výsledná doba je nižší než požadovaná doba nebo normou stanovená doba 10 minut, pak tedy zkouška těsnosti vyšla negativně a je nutné provést opatření pro zlepšení stavu těsnosti chráněného prostoru. Zároveň by na konci požadované doby neměla být koncentrace hasiva v 10 %, 50 % a 90 % výšky chráněného prostoru menší než 85 % návrhové koncentrace. Tato doba může být i kratší než 10 minut, pokud to odsouhlasí oprávněný orgán. Těsnost chráněného prostoru se zlepší po utěsnění netěsností nalezených během Door Fan Testu. Po utěsnění netěsností je vyžadováno zopakovat celý Door Fan Test. Po dokončení zkoušky se vytvoří protokol o zkoušce ve formátu s příponou .docx. [10], [27]

„Po ukončení zkoušky se odstraní utěsnění netěsností, které jsou zohledněné při výpočtu (např. mezera pod dveřmi), zapnou se zařízení, která byla během zkoušky vypnuta a uvede se do provozu plynové SHZ.“ [1]

Door Fan Test má být zopakován i v případě, kdy v prostoru dojde během provozu ke stavebním úpravám, které mohou změnit jeho těsnost. [10]

4 POPIS PROVÁDĚNÉHO EXPERIMENTU

Kapitola popisuje scénář experimentu s jednotlivými kroky. V rámci této kapitoly je uveden popis používaného hasicího plynu IG-100 (dusík) s jeho základními vlastnostmi. Dále jsou vypsány nejistoty, které se při měření mohou vyskytnout a nedostatky, na které jsou navržena doporučení či řešení.

4.1 Scénář experimentu

Scénář experimentu vychází ze stanovených cílů diplomové práce. Prvním z cílů je ověřit, zda teoretické výsledky Door Fan Testu při jedné úrovni těsnosti s více kombinacemi typů clon chráněného prostoru se shodují s praktickým fungováním GHZ.

Cestou k ověření bude srovnání, zda množství hasicího plynu je schopno se v chráněném prostoru s GHZ udržovat po stanovenou dobu při různých kombinacích typů clon v chráněném prostoru.

Chráněný prostor se nejprve dostatečně utěsní na co nejlepší stav. Utěsnění chráněného prostoru bude provedeno zejména z důvodu, aby se eliminovaly původní a neznámé netěsnosti chráněného prostoru a mohly se vytvořit netěsnosti známé přesně definované. Těsnost chráněného prostoru se ověří pomocí Door Fan Testu. Pro ověření utěsnění nejlepšího stavu se použije i kouřový generátor a mikroprůtokoměr. Dále se do obálky chráněného prostoru postupně vytvoří čtyři otvory, na které budou následně nasazovány clony s cílenými otvory. Tyto clony budou sloužit pro zkoušku chráněného prostoru s jednou úrovní těsnosti. Pro každou kombinaci typů clon v chráněném prostoru se provede Door Fan Test a stanoví se teoretická doba udržování koncentrace hasiva. Tato doba se následně ověří praktickou zkouškou s vypuštěním hasiva.

Druhým cílem je ověřit chování netěsností během zkoušek. Bude zjišťováno, jak se chovají netěsnosti o stejných plochách, zda více malých netěsností se bude chovat stejně jako např. dvě větší netěsnosti a zda se dané netěsnosti budou chovat stejně, pokud budou v dolní části chráněného prostoru nebo v horní části chráněného prostoru.

Po provedení všech experimentů budou naměřená data zpracována a vyhodnocena.

Následující konkrétní scénář experimentu popisuje, jak bude probíhat jedna zkouška s předem danou úrovní těsnosti chráněného prostoru. Takto by mělo být provedeno celkem osm zkoušek při různých kombinacích typů clon v chráněném prostoru.

Scénář experimentu:

- provedení Door Fan Testu,
- výpočet doby udržování hasiva,
- vypuštění hasiva do chráněného prostoru,
- měření koncentrace kyslíku v prostoru (na třech místech),
- stanovení doby udržování koncentrace hasiva v prostoru, tj. měření času od vypuštění hasiva do okamžiku, kdy koncentrace kyslíku stoupne nad 15 %,
- takto bude provedeno několik testů s různými stupni těsnosti prostoru (předpoklad 8 testů),
- porovnání naměřeného času s časem vypočítaným při Door Fan Testu,
- změna kombinace typů clon a opakování výše popsaného experimentu.

4.2 Hasicí plyn IG-100 (dusík)

Dusík je elektricky nevodivý, bezbarvý plyn bez zápachu. V atmosféře se tento plyn vyskytuje běžně. Celkem tvoří v atmosféře 78 obj. %. Další fyzikální vlastnosti jsou uvedeny v tabulce 4 a specifikace pro hasivo je uvedena v tabulce 5. Dusík má přibližně stejnou hustotu jako vzduch, ale ve skupině hasicích plynů je brán jako lehčí než vzduch. Může se využít tam, kde jiné hasicí plyny držící se vlivem své hustoty u země mohou ohrozit zdraví přítomných osob. [28]

Tab. 4 Fyzikální vlastnosti hasicího plynu IG-100

Vlastnost	Jednotka	Hodnota
Bod tání při 1,013 bar	°C	-194,35
Kritický tlak	bar	34
Kritická teplota	°C	-147,0
Hustota při 1,013 bar a teplotě 10 °C *[30]*	kg/m^3	1,211
Hustota při 1,013 bar a teplotě 15 °C *[30]*	kg/m^3	1,185
Hustota při 1,013 bar a teplotě 20 °C *[30]*	kg/m^3	1,16
Chemický vzorec	N_2	
Chemický název	dusík	

[upraveno dle [29]]

Hasivo je skladováno v 200 a 300 bar zásobnících. Dusík je levný a ekologicky nekonfliktní. Tak jako u směsí inertních plynů u něj nehrozí nebezpečí rozkladu a tvorba korozivních látek. Tento hasicí plyn má dusivý účinek. Hasí tím způsobem, že kyslík je vytlačen z chráněného prostoru a tím se sníží koncentrace kyslíku z 21 obj. % vyskytujících se v atmosféře pod 15 až 10 obj. %. Po snížení koncentrace kyslíku se proces hoření zastaví a oheň uhasne. Aby nedošlo k opětovné iniciaci požáru, hasicí plyn je nutné v chráněném prostoru udržovat delší dobu, než jen do doby uhašení. [10], [15]

Tab. 5 Specifikace pro hasivo IG-100

Vlastnost	Požadavek
Čistota	min. 99,6 % objemového podílu
Obsah vody	max. 50 x 10^{-6} hmotnostního podílu
Kyslík	max. 0,1 % objemového podílu

[31]

Důležitá koncentrace hasiva pro návrh hasicího systému je minimální návrhová objemová koncentrace. Tuto koncentraci pro hasivo IG-100 nalezneme v normě s označením ČSN EN 15004-8. Tato norma je zaměřena konkrétně na hasivo IG-100. Jelikož se v chráněném prostoru při vypouštění hasiva vytvoří přetlak, je nutná instalace přetlakové klapky. [29]

4.3 Nejistoty a nedostatky měření

Každé měření je zatíženo určitou nepřesností, která je způsobená různými negativními vlivy. Tyto vlivy se budou během měření projevovat zejména odchylkou mezi naměřenou hodnotou a skutečnou hodnotou dané veličiny. Výsledek se tedy vždy pohybuje v pravděpodobném rozsahu (chybovém intervalu). Skutečná hodnota se bude od naměřené o tento interval odlišovat. Nejistota měření zahrnuje nejistotu samotného měření, nepřesnost měřících přístrojů, hodnoty korekcí a další nepřesnosti, které ovlivňují výsledek. [32]

V podkapitole 6.3 jsou uvedeny a popsány jednotlivé přístroje použité pro experiment a u jednotlivých přístrojů jsou uvedeny i rozsahy nepřesností přístrojů.

Nejistoty, které se projeví během experimentu řešeném v této diplomové práci, jsou rozděleny do dvou skupin. První skupina obsahuje možné nejistoty při zkoušce s vypuštěním hasiva (IG-100), druhá zahrnuje možné nejistoty při zkoušce Door Fan Test.

Do první skupiny je možné zařadit tyto nejistoty:

- nejistota přesnosti měřidla,
- nejistota zjištění rozměrů (měření objemu chráněného prostoru a plochy clon),
- nejistota rychlosti vypuštění hasicího plynu (ruční ovládání).

Do druhé skupiny lze zahrnout nejistotu:

- při měření průtoku vzduchu (udává výrobce měřidla),
- při měření tlakového rozdílu v budově (udává výrobce měřidla),
- způsobenou barometrickým tlakem lokality,
- nejistota zjištění rozměrů (měření objemu chráněného prostoru a plochy clon),
- při osazení rámu se vzduchotěsnou plachtou.

Pro experiment byly zjištěny také následující nedostatky:

1. chráněný prostor je umístěn ve venkovním prostředí a ne uvnitř budovy,
2. při měření byl k dispozici pouze jeden analyzátor spalin pro tři místa měření.

Ad 1. Jedním z nedostatků experimentu je chráněný prostor umístěný venku a ne uvnitř budovy. V praxi se chráněné prostory s instalovaným GHZ nachází většinou uvnitř budovy, proto tyto prostory při měření Door Fan Test nijak neovlivňuje vítr. Z tohoto důvodu je pravděpodobné, že výsledky při experimentu mohly být ovlivněny při působením větru.

Doporučení: Další možné experimenty či měření provádět uvnitř budovy.

Ad 2. Pro měření koncentrace kyslíku v chráněném prostoru byl použit analyzátor spalin. Jelikož pro provedení experimentu byla možnost zapůjčit si pouze jeden analyzátor spalin, nebylo možné měřit zároveň ve třech úrovních chráněného prostoru koncentraci kyslíku.

Řešení: Během každé zkoušky s vypuštěním hasiva byla sonda od analyzátoru spalin v určitých časových intervalech přesunována mezi třemi úrovněmi chráněného prostoru. Tento postup byl zvolen pro zjištění koncentrace kyslíku ve třech předem daných výškách chráněného prostoru.

5 CÍLE A METODY ZPRACOVÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Cílem práce je zodpovězení otázek na stanovené hypotézy, že teoretické výsledky doby udržování koncentrace hasiva ze zkoušky Door Fan Test se shodují s praktickým fungováním GHZ a malé netěsnosti a velké netěsnosti o stejné ploše se chovají stejně.

Pro práci jsou položeny dvě otázky:

- Shodují se teoretické výsledky doby udržování koncentrace hasiva ze zkoušky Door Fan Test s praktickým fungováním GHZ?
- Chovají se malé netěsnosti stejně jako velké netěsnosti o stejné ploše?

Pro zodpovězení na stanovené otázky je nutné nashromáždit data z měření vybraného prostoru, jak metodou Door Fan Test, tak i z praktického vypuštění hasicího plynu do prostoru. Obě tyto varianty by také měly probíhat s rozdílným rozložením netěsností v prostoru pro jejich následné porovnávání. Po získání potřebných dat budou tato data vyhodnocena. Z vyhodnocených dat mají vyplynout odpovědi na stanovené otázky, které potvrdí nebo vyvrátí hypotézy.

Pro zodpovězení na dané otázky práce jsou stanoveny dílčí úkoly:

- posoudit současný stav problematiky,
- provést kontrolu těsnosti vybraného prostoru zvolenou metodou,
- provést praktickou zkoušku s vypuštěním hasiva a zevšeobecnit získané poznatky.

V práci jsou použity následující metody:

- analyticko-syntetická,
- experiment,
- komparace,
- měření.

Pro práci byla zpracovaná literární rešerše. V databázích byly vyhledávány informace o provádění podobných experimentů, z kterých by se mohlo vycházet pro vytvoření scénáře experimentu této diplomové práce. Databáze, v kterých se vyhledávalo, byly Academic Search Complete, Knovel, ProQuest Technology Collestion, Science Direct, SpringerLink, Theses, Web of Science a další. Avšak v žádné z databází nebyly nalezeny informace, které by se použily pro přípravu scénáře experimentu.

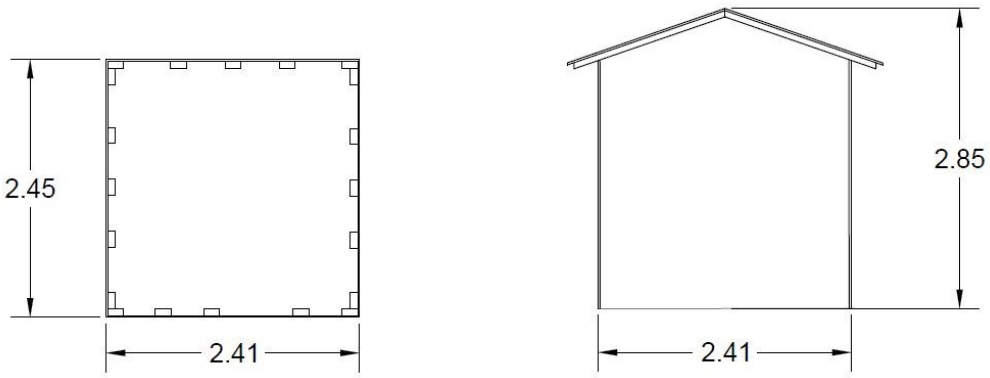
II. PRAKTICKÁ ČÁST

6 PŘÍPRAVA EXPERIMENTU A POPIS MĚŘICÍCH PŘÍSTROJŮ

V této kapitole je popsána kompletní příprava experimentálního prostoru. Od úvodního měření těsnosti chráněného prostoru, vyhledávání netěsností, přes utěsňování chráněného prostoru až po zkoušku počátečního stavu těsnosti před experimentem. Dále jsou v této kapitole popsány i jednotlivá měřicí zařízení, která se během experimentu používala.

6.1 Příprava na experiment

Pro účel experimentu byl vybrán dřevěný domeček o rozměrech 2,41 x 2,85 x 2,45 m (Obr. 20). Domeček (dále jen „chráněný prostor“) ve kterém se zkoušky budou provádět, je nutné nejprve připravit. Těsnost chráněného prostoru se po dobu příprav bude ověřovat metodou měření Door Fan Test s využitím počítačového programu FireProtection pro výpočet doby udržování koncentrace hasiva. Následný experiment při různých stupních těsnosti bude proveden metodou měření Door Fan Test, ale konečná doba udržování hasiva v chráněném prostoru bude počítána dle rovnic z české technické normy ČSN EN 15004-1. Tyto rovnice jsou zahrnuty ve výpočtech počítačových programů pro zkoušku Door Fan Test.



Obr. 20 Půdorys a pohled chráněného prostoru [Vlastní]

Původní chráněný prostor byl vytvořen jako prostor nestandardní (Obr. 21). Pro provádění experimentu byl upraven na standardní chráněný prostor z důvodu porovnávání koncentrace kyslíku v jednotlivých výškách, kdy prostor bude mít ve všech výškách stejné rozměry, ale také z důvodu, že počítačový program FireProtection, použitý pro Door Fan Test při přípravě chráněného prostoru, nenabízí zkoušku nestandardního chráněného prostoru. Standardní chráněný prostor se vytvořil tak, že se přidaly do prostoru dřevěné desky a tím se vytvořil strop. Takto byla vytvořena světlá výška prostoru 2,37 m.

Dále se při experimentu počítalo, že prostor mezi střechou a stropem chráněného prostoru není nutné chránit s pomocí hasicího plynu. Z tohoto důvodu bylo nutné spáry mezi deskami dostatečně utěsnit. Utěsnění proběhlo až po zjištění počátečního stavu chráněného prostoru a nalezení většiny netěsností. Při přípravě musel být zmenšen i otvor na dveře, které budou potřebné pro zkoušku s vypuštěním hasiva. Pro zmenšení otvoru bylo přidáno několik desek. Mezi těmito deskami a deskami původními se také vytvořily netěsnosti ve spárách. Tento chráněný prostor již byl použit pro testy hořlavosti materiálu, proto je prostor v jednom místě ohořelý. Toto místo se opravilo, taktéž zakrytím dvěma deskami.

Obr. 21 Původní chráněný nestandardní prostor [Vlastní]

Po přidání všech desek bylo provedeno úvodní měření těsnosti prostoru. Pro měření bylo nutné stanovit požadovanou chráněnou výšku prostoru, která se zadává do programu FireProtection a zadat hasicí plyn, který se bude používat. Požadovaná chráněná výška byla zvolena na 2,133 m, což je 90 % celkové výšky chráněného prostoru. Jako hasicí plyn bylo vybráno hasivo IG-100 (dusík). Úvodní měření bylo provedeno pro zjištění počátečního stavu těsnosti prostoru, zejména pro přesné identifikování původních a neznámých netěsností v obálce chráněného prostoru z důvodu, aby se tyto netěsnosti mohly eliminovat na minimum.

Během úvodního měření těsnosti prostoru byly nalezeny netěsnosti:

- spáry mezi jednotlivými deskami stropu,
- spára mezi stropem a konstrukcí (trámky) chráněného prostoru,
- spára mezi podlahou a konstrukcí (trámky) chráněného prostoru,
- spára mezi deskami přidanými vedle vstupu,
- škvíra mezi trámky konstrukce nad dveřmi,

- škvíra mezi trámkem konstrukce a deskou nad dveřmi,
- mezi ohořelým místem a přidanou deskou zakrývající toto místo,
- mezi podlahou a deskou zakrývající ohořelé místo.

Nalezené netěsnosti byly vyhledány pomocí anemometru TESTO 425. Na anemometru se ukáže číslo, které zobrazuje rychlost proudění vzduchu skrz netěsnost. Obrázek 22 vyobrazuje netěsnost spáry mezi jednotlivými deskami, kdy rychlost proudění vzduchu netěsností byla 1,30 m/s a netěsnost spáry mezi stropem a konstrukcí chráněného prostoru s rychlostí proudění vzduchu netěsností 0,70 m/s.

Obr. 22 Vlevo na obrázku je netěsnost spáry mezi jednotlivými deskami a vpravo netěsnost spáry mezi stropem a konstrukcí chráněného prostoru [Vlastní]

Obrázek 23 znázorňuje netěsnost spáry mezi podlahou a konstrukcí chráněného prostoru s rychlostí proudění vzduchu netěsností 1,30 m/s, tato spára byla tvořena mezerou vedoucí až do venkovního prostředí. Na obrázku je také znázorněna netěsnost spáry mezi deskami přidanými vedle vstupu s rychlostí proudění vzduchu netěsností 2,16 m/s.

Obr. 23 Vlevo je zobrazena netěsnost mezi podlahou a konstrukcí a vpravo je zobrazena netěsnost mezi deskami vedle vstupu [Vlastní]

Na obrázku 24 jsou zobrazeny netěsnosti v podobě škvíry mezi trámky konstrukce nad dveřmi s rychlostí proudění vzduchu netěsností 0,88 m/s a škvíra mezi trámkem konstrukce a deskou taktéž nad dveřmi s rychlostí proudění vzduchu netěsností 5,52 m/s.

Obr. 24 Vlevo na obrázku je škvíra mezi trámky konstrukce nad dveřmi a vpravo škvíra mezi trámkem konstrukce a deskou nad dveřmi [Vlastní]

Obrázek 25 vyobrazuje netěsnost mezi ohořelým místem a přidanou deskou zakrývající toto místo s rychlostí proudění vzduchu netěsností 2,31 m/s a netěsnost mezi podlahou a deskou zakrývající ohořelé místo s rychlostí proudění vzduchu netěsností 0,15 m/s.

Obr. 25 Vlevo je zobrazena netěsnost mezi ohořelým místem a přidanou deskou a vpravo je zobrazena netěsnost mezi podlahou a deskou zakrývající ohořelé místo [Vlastní]

Následně byly všechny nalezené netěsnosti utěsněny pro vytvoření co nejlepšího stavu chráněného prostoru. Utěsnění se provedlo, aby mohly být poté vytvořeny známé netěsnosti, z důvodu určení jejich přesného umístění. Pro utěsnění spár stropu se použila těsnicí lepicí páska Airstop Elasto a těsnicí tmel Airstop Sprint. Spáry v obálce chráněného prostoru a v oblasti podlahy se utěsnily s pomocí stavební pěny a těsnicího tmelu Airstop Sprint.

Na obrázku 26 je zobrazena utěsněná mezera mezi podlahou a konstrukcí chráněného prostoru. Tato mezera byla vyplněna stavební pěnou, případně v některých místech zatřena těsnicím tmelem.

Obr. 26 Utěsněná mezera mezi podlahou a konstrukcí [Vlastní]

Obrázek 27 vyobrazuje utěsnění spár mezi jednotlivými deskami na stropě pomocí lepicí pásky Airstop Elasto a utěsnění netěsnosti mezi deskou a ohořelým místem pomocí stavební pěny.

Obr. 27 Utěsnění stropu a netěsnosti mezi deskou a ohořelým místem [Vlastní]

Obrázek 28 zobrazuje utěsněnou mezeru mezi deskou a konstrukcí chráněného prostoru. Nejprve tato mezera byla utěsněná stavební pěnou, což se ukázalo jako nedostatečné. Proto byla stavební pěna seříznuta a netěsnost byla dotěsněna pomocí těsnicího tmelu.

Obr. 28 Vlevo na obrázku je utěsněná netěsnost pomocí stavební pěny a vpravo je dotěsněná netěsnost pomocí těsnicího tmelu [Vlastní]

Po utěsnění se provedla opět kontrola těsnosti Door Fan Testem. Po zkoušce bylo zjištěno, že prostor stále není dostatečně utěsněn, aby byly znatelné pouze známé a definované netěsnosti. Opět se nalezly neúplně utěsněné spáry v obálce chráněného prostoru. Příkladem může být použitá stavební pěna pro utěsnění mezery mezi podlahou a stropem, kdy byly nalezeny netěsnosti mezi pěnou a podlahou v podobě nepatrných dírek.

Pro zlepšení těsnosti byl použit na dotěsnění těsnicí tmel Airstop Sprint a také těsnicí nátěr BlowerProof Liquid. Tímto nátěrem byly přetřeny spáry mezi trámkem a deskou na obálce budovy, které vedly do venkovního prostředí, naopak nebyly zatírány spáry mezi trámkem a deskou, za nimiž nebyla spára v obálce budovy. Dále byly přetřeny stavební pěna v prostoru mezi podlahou a konstrukcí, netěsnosti v okolí desek překrývajících ohořelé místo, spáry mezi konstrukcí a bočními stěnami u stropu, spoj mezi trámkem a horní či dolní konstrukcí, tam kde je z venkovní strany spoj na obálce chráněného prostoru a také netěsnosti mezi deskou a konstrukcí nad dveřmi. Těsnicí nátěr byl po zaschnutí ještě jednou přetřen. Také se překontrolovalo, zda lepicí pásky stále zatěsňují spáry mezi jednotlivými deskami na stropě. K této kontrole se použil přítlačný váleček Airstop Roll na lepicí pásky, kdy lepicí pásky byly znovu přitlačeny k dřevěným deskám.

Na obrázku 29 je vyobrazeno utěsňování chráněného prostoru pomocí těsnicího nátěru BlowerProof Liquid a kontrola lepicích pásek pomocí přítlačného válečku.

Obr. 29 Vlevo je zobrazeno utěsňování pomocí těsnicího nátěru a vpravo je zobrazena kontrola lepicích pásek [Vlastní]

Obrázek 30 zobrazuje chráněný prostor po dotěsnění s použitím těsnicího tmelu a těsnicího nátěru BlowerProof Liquid, který byl přetřen dvakrát.

Obr. 30 Utěsnění těsnicím nátěrem BlowerProof Liquid [Vlastní]

Po utěsnění byl chráněný prostor opět změřen Door Fan Testem. Poté následovala první kontrolní kouřová zkouška. Do chráněného prostoru se umístil kouřový generátor, vytvořil se přetlak ventilátorem a z vnější strany se provedla vizuální kontrola úniku kouře. Kouř prostupoval z některých míst dolní části pod chráněným prostorem (podlahou), spárami v rozích chráněného prostoru a spárami mezi konstrukcí stropu a pak dále pod střechou. V tuto chvíli bylo zjištěno, že prostor je pro účely experimentu dostatečně utěsněn a může se přistoupit k dalším krokům přípravy před samotným experimentem.

Po utěsnění se do chráněného prostoru musel ještě udělat prostup na přívod elektřiny pro kontrolní zkoušku s kouřovým generátorem, prostup na potrubí vedoucí od zásobníku k výstřikové hubici. Vytvořily se i tři vstupy pro sondu analyzátoru spalin.

Dále se do obálky chráněného prostoru vytvořily otvory (Obr. 31). Tyto otvory byly celkem čtyři a byly umístěny dva v horní části a dva v dolní části chráněného prostoru. Na tyto otvory se při experimentu nasazovaly clony s vytvořenými přesně definovanými otvory, aby bylo možné testovat chráněný prostor pro předem danou úroveň těsnosti.

Obr. 31 Předpřipravený otvor na clony [Vlastní]

Clony byly vytvořeny z osmi desek. Čtyři tyto desky byly plné pro zkoušku celkové těsnosti prostoru po všech úpravách nebo pro částečné utěsnění při testech s clonami. Na dvou deskách byly vytvořeny malé otvory (Obr. 32) v celkovém počtu 396 otvorů (jedna deska 198 otvorů) o celkové ploše 1243,44 cm^2 (jedna deska 621, 72 cm^2). A na zbylých dvou deskách byly vytvořeny velké otvory (Obr. 32) v celkovém počtu 14 otvorů (jedna deska 7 otvorů) o celkové ploše 1165,93 cm^2 (jedna deska 582,96 cm^2. Tyto desky neboli clony se budou v průběhu experimentu různě vyměňovat.

Obr. 32 Vlevo clona s malými otvory a vpravo clona s velkými otvory [Vlastní]

Rovněž se připravily dveře na uzavření chráněného prostoru. Ve dveřích byl vyvrtán otvor na připojení mikroprůtokoměru a instalována přetlaková vyrovnávací klapka pro vyrovnání tlaku při vypouštěná hasiva.

Po dokončení úprav chráněného prostoru se přistoupilo k instalaci komponentů GHZ. Jakmile byl chráněný prostor kompletně připravený na experiment, provedla se kontrolní zkouška těsnosti celého prostoru včetně dveří pomocí sady Minneapolis MiniFan s připojeným mikroprůtokoměrem (Obr. 33). U této zkoušky se nepoužívá rám sady se vzduchotěsnou plachtou, na kterém jsou nainstalovány měřicí zařízení, ale prostor je celý uzavřen. Tato zkouška se provedla pro ověření těsnosti dveří. Bylo zjištěno, že dveře těsní.

Obr. 33 Zkouška s mikroprůtokoměrem
[Vlastní]

Zároveň pomocí zkoušky s mikroprůtokoměrem byl zjištěn počáteční stav těsnosti chráněného prostoru před zahájením samotného experimentu. Těsnost chráněného prostoru a pravidelnost rozmístění netěsností byla po zkoušce s mikroprůtokoměrem ověřena znovu kouřovým generátorem. Stav od poslední zkoušky s kouřovým generátorem nezměnil. Opět kouř pronikal některými místy pod chráněným prostorem, spárami v rozích chráněného prostoru a netěsnostmi pod střechou. Rozložení netěsností je rovnoměrné po celé obálce chráněného prostoru. Tyto netěsnosti však pro následný experiment mohou být zanedbány, protože těsnost chráněného prostoru je i přes tyto netěsnosti velmi dobrá.

Na obrázku 34 vlevo je zvýrazněna netěsnost spáry v rohu chráněného prostoru, kudy unikal plyn vytvořený kouřovým generátorem. Vpravo na obrázku je zvýrazněna netěsnost pod chráněným prostorem, kudy také unikal plyn. Tato netěsnost je nejspíše vytvořena mezerou mezi podlahou a konstrukcí uvnitř chráněného prostoru, která se nedala dostatečně utěsnit. Těchto míst viditelných s pomocí kouřového generátoru bylo na obálce chráněného prostoru více.

Obr. 34 Netěsnosti ověřené pomocí kouřového generátoru [Vlastní]

Zkouška s kouřovým generátorem byla poslední zkouškou těsnosti chráněného prostoru před experimentem. Po této zkoušce už bylo nutné jen upravit plochu otvorů ve clonách pro provedení experimentu. Pro úpravu clon muselo být zjištěno, jak je chráněný prostor s jednotlivými clonami těsný. Tato úprava se prováděla pomocí Door Fan Testu, kdy byly osazeny prvně obě desky s velkými otvory a následně obě desky s malými otvory a zjišťovalo se, kolik je výsledná doba udržování koncentrace hasiva. Pokud doba udržování koncentrace hasiva byla pod 10 minut, musely se některé otvory na clonách utěsnit a měření zopakovat. Tento postup se opakoval do doby, dokud nebyl určen přesný počet utěsněných otvorů tak, aby se doba udržování koncentrace hasiva pohybovala alespoň těsně okolo 10-ti minut.

U clon s velkými otvory bylo zjištěno, že musí být zalepeny 3 otvory na každé desce, dohromady na obou deskách 6 otvorů, aby výsledná doba udržování koncentrace hasiva byla 9 minut a 56 sekund. U clon s malými otvory se muselo zalepit celkem 92 otvorů na jedné desce, dohromady 184 otvorů na obou deskách, aby výsledná doba udržování koncentrace

byla 9 minut a 54 sekund. Po utěsnění otvorů na clonách zůstaly netěsnosti (zbytek neutěsněných otvorů) takové, že plocha netěsností (otvorů) clon s velkými otvory a clon s malými otvory je přibližně stejná. Konkrétně plocha netěsností na clonách s velkými otvory je 666,24 cm^2 a na clonách s malými otvory je plocha netěsností 665,68 cm^2.

Příprava clon s definovanými netěsnostmi byl poslední krok při přípravě experimentu. Následně se mohlo přejít k samotnému experimentu.

6.2 Použité měřicí přístroje

Pro provedení experimentů byly použity následující měřicí přístroje či přístroje pro detekování netěsností.

Vyvíječ kouře (kouřový generátor) BlowerDoor SlightFogger (Obr. 35) se používá pro vyhledávání a vizualizaci složitých netěsností přes poškozené stěny, izolaci nebo šachty s velkým objemem. Nabízí vyhledávání netěsností ve zdech např. přes netěsné elektrické zásuvky nebo přes vestavěné bodovky a možnost vyhledávání netěsností na oknech. Rozsah intenzity zakuřování v intervalu 0 – 99 % (krok nastavení 1 %) umožňuje provést nastavení zakuřování podle velikosti místnosti. Dále obsahuje možnost dálkové obsluhy nebo lze nastavit bezobslužný provoz vyvíječe, který automaticky udržuje nastavené množství kouře. Maximální doba zakuřování při 100% výkonu je cca 35 sekund a při < 50% výkonu funguje trvale. Vyvíječ obsahuje i ochranu proti přehřátí. Rozměry přístroje jsou 350 x 180 x 190 mm a hmotnost zásobníku je cca 5,4 kg. [33]

Obr. 35 Kouřový generátor BlowerDoor SlightFogger [33]

Anemometr TESTO 425 (Obr. 36) je kompaktní termický anemometr s připojenou externí teleskopickou sondou o maximální délce 82 cm. Anemometr má svojí baterii, rozsah měření teploty je od -20 °C do +70°C (± 1 °C). Další technická data jsou uvedena v tabulce 6. [34]

Přístroj je schopen měřit i při nízkém rozsahu rychlosti proudění vzduchu. Proudění se zobrazuje na displeji, lze jím také měřit i průměrný objemový průtok a teplotu. Přístroj je vhodný pro měření rychlosti proudění vzduchu v potrubí či v místnosti a pro vyhledávání netěsností. [34]

Tab. 6 Technická data anemometru TESTO 425

Typ senzoru	**Termický**	**NTC**
Oblast měření	0 – 20 m/sec	-20 – +70 °C
Přesnost ± 1 cifra	± 0,03 m/sec	± 0,5 °C (0 – 60 °C) ± 0,7 °C (zbývající rozsah)
Rozlišení	0,01 m/sec	0,1 °C

[34]

Rozměry přístroje jsou 182 x 64 x 40 mm a hmotnost přístroje je 285 g. [34]

Obr. 36 Anemometr TESTO 425 [34]

Mikroprůtokoměr (MLM) - Minneapolis Micro Leakage Meter (Obr. 37) umožňuje kontrolovat těsnost potrubí vzduchotechnických systémů. Také umožňuje zkoušet různé stavební prvky a malé velmi těsné a čisté místnosti. Mikroprůtokoměr se používá spolu s ventilátorem DuctBlaster, DG-700 (DG-1000) a regulátorem otáček. V mikroprůtokoměru se používají čtyři clony. Princip měření je podobný jako u první části Door Fan Testu, kdy se s pomocí ventilátoru Minneapolis DuctBlaster (součást systému BlowerDoor

MiniFan) vytvoří přetlak nebo podtlak a výsledky jsou následně vyhodnoceny ve zkušebním protokolu. Technická data tohoto přístroje jsou uvedena v tabulce 7. [35]

Tab. 7 Technická data mikroprůtokoměru

Měřící rozsah	Tlakový rozdíl	Přesnost měření
2,15 – 57,4 m^3/h	250 Pa	S clonou 1 nebo 2: ± 5 % nebo ±0.37 m^3/h z naměřené hodnoty (platí vyšší hodnota)
2,15 – 69,7 m^3/h	160 Pa	S clonou 1 nebo 2: ± 5 % nebo ± 0.37 m^3/h z naměřené hodnoty (platí vyšší hodnota)
0,17 – 78,5 m^3/h	80 Pa	S clonou 1 nebo 2 (měřící rozsah 2.15 – 78.5 m^3/h): ± 5 % nebo ± 0.37 m^3/h z naměřené hodnoty (platí vyšší hodnota)
		S clonou 3 (měřící rozsah 0.65 – 3.23 m^3/h): ± 5 % nebo ± 0.09 m^3/h z naměřené hodnoty (platí vyšší hodnota)
		S clonou 4 (měřící rozsah ≤ 0.83 m^3/h): ± 0.04 m^3/h

[35]

Hmotnost zařízení je cca 800 g. [35]

Obr. 37 Mikroprůtokoměr [35]

Analyzátor spalin Testo 350 je přenosný analyzátor spalin (Obr. 38) použitelný pro profesionální analýzu. Přístroj obsahuje řídící jednotku a analyzační box. Přístroj lze použít pro:

- servis nebo seřízení průmyslových spalovacích zařízení,
- kontrolu dodržování emisních limitů,
- servis nebo uvedení do provozu kotlů a hořáků v oblasti průmyslu,
- měření na plynových turbínách. [36]

Analyzátorem spalin lze měřit tyto veličiny např. kyslík, oxid uhelnatý, oxid dusnatý, oxid dusičitý, oxid siřičitý, sulfan (zastarale sirovodík) a dále také diferenční tlaky, absolutní tlak, proudění, okolní teplotu a teplotu spalin. [36]

Pro diplomovou práci byly použity měřené veličiny uvedené v tabulce 8.

Tab. 8 Použité měřené veličiny

Měřená veličina	Měřicí rozsah	Rozlišení	Přesnost	Odezva
O2 (kyslík)	0 - 25 obj. %	0,01 obj. %	± 0,2 obj. %	< 20 s
Teplota vzduchu	-20 - +50 °C	0,1 °C	± 0,2 °C	-
Teplota spalin	-20 - +50 °C	0,1 °C	± 0,2 °C	-

[Upraveno dle [36]]

Další charakteristiky přístroje jsou uvedené v následující tabulce 9.

Tab. 9 Charakteristiky přístroje Testo 350

Řídící jednotka	
Charakteristika	**Hodnoty**
Napájení	Li-ionový akumulátor, analyzační box, síťový zdroj
Doba nabíjení akumulátoru	7 hod. – přes síťový zdroj
Životnost akumulátoru	cca 5 hod. – zapnutý displej, deaktivovaný Bluetooth
Paměť	250 000 naměřených hodnot
Hmotnost	440 g
Rozměry	88 x 38 x 220 mm
Analyzační box	
Charakteristika	**Hodnoty**
Napájení	Li-ionový akumulátor, přes interní síťový zdroj
Doba nabíjení akumulátoru	< 6 hod.
Životnost akumulátoru	2,5 hod. - s chladičem plynu 4,5 hod. – bez chladiče plynu
Paměť	250 000 naměřených hodnot
Hmotnost	4 800 g – kompletně osazený
Rozměry	330 x 128 x 438 mm

[Upraveno dle [36]]

Obr. 38 Analyzátor spalin

[Vlastní]

Dvoukanálový diferenciální manometr DG-700

„S tímto měřidlem lze provádět zkoušky funkčnosti větracích systémů, rychlé funkční testy vzduchotechnických systémů se zpětným získáváním tepla.“ [37]

S tímto zařízením lze měřit i průtoky vzduchu na vyústkách vzduchotechnických zařízení nebo určit vzduchovou průvzdušnost oken společně se sadou Minneapolis BlowerDoor. Toto digitální měřidlo tlaku (Obr. 39) je možné připojit k počítači nebo použít jako nezávislé zařízení. Měřicí přístroj má dva měřicí kanály zobrazující tlak a objemový průtok. Také obsahuje funkci cruise control, která se používá pro jednobodové měření. [37]

Technická data manometru DG-700 jsou uvedena v následující tabulce 10.

Tab. 10 Technická data DG-700

Měřicí rozsah	-1,250 Pa - +1,250 Pa
Přesnost	± 1 % ze čtení nebo 0,15 Pa (platí vyšší hodnota)
Auto-nulování	při zapnutí a potom každých 10 s
Zobrazované rozlišení	0,1 Pa
Rozměry	19,5 x 10,2 x 3,2 mm

[Upraveno dle [37]]

Obr. 39 DG-700 [40]

Digitální dotykový teploměr GTH 1170 je vhodný pro přesné měření teploty povrchu, kapalin, vzduchu a plynů. Obsahuje vlastní baterii. Teploměr má následující vlastnosti:

- funkce Hold (neboli přidržení naměřené teploty),
- stanovení hodnot Min a Max (min. a max. naměřené hodnoty),
- automatické vypnutí,
- ofset (digitální nastavení nulového bodu) a rozsah (pro dosažení vyšší přesnosti). [38]

Technická data digitálního dotykového teploměru GTH 1170 (Obr. 40) jsou uvedena v následující tabulce 11.

Tab. 11 Technická data GTH 1170

Měřicí rozsah	-65 ÷ +199,9 °C -65 ÷ +1150 °C
Rozlišení	0,1 °C (v rozsahu -65 ÷ +199,9 °C) 1 °C (v rozsahu -65 ÷ +1150 °C
Přesnost	± 1 číslice vliv teploty: 0,01 % referenční bod: ± 0,3 °C
Vzorkování	cca 3 měření / s
Pracovní teplota	-25 ÷ +50 °C
Skladovací teplota	-25 ÷ +70 °C
Hmotnost	135 g (s baterií)
Rozměry	106 x 67 x 30 mm

[Upraveno dle [38]]

Obr. 40 Digitální teploměr GTH 1170

[Vlastní]

Garni Gar 202 Weather Datalogger umožňuje měřit teplotu, relativní vlhkost a barometrický tlak. Přístroj zaznamenává a ukládá hodnoty samostatně, je možné nastavit zaznamenávání po jedné minutě v intervalu od 1 minuty až do 18 hodin. Paměť na ukládání má kapacitu 10 000 dat jak pro teplotu, relativní vlhkost, tak i pro barometrický tlak. Přístroj

se připojí k počítači pomocí USB portu. Pro zobrazení naměřený hodnot je nutné mít předem nainstalovaný software. Přístroj má možnost nastavení parametrů záznamu a signalizaci dosažení horní a dolní hranice pro měřené veličiny. Data se zobrazují ve formě tabulky či grafu a zobrazují se maximální, minimální a průměrné naměřené hodnoty. [39]

Technická data přístroje Gar 200 Weather Datalogger (Obr. 41) jsou uvedena v následující tabulce 12.

Tab. 12 Technická data Gar 202 Weather Datalogger

Rozsah měření teploty	-40 °C - +70 °C
Přesnost měření teploty	-40 °C – 0 °C a +40 °C - +70 °C: ± 2 °C, 0 °C - +40 °C: ± 1 °C
Rozlišení měření teploty	0,1 °C
Rozsah měření relativní vlhkosti	0 – 10 %
Přesnost měření relativní vlhkosti	0 – 20 % a 80 % - 100 %: ± 5 %, 20 % - 40 % a 60 % - 80 %: ± 3,5 %, 40 % - 60 %: ± 3 %
Rozlišení měření relativní vlhkosti	1 %
Rozsah měření barometrického tlaku	950 – 1050 hPA
Přesnost měření barometrického tlaku	± 0,25 % (25 °C)
Rozlišení měření barometrického tlaku	0,1 hPa
Opakovatelnost	± 0,2 %
Okolní provozní teplota	-35 - +80 °C
Hmotnost	40 g (bez baterie)
Rozměry	142 x 28 x 25 mm

[Upraveno dle [39]]

Obr. 41 Garni Gar 202 Weather Datalogger [Vlastní]

7 PRŮBĚH EXPERIMENTU A JEHO VÝSLEDKY

Kapitola obsahuje popis průběhu zkoušek a výsledky s reálným vypuštěním hasiva, popis zkoušek a výsledky Door Fan Testu. Oproti prvotnímu scénáři, který je popsán v podkapitole 4.1, byly nejprve provedeny zkoušky s reálným vypuštěním hasiva a poté byly provedeny zkoušky Door Fan Testu. Otočení scénáře proběhlo z důvodu synchronizace vhodného počasí a časového omezení vypůjčení komponent a měřicích zařízení.

7.1 Průběh a výsledky zkoušek s reálným vypuštěním hasiva

Celkem bylo provedeno 8 zkoušek s reálným vypuštěním hasiva při různých kombinacích typů clon. Pro každou zkoušku byl použit jeden zásobník s hasivem IG-100 (dusík). Jednotlivé objemy zásobníků jsou uvedeny u konkrétních zkoušek. Z měřicích zařízení byly pro tyto zkoušky použity analyzátor spalin, digitální dotykový teploměr GTH 1170, teploměr Garni Gar 202 Weather Datalogger a DG-700. Měřidlo DG-700 bylo použito pouze pro kontrolu tlaku uvnitř chráněného prostoru během vypouštění, aby nemohlo dojít k vysoké změně tlaku a následnému zničení chráněného prostoru. Tyto hodnoty se kontrolovaly pouze během zkoušek a dále se nezaznamenávaly, proto nejsou v práci uvedené.

Pro experiment byl k dispozici jeden analyzátor spalin, který byl při zkouškách použit pro měření koncentrace kyslíku a teploty uvnitř chráněného prostoru. Pro zjištění koncentrace kyslíku v celém chráněném prostoru, se sonda analyzátoru spalin přesunovala mezi třemi různými výškami chráněného prostoru. Tyto výšky byly předem stanoveny na 10 % (0,237 m), 50 % (1,185 m) a 90 % (2,133 m) celkové výšky chráněného prostoru. Při přípravě prostoru byly v těchto výškách vyvrtány otvory pro umisťování sondy. Otvory, které během měření zrovna nebyly potřebné, se utěsnily pomocí zátky (korkového špuntu). Z analyzátoru spalin byly zaznamenané hodnoty přenášeny do notebooku, konkrétně do programu Excel, ve kterém se po ukončení experimentu hodnoty kontrolovaly a vyhodnocovaly.

Digitální dotykový teploměr byl použit pro měření teploty zásobníku před jeho použitím. Jednotlivé teploty zásobníku jsou uvedeny u příslušných zkoušek. Teploměr Garni Gar 202 Weather Datalogger se použil pro zaznamenání teploty mimo chráněný prostor.

Při první zkoušce se nainstaloval plný zásobník s hasivem o objemu 50,7 litrů a clony s otvory. Dále byly nainstalovány dvě clony s velkými otvory do spodní části chráněného prostoru. Do obou horních otvorů byly nainstalovány plné desky (Obr. 42). Pro umístění clon s otvory bylo u všech zkoušek dodržováno pravidlo, že do spodní části chráněného prostoru byly volné otvory ve cloně umístěny směrem dolů a do horní části chráněného prostoru směrem nahoru.

Obr. 42 Velké otvory dole – nahoře plné desky
[Vlastní]

Byl připojen analyzátor spalin a sonda byla vsunuta do bodu 1 měření. Při každé zkoušce jsou místa pro měření sondou stanovena směrem od horní části do spodní části chráněného prostoru tedy bod 1 (90 % výšky), bod 2 (50 % výšky) a bod 3 (10 % výšky). Vizuálně byly zkontrolovány dveře, zda jsou správně umístěny, otevřela se přetlaková vyrovnávací klapka a změřila se teplota zásobníku, která byla pro tuto zkoušku 16,5 °C.

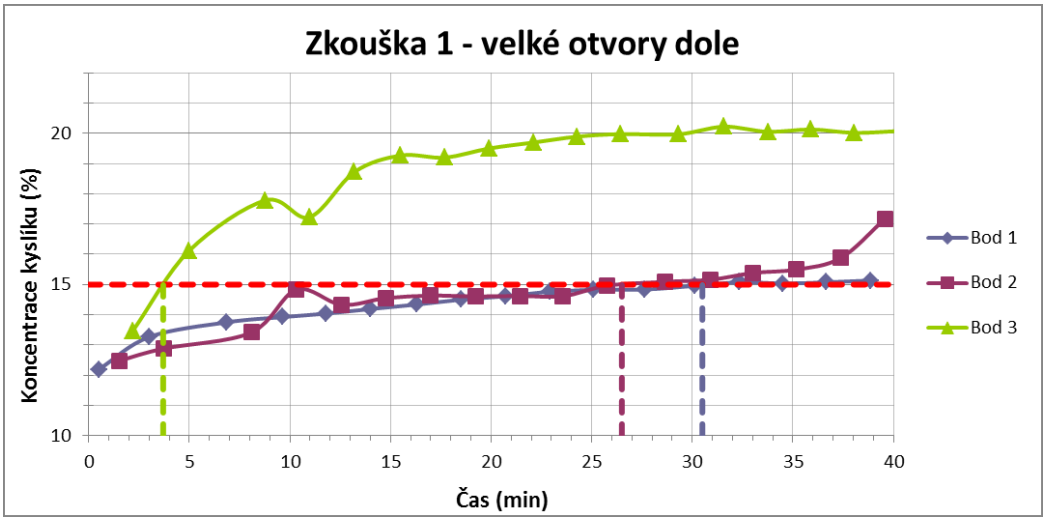
Na obrázku 43 je zobrazen vlevo nainstalovaný zásobník s hasivem, v přední části sonda analyzátoru zasunutá v bodě 2, otevřená přetlaková vyrovnávací klapka a umístěná zátka s připojenou průhlednou hadičkou pro měření tlaku uvnitř chráněného prostoru.

Obr. 43 Chráněný prostor připraven na zkoušku s vypuštěním hasiva [Vlastní]

Zkouška byla zahájena. Na začátku zkoušky byla v chráněném prostoru koncentrace kyslíku 21,01 %. Analyzátor spalin zaznamenával hodnoty po celou dobu zkoušky. Zapsal se čas zahájení zkoušky, ručně se otevřel ventil a zásobník se nechal vyprázdnit do chráněného prostoru. Jakmile intenzita vypouštění plynu ze zásobníku začala klesat, zavřela se přetlaková vyrovnávací klapka a zapsal se čas zavření. Poté se zapsal čas začátku měření v bodě 1. Interval měření v každém bodě byl stanoven na 40 sekund a doby přesunů byly taktéž zapisovány. Po 40 sekundách se sonda přesunula do bodu 2 měření a bod 1 byl utěsněn zátkou. Po dalších 40 sekundách se sonda přesunula do bodu 3 a bod 2 byl utěsněn zátkou. Z bodu 3 byla sonda přesunuta opět do bodu 1. Takto se přesuny sondy opakovaly po celou dobu měření. Celá první zkouška trvala 43 minut a 46 sekund. Zkouška byla ukončena poté, co v posledním bodě koncentrace kyslíku vystoupala nad stanovenou hranici 15 %. Následující zkoušky probíhaly stejný způsobem s různými kombinacemi umístění clon v horních a dolních otvorech chráněného prostoru a vždy s novým plným zásobníkem.

Po ukončení celého experimentu byly jednotlivé výsledky zkontrolovány a upraveny v počítačovém programu Excel. Bylo kontrolováno, zda se nevyskytly odlehlé hodnoty, nebo zda nedošlo k chybě analyzátoru spalin (zaseknutí se na jedné hodnotě). Chyba zaseknutí se analyzátoru spalin se objevila u zkoušky 3, ale během 15 sekund došlo k obnovení záznamu. Z naměřených hodnot času i koncentrace kyslíku se vytvořily průměry a hodnoty průměrů byly vyneseny do konečného grafu. Takto byl graf vytvořen pro každou zkoušku.

Graf 1 zobrazuje výsledky zkoušky 1. Osa x zobrazuje čas průběhu zkoušky v minutách a osa y koncentraci kyslíku v procentech. V grafu jsou vyneseny průměrné hodnoty z měření v jednotlivých bodech. Data pro bod 1 jsou vyznačena modře, pro bod 2 fialově a pro bod 3 zeleně. Červená přerušovaná čára označuje hranici 15 % koncentrace kyslíku. Svislé přerušované barevné čáry bodů 1, 2, 3 označují čas, kdy koncentrace v jednotlivých bodech vystoupala nad 15 %. Z tohoto grafu je patrné, že hasivo stoupá vzhůru. Proto koncentrace kyslíku vzrostla nejdříve v bodě 3 a to ve 3 minutách 42 sekundách, dále v bodě 2 ve 26 minutách a 30 sekundách, naposled v bodě 1 ve 30 minutách a 30 sekundách. Dále lze z grafu vyčíst, že koncentrace kyslíku v podstatě rostla postupně vzhůru kromě čtvrté hodnoty bodu 3 a čtvrté hodnoty bodu 2.

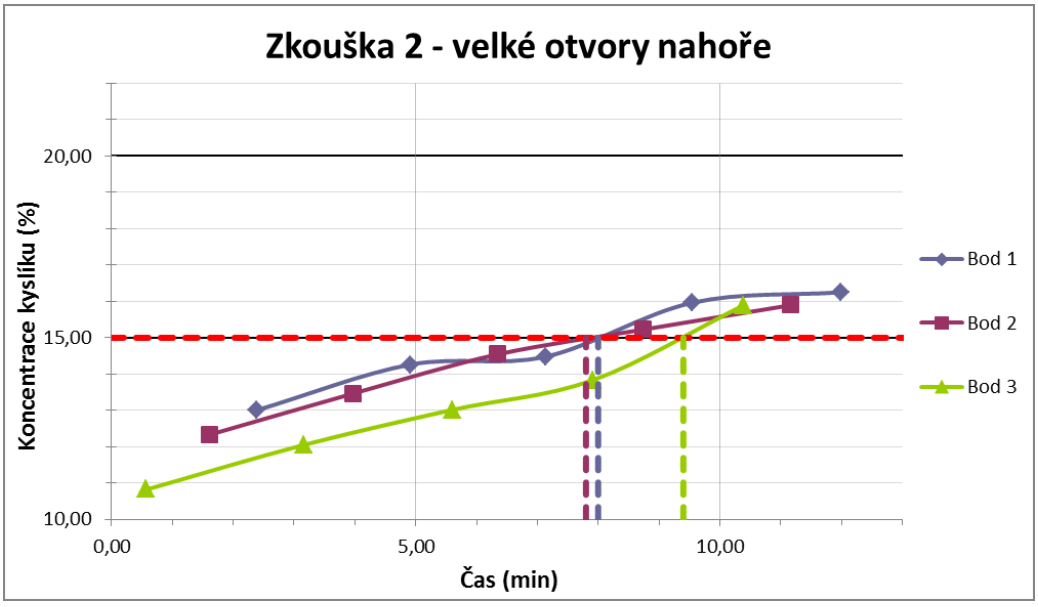


Graf 1 Výsledky zkoušky 1 – velké otvory dole [Vlastní]

Při zkoušce 2 byly nainstalovány obě clony s velkými otvory do horní části chráněného prostoru (Obr. 44). Byl použit zásobník s objemem 50 litrů. Teplota naměřená na zásobníku byla 16,5 °C. Měření začalo od bodu 3. Koncentrace kyslíku na začátku zkoušky byla 21,06 %. Zkouška celkem trvala 12 minut a 18 sekund.

Obr. 44 Velké otvory nahoře – dole plné desky [Vlastní]

V grafu 2 jsou vyneseny výsledné průměry hodnot ze zkoušky 2. Jednotlivé hodnoty měření a přerušované čáry jsou označeny stejně jako v předchozím grafu a budou stejně označeny i v následujících grafech. Z grafu lze vyčíst, že koncentrace kyslíku rostla postupně a vzhůru. Bod 2 překročil hranici 15 % v čase 7 minut a 48 sekund, bod 1 v 8 minutách a bod 3 v 9 minutách a 24 sekundách. Pokud jsou netěsnosti v horní části, tak se koncentrace hasiva nejrychleji snižuje v bodě 2 a 1.

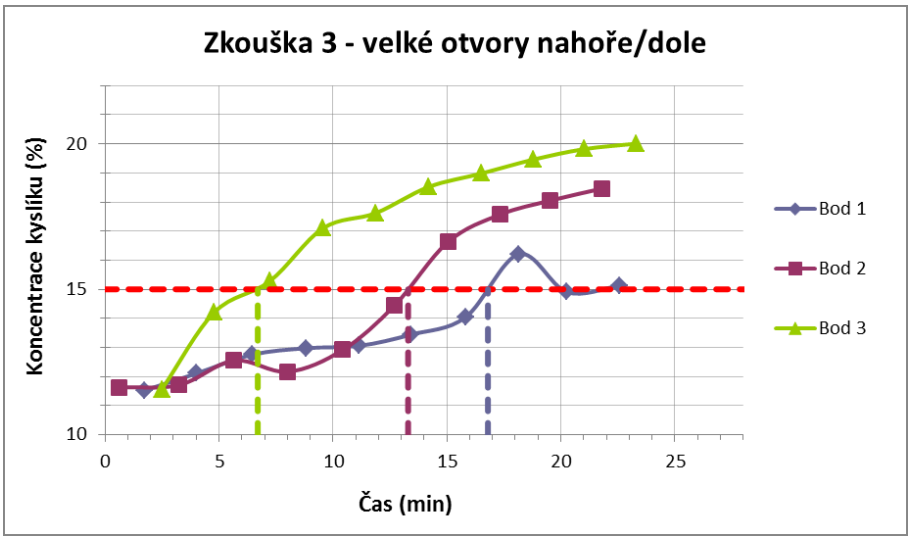


Graf 2 Výsledky zkoušky 2 – velké otvory nahoře [Vlastní]

Při zkoušce 3 byla jedna clona s velkými otvory instalována v horní části a jedna ve spodní části chráněného prostoru (Obr. 45). Byl použit zásobník s objemem 50,4 litrů. Teplota naměřená na zásobníku byla 15,7 °C. Měření začalo od bodu 3. Koncentrace kyslíku na začátku zkoušky byla 21,05 %. Zkouška celkem trvala 23 minut a 36 sekund.

Obr. 45 Velké otvory nahoře i dole – z druhé strany plné desky [Vlastní]

V grafu 3 jsou vynesené výsledné průměry hodnot ze zkoušky 3. Z grafu lze vyčíst, že koncentrace rostla postupně s mírným výkyvem v bodě 2 a s větším výkyvem v bodě 1. Z grafu 3 je viditelné, že hasivo stoupá vzhůru. Bod 3 je prvním bodem s nejrychlejším nárůstem koncentrace kyslíku nad hranici 15 % v 6 minutách a 42 sekundách, druhým bodem je bod 2 ve 13 minutách a 18 sekundách a posledním bodem je bod 1 v 16 minutách a 48 sekundách.

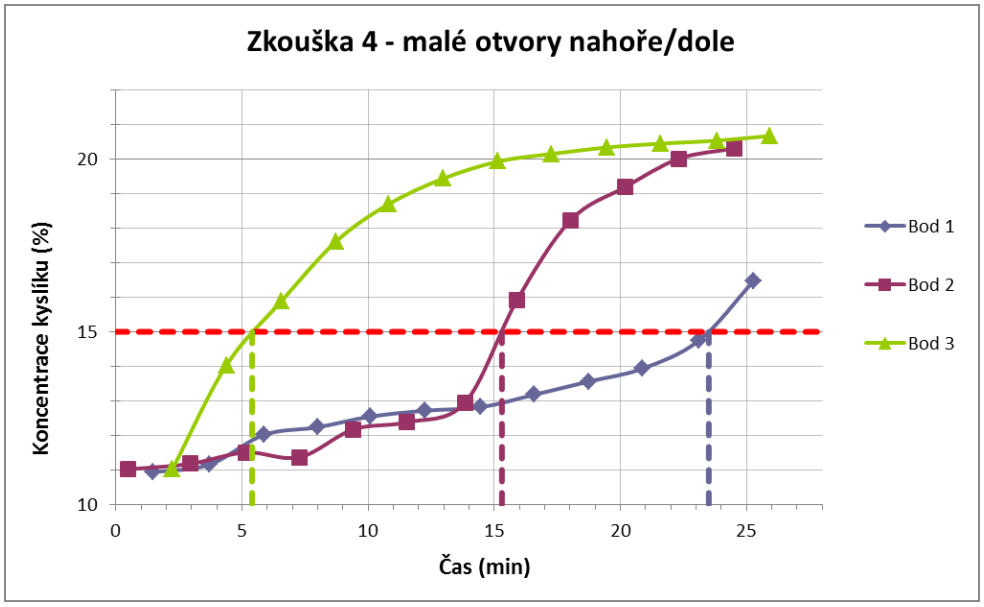


Graf 3 Výsledky zkoušky 3 – velké otvory nahoře/dole [Vlastní]

Při zkoušce 4 byla jedna clona s malými otvory instalována v horní části a jedna ve spodní části chráněného prostoru (Obr. 46). Byl použit zásobník s objemem 50,7 litrů. Teplota naměřená na zásobníku byla 11,9 °C. Prvním měřením byl bod 2. Koncentrace kyslíku na začátku zkoušky byla 21,07 %. Zkouška celkem trvala 26 minut a 12 sekund.

Obr. 46 Malé otvory nahoře i dole – z druhé strany plné desky [Vlastní]

V grafu 4 jsou vyneseny průměrné hodnoty ze zkoušky 4. Z grafu lze vyčíst, že postupný nárůst koncentrace kyslíku měl pouze bod 1. Koncentrace u bodu 2 s kolísáním narůstala do 14. minuty, poté následoval prudký nárůst. U bodu 3 to bylo obráceně, prudký nárůst koncentrace kyslíku byl zaznamenán do 15. minuty a poté koncentrace narůstala postupně. Tímto nárůstem bylo způsobeno, že bod 3 byl první, který překročil hranici 15 % v 5 minutách a 24 sekundách. Druhým bodem, který překročil hranici, byl bod 2 v 15 minutách a 18 sekundách. Posledním bodem byl bod 1 v 23 minutách a 30 sekundách.



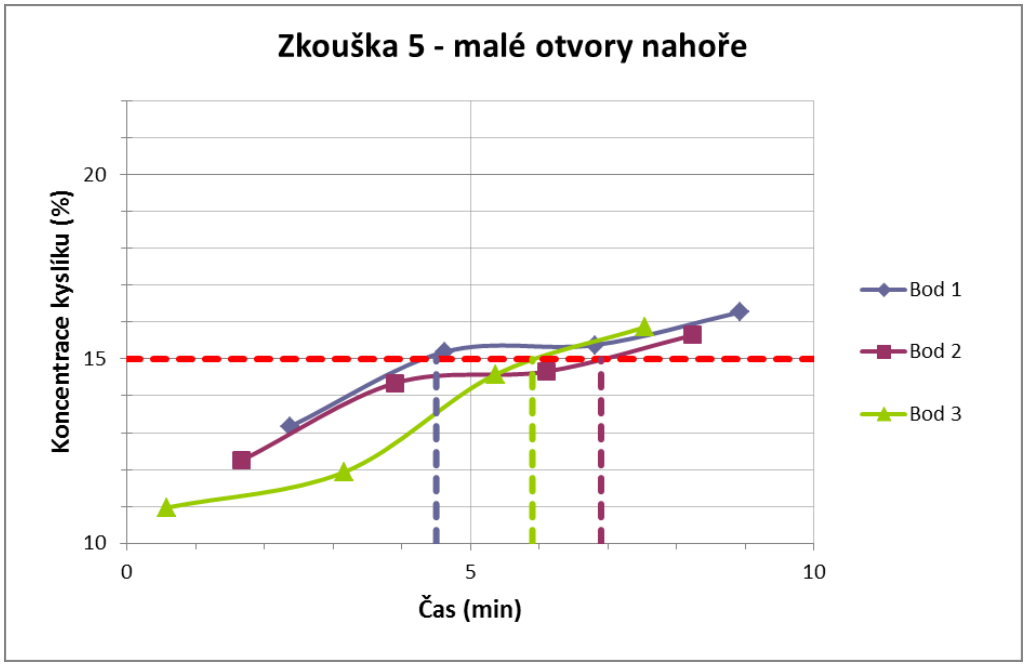
Graf 4 Výsledky zkoušky 4 – malé otvory nahoře/dole [Vlastní]

Při zkoušce 5 byly obě clony s malými otvory v horní části chráněného prostoru (Obr. 47). Byl použit zásobník s objemem 51 litrů. Teplota naměřená na zásobníku byla 11,9 °C. Měřit se začalo v bodě 3. Koncentrace kyslíku na začátku zkoušky byla 21,06 %. Zkouška celkem trvala 9 minut a 10 sekund.

Obr. 47 Malé otvory nahoře – dole plné desky [Vlastní]

V grafu 5 jsou vyneseny průměrné hodnoty zkoušky 5. Tato zkouška byla nejkratší ze všech zkoušek. Z grafu lze vyčíst postupný nárůst koncentrace kyslíku v bodě 3, rychlé nárůsty

koncentrace bodů 1 a 2, poté ustálení a následně opět mírný nárůst. Při této zkoušce hranici 15 % přesáhl bod 1 ve 4 minutách a 30 sekundách, dalším bodem byl bod 3 v 5 minutách a 54 sekundách a posledním byl bod 2 v 6 minutách a 54 sekundách.

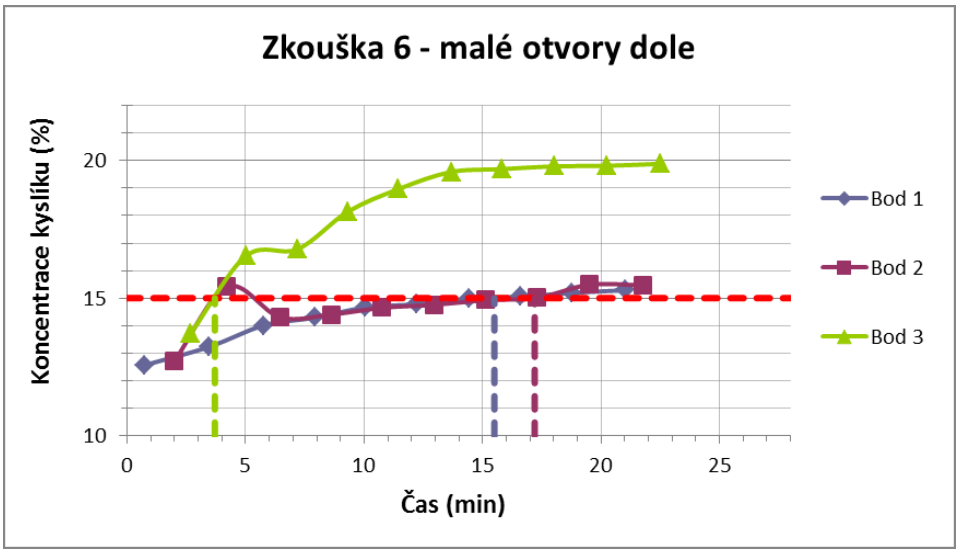


Graf 5 Výsledky zkoušky 5 – malé otvory nahoře [Vlastní]

Při zkoušce 6 byly obě clony s malými otvory ve spodní části chráněného prostoru (Obr. 48). Byl použit zásobník s objemem 50,9 litrů. Teplota naměřená na zásobníku byla 10,1 °C. Měření začalo od bodu 1. Koncentrace kyslíku na začátku zkoušky byla 21,06 %. Zkouška celkem trvala 23 minut a 38 sekund.

Obr. 48 Malé otvory dole [Vlastní]

V grafu 6 jsou vyneseny průměrné hodnoty zkoušky 6. Z grafu lze vyčíst postupný nárůst koncentrace kyslíku ve všech bodech. V bodě 2 a 3 se vyskytly mírné výkyvy. Jako první překročil hranici 15 % bod 3 v 3 minutách a 42 sekundách, dalším byl bod 1 v 15 minutách a 30 sekundách a posledním byl bod 2 v 17 minutách a 12 sekundách. Je patrné, že u obou zkoušek s otvory dole došlo k nejrychlejšímu nárůstu koncentrace ve spodním bodě 3.

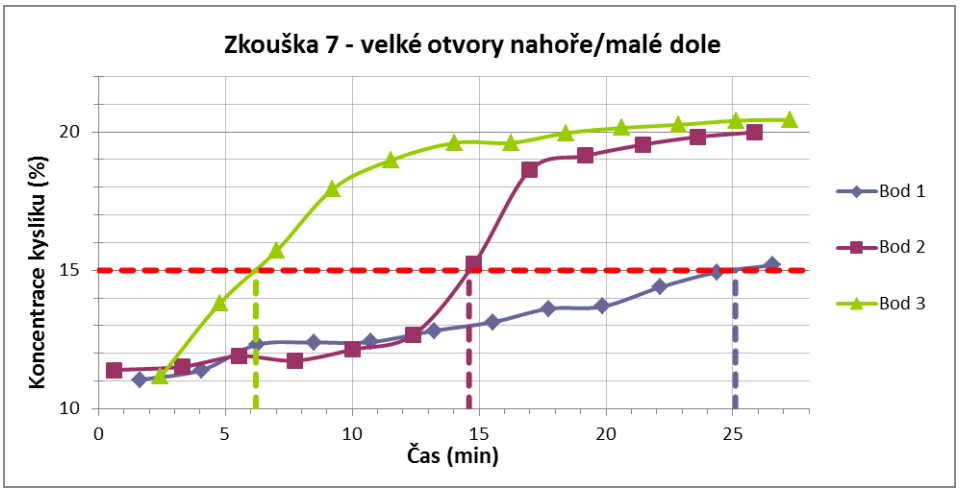


Graf 6 Výsledky zkoušky 6 – malé otvory dole [Vlastní]

Při zkoušce 7 byla clona s velkými otvory v horní části a clona s malými otvory ve spodní části chráněného prostoru na jedné straně (Obr. 49), z druhé strany byly plné desky. Byl použit zásobník s objemem 50,9 litrů. Teplota naměřená na zásobníku byla 8,4 °C. Začátek měření byl od bodu 2. Koncentrace kyslíku na začátku zkoušky byla 21,06 %. Zkouška celkem trvala 27 minut a 32 sekund.

Obr. 49 Velké otvory nahoře – malé otvory dole [Vlastní]

V grafu 7 jsou vyneseny průměrné hodnoty zkoušky 7. Z grafu lze vyčíst prudký nárůst koncentrace kyslíku v bodě 3, hranice 15 % byla překonána v 6 minutách a 12 sekundách. V bodě 2 koncentrace kolísala, ve 12 minutě došlo k prudkému nárůstu až na 19 % koncentrace, hranice 15 % překonána ve 14 minutách a 36 sekundách. U bodu 1 docházelo k postupnému nárůstu koncentrace s jedním malým vychýlením, hranice 15 % překonána ve 25 minutách a 6 sekundách. Nejrychleji k překročení hranice 15 % došlo v bodě 3, poté v bodě 2 a nakonec v bodě 1.

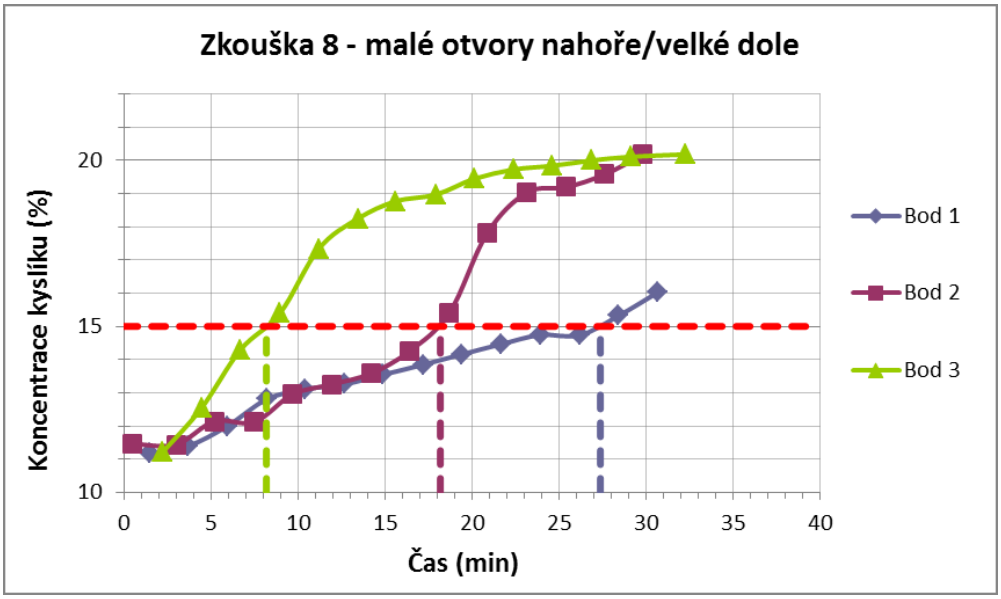


Graf 7 Výsledky zkoušky 7 – velké otvory nahoře/malé dole [Vlastní]

Při zkoušce 8 byla clona s malými otvory v horní části a clona s velkými otvory ve spodní části chráněného prostoru na stejné straně (Obr. 50). Z druhé strany byly plné desky. Byl použit zásobník s objemem 50,9 litrů. Teplota naměřená na zásobníku byla 5,7 °C. Začátkem měření byl bod 2. Koncentrace kyslíku na začátku zkoušky byla 21,05 %. Zkouška celkem trvala 33 minut a 13 sekund.

Obr. 50 Malé otvory nahoře a velké dole [Vlastní]

V grafu 8 jsou vyneseny průměrné hodnoty zkoušky 8. Z grafu lze vyčíst prudký nárůst koncentrace kyslíku v bodě 3 a poté pomalé stoupání, hranice 15 % koncentrace byla překročena v 8 minutách a 12 sekundách. V bodě 2 byl nejdříve postupný nárůst, poté prudký a následně opět pomalý nárůst, hranice překročena v 18 minutách a 12 sekundách. Bod 1 narůstal postupně s občasnými výkyvy, hranici překonal ve 27 minutách a 24 sekundách.

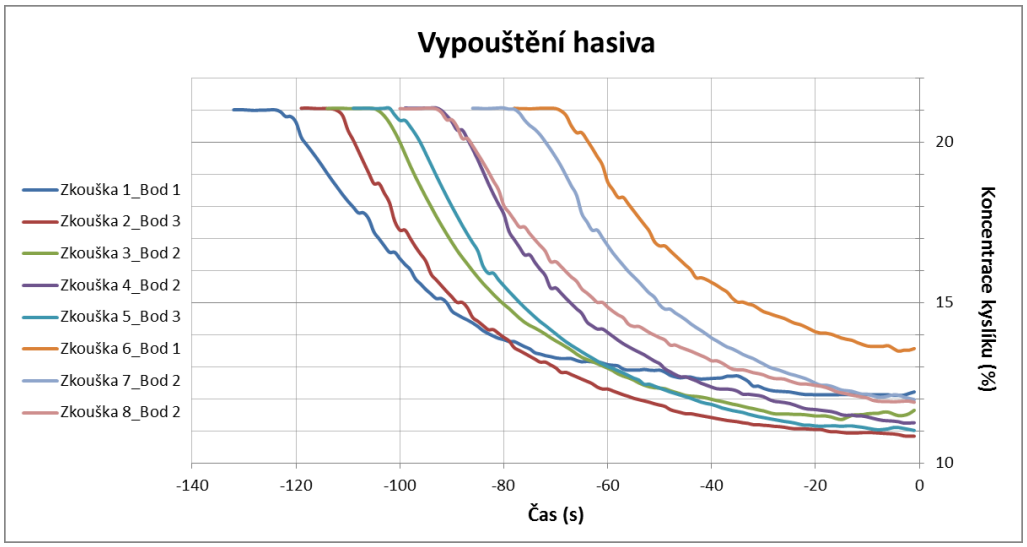


Graf 8 Výsledky zkoušky 8 – malé otvory nahoře/velké dole [Vlastní]

V grafu 9 jsou vynesena data z vypouštění hasiva jednotlivých zkoušek. Osa x zobrazuje čas, jak dlouho bylo hasivo při jednotlivých zkouškách vypouštěno, osa y zobrazuje, jak během vypouštění klesala koncentrace kyslíku. Jednotlivá vypouštění nejsou stejně dlouhá, ale všechny končí v čase nula, kdy byla zavřena přetlaková vyrovnávací klapka. Z grafu lze vyčíst, že u zkoušek nebyla na konci vypouštění hasiva stejná koncentrace kyslíku. Nejnižší koncentrace dosáhla zkouška 2 s clonami s velkými otvory nahoře, konkrétně 10,86 %, naopak nejvyšší koncentrace dosáhla zkouška 6 s clonami s malými otvory dole, konkrétně 13,40 %.

Druhou zkouškou s nejvyšší koncentrací kyslíku byla zkouška 1 s clonami s velkými otvory dole, konkrétně 12,21 %. Třetí zkouškou byla zkouška 7 s clonami s velkými otvory nahoře a malými otvory dole, konkrétně 11,94 %. Čtvrtou zkouškou byla zkouška 8 s clonami s malými otvory nahoře a velkými otvory dole, konkrétně 11,88 %. Pátou zkouškou byla zkouška 3 s clonami s velkými otvory nahoře i dole, konkrétně 11,78 %. Šestou zkouškou byla zkouška 4 s clonami s malými otvory nahoře i dole, konkrétně 11,25 %. Sedmou zkouškou byla zkouška 5 s clonami s malými otvory nahoře, konkrétně 11,03 % a poslední byla již výše uvedená zkouška 2.

Různá doba vypouštění je způsobena ručním otevíráním a zavíráním ventilu zásobníku.



Graf 9 Vypouštění hasiva u jednotlivých zkoušek [Vlastní]

7.2 Průběh a výsledky zkoušek Door Fan Testu

Celkem proběhlo 8 Door Fan Testů při různých kombinacích typů clon v chráněném prostoru. Kombinace typů clon se opakovala stejně jako u předchozích zkoušek. Jednotlivé zkoušky Door Fan Testu proběhly téměř stejně tak, jak je popsáno v podkapitole 3.2. Rozdílem bylo jiné zapojení hadiček při měření podtlaku/přetlaku, jelikož rám se vzduchotěsnou plachtou a měřidly byl otočen směrem ven z chráněného prostoru. Při měření zevnitř, jak je popsáno v podkapitole 3.2, by přítomnost osoby v tak malém prostoru mohla zkreslit výsledky proudění vzduchu a výsledky měření. I když rám s měřidly byl obráceně, ventilátor byl při měření podtlaku otočen clonami dovnitř chráněného prostoru a při přetlaku clonami ven. Po provedení měření byla vždy provedena provozní kontrola kalibrace s kladným výsledkem.

Na obrázku 51 je zobrazeno odlišné zapojení hadiček na měřidle DG-700. Červená a modrá jsou zapojené stejně. Zelená hadička místo vnějšího tlaku snímá vnitřní tlak v chráněném prostoru, tj. je místo v levém dolním vstupu zapojená v levém horním vstupu, druhý konec zůstává zapojen v průchodce v plachtě, na jejíž druhé straně je nasazena průhledná hadička. Volný vstup na měřidle, kde je obvykle napojena zelená hadička, snímá tlak mimo chráněný prostor.

Obr. 51 Měřidlo DG-700 s odlišným zapojením hadiček [Vlastní]

Pro jednotlivé zkoušky s přesným umístěním clon, jako u zkoušek s vypouštěním hasiva, byla těsnost chráněného prostoru měřena při podtlaku (Obr. 52) i přetlaku. Obě veličiny byly měřeny v rozmezí od 10 Pa do 60 Pa po 10 Pa dle normy ČSN EN 15004-1. Před a po každém měření při podtlaku a přetlaku byl měřen výchozí tlakový rozdíl. Výchozí tlakový rozdíl se musí pohybovat v rozmezí od -3 do 3 Pa. Během měření při podtlaku a přetlaku byly pro každou veličinu zaznamenány součinitel proudění (CL) a exponent proudění (n), se kterými se dále počítá. Exponent proudění, který je uveden v programu TECTITE Express 4.1, je dále v rovnicích označen jako charakteristika netěsností (n). Při každé zkoušce byla naměřena teplota uvnitř a vně chráněného prostoru pomocí dotykového teploměru GTH 1170. Posledními údaji, které se musí získat pro výpočet rovnic teoretické doby udržování hasiva, je dynamický tlak při podmínkách doby udržování koncentrace (P_{bh}). Pomocí sondy s měřidlem DG-700 se odečtou hodnoty tlakových rozdílů mezi vnitřním prostorem a místem bezprostředně vně horní a dolní netěsnosti a po dosazení do rovnice provede výpočet P_{bh}. Souhrn všech naměřených výsledků z měření při podtlaku a přetlaku je obsažen v příloze PI.

Obr. 52 Měření při podtlaku v chráněném prostoru [Vlastní]

Po skončení všech zkoušek proběhlo vyhodnocení naměřených hodnot a pro každou zkoušku byla spočítána teoretická doba udržování hasiva ve standardním prostoru bez průběžného směšování. Konkrétně jsou zde vypočítány rovnice pro určení teoretické doby udržování hasiva pro zkoušku 1 s rozložením clon velké otvory dole.

Zkouška 1 – velké otvory dole

Tlaky ve sloupcích – tlak, který vyvolává sloupec hasivo/vzduch

Dle následující rovnice se vypočítá hustota směsi hasivo/vzduch při 20 °C a počáteční koncentraci:

$$\rho_{mi} = \rho_e \frac{c_i}{100} + \rho_a \frac{100 - c_i}{100} \qquad [27]$$

kde:

- ρ_{mi} – hustota směsi hasivo/vzduch při počáteční koncentraci c_i, 20 °C a atmosférickém tlaku 1,013 [kg/m^3]
- ρ_a – hustota vzduchu je 1,205 při 20 °C a 1,013 bar [kg/m^3]
- ρ_e – hustota hasiva při 20 °C a atmosférickém tlaku 1,013 bar [kg/m^3]
- c_i – počáteční objemová koncentrace hasiva ve vzduchu pro daný prostor na počátku doby udržování koncentrace [% obj. podíl]

$$\rho_{mi} = 1{,}165\ \frac{48{,}95}{100} + 1{,}205\ \frac{100 - 48{,}95}{100}$$

$$\rho_{mi} = 1{,}186\ \text{kg/m}^3$$

Podle následující rovnice se vypočítá počáteční tlak ve sloupci směsi hasivo/vzduch:

$$P_{mi} = g_n H_o |\rho_{mi} - \rho_a| \qquad [27]$$

kde:

- P_{mi} – počáteční tlak ve sloupci hasivo/vzduch [Pa]
- g_n – zrychlení vlivem gravitační síly (9,80665) [m/s^2]
- H_o – celková výška prostoru [m]

$$P_{mi} = 9{,}80665 * 2{,}37 * |1{,}186 - 1{,}205|$$

$$P_{mi} = 0{,}452\ \text{Pa}$$

Výška ekvivalentního ostrého rozhraní neboli dělicí hranice se vypočítá podle rovnice pro hasiva lehčí než vzduch ($\rho_a > \rho_e$):

$$H_e = H\,\frac{c_i}{2c_{min}} \qquad [27]$$

kde:

- H_e – výška ekvivalentního ostrého rozhraní (dělicí hranice) [m]
- H – výška od nejnižšího bodu prostoru [m]
- c_{min} – minimální objemová koncentrace hasiva ve vzduchu ve výšce H v daném prostoru na konci doby udržování koncentrace [% obj. podíl]

$$H_e = 2{,}133\ \frac{48{,}95}{2 * 41{,}6}$$

$$H_e = 1{,}255\ \text{m}$$

Tlak ve sloupci směsi hasivo/vzduch se vypočítá dle rovnice:

$$P_{mf} = g_n(H_o - H_e)|\rho_{mi} - \rho_a| \qquad [27]$$

kde:

- P_{mf} – koncový tlak ve sloupci hasivo/vzduch [Pa]

$$P_{mf} = 9{,}80665\ (2{,}37 - 1{,}255)|1{,}186 - 1{,}205|$$

$$P_{mf} = 0{,}213\ \text{Pa}$$

Pro následující výpočty se ze souboru .bld z měření s ventilátorem při podtlaku/přetlaku musí použít dvě hodnoty. První hodnota je *n* a druhá hodnota je *CL*, která se musí přepočítat na k_0.

kde:

- n – charakteristika netěsností [1]
- k_0 - charakteristika netěsností [$m^3/(s\ Pa^n)$]
- CL – součinitel proudění [$m^3/(h\ Pa^n)$]

n (podtlak) = 0,507

n (přetlak) = 0,523

Z těchto dvou hodnot se bude poté počítat průměr.

Z *CL* se dostane k_0 přepočtem z [$m^3/(h\ Pa^n)$] na [$m^3/(s\ Pa^n)$].

CL = 197,85 $m^3/(h\ Pa^n)$

CL = 204,41 $m^3/(h\ Pa^n)$

$k_0 = CL \div 3\ 600$

k_0 (podtlak) = 0,055 $m^3/(s\ Pa^n)$

k_0 (přetlak) = 0,056 $m^3/(s\ Pa^n)$

Pomocí následujících rovnic se vypočítají korigované hodnoty a označí se k_1. Tyto rovnice se použijí pro přepočet průtoku při účincích teploty a tlakových rozdílů na hustotu vzduchu.

Rovnice pro podtlak:

$$k_1 = k_0 \left(\frac{P_c(T_e+273)}{P_t(T_c+273)}\right)^{1/2} \left(\frac{T_o+273}{T_e+273}\right) \left(\frac{P_t(20+273)}{1{,}013(T_o+273)}\right)^n \quad [27]$$

Rovnice pro přetlak:

$$k_1 = k_0 \left(\frac{P_c(T_o+273)}{P_t(T_c+273)}\right)^{1/2} \left(\frac{T_e+273}{T_o+273}\right) \left(\frac{P_t(20+273)}{1{,}013(T_e+273)}\right)^n \quad [27]$$

kde:

- k_1 – charakteristika netěsností [$m^3/(s\ Pa^n)$]
- P_c – atmosférický tlak v průběhu kalibrace ventilátoru [bar]
- P_t – atmosférický tlak v okamžiku zkoušky s ventilátorem [bar]
- T_c – teplota ovzduší v průběhu kalibrace ventilátorové jednotky [°C]
- T_e – teplota vzduchu uvnitř prostoru [°C]
- T_o – teplota vzduchu vně prostoru [°C]

Podtlak:

$$k_1 = 0{,}055 \left(\frac{0{,}992(6+273)}{1{,}013(21+273)}\right)^{1/2} \left(\frac{5+273}{6+273}\right) \left(\frac{1{,}013(20+273)}{1{,}013(5+273)}\right)^{0{,}507}$$

$$k_1 = 0{,}054\ m^3/(s\ Pa^n)$$

Přetlak:

$$k_1 = 0{,}056 \left(\frac{0{,}992(5+273)}{1{,}013(21+273)}\right)^{1/2} \left(\frac{6+273}{5+273}\right) \left(\frac{1{,}013(20+273)}{1{,}013(6+273)}\right)^{0{,}523}$$

$$k_1 = 0{,}055\ m^3/(s\ Pa^n)$$

Pro následující rovnice je nutné nejprve vypočítat Q_l, kdy jedno vypočítané Q_l se označí jako Q_{lm} a druhé vypočítané Q_l se označí jako $Q_{lm/2}$.

$$Q_l = k_1 |P_f|^n \quad [27]$$

kde:

- Q_l – průtok vzduchu, teplota a tlak přepočtené na srovnávací podmínky (20 °C, atmosférický tlak 1,013 bar) [m^3/s]
- P_f – tlakový rozdíl vyvolaný ventilátorem (jedna hodnota P_f se rovná P_{mi} a druhá hodnota P_f se rovná polovině P_{mi}) [Pa]

Nejprve se vypočítá průměr k_1 a n.

n (průměr) = 0,515

k1 (průměr) = 0,055 $m^3/(s\ Pa^n)$

Z těchto průměrů se vypočítá Q_{lm} a $Q_{lm/2}$:

$$Q_{lm} = k_1|P_f|^n$$

$$Q_{lm} = 0{,}055|0{,}452|^{0{,}515}$$

$$Q_{lm} = 0{,}036\ m^3/s$$

$$Q_{lm/2} = k_1|P_f|^n$$

$$Q_{lm/2} = 0{,}055|0{,}226|^{0{,}515}$$

$$Q_{lm/2} = 0{,}025\ m^3/s$$

Z předchozích výsledků se vypočítají průměrné charakteristiky netěsností *n* a k_l dle rovnic:

$$n = \frac{lnQ_{lm} - lnQ_{lm/2}}{ln2} \quad [27]$$

$$k_1 = \exp\left(\frac{lnQ_{lm/2}lnP_{mi} - lnQ_{lm}(lnP_{mi} - ln2)}{ln2}\right) \quad [27]$$

$$n = \frac{\ln 0{,}036 - \ln 0{,}025}{\ln 2}$$

$$n = 0{,}515$$

$$k_1 = \exp\left(\frac{(\ln 0{,}025 * \ln 0{,}452) - (\ln 0{,}036 * (\ln 0{,}452 - \ln 2))}{\ln 2}\right)$$

$$k_1 = 0{,}055 \text{ m}^3/(\text{s Pa}^n)$$

Dále se vypočítají plochy netěsností:

$$A_e = k_1 {P_{ref}}^{n-0{,}5} \left(\frac{\rho_a}{2}\right)^{1/2} \quad [27]$$

$$ELA = \frac{A_e}{0{,}61} \quad [27]$$

kde:

- A_e – efektivní plocha netěsností [m^2]
- P_{ref} – referenční tlakový rozdíl pro ekvivalentní plochu netěsností [Pa]
- ELA – ekvivalentní plocha netěsností [m^2]

$$A_e = 0{,}055 * 10^{0{,}515-0{,}5} \left(\frac{1{,}205}{2}\right)^{1/2}$$

$$A_e = 0{,}044 \text{ m}^2$$

$$ELA = \frac{0{,}044}{0{,}61}$$

$$ELA = 0{,}072 \text{ m}^2$$

Pro výpočet teoretické doby udržování koncentrace je nutné spočítat korelační a zjednodušující konstanty k_2, dále k_3 a k_4 konkrétně pro hasiva lehčí než vzduch ($\rho_a > \rho_e$):

$$k_2 = k_1 \left(\frac{\rho_a}{2}\right)^n \quad [27]$$

$$k_3 = \frac{2 g_n |\rho_{mi} - \rho_a|}{\rho_{mi} + \rho_a \left(\frac{1-F}{F}\right)^{1/n}} \quad [27]$$

$$k_4 = \frac{2 P_{bh}}{\rho_{mi} + \rho_a \left(\frac{1-F}{F}\right)^{1/n}} \quad [27]$$

kde:

- k_2 – korelační konstanta [$kg^n m^{3(1-n)}/(s\ Pa^n)$]
- k_3 – zjednodušující konstanta [m/s^2]
- k_4 – zjednodušující konstanta [$Pa\ m^3/kg$]
- F – dolní podíl netěsnosti, efektivní plocha netěsností dolních úniků děleno efektivní plochou netěsností všech úniků [1]
- P_{bh} – dynamický tlak v průběhu doby udržování koncentrace [Pa]

F bylo v této zkoušce stanoveno 0,85.

$$k_2 = 0{,}055\left(\frac{1{,}205}{2}\right)^{0{,}515}$$

$$k_2 = 0{,}042\ kg^n m^{3(1-n)}/(s\ Pa^n)$$

$$k_3 = \frac{2 * 9{,}80665|1{,}186 - 1{,}205|}{1{,}186 + 1{,}205\left(\frac{1-0{,}85}{0{,}85}\right)^{1/0{,}515}}$$

$$k_3 = 0{,}311\ m/s^2$$

Pro k_4 se musí prvně vypočítat P_{bh}:

$$P_{bh} = P_{bh(horní)} - P_{bh(dolní)} \quad [27]$$

$$P_{bh} = 0{,}2 - (-0{,}2)$$

$$P_{bh} = 0{,}4\ Pa$$

$$k_4 = \frac{2 * 0{,}4}{1{,}186 + 1{,}205\left(\frac{1-0{,}85}{0{,}85}\right)^{1/0{,}515}}$$

$$k_4 = 0{,}652\ Pa\ m^3/kg$$

Teoretická doba udržování koncentrace pro standardní prostory bez průběžného směšování se vypočítá:

$$t = \frac{V}{H_o}\left(\frac{(k_3 H_o + k_4)^{1-n} - (k_3(H_o - H_e) + k_4)^{1-n}}{(1-n)k_2(1-F)k_3}\right) \quad [27]$$

kde:

- t – teoretická doba udržování koncentrace [s]
- V – čistý objem prostoru [m^3]

$$t = \frac{13{,}98}{2{,}37}\left(\frac{(0{,}311 * 2{,}37) + 0{,}652)^{1-0{,}515} - (0{,}311(2{,}37 - 1{,}255) + 0{,}652)^{1-0{,}515}}{(1 - 0{,}515) * 0{,}042 * (1 - 0{,}85) * 0{,}311}\right)$$

$$t = 1071{,}292 \text{ s}$$

$$t = 17{,}855 \text{ min}$$

Teoretická doba udržování koncentrace pro zkoušku 1 s clonami s velkými otvory dole je 17 minut a 51 sekund.

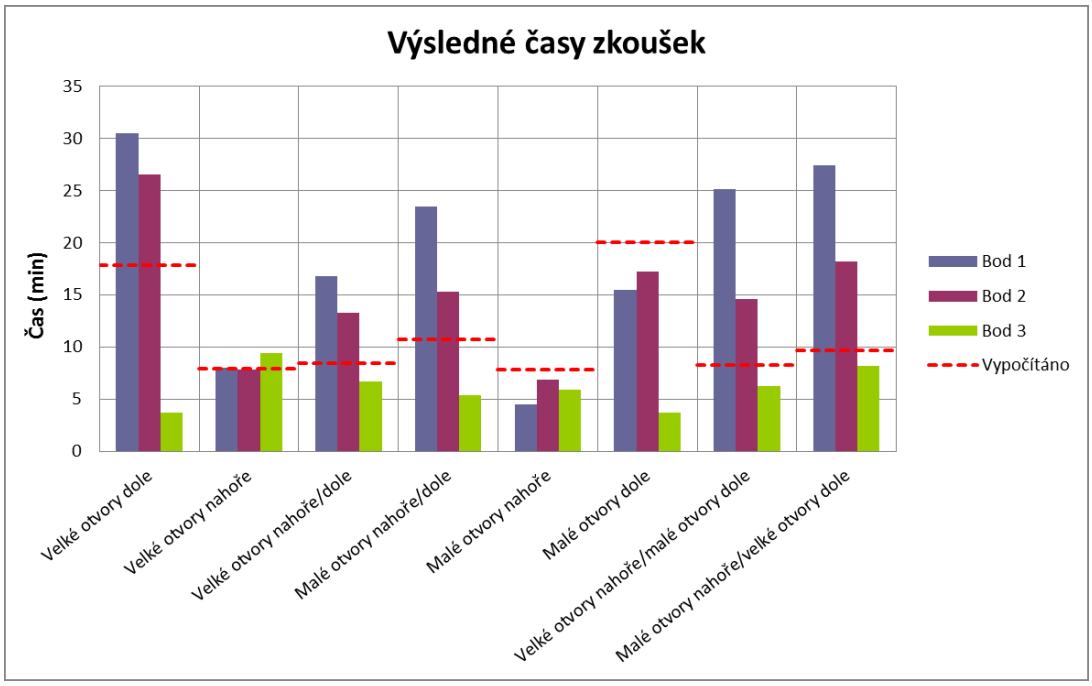
Tímto způsobem byly vypočítány teoretické doby udržování koncentrace (standardní prostory) i pro zkoušky 2 až 8, které v práci nejsou uvedeny. Výsledné časy teoretické doby udržování koncentrace jsou uvedeny v následující tabulce (Tab. 13), kde jsou zároveň uvedeny i výsledné hodnoty předchozích grafů.

Tab. 13 Výsledné časy zkoušek s vypouštěním hasiva a vypočítané z rovnic pro teoretické udržování koncentrace hasiva

Popis měření	č. měření	Hodnoty z grafů			Vypočítáno
		Bod 1	Bod 2	Bod 3	
		[min]	[min]	[min]	[min]
Velké otvory dole	1	30:30	26:30	3:42	17:51
Velké otvory nahoře	2	8:00	7:48	9:24	7:56
Velké otvory nahoře/dole	3	16:48	13:18	6:42	8:25
Malé otvory nahoře/dole	4	23:30	15:18	5:24	10:44
Malé otvory nahoře	5	4:30	6:54	5:54	7:51
Malé otvory dole	6	15:30	17:12	3:42	20:03
Velké otvory nahoře/malé otvory dole	7	25:06	14:36	6:12	8:15
Malé otvory nahoře/velké otvory dole	8	27:24	18:12	8:12	9:40

[Vlastní]

Výsledné časy jednotlivých zkoušek jsou graficky znázorněny v grafu 10. Osa y zobrazuje časy jednotlivých bodů při zkouškách s reálným vypouštěním hasiva. Barevnost jednotlivých bodů byla zachována jako v předchozích grafech. Modře je zobrazen bod 1, fialově je zobrazen bod 2 a zeleně je zobrazen bod 3. Červená přerušovaná čára zobrazuje vypočtené výsledky rovnic teoretické doby udržování hasiva (standardní prostory). Z grafu lze vyčíst, že u bodu 3 je čas ze zkoušek (mimo zkoušky 2) kratší než vypočítaný čas. Pokud jsou otvory v chráněném prostoru nahoře a dole nebo jenom velké otvory dole jsou doby udržování hasiva v bodech 1 a 2 výrazně vyšší než vypočítaná hodnota. Při zkoušce malé otvory nahoře a malé otvory dole jsou všechny naměřené časy kratší než vypočítaná hodnota.



Graf 10 Výsledné časy jednotlivých zkoušek [Vlastní]

8 VYHODNOCENÍ OTÁZEK HYPOTÉZ A DOPORUČENÍ

Z provedených zkoušek a jejich následného vyhodnocení se zjistily následující závěry, které jsou zároveň i odpověďmi na otázky vycházející z hypotéz stanovených pro tuto diplomovou práci: „Teoretické výsledky doby udržování koncentrace hasiva ze zkoušky Door Fan Test se shodují s praktickým fungováním GHZ a malé netěsnosti a velké netěsnosti o stejné ploše se chovají stejně."

8.1 Vyhodnocení otázek hypotéz

První položenou otázkou bylo, zda se shodují teoretické výsledky doby udržování koncentrace hasiva ze zkoušky Door Fan Test s praktickým fungováním GHZ.

Z výsledků obou sad zkoušek bylo zjištěno, že doba udržování hasiva v bodě 3 (spodní část chráněného prostoru) je výpočtovou metodou podceněna a tedy chráněná výška je nižší, než bylo předpokládáno. V bodě 1 a 2 (horní a střední část) je ve většině případů doba udržování hasiva vyšší, než je vypočítaná hodnota.

Speciálním případem je zkouška malé otvory nahoře a zkouška malé otvory dole, kdy je vypočítaná doba udržování hasiva výrazně vyšší ve všech bodech, než bylo naměřeno. Koncentrace kyslíku se zvýšila ve všech bodech velmi rychle, a tudíž lze konstatovat, že výpočet teoretické doby udržování hasiva pro tyto případy neodpovídá.

Z grafického zpracování výsledků je vidět, že výpočtová metoda se nejvíce přibližuje naměřeným hodnotám v případech, kdy netěsnosti jsou rovnoměrně rozloženy nahoře a dole. Extrémní rozložení netěsností (všechny netěsnosti nahoře nebo dole) zhoršuje přesnost výpočtu a to i přesto, že toto rozložení netěsností bylo ve výpočtu zohledněno podílem netěsností F.

Druhou položenou otázkou bylo, zda se chovají malé netěsnosti stejně jako velké netěsnosti o stejné ploše.

Z provedeného experimentu vyplývá, že malé netěsnosti zkracují skutečnou dobu udržování koncentrace hasiva více než velké netěsnosti. Toto lze vidět zejména při porovnání zkoušky s clonami s velkými otvory dole a zkoušky s malými otvory dole, a zkoušky s clonami s velkými otvory nahoře a malými otvory dole.

8.2 Doporučení

Ze zjišťování, zpracování a vyhodnocení informací a dat pro provedení experimentu bylo stanoveno několik návrhů případného pokračování této práce a obecných doporučení souvisejících s touto tématikou.

V české technické normě ČSN EN 15004-1 není jasně definováno, odkud se počítá chráněná výška prostoru pro hasiva těžší/lehčí než vzduch. Z provedených zkoušek však vyplynulo, že výška pro hasiva lehčí než vzduch by měla být stanovena od horní hranice prostoru směrem dolů. Pod chráněnou výškou by se neměly vyskytovat žádné hořlavé materiály, které by mohly způsobit znovuobnovení požáru, protože koncentrace hasiva v tomto prostoru klesá velmi rychle a doba udržování hasiva je výrazně nižší než požadované hodnoty. Zjištěné výsledky teoretické doby udržování hasiva a reálného vypuštění hasiva neodpovídají stanovené hypotéze. Prvním doporučením je v normě jasně specifikovat, jak se chráněná výška správně stanovuje pro hasiva lehčí/těžší než vzduch.

V případě zkoušky velké otvory nahoře a zkoušky malé otvory nahoře je průběh koncentrace v jednotlivých bodech zcela odlišný od ostatních měření a neplatí tedy pro ně předchozí závěr o chráněné výšce z horní hranice prostoru směrem dolu. Koncentrace kyslíku stoupá rychleji v bodech 1 a 2, koncentrace v bodě 3 stoupá nejpomaleji. Vzhledem k tomu, že pro toto nastavení těsnosti chráněného prostoru byla provedena pouze dvě měření, dalším doporučením je rozšířit tento experiment a zaměřit se na podrobnější prozkoumání průběhu koncentrace hasiva v různých výškách chráněného prostoru při tomto nastavení.

Pokud by byl prováděn experiment zabývající se touto problematikou, bylo by vhodné vytvořit otvory i jinde než u tohoto experimentu, např. provést několik zkoušek s otvory uprostřed chráněného prostoru.

Většina hasicích plynů je zahrnuta v ČSN EN 15004-X – Stabilní hasicí zařízení – Plynová hasicí zařízení – Část 2 - 10 – Fyzikální vlastnosti a návrh plynových hasicích zařízení. Proto se s nimi počítá v ČSN EN 15004-1, která je výchozím dokumentem pro zkoušku těsnosti s plynovým stabilním hasicím zařízením. Avšak hasicí plyn CO_2, který se v praxi také často využívá, v této normě zahrnut není, má svojí samostatnou normu ČSN ISO 6183 - Hasicí zařízení – Hasicí zařízení na oxid uhličitý pro použití v objektech – Návrh a instalace. Posledním návrhem je požadavek na sjednocení českých technických norem pro všechny využívané hasicí plyny.

ZÁVĚR

Obě stanovené hypotézy pro diplomovou práci vliv těsnosti chráněného prostoru na funkci plynového stabilního hasicího zařízení byly vyvráceny.

V teoretické části jsem uvedla problematiku požární bezpečnosti staveb, v rámci které je uveden popis požárně bezpečnostních zařízení a stabilních hasicích zařízení. Rovněž jsem uvedla základní charakteristiku plynových stabilních hasicích zařízení s používanými hasicími plyny, na které navazují základní informace o vzduchotěsnosti a popis zkoušky Door Fan Test, která ověřuje těsnost chráněného prostoru s instalovanými plynovými stabilními hasicími zařízeními. Dále jsem popsala scénář prováděného experimentu s použitým hasicím plynem a také nejistoty a nedostatky, které se při provádění experimentu vyskytly.

V praktické části jsem uvedla detailní popis přípravy chráněného prostoru pro provedení experimentu a popis měřicích zařízení, která byla použita, dále průběh experimentu a jeho výsledky. V poslední kapitole jsem vyhodnotila otázky hypotéz a zároveň navrhla doporučení, která vyplynula při sběru informací pro tento experiment a z provedení experimentu.

Pro zpracování diplomové práce jsem použila metody experimentu, komparace a měření.

V průběhu experimentu jsem naměřila data, která jsem následně porovnávala a zpracovala jsem závěry pro vyhodnocení stanovených otázek.

Dle závěru první hypotézy, kdy výsledky teoretické doby udržování hasiva a reálného vypuštění hasiva si neodpovídaly, by bylo vhodné provedení podrobné studie s větším množstvím měřicích zařízení a s vyloučením co nejvíce chybových faktorů, především by se zkušební chráněný prostor měl nacházet uvnitř budovy pro vyloučení venkovních vlivů na chráněný prostor.

Závěr druhé hypotézy upozorňuje na to, že je dobré vzít v potaz velikosti netěsností při přípravě, protože menší netěsnosti mohou výrazně zhoršit těsnost chráněného prostoru pro aplikaci plynového stabilního hasicího zařízení.

Při zpracování literární rešerše nebyly nalezeny žádné podobné experimenty, s kterými by se zjištěné výsledky této diplomové práce mohly porovnat.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

[1] KREJČOVÁ, Soňa. *Kontrola těsnosti prostoru pro plynová stabilní hasicí zařízení*. Uherské Hradiště, 2017. Bakalářská práce. Fakulta logistiky a krizového řízení Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně. Vedoucí práce Doc. Ing. Miroslav Tomek, PhD.

[2] KRATOCHVÍL, Václav, Šárka NAVAROVÁ a Michal KRATOCHVÍL. *Požárně bezpečnostní zařízení ve stavbách: stručná encyklopedie pro jednotky PO, požární prevenci a odbornou veřejnost*. V Ostravě: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2011. Spektrum (Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství). ISBN 978-80-7385-103-3.

[3] BEBČÁK, Petr. *Požárně bezpečnostní zařízení*. 2. rozšířené vydání. V Ostravě: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2004. Spektrum (Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství). ISBN 80-86634-34-5.

[4] KRATOCHVÍL, Václav, Šárka NAVAROVÁ a Michal KRATOCHVÍL. *Stavby a požárně bezpečnostní zařízení: malá encyklopedie požární bezpečnosti objektů a technologií.* Praha: Ministerstvo vnitra - generální ředitelství Hasičského záchranného sboru ČR, 2010. ISBN 978-80-86640-53-2.

[5] BRADÁČOVÁ, Isabela. *Stavby z hlediska požární bezpečnosti*. Brno: ERA, 2007. Technická knihovna (ERA). ISBN 978-80-7366-090-1.

[6] BEBČÁK, Petr a Jan ČAPEK. *Kabelové rozvody v požární bezpečnosti staveb*. V Ostravě: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2013. Spektrum (Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství). ISBN 978-80-7385-137-8.

[7] KUČERA, Petr, Jiří POKORNÝ a Tomáš PAVLÍK. *Požární inženýrství - aktivní prvky požární ochrany*. V Ostravě: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2013. Spektrum (Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství). ISBN 978-80-7385-136-1.

[8] BRADÁČOVÁ, Isabela. *Požární bezpečnost staveb: nevýrobní objekty*. 2., aktualiz. vyd. V Ostravě: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2010. Spektrum (Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství). ISBN 978-80-86111-77-3.

[9] TRASER FIRE PROTECTION – Protipožární sprinklerové systémy. *Plynové stabilní hasicí zařízení* [online]. © 1991-2011 [cit. 2019-01-20]. Dostupné z: http://www.traser.eu/plynove-shz-co2-fm200-novec1230-inergen-dusik-cz/

[10] RYBÁŘ, Pavel. *Stabilní hasicí zařízení plynová, prášková, aerosolová a inertizační, provozuschopnost a účinnost SHZ*. Praha: Profesní komora požární ochrany, 2016. Edice Profesní komory požární ochrany. ISBN 978-80-260-9155-4.

[11] ČSN EN 12094-1 – ČSN EN 12094-13, ČSN EN 12094-16, ČSN EN 12094-17, ČSN EN 12094-20. *Stabilní hasicí zařízení – Komponenty plynových hasicích zařízení – Část 1 – Část 13, Část 16, Část 17, Část 20: Požadavky a zkušební metody pro určité komponenty*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, © 2002 - 2006. Třídicí znak: 389231.

[12] ŠENOVSKÝ, Michail a Karol BALOG. *Integrální bezpečnost*. V Ostravě: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2009. Spektrum (Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství). ISBN 978-80-7385-076-0.

[13] RYBÁŘ, Pavel. *Plynová hasicí zařízení* [článek]. Česká asociace pojišťoven.

[14] conVERTER. *Tabulky: Vzduch - Hustota vzduchu* [online]. 2002 [cit. 2019-02-05]. Dostupné z: https://www.converter.cz/tabulky/vzduch.htm

[15] PRŮHA, Miloš. Plynové hasicí systémy. *iMateriály portál časopisů Materiály pro stavbu a Stavitel pro odborníky ve stavebnictví* [online]. 2008, © Business Media, s. r. o., 2007–2017 [cit. 2019-02-12]. Dostupné z: https://imaterialy.dumabyt.cz/rubriky/tzb/plynove-hasici-systemy_101361.html

[16] DELLA-GIUSTINA, Daniel. *Fire safety management handbook*. Third edition. Boca Raton: Taylor & Francis, [2014]. ISBN 978-1-4822-2122-0.

[17] NOVÁK, Jiří. *Vzduchotěsnost obvodových plášťů budov*. Praha: Grada, 2008, 203 s. Stavitel. ISBN 978-80-247-1953-5.

[18] FASS s.r.o. technická ochrana objektů. *Test integrity - Door Fan Test: Prostorová zkouška těsnosti pro plynné hasicí prostředky.* [online]. [cit. 2019-02-19]. Dostupné z: https://www.shz-eps.cz/test-integrity---door-fan-test

[19] Door Fan test. *Ing. Jiří Krejča - Blowertest: Vzduchotěsnost nás baví...* [online]. Jihlava, 2017 © Ing. Jiří Krejča [cit. 2019-02-22]. Dostupné z: https://www.blowertest.cz/diagnostika-staveb/door-fan-test

[20] TYWONIAK, Jan. *Nízkoenergetické domy 3: nulové, pasivní a další*. Praha: Grada, 2012. Stavitel. ISBN 978-80-247-3832-1.

[21] ISO 14520-1:2006. *Gaseous fire-extinguishing systems – Physical properties and system design - Part 1: General requirements*. Geneva, © ISO 2006. 85s.

[22] BlowerDoor MiniFan. *Ing. Jiří Krejča - Blowertest: Vzduchotěsnost nás baví...* [online]. Jihlava, 2017 © Ing. Jiří Krejča [cit. 2019-02-24]. Dostupné z: https://www.blowertest.cz/cz/prodej/merici-technika-minneapolis-blowerdoor/blowerdoor-minifan

[23] BLOWERDOOR GmbH. BlowerDoor STANDARD: *BlowerDoor Reference Guide*. BlowerDoor GmbH, © 2014.

[24] BLOWERDOOR GmbH. *FireProtection* [software]. [Přístup možný po celou dobu zpracovávání diplomové práce]. [Požadavky na systém: operační systém Microsoft Windows 7, Windows 8, Vista, XP, volné místo na disku minimálně 500 MB, operační paměť minimálně 1 GB, doporučeno 2 GB]

[25] BLOWERDOOR GmbH. *TECTITE Express Česká 4.1* [software]. [Přístup možný po celou dobu zpracovávání diplomové práce]. [Požadavky na systém: operační systém Microsoft Windows 2000, XP, Vista, Windows 7, Windows 8, operační paměť 512 MB]

[26] BLOWERDOOR GmbH. Minneapolis BlowerDoor FireProtection: *BlowerDoor Reference Guide*. BlowerDoor GmbH, © 2015.

[27] ČSN EN 15004-1. *Stabilní hasicí zařízení - Plynová hasicí zařízení - Část 1: Návrh, instalace a údržba*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, © 2009. 92 s. Třídící znak 389250.

[28] ORLÍKOVÁ, Kateřina. *Hasiva klasická a moderní*. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2002. ISBN 80-86111-93-8.

[29] EUROALARM. *Technický popis systému plynového SHZ-N2 FirExting s hasivem IG-100*. 2011.

[30] Engineering ToolBox. *Nitrogen - Density and Specific Weight* [online]. 2018 [cit. 2019-03-05]. Dostupné z: https://www.engineeringtoolbox.com/nitrogen-N2-density-specific-weight-temperature-pressure-d_2039.html

[31] ČSN EN 15004-8. *Stabilní hasicí zařízení - Plynová hasicí zařízení - Část 8: Fyzikální vlastnosti a návrh plynových hasicích zařízení s hasivem IG-100.* Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, © 2018. Třídící znak 389250.

[32] SCHOVÁNEK, Petr a Vítězslav HAVRÁNEK. *Moderní technologie ve studiu aplikované fyziky: Chyby a nejistoty měření.* [online]. [cit. 2019-04-29]. Dostupné z: http://fyzika.upol.cz/cs/system/files/download/vujtek/texty/pext2-nejistoty.pdf

[33] SlightFogger. *Ing. Jiří Krejča - Blowertest: Vzduchotěsnost nás baví...* [online]. Jihlava, 2017 © Ing. Jiří Krejča [cit. 2019-03-12]. Dostupné z: https://www.blower-test.cz/cz/produkty/zarizeni-pro-detekci-netesnosti/kourove-generatory/slight-fogger

[34] BlowerDoor GmbH MessSysteme für Luftdichtheit. *Thermal Anemometer TESTO 425. Data Sheet* [online]. In: December 2018 © BlowerDoor GmbH [cit. 2019-03-12]. Dostupné z: https://www.blowerdoor.com/fileadmin/BlowerDoorEN/_Dokumente/Datenblaetter/18_12_Anemometer-testo-425_en.pdf

[35] BlowerDoor GmbH MessSysteme für Luftdichtheit. *Functional Test of Ventilation and Air-Conditioning Systems. Data Sheet* [online]. In: December 2018 © BlowerDoor GmbH [cit. 2019-03-26]. Dostupné z: https://www.blowerdoor.com/fileadmin/BlowerDoorEN/_Dokumente/Datenblaet-ter/18_12_BD-MLM-FlowBlaster_en_4seitig.pdf

[36] TESTO. *Testo 350 analyzátor spalin: Návod k obsluze*. [PDF], 104 s.

[37] KREJČA, Jiří. *Automatický BlowerDoor test - BlowerDoor Standard s DG-700: Měření těsnosti budov s Minneapolis BlowerDoor*. [PDF] Jihlava. 2 s.

[38] Digitální teploměr GTH 1170. *QTEST měřicí a přístrojová technika* [online]. © 2009 - 2018 Ing. Miloš Hušek - QTEST [cit. 2019-03-26]. Dostupné z: http://www.qtest.cz/teplomery/gth-1170.htm

[39] Datalogger pro měření teploty, rel. vlhkosti a barometrického tlaku GAR 202. *GARNI Technology* [online]. © 2019 GARNI [cit. 2019-03-26]. Dostupné z: https://www.garni-meteo.cz/cz/eshop/dataloggery/s-merenim-teploty-vlhkosti-a-tlaku/22-gar-202.html

[40] Kalibrace DG-700. *Ing. Jiří Krejča - Blowertest: Vzduchotěsnost nás baví...* [online]. Jihlava, 2017 © Ing. Jiří Krejča [cit. 2019-04-22]. Dostupné z: https://www.blowertest.cz/cz/prodej/merici-technika-minneapolis-blowerdoor/blowerdoor-minifan

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

ČSN Česká technická norma

ELA Ekvivalentní plocha netěsností

EN Evropská norma

GHZ Plynové stabilní hasicí zařízení

ISO International Organization for Standardization (Mezinárodní organizace pro normalizaci)

MLM Micro Leakage Meter (mikroprůtokoměr)

obj. Objemová

PBZ Požárně bezpečnostní zařízení

SHZ Stabilní hasicí zařízení

A_e Efektivní plocha netěsností

c_i Počáteční objemová koncentrace hasiva ve vzduchu pro daný prostor na počátku doby udržování koncentrace

CL Součinitel proudění

c_{min} Minimální objemová koncentrace hasiva ve vzduchu ve výšce H v daném prostoru na konci doby udržování koncentrace

F Dolní podíl netěsnosti, efektivní plocha netěsností dolních úniků děleno efektivní plochou netěsností všech úniků

g_n Zrychlení vlivem gravitační síly (9,80665 m/s^2)

H Výška od nejnižšího bodu prostoru

H_e Výška ekvivalentního ostrého rozhraní (dělicí hranice)

H_o Celková výška prostoru

k_0 Charakteristika netěsností

k_1 Charakteristika netěsností

k_2 Korelační konstanta

k_3 Zjednodušující konstanta

k_4 Zjednodušující konstanta

n Charakteristika netěsností

P_{bh} Dynamický tlak v průběhu doby udržování koncentrace

P_c Atmosférický tlak v průběhu kalibrace ventilátoru

P_f Tlakový rozdíl vyvolaný ventilátorem

P_{mf} Koncový tlak ve sloupci hasivo/vzduch

P_{mi} Počáteční tlak ve sloupci hasivo/vzduch

P_{ref} Referenční tlakový rozdíl pro ekvivalentní plochu netěsností

P_t Atmosférický tlak v okamžiku zkoušky s ventilátorem

Q_l Průtok vzduchu, teplota a tlak přepočtené na srovnávací podmínky (20 °C, atmosférický tlak 1,013 bar)

t Teoretická doba udržování koncentrace

T_c Teplota ovzduší v průběhu kalibrace ventilátorové jednotky

T_e Teplota vzduchu uvnitř prostoru

T_o Teplota vzduchu vně prostoru

V Čistý objem prostoru

ρ_a Hustota vzduchu (1,205 při 20 °C a 1,013 bar)

ρ_e Hustota hasiva při 20 °C a atmosférickém tlaku 1,013 bar

ρ_{mi} Hustota směsi hasivo/vzduch při počáteční koncentraci c_i, 20 °C a atmosférickém tlaku 1,013

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Součinnost aktivních a pasivních PBZ 10
Obr. 2 Systém pro lokální hašení 15
Obr. 3 Zásobníky s hasivem INERGEN umístěné v chráněném prostoru 16
Obr. 4 Požární hlásič 17
Obr. 5 Požární hlásič ve zdvojené podlaze 17
Obr. 6 *Tlačítko START s informační tabulkou* 18
Obr. 7 Tlačítko STOP v blízkosti ústředny GHZ 18
Obr. 8 Zábleskový maják s informační tabulkou 18
Obr. 9 Siréna 18
Obr. 10 Bezpečnostní tabulky 19
Obr. 11 Jednotlivé komponenty GHZ a další zařízení 20
Obr. 12 Možné netěsnosti chráněného prostoru 26
Obr. 13 Štítky označující požární ucpávky 27
Obr. 14 Měřící sada BlowerDoor MiniFan 29
Obr. 15 Měřidlo DG-700 30
Obr. 16 Průhledná hadička zapojená v průchodce plachty 31
Obr. 17 Měřící sestava s komponenty 31
Obr. 18 Výsledné hodnoty měřeného podtlaku a přetlaku zobrazené v grafu 33
Obr. 19 Přidání otvoru v cloně 34
Obr. 20 Půdorys a pohled chráněného prostoru 43
Obr. 21 Původní chráněný nestandardní prostor 44
Obr. 22 Vlevo na obrázku je netěsnost spáry mezi jednotlivými deskami a vpravo netěsnost spáry mezi stropem a konstrukcí chráněného prostoru 45
Obr. 23 Vlevo je zobrazena netěsnost mezi podlahou a konstrukcí a vpravo je zobrazena netěsnost mezi deskami vedle vstupu 45
Obr. 24 Vlevo na obrázku je škvíra mezi trámky konstrukce nad dveřmi a vpravo škvíra mezi trámkem konstrukce a deskou nad dveřmi 46
Obr. 25 Vlevo je zobrazena netěsnost mezi ohořelým místem a přidanou deskou a vpravo je zobrazena netěsnost mezi podlahou a deskou zakrývající ohořelé místo 46
Obr. 26 Utěsněná mezera mezi podlahou a konstrukcí 47
Obr. 27 Utěsnění stropu a netěsnosti mezi deskou a ohořelým místem 47

Obr. 28 Vlevo na obrázku je utěsněná netěsnost pomocí stavební pěny a vpravo je dotěsněná netěsnost pomocí těsnicího tmelu 48
Obr. 29 Vlevo je zobrazeno utěsňování pomocí těsnicího nátěru a vpravo je zobrazena kontrola lepicích pásek 49
Obr. 30 Utěsnění těsnicím nátěrem BlowerProof Liquid 49
Obr. 31 Předpřipravený otvor na clony 50
Obr. 32 Vlevo clona s malými otvory a vpravo clona s velkými otvory 50
Obr. 33 Zkouška s mikroprůtokoměrem 51
Obr. 34 Netěsnosti ověřené pomocí kouřového generátoru 52
Obr. 35 Kouřový generátor BlowerDoor SlightFogger 53
Obr. 36 Anemometr TESTO 425 54
Obr. 37 Mikroprůtokoměr 55
Obr. 38 Analyzátor spalin 56
Obr. 39 DG-700 57
Obr. 40 Digitální teploměr GTH 1170 58
Obr. 41 Garni Gar 202 Weather Datalogger 59
Obr. 42 Velké otvory dole – nahoře plné desky 61
Obr. 43 Chráněný prostor připraven na zkoušku s vypuštěním hasiva 62
Obr. 44 Velké otvory nahoře – dole plné desky 64
Obr. 45 Velké otvory nahoře i dole – z druhé strany plné desky 65
Obr. 46 Malé otvory nahoře i dole – z druhé strany plné desky 66
Obr. 47 Malé otvory nahoře – dole plné desky 67
Obr. 48 Malé otvory dole 68
Obr. 49 Velké otvory nahoře – malé otvory dole 70
Obr. 50 Malé otvory nahoře a velké dole 71
Obr. 51 Měřidlo DG-700 s odlišným zapojením hadiček 74
Obr. 52 Měření při podtlaku v chráněném prostoru 75

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Přetlak a podtlak při zaplavování chráněného prostoru u vybraných hasiv .. 19
Tab. 2 Vlastnosti inertních a chemických plynů 23
Tab. 3 Hasicí plyny..... 24
Tab. 4 Fyzikální vlastnosti hasicího plynu IG-100 38
Tab. 5 Specifikace pro hasivo IG-100..... 39
Tab. 6 Technická data anemometru TESTO 425 54
Tab. 7 Technická data mikroprůtokoměru..... 55
Tab. 8 Použité měřené veličiny 56
Tab. 9 Charakteristiky přístroje Testo 350..... 56
Tab. 10 Technická data DG-700..... 57
Tab. 11 Technická data GTH 1170..... 58
Tab. 12 Technická data Gar 202 59
Tab. 13 Výsledné časy zkoušek s vypouštěním hasiva a vypočítané z rovnic pro teoretické udržování koncentrace hasiva 82

SEZNAM GRAFŮ

Graf 1 Výsledky zkoušky 1 – velké otvory dole 63
Graf 2 Výsledky zkoušky 2 – velké otvory nahoře 64
Graf 3 Výsledky zkoušky 3 – velké otvory nahoře/dole 65
Graf 4 Výsledky zkoušky 4 – malé otvory nahoře/dole 67
Graf 5 Výsledky zkoušky 5 – malé otvory nahoře 68
Graf 6 Výsledky zkoušky 6 – malé otvory dole 69
Graf 7 Výsledky zkoušky 7 – velké otvory nahoře/malé dole 70
Graf 8 Výsledky zkoušky 8 – malé otvory nahoře/velké dole 72
Graf 9 Vypouštění hasiva u jednotlivých zkoušek 73
Graf 10 Výsledné časy jednotlivých zkoušek 83

SEZNAM PŘÍLOH

P I Souhrn výsledků měření při podtlaku/přetlaku

PŘÍLOHA P I: SOUHRN VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ PŘI PODTLAKU/PŘETLAKU

Měření č.	Popis měření	Pořadí měření	P_{bt} před měřením	Podtlak					Přetlak					P_{bt} po měření	delta P_{bt}	P_{bh} dolní	P_{bh} horní	P_{bh} horní - P_{bh} dolní
				C	C/3600	n	Teplota uvnitř	Teplota venku	C	C/3600	n	Teplota uvnitř	Teplota venku					
			Pa	$m^3/(h.Pa^n)$	$m^3/(s.Pa^n)$		°C	°C	$m^3/(h.Pa^n)$	$m^3/(s.Pa^n)$		°C	°C	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa
1	Velké otvory dole	přetlak podtlak	0,205245	197,850644	0,0549585	0,506527	6,0	5,0	204,411621	0,0558502	0,522669	6,0	5,0	1,01014	0,804895	-0,2	0,2	0,4
2	Velké otvory nahoře	podtlak přetlak	0,114745	188,354529	0,0523207	0,534746	4,7	3,7	225,96646	0,0617395	0,49117	4,6	3,6	-0,440322	0,555067	0,1	0,4	0,3
3	Velké otvory nahoře/dole	přetlak podtlak	0,477778	173,174204	0,0481039	0,550268	5,0	4,0	219,312025	0,06092	0,504021	5,1	4,1	0,813391	0,335613	-0,8	-0,5	0,3
4	Malé otvory nahoře/dole	přetlak podtlak	0,330828	225,656674	0,0626824	0,520555	4,9	5,6	214,654459	0,0596262	0,543931	4,7	5,5	-0,412203	0,743031	0,6	0,6	0
5	Malé otvory nahoře	podtlak přetlak	0,73581	168,474218	0,0467984	0,601319	5,3	5,9	231,480264	0,0643001	0,517317	5,3	5,9	0,112828	0,622982	-0,5	-0,1	0,4
6	Malé otvory dole	přetlak podtlak	0,373012	232,669956	0,0646305	0,511457	5,3	5,3	235,976531	0,065549	0,510065	5,7	5,3	-0,03154	0,404552	-0,2	-0,1	0,1
7	Velké otvory nahoře/malé díry dole	přetlak podtlak	-0,385694	185,183444	0,0514398	0,551593	4,7	3,7	218,133452	0,0605926	0,517382	4,6	3,6	-0,63398	0,248286	-0,2	0,1	0,3
8	Malé otvory nahoře/velké díry dole	podtlak přetlak	0,253727	190,330633	0,0528696	0,546008	3,9	4,7	226,075097	0,0627986	0,509373	3,9	4,7	0,127019	0,126708	-0,6	-0,5	0,1