

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ
ÚSTAV PROCESNÍ A ZPRACOVATELSKÉ TECHNIKY

SYSTÉM HAŠENÍ MLHOU

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2021

LUKÁŠ ADAM

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Adam** Jméno: **Lukáš** Osobní číslo: **483972**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav procesní a zpracovatelské techniky**
Studijní program: **Teoretický základ strojního inženýrství**
Studijní obor: **bez oboru**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Systém hašení mlhou

Název bakalářské práce anglicky:

Fire extinguishing by mist

Pokyny pro vypracování:

Hašení mlhou je energeticky a ekonomicky efektivním metodou kontroly a eliminace požáru. Seznamte se se systémy hašení požáru. Navrhněte vlastní konstrukci trysky, které budou generovat mlhu vhodnou pro hašení požáru. Ověřte navržené řešení, výpočtem, simulací nebo experimentem dle toho, co dovolí pandemická situace. Cíle práce:

- 1) Proveďte literární rešerši zaměřenou na mlhové hašení a tvorbu mlhy.
- 2) Proveďte patentovou rešerši trysek pro tvorbu mlhy.
- 3) Navrhněte vlastní konstrukční řešení trysky, které bude generovat jemné kapičky vody.
- 4) Podložte návrh výpočtem nebo simulací nebo experimentem, dle stavu pandemické situace.

Seznam doporučené literatury:

Lefebvre, Arthur Henry. Atomization and sprays. New York : Boca Raton: CRC Press, 1989. ISBN 978-0891166030.
Kutí, Rajmund. Advantages of Water Fog Use as a Fire Extinguisher. AARMS – Academic and Applied Research in Military Science. 2, 2015, Sv. 14, stránky 259–264.
Rybář, Pavel. Mlhová stabilní hasicí zařízení pro protipožární ochranu objektů a technologií. TZB-info. 2017, ISSN 1801-4399.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

doc. Ing. Jan Skočilas, Ph.D., ústav procesní a zpracovatelské techniky FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **21.04.2021** Termín odevzdání bakalářské práce: **04.06.2021**

Platnost zadání bakalářské práce: **19.09.2021**

doc. Ing. Jan Skočilas, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

prof. Ing. Tomáš Jirout, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Praze dne

.....

Lukáš Adam

Poděkování

Tato bakalářská práce by nemohla vzniknout bez odborného vedení, které mi po celou dobu její tvorby poskytoval doc. Ing. Jan Skočilas, Ph. D. Rád bych mu tímto poděkoval za veškeré jeho rady, nápady a připomínky, které byly velice cenné a užitečné.

Dále bych rád poděkoval Ing. Miriam Kadlubcové za doporučení vhodných podkladů z oblasti měření velikosti vodních kapek.

Anotační list

Jméno autora:	Lukáš
Příjmení autora:	Adam
Název práce česky:	System hašení mlhou
Název práce anglicky:	Fire extinguishing by mist
Rozsah práce:	počet stran: 49 počet obrázků: 36 počet tabulek: 0 počet příloh: 1
Akademický rok:	2020/2021
Jazyk práce:	čeština
Ústav:	Ústav procesní a zpracovatelské techniky
Studijní program:	Teoretický základ strojního inženýrství
Vedoucí práce:	doc. Ing. Jan Skočilas, Ph.D.
Zadavatel:	Ústav procesní a zpracovatelské techniky
Anotace:	Tato práce se zabývá principy a mechanismy hašení vodní mlhou, především u stabilních hasicích zařízení. Dále obsahuje patentovou rešerši důležitých vynálezů z tohoto oboru. Součástí práce je návrh, výroba a testování vlastní trysky určené k mlhovému hašení.
Abstract:	This thesis covers the method and principles of extinguishing fire with water mist, especially by fixed firefighting systems. Furthermore, it contains research of important patents in this field. The thesis also introduces an original design of a nozzle for fire extinguishing and describes its production and testing.
Klíčová slova:	oheň, hašení, mlha, trysky, kapičky
Keywords:	fire, extinguishing, mist, nozzles, droplet

Obsah

Úvod	7
1 Dynamika požáru.....	8
1.1 Teplo vznikající při požáru.....	8
1.2 Přenos tepelné energie při požáru.....	9
1.2.1 Přenos tepelné energie vedením	9
1.2.2 Přenos tepelné energie prouděním.....	9
1.2.3 Přenos tepelné energie sáláním.....	10
1.3 Ukončení procesu hoření	10
2 Stabilní hasicí zařízení.....	11
2.1 Mlhová stabilní hasicí zařízení	12
2.1.1 Typy mlhových stabilních hasicích zařízení.....	13
2.1.2 Výhody a nevýhody mlhových SHZ	13
3 Principy tvorby kapek vody a vodní mlhy.....	16
3.1 Definice vodní mlhy	16
3.2 Atomizace	16
3.3 Rozprašovače.....	17
3.3.1 Rozprašovací trysky fungující na principu odstředivé síly.....	18
3.3.2 Rozprašovací trysky fungující na principu nárazu	19
3.3.3 Rozprašovací trysky fungující na principu přídavného plynu	20
3.3.4 Rozprašovací trysky fungující na principu kmitání.....	20
3.4 Vypařování kapek vody.....	22
3.5 Experimentální měření velikosti a počtu kapek.....	23
4 Patentová řešení	26
4.1 Patenty firmy Marioff.....	26
4.1.1 Koncová tryska	26
4.1.2 Kompletní systém požární ochrany HI-FOG.....	28
4.2 Patent Fredericka C. Robertse	29
4.2.1 Geometrie trysky dle patentu Robertse.....	29
4.3 Patent Bo Kureho.....	31
4.4 Patenty Carstena Palleho	33
4.4.1 Metoda a tryska na tvorbu vodní mlhy Carstena Palleho	33
4.4.2 Kapalinový rozprašovač s dvojitou tryskou na hašení Carstena Palleho.....	34
5 Návrh vlastní trysky	35
5.1 Koncept ½"	35
5.2 Koncept ¾"	36
5.3 Měření vlastností a kontrolní výpočty navržené trysky.....	37
5.3.1 Objemový průtok a výtoková rychlost	38
5.3.2 Velikost kapek	39
5.4 Vizualizace budoucího použití trysky	40
Závěr	43
Použité zdroje.....	44
Seznam použitých symbolů a zkratk.....	46
Seznam obrázků.....	48
Seznam příloh.....	49

Úvod

Cílem této práce je seznámit se s principy fungování systémů mlhového hašení a navrhnout vlastní mlhovou trysku. Následně ověřit vlastnosti trysky experimentem, výpočtem nebo simulací. Tato bakalářská práce obsahuje teoretickou a praktickou část. Teoretická část je literární a patentovou rešerší zabývající se systémy a principy mlhového hašení. V praktické části je popsán postupný vývoj vlastní mlhové trysky a její testování.

V roce 2020 došlo na území České republiky k 17 346¹ požárům. Ty vznikají následkem nehod, technických závad, úmyslem či úderem blesku. Bez ohledu na příčinu vzniku se v prvních vteřinách a minutách požáru rozhoduje o tom, jaké budou jeho dopady na životy, zdraví i majetek. V první části práce je popsána dynamika požáru, jeho obecné vlastnosti a jsou zde vysvětleny způsoby přenosu tepelné energie. Z nich vyplývají možnosti, jakými lze ukončit proces hoření, což je klíčové pro hašení požárů a tím i pro tuto práci.

Jedním z účinných nástrojů, jak potenciální riziko požáru eliminovat, jsou stabilní hasicí zařízení, kterým se věnuje druhá část práce. Stabilní hasicí zařízení jsou pevně namontována do budov a objektů vyžadujících ochranu. Dělí se na vodní, plynová a pěnová. Mezi nejrozšířenější z nich patří vodní, do kterých se řadí i systémy hašení vodní mlhou. Definice vodní mlhy, která je používána v oboru požární ochrany, je popsána ve třetí části práce. Tato část se také zabývá principy vzniku vodní mlhy, jejím vypařováním a jsou zde vysvětleny způsoby, jakých se běžně využívá pro tvorbu mlhy pro hašení. Ve čtvrté části práce je detailně popsáno několik důležitých patentů z oboru mlhového hašení a jsou zde vysvětleny principy fungování přímo podle jednotlivých schémat a výkresů.

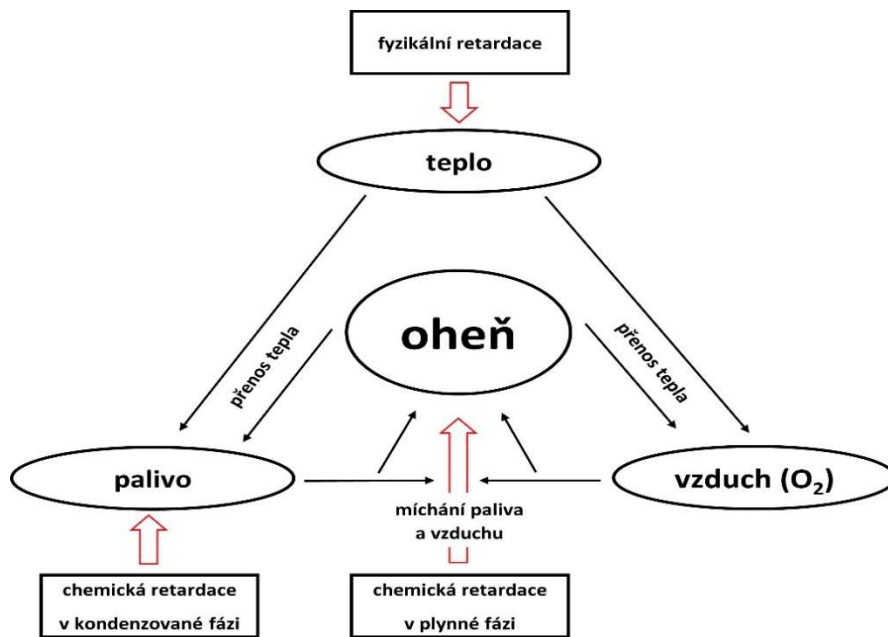
Poslední část práce se skládá z návrhu vlastní trysky, její výroby, testování jednotlivých prototypů a vizualizace možného budoucího použití. Návrh trysky je doplněn měřením a výpočtem vybraných parametrů. K výrobě jednotlivých testovacích modelů v měřítku 1:1 bylo použito metody 3D tisku.

¹ Získáno z: NEDĚLNÍKOVÁ, Hana a kol. Statistická ročenka 2020 Česká republika. 112. MV-generální ředitelství HZS ČR, 2021, (3). ISSN 1213-7057.

1 Dynamika požáru

Hoření je chemická reakce, při které dochází k uvolňování tepla a vyzařování světla. V případě, že je toto hoření nekontrolované a prostor, které zaujímá, nelze přesně vymezit, nazývá se jako požár. Hořet může homogenní fází, ale i rozhraní fází. K hoření dochází, jsou-li splněny tři podmínky z obrázku 1, a to konkrétně přítomnost:

- paliva,
- oxidačního prostředku
- a tepla. [1]



Obrázek 1 Schéma tří podmínek hoření, upraveno [1]

1.1 Teplo vznikající při požáru

Při požárech dochází k masivnímu uvolňování tepla do okolí. Podle normové teplotní křivky se průběh teploty v uzavřeném prostoru mění takto:

$$t = 345 \log(8\tau + 1) + t_0, \quad (1)$$

kde:

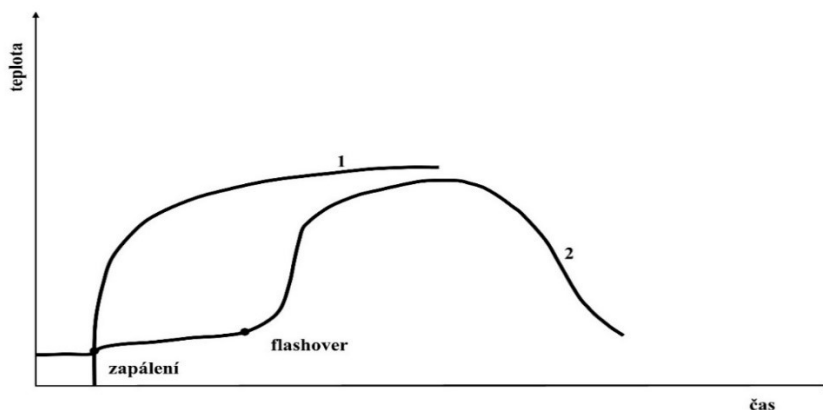
t – teplota,

t_0 – počáteční teplota,

τ – čas v minutách. [1]

Problémem tohoto vyjádření je, že vychází z teorie pro stanovování teploty v peci a určuje se pomocí něho požární odolnost staveb. Při reálných požárech se však křivka hoření

značně liší, jak je vidět z obrázku 2. Dochází zde totiž k jevu zvanému flashover. Ten vzniká působením vysoké teploty spalin na předměty, které nejsou v dosahu plamene. Předměty se zahřívají, protože jim spaliny předávají teplo. V okamžiku, kdy dojde k překročení zápalné teploty, dochází ke vznícení předmětů, aniž by byly ve viditelném kontaktu s plamenem. Teplota požáru díky tomu nadále roste a je velice obtížné ho v tomto případě likvidovat. [1]



Obrázek 2 Srovnání teplotních průběhů, upraveno [1]

1.2 Přenos tepelné energie při požáru

Při požárech dochází k přenosu tepelné energie ve třech formách. Vedením (kondukcí), prouděním (konvekcí) a sáláním (radiací). [1]

1.2.1 Přenos tepelné energie vedením

K vedení tepla dochází v pevných látkách a tekutinách. Hustotu tepelného toku lze vyjádřit dle Fourierova zákona takto:

$$q = -\lambda \text{grad } t, \quad (2)$$

kde:

q – hustota tepelného toku,

λ – součinitel tepelné vodivosti,

$\text{grad } t$ – teplotní gradient. [1]

1.2.2 Přenos tepelné energie prouděním

Tepelné proudění je ve skutečnosti vždy doprovázeno vedením tepla. U pevných látek ho nelze od vedení rozlišit, proto ho lze uvažovat pouze u tekutin. Pro vyjádření tepelného toku při proudění se využívá Newtonova rovnice:

$$Q = \alpha \Delta t S, \quad (3)$$

kde:

Q – tepelný tok,

α – součinitel přestupu tepla,

Δt – rozdíl teplot,

S – plocha. [1]

1.2.3 Přenos tepelné energie sáláním

Tento přenos je na bázi elektromagnetického vlnění, které vzniká jako důsledek tepelného stavu tělesa. Energie tohoto vlnění se při dopadu na povrch jiných těles opět mění na tepelnou energii, a tak může zvyšovat jejich teplotu. Z tohoto důvodu má velký vliv při požárech. Problémem je i fakt, že závisí na čtvrté mocnině teploty podle Stefanova-Boltzmannova zákona:

$$E = \varepsilon \sigma_{SB} T^4, \quad (4)$$

kde:

E – energie,

ε – emisní součinitel,

σ_{SB} – Stefanova-Boltzmannova konstanta,

T – teplota povrchu tělesa. [1]

1.3 Ukončení procesu hoření

Z již zmíněných podmínek hoření vychází tři způsoby, jak ukončit proces hoření. Je možné buďto snížit koncentraci hořlavých složek, snížit teplotu, anebo snížit koncentraci oxidačního činidla pod konkrétní limitní hodnotu. Všechna SHZ mají společný účel – zredukovat rozsah požáru, zamezit škodám a ohrožení osob. Způsob, jakým toho dosahují mlhová hasicí zařízení, spočívá primárně v chladícím a dusivém účinku vodní mlhy a z ní vytvořené páry. To umožňuje včasný zásah záchranných jednotek ještě před celkovým vzplanutím – flashoverem. [1, 2, 3]

2 Stabilní hasicí zařízení

V mnoha odvětvích průmyslu (například v chemickém, petrochemickém nebo farmaceutickém) je potřeba kvalitní požární ochrany větší než v jiných závodech, a to z důvodu skladovaných a zpracovávaných materiálů. Vyšší ochranu dále potřebují klíčová a strategická zařízení, která jsou důležitá pro chod státu. Takovými zařízeními jsou elektrárny a elektrické rozvodny, telefonní sítě, transformační stanice aj. V neposlední řadě je třeba chránit i místa s větším výskytem lidí najednou, což jsou například kina či divadla. Stabilní hasicí zařízení (dále jen SHZ) poskytují preventivní ochranu, která zabraňuje katastrofickým následkům vyplývajících z prodlení příjezdu hasičských záchranných sborů. [2]

SHZ lze rozdělit podle hasicí látky na čtyři hlavní skupiny, a to konkrétně na:

- vodní,
- pěnová,
- s inertními plyny
- a kombinovaná. [2]

Vodní SHZ se rozlišují podle toho, v jakém stavu dopravují vodu k požáru. Mohou ji dopravit do vysokotlakých hydrantových rozvodů, na které se pak připojují vodní děla. Dále lze místo, kde vznikl požár, kompletně zaplavit. V tomto případě se používá zaplavovacích zařízení. Poslední možností jsou zařízení, která vodu rozstříkují přímo v místě, kde vypukl požár nebo hrozí jeho vypuknutí. To jsou buďto sprchová (sprinklerová) zařízení, jejichž různá provedení jsou na obrázku 3, nebo právě zařízení na tvorbu vodní mlhy. Ty se podle způsobu, jakou mlhu vytváří, a účelu ochrany, dají rozdělit do různých podskupin a kategorií. [2]



Obrázek 3 Různá provedení sprinklerů pro sprchová zařízení [4]

2.1 Mlhová stabilní hasicí zařízení

Hlavní rozdíl mezi sprchovými a mlhovými hasicími zařízeními je především ve velikosti kapiček, které tyto systémy používají k hašení. U sprchových zařízení je rozstřík vody podobný hrubému dešti. Velikost takto tvořených kapek se pohybuje v rozmezí 1 až 3 mm. Vodní mlhou se nazývá směs vzduchu a kapiček vody, která obsahuje méně než 1 % kapiček s průměrem větším než 1 mm. Tento parametr se měří ve vzdálenosti 1 m od trysky. Důležitým faktem je, že se voda v mlhových systémech většinou chemicky vůbec neliší od té, která se používá v souvislých prouděch (existují však i speciální příměsi do vody, které zvyšují hasicí účinnost nebo brání hasivu mrznout). Hlavní rozdíl totiž tkví v geometrickém uspořádání rozstříku. Příklad aktivní mlhové trysky je na obrázku 4. [2, 4, 5]



Obrázek 4 Mlhová tryska na hašení požárů [6]

Hoření je exotermická reakce, při které se uvolňuje velké množství tepla. Odebráním dostatečného množství tepla, díky čemuž by se snížila teplota pod teplotu hoření (u hořlavých kapalin pod teplotu vzplanutí), by došlo k zastavení hoření. Protože se vodní mlha při kontaktu s ohněm vypaří až rychlostí exploze, je to velmi účinný způsob, jak odebírat teplo z požáru. Kromě toho vznikající pára snižuje koncentraci kyslíku v daném místě tím, že ho vytlačuje z prostoru požáru, čímž také přispívá k hašení. [5]

Vypařování je tím efektivnější, čím je mezifázový povrch vypařovaného množství vody větší. Toho lze dosáhnout zvětšením celkového objemu vody nebo jeho separací na velké množství jednotlivých kapiček. Přitom totiž dochází ke zvětšení celkového součtu jednotlivých povrchů. Povrch 1 litru vody vystříknutý běžným proudem se rozpadne na kapky, jejichž povrch odpovídá asi 1 m². Pokud jsou tyto kapky rozděleny na kapičky o průměru 0,01 mm, pak bude celkový povrch odpovídat asi 600 m². Mohlo by se zdát, že nejlepším způsobem, jak hasit požár, je rozpráshit nad ním určité množství vody ve formě co nejmenších kapiček vody. Problémem je, že pokud jsou kapičky moc malé, vypaří se příliš vysoko nad ohněm, čímž

nedochází k efektu odebrání tepla z hořícího předmětu. Pokud jsou však kapky moc velké, nemusí k jejich odpaření vůbec dojít a hořící předmět je pouze sprchován vodou, při čemž nedochází k tak velkému přenosu tepla. Z těchto důvodů je velikost kapiček velice důležitý parametr, který je třeba brát v potaz při návrhu trysky pro mlhové hašení. [2, 5]

Vodní mlhou lze hasit téměř jakýkoli požár, ale je třeba respektovat fakt, že v zimních měsících může voda zmrznout. Dokonce je možné instalovat vysokotlaké hasicí zařízení na vodní mlhu i do elektrických zařízení, velínů či telefonních rozvodů. Výjimku tvoří chemikálie, které při kontaktu s vodou mohou velmi silně reagovat a v nejhorším případě i explodovat. Takovými prvky jsou například sodík a draslík. Při použití mlhy na hašení hořících kovů může dojít k disociaci vody a vytvoření výbušné směsi vodíku a kyslíku. Z tohoto důvodu se v prostředích, kde k takovým požárům může dojít, mlhová zařízení nesmějí instalovat. [5]

2.1.1 Typy mlhových stabilních hasicích zařízení

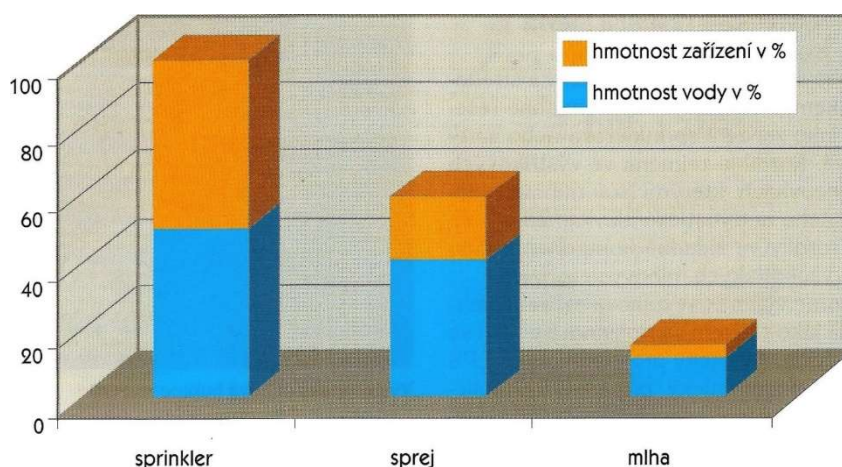
Existuje celá řada možností, jak rozdělovat druhy mlhových SHZ. Lze je dělit například dle:

- způsobu spouštění (elektricky, pneumaticky, hydraulicky),
- počtu chráněných úseků (jednozónová, vícezónová),
- způsobu hašení (lokální, objemová, zónová),
- účelu (uhašení, potlačení, zamezení šíření sálavého tepla, zvýšení požární odolnosti),
- tlaku (nízkotlaká, středotlaká, vysokotlaká),
- počtu hasiv (jednofázová, dvoufázová),
- systémového řešení (standardní nebo speciální sprinklerová). [7]

Rozdělení dle tlaku je klíčové pro výsledné parametry rozstříku. Nízkotlaká a středotlaká SHZ jsou podobná sprinklerovým zařízením, liší se však koncovými tryskami (hubicemi, hlavicemi), které jsou upraveny tak, aby produkovaly mlhu. Pro čerpání vody se obvykle používají odstředivá čerpadla. U vysokotlakých SHZ se pracuje s maximálním tlakem do 150 barů. Soustava vysokotlakých SHZ většinou disponuje tryskami, které jsou schopny produkovat velmi jemné kapičky. Potrubní rozvody mají podstatně menší rozměry, než jaké se používají například u sprinklerových zařízení. [7]

2.1.2 Výhody a nevýhody mlhových SHZ

S mlhovými SHZ se pojí řada výhod, ale i nevýhod. K hlavním výhodám patří vysoká hasicí schopnost a menší spotřeba vody (z toho plyne, že i zásobní nádrže na vodu mohou být menší). Pro snadné porovnání hmotností slouží graf na obrázku 5. Mlhovým SHZ stačí menší potrubní rozvody. Díky této kompaktnosti jsou estetičtější, což je klíčové především při ochraně památek. Při hašení na sebe mlha váže zplodiny, a usnadňuje tak jejich odvod mimo požár. Jako hasivo se používá voda, jak již bylo několikrát zmíněno. Voda je ekologicky a zdravotně nezávadná, při dobré distribuci mlhy elektricky téměř nevodivá a rovněž je velice levná. Díky menší spotřebě nezpůsobuje velké škody promáčením. Vysoká hasicí schopnost mj. přispívá k rychlé likvidaci požáru, čímž snižuje množství vznikajících emisí CO₂. [8]



Obrázek 5 Porovnání hmotností nejběžnějších SHZ [3]

Mezi nevýhody mlhových SHZ se řadí především jejich specifické vlastnosti hašení. Některé systémy nejsou vhodné pro prostory vyšší než 5 až 7 metrů. Protože se u mlhových SHZ využívá jako hasivo výhradně voda, nesmějí se používat pro hašení chemikálií, které s ní reagují. To sice platí pro hašení vodou obecně, ale u mlhových SHZ hrozí díky mnohonásobně většímu mezifázovému rozhraní mnohem bouřlivější reakce. Rovněž nejsou mlhová SHZ efektivní při hašení venkovních požárů a díky svým vlastnostem se často využívají spíše pro uvedení požáru pod kontrolu než pro jeho přímé uhašení. Mlhové SHZ je velice citlivé na jakékoli změny či zásahy do soustavy, které mohou negativně ovlivnit jeho hasicí schopnosti. Problém rovněž představují hloubkové požáry se skrytými ohnisky. Kvůli tomu, že voda na hašení musí být velice čistá, je nutné mít v hasicí soustavě řadu filtrů. [2, 8]

Pro přehlednost jsou zde uvedeny výhody a nevýhody formou výčtu, který umožňuje lepší orientaci.

Výhody mlhových SHZ:

- vysoká hasicí schopnost,
- menší spotřeba vody,

- menší zásobní nádrže,
- kompaktnější a estetičtější potrubní rozvody,
- schopnost mlhy vázat a odvádět zplodiny,
- efektivní hašení bez velkého promáčení,
- rychlá a účinná likvidace požáru snižující množství unikajícího CO₂,
- levné hasivo,
- ekologicky a zdravotně nezávadné hasivo,
- při dobré distribuci možno hasit i elektrická zařízení. [2, 8]

Nevýhody mlhových SHZ:

- nevhodné pro prostory vyšší než 5–7 m,
- nevhodné pro hašení chemikálií reagujících s vodou,
- neefektivní při hašení ve venkovních prostorech,
- vysoká citlivost na zásahy do soustavy,
- nedokonalé hašení hloubkových požárů,
- požadavek na velkou čistotu hasiva. [2, 8]

3 Principy tvorby kapek vody a vodní mlhy

Uměle vyrobená mlha z určité kapaliny nachází uplatnění i v jiných odvětvích, než je hašení požárů. Různé mlhy se využívají v průmyslu, zemědělství, meteorologii nebo v nejrůznějších medicínských aplikacích. Nejběžnějšími nástroji, jakými se mlhy vytvářejí, jsou rozprašovací trysky. [9]

3.1 Definice vodní mlhy

Vzhledem k tomu, že existuje mnoho druhů vodní mlhy, je nutné definovat, co se myslí spojením „vodní mlha“ v oboru hašení. Jak již bylo zmíněno, vodní mlhou pro hašení je taková směs vody a vzduchu, kde má alespoň 99 % kapek vody průměr menší než 1 mm. Tato definice vodní mlhy vychází z normy stanovené asociací *NFPA (National Fire Protection Association)* a je v oboru hašení běžně využívána. Pravdou však zůstává, že mnoho trysek na vodní mlhu generuje kapky s průměrem menším i o několik řádů. Protože se ale velikost průměru kapek odvíjí především od jejich účelu, je tato základní definice vhodná pro rozlišení od jiných způsobů hašení. [10]

3.2 Atomizace

Atomizace je proces, při kterém dochází k rozpadu velké kapky na více malých kapiček. Tento jev, známý také jako rozprašování, je způsoben porušením rovnováhy povrchového napětí původní kapky. Tuto rovnováhu lze narušit mnoha způsoby, například ultrazvukem nebo varem. V hasičské praxi se však využívá především tlakových působení. Ať je rozpad způsoben jakýmkoli vlivem, jednotlivé kapičky se následně snaží dosáhnout stavu s minimální energií, a tak se opět formují do sférického tvaru. [9]

Rozložení aerodynamických tlaků působících na povrch kapky před rozpadem se v jeho průběhu mění. Z tohoto důvodu je přesné matematické modelování rozpadu velice složité. Tlak na jakémkoliv místě povrchu kapky odpovídá součtu vnějšího aerodynamického tlaku a tlaku od povrchového napětí. K tomu se váže vztah:

$$p_l = p_A + p_\sigma = konst., \quad (5)$$

kde:

p_l – tlak kdekoli na povrchu kapky,

p_A – vnější aerodynamický tlak,

p_σ – tlak od povrchového napětí.

Pro tlak způsobený povrchovým napětím sférické kapky platí vztah:

$$p_{\sigma} = \frac{4\sigma}{d_{kap}}, \quad (6)$$

kde:

σ – povrchové napětí,

d_{kap} – průměr kapky. [9]

V případě, že dojde ke zvětšení vnějšího aerodynamického tlaku p_A takovým způsobem, že je tlak vyvolaný povrchovým napětím p_{σ} řádově menší, není tlak p_{σ} schopen kompenzovat ani mírné změny aerodynamického tlaku p_A , aby zůstal tlak na povrchu p_l konstantní. Z tohoto důvodu dojde k deformaci kapky, což vede ke snížení tlaku p_{σ} a posléze konečně k rozpadu na menší kapičky. Ty však mají díky svému menšímu průměru (potažmo objemu) větší tlak p_{σ} , který díky své velikosti může snáze vyrovnávat změny tlaku p_A tak, aby tlak p_l zůstal konstantní. K rozpadu jednotlivých kapek na menší dochází až do chvíle, kdy je tlak p_{σ} dostatečně velký. V ten moment jsou kapičky stabilní a nedochází k dalším rozpadům. [9]

Existují různé způsoby, jakými lze tekutiny atomizovat. Kromě rozdílných principů, jakých nejrůznější rozprašovače a rozprašovací trysky využívají, se liší i přidáváním určitých plynů nebo vzduchu jako pomocných nebo potřebných médií. Použité plyny se volí dle určení výsledného rozstříku. Jedním z nejčastějších využití je příprava paliva ve spalovacích motorech. Zde je na správné parametry rozprašené směsi kladen obzvláště velký důraz, protože ovlivňují mimo jiné i výsledné emise, které jsou dnes velmi citlivým tématem. Při hašení vodní mlhou se využívají obdobné trysky, ale s opačným úmyslem než ve spalovacích motorech, kde je mlha vstupním produktem spalování. [9]

3.3 Rozprašovače

Ideálním rozprašovacím zařízením by byl rozprašovač, který by měl následující vlastnosti a schopnosti:

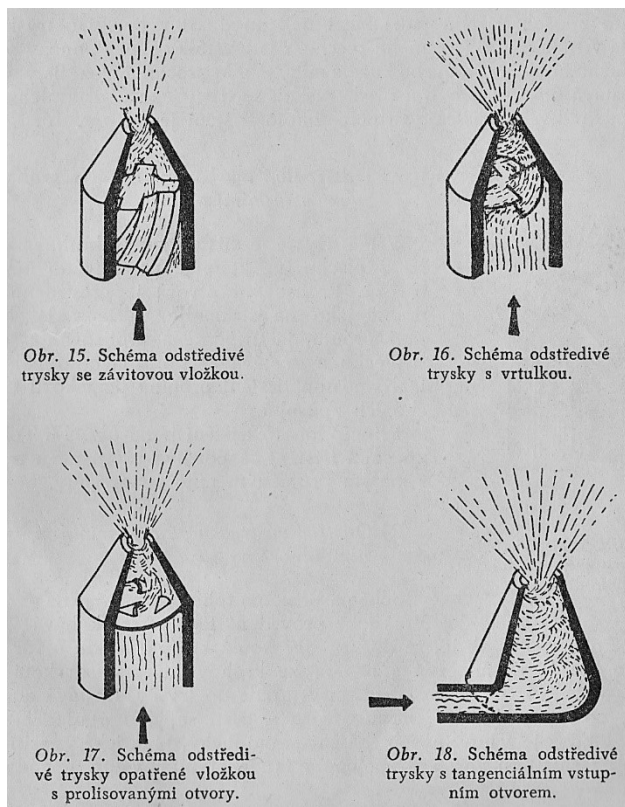
- atomizace kapalin o různých průtocích,
- rychlá odezva na změnu průtoku,
- potlačení nestability průtoku,
- nízká energetická náročnost,
- možnost úpravy parametrů,
- nízká cena a hmotnost, jednoduchá údržba a montáž,
- nenáchylnost k poškození v průběhu výroby a montáže. [9]

3.3.1 Rozprašovací trysky fungující na principu odstředivé síly

Nejjednodušším způsobem, jakým lze vodu atomizovat na malé kapičky, je použití konstrukčně jednoduchých odstředivých trysek. Jejich výhodou je i fakt, že pro tříštění vody nepotřebují takové množství energie jako trysky fungující na jiných principech. Problém však představuje především geometrie rozstřiku, protože odpovídá dutému kuželi. Z toho plyne nerovnoměrná distribuce vodní mlhy na plochu pod tryskou, což může být v některých případech nepřijatelné. Kromě toho mají také kapičky velmi omezený dolet. [11]

Odstředivý způsob tříštění funguje na principu rotace. Voda přicházející do trysky se za pomoci různých vnitřních vložek trysky roztáčí. Při výstupu z trysky se tak působením odstředivé síly formuje do kuželovitého filmu, který se při dalším rozšiřování kužele mimo trysku dále rozpadá na drobné kapičky. [11]

Existuje mnoho druhů vložek do odstředivých trysek, které mají za úkol udělit vodě rotaci. Některé z nich jsou v podobě nákresů na obrázku 6. Jsou jimi například závitové vložky, které mívají hluboký čtyřchodý závit s velkým stoupáním. Parametry kužele jsou závislé na vlastnostech závitu, tlaku vody a na průtoku. Dalším typem vložek jsou vrtulky. Jde o jednoduchý a účinný způsob tříštění, kdy je do trysky umístěna vrtulka z prolisovaného plechu. Vrtulka procházející vodě uděluje rotaci, a tak se tvoří vodní kužel, ve kterém dochází ke tříštění. [11]

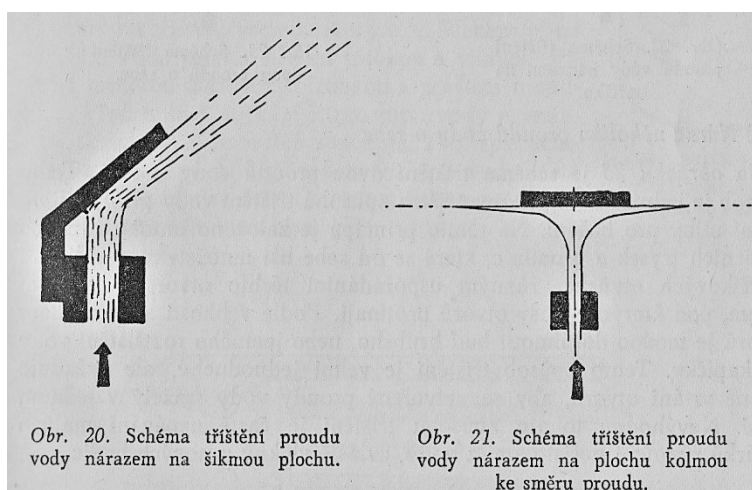


Obrázek 6 Schémata různých druhů odstředivých trysek [11]

Podobnou funkci, jako má vrtulka, plní i vložka s prolisovanými vstupními otvory, které jsou prolisovány obdobně jako na kuchyňském struhadle. Proudící voda je usměřována průchodem otvory, což jí zároveň uděluje rotaci. Konečný výstup je pak obdobný jako u předchozích trysek. V neposlední řadě se užívá trysek s tangenciálním vstupním otvorem, který je navrtán tak, aby byla jeho osa rovnoběžná s tečnou kruhového průřezu trysky. Vstupující voda tak začíná rotovat a postupně se dostává až k výstupu z trysky. Zde dochází k atomizaci stejně jako v předchozích případech. Kromě zmíněných způsobů existují i další kombinace a varianty, které však fungují na stejných principech. [11]

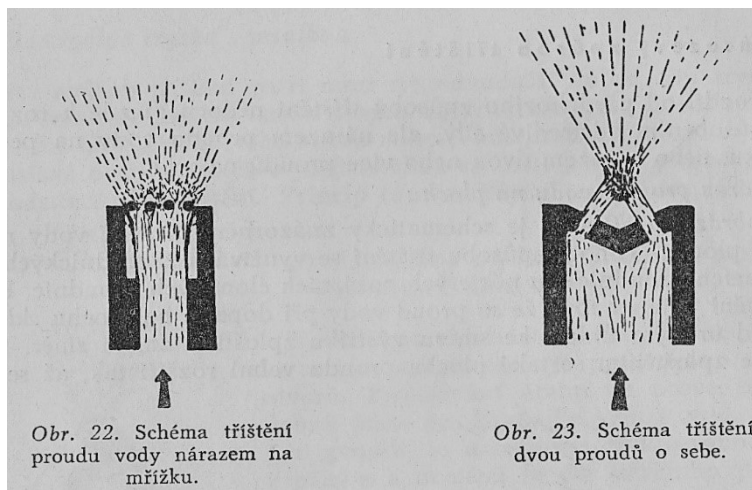
3.3.2 Rozprašovací trysky fungující na principu nárazu

Dalším způsobem, jakým lze souvislý proud vody atomizovat, je nechat ho cíleně narážet na pevnou překážku nebo do jiných proudů tak, jak ukazuje obrázek 7. Tříštění lze dosáhnout například nárazem na plochu, která je skloněna pod určitým úhlem. Proud vody, který ji zasáhne, změní směr a dojde u něj ke zploštění. Plocha proudu se zvětší natolik, že dojde k rozpadu na malé kapičky. Vzhledem ke své geometrii se hodí pro aplikace, kde je požadován plochý postřik či plochá clona. [11]



Obrázek 7 Tříštění nárazem na plochu [11]

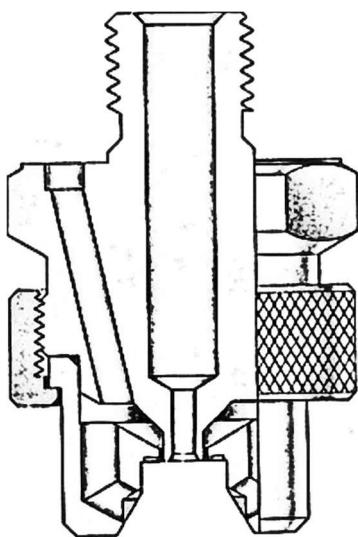
Plochy nejsou jedinou možností, do čeho lze proud cíleně směřovat, jak lze vidět na obrázku 8. Při průchodu skrze drátěnou mřížku nebo drátěné pletivo dochází rovněž k rozdělování homogenního proudu. Ten se však po průchodu mřížkou opět sráží, což způsobuje rozpad na hrubé kapky. Dále je možné proud separovat na více proudů a nasměrovat je takovým způsobem, aby docházelo k jejich vzájemné srážce, která vede k atomizaci. Existuje mnoho odlišných variant provedení, které se liší velikostí a počtem děr, jejich uspořádáním, úhly atd. [11]



Obrázek 8 Tříštění nárazem na mřížku a vzájemným působením dvou proudů [11]

3.3.3 Rozprašovací trysky fungující na principu přídavného plynu

Pokud je třeba vodu roztrástit na co nejmenější kapičky, lze k tomu využít přídavný plyn, jako to umožňuje tryska na obrázku 9. V takových případech je do trysky kromě vody přiváděn také stlačený vzduch, který na výstupu z trysky prudce expanduje do stran, čímž rozbíjí kompaktní proud vody na drobné kapičky. Výhodou tohoto typu trysky je opravdu jemný rozstřík a skutečnost, že je urychlen proudem vzduchu. Nevýhodou je složitost takových trysek a potřeba dostatečného přívodu vzduchu. Kromě vzduchu se dají pro speciální účely použít i jiné plyny. [11]



Obrázek 9 Konstrukční provedení dvoufázové mlhové trysky [7]

3.3.4 Rozprašovací trysky fungující na principu kmitání

Při způsobu rozprašování fungujícím na principu kmitání hrají velice důležitou roli vnitřní průměr trysky a rychlost proudění kapaliny. Rozpad proudu na jednotlivé kapky ovlivňují viskozita a odstředivé, gravitační a setrvačné síly. Jejich vliv lze posuzovat pomocí

tří bezrozměrných veličin. Těmi jsou Reynoldsovo číslo (7), Weberovo číslo (8) a Ohnesorgovo číslo (9), která vypadají následovně:

$$Re = \frac{\rho_l D v}{\mu_l}, \quad (7)$$

$$We = \frac{\rho_l D v^2}{\sigma}, \quad (8)$$

$$Oh = \frac{\mu_l}{\sqrt{\rho_l \sigma D}} = \frac{\sqrt{We}}{Re}, \quad (9)$$

kde:

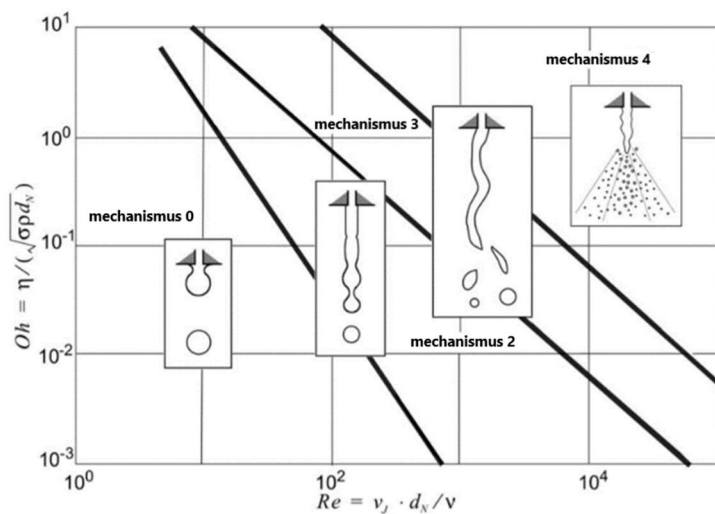
ρ_l – hustota kapaliny,

D – vnitřní průměr trysky,

v – rychlost proudící kapaliny,

σ – povrchové napětí,

μ_l – dynamická viskozita kapaliny. [12]

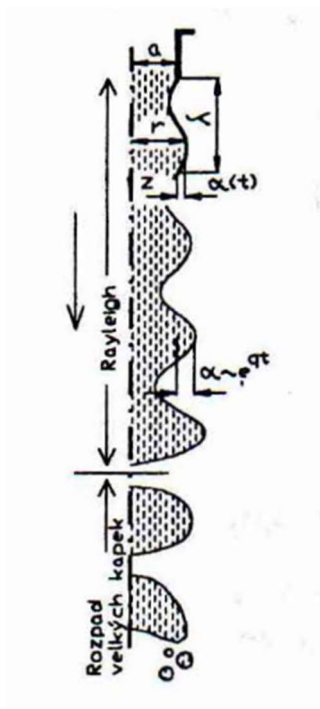


Obrázek 10 Diagram závislosti Ohnesorgova čísla na Reynoldsově čísle, upraveno [13]

Bylo dokázáno, že lze v logaritmickém diagramu závislosti Ohnesorgova čísla na Reynoldsově (obrázek 10) čísle vymezit čtyři odlišné režimy rozpadu. Jednotlivé režimy jsou odděleny přímkovými závislostmi se zápornou směrnici. V první oblasti nedochází k významné aerodynamické interakci s okolním plynem, a tak zde dochází k rozpadu pouze v osovém směru, a to na kapky s poloměrem stejného řádu jako má výchozí paprsek. [12]

Ve druhé oblasti diagramu již dochází vlivem kontaktu s okolním plynem ke kmitání, ale řád poloměru vystupujících kapek stále odpovídá řádu výchozího paprsku. Ve třetí části

jsou již výsledné kapky menší. Ve čtvrté části dochází ke kompletnímu rozpadu na drobné kapky. [12]



Obrázek 11 Schéma rozpadu paprsku dle Rayleigha [14]

Podle Rayleigha se ve druhé části diagramu na obrázku 10 válcovité paprsky rozpadají na úseky, ze kterých se formují jednotlivé kapky tak, jak lze vidět na obrázku 11. Klíčová je přitom délka vln způsobených kmitáním. Podle Rayleigha ji lze určit jako:

$$\lambda_R = 4,508 \cdot 2a, \quad (10)$$

kde:

λ_R – vlnová délka,

a – poloměr trysky. [14]

3.4 Vypařování kapek vody

Jak již bylo zmíněno, hasicí efekt vodní mlhy závisí především na velikosti jednotlivých kapek, ze kterých se skládá. Velikost kapek totiž ovlivňuje rychlost, jakou se voda vypaří, což přímo ovlivňuje chladicí a dusivý efekt. Měrná tepelná kapacita sprchového proudu, který je tvořen kapkami o průměru 0,1 mm, odpovídá přibližně $12\text{--}13 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$, zatímco u kapek s průměrem 0,5 mm je to pouze $1 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. Z toho plyne, že distribuce vodní mlhy silně ovlivňuje hasicí efekt. [3]

K odpařování kapek vody nedochází okamžitě po kontaktu se zdrojem tepla. Nejprve se voda musí ohřát na bod varu, a až poté se po dodání dalšího tepla vypaří. Pomocí kalorimetrického rovnice můžeme teplo odebrané ohřevem vody vypočítat jako²:

$$\Delta q_1 = c\Delta t = 4\,181,8 \cdot (100 - 20) = 334,5 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}, \quad (11)$$

kde:

Δq_1 – měrné teplo odebrané ohřevem vody,

c – měrná tepelná kapacita vody,

Δt – rozdíl teplot, v tomto případě mezi 20 °C (pokojovou teplotou) a 100 °C (bodem varu vody). [3]

Poté, co teplota vody dosáhne bodu varu a je jí umožněno odebrat další teplo potřebné k vypaření, se voda přemění v páru. Množství tepla k tomu potřebného lze určit takto:

$$\Delta q_2 = l_v = 2\,255,5 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}, \quad (12)$$

kde:

Δq_2 – měrné teplo odebrané vypařením vody,

l_v – měrné skupenské teplo varu vody.

Celkové odebrané měrné teplo lze určit jednoduchým součtem v podobě:

$$\Delta q_{\text{celk}} = \Delta q_1 + \Delta q_2 = 334\,500 + 2\,255\,500 = 2\,590 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}, \quad (13)$$

kde:

Δq_{celk} – celkové odebrané měrné teplo.

Z toho vychází, že pomocí 1 kg vody o teplotě 20 °C lze jeho odpařením teoreticky odebrat požáru až téměř 2,6 MJ tepla. Z 1 kg vody vznikne vypařením asi 1 700 litrů páry, která vytěsňuje kyslík z okolí hořícího objektu. Obojí může mít za následek uhašení požáru, a je proto důležité volit parametry trysek tak, aby bylo těchto vlastností využito co nejefektivněji. [7]

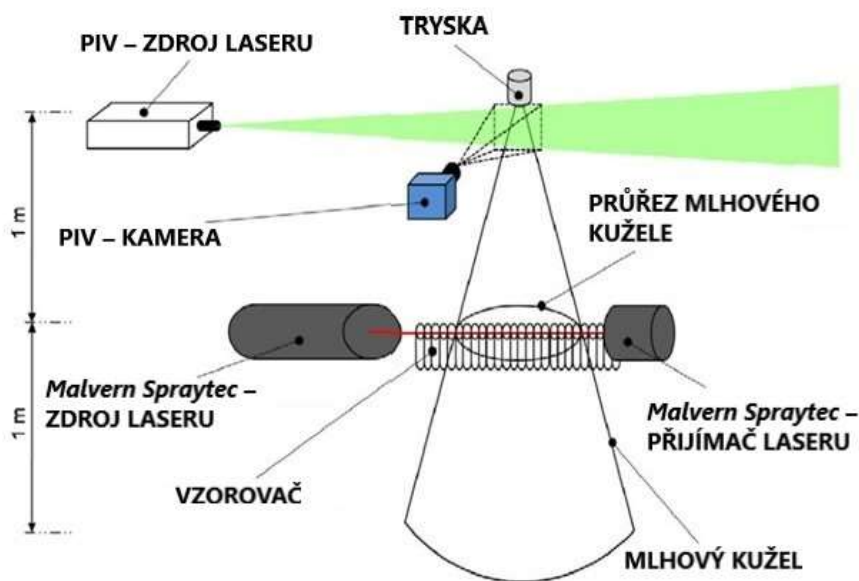
3.5 Experimentální měření velikosti a počtu kapek

Pro navržení trysky určené pro mlhové hašení je vhodné nejdříve vytvořit její model a vyzkoušet ho v softwaru k tomu určenému. Nicméně i nejpřesnější simulace nemusí přímo

² Hodnoty měrné tepelné kapacity a měrného skupenského tepla varu vody byly získány z: BROŽ, Jaromír, Vladimír ROSKOVEC a Miloslav VALOUCH. *Fyzikální a matematické tabulky*. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1980.

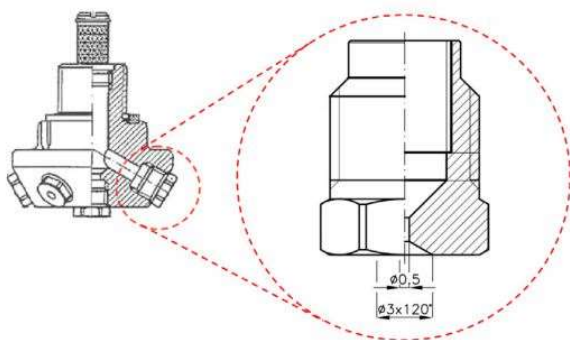
odpovídat skutečnosti, a proto je nutné vlastnosti rozstříku vycházejícího z trysky náležitě ověřit na zkušebním zařízení. Zatímco na testování trysek rozstříkujících palivo v nejrůznějších motorech bylo sestaveno nepřehledné množství experimentálních a měřících zařízení, na hasicí trysky jich není mnoho. Je tomu tak především z důvodu rozšířenosti spalovacích motorů oproti sporadickému využití mlhového hašení. [15]

Jedno z možných řešení, jak lze zkoumat parametry rozstříkované kapaliny za tryskou, bylo řešeno v odborném článku SANTANGELO, Paolo E. Characterization of high-pressure water-mist sprays: Experimental analysis of droplet size and dispersion. Uspořádání měření odpovídalo schématu z obrázku 12. [15]



Obrázek 12 Schéma měření parametrů rozstříku, upraveno [15]

V tomto experimentu byla použita běžně komerčně užívaná tryska pro mlhové hašení CJX 1140 BISG z obrázku 13, která byla umístěna do výšky 2 metrů. Tryska má celkem sedm rozstříkovacích otvorů, šest obvodových z nich ale bylo uzavřeno tak, aby fungoval pouze jeden, a to konkrétně ten osový. To umožnilo zjednodušení experimentu bez jakéhokoli negativního vlivu na výsledky. Samotné měření zajišťovalo několik přístrojů. [15]



Obrázek 13 Detailní schéma trysky CJX 1140 BISG [15]

Velikost kapek byla měřena pomocí měřiče částic *Malvern Spraytec*, jehož schéma je uvedeno na obrázku 14. Toto zařízení funguje na principu Fraunhoferova jevu. K tomu dochází, jakmile kapky ze sprchového proudu narazí na světelný paprsek generovaný laserovou diodou. Úhel difrakce, který je následně pozorován a vyhodnocován, je závislý na velikosti kapky, a tak je možné relativně snadno vyhodnocovat, jak velká kapka způsobila naměřenou difrakci. [15]



Obrázek 14 Schéma principu fungování měřiče částic *Malvern Spraytec*, upraveno [15]

Rychlost kapek byla měřena pomocí metody PIV (particle image velocimetry), která spočívá v nasvícení proudu kapek paprskem laseru. Díky tomu jsou kapky nebo jiné pozorované částice viditelné, a mohou tak být zachyceny fotoaparát. Dva snímky pořízené krátce po sobě se tedy odlišují polohou detekovaných částic. Protože je známo, jaký čas uběhl mezi pořízením jednotlivých snímků, je možné extrapolovat jejich rychlost ze znalosti změny polohy a doby trvání tohoto pohybu. [15]

Distribuce objemového průtoku byla měřena a sledována pomocí mechanického zařízení zvaného patternator (vzorovač), který se skládal ze svazku 55 plastových trubek s vnitřním průměrem 18 mm a tloušťkou stěny 3 mm. Toto zařízení bylo umístěno 1 metr pod tryskou. Pro zajištění stálého průtoku byla naistalována nádrž o objemu 57 litrů a elektrické čerpadlo. Před tryskou byl umístěn tlakový ventil, kterým byly nastavovány požadované zkušební tlaky (60, 70 a 80 barů). [15]

4 Patentová rešerše

V praxi se lze setkat s mnoha výrobci a různými typy SHZ, jejich příslušenstvím, ovládacími a řídicími prvky a způsoby zapojení. Mnoho z nich je, stejně jako v jiných odvětvích průmyslu, patentově chráněno. Pokud nějaká společnost nebo i jedinec přijde s inovativní myšlenkou na nový produkt nebo způsob, jak vyřešit konstrukční problém, vylepšit stávající technologii či podstatně zlevnit výrobu, často si jej nechá patentovat. Patentování je způsob ochrany před kopírováním nápadu autorů bez jejich souhlasu. Patent je udělován na základě řízení příslušného patentového úřadu, kterému je nutno dodat patentovou přihlášku. Ta musí obsahovat popis vynálezu (často doprovázen výkresy) a patentové nároky, tedy popis toho, co chce žadatel chránit. [16]

Pokud chce patent využívat někdo jiný než jeho majitel, je třeba sepsat licenční smlouvu, která určuje podmínky tohoto využívání. Za toto využívání může být nárokována finanční odměna. Dále je možné patent přímo prodat, čímž dojde k převedení vlastnictví patentu z prodávajícího na kupujícího. [16]

4.1 Patenty firmy Marioff

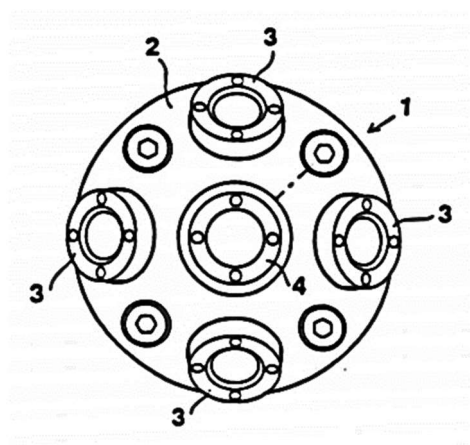
Jedním z nejdůležitějších výrobců mlhových hasicích zařízení je finská společnost *Marioff*, která vznikla v roce 1985. Od té doby je jejím hlavním cílem chránit lidské životy, majetek a podniky před požárem. Její zařízení chrání před požárem nejen na souši, ale také na mořích a oceánech. Nejdůležitějším patentem firmy *Marioff* je systém *HI-FOG*, se kterým přišla firma v roce 1991. Jeho kvalitu dokazuje i fakt, že byl v roce 2009 nainstalován na tehdy největší osobní loď světa. [17]

Patent systému *HI-FOG* vycházel ze snahy přijít na trh s novým typem hasicího zařízení s vysokou účinností a malou spotřebou hasiva. Jeho princip spočívá v účinné distribuci vodní mlhy, která je realizována tryskami. Při optimální vzdálenosti mezi jednotlivými tryskami totiž dochází k jevu, kdy okolní vzduch stoupá proti proudu mlhy, což má za následek přitahování jednotlivých mlhových proudů k sobě. To zajistí rovnoměrnou distribuci mlhy, která následně uhasí požár. Vlastnosti mlhy jsou mimo jiné závislé na úhlu výstupního otvoru trysky a na vzájemném úhlu trysek. [18]

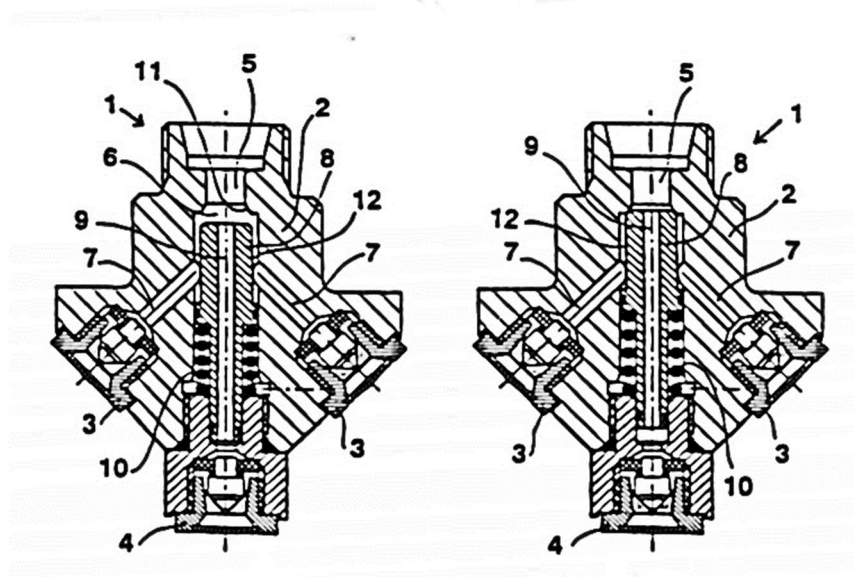
4.1.1 Koncová tryska

Inovace koncové trysky spočívá především v kombinaci jednotlivých trysek s tryskovou hlavou. V jednotlivých tryskách je vrtulka, která má za úkol účinnější tříštění kapek. Ta se roztáčí díky vysokému tlaku vody (přes 100 barů) a vytváří v tekutině turbulentní proudění.

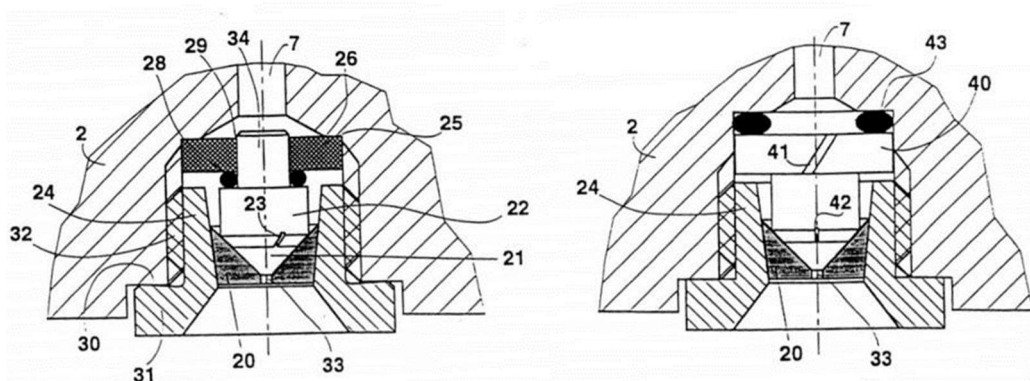
Vrtulka by měla být uložena v domečku, opatřena filtrem a těsněním. Toto řešení přineslo až 4x menší rozměry než dosavadní koncové trysky a hmotnost se snížila z původních 3–4 kg na přibližných 600 g. Konkrétní podoby patentů jsou zobrazeny na obrázcích 15, 16 a 17. [18]



Obrázek 15 Vyústění tryskové hlavy HI-FOG [18]



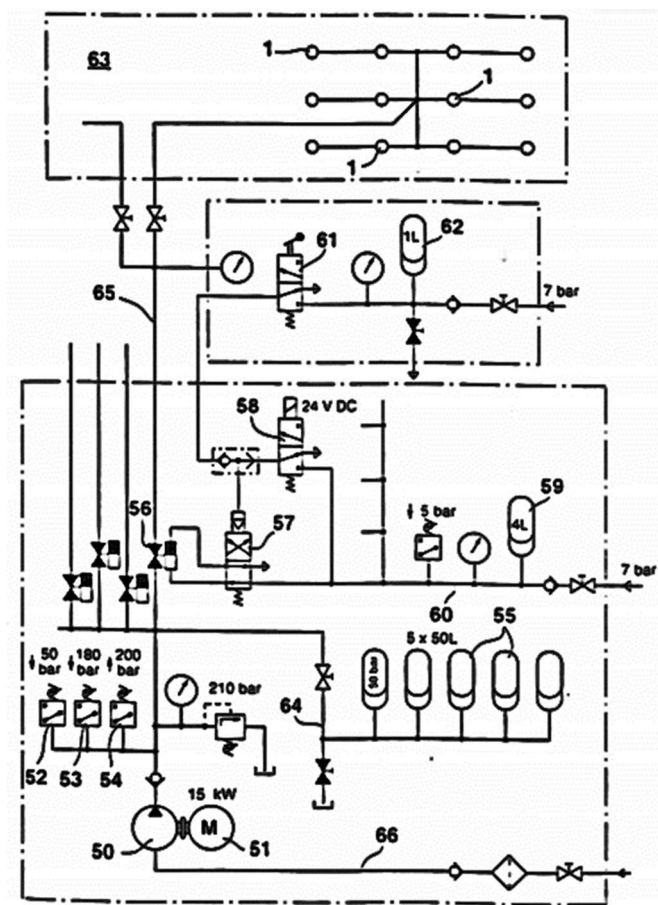
Obrázek 16 Řez tryskovou hlavou HI-FOG při hašení (vlevo) a chlazení (vpravo) [18]



Obrázek 17 Podélné řezy dvou alternativních trysek HI-FOG [18]

4.1.2 Kompletní systém požární ochrany HI-FOG

V patentu je nadále přiloženo schéma systému *HI-FOG* pro ochranu strojoven lodí a podobných prostorů. Na schématu na obrázku 17 je vidět pět 50litrových nádrží (55), čerpadlo (50) s elektromotorem (51), regulátory tlaku pro 50, 180 a 200 barů (52, 53, 54), ovládací ventily (56, 57, 58, 61) a chráněná zóna strojovny (63) s množstvím mlhových trysek (1). Dále jsou do soustavy zapojeny zásobníky stlačeného vzduchu o tlaku přibližně 7 barů (59, 62). [18]



Obrázek 18 Provozní schéma systému HI-FOG [18]

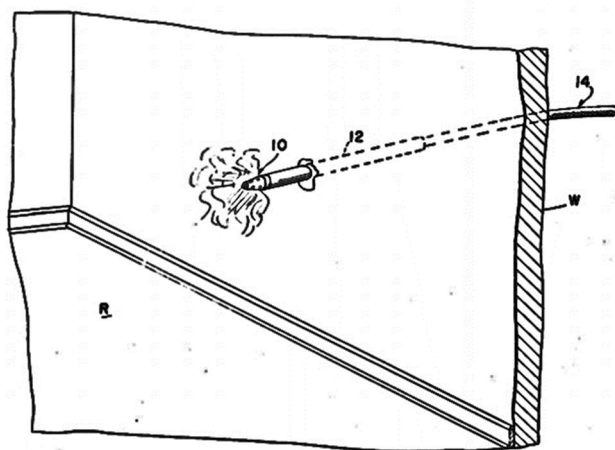
V klidovém režimu je v nádržích (55) tlak o velikosti 200 barů a čerpadlo (50) s elektromotorem (51) jsou vypnuty. Hlavní ventily (56) jsou uzavřené a nádrže se stlačeným vzduchem (59, 62) jsou natlakovány na přibližně 7 barů. Na ovládacích ventilech (57, 58) není napětí a ventil (61) je neaktivní. [18]

V případě pohotovosti je z řídicího centra přivedeno napětí na ovládací ventil (58). Přes ovládací ventil (57) dojde k otevření hlavního ventilu (56), kterým začne proudit voda do koncových trysek. V situaci, kdy klesne tlak v nádržích (55) na 50 barů, regulační ventil (52) vydá signál, díky kterému se uzavře hlavní ventil (56). Mezitím však regulační ventil (53) zaznamená pokles tlaku na 180 barů, a tak vyšle signál, kterým je spuštěn elektromotor (51)

a čerpadlo (50). K jejich vypnutí dojde až při opětovném dosažení tlaku 200 barů, o což se postará regulační ventil (54). Tlak v tryskách se tedy při této instalaci pohybuje v rozmezí 70–200 barů, což odpovídá režimu hašení, a spotřeba hasiva je 6,5–20 litrů za minutu. Při tlacích 50–70 barů, tedy režimu chlazení, se spotřeba hasiva pohybuje okolo 2 l za minutu. [18]

4.2 Patent Fredericka C. Robertse

Vynález, který si v roce 1956 patentoval Američan Frederick C. Roberts, je užitečným nástrojem pro bezpečný boj s požáry. Toto zařízení se neřadí do kategorie preventivní ochrany, ale naopak do kategorie nástrojů, které mají k dispozici hasičská jednotka. Jde o speciálně upravenou mlhovou trysku, která je uzpůsobena na penetraci stěn tak, jak lze vidět na obrázku 19, a následné uhašení požáru vodní mlhou bez přímého kontaktu hasičů s ohněm. [19]

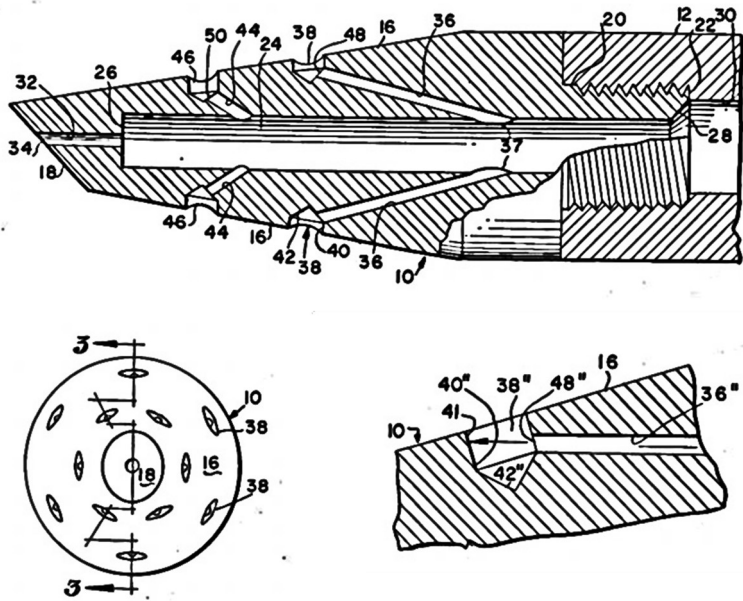


Obrázek 19 Hasící tryska dle patentu Robertse po penetraci zdi [19]

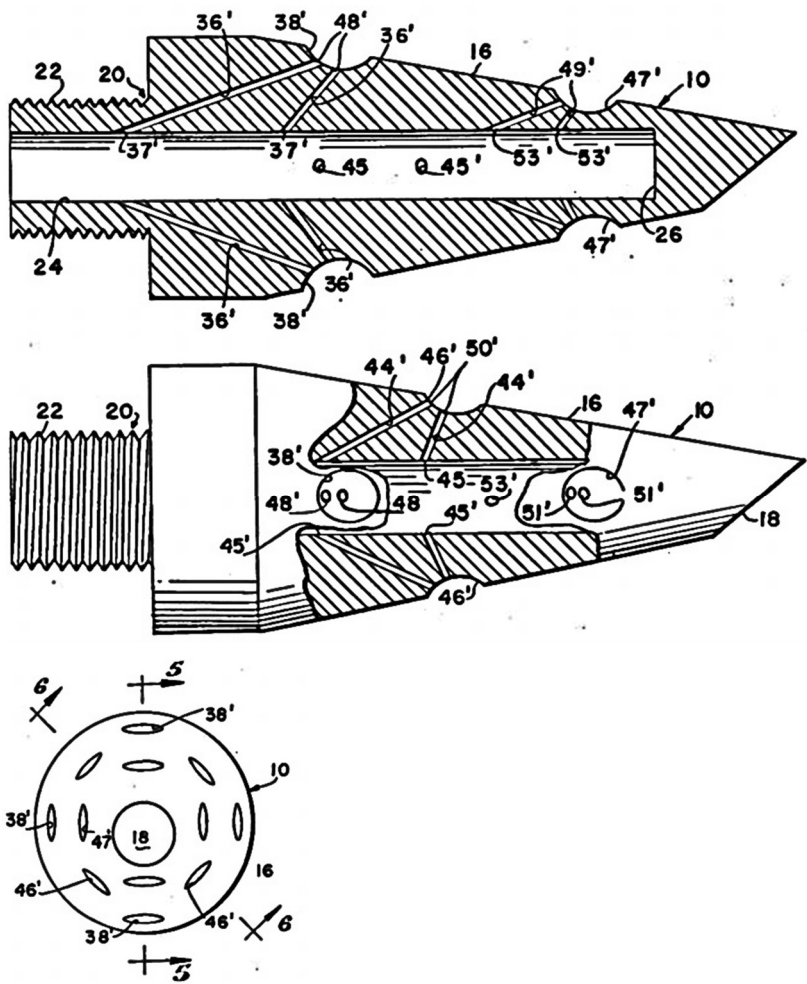
Vodní mlha má stejné klady a zápory jako při použití v SHZ. Hlavním přínosem tohoto patentu je ale jeho schopnost penetrovat zdi, stropy, okna nebo podlahy. S tím je spjatá i nevýhoda v podobě možného zanesení kanálků trysky při penetraci, což snižuje kvalitu distribuce vodní mlhy. Robertsův patent tomuto problému svou geometrií předchází. [19]

4.2.1 Geometrie trysky dle patentu Robertse

Základním tvarem trysky na obrázku 20 je komolý kužel (16) s ostrým koncem (18) určeným na prorážení překážek. Konec trysky (20) je opatřen dřikem se závitem (22), který je zašroubován do přívodní trubice (12). Rozvod vody v trysce obstarává centrální válcový kanál (24), který se v osovém směru mění na kanál s menším průměrem (34) a po obvodu na šikmé kanály (36, 44) rovněž s menším průměrem. Oba typy kanálů (34, 36) jsou zakončeny oddělenými výběhy (46, 48). Delší šikmý kanál (36) svírá s hlavní osou úhel 15°, zatímco kratší šikmý kanál (44) přibližně 22°, ale obě tyto hodnoty je možno měnit, pokud jsou zachovány ostré úhly. Na obrázku 21 je pak druhá verze tohoto vynálezu. [19]



Obrázek 20 Řez, čelní pohled a detail výběhu Robertsovy trysky [15]

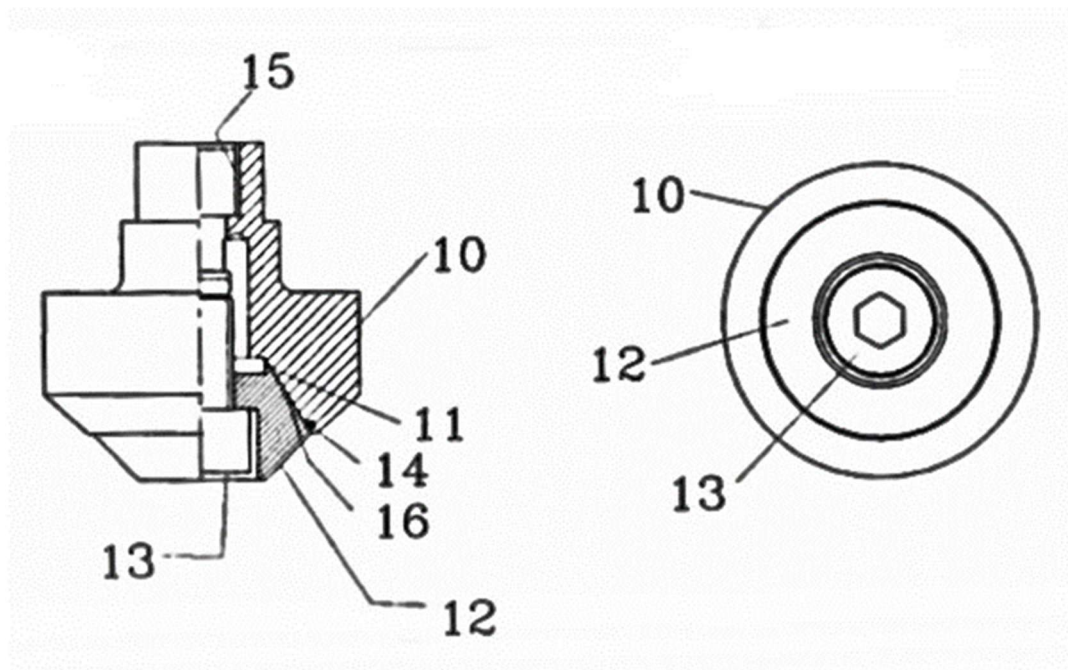


Obrázek 21 Dva řezy a čelní pohled druhé verze Robertsovy trysky [19]

4.3 Patent Bo Kureho

V roce 1995 přišel s patentem na mlhovou trysku dvoučlenný švédský tým, v jehož čele stál Bo Kure. Tato tryska měla být řešením problémů, kterými trpěly do té doby známé hasicí rozprašovače. Šlo především o vysokou cenu a dilema mezi optimální velikostí kapek se špatnou distribucí mlhy a špatnou velikostí kapek s optimální distribucí mlhy. [20]

Tito švédští vynálezci si kladli za cíl vymyslet takovou trysku, která by měla malou spotřebu vody (1–10 litrů za minutu) s tlakem mezi 15–250 bary. Díky nové geometrii se jim podařilo zvýšit výstupní rychlost mlhy až na $200 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ při tlaku 200 barů. Dosavadní trysky dosahovaly při tlaku 60 barů výstupní rychlosti $60 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Toto zlepšení přineslo 10násobné zvětšení hasicího dosahu jedné trysky. Pomocí malých jednoduchých změn v geometrii trysky se navíc mohou velice snadno modifikovat vlastnosti výstupní mlhy, a tak lze trysku přizpůsobovat pro různé aplikace. [20]

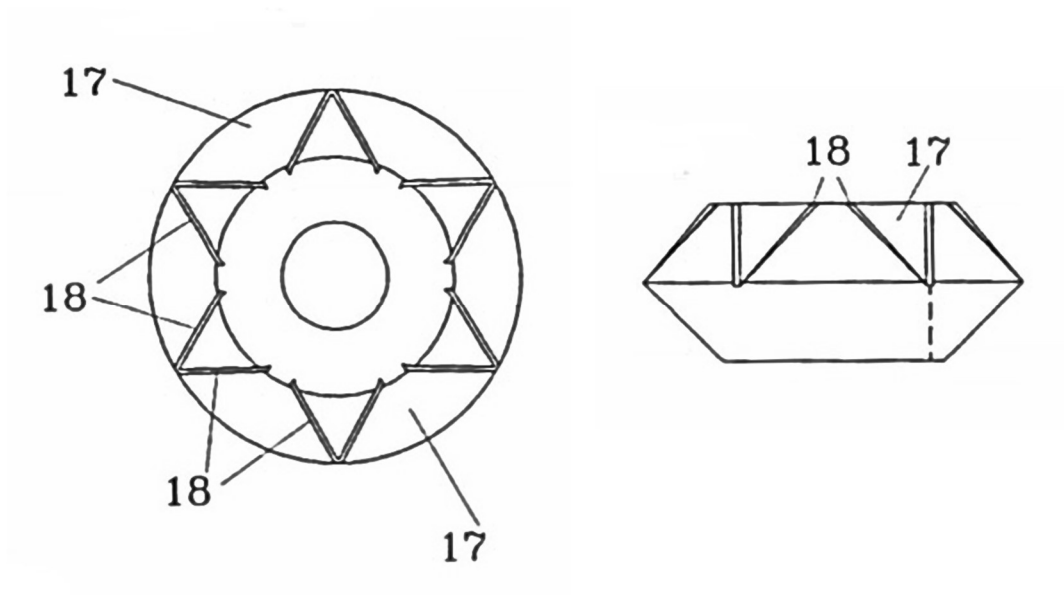


Obrázek 22 Boční pohled s polovičním řezem a čelní pohled na Kureho trysku [20]

Tryska na obrázku 22 se skládá z těla (10), filtru (11), tryskové hlavy (12), šroubu (13) a těsnícího o-kroužku (14). Uvnitř horní části těla (10) se nachází vnitřní závit (15), který umožňuje trysku napojit na rozvod vody s tlakem například 200 barů. Trysková hlava (12) je ve tvaru dvojitého kužele a je opatřena úzkými frézovanými drážkami (18), jak lze vidět na obrázku 23. Tyto drážky (12) jsou v párech vedeny až na povrch tryskové hlavy (12), kde z nich tryskají paprsky vody. Vně trysky se díky geometrii paprsky sráží. Mezi nimi se objevuje podtlak, který na místo přisává vzduch. V místě srážky je tento vzduch stlačen, zatímco paprsky

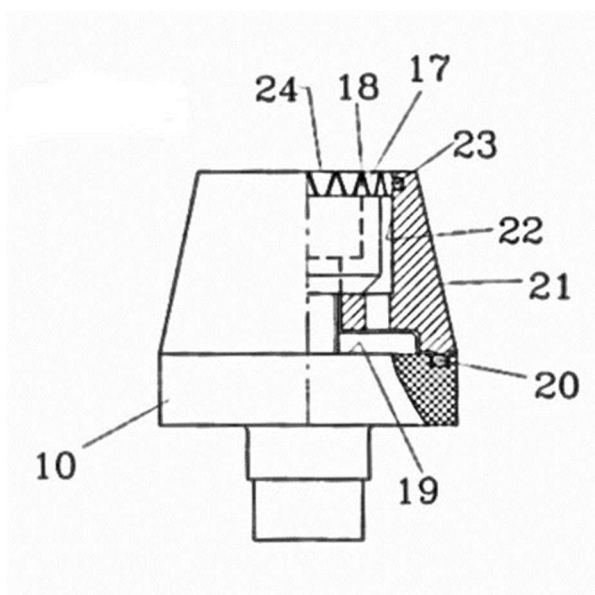
se rozpadají na vodní mlhu. Pokud jsou rychlosti paprsků vysoké a geometrie trysky přesná, vzniká velmi jemná mlha. [20]

V případě požadavku modifikovat parametry vznikající vodní mlhy (distribuci, velikost kapek a rychlost šíření), existuje několik možností, jak toho dosáhnout. Jednou z nich je zvětšení nebo zmenšení úhlu, pod kterým se paprsky vody setkávají. Standardně se zachovávají přímé kanály se čtvercovým průřezem. [20]



Obrázek 23 Detailní čelní a boční pohled na hlavu Kureho trysky [20]

Tento patent mimo jiné přinesl i vylepšení dosavadních trysek určených pro ruční mlhové hašení. Drobné úpravy v geometrii mají za následek, že většina kinetické energie a proudu vodní mlhy směřuje v axiálním směru. Kromě toho tryska zobrazená na obrázku 24 vytváří radiální mlhový štít, který chrání obsluhu trysky před tepelným zářením. [20]



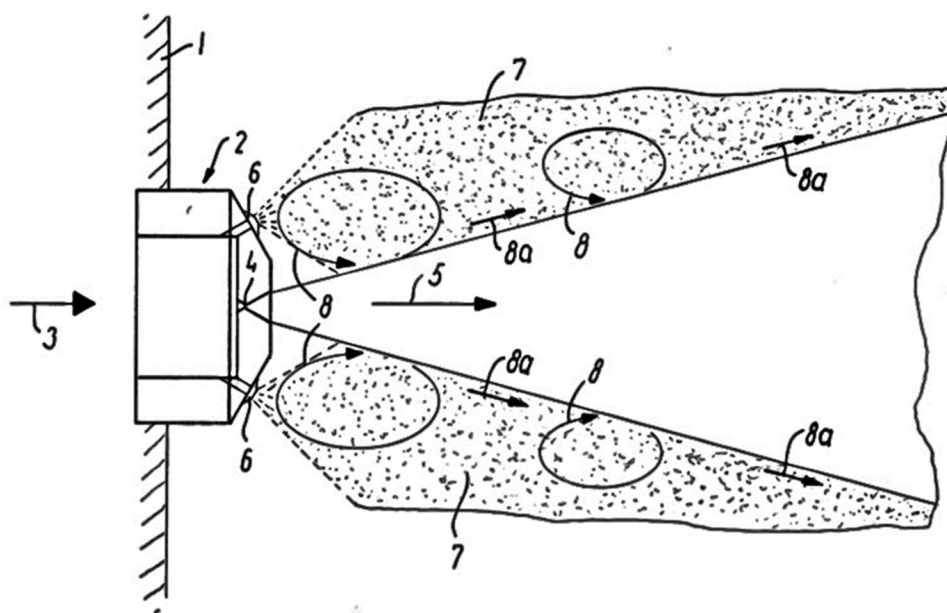
Obrázek 24 Kureho tryska využitelná pro ruční mlhové hašení [20]

4.4 Patenty Carstena Palleho

Dánský vynálezce Carsten Palle rozšířil obor mlhového hašení o dva důležité patenty. Prvním z nich je „Metoda a tryska na tvorbu vodní mlhy“ a druhým z nich je „Kapalinový rozprašovač s dvojitou tryskou na hašení“. [21, 22]

4.4.1 Metoda a tryska na tvorbu vodní mlhy Carstena Palleho

Tento patent přinesl způsob, jakým lze jednou tryskou generovat vodní mlhu současně s kuželovitým paprskem vody, jak je patrné z obrázku 25. Kuželovitý proud vody směřuje axiálně ve směru trysky, zatímco s sebou svou rychlostí unáší kapky vodní mlhy na relativně velkou vzdálenost. To je důležitý fakt, díky němuž můžeme zvyšovat dosah hasící mlhy. [21]



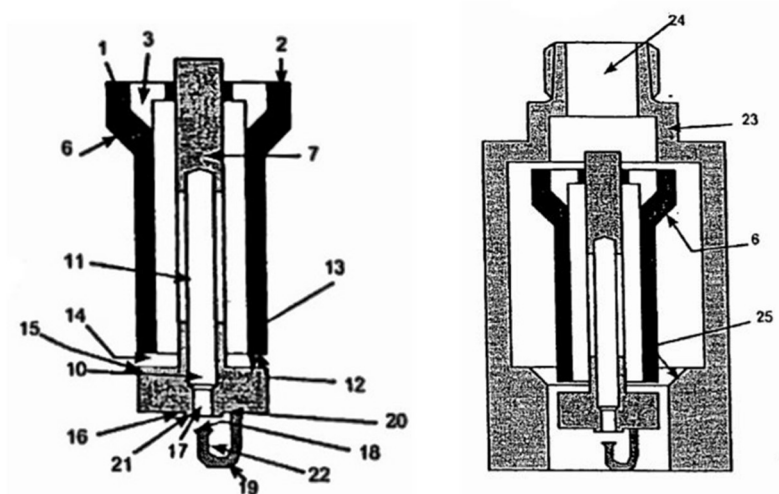
Obrázek 25 Příklad trysky a mlhového oblaku dle Palleho patentu [21]

Na obrázku 25 je na svislé stěně (1) umístěna tryska (2) tak, aby generovala mlhu v axiálním (vodorovném) směru. Do trysky (2) je přiváděna tlaková voda (3), která je centrálním kanálem dopravena až do axiálního vyústění (4), odkud je rozstříkovan kuželovitý paprsek vody (5). Na okraji trysky (2) jsou umístěny další dvě šikmá vyústění (6), ze kterých tryská vodní mlha (7). Ta se šíří paralelně s vnějším okrajem kuželovitého paprsku vody (5). Při jejich vzájemném kontaktu dochází k turbulentnímu proudění mlhy (7), což má za následek zachycení a šíření dalších drobných kapek v šikmých směrech. [21]

Příkladová tryska je vybavena dvěma šikmými vyústěními (6) pro tvorbu mlhy, ale je možné navrhnout ji s vyšším počtem těchto vyústění. Rovněž lze podle nároků na mlhu upravit geometrii. [21]

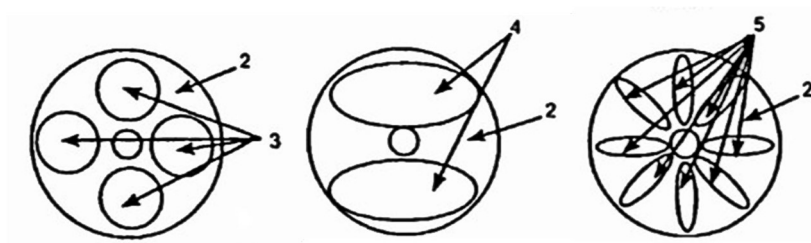
4.4.2 Kapalinový rozprašovač s dvojitou tryskou na hašení Carstena Palleho

Přínos tohoto vynálezu spočívá v odlišně fungující trysce zobrazené na obrázku 26. Tryska se od ostatních liší především dvojitou konstrukcí. Zatímco z jedné trysky je generován jemný vodní film do okolí, z druhé trysky (středový otvor) je generován proud v axiálním směru. [22]



Obrázek 26 Kapalinový rozprašovač dle Palleho patentu samostatně a v pouzdře [22]

Pohárek (1), jehož svrchní plocha (2) je opatřena otvory nebo drážkami (3) zobrazených na obrázku 27, se rozbíhá v úhlu 20–130°. Skrze pohárek (1) vede trn (7) se středovým otvorem (10). Trn (7) je rovněž opatřen drážkami nebo otvory (11). Krajní obvod trnu (15) vybíhá podle požadavků na distribuci mlhy pod úhlem v rozmezí 45–90°. V koncové části trnu (16) se nachází vyvýšení (21) se středovým vyústěním (17). Průměr tohoto vyústění odpovídá 0,1–0,7násobku průměru středového otvoru (10), z něhož vychází. [22]



Obrázek 27 Otvory a drážky ve svrchní ploše trysky dle Palleho patentu [22]

Ve chvíli, kdy je přivedena tlaková voda do přívodního vstupu (24), se přitlačí kuželová plocha pohárku (6) na kuželovou plochu pouzdra (25), čímž dojde k utěsnění tohoto prostoru. Díky tomu jsou mezera mezi tryskou a trnem (14) a středový otvor (10) průchozí pro hasivo. Pohárek (1) je dimenzován tak, aby byl na celé ploše trnu (13) stejný tlak, což zajišťuje rovnoměrnou distribuci tenkého kapalného filmu mezerou (14) do okolí v celém rozmezí 360°. Tento film se později rozpadá na drobné kapky. [22]

5 Návrh vlastní trysky

Na základě nabytých znalostí z řešební části byla navržena vlastní tryska pro mlhové hašení. Při návrhu byl kladen důraz na co nejjednodušší tvar tak, aby byl levný na výrobu. Z tohoto důvodu byl jako způsob tvorby mlhy vybrán princip srážení vodních proudů (paprsků).

Jednoduchým způsobem, jak lze testovat nové výrobky při prototypové výrobě, je 3D tisk. Při tomto způsobu výroby není nutné vyrábět formy pro odlévání nebo vstřikováním a rovněž takto lze nahradit třískové obrábění.

Po návrhu jednotlivých prototypů v programu *Autodesk Inventor* byly přenášeny modely ve formátu *.stl* do programu *PrusaSlicer*. V tomto programu lze nastavovat parametry tisku (typ tiskového filamentu, tloušťku vrstvy, kvalitu a rychlost tisku, tvar výplně atd.). Výstupem z tohoto programu je soubor ve formátu *.gcode*, který je používán CNC stroji, tedy i 3D tiskárnami. K výrobě jednotlivých modelů byla použita tiskárna *Original Prusa i3 MK3S*.

5.1 Koncept 1/2"

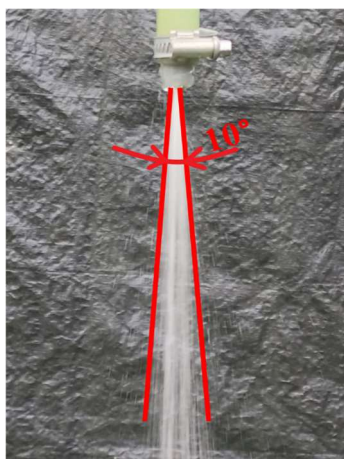
V první fázi byla navržena tryska o výšce 42 mm a o průměru 1/2" (přibližně 13 mm). Tento průměr odpovídá běžně dostupné zahradní hadici, což usnadnilo testování. Jako výchozí materiál byl zvolen bioplast PLA. Postupný vývoj je zachycen na obrázku 28.



Obrázek 28 Postupný vývoj 1/2" trysky [autor]

Při tisku prvního návrhu došlo kvůli štíhlosti trysky k uvolnění základny, čímž byl tisk znehodnocen. To bylo vyřešeno technologickou základnou ve tvaru kužele, která byla po ukončení tisku odříznuta. Takto upravený kus byl vytištěn bez přerušení. Díry o průměru 0,2 mm však byly příliš malé, a tak byla tryska neprůchozí. Další návrh s dírami o průměru 0,4 mm dopadl obdobně, a tak byly pro testovací účely díry zprůchoďněny hrotem nažhavené jehly. To však vedlo k zásadní změně geometrie, což mělo za následek, že se proudy určené ke srážce mýjely.

Čtvrtý návrh byl opět vybaven technologickou základnou, zvětšenými dírami na průměr 0,6 mm a zároveň byla zmenšena jeho délka tak, aby byl zkrácen tiskový čas. Takto vytištěná tryska s průchozími dírami již byla úspěšně otestována. Objemový průtok byl velmi malý, nevznikal dostatek vodní mlhy a tvořící se mlhový kužel měl příliš ostrý vrcholový úhel. Dále byly otestovány trysky s dírami o průměrech 0,8 a 1 mm, jejich výsledky ale byly kromě většího objemového průtoku stejné.



Obrázek 29 Zkouška čtvrtého návrhu konceptu 1/2" [autor]

Ze zkoušky na obrázku 29 je vidět, že vrcholový úhel rozstříku odpovídá 10°. Takový úhel nevyhovuje požadavku aplikace, kterým je většinou umístění na stropě místností. V tomto případě by měla tryska pouze omezený hasicí efekt na malou oblast přímo pod ní. Dále je z obrázku patrné, že je mlhový kužel tvořen 6 úzkými paprsky vody a slabou mlhou okolo nich. Materiál, ze kterého byl vytištěn testovaný kus, byl změněn na PETG, který je stabilnější při dlouhodobém kontaktu s vodou než materiál PLA.

5.2 Koncept 3/4"

Kvůli potřebě většího prostoru na úpravu geometrie trysky byl změněn vnější průměr trysky na 3/4" (přibližně 19 mm). Tato změna znamenala nutnost trysky tisknout odspodu (od vyústění směrem k přívodu) nebo s oporou vnitřního náběhového kužele. Výhodou většího průměru byla možnost tisknout bez technologické základny. Zvolený materiál byl opět PETG, také kvůli vyšší odolnosti při dlouhodobém kontaktu s vodou.

První návrh z tohoto konceptu byl vysoký 20 mm. Hlavní změnou geometrie byl komolý kužel, ze kterého vycházelo 8 otvorů o průměru 0,8 mm. Díky tomu se mohly proudy vody srážet pod příhodnějším úhlem, což mělo za následek lepší tvorbu mlhy. V tuto chvíli bylo třeba najít vhodnou kombinaci počtu děr a jejich průměru, a optimalizovat tak objemový průtok a vytvořit dostatečně hustou mlhu tvořenou malými kapkami.



Obrázek 30 Výběr z prototypů vyvíjené 3/4" trysky [autor]

Pro úsporu tiskového času a materiálu byly trysky sníženy nejdříve na 18 mm a poté na 16 mm. Byly odzkoušeny trysky se 3 dírami o průměru 0,6 mm, 8 dírami o průměru 0,6 a 0,8 mm, 6 dírami o průměru 1 mm a 4 dírami o průměrech 1,2 a 1,4 mm. Některé z nich jsou na obrázku 30. Kvůli nepřesnostem, které vznikají při tisku, se malé průměry ukázaly jako nevhodné. Jejich citlivost na jakoukoli nerovnost způsobovala odklon proudu od požadovaného směru nebo změnu jeho celistvosti.

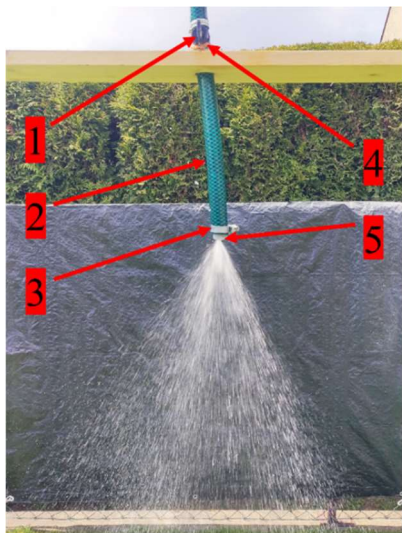


Obrázek 31 Zkouška modelu finální geometrie navrhované trysky [autor]

Nejlepšího výsledku bylo dosaženo s návrhem se 4 dírami o průměru 1,2 mm. Vzhledem k vlastnostem 3D tisku však byly tyto díry po vytištění menší. To bylo vyřešeno vrtákem o průměru 1 mm. Pomocí něho byly díry ručně bez použití vrtačky zbaveny nerovností vzniklých při tisku, a tak byla zajištěna jejich válcovitost a hladký povrch. Na obrázku 31 je vidět pravidelné rozložení kapek bez viditelných souvislých proudů. Vrcholový úhel mlhového kužele je 50°, čímž je dosaženo optimální distribuce mlhy do prostoru pod tryskou.

5.3 Měření vlastností a kontrolní výpočty navržené trysky

Pro zkoušení mlhových trysek byl sestaven zkušební aparát zachycený na obrázku 32, díky kterému bylo možné pozorovat hustotu mlhy, distribuci jednotlivých kapek a vrcholový úhel mlhového kužele.



Obrázek 32 Zkušební aparát pro navrhované trysky [autor]

Zkušební aparát se skládal z uzavíracího ventilu (1), $\frac{3}{4}$ " hadice (2), stahovací objímky (3), filtru (4) a trysky (5). $\frac{3}{4}$ " hadicí (2) byla do trysky (5) dopravována voda z obecního vodovodního řádu. Pro snadnou manipulaci byl do hadice (2) zařazen uzavírací ventil (1). Přes něj byla převlečena silonová punčoška (4), která sloužila jako filtr pro jemné nečistoty. Ty se při testování některých předchozích modelů bez filtru dostaly až do samotné trysky, kde ucpaly výstupní díry a snížily nebo dokonce zastavily průtok vody. Tryska (5) byla opatřena stahovací objímkou (3), která zajistila setrvání trysky na místě a těsnící spoj.

Celý aparát byl uchycen pomocí dřevěného rámu. Za aparátem byla nainstalována černá plachta, aby bylo možné za využití světla za slunného počasí kontrolovat parametry mlhy. Především se to týkalo rovnoměrnosti její distribuce, průhlednosti, vrcholového úhlu a přítomnosti celistvých vodních proudů.

5.3.1 Objemový průtok a výtoková rychlost

Při měření kontrolního průtoku $\frac{3}{4}$ " hadicí bez trysky bylo zjištěno, že tlak ve vodovodním řádu poskytuje objemový průtok $20,7 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$. Z něho lze určit střední objemovou výtokovou rychlost jako:

$$v_{3/4} = \frac{\dot{V}_{3/4}}{S_{3/4}} = \frac{\dot{V}_{3/4}}{\frac{\pi(d_{3/4})^2}{4}} = \frac{20,7 \cdot 10^{-3} \cdot 60^{-1}}{\frac{\pi \cdot (19 \cdot 10^{-3})^2}{4}} = 1,22 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}, \quad (14)$$

kde:

$v_{3/4}$ – střední objemová rychlost vody v $\frac{3}{4}$ " hadici bez trysky,

$\dot{V}_{3/4}$ – objemový průtok vody v $\frac{3}{4}$ " hadici bez trysky,

$S_{3/4}$ – plocha průtočného průřezu $\frac{3}{4}$ " hadice,

$d_{3/4}$ – vnitřní průměr $\frac{3}{4}$ " hadice.

Následně byl změřen objemový průtok vody procházející tryskou napojenou na $\frac{3}{4}$ " hadici, který odpovídal $4,6 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$. Tomu odpovídající střední objemovou výtokovou rychlost jedním otvorem trysky (z celkových 4 kanálů) lze spočítat stejně jako v předchozím případě:

$$v_t = \frac{\dot{V}_t}{S_t} = \frac{\dot{V}_t}{4 \frac{\pi(d_o)^2}{4}} = \frac{4,6 \cdot 10^{-3} \cdot 60^{-1}}{\pi \cdot (1 \cdot 10^{-3})^2} = 24,40 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}, \quad (15)$$

kde:

v_t – střední objemová rychlost vody v jednom kanále trysky,

\dot{V}_t – objemový průtok vody všemi čtyřmi kanály trysky,

S_t – celková plocha průtočného průřezu děr trysky,

d_t – vnitřní průměr jedné díry trysky.

Při použití trysky klesl průtok z hodnoty $20,7 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$ na $4,6 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$, což odpovídá snížení o 77,8 %. Výtoková rychlost se oproti tomu zvýšila z $1,22 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ na $24,4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, tedy 20násobně.

5.3.2 Velikost kapek

Pro zjištění oblasti, ve které se nachází pracovní režim trysky, je nutné vypočítat dle rovnic (7), (8) a (9) Reynoldsovo, Weberovo a následně Ohnesorgovo číslo³:

$$Re = \frac{\rho_l D v}{\mu_l} = \frac{998 \cdot 0,001 \cdot 24,4}{0,001} = 24\,351,2. \quad (16)$$

Pro zjištění přesnějšího Weberova čísla je dobré spočítat průměr kapek, které se tvoří po přeformování válcovitých úseků paprsků. K tomu lze použít Rayleighův vztah pro vlnovou délku odpovídající délce tohoto úseku, a následně porovnat objem úseku s objemem koule, do níž válec přejde. Délku lze stanovit dle rovnice (10) jako:

$$\lambda_R = 4,508 \cdot 2a = 4,508 \cdot 2 \cdot 0,0005 = 4,508 \cdot 10^{-3} \text{ m}. \quad (17)$$

³ Hodnoty dynamické viskozity a hustoty vody byly získány z: BROŽ, Jaromír, Vladimír ROSKOVEC a Miloslav VALOUCH. *Fyzikální a matematické tabulky*. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1980.

Z porovnání objemu příslušného válce a odpovídající koule lze jednoduše vyjádřit vztah:

$$d_{kap} = \sqrt[3]{\frac{3}{2}\lambda_R D^2} = \sqrt[3]{\frac{3}{2} \cdot 4,508 \cdot 10^{-3} \cdot 0,001^2} = 1,89 \cdot 10^{-3} \text{ m}, \quad (18)$$

kde:

d_{kap} – průměr kapky.

Z výsledku rovnice (18) již lze spočítat Weberovo číslo⁴:

$$We = \frac{\rho_l d_{kap} v^2}{\sigma} = \frac{998 \cdot 1,89 \cdot 10^{-3} \cdot 24,4^2}{0,07275} = 15\,436,2. \quad (19)$$

Ohnesorgovo číslo lze poté určit podle rovnice (9):

$$Oh = \frac{\sqrt{We}}{Re} = \frac{\sqrt{15\,436,2}}{24\,351,2} = 5,1 \cdot 10^{-3}. \quad (20)$$

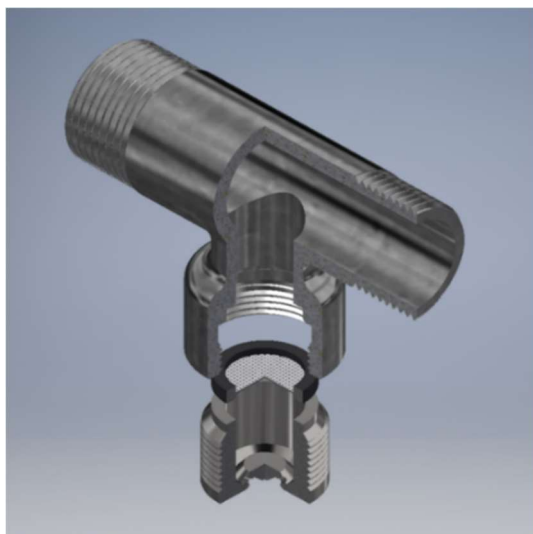
Na základě vypočtených hodnot z rovnic (19) a (20) lze v diagramu z obrázku 10 zjistit, že se provozní režim nachází v oblasti, pro kterou platí Rayleighův vztah (10). Podle rovnice (17) však vzdálenost, za jakou se paprsek může začít rozpadat, přibližně odpovídá místu, kde se kvůli dané geometrii proudy vycházející z trysky srážejí. Atomizace na jemné kapky, odpovídající definici vodní mlhy pro hašení, tak nastává výhradně za místem srážky. Pro zjištění přesné velikosti, rychlosti a distribuce jednotlivých kapek by bylo nutné použít speciálních laboratorních zařízení např. dle schématu na obrázku 12. Pokud by bylo žádoucí zajistit vznik kapek například o průměru 0,5 mm bez pomoci srážení jednotlivých proudů, bylo by třeba vytvořit trysku s dírami o průměru přibližně 0,2644 mm. Po rozpadu paprsků z takovéto trysky by vznikaly dle Rayleigha kapky o průměru 0,5 mm, což lze ověřit dosazením do rovnic (18) a (19).

5.4 Vizualizace budoucího použití trysky

Samotnou trysku nelze použít jako prevenci šíření požáru nebo jeho uhašení. Je nutné ji připojit na rozvod vody. V případě navrhované trysky jde o nízkotlakou verzi, která může pracovat s tlakem ve vodovodním řádu. Pro připojení na trubky vedené pod stropy jednotlivých

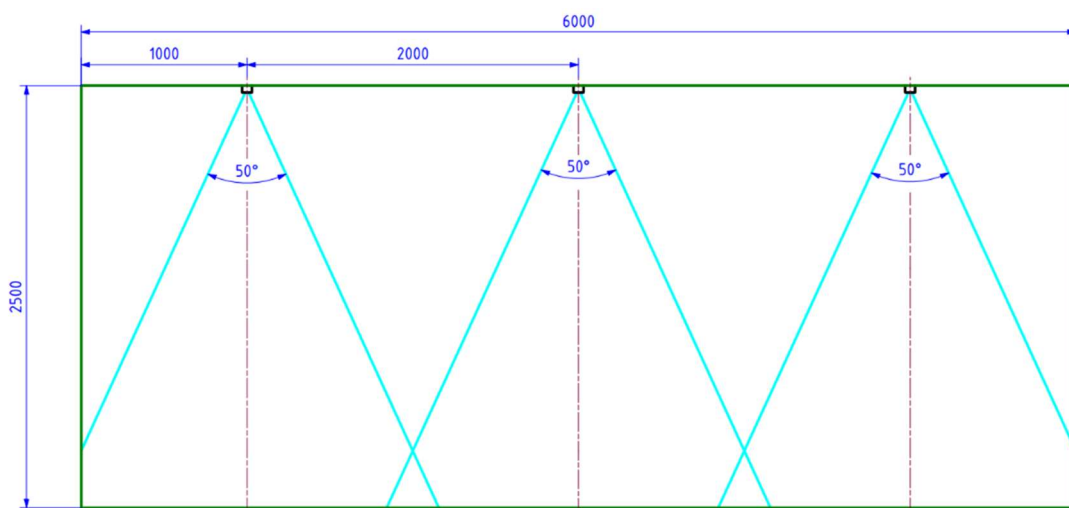
⁴ Hodnoty povrchového napětí a hustoty vody byly získány z: BROŽ, Jaromír, Vladimír ROSKOVEC a Miloslav VALOUCH. *Fyzikální a matematické tabulky*. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1980.

místností může sloužit jednoduché šroubení na obrázku 33. Mezi trysku a šroubení je vloženo speciální těsnění, které zároveň slouží jako sítko na případné nečistoty.



Obrázek 33 Vizualizace možného použití trysky [autor]

Navržená tryska může sloužit jako levná alternativa k vysokotlakým mlhovým SHZ. Je jasné, že nemůže dosahovat tak vysokého stupně ochrany, nicméně její potenciál je především v její dostupnosti. Vzhledem k několikanásobně menším výrobním a provozním nákladům a možnosti fungování bez strojovny, pouze při připojení na běžný vodovodní řád, je tryska dobrým nástrojem pro snížení rizika kompletního vyhoření například v malých provozech nebo rodinných domech a bytech.



Obrázek 34 Schéma rozmístění trysek a vznikajících mlhových kuželů [autor]

Při instalaci více kusů navržené trysky by při správném rozmístění měly tyto trysky zabránit rozšíření požáru z místa jeho vzniku, a umožnit tak evakuaci lidí a zvířat mimo budovu ohroženou požárem. Příklad rozmístění je uveden na obrázku 34.

Navrhovaná tryska byla vytisknuta včetně šroubení a těsnícího sítky. Šroubení bylo tisknuto na dvě části a následně slepeno lepidlem na tvrdé plasty. Výsledná podoba je na obrázcích 35 a 36. Tři otvory v čelní ploše trysky by měly sloužit pro montáž a demontáž pomocí speciálního klíče, který není běžně dostupný a měl by ho mít pouze proškolený personál. V příloze 1 je výkres navrhované trysky.



Obrázek 35 Model šroubení, těsnícího sítky a trysky [autor]



Obrázek 36 Model trysky ve šroubení [autor]

Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo seznámit se se systémy hašení požáru a navrhnout vlastní konstrukci mlhové hasicí trysky. Toto řešení pak ověřit experimentem, výpočtem nebo simulací.

Práce byla rozdělena na teoretickou a praktickou část. V teoretické části byly uvedeny poznatky získané při studiu podkladů spojených s problematikou mlhového hašení. Šlo především o dynamiku požáru a způsoby přenosu tepelné energie, dále o principy fungování stabilních hasicích zařízení a jejich typy. Rovněž byla popsána definice vodní mlhy pro hašení a principy jejího vzniku, její vlastnosti a způsoby tvorby mlhy používané pro hašení. Za účelem seznámení se s běžně používanými typy trysek byla vytvořena patentová rešerše, ve které bylo čerpáno přímo z jednotlivých patentů.

V praktické části bylo popsáno, jak postupoval návrh geometrie vlastní trysky a problémy, které tento vývoj doprovázely. Aby mohlo být fungování jednotlivých prototypů ověřeno, byly všechny jednotlivé kusy vytisknuty na 3D tiskárně a důkladně otestovány. Díky tomu mohla být geometrie efektivně upravována tak, aby na konci vývoje stál fungující produkt, který by byl levný na výrobu.

Vlastnosti výsledné navržené trysky byly ověřeny na měřícím aparátu zkonstruovaném přímo za tímto účelem. Měřením bylo zjištěno, že vrcholový úhel mlhového kužele je roven 50° a že objemový průtok tryskou při napojení na běžný vodovodní řád odpovídá $4,6 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$. Na základě objemového průtoku byla určena střední výtoková rychlost, konkrétně $24,4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Tyto hodnoty by měly zajišťovat dobré hasicí vlastnosti. Pro případné využití v praxi byla provedena vizualizace, jak by bylo možné trysku připojit na běžně používané potrubní systémy.

Použité zdroje

- [1] BALOG, Karel a Miloš KVARČÁK. *Dynamika požáru*. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 1999. ISBN: 80-86111-44-X.
- [2] POSLT, Bohuslav a Václav DOLEJŠ. *Hasicí přístroje a stabilní hasicí zařízení*. Praha: Československý svaz požární ochrany, 1967.
- [3] RYBÁŘ, Pavel. Mlhová stabilní hasicí zařízení pro protipožární ochranu objektů a technologií (1. část). *TZB-info* [online]. 2017 [cit. 2020-09-28]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/pozarni-bezpecnost-staveb/16205-mlhova-stabilni-hasici-zarizeni-pro-protipozarni-ochranu-objektu-a-technologie-1-cast>.
- [4] RYBÁŘ, Pavel. Sprinklerová stabilní hasicí zařízení - I. díl. *TZB-info* [online]. 2016 [cit. 2020-09-30]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/pozarni-vodovod/13971-sprinklerova-zarizeni-i-dil>.
- [5] KUTI, Rajmund. Advantages of Water Fog Use as a Fire Extinguisher. *AARMS – Academic and Applied Research in Military Science* [online]. 2015, roč. 14, č. 2, s. 259–264, [cit. 2020-10-02]. ISSN 2786-0744. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/322869120_Advantages_of_Water_Fog_Use_as_a_Fire_Extinguisher.
- [6] FIRESAFE SYSTEMS. Firesafe Sprinkler Systems Benefits of water-mist systems – Firesafe Sprinkler Systems. *Firesafesystems.com* [online]. ©2013 [cit. 2020-10-24]. Dostupné z: <https://firesafesystems.com.au/benefits-of-water-mist-systems/>.
- [7] RYBÁŘ, Pavel. Mlhová stabilní hasicí zařízení pro protipožární ochranu objektů a technologií (2. část). *TZB-info* [online]. 2017 [cit. 2020-10-30]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/pozarni-bezpecnost-staveb/16244-mlhova-stabilni-hasici-zarizeni-pro-protipozarni-ochranu-objektu-a-technologie-2-cast>.
- [8] RYBÁŘ, Pavel. Mlhová stabilní hasicí zařízení pro protipožární ochranu objektů a technologií (3. část). *TZB-info* [online]. 2017 [cit. 2020-10-30]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/pozarni-bezpecnost-staveb/16276-mlhova-stabilni-hasici-zarizeni-pro-protipozarni-ochranu-objektu-a-technologie-3-cast>.
- [9] LEFEBVRE, Arthur Henry. *Atomization and sprays*. New York: Boca Raton: CRC Press, 1989, ISBN 978-0891166030.
- [10] ZHEN, W., W. WENHE a W. QINGSHENG. Optimization of water mist droplet size by using CFD modeling for fire suppressions. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* [online]. 2016, roč. 44, s. 626–632 [cit. 2021-04-30]. ISSN 0950-4230. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2016.04.010>.
- [11] MACÁK, Václav. *Hašení vodní mlhou*. Praha: Československý svaz požární ochrany, 1961.
- [12] SIRIGNANO, William A. a Carsten MEHRING. Review of theory of distortion and disintegration of liquid streams. *Progress in Energy and Combustion Science* [online]. 2000, roč. 26, č. 4–6., s. 609–655 [cit. 2021-05-02]. ISSN 0360-1285. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/S0360-1285\(00\)00014-9](https://doi.org/10.1016/S0360-1285(00)00014-9).

- [13] HEINZEN, C., A. BERGER a I. MARISON. Use of Vibration Technology for Jet Break-Up for Encapsulation of Cells and Liquids in Monodisperse Microcapsules. In: HEINZEN, C., A. BERGER a I. MARISON. *Fundamentals of Cell Immobilisation Biotechnology* [online]. Dordrecht: Springer Netherlands, 2004, s. 257–275 [cit. 2021-05-02]. ISBN 978-94-017-1638-3. Dostupné z: https://doi.org/10.1007/978-94-017-1638-3_14.
- [14] ŠESTÁK Jiří a Rudolf ŽITNÝ. *Tepelné pochody II*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2006.
- [15] SANTANGELO, Paolo E. Characterization of high-pressure water-mist sprays: Experimental analysis of droplet size and dispersion. *Experimental Thermal and Fluid Science* [online]. 2010, roč. 34, č. 8, s. 1353–1366 [cit. 2020-01-20]. ISSN 0894-1777. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2010.06.008>.
- [16] ÚŘAD PRŮMYSLOVÉHO VLASTNICTVÍ. Vynálezy a patenty. *Úřad průmyslového vlastnictví* [online]. ©2020 [cit. 2021-05-14]. Dostupné z: <https://upv.gov.cz/prumyslova-prava/vynalezy-patenty>.
- [17] MARIOFF CORPORATION. History | Marioff.com. *Marioff.com | Fire Protection with HI-FOG Water Mist* [online]. ©2021 [cit. 2021-02-05]. Dostupné z: <https://www.marioff.com/about-marioff/history>.
- [18] SUNGHOLM, Goeran. *Fire extinguishing device, combined nozzle and spray head nozzle and method for extinguishing a fire* [patent]. Finsko. FI100947B. 1998-03-31. Dostupné také z: <https://patents.google.com/patent/FI100947B/en?q=FI100947>.
- [19] ROBERTS, Frederick C. *Fog nozzle* [patent]. USA. US2813753A. 1957-11-19. Dostupné také z: <https://patents.google.com/patent/US2813753A/en>.
- [20] KURE, Bo a Anders KJELLBERG. *Nozzle for spreading water fog* [patent]. Švédsko. US5769327A. 1998-06-23. Dostupné také z: <https://patents.google.com/patent/US5769327A/en?q=US5769327A>.
- [21] PALLE, Carsten. *A method and a nozzle for generating a water mist* [patent]. Dánsko. EP1543881A2. 2005-06-22. Dostupné také z: <https://patents.google.com/patent/EP1543881A2/de?q=EP1543881A2>.
- [22] PALLE, Carsten. *Liquid atomizer unit having a double nozzle for fire extinction* [patent]. USA. US20070125880A1. 2007-06-07. Dostupné také z: <https://patents.google.com/patent/US20070125880A1/en?q=US20070125880A1>.

Seznam použitých symbolů a zkratek

Symbol	Jednotka	Veličina
Latinská písmena		
a	m	poloměr trysky
c_v	$J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$	měrná tepelná kapacita vody
$d_{3/4}$	m	vnitřní průměr $\frac{3}{4}$ " hadice
d_{kap}	m	průměr kapky
d_t	m	vnitřní průměr jedné díry trysky
D	m	vnitřní průměr trysky
E	W	energie
$grad\ t$	$K \cdot m^{-1}$	teplotní gradient
l_{vv}	$J \cdot kg^{-1}$	měrné skupenské teplo varu vody
p_A	Pa	vnější aerodynamický tlak
p_I	Pa	tlak na povrchu
p_σ	Pa	tlak od povrchového napětí
q	$W \cdot m^{-2}$	hustota tepelného toku
Q	W	tepelný tok
S	m^2	plocha
$S_{3/4}$	m^2	plocha průtočného průřezu $\frac{3}{4}$ " hadice
S_t	m^2	celková plocha průtočného průřezu děr trysky
t	$^\circ C$	teplota
t_0	$^\circ C$	počáteční teplota
T	K	teplota povrchu tělesa
v	$m \cdot s^{-1}$	rychlost proudící kapaliny
$v_{3/4}$	$m \cdot s^{-1}$	střední objemová rychlost vody v $\frac{3}{4}$ " hadici bez trysky

v_t	$m \cdot s^{-1}$	střední objemová rychlost vody v jednom kanále trysky
$\dot{V}_{3/4}$	$l \cdot s^{-1}$	objemový průtok vody v 3/4" hadici bez trysky
\dot{V}_t	$l \cdot s^{-1}$	objemový průtok vody všemi čtyřmi kanály trysky

Řecké symboly

α	$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$	součinitel přestupu tepla
Δq_1	$J \cdot kg^{-1}$	měrné teplo odebrané ohřevem
Δq_2	$J \cdot kg^{-1}$	měrné teplo odebrané vypařením
Δt	K (°C)	teplotní rozdíl
ε	–	emisní součinitel
η_l	$Pa \cdot s$	dynamická viskozita kapaliny
λ	$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$	součinitel tepelné vodivosti
λ_R	mm	vlnová délka
ρ_l	$kg \cdot m^{-3}$	hustota kapaliny
σ	$N \cdot m^{-1}$	povrchové napětí
σ_{SB}	$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-4}$	Stefanova-Boltzmannova konstanta
τ	min	čas v minutách

Podobnostní čísla

Re	–	Reynoldsovo číslo
Oh	–	Ohnesorgovo číslo
We	–	Weberovo číslo

Zkratka Význam

SHZ	stabilní hasicí zařízení
-----	--------------------------

Seznam obrázků

Obrázek 1 Schéma tří podmínek hoření, upraveno [1].....	8
Obrázek 2 Srovnání teplotních průběhů, upraveno [1].....	9
Obrázek 3 Různá provedení sprinklerů pro sprchová zařízení [4]	11
Obrázek 4 Mlhová tryska na hašení požárů [6]	12
Obrázek 5 Porovnání hmotností nejběžnějších SHZ [3]	14
Obrázek 6 Schémata různých druhů odstředivých trysek [11]	18
Obrázek 7 Tříštění nárazem na plochu [11].....	19
Obrázek 8 Tříštění nárazem na mřížku a vzájemným působením dvou proudů [11].....	20
Obrázek 9 Konstrukční provedení dvoufázové mlhové trysky [7].....	20
Obrázek 10 Diagram závislosti Ohnesorgova čísla na Reynoldsově číslu, upraveno [13].....	21
Obrázek 11 Schéma rozpadu paprsku dle Rayleigha [14]	22
Obrázek 12 Schéma měření parametrů rozstříku, upraveno [15]	24
Obrázek 13 Detailní schéma trysky CJX 1140 B1SG [15]	24
Obrázek 14 Schéma principu fungování měřiče částic Malvern Spraytec, upraveno [15].....	25
Obrázek 15 Vyústění tryskové hlavy HI-FOG [18].....	27
Obrázek 16 Řez tryskovou hlavou HI-FOG při hašení (vlevo) a chlazení (vpravo) [18]	27
Obrázek 17 Podélné řezy dvou alternativních trysek HI-FOG [18]	27
Obrázek 18 Provozní schéma systému HI-FOG [18]	28
Obrázek 19 Hasící tryska dle patentu Robertse po penetraci zdi [19].....	29
Obrázek 20 Řez, čelní pohled a detail výběhu Robertsovy trysky [15]	30
Obrázek 21 Dva řezy a čelní pohled druhé verze Robertsovy trysky [19].....	30
Obrázek 22 Boční pohled s polovičním řezem a čelní pohled na Kureho trysku [20].....	31
Obrázek 23 Detailní čelní a boční pohled na hlavu Kureho trysky [20]	32
Obrázek 24 Kureho tryska využitelná pro ruční mlhové hašení [20].....	32
Obrázek 25 Příklad trysky a mlhového oblaku dle Palleho patentu [21]	33
Obrázek 26 Kapalínový rozprašovač dle Palleho patentu samostatně a v pouzdře [22]	34
Obrázek 27 Otvory a drážky ve svrchní ploše trysky dle Palleho patentu [22].....	34
Obrázek 28 Postupný vývoj 1/2" trysky [autor].....	35
Obrázek 29 Zkouška čtvrtého návrhu konceptu 1/2" [autor].....	36
Obrázek 30 Výběr z prototypů vyvíjené 3/4" trysky [autor]	37
Obrázek 31 Zkouška modelu finální geometrie navrhované trysky [autor]	37
Obrázek 32 Zkušební aparát pro navrhované trysky [autor]	38
Obrázek 33 Vizualizace možného použití trysky [autor]	41
Obrázek 34 Schéma rozmístění trysek a vznikajících mlhových kuželů [autor].....	41
Obrázek 35 Model šroubení, těsnícího sítka a trysky [autor].....	42
Obrázek 36 Model trysky ve šroubení [autor]	42

Seznam příloh

Pořadové číslo	Název	Počet stran
1	Výrobní výkres trysky	1xA3