



Zásobování hasiv

Adam Thomitzek

VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta bezpečnostního inženýrství

Ostrava 2023

Obsah

1. Třídy požárů	1
1.1. Úvod.....	1
1.2. Použité pojmy a jejich vysvětlení.....	1
1.3. Třídy požárů podle ČSN EN 2	2
1.4. Třída požárů A	2
1.5. Třída požárů B	4
1.6. Třída požárů C	5
1.7. Třída požárů D.....	6
1.8. Třída požáru F.....	7
2. Přenosné hasicí přístroje	10
2.1. Úvod.....	10
2.2. Použité pojmy a jejich vysvětlení.....	10
2.3. Přenosné hasicí přístroje	10
2.4. Umístění a údržba	11
2.5. Konstrukce přenosných hasicích přístrojů	14
2.6. Hasicí schopnost.....	15
3. Voda.....	20
3.1. Úvod.....	20
3.2. Použité pojmy a jejich vysvětlení.....	20
3.3. Fyzikálně chemické vlastnosti vody	20
4. Hasební efekt vody.....	29
4.1. Úvod.....	29
4.2. Použité pojmy a jejich vysvětlení.....	29
4.3. Hasební efekt vody.....	29
4.4. Komplikace při použití vody k hašení.....	33
4.5. Hašení elektrických zařízení vodou.....	33

5.	Zdroje požární vody.....	39
5.1.	Úvod.....	39
5.2.	Použité pojmy a jejich vysvětlení.....	39
5.3.	Vodovodní sítě	40
5.4.	Statistická data o potřebě požární vody	40
5.5.	Odběrní místa požární vody požadavky dle ČSN 73 0873	42
5.6.	Požární potrubí.....	44
6.	Hydraulický výpočet jednoduchého potrubí.....	46
6.1.	Úvod.....	46
6.2.	Použité pojmy a jejich vysvětlení.....	46
6.3.	Hydraulický výpočet potrubí.....	47
6.4.	Součinitel tření u laminárního proudění.....	47
6.5.	Součinitel tření u turbulentního proudění	48
6.6.	Místní ztráty	49
6.7.	Jednoduché potrubí s nádrží	49
7.	Doprava vody na požářiště.....	52
7.1.	Úvod.....	52
7.2.	Použité pojmy a jejich vysvětlení.....	52
7.3.	Doprava vody hadicemi	52
7.4.	Stanovení tlakových ztrát v hadicovém vedení se zohledněním místních ztrát	54
7.5.	Kyvadlová dálková doprava vody.....	58
8.	Hasicí pěna.....	63
8.1.	Úvod.....	63
8.2.	Použité pojmy a jejich vysvětlení.....	63
8.3.	Hasicí pěna	64
8.4.	Fyzikálně-chemické vlastnosti hasební pěny	64
8.5.	Standardní pěnotvorné prostředky	65
8.6.	Alkohol rezistentní pěnidla.....	68
8.7.	Bezfluorová pěnidla.....	69

8.8. Přimísení pěnidla do vody	70
8.9. Způsoby vytváření pěny.....	71
8.10. Tlakovzdušná pěna (CAFS).....	71
8.11. Hašení pěnou na plochu	72
8.12. Hašení pěnou na objem.....	73
8.13. Lehká pěna	74
9. Hasicí prášky a aerosoly	77
9.1. Úvod.....	77
9.2. Použité pojmy a jejich vysvětlení.....	77
9.3. Popis prášků jako hasiva.....	77
9.4. Prášky typu BC.....	78
9.5. Prášky typu ABC	79
9.6. Hasební efekt prášků.....	80
9.7. Kombinovaný proud vody a prášku	82
9.8. Prášky hasicí kovy.....	84
9.9. Nevýhody použití hasicích prášků.....	85
9.10. Aerosoly používané k hašení	86
10. Inertní plyny	89
10.1. Úvod.....	89
10.2. Použité pojmy a jejich vysvětlení.....	89
10.3. Oxid uhličitý.....	89
10.4. Dusík	91
10.5. Směsi inertních plynů (např. Inergen).....	91
10.6. Hasební efekt inertních plynů.....	91
10.7. Nevýhody použití inertních plynů	91
11. Halony.....	95
11.1. Úvod.....	95
11.2. Použité pojmy a jejich vysvětlení.....	95
11.3. Halonová hasiva	96

11.4. Hasební efekt halonů.....	98
11.5. Nevýhody halonů (a jejich náhrad)	99

1. Třídy požárů

Kapitola se zabývá rozdělením hořlavých látek a požárů do tříd. Toto členění usnadňuje volbu hasební látky nebo hasebního postupu adekvátního chování hořlaviny během požáru.

Cíl kapitoly

Cílem kapitoly je získat základní informace o hořlavých látkách, procesu jejich hoření a jak se třídí. Čtenář také získá základní informace o tom, jaké fyzikálně chemické mechanismy provázejí hoření jednotlivých druhů hořlavých látek.

1.1. Úvod

Třídy požárů jsou základním konceptem, který nám umožňuje kategorizovat a identifikovat různé typy požárů, což následně usnadňuje volbu vhodných hasicích prostředků a postupů pro jejich účinné potlačení. Třídy požárů jsou definovány na základě typu hořlavého materiálu a jeho vlastností, což je klíčové pro správné pochopení a efektivní řešení požárních situací. Tato kapitola se zaměřuje na podrobný rozbor jednotlivých tříd požárů, jejich charakteristiky a přístupy k jejich potlačení, s cílem poskytnout ucelený pohled na téma požární ochrany.

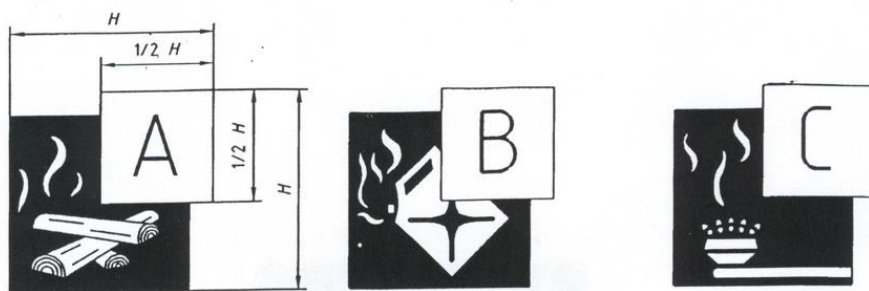
1.2. Použité pojmy a jejich vysvětlení

- *Třída požárů* je označení skupiny hořlavých látek, podle jejich zdroje, povahy a způsobu hašení. Každá třída požáru vyžaduje specifický přístup k hašení a vhodné typy hasicích prostředků.
- *Pyrolýza* je proces termického rozkladu organických látek za vysokých teplot. Během pyrolýzy se organické látky rozkládají na menší molekuly, plyny, těžší uhlovodíky a uhlík, často s výrazným snížením hmotnosti původní látky.
- *Plamen* je viditelný a horký proud hořících plynů, který vzniká v důsledku spalování hořlavých látek. Plamen může mít různé vlastnosti, včetně teploty, barvy a tvaru, což závisí na typu hořlavé látky, dostupnosti kyslíku, tlaku a dalších faktorech.
- *Dolní mez výbušnosti (DMV)* je definovaná minimální koncentrace hořlavého plynu nebo páry v ovzduší, při které je směs schopna explodovat nebo vzplanout v kontaktu s plamenem, jiskrou nebo jiným zdrojem zapálení. Je to důležitý parametr, který charakterizuje zapalitelnost dané látky.

- *Horní mez výbušnosti (HMV)* je nejvyšší koncentrace hořlavého plynu nebo páry se vzduchem, při které je směs ještě schopna explodovat nebo vzplanout v kontaktu s plamenem jiskrou nebo jiným zdrojem zapálení.

1.3. Třídy požárů podle ČSN EN 2

V důsledku odlišných charakteristik paliv vyžadují různé typy požárů specifické hasicí látky. Požáry lze klasifikovat do různých tříd podle vlastností paliva. Třídy definované v evropské normě EN 2 zahrnují třídu A, B, C, D a F.



Obrázek 1 Piktogramy označující třídy požáru

1.4. Třída požárů A

Třída A zahrnuje požáry, které vznikají z pevných materiálů, především organických látek, jako jsou dřevo, textil, papír a různé druhy plastů. Těmto materiálům je charakteristické, že při hoření dochází k vzniku žhnoucího uhlíkatého zbytku. Běžný požár tedy této třídy sestává z plamenů a žhnoucích uhlíků. Hořlavost tuhých látek na bázi celulózy je možné srovnávat na základě změření času potřebného k zapálení. Jestliže se nad povrchem pevné látky vytvoří dostatečné množství hořlavých plynů (nad dolní mezí výbušnosti), které mohou být zapáleny iniciačním zdrojem, dojde ke vzplanutí. Materiály jako dřevo nebo papír musí uvolňovat nejméně $2 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ pyrolýzních plynů, aby je bylo možné zapálit. Pro plasty, které mají vysokou výhřevnost (spalné teplo), je pro zapálení potřeba přibližně $1 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ hořlavých plynů.



Obrázek 2 Odhořívání dřevěných palet a palubkového obložení stěny při velkorozměrové zkoušce

V případě pevných látek hraje zásadní roli radiace dopadající na povrch hořlavé hmoty. Radiace způsobuje nárůst povrchové teploty na hodnotu, jež je třeba pro pyrolýzu. Během pyrolýzy dochází k degradaci hořlavého materiálu. K tomu, aby proces nastal, musí tepelná radiace dosahovat určité hodnoty (kritické).

Proces hoření se v případě pevných látek rozděluje na plamenné hoření a žhnutí. Plamenné hoření (homogenní oxidace) probíhá v případě, že palivo a oxidační prostředek jsou ve stejném skupenství, jako např. dva plyny. Žhnutí (heterogenní oxidace) se vyskytuje na povrchu, když palivo a okysličovadlo nejsou ve stejném skupenském stavu (palivo je pevné a oxidační činidlo plynné). Plyny a kapaliny hoří plamenem, zatímco pevné materiály mohou hořet oběma způsoby. Žhnutí může nastat na povrchu nebo uvnitř porézního materiálu, pokud je zajištěn přístup ke kyslíku. Pevné uhlíkové vrstvy spáleného zbytku jsou porézní, a běžně žhnou. Žhnutí produkuje velké množství pyrolýzních produktů, které neoxidují současně. Hořlavé pyrolýzní plyny mohou pronikat materiálem a mohou být iniciovány v jiných místech. Žhnoucí materiál hoří velmi pomalu, rozvoj požáru tak může být pozvolný.



Obrázek 3 Plamenné hoření a žhnutí čalouněného nábytku

Hašení požáru látek třídy A předpokládá kromě potlačení plamenného hoření pyrolýzních plynů také zastavení žhnutí, na pevném povrchu hořlavé látky. V případě, že jsou potlačeny pouze plameny, může žhnutí způsobit opětovné zapálení hořlavé látky.

1.5. Třída požárů B

Třída B zahrnuje požáry kapalin a pevných látek, které mohou přejít do kapalné fáze, jako jsou olej, benzín a alkohol. Tyto látky hoří plamenem, ale nezpůsobují vznik uhlíků. Teplota na hladině paliva nikdy nepřesáhne bod varu.

Hořlavé kapaliny se na rozdíl od pevných látek k hoření snadněji připraví. Postačuje dodat skupenské teplo výparné, kapalina se odpaří, a pokud je dostatečná koncentrace par nad hladinou, může dojít k jejímu zapálení. Zpětná radiace z plamenů na hladinu hořlavé kapaliny kapalinu na povrchu zahřívá a tím se zvyšuje intenzita odpařování a také rychlost odhořívání. Hořlavé kapaliny, jež mají nízké skupenské teplo vypařování, hoří vysokou rychlostí odhořívání. Při hoření hořlavých kapalin ve větších plochách je odpar uvnitř odhořívající plochy intenzivní, ale přes krajní pásmo plamenů se ke vznikajícím parám nedostává oxidační prostředek. Tato skutečnost způsobuje značnou výšku plamenů nad odhořívající plochou (až v desítkách metrů). Vysoká výška plamene způsobuje intenzivní tepelnou radiaci působící na okolí což komplikuje přístup při hašení a usnadňuje šíření požáru.



Obrázek 4 Odhořívání benzínu ve vaně 0,6 x 0,6 m

Požáry hořlavých kapalin, tedy třídy B, se hasí pomocí izolace povrchu hořlavé kapaliny od přístupu ke vzduchu. Izolační efekt také omezuje odpařování hořlavého paliva a zvyšování jeho koncentrace nad hladinou hořlavé kapaliny. Požáry je také možné uhasit přerušením plamenného hoření. Nicméně aby byl tento postup účinný, nesmí se poblíž hořlavé kapaliny nacházet iniciační zdroj, který by způsobil opětovné zapálení.

1.6. Třída požárů C

Třída C zahrnuje požáry plyných látek, jako je butan nebo zemní plyn. Tyto látky hoří také plamenem, ale s omezenou tvorbou sazí. V případě plyných paliv neexistuje spojení mezi jejich spalováním a zplyňováním, což představuje významný rozdíl oproti třídám A a B. Postačuje, aby byl hořlavý plyn smísen se vzduchem mezi dolní a horní mezí výbušnosti, a při dodání dostatečného množství energie dojde k zapálení směsi. Specifický je způsob hoření plynovzdušné směsi. Plamen se šíří kulovitě od místa iniciace všemi směry. Zplodiny hoření zůstávají uvnitř koule, roste jejich objem a tlak.



*Obrázek 5 Ilustrační obrázek hoření plynu unikajícího z tlakové nádoby
[model DALL-E 3]*

Tato skutečnost způsobuje zvyšování rychlosti postupu plamene v oblaku. Dochází tak k deflagračnímu hoření. V případě prostor, které jsou geometricky omezené (potrubí), to rychlost plamene posunuje až k rychlosti zvuku. Při překročení rychlosti zvuku hovoříme o detonaci. Z hlediska hašení se tak jedná spíše o pod tlakem tryskající hořící plyn (jetfire).

1.7. Třída požárů D

Třída D představuje požáry kovů a kovových slitin. Nejčastějšími palivy v této třídě jsou hořčík, hliník, sodík a draslík. Hořlavé kovy jsou látky, které mohou hořet při dostatečně vysokých teplotách a v přítomnosti kyslíku či jiných oxidačních činidel. Hořlavé kovy jsou často v práškové, pilinové nebo jinak jemně rozdrčené formě, což zvyšuje jejich povrchovou plochu a usnadňuje tak reakci s kyslíkem. Při zapálení hořlavých kovů, jako jsou hliník, hořčík, titan nebo zirkonium, může reakce probíhat intenzivně a s vysokými teplotami. Hořlavé kovy mohou být použity jako paliva v raketových motorech, výbušninách, nebo mohou být přítomny v různých průmyslových procesech.

Proces hoření hořlavých kovů lze obecně popsat následovně. Hořlavý kov je zahřátý na dostatečně vysokou teplotu. Tato teplota může být dosažena různými způsoby, například elektrickým obloukem, otevřeným plamenem nebo jinými způsoby zahřívání. Při dostatečně vysokých teplotách reaguje hořlavý kov

s kyslíkem z okolního prostředí (např. vzduchem). Tato reakce vytváří oxidy kovů. Během reakce s kyslíkem se uvolňuje energie ve formě tepla a světla. To vede k intenzivnímu horkému plameni, který je charakteristický pro hoření hořlavých kovů.

1.8. Třída požáru F

Specifickou třídou požáru je třída F, která představuje jedlé oleje a tuky. Tyto hořlavé látky jsou charakteristické tím, že jejich vznícení je možné až při nahřátí na teploty kolem 300 °C, a tedy při hašení vodou hrozí vzkypění a rozstřík hořlaviny. Při hašení látkami, které nemají izolační efekt dojde po sražení plamenů k opětovnému samovznícení nahřáté hořlavé látky. Požáry třídy F se vyskytují převážně v provozech kuchyní případně v průmyslu zpracování tuků. Typickým je požár fritézy.



Obrázek 6 Požár jedlého oleje v nádobě [model DALL-E 3]

Shrnutí

Třídy požárů označují klasifikaci požáru na základě typu hořlavého materiálu a jeho schopnosti hořet. Klasifikace tříd požárů je důležitá pro správné určení vhodného způsobu hašení a použití příslušných hasicích prostředků. Standardní klasifikace tříd požárů se skládá z několika základních tříd:

- Třída A (pevné látky). Požáry, pevných látek jako dřevo, textil, papír, gumy a plastické materiály.

- Třída B (kapaliny a kapalně látky). Požáry hořlavých kapalin a kapalně látky, jako jsou benzín, oleje, barvy, a tuky.
- Třída C (plynné látky). Požáry plyných látek jako plyn, benzen, vodík, a další zkapalněné plyny.
- Třída D (hořlavé kovy). Požáry, při kterých hoří hořlavé kovy jako lithium, sodík, hořčík a další kovy.
- Třída F (tuky a oleje). Požáry vznikající při hoření tuků a olejů v kuchyňských zařízeních.

Kromě těchto základních tříd existují také další klasifikace, jako například požáry, které se vztahují k požárům způsobeným elektrickými zařízeními. Každá třída požáru vyžaduje specifický přístup a vhodné hasicí prostředky.

Je klíčové si uvědomit, jak různé materiály hoří. Hasicí prostředky účinné proti požárům plyných látek nedokážou účinně potlačit požár třídy B. Důvodem je fakt, že nad povrchem hořlavé kapaliny téměř vždy vzniká hořlavá směs výparů a vzduchu. Podobně hasicí látky s povrchovým účinkem nedokážou uhasit požár třídy C.

Kontrolní otázky

- 1) Co zahrnuje třída A požárů a jaký je charakteristický znak těchto materiálů při hoření?
- 2) Co znamená termín pyrolýza a co se stane během tohoto procesu?
- 3) Jaký je hlavní rozdíl mezi plamenným hořením a žhnutím, a které materiály mohou hořet oběma způsoby?
- 4) Jaké jsou charakteristiky požárů třídy B a jak se liší od požárů třídy A?
- 5) Proč je třída F specifická a kde se nejčastěji vyskytují požáry této třídy?

Test

- 1) Jaké typy materiálů patří do třídy požárů A?
- 2) Jak se odlišuje plamenné hoření a žhnutí v procesu hoření pevných látek?
- 3) Jaký je význam pyrolýzních plynů a jejich uvolňování při zapalování hořlavých materiálů?
- 4) Co zahrnuje třída B požárů a jaké typy látek jsou příkladem této třídy?
- 5) Co zahrnuje třída požárů F?

Správná odpověď

- 1) Třída A požárů zahrnuje požáry pevných materiálů, především organických látek, jako jsou dřevo, textil, papír a různé druhy plastů. Charakteristickým znakem těchto materiálů je vznik žhnoucího uhlíkatého zbytku při hoření.
- 2) Plamenné hoření (homogenní oxidace) se vyskytuje, když palivo a oxidační prostředek jsou ve stejném skupenství, jako dva plyny. Žhnutí (heterogenní oxidace) se objevuje na povrchu, když palivo a okysličovadlo nejsou ve stejném skupenském stavu (palivo je pevné a oxidační činidlo plynné).
- 3) Množství uvolněných pyrolýzních plynů je klíčovým faktorem pro proces zapalování různých typů materiálů.
- 4) Třída požárů B zahrnuje požáry kapalin a látek, které mohou přejít do kapalně fáze např. olej, benzín, alkohol.
- 5) Třída požárů F zahrnuje požáry, které vznikají při hoření tuků a olejů, zejména používaných při vaření.

Literatura

- [1] SÄRDQVIST, S. (2002). Water and other extinguishing agents. Karlstad: NRS Tryckeri AB.
- [2] BENGTTSSON, L. G. (2001) Enclosure fires. Karlstad, Sweden: Swedish Rescue Services Agency, 2001. ISBN 91-725-3263-7.
- [3] ČSN EN 2. Třídy požárů. ČNI 1994.

2. Přenosné hasicí přístroje

V následující kapitole se budeme zabývat podrobným pohledem na přenosné hasicí přístroje, jejich typy, funkci, správné použití a účinnost při hašení různých typů požárů. Pochopíme, jakým způsobem mohou tyto jednoduchá zařízení přispět k potlačení rozvoje požáru.

Cíl kapitoly

Cílem této kapitoly je získat přehled o základních typech přenosných hasicích přístrojů, jejich konstrukci a způsobu využití. Část kapitoly se věnuje také hasicí schopnosti přenosných hasicích přístrojů a jakým způsobem se stanoví.

2.1. Úvod

V dnešní době, kdy bezpečnost a ochrana majetku i životů zaujímá v našem každodenním životě významné místo, není možné opomíjet důležitost prevence a zvládnutí požárů. Jedním z klíčových prvků této prevence jsou přenosné hasicí přístroje. Tyto kompaktní a snadno dostupné zařízení hrají důležitou roli při včasném zásahu a potlačení požáru v jeho počáteční fázi.

2.2. Použité pojmy a jejich vysvětlení

- *Přenosný hasicí přístroj* je zařízení sloužící k hašení požáru v jeho počáteční fázi. Je to mobilní zařízení, které umožňuje rychlou a účinnou reakci na začínající požár, čímž může zabránit jeho rozšíření a minimalizovat škody.
- *Hasicí schopnost* je normou definované množství hořlavé látky, které je schopen přenosný hasicí přístroj v plně rozhořelém stavu uhasit.

2.3. Přenosné hasicí přístroje

Přenosný hasicí přístroj je koncipován s cílem umožnit rychlou reakci v počáteční fázi hoření. Je navržen tak, aby byl přístupný široké veřejnosti a nevyžadoval použití speciálních ochranných prostředků. Kritériem pro jeho konstrukci je praktičnost a nízká hmotnost. Přenosný hasicí přístroj nesmí být příliš těžký pro manipulaci jednou osobou což limituje jeho kapacitu. Proto se běžně používají přenosné hasicí přístroje o kapacitě max. 9 kg prášku, 9 l vody nebo 5 kg CO₂ (dříve 6 kg CO₂). Nejlepší hasicí účinek na kilogram hasicí látky má prášek. Přenosný hasicí přístroj práškový s hasivem o hmotnosti 6 kg má vyšší hasicí schopnost než přístroj s pěnou nebo oxidem uhličitým stejné hmotnosti.

Při výběru přenosného hasicího přístroje zohledňujeme jeho umístění a zamýšlené použití. Pro použití ve venkovním prostředí musí být přenosné hasicí přístroje mrazuvzdorné. Volba vhodného typu přenosného hasicího přístroje může být ovlivněna mnoha faktory, jako je možná intenzita požáru, hasicí schopnost, hmotnost přístroje, riziko plynoucí z neúmyslného spuštění přenosného hasicího přístroje, čistota provozu, odolnost vůči počasí a další. Důležitým faktorem volby přístroje v praxi jsou také pořizovací náklady a náklady na pravidelné revize přenosných hasicích přístrojů.

Výběr přenosných hasicích přístrojů záleží na předpokládané třídě požáru. Nejčastější volbou je přenosný hasicí přístroj práškový s hmotností 6 kg. Tyto jsou obvykle vhodné pro většinu budov, domů, ubytovacích zařízení, kanceláří, sociálních zařízení atd. Pro laické použití se jeví jako výhodnější vybavení objektů přenosnými hasicím přístroji na bázi pěny. Pěna je pro laiky lépe předvídatelná a bez praktické přípravy jsou jí lépe schopni na povrch hořícího materiálu rozprostřít. Prášek má lepší hasicí schopnost, ale přístroj překvapí nepoučeného laika krátkou dobou funkce. V praxi se, ale tato skutečnost příliš nevyužívá. Použití prášku v shromažďovacích prostorách je vyloženě nevhodné, protože při jeho použití vzniká prašný oblak, který může v davu vyvolat paniku.

Všude kde se předpokládá možnost zahoření při běžné činnosti (laboratoře, restaurace, dílny, kotelny) je vhodné mít k dispozici přenosný hasicí přístroj s oxidem uhličitým o hmotnosti 5 kg. Oxid uhličitý představuje obecně nejlepší volbu pro hašení mechanických, laboratorních, lékařských zařízení a elektrických rozvodných skříní. Tento inertní hasicí plyn nezpůsobuje při aplikaci sekundární škody. Pro osobní automobily se hodí přenosný hasicí přístroj s minimálně 2 kg prášku. Většina velkých nákladních vozidel, lesnických a zemědělských strojů, by měla být vybavena nejméně přenosným hasicím přístrojem práškovým 6 kg.

Je též nutné umístit hasicí přístroje poblíž oblastí identifikovaných jako zvýšeně rizikové.

2.4. Umístění a údržba

Přenosné hasicí přístroje by měly být umístěny poblíž východů, což umožňuje snadný přístup v případě možného požáru. V těchto situacích je důležité mít vždy zajištěnou únikovou cestu a umožnit evakuaci v případě rychle se šířícího ohně. Přenosné hasicí přístroje musí být vždy umístěny viditelně. Jakékoli jejich ukrytí (ač s nápovědou formou bezpečnostních značek) způsobí, že v případě požáru nebudou použity, a tedy investice do jejich pořízení a údržby byla zbytečná.



Obrázek 7 Příklad umístění a značení PHP ve Švédsku (pěnový a CO₂)

Smyslem označení bezpečnostními značkami je usnadnit jejich nalezení i když je vlastní přístroj zakrytý třeba stojícími lidmi (to je nutné zohlednit při umístění bezpečnostní značky). Přenosné hasicí přístroje by měly být zavěšeny na zdi v optimální výšce umožňující snadné sundání (rukojeť nejvýše 1,5 nad přilehlou podlahou). Pokud jsou umístěny na zemi (např. CO₂) musí být upevněny, aby nemohlo dojít k jejich převržení.

Pro montáž hasicích přístrojů ve vozidlech a podobných prostředcích jsou k dispozici speciální držáky, které zajistí jejich bezpečné umístění a snadný přístup. V případě potřeby lze hasicí přístroj umístit do speciální skříně.

Pro spolehlivost a funkci je klíčové pravidelně provádět kontroly a údržbu hasicích přístrojů (interval kontroly 1 x ročně) a zároveň zabezpečit pravidelné školení a procvičování personálu (případně požárních hlídek) v technice správného používání těchto zařízení.

Přenosné hasicí přístroje jsou tlakové nádoby a tyto podléhají specifickým tlakovým zkouškám zpravidla jednou za 5 let (v případě pěnových a vodních 3 roky). Životnost nádoby přenosných hasicích přístrojů je 20 let, u přístrojů CO₂ je to 40 let.



Obrázek 8 Přenosné hasicí přístroje CO₂, vodní a práškový

Prodejní stánek, musí být vybaven alespoň jedním přenosným hasicím přístrojem vodním nebo pěnovým s hasicí schopností nejméně 13A nebo přenosným hasicím přístrojem práškovým s hasicí schopností nejméně 21A. Rodinný dům musí být vybaven alespoň jedním přenosným hasicím přístrojem s hasicí schopností nejméně 34A.

Ve stavebách bytových domů musí být instalovány přenosné hasicí přístroje v množství a druzích takto:

- jeden přenosný hasicí přístroj práškový s hasicí schopností 21A určený pro hlavní domovní rozvaděč elektrické energie,
- jeden přenosný hasicí přístroj CO₂ s hasicí schopností 55B určený pro strojovnu výtahu,

- jeden přenosný hasicí přístroj vodní nebo pěnový s hasicí schopností 13A nebo přenosný hasicí přístroj práškový s hasicí schopností 21A na každých započatých 100 m² půdorysné plochy u požárních úseků určených pro skladování, je-li jejich půdorysná plocha větší než 20 m²,
- další přenosný hasicí přístroj vodní nebo pěnový s hasicí schopností 13A nebo přenosný hasicí přístroj práškový s hasicí schopností 21A na každých započatých 200 m² půdorysné plochy všech podlaží domu, přičemž se do této plochy nezapočítávají plochy bytů.

Ve stavbách garáží musí být jeden přenosný hasicí přístroj pěnový nebo práškový s hasicí schopností 183B pro každý samostatně oddělený prostor (stání).

Pro další stavby se počet přenosných hasicích přístrojů určuje podle příslušné technické normy. Počet PHP se navrhuje adekvátně skutečné hasicí schopnosti.

2.5. Konstrukce přenosných hasicích přístrojů

Základní složení a konstrukce přenosného hasicího přístroje:

- Nádoba s hasicím prostředkem. Vnitřek hasicího přístroje obsahuje hasicí prostředek – látku, která je určena k hašení požáru.
- Stlačený plyn nebo mechanismus vypouštění. Hasicí prostředek je vytlačován ven pomocí stlačeného plynu (např. oxid uhličitý) nebo mechanismu ručního pumpování. Tím je dosaženo účinného hašení požáru.
- Ventil a hadice. Ventil slouží k ovládnutí a regulaci výstupu hasicí látky. Hadice propojuje ventil s výstupem, umožňuje přesně směřovat a aplikovat hasicí prostředek na ohnisko požáru.
- Ovládnutí hasicího přístroje může být zajištěno různými typy ovládacích prvků, jako jsou páky, spouště, pojistky a plomby atd.
- Přenosný hasicí přístroj má jasně označený typ hasicí látky, pokyny k použití a informace o tom, pro jaké typy požárů je vhodný.

Přenosné hasicí přístroje, které odpovídají příslušným standardům, jsou zpravidla zbarveny červeně a jsou označeny informacemi jako typ a množství hasicí látky a třída požáru. Přenosné hasicí přístroje mají standardizovanou konstrukci a většina specifikací týkajících se návrhu a testování hasicích přístrojů vychází z evropské normy ČSN EN 3.

Některé přenosné hasicí přístroje jsou pod stálým tlakem, zatímco jiné se tlakují až při použití. Přenosné hasicí přístroje se stálým tlakem jsou natlakovány během procesu plnění a často jsou vybaveny manometrem, který ukazuje tlak. Tyto jsou nejčastějším typem přenosných hasicích přístrojů a jediným vhodným typem pro plynné hasicí látky.

Práškové nebo hasicí přístroje obsahující kapaliny jsou dostupné ve variantě bez stálého tlaku. Vnitřek těchto hasicích přístrojů obsahuje malou nádobu s hnacím plynem. Při aktivaci hasicího přístroje je tato nádoba otevřena a přístroj je natlakován hnacím plynem. Hnacím plynem bývá obvykle oxid uhličitý nebo dusík.

Regulační ventil na hasicích přístrojích je typicky tvořen spouštěcí pákou nebo tlačítkem (spouští). Spouštěcí páky jsou nejčastěji používány u hasicích přístrojů pod stálým tlakem. Přenosné hasicí přístroje bez stálého tlaku mají nárazníkovou armaturu, která propíchně membránu uzavírající nádobku s hnacím plynem a natlakuje přenosný hasicí přístroj. K regulaci proudu se poté používá spouštěcí páka nebo tlačítko.

Přenosné hasicí přístroje jsou vybaveny bezpečnostní pojistkou, která brání v jejich neúmyslném spuštění. Tato pojistka musí být snadno odstranitelná i bez použití nástrojů a postup odstranění se musí lišit od postupu spouštění přístroje. Pojistka je vybavena plombou nebo jiným prvkem, který ukazuje, zda byl daný přístroj použit.

Velikost přenosných hasicích přístrojů je obvykle vyjádřena množstvím hasicí látky. Práškové hasicí přístroje jsou běžně k dispozici ve velikostech 1, 2, 4, 6, 9 a 12 kg. Hasicí přístroje s oxidem uhličitým obvykle obsahují 2 až 5 kg hasiva. Halonové hasicí přístroje (využívající náhrady halonů) se kvůli vysoké ceně používají zřídka, a to ve velikostech 2, 4, 6 kg. Hasicí přístroje na bázi vody a pěny jsou dostupné ve velikostech 2, 6 a 9 litrů.

Konstrukce hasicích přístrojů se mírně liší podle typu hasiva. Nádoby přenosných hasicích přístrojů s oxidem uhličitým musí odolávat řádově vyšším tlakům, proto se nejvíc odlišují a jsou ve vztahu ke kapacitě hasiva nejtěžší. Přenosné hasicí přístroje používají různé typy trysek. Tryska pěnových hasicích přístrojů je často utvářena jako směrová sprcha, zatímco hasicí přístroje s oxidem uhličitým používají širokou rouru směřující vložky pevného oxidu uhličitého k požáru.

Doba použití přenosných hasicích přístrojů je obecně do 30 s. V případě malých přenosných hasicích přístrojů je velmi krátká.

2.6. Hasicí schopnost

Přenosné hasicí přístroje jsou klasifikovány podle hasicí schopnosti v souladu s harmonizovanou normou ČSN EN 3. Klasifikační čísla hasicí schopnosti jsou založeny na intenzitě požáru, který lze daným přístrojem uhasit. Pro požáry třídy A, tj. požáry z pevných materiálů, jsou přenosné hasicí přístroje klasifikovány na základě hašení hranice dřevěných hranolů. Hranice se skládá ze 14 vrstev normových hranolů s průřezem 39 x 39 mm. Šířka hranice je 0,5 m a délka udává

hasicí schopnost v decimetrech. Zkušební oheň 13A je tedy dlouhý 130 cm. Hranice dřeva je zespodu zapálena plamenem heptanu, který hoří po dobu rozhořívání. Hasicí přístroj je klasifikován podle toho, zda může obsluha uhasit požár do pěti minut (sedm minut při požáru 27A a větších). Po uhašení ohně by po dobu tří minut neměly být vidět žádné plameny. Výsledky tohoto typu testu závisí na okolních podmínkách a liší se v závislosti na tom, kdo zkoušku provádí.

Tabulka 1 Porovnání obvyklé hasicí schopnosti (podle použitého typu hasiva může být hasicí schopnost vyšší)

Hasivo	Kapacita (kg, l)	Hasicí schopnost	
		Třída A	Třída B
Voda	9	13A-21A	-
Pěna	6	8A	113B
	9	13A	183B
Prášek	1	5A	21B
	2	8A	34B
	4	13A	70B
	6	21A	183B
	9	27A	183B
	12	43A	233B
CO ₂	2	-	21B
	5	-	55B
FE-36	2	-	21B
	4	5A	34B
	6	5A	55B

Klasifikace požárů třídy B, tj. požárů s palivem v kapalně formě, vychází taktéž z ČSN EN 3 a zahrnuje uhašení heptanu v kruhové nádobě na vodní hladině. Heptan je nepolární hořlavá kapalina. Pěnový hasící přístroj testovaný na třídu B tak není testován na požár alkoholů nebo jiných polárních kapalin. Číslo zkušebního objektu udává druhou mocninu průměru zkušební nádoby v decimetrech. Požár 70B je kruh s průměrem 0,84 m a plochou 2,20 m². Zkušební objekt se hasí ručně stejným způsobem jako požár třídy A, a výsledky jsou proto také závislé na člověku provádějícím zkoušku.

Pro požáry třídy C nejsou žádné klasifikace pro testování přenosných hasících přístrojů.

Přenosné hasící přístroje s hasícími látkami na vodní bázi se testují také na požárech elektrických zařízení. Pokud hasící přístroj nesplňuje požadavky, musí to být uvedeno na hasícím přístroji. Elektrická vodivost se zjišťuje nasměrováním proudu hasební látky z hasícího přístroje na elektrickou desku a změřením elektrického proudu protékajícího proudem vody.

Existují také požadavky týkající se technického návrhu přenosných hasících přístrojů např. odolnost proti korozi a mrazu, síla potřebná k aktivaci hasícího přístroje, síla potřebná k odstranění bezpečnostní pojistky, mechanický odpor a přesnost odečtu tlaku dále viz. ČSN EN 3.

U práškových hasících přístrojů jsou také testovány vlastnosti prášku, aby se zajistilo, že prášek při skladování neztvrdne.

Shrnutí

Přenosné hasící přístroje jsou mobilní zařízení určená k hašení požáru v počáteční fázi jeho rozvoje. Jedná se o kompaktní a snadno přenosná zařízení, která jsou tlakovou nádobou, obsahují hasící látku, a mechanismus pro uvolnění této látky pod tlakem. Tato zařízení mají za cíl rychle a efektivně zamezit šíření požáru v jeho počáteční fázi, čímž mohou minimalizovat poškození majetku, chránit životy a přispívat k záchraně životního prostředí.

Hasící přístroje jsou využívány ve všech oblastech lidské činnosti, kde hrozí nebezpečí vzniku požáru. Jsou běžnou součástí bezpečnostního vybavení v domech, bytech, průmyslových objektech, dopravních prostředcích, kancelářích, školách, nákupních centrech a dalších veřejných budovách. Dále se používají na venkovních akcích a festivalech, na lodích, v letadlech a v mnoha dalších místech, kde může dojít k vzniku požáru.

Přenosné hasící přístroje existují v různých typech a velikostech, přizpůsobených konkrétním potřebám a podmínkám prostředí, kde jsou používány. Jde například o přenosné hasící přístroje vodní, práškové, pěnové a přenosné hasící přístroje

s halony a inertními plyny. Každý typ má své specifické vlastnosti a vhodné využití v závislosti na povaze ohrožení požárem. Je důležité, aby uživatelé byli seznámeni s použitím daného typu hasicího přístroje a věděli, jak správně a účinně ho v případě potřeby využít.

Kontrolní otázky

- 1) Jaký je hlavní účel přenosného hasicího přístroje a jakým požadavkům musí vyhovovat?
- 2) Jaké jsou běžné kapacity přenosných hasicích přístrojů a která hasicí látka má nejlepší hasicí účinek na kilogram?
- 3) Co je třeba zohlednit při výběru přenosného hasicího přístroje?
- 4) Proč je hasicí prášek nevhodný pro použití ve shromažďovacích prostorech?
- 5) Jaká jsou doporučení pro umístění a údržbu přenosných hasicích přístrojů?

Test

- 1) Jaký je požadovaný typ přenosného hasicího přístroje pro rodinný dům?
- 2) Jaký je optimální přenosný hasicí přístroj pro osobní automobil?
- 3) Jak často se provádí kontroly přenosných hasicích přístrojů?
- 4) Jaká je životnost přenosných hasicích přístrojů?
- 5) K čemu je určen přenosný hasicí přístroj určený k hašení třídy F?

Správná odpověď

- 1) Hasicí přístroj s hasební schopností 34A.
- 2) Hasicí přístroj práškový 2 kg.
- 3) Nejméně 1 x ročně.
- 4) Životnost přenosných hasicích přístrojů je 20 let, v případě CO₂ je to 40 let.
- 5) Hasicí přístroj k hašení třídy F je určen k hašení jedlých tuků a olejů.

Literatura

- [1] SÄRDQVIST, S. (2002). Water and other entinguishing agents. Karlstad: NRS Tryckeri AB.
- [2] SCHREIBER, H. M. (1972) a PORST, P. Hasební látky. Chemicko-fyzikální pochody při hoření a hašení díl II. Přel. L. Adámek a kol. Praha: ČSPO, 1972. 330 s.
- [3] ČSN EN 2. Třídy požárů. ČNI 1994.
- [4] ČSN EN 3-7. Přenosné hasicí přístroje – Část 7: Vlastnosti, požadavky na hasicí schopnost a zkušební metody. ČNI 2008.

3. Voda

Voda je nejdůležitější a nejpoužívanější hasební látka. Je účinná a snadno dostupná. Má specifické chemické a fyzikální vlastnosti, které ji předurčují k tomuto účelu.

Cíl kapitoly

Cílem této kapitoly je čtenáře seznámit s fyzikálně chemickými vlastnostmi vody jako hasební látky. Dále jaké vlastnosti vody jsou důležité z hlediska hasebního efektu.

3.1. Úvod

Voda je základním stavebním prvkem života, a to nejen v biologickém smyslu, ale i v chemicko-fyzikálním kontextu. Je to unikátní látka, která se vyznačuje řadou specifických vlastností, jež jsou klíčové pro celou řadu životních procesů a jevů v přírodě. Porozumění těmto vlastnostem je zásadní pro pochopení mnoha procesů, které probíhají ve vodním prostředí a mají význačný dopad na živé organismy a životní prostředí jako celek.

3.2. Použité pojmy a jejich vysvětlení

- *Elektronegativita* je chemický pojem, který označuje schopnost atomu nebo prvku v molekule přitahovat elektrony k sobě v chemickém vazebném systému. Tento pojem je klíčový pro porozumění chemickým vlastnostem a interakcím mezi atomy a molekulami.
- *Fotokatalýza* je proces chemického rozkladu látek za přítomnosti fotokatalyzátoru a světelného záření.
- *Tenzid* (surfaktant, saponát) je povrchově aktivní látka. Snižuje povrchovou či mezifázovou energii, a proto se samovolně koncentruje ve fázovém rozhraní.

3.3. Fyzikálně chemické vlastnosti vody

Voda má vlastnosti, díky nimž je nejpoužívanějším hasicím prostředkem. Vodu pro hašení používá jak laická veřejnost, tak jednotky požární ochrany i sofistikované systémy stabilních hasicích zařízení. Důležitou skutečností také je, že voda je dostupná v množství, v jakém není k dispozici žádné jiné hasivo. Voda se snadno dopravuje různými způsoby na požár. Ve vzduchu má poměrně velký dostřik. Voda má velmi zajímavé vlastnosti z hlediska hašení požáru. Její teplota

tuhnutí a teplota varu zaručují, že se voda běžně vyskytuje v pevné, kapalně a plynné formě. Má vysoké měrné skupenské teplo vypařování, které činí 2260 kJ.kg⁻¹.

Voda může vznikat při mnoha chemických reakcích, nejjednodušší je přímé slučování vodíku s kyslíkem. Slučování vodíku a kyslíku, uvolnění velkého množství tepla (exotermní reakce) $2 \text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O}$. Neutralizace $\text{HCl} + \text{NaOH} \rightarrow \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$. Při dokonalém spalování vzniká oxid uhličitý a voda (příklad spalování methanu) $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$. S výjimkou tritia ³H a nuklidů ¹⁴O, ¹⁵O a ¹⁹O, které mají krátký poločas rozpadu je možná existence devíti možností stavby molekuly vody. Dané izotopy jsou ve vodě zastoupeny v následujících poměrech: ¹H : ²H = 5000 : 1; ¹⁶O : ¹⁷O : ¹⁸O = 3150 : 5 : 1. V přírodě definitivně převládá molekula ¹H₂¹⁶O => Lehká voda. Na molekulu ²H₂¹⁶O neboli D₂¹⁶O => Těžká voda, připadá pouze 0,015 %. Těžká voda se používá v jaderných reaktorech jako moderátor a chladicí médium. Polotěžká voda je tvořena jedním protiem a jedním deuteriem. Supertěžká voda je tvořena tritiem (³H₂O nebo T₂O).

Tabulka 2 Základní fyzikálně-chemické vlastnosti vody

Hustota (25 °C): 997,045 kg.m ⁻³	Kritická teplota: 647,35 K (374,2 °C)
Max. hustota: 1000 kg.m ⁻³	Stand. molární entalpie: -285,83 kJ.mol ⁻¹
Teplota, při které je ρ max: 3,98 °C	Stand. molární Gibbsova E: -237,14 kJ.mol ⁻¹
Bod varu (101 kPa): 100 °C	Stand. molární entropie: 69,95 kJ.mol ⁻¹
Bod tuhnutí (101 kPa): 0 °C	Měrné teplo tání: 333,7 kJ.kg ⁻¹
Rel. permitivita (25 °C): 78,25	Měrné skupenské teplo vypařování: 2,255 MJ.kg ⁻¹
Dynamická viskozita (25 °C): 0,890 mPa.s	Povrchové napětí (25 °C): 71,96 mN.m ⁻¹
Tlak nasyc. par (25 °C): 3169 Pa	Kritický tlak: 22,13 MPa

Základní fyzikálně-chemické vlastnosti vody důležité pro hašení:

Ohřev vody (10 °C - 100 °C): ~ 4,2 kJ.kg⁻¹.K⁻¹

Odpaření vody: ~ 2,26 MJ.kg⁻¹

Inertizace: z 1 l vody vznikne při odpaření (při 100 °C) 1700 l vodní páry – dle stavové rovnice (pro ideální plyn).

$$V = \frac{nRT}{p} = \frac{mRT}{Mp} = \frac{1000 \text{ g} \cdot 8,314 \text{ kPa} \cdot \text{dm}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \cdot 373,15 \text{ K}}{18 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot 101,325 \text{ kPa}} \approx 1,7 \text{ m}^3$$

Jednou ze základních vlastností vody je její dipólový charakter. Vazba v molekule vody je tedy kovalentní, polární. Díky vyšší elektronegativitě kyslíku (rozdílu elektronegativit) se elektrony posouvají směrem ke kyslíku, u kterého se tvoří záporný parciální náboj. U vodíku se tedy tvoří kladný parciální náboj. Z této skutečnosti vyplývá další důležitá vlastnost vody, tedy tvorba vodíkových vazeb (můstků) mezi jednotlivými molekulami vody. Jsou to v zásadě elektrostatické síly mezi opačně nabitými póly (kladné a záporné náboje se přitahují) sklon molekul vody shlukovat se do větších celků.



Obrázek 9 Voda v přírodě

Anomální vlastností vody je skutečnost, že její hustota je nejvyšší při cca 4 °C. Při dalším ochlazování se objem jednotkové hmotnosti vody opět zvětšuje. Je to způsobeno úhlem mezi vodíkovými atomy a polarizací molekul vody vodíkovými můstky. V krystalové struktuře ledu pak může mít molekula pouze čtyři nejbližší sousedy a ve struktuře vznikají volné prostory, při tuhnutí nabývá voda objem

o 9 %. Led se drží na povrchu a voda o větší hustotě klesá ke dnu, což umožňuje přežití vodních organismů.

Skutečnost, že hustota vody je nejvyšší při 4 °C, znamená, že objem určitého množství vody je při této teplotě nejmenší. Pokud teplota klesne, objem se zvětší. Když voda zamrzne, její objem se dále zvyšuje. Protože voda nemůže být stlačena ani v kapalně ani pevně formě, tak tlak vyvíjený vodou roste. Voda, která zůstane v požární hadici, ji natáhne. Voda, která zamrzne v čerpadle (nebo armatuře), může způsobit jeho prasknutí, protože kov není dostatečně pružný.

Chemickou vazbou můžeme nazvat interakci, při které se k sobě navzájem poutají sloučené atomy prvků v molekule díky valenčním elektronům. Tyto vazby vznikají a zanikají při chemických reakcích. Existují různé typy chemických vazeb, např. kovalentní vazba (jednoduchá, dvojná, trojná; polární, nepolární, iontová), koordinačně kovalentní vazba (donor-akceptorová), kovová vazba. Zvláštním typem vazby mohou být slabé vazebné interakce (Van Der Waalovy síly, vodíkové můstky). Chemická vazba vody je jednoduchá kovalentní vazba a z hlediska elektronegativity nabývá polárního charakteru. Elektronová hustota je nerovnoměrně rozdělena mezi prvky. Dochází k posunu vazebných elektronů k prvku s větší elektronegativitou (kyslíku), který tedy vykazuje parciální záporný náboj. Vodík oproti tomu vykazuje parciální kladný náboj. Vzniká tedy dipól.



Obrázek 10 Ředění suspenze vodního kalu čistou vodou

Ve vodě probíhají reakce různého typu o různé rychlosti. Tyto procesy mohou měnit původní složení vody. Reakce (procesy) mohou být abiotické (fyzikální, chemické, fyzikálně-chemické nebo fotochemické povahy) nebo biotické (biologické povahy). Fyzikálními procesy je například adsorpce na různých typech adsorbentů nebo odvětrávání těkavých látek (postupná změna výchozího složení např. v odpadních, povrchových a podzemních vodách, nejprve se odvětrávají těkavější složky). Chemickými procesy jsou neutralizace, hydrolýza, srážení, komplexace, oxidace a redukce. Fotochemickým procesům podléhají především látky, které absorbují záření a dostávají se tak do excitovaného stavu (přímá fotolýza).

Důležitým procesem je také fotokatalýza. V nízkých koncentracích působí fotokatalyticky různé kovové podíly i při velmi nízkých koncentracích. Železo tvoří komplexy s organickými látkami. Tyto komplexy absorbují UV záření. Biologické procesy se týkají především sloučenin dusíku (nitrifikace, denitrifikace) a síry.

Povrchově aktivní látky (PAL) lze také označit termínem tenzidy. Jedná se o soubor organických látek, které se již při nízké koncentraci ve značné míře hromadí (adsorbují) na rozhraní fází a snižují tak mezifázovou neboli povrchovou energii. Na rozhraní fází kapalina-plyn se díky dané adsorpci snižuje povrchové napětí. Na rozhraní fází kapalina-kapalina popřípadě kapalina-tuhá látka dochází ke snížení mezifázového napětí na fázovém rozhraní. Povrchově aktivní látky tedy vykazují povrchovou aktivitu, která se u vodných roztoků vizuálně projevuje jejich napěněním. Tenzidy vyráběné průmyslově nejsou 100% čisté látky, ale obsahují pro příklad vodu, síran sodný atd. Základní fyzikálně-chemické konstanty tenzidů jsou kritická micelární koncentrace (KMC), hydrofilně-lipofilní rovnováha (HLB). Kritická micelární koncentrace tenzidu je taková koncentrace v dané oblasti, kdy je povrchové napětí minimální. S dalším nárůstem koncentrace povrchově aktivní látky může povrchové napětí opět mírně narůstat. Hydrofilně-lipofilní rovnováha je rovnovážný poměr mezi hydrofilní a lipofilní částí molekuly tenzidu (PAL). HLB je bezrozměrné číslo a pohybuje se v rozmezí jednotek až desítek.

Povrchově aktivní látky (tenzidy) jsou nezbytnou součástí (aktivní látkou) pracích, čisticích, mycích, emulgačních, dispergačních či pěnotvorných prostředků. Z chemického hlediska se jedná o látky aniontové, kationtové, neiontové či amfolytické.

Voda, která se běžně vyskytuje v přírodním prostředí, není chemicky čistá. Obsahuje totiž rozpuštěné plyny, rozpuštěné i nerozpuštěné organické a anorganické látky. Některé ze zmíněných látek se do vody dostávají již v atmosféře, dále především při průchodu půdou nebo horninami. Z chemického

pohledu se látky, které lze ve vodě najít, dělí na anorganické a organické. Z pohledu fyzikálního mohou být látky přítomné buď v pravých roztocích jako iontově rozpuštěné látky (elektrolyty), neiontově rozpuštěné látky (neelektrolyty) nebo nerozpuštěné látky. Iontově rozpuštěné látky z kationtů především vápník, hořčík, sodík, draslík a z aniontů především hydrogenuhličitany, sírany, chloridy či dusičnany. Neiontově rozpuštěné látky především sloučeniny křemíku (u minerálních vod i sloučeniny boru) a rozpuštěné plyny (především O_2 a CO_2). Organické látky jsou v přírodní vodě zastoupeny jen v nepatrném množství (s výjimkou vod z rašelinišť). Tyto látky se mohou vyskytovat v iontové i neiontové formě. Dále se ve vodě nacházejí určité látky pouze ve stopových množstvích (mikrokomponenty), např. amoniakální dusík, některé kovy (Fe, Mn, Al, Cu, Zn), dusitany, fosforečnany, fluoridy, formy sulfidické síry či prvky vzácných zemin.

Jednotlivé druhy vod lze rozlišovat podle původu, výskytu a použití. Voda může být svým původem buď přírodní, nebo odpadní. Vody odpadního charakteru se dělí na splaškové a průmyslové. Do množiny odpadních vod se také počítají průsaky z odkališť či skládek odpadů. Z hlediska výskytu se přírodní vody dělí na atmosférické, povrchové a podzemní. Dále můžeme vody rozdělit z hlediska použití na vodu pitnou, užitkovou, provozní nebo odpadní. Další rozdělení vod může být podle specifického použití a zvláštních požadavků na jakost, např. voda pro závlahu, rybářství, stavebnictví, chlazení, napájení pro parní kotle atd. Dále lze definovat důlní vody podzemní, povrchové nebo srážkové vody, které se dostaly do povrchových nebo hlubinných důlních prostorů (až do jejich kontaktu se stálými podzemními/povrchovými vodami). Tyto vody lze považovat za podzemní nebo povrchové.



Obrázek 11 Záplavová voda při přivalovém dešti

Všechny látky každého skupenství vyzařují energii v elektromagnetickém spektru. Základem tohoto jevu je pohyb jejich nabitých částic, což je zvláštní případ mechanického pohybu = tepelný pohyb. Je to chaotický neuspořádaný pohyb a vykonávají jej veškeré částice (elektrony, protony, neutrony, atomy i molekuly). Daný pohyb nelze pozorovat, patrné jsou však jeho makroskopické důsledky (souhrn těchto pohybů) => například ohřev látek.

Zmíněné charakteristiky platí samozřejmě i pro vodu a její ohřev. Při dodávání tepla do vody (zahřívání vody) dochází nejdříve k porušení vodíkových vazeb (můstků) mezi molekulami vody. Dalším dodáváním tepla dochází ke zrychlování pohybu jednotlivých molekul vody, tepelná energie působí přímo na jednotlivé molekuly, a teplota vody roste až na teplotu varu (mikroskopické pohyby jednotlivých molekul se v makroskopickém měřítku projeví ohřevem vody). Z fyzikálního hlediska je pro ohřev nutné „překonávat“ tepelnou kapacitu vody, tzn. přibližně $4200 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ (musíme dodat 4200 J tepelné energie 1 kg vody, aby se ohřála o 1 K, resp. 1 °C). Pro vypaření je následně nutné dodávat asi 2,26 MJ tepla, aby se odpařila voda o hmotnosti 1 kg.

Shrnutí

Chemicko-fyzikální vlastnosti vody jsou klíčové pro její účinnost při hašení požárů. Voda má několik charakteristických vlastností, které jsou významné pro hašení:

- Voda má vysokou schopnost absorbovat teplo. Tím pádem je schopna rychle snižovat teplotu horkých povrchů a okolního prostředí, což je klíčové pro úspěšné hašení.
- Voda snadno odvádí teplo, má při fázové přeměně vysoký součinitel přestupu tepla. To přispívá k rychlejšímu ochlazení a potlačení hoření.
- Při hašení dochází k odpařování vody, která má vysoké skupenské teplo výparné, což spotřebovává tepelnou energii a snižuje teplotu požáru i hořlavých povrchů.
- Při odpařování vzniká velké množství vodní páry, která snižuje koncentraci kyslíku v okolní atmosféře, což má vliv na účinnost hoření.

Kontrolní otázky

- 1) Jakou roli hraje voda při hašení požáru vzhledem k jejím vlastnostem?
- 2) Jaký je nejjednodušší způsob vytváření vody v chemických reakcích?
- 3) Co způsobuje anomálii vody ohledně její hustoty při 4 °C?
- 4) Jaký je charakter chemické vazby v molekule vody?
- 5) Jaké jsou dvě hlavní kategorie vod podle svého původu?

Test

- 1) Které vlastnosti vody jsou klíčové pro její použití jako hasicího prostředku?
- 2) Jaká je chemická rovnice pro vznik vody z přímého slučování vodíku s kyslíkem?
- 3) Jaká je významná vlastnost vody, která souvisí s jejím dipólovým charakterem?
- 4) Kdy má voda nejvyšší hustotu a jaký je důvod?
- 5) Kolik páry vzniká z 1 kg vody při vypařování?

Správná odpověď

- 1) Voda má vysoké měrné skupenské teplo vypařování (2260 kJ.kg⁻¹). Dále je voda dostupná v hojném množství a snadno se dopravuje na místo požáru.
- 2) Chemická rovnice pro přímé slučování vodíku s kyslíkem je: $2 \text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O}$.
- 3) Dipólový charakter vody vytváří vodíkové vazby (můstky) mezi molekulami vody, což je důležité pro shlukování molekul do větších celků.
- 4) Voda má nejvyšší hustotu při přibližně 4 °C. Tato anomální vlastnost je způsobena úhlem mezi vodíkovými atomy a polarizací molekul vody vodíkovými můstky.
- 5) Z vody fázovou přeměnou vznikne 1700 l páry.

Literatura

- [1] PITTER, Pavel. VYSOKÁ ŠKOLA CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ V PRAZE. Hydrochemie. 4. vyd. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2009. ISBN 978-80-7080-701-9.
- [2] KREMPASKÝ, Július. Tepelný pohyb. Katedra fyziky: Krempaský Fyzika [online]. [cit. 2023-07-20]. Dostupné z: <http://kf-lin.elf.stuba.sk/KrempaskyFyzika/14.pdf>.
- [3] BENEŠOVÁ, Marika a Hana SATRAPOVÁ. Odmaturuj z chemie. 1. vyd. Brno: DIDAKTIS spol. s r. o., 2002. ISBN 80-86285-56-1.
- [4] SCHREIBER, H. M. (1972) a PORST, P. Hasební látky. Chemicko-fyzikální pochody při hoření a hašení díl II. Přel. L. Adámek a kol. Praha: ČSPO, 1972. 330 s.
- [5] Vacík, J. Obecná chemie. Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy 2017. 283 s.

4. Hasební efekt vody

Voda je nejdůležitější hasební látka a má celou řadu vlastností pro které je v hasební technice velmi obtížně nahraditelná.

Cíl kapitoly

Tato kapitola má za cíl seznámit čtenáře s principy jakými voda působí na požár. Dále jakým způsobem je možné vypočítat potřebné množství vody pro hašení požárů.

4.1. Úvod

Voda, jakožto nezbytný prvek pro udržení života a různých ekosystémů, má schopnost pohlcovat a odvádět teplo, což výrazně ovlivňuje klimatické podmínky naší planety. V této kapitole se budeme podrobně věnovat hasebnímu efektu vody a jeho mechanismům.

4.2. Použité pojmy a jejich vysvětlení

- *Difuzní plamen* je typ plamene, který vzniká při spalování hořlavé látky, pokud tato není smísená s oxidačním prostředkem před vstupem do oblasti spalování. Rychlost spalování je závislá na difuzi kyslíku do reakční zóny.
- *Kinetický plamen* může být vytvořen v různých situacích, například při spalování paliva v motoru, při hoření výbušných směsí. Nebo při spalování paliva v kinetickém hořáku.
- *Chladící výkon* představuje hypotetické množství tepla, které je schopna voda během hasebního zásahu odebrat plamenům za jednotku času.
- *Teoretická chladící kapacita* představuje množství tepla, které odebere určité množství hasiva (vody) během hasebního zásahu.

4.3. Hasební efekt vody

Hasební efekt vody spočívá zejména v odvádění tepla, když je voda ohřívána a posléze dojde k jejímu odpaření.

Z fyzikálního hlediska je pro ohřev nutné dodat teplo odpovídající měrné tepelné kapacitě vody, tzn. přibližně $4180 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ (musíme dodat 4180 J tepelné energie 1 kg vody, aby se ohřála o 1 K, resp. 1 °C). Pro vypaření vody o hmotnosti 1 kg je následně nutné dodat 2,26 MJ tepla. V podmínkách požáru je dále možné počítat s tím, že na ochlazování prostoru požáru se dále podílí i vodní pára, která se ohřívá na teplotu prostředí a tím odvádí další teplo.



Obrázek 12 Hašení hořícího polypropylénu rozprášeným vodním proudem

Hasební voda je obvykle aplikována třemi rozdílnými způsoby:

- Voda je aplikována v drobných kapkách s průměrem menším než 1,0 mm do plamenů, které jsou ochlazovány odváděním tepla na ohřev a odpaření vody. Když adiabatická teplota plamenů klesne pod cca 1600 K (za stechiometrických podmínek), plamenné hoření uhasíná. Pro zastavení difuzního hoření (při kterém dochází k mísení oxidačního prostředí s hořlavou látkou až v pásmu spalování) postačuje odvést 30-35 % uvolněného tepla. Tato skutečnost je ovlivněna zejména tím, že difuzní plameny ztrácejí teplo radiací (v důsledku obsahu žhavých částic uhlíku v plameni) a spalování neprobíhá za ideálních podmínek. Tyto skutečnosti nám poukazují na fakt, že pro uhašení difuzních plamenů (které se vyskytují při požárech běžně) postačuje odvést 1/3 reakčního tepla.
- Voda je aplikována přímo na povrch hořlavé látky. Ochlazení povrchu má za následek snížení rychlosti pyrolýzy a plamen uhasíná v důsledku nedostatečného přísunu plynného paliva do pásma spalování. Tento hasební efekt nastupuje obvykle po sražení plamenů v plynné fázi v místnosti. Další možností, jak ochladit povrch hořlavé látky je použití kapek velkých 2-3 mm

např. prostřednictvím plného vodního proudu nebo tříštěním vody na deflektoru sprinklerové hlavice za nízkého tlaku. Tyto kapky se neodpařují v plynné fázi plamenů a dopadají až na povrch hořlavé látky.

- Dále je možné v rámci požární obrany vodu aplikovat na povrch hořlavé látky ještě před započítáním procesu hoření.

Při ohřátí vody z 10 °C na 100 °C se spotřebuje:

$$Q_1 = \Delta t \cdot c = 90 \cdot 0,00418 = 0,38 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$$

Při odpaření vody se spotřebuje:

$$Q_2 = 2,26 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$$

Při ohřátí vodní páry na konečnou teplotu prostředí je třeba odvést:

$$Q_3 = (600 - 100) \cdot 0,00201 = 1,01 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$$

Ve výpočtu uvažujeme, že k rapidnímu omezení spalování v místnosti dojde při ochlazení plynů v místnosti na teplotu cca 600 °C (přibližná teplota kdy dochází v místnosti k celkovému vzplanutí). Při této teplotě dochází k omezení tepelné radiace pod kritickou hodnotu pro celkové vzplanutí (cca 20 kW.m⁻²) a ke zpomalení pyrolýzy hořlavých hmot. Ohřátí vodní páry na 600 °C lze tedy považovat za teplotní rozhraní mezi lokálním a plně rozvinutým požárem v místnosti.

Celkové množství tepla odebrané 1 kg vody aplikované do místnosti, ve které je požár na rozhraní lokálního a plně rozvinutého, se stanoví:

$$Q_w = Q_1 + Q_2 + Q_3 = 0,38 + 2,26 + 1,01 \doteq 3,6 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$$

Pro uhašení difuzních plamenů postačuje odebrání 1/3 reakčního tepla. Pokud předpokládáme odpaření všech vodních kapek aplikovaných do místnosti, je možné chladicí kapacitu vody ztrojnásobit na 10,8 MJ.kg⁻¹. Model zhášení plamenů při plně rozvinutém požáru předpokládá, že do prostoru je dodáno takové množství vody, že se to vyrovná množství tepla uvolněného hořením.

Efektivita hašení je konstanta vyjadřující skutečné využití hasebního efektu, která byla určena na základě hodnocení výsledků experimentů. Efektivita hašení je různá pro plné proudy z exteriéru budovy, v budově a při použití vodní mlhy. Při použití vodní mlhy v interiéru je možné z provedených experimentů efektivitu hašení odhadnout na 0,2. Obecně tedy uvažujeme, že vlastního procesu hašení se účastní 20 % vody, kterou aplikujeme na požářiště. Pro hašení z venkovního prostoru je možné použít hodnotu teoretické chladicí kapacity 3,6 MJ.kg⁻¹, což můžeme za předpokladu hašení difuzních plamenů ztrojnásobit na 10,8 MJ.kg⁻¹. Podmínkou je střední velikost kapiček vody maximálně 1 mm a tím tlak na proudnici min. 0,5 MPa popř. vysokotlaký proud.

Pro určení chladícího výkonu můžeme využít vztah:

$$\dot{Q}_{pr} = \frac{q_p \cdot Q_w \cdot \chi}{60}$$

kde je:

\dot{Q}_{pr} chladící výkon proudnice (MW)

q_p průtok proudnice (l.min⁻¹)

Q_w teoretická chladící kapacita vody (MJ.kg⁻¹)

χ efektivita hašení (-)

Tabulka 3 Hodnoty efektivity hašení a teoretické chladící kapacity vody

Způsob aplikace vody	Efektivita hašení (-)	Teoretická chladící kapacita (MJ.kg ⁻¹)
Roztříštěný vodní proud v interiéru	0,2	10,8
Plný proud vody aplikovaný ruční proudnicí	0,4	2,6
Plný proud lafetovou proudnicí z exteriéru	0,2	2,6

Vztah pro potřebný průtok hasiva:

$$q_p \geq \frac{\dot{Q} \cdot 60}{Q_w \cdot \chi}$$

kde je:

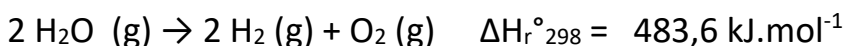
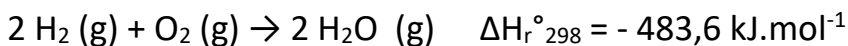
q_p průtok hasiva (l.min⁻¹)

Q_w teoretická chladící kapacita (MJ.kg⁻¹)

χ efektivita hašení (-)

4.4. Komplikace při použití vody k hašení

Při působení vysokých teplot v rozmezí 2500-3000 °C dochází k rozkladu vody na vodík a kyslík. Podle prvního termochemického zákona (Lavoisier-Laplaceova) lze standardní reakční entalpii vyjádřit podle uvedené syntézy vodíku a kyslíku:



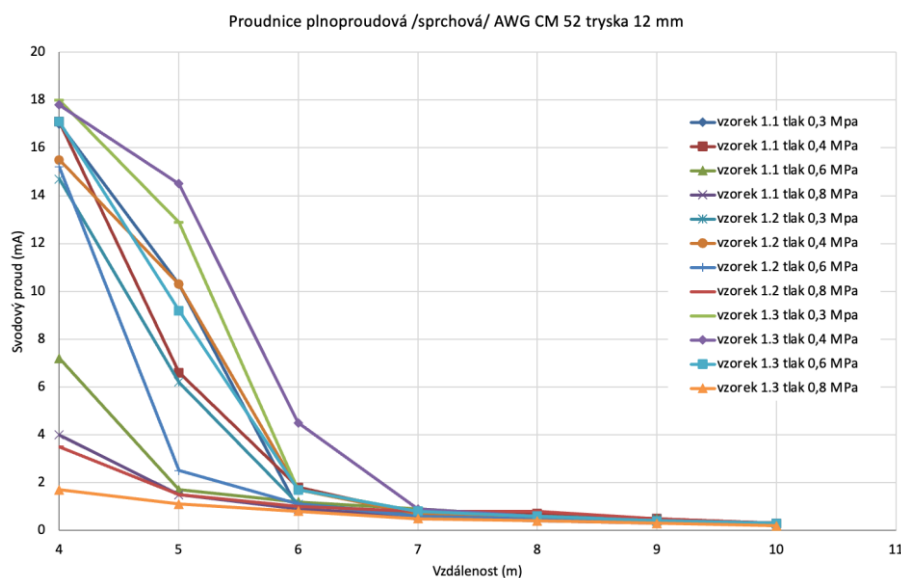
4.5. Hašení elektrických zařízení vodou

Proudy hasební vody jsou specifickou formou dopravy látky na větší vzdálenosti. V proudnici, která ukončuje hadici útočného vedení, dochází na zúženém dopravním průřezu ke zvýšení rychlosti proudící vody jako důsledek přeměny hydrodynamického přetlaku na kinetickou energii vodního proudu. Při běžných pracovních tlacích v hadicovém vedení cca 0,2-0,8 MPa dochází v relativně krátké vzdálenosti za proudnicí (vůči celkovému dostřiku) k rozpadu kompaktního proudu na vodní kapky různých rozměrů. To má za následek, že přenos elektrického proudu přes vodní proud do uzemnění není závislý pouze na elektrické vodivosti použitého hasiva, ale také na velikosti a hustotě vodních kapek rozpadajícího se vodního proudu. Vedení elektrického proudu přes soustavu uzemněné proudnice a vodní proud dopadající na elektrické zařízení pod různým napětím (až do 400 kV) již bylo zkoumáno různými studiemi. Ve starší literatuře bylo stanoveno, že bezpečná vzdálenost od elektrického zařízení je dána průměrem hasební trysky v metrech, tj. pro trysku 12 mm je bezpečná vzdálenost 12 m. Na základě studia dostupné literatury bylo navrženo experimentální měření pro ověření přenosu elektrického náboje přes vodní proud při napětí na zdroji 400 kV, kde cílem bylo nalézt závislost mezi svodovým proudem a vzdáleností od zdroje napětí. Zkouška byla provedena podle německé normy DIN VDE. Proudnice byly umístěny izolačně na zkušebním zařízení a nastaveny proti mřížce o rozměru 1 x 2 m (velikost ok 10 x 10 mm o průměru drátu 3 mm), pod úhlem přibližně 15° v horizontální rovině, v požadované vzdálenosti s od mřížky. Byl nastaven požadovaný tlak vody a na mřížku se přivedlo zkušební napětí 400 kV, kterým bylo simulováno sdružené napětí v přenosové síti. V průběhu zkoušky byl vždy pro daný tlak a danou vzdálenost změřen svodový proud I_{sv} tekoucí proudem vody.



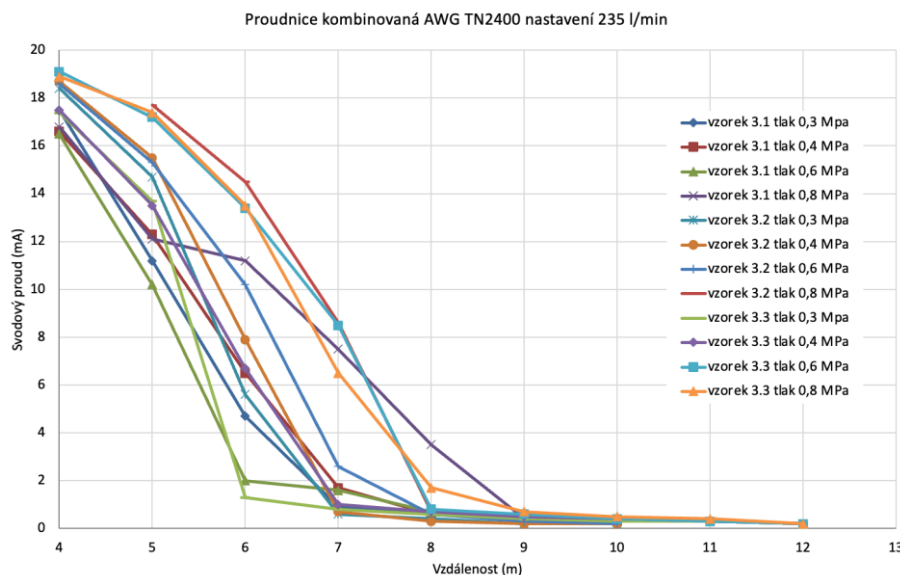
Obrázek 13 Dispozice zkoušky svodového proudu přes proudnici při napětí 400 kV

Naměřené průběhy hodnot svodového proudu se liší zejména v závislosti na typu proudnice. Proudnice plnoproudové dle ČSN EN 12 182-3 s klasickou kruhovou tryskou vykazují opakující se závislost svodového proudu na vzdálenosti s minimálními odchylkami.



Obrázek 14 Průběhy svodových proudů pro plnoproudé proudnice AWG CM 52 s tryskou 12 mm

V případě kombinovaných proudnic s dutým prstencem vody (turbo) dle ČSN EN 12 182-2 vstupuje do závislosti mimo průtoku a tlaku také proměnný tvar vodního proudu. Tento se oproti proudu z plnoproudé proudnice nejprve chová jako dutý prstenec, který se v určité vzdálenosti od trysky spojuje v proud kompaktní, který se dále rozpadá na proud kapek většího rozměru. Celá charakteristika vodního proudu se tak mění v závislosti na tlaku a průtoku.



Obrázek 15 Průběhy svodových proudů pro proudnice s dutým prstencem vody AWG TN2400 nastavení 235 l.min⁻¹

Na základě naměřených hodnot svodového proudu je možné konstatovat, že u všech typů proudnic je výrazným faktorem změny svodového proudu vzdálenost proudnic od zdroje napětí 400 kV. Závislost průtoku na tlaku není pro různé druhy proudnic stejná. Velký vliv má také geometrie vodního proudu, a to platí zejména u proudnic s dutým prstencem vody, která se v určité vzdálenosti spojuje v kompaktní vodní proud a po určité vzdálenosti se rozpadá na samostatné kapky.

Podle bojového řádu JPO je možné pro hašení elektrických zařízení pod napětím je možné pro hašení elektrických zařízení pod napětím do 400 V použít kombinované požární proudnice a vysokotlaké proudnice.

Tabulka 4 Seznam proudnic pro hašení pod napětím do 400 V

Typ proudnice	Druh proudu	Bezpečná vzdálenost (m)	Minimální tlak na proudnici (MPa)
Kombinovaná	Plný	3,5	0,6
	Sprchový	1,5	0,6
Vysokotlaká	Plný	1,5	2,5
	Mlhový	1,5	2,5

Při hašení je důležité směřovat proud vody na zapálené zařízení či elektrické vedení až po dosažení dostatečného tlaku v proudnici. K ukončení hašení dojde snížením tlaku v proudnici a následným odkloněním proudu vody mimo místo elektrického zařízení či vedení.

Nesmí se využívat voda kontaminovaná, obsahující smáčedla, pěnidla nebo jiné přísady zvyšující kompaktnost či vodivost. Je možné použít i demineralizovanou vodu.

Hasiči by neměli přijít do přímého kontaktu s vodou (např. kaluže) či vodivými objekty spojenými s elektrickým systémem, například vodiči nebo rozvodnými skříněmi. Je nezbytné zajistit na místě zásahu dobrou viditelnost pro dodržení bezpečných vzdáleností a správné aplikace hasiva.

Shrnutí

Kapitola popisuje hasební efekt vody a způsoby, jakými je voda používána k hašení požárů. Hasební efekt vody spočívá v odvádění tepla, když je voda ohřívána a následně dochází k jejímu odpaření. K účinnému hašení požárů je nutné dodat teplo odpovídající měrné tepelné kapacitě vody. K hašení se voda aplikuje buď v drobných kapkách do plamenů, přímo na povrch hořlavé látky nebo je aplikována ještě před započítím hoření.

Výpočty ukazují, že pro účinné hašení požáru je potřeba odebrat značné množství tepla.

Efektivita hašení závisí na způsobu aplikace vody a je různá pro plné proudy z exteriéru budovy, v budově a při použití vodní mlhy. Obecně se předpokládá, že procesu hašení se účastní 20 % aplikované vody. Pro hašení zvenku je možné využít teoretickou chladicí kapacitu $10,8 \text{ MJ.kg}^{-1}$, pokud jsou splněny určité podmínky týkající se velikosti kapek a tlaku vody.

Vodu je možné využít pro hašení elektrických zařízení pod napětím. Experimenty ukazují, že z bezpečné vzdálenosti je možné hasit i elektrická zařízení pod napětím 400 kV. Bojový řád jednotek požární ochrany umožňuje pouze hašení zařízení pod napětím do 400 V.

Kontrolní otázky

- 1) Jaká je efektivita hašení při hašení roztržitým proudem v uzavřeném prostoru?
- 2) Jako jsou tři základní účinky vody při hašení?
- 3) Při jakých teplotách dochází k rozkladu vody na vodík a kyslík?
- 4) Jak neblíže se můžeme přiblížit s vysokotlakou proudnicí při hašení elektrických zařízení pod napětím?
- 5) Jaká je přibližná bezpečná vzdálenost pro hašení elektrických zařízení pod napětím pro plnoproudou trysku průměru 12 mm?

Test

- 1) Jaká je měrná tepelná kapacita vody a jaký má dopad na hasební efekt?
- 2) Kolik tepla je třeba k tomu, aby se odpařil 1 kg vody?
- 3) Jaká je adiabatická teplota plamene?
- 4) Co to je efektivita hašení vodou?
- 5) Jak velké jsou kapky vody vytvářené plnoproudou proudnicí?

Správná odpověď

- 1) Měrná tepelná kapacita vody je $4180 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$ a způsobuje odvod tepla z oblasti hoření již při ohřívání vody.
- 2) K tomu, aby se odpařil 1 kg vody je třeba 2,26 MJ tepla.
- 3) Adiabatická teplota plamene je cca 1600 K.
- 4) Efektivita hašení vodou je poměr mezi vodou, která se účastnila procesu hašení a vodou jež bez užitku odtekla.
- 5) Plnoproudá proudnice vytváří převážně kapky velikosti 2-3 mm.

Literatura

- [1] KREMPASKÝ, Július. Tepelný pohyb. Katedra fyziky: Krempaský Fyzika [online]. [cit. 2023-07-20]. Dostupné z: <http://kf-lin.elf.stuba.sk/KrempaskyFyzika/14.pdf>.
- [2] RASBASH, D. (1986). The Extinction Of Fire With Plain Water: A Review. IAFSS Symposiums – Fire Safety Science (stránky 1145-1163). Berlin: Springer-Verlag.
- [3] SÄRDQVIST, S. (1996). An Engineering Approach to Fire Fighting Tactics. Lund: Department of Fire Safety Engineering. Lund University.
- [5] Bojový řád jednotek požární ochrany. Ministerstvo vnitra GŘ HZS ČR 2007.
- [6] Macák V. Hašení vodní mlhou. ČSPO Praha 1962.

5. Zdroje požární vody

Zdroje požární vody se používají při zdolávání požárů. Objekty mají rozdílné velikosti požárních úseku a tím je třeba v případě požáru také jiné množství požární vody.

Cíl kapitoly

Cílem kapitoly je získání základních informací o tom, jak dělíme zdroje požární vody. Jaké využíváme technická řešení odběrních míst. Čtenář získá také informace o tom, jak se odběrní místa dimenzují a jaká je potřeba požární vody vyplývající z požárních statistik.

5.1. Úvod

Tato kapitola, je věnována jednomu z klíčových prvků v oblasti požární ochrany, a to zdrojům požární vody. Voda je základním prostředkem pro zdolávání požárů, ať už se jedná o malé lokální požáry či rozsáhlé požáry ve velkých objektech či krajině. Tato kapitola se zaměřuje na různé zdroje požární vody. Dále se zabývá způsoby využívání těchto zdrojů, technologie spojené s čerpáním a transportem požární vody a její distribuci na ohnisku požáru.

5.2. Použité pojmy a jejich vysvětlení

- *Odběrní místo* je místo vhodné k odběru vody pro hašení mobilní požární hasicí technikou, technickými prostředky požární ochrany nebo certifikovanými typy výrobků, podle umístění vzhledem k objektu se dělí na vnější a vnitřní.
- *Požární výtokový stojan* je nadzemní výtoková armatura na vodovodním potrubí ukončená sací hadicovou spojkou, která umožňuje přímé napojení sacích požárních hadic o průměru 110 mm nebo 125 mm.
- *Plnicí místo* je místo, kde nadzemní výtoková armatura na vnějším vodovodu umožňuje plnění nádrží mobilní požární techniky horním otvorem.
- *Požární potrubí* (dříve suchovod) je nezavodněné, samostatné potrubní rozvody o průměru min. 75 mm, které jsou zásobovány vodou pomocí požární techniky (popř. jiným tlakovým zdrojem vody k hašení); slouží zejména pro vedení zásahu vnitřkem objektu.

5.3. Vodovodní sítě

Voda použitá při hašení požáru skladována v nějakém typu nádrže. Například může být uložena ve vodojemu, veřejné vodárenské věži, sprinklerové nádrži, cisternové automobilové stříkačce nebo přenosném hasicím přístroji. Pro dopravu na místo použití se používá systém potrubí, popřípadě požárních hadic. Veřejný vodovod se skládá ze sítě vodojemů, rozvodů a potrubí. Vodovod vede z úpraven vody a nádrží do obytných a průmyslových oblastí. Rozvodné potrubí přivádí vodu k zákazníkům. Do jednotlivých nemovitostí vede vodu vodovodní přípojka. Průměr potrubí určuje jeho maximální průtok, stejně jako u požárních hadic.

Okružová část vodovodní sítě má obecně podobu rozvodného systému s nejméně dvěma trasami spojujícími jakékoli dva body v systému. Periferní oblasti vodovodní sítě často sestávají z větveného systému. Větvený systém má stromovou strukturu, ve které je každý bod v systému zásobován z jednoho zdroje. Sprinklerové systémy mají podobnou strukturu s potrubím, které se rozvětvují do stromové struktury. Aby se umožnilo použití co nejmenších trubek, a tím i snížení nákladů na instalaci, jsou konce trubek často spojeny okružováním s vytvořením smyček.

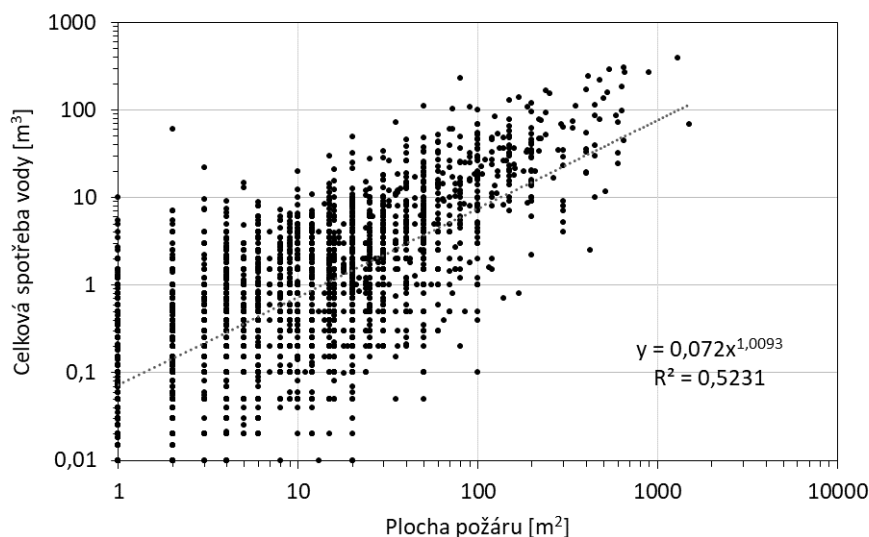
Vedení požárních hadic mohou mít také strukturu větvenou, lineární nebo okružovou. Větvená struktura je využívána, pokud se voda odebírá z jednoho zdroje a používá se velké množství proudnic. Aby se zajistilo, že tlak trysek je stejný pro všechny trysky, je nejlepší, když je systém symetrický, což znamená, že všechny proudnice dodávané jedním čerpadlem jsou stejného typu a jsou připojeny k hadicím stejné délky. Lineární struktura se skládá z malého množství proudnic zásobovaných z jednoho vodního zdroje. Zatímco probíhá hašení požáru, tak lze systém rozšířit přidáním hadic a posunutím útočného vedení dopředu. Nejběžnější způsob zajištění nepřetržitého zásobování vodou, je zřídit přívodní vedení z veřejné vodovodní sítě.

5.4. Statistická data o potřebě požární vody

Za účelem stanovení požadavků na hasební látky byla vyhodnocena statistika požárů v ČR za období 2006-2020. Do průzkumu byly zahrnuty všechny požáry, ke kterým byla dostupná kompletní zkoumaná data. Po těchto úpravách statistického souboru vztaženého ke stavebním objektům bylo posuzováno 29754 událostí. Tato množina byla dle užívání objektů rozdělena do 14 skupin. V první fázi byly zkoumány časové závislosti plochy požáru na době jeho rozvoje. Byly posouzeny časové úseky vznik – zpozorování, zpozorování – příjezd JPO, vznik – lokalizace, vznik – ohlášení. Klíčovým bylo hodnocení závislosti plochy požáru na době volného rozvoje. Doba volného požáru byla posuzována jako

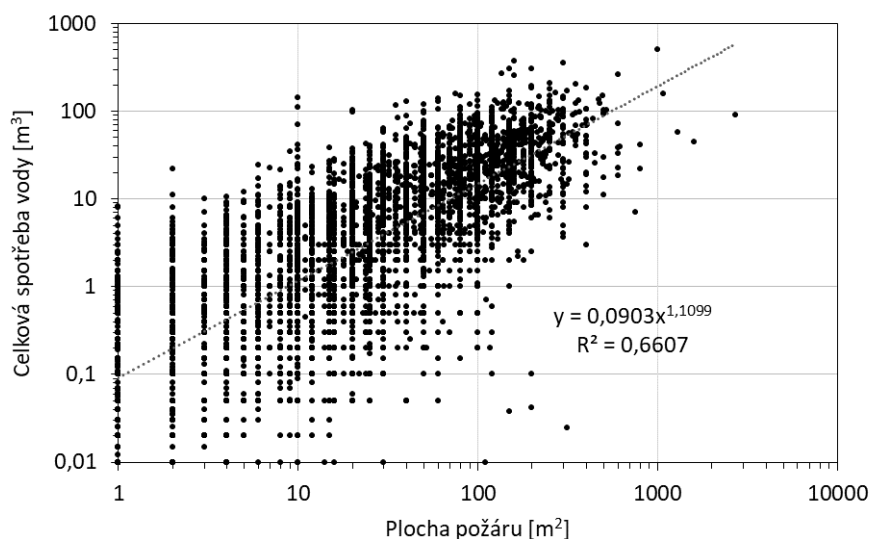
skutečná, tedy čas mezi vznikem požáru (stanoveným vyšetřováním příčin vzniku požáru) a časem zahájení zásahu.

Klíčovým údajem je celková spotřeba vody. V případě bytových domů je možné vidět, že velká část požárů má plochu nižší než 100 m², čemuž odpovídá celková spotřeba vody do 10 m³.



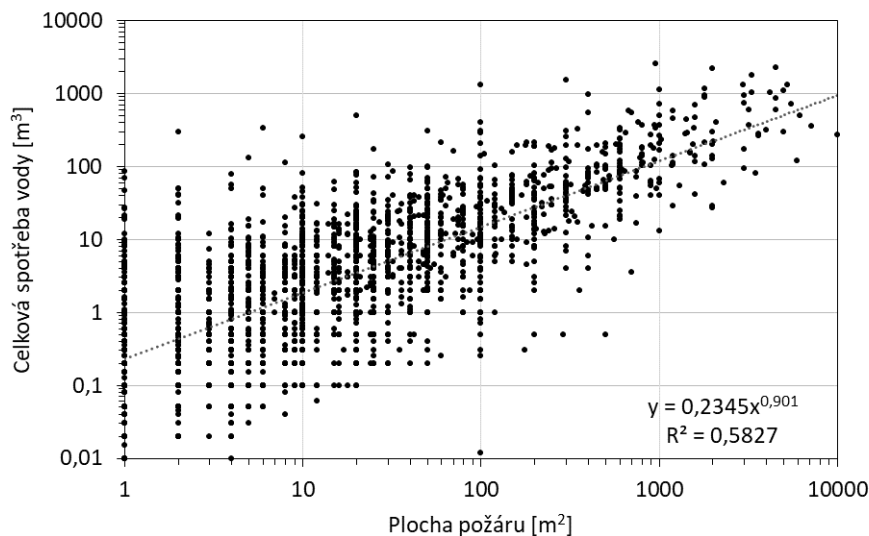
Obrázek 16 celková spotřeba vody pro objekty bytových domů

Pro rodinné domy platí podobná závislost, ale podíl požárů, kdy byla spotřeba v rozmezí 10-100 m³ vody je výrazně vyšší.



Obrázek 17 celková spotřeba vody pro objekty rodinných domů

Pro výrobní haly již ovšem platí, že u těchto objektů byla u významné části požáru spotřeba požární vody vyšší než 100 m³.



Obrázek 18 celková spotřeba vody pro výrobní objekty

5.5. Odběrní místa požární vody požadavky dle ČSN 73 0873

Při využití odběrních míst veřejné vodovodní sítě je nutné si uvědomit, že jejich zásobování je společné, a tedy při použití více požárních hydrantů klesá na jednotlivých odběrních místech tlak a průtok. Pokud je jeden hydrant otevřený zároveň s dalším, průtok nebude dvojnásobný. V praxi se celkový průtok zvýší přibližně o 50 %, jakmile se použije druhý hydrant. Pokud se otevře i třetí nejbližší hydrant, bude zvýšení průtoku ještě menší.

Pro zásobování požární vodou se musí zabezpečit zdroje požární vody, které jsou schopny trvale zajišťovat požární vodu v předepsaném množství po dobu alespoň 30 minut.

Zdroje požární vody jsou zejména:

- nadzemní a podzemní hydranty,
- požární výtokové stojany a plnicí místa,
- vodní toky (např. řeka, potok),
- přirozené a umělé nádrže na vodu (např. studny, rybníky, jezera, přehrady, bazény, požární nádrže, reservoáry, aj....)

Vnější odběrní místa požární vody se nepožadují u:

- volných skládek s celkovou plochou menší než 400 m²,
- objektů s požárními úseky nebo otevřených technologických zařízení,
- objektů členěných v souladu ČSN 73 0802 nebo ČSN 73 0804 do požárních úseků, ve kterých mají všechny požární úseky půdorysnou plochu menší než

30 m² nebo jejich výpočtové požární zatížení je $p \leq 10 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$, kromě požárních úseků v objektech pro bydlení, ubytování a

- kde je nepřípustné hašení a ochlazování vodou,
- zdravotnických zařízení,
- objektů nebo otevřených technologických zařízení, kde je potřeba vody k hašení a ochlazování zajištěna jiným způsobem (např. technologické zdroje vody,...),
- objektů nebo otevřených technologických zařízení, kde náklady na zařízení pro zásobování požární vodou jsou neekonomické.



Obrázek 19 Hydrantový nástavec napojený na podzemním požárním hydrantu

Jako vnější odběrní místa pro zásobování vodou k hašení se mají navrhovat zejména nadzemní hydranty. Požární výtakové stojany a plnicí místa se instalují zejména v uzavřených areálech výrobních a nevýrobních objektů nebo skladů. Nadzemní (podzemní) hydranty, požární výtakové stojany a plnicí místa se doporučuje osazovat na okružovou vodovodní síť. Pokud uvedená odběrní místa nejsou trvale zavodněna, musí být od zavodněného potrubí vzdálena max 20 m. U nejnepříznivěji položeného nadzemního (podzemního) hydrantu má být zajištěn zásobovací přetlak 0,2 MPa.

Vzdálenosti požárních hydrantů od objektů se navrhuje v rozmezí 100-200 m. Odběrní místa schopná větších průtoků mohou být ve větší vzdálenosti. Vodní nádrž nebo vodní tok může být ve vzdálenosti 300-600 m od objektu. Průtok požárních hydrantů se navrhuje od 7,5 do 40 l.s⁻¹. Kapacita požárních nádrží je 14-72 m³.

Nejmenší průtok z výtokového stojanu je 25 l.s⁻¹ a u plnicího místa je 60 l.s⁻¹.

5.6. Požární potrubí

Požární potrubí se zřizují v budovách s výškou větší než 30 m s výtokem v každém podlaží. Požární potrubí musí být osazeno tlakovou hrdlovou spojkou s víčkem pro připojení požárního čerpadla, která je vně objektu. Dále potrubními rozvody a vnitřními výtokovými armaturami DN 52 s tlakovými hrdlovými spojkami s víčky.

Požární potrubí se zřizují také ve Štěřínech požárních žebříků.

Shrnutí

Kapitola pojednává o skladování a využití vody při hašení požárů. Voda je skladována v různých typech nádrží, jako jsou vodojemy, veřejné vodárenské věže, sprinklerové nádrže, cisternové automobilové stříkačky nebo přenosné hasicí přístroje. Pro dopravu vody na místo požáru se využívá systém potrubí a požárních hadic. Veřejný vodovod se skládá ze sítě vodojemů, rozvodů a potrubí vedoucího vodu do obytných a průmyslových oblastí. Voda je přiváděna k zákazníkům prostřednictvím rozvodného potrubí a vodovodních přípojek. Struktura vodovodní sítě může být okružová, stromová (větvená) nebo spojuvat prvky obou struktur. Hašení požáru může probíhat pomocí stromové, lineární nebo okružové struktury vedení požárních hadic, v závislosti na potřebách a dostupnosti vodního zdroje. Nejběžnějším způsobem zajištění nepřetržitého zásobování vodou je připojení k veřejné vodovodní síti.

Kontrolní otázky

- 1) Jak se nejčastěji provádí zásobování požární vodou?
- 2) Jakou strukturu mohou mít vedení požárních hadic?
- 3) Jaký má vliv na průtok vody, pokud jsou otevřeny dva hydranty současně?
- 4) Jakou minimální dobu musí být zdroje požární vody schopny trvale zajišťovat požární vodu?
- 5) Jaká je minimální výška budovy, ve které se požaduje požární potrubí s výtokem v každém podlaží?

Test

- 1) V jakých typech nádrží se skladuje voda použitá při hašení požáru?
- 2) Jaká je struktura vodovodní sítě?
- 3) K čemu slouží a kde se používá požární potrubí?
- 4) Jaký je minimální průtok výtokového stojanu?
- 5) V jaké vzdálenosti od objektu se navrhují požární hydranty?

Správná odpověď

- 1) Požární voda se skladuje ve vodojemu vodovodní sítě nebo v samostatné požární nádrži.
- 2) Vodovodní síť může být okružová nebo větvená.
- 3) Požární potrubí slouží k napojení CAS na rozvod v objektu, na který připojí hasiči útočné vedení a používá se u výškových objektů nad 30 m, nebo je součástí požárního žebříku.
- 4) Minimální průtok výtokového stojanu je $35 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$.
- 5) Požární hydranty se navrhují ve vzdálenosti 100-200 m od objektu.

Literatura

- [1] SÄRDQVIST, S. (2002). Water and other extinguishing agents. Karlstad: NRS Tryckeri AB.
- [2] ČSN 73 0873. (2003). Požární bezpečnost staveb – Zásobování požární vodou. Praha: ÚNMZ.
- [3] THOMITZEK, A. (2022), CHUDOVÁ, D., ČESELKÁ, T. Vyhodnocení statistických dat pro potřeby zásobování objektů požární vodou v letech 2006-2020. Výzkumná zpráva. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2022

6. Hydraulický výpočet jednoduchého potrubí

Kapitola obsahuje základní odborné pojmy a informace vztažené k návrhu potrubí, proudění kapaliny v potrubí, energetickým a tlakovým ztrátám při proudění reálné kapaliny v potrubním systému. V kapitole je prezentován jednoduchý princip výpočtu gravitačního potrubí s nádrží.

Cíl kapitoly

Tato kapitola slouží k tomu, aby si čtenář vytvořil představu, jakým způsobem se dimenzuje jednoduché potrubí vodovodního řádu. Pro výpočet se využívá základních zákonitostí hydromechaniky. Cílem této kapitoly je poskytnout čtenářům stručný pohled na problematiku hydraulického výpočtu potrubí a připravit je pro detailnější studium tohoto důležitého tématu.

6.1. Úvod

Hydraulický výpočet potrubí je zásadním prvkem při návrhu, analýze a potrubních systémech. Tato kapitola je zaměřena na analýzu průtoku tekutin v potrubních sítích, včetně výpočtu tlakových ztrát, rychlosti průtoku a dalších parametrů.

6.2. Použité pojmy a jejich vysvětlení

- *Rovnice kontinuity* se rozumí zjednodušený tvar rovnice kontinuity pro ideální kapalinu protékající za ustáleného proudění uzavřenou trubicí obecně proměnlivého průřezu.
- *Bernoulliho rovnice* vyjadřuje zákon zachování mechanické energie pro ustálené proudění ideální kapaliny. V místě s větším průřezem má proudící kapalina větší tlak, ale menší rychlost, zatímco v místě s menším obsahem průřezu má menší tlak, ale větší rychlost. Tlak proudící kapaliny klesá s její rostoucí rychlostí.
- *Ztrátová energie* je zmařená energie kapaliny hydraulickými odpory, resp. drsností stěn potrubí či koryta, vnitřním třením tekutiny (vazkostí) a deformací rychlostního a tlakového pole v kapalině.
- *Laminární proudění* je takové proudění vazké kapaliny, při kterém jsou proudnice rovnoběžné a nemísí se. Částice kapaliny se pohybují vedle sebe jakoby ve vrstvách, které se vzájemně nepromíchávají.
- *Turbulentní proudění* je takové proudění vazké tekutiny, při kterém se proudnice navzájem promíchávají. Částice tekutiny vykonávají při proudění kromě posouvání i složitý vlastní pohyb, který vede ke vzniku vírů.

6.3. Hydraulický výpočet potrubí

Hydraulický výpočet potrubí je založen na aplikaci rovnice kontinuity, Bernoulliho rovnice pro skutečnou kapalinu na určení hydraulických odporů nebo hydraulických ztrát. Hydraulický odpor (ztráta) způsobuje rozptyl energie. tzv. (rozptylová) ztrátová energie „ e_z “.

Ztrátová energie e_z se na hydraulických odporech projevuje tlakovým úbytkem:

$$e_z = \frac{p_z}{\rho} \text{ (vynucené proudění v potrubí apod.),}$$

dále úbytkem kinetické energie:

$$e_z = \zeta \frac{v^2}{2} \text{ (výtok z nádoby, otvory apod.),}$$

snížením polohové energie:

$$e_z = gh_z \text{ (gravitační potrubí, proudění v korytech apod.).}$$

Hydraulické odpory dělíme na: $e_{zc} = e_{zt} + e_{zm}$, třecí odpory, které jsou charakteristické tím, že závisí na délce potrubí (*drsnost stěn*), místní odpory vznikají tam, kde:

- mění se velikost rychlosti proudění (*změna průtočného průřezu*),
- mění se směr rychlosti proudění (*zakřivené potrubí, kolena*),
- mění se velikost i směr rychlosti proudění (*armatury*).

V důsledku místního odporu dochází k odtržení proudu a tvorbě vířivé oblasti. U třecích ztrát hovoříme o tzv. ztrátovém součiniteli ζ_t :

$$\zeta_t = f(l, d) = \lambda \frac{l}{d}$$

Ztrátový součinitel je přímo úměrný délce potrubí l a tzv. třecímu součiniteli λ . Měrná ztrátová energie se stanoví jako:

$$e_{zt} = \zeta_t \frac{v^2}{2} = \lambda \frac{l}{d} \frac{v^2}{2} \text{ (J.kg}^{-1}\text{)}$$

Součinitel tření $\lambda = f(Re, \varepsilon)$, relativní drsnost $\varepsilon = \frac{k}{d}$, k ...(m) absolutní drsnost stěny je vyjádřením výšky nerovnosti d .

6.4. Součinitel tření u laminárního proudění

Součinitel tření je závislý pouze na Re , relativní drsnost ε můžeme zanedbat. Při laminárním proudění má drsnost stěny vliv pouze na kapalinu proudící bezprostředně po povrchu stěny potrubí. Platí pro $Re < 2320$.

Pro kruhové potrubí platí vztah $\lambda = \frac{64}{Re}$, $Re = \frac{v \cdot d}{\nu}$

Pro nekruhové potrubí platí vztah $\lambda = \frac{A}{Re}$, $Re = \frac{v \cdot A}{\nu}$

6.5. Součinitel tření u turbulentního proudění

Pro turbulentní proudění je součinitel tření závislý jak na Re , tak i na relativní drsnosti $\varepsilon = \frac{k}{d}$. Platí pro $Re > 2320$.

Ztráty třením turbulentního proudění v potrubí nekruhového průřezu je použito stejných vzorců. Místo průměru d se dosazuje tzv. ekvivalent pro nekruhové průřez d_h (hydraulický průměr):

$$d_h = 4 \frac{S}{O} \text{ (m)}$$

kde

S průtočná plocha (m^2)

O omočený obvod průřezu (m)

Tabulka 5 Hodnoty třecích součinitelů podle různých autorů [Drábková, 2002]

Autor	Oblast	Vzorec	Platnost
Blasius	Hydraulicky hladká potrubí	$\lambda = 0.3164 \cdot Re^{-0.25}$	$Re < 8 \cdot 10^4$
Lees		$\lambda = 0.00714 + 0.61 \cdot Re^{-0.35}$	$Re < 1.5 \cdot 10^6$
Drew		$\lambda = 0.0056 + 0.5 \cdot Re^{-0.32}$	$Re < 10^6$
Herrman		$\lambda = 0.0054 + 0.395 \cdot Re^{-0.3}$	$Re < 10^8$
Kármán-Nikuradse		$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2 \cdot \log \frac{Re \sqrt{\lambda}}{2.51}$	$Re < 6 \cdot 10^4$
Konakov		$\lambda = (1.8 \cdot \log Re - 1.5)^{-2}$	
Nikuradse		$\lambda = 0.0032 + 0.221 \cdot Re^{-0.237}$	
Altšul	Přechodná oblast turbulentního proudění	$\lambda = 0.1 \left(\frac{100}{Re} + \frac{k}{d} \right)^{0.25}$	
Colebrook-White		$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2 \log \left(0.27 \frac{k}{d} + \frac{2.51}{Re \sqrt{\lambda}} \right)$	$0.34 \leq \frac{k \cdot Re \cdot \sqrt{\lambda}}{32.5d} \leq 6.2$
Moody		$\lambda = 0.0055 \left[1 + \left(2 \cdot 10^4 \frac{k}{d} + \frac{10^6}{Re} \right)^{\frac{1}{3}} \right]$	
Kármán	Hydraulicky drsná potrubí	$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 1.74 + 2 \cdot \log \frac{d}{2k}$	$4 \cdot 10^3 < Re < 10^7$
Nikuradse		$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2 \cdot \log \frac{3.7d}{k}$	$\frac{k \cdot Re \cdot \sqrt{\lambda}}{32.5d} > 191.2$

6.6. Místní ztráty

Na místní ztráty v potrubí mají vliv kolena, armatury, měřicí zařízení, čističe, chladiče. V případě dopravního a útočného vedení jsou to zúžení ve spojkách, rozdělovač a další armatury.

Při průtoku přes tyto části potrubí tím dochází ke změně velikosti i směru rychlosti proudění, což vyvolává víření, popř. odtržení proudu kapaliny spojené s rozptylem energie.

$$e_{zm} = \frac{p_z}{\rho} = gh_z = \zeta_m \frac{v^2}{2}$$

Pro $Re \geq 10^5$ jsou hodnoty ztrátového součinitele téměř konstantní. Větší rozdíly jsou u $Re < 10^5$.

6.7. Jednoduché potrubí s nádrží

Potrubí slouží k dopravě tekutin. Při jeho návrhu vycházíme z předpokladu jednorozměrného proudění. Využívá se rovnice kontinuity toku a Bernoulliho rovnice pro skutečnou kapalinu a empirických vztahů pro stanovení hydraulických odporů v potrubí. Za jednoduché potrubí považujeme potrubí s konstantním průřezem. V případě dlouhých potrubí převažují ztráty třením, u kratších potrubí se mohou významně uplatnit ztráty místní. Jednoduché potrubí připojené k nádrži má délku l a průměr d . Předpokládá se, že nádrž je rozměrná, a tudíž rychlost proudění na této hladině je téměř nulová.

Za těchto okolností pro průřez 1 (hladina v nádrži ve výšce h) a 2 (výstup z potrubí do ovzduší) platí Bernoulliho rovnice:

$$\frac{p_1}{\rho} + \frac{v_1^2}{2} + gh_1 = \frac{p_2}{\rho} + \frac{v_2^2}{2} + gh_2 + e_z$$

kde

e_z je celková měrná ztrátová energie ($J \cdot kg^{-1}$).

Po dosazení pak platí:

$$\begin{aligned} \frac{p_0}{\rho} + \frac{0^2}{2} + gh &= \frac{p_0}{\rho} + \frac{v^2}{2} + g \cdot 0 + \left(\lambda \frac{l}{d} + \Sigma \zeta_m \right) \frac{v^2}{2} \\ gh &= \frac{v^2}{2} \left(1 + \lambda \frac{l}{d} + \Sigma \zeta_m \right) = \frac{v^2}{2} (1 + \zeta_c) \end{aligned}$$

V rovnici jsou uvažovány ztráty třením i součet místních odporů. Celkový ztrátový součinitel je pak:

$$\zeta_c = \lambda \frac{l}{d} + \Sigma \zeta_m = \lambda \frac{l + \Sigma l_e}{d}$$

Dále lze vyjádřit skutečnou rychlost v :

$$v = \sqrt{\frac{2gh}{(1 + \lambda \frac{l}{d} + \Sigma \zeta_m)}} = \frac{1}{\sqrt{(1 + \zeta_c)}} \cdot \sqrt{2gh} = \varphi v_t; \quad \varphi = \frac{v}{v_t} \dots \text{rychlostní součinitel}$$

Při návrhu potrubí je nutné vzhledem ke spolehlivé činnosti potrubí dodržet důležitou podmínku a sice, že osa potrubí vždy leží pod čarou tlaku. Odečteme-li od hladiny v nádrži rychlostní výšku $\frac{v^2}{2g}$ a spojíme-li takto vzniklý bod s koncem potrubí dostaneme čáru tlaku. Protože u potrubí obvykle $\frac{v^2}{2g} \ll h$, pak čáru tlaku dostaneme, jako spojnicí hladiny v nádrži s koncem potrubí.

Shrnutí

Hydraulický návrh vodovodního potrubí je zásadním prvkem pro správnou funkci a účinné rozvádění vody v systému. V textu jsou popsány základní prvky a postup při návrhu jednoduchého hydraulického vodovodního potrubí. Prvním krokem je stanovení požadovaných parametrů, jako jsou průtok vody, tlak, teplota vody a další specifické požadavky systému. Poté provádíme výpočet průtoku na základě očekávaného počtu spotřebitelů a jejich odběrových míst. Tím získáme celkový průtok, který systém musí zvládnout. Následuje výpočet ztrát tlaku v potrubí, což zahrnuje délku potrubí, průměr trubek, druh materiálu, povrchovou úpravu a proudění vody.

Kontrolní otázky

- 1) Jaké jsou dva hlavní typy hydraulických odporů v potrubí?
- 2) Jaký je vztah mezi třecím součinitelem, délkou a průměrem potrubí?
- 3) Jaký je rozdíl mezi součinitelem tření u laminárního a turbulentního potrubí?
- 4) Co způsobuje místní ztráty v potrubí?
- 5) Co je to rychlostní součinitel v kontextu jednoduchého potrubí s nádrží?

Test

- 1) Co je to rovnice kontinuity toku?
- 2) Co to je Bernoulliho rovnice?
- 3) Co je to laminární proudění?
- 4) Co je to turbulentní proudění?
- 5) Kdy přechází laminární proudění v turbulentní?

Správná odpověď

- 1) Rovnice kontinuity toku říká, že objemový tok tekutiny v potrubí různého průřezu zůstává konstantní.
- 2) Tato rovnice popisuje zachování energie tekutiny při pohybu podél proudu. Významné je, že předpokládá, že tekutina je nestlačitelná a nemá vnitřní tření.
- 3) Laminární proudění je charakterizováno hladkým a pravidelným pohybem tekutiny.
- 4) Turbulentní proudění je chaotické a nepředvídatelné. V turbulenci dochází k vířivým proudům, odstředivým silám a překrývání vrstev tekutiny.
- 5) Při překročení Reynoldsova čísla 2320.

Literatura

- [1] JANALÍK, Jaroslav a ŠTÁVA, Pavel. Mechanika tekutin. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2002. ISBN 80-248-0038-1.
- [2] DRÁBKOVÁ, Sylva a KOZUBKOVÁ, Milada. Cvičení z mechaniky tekutin. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2002. ISBN 80-248-0039-X.

7. Doprava vody na požářiště

Kapitola se zabývá způsobem dopravy vody z odběrných míst na místo požáru. K dopravě vody se využívají požární hadice. Dále je možné využít cisternových automobilových stříkaček ke kyvadlové dopravě vody.

Cíl kapitoly

Cílem kapitoly je seznámit čtenáře se způsoby dopravy vody na požářiště. Součástí jsou taky výpočtové postupy sloužící k ověření, který postup je v daném případě výhodnější.

7.1. Úvod

Požární voda, přepravovaná pomocí hadic a cisternových automobilových stříkaček, představuje klíčový prvek v rychlém a efektivním zásahu při požáru. Její optimální dostupnost a doprava jsou zásadní pro úspěšné hašení požáru, minimalizaci škod a ochranu životů a majetku. Tato kapitola se věnuje technickým aspektům, postupům a organizaci dopravy požární vody hadicemi a cisternami, s cílem poskytnout čtenáři důkladné porozumění této oblasti. Odběrní místa požární vody se zřídka nacházejí v bezprostřední blízkosti požárem zasaženého objektu a potom je tedy nutné zvolit nějaký ze způsobů dálkové dopravy vody.

7.2. Použité pojmy a jejich vysvětlení

- *Tlaková ztráta* v hadicovém vedení vyjadřuje ztrátu energie způsobenou turbulencemi.
- *Kyvadlová doprava vody* je způsobem dopravy vody pomocí cisteren, které pendlují od zdroje požární vody k požářišti.
- *Odběrní místo* je zařízení (hydrant apod.) sloužící k čerpání vody ze zdroje požární vody.
- *Reynoldsovo číslo* je bezrozměrná veličina (podobnostní číslo), která udává souvislost mezi setrvačnými silami a viskozitou tekutiny.

7.3. Doprava vody hadicemi

Odběrní místo určené pro dodávku hadicemi se musí nacházet ve vzdálenosti, která je přijatelná z hlediska délky podkládání hadicového vedení a také z hlediska tlakových ztrát ve vedení. Standardně se pro dálkovou dopravu vody

využívají hadice B75 o průměru 75 mm. Je také možné využít velkokapacitních čerpadel s ještě větším průměrem hadic.

V případě dopravy vody hadicemi přímo z odběrního místa, je limitní vzdálenost odběrního místa dána délkou hadicového vedení. Dále je nutné zvážit tlakovou ztrátou ve vedení. Pro vedení vytvořená z požární hadic je možné k výpočtu tlakové ztráty využít Hazen-Williamsovy rovnice ve tvaru:

$$p_f = 6,05 \frac{l \cdot q^{1,85}}{C^{1,85} d^{4,87}} \cdot 10^5$$

kde je:

p_f je tlaková ztráta (bar)

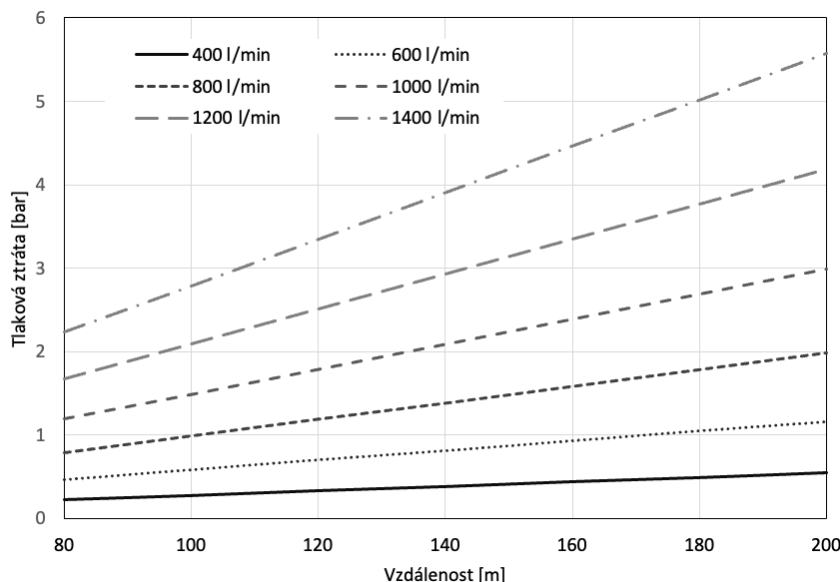
l délka hadicového vedení (m)

q průtok (l.min⁻¹)

d vnitřní průměr hadice (mm)

C ztrátový součinitel (pro nové požární hadice 150)

Tlakové ztráty pro vedení B75 jsou vyneseny do grafu a je zřejmé, že nad 600 l.min⁻¹ již dosahují hodnot, které výrazně omezí průtokovou charakteristiku odběrního místa (při délkách hadicového vedení nad 100 m).



Obrázek 20 Závislost tlakové ztráty ve vedení B75 na jeho délce

Vliv tlakové ztráty je možné omezit ustavením požární techniky přímo k odběrnímu místu a navýšení jeho tlaku. Odběrní místa požární vody (typicky podzemní hydranty) byly v minulosti osazovány bez návaznosti na

předpokládané rozestavení požární techniky při zásahu, což prodlužuje délku hadicových vedení. Pro omezení tlakových ztrát při dálkové dopravě vody hadicemi je možné použít hadice o vyšším průměru nebo paralelní vedení hadic (např. B75).



Obrázek 21 Pro dopravu velkého množství vody na velké vzdálenosti se používají hadice nadstandardních průměrů (152 mm, 254 mm)

7.4. Stanovení tlakových ztrát v hadicovém vedení se zohledněním místních ztrát

Velikost tlakových ztrát třením je ovlivněna:

- Drsností vnitřní strany hadice, kterou udává součinitel tření f ;
- Rychlostí proudící kapaliny. Podle rychlosti proudění a viskozity zjistíme o jaký druh proudění se jedná (laminární nebo turbulentní), při turbulentním proudění vznikají vodní víry, které způsobují významné energetické a tím tlakové ztráty;
- Průměrem požárních hadic. S klesajícím průměrem se tlakové ztráty zvyšují (tlakové ztráty v hadicích B75 jsou daleko nižší než v hadicích C52).

Při zúžení, rozšíření nebo větvení dochází k tomu, že dopravovaná hasební látka naráží na překážku a mění svoji rychlost, tím vznikají místní ztráty. Jejich velikost je pro každou armaturu dána výrobcem, nebo ji lze spočítat či změřit. Každý metr převýšení mezi počátkem a koncem hadicového vedení je roven tlakové ztrátě 1 metru vodního sloupce (m v. sl.). $0,1 \text{ MPa} = 10 \text{ m v. sl.} = 1 \text{ bar}$. Tlakové ztráty převýšením lze jednoduše zaznamenat pomocí výšky převýšení, kdy 10 m převýšení je rovno tlakové ztrátě $0,1 \text{ MPa}$, tedy tlaková ztráta 1 m v. sl. = $10\,000 \text{ Pa}$. Tuto tlakovou ztrátu pak přičteme ke ztrátám třecím a místním.

Rychlost proudění kapaliny v potrubí.

$$v = \frac{Q}{S} = \frac{Q}{\pi \cdot \frac{d^2}{4}}$$

v rychlost proudění vody v hadicovém vedení ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)

Q objemový průtok ($\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$)

S průřez (m^2)

d průměr požární hadice (m)

Reynoldsovo číslo je bezrozměrná veličina, která je závislá na rychlosti proudění, průměru hadice a viskozitě protékající tekutiny. Určuje, o jaký druh proudění se jedná.

Tabulka 6 Druh proudění podle Reynoldsova čísla

$Re < 2320$	Laminární proudění
$2320 < Re < 4000$	Přechodná oblast mezi laminárním a turbulentním prouděním
$Re > 4000$	Turbulentní proudění

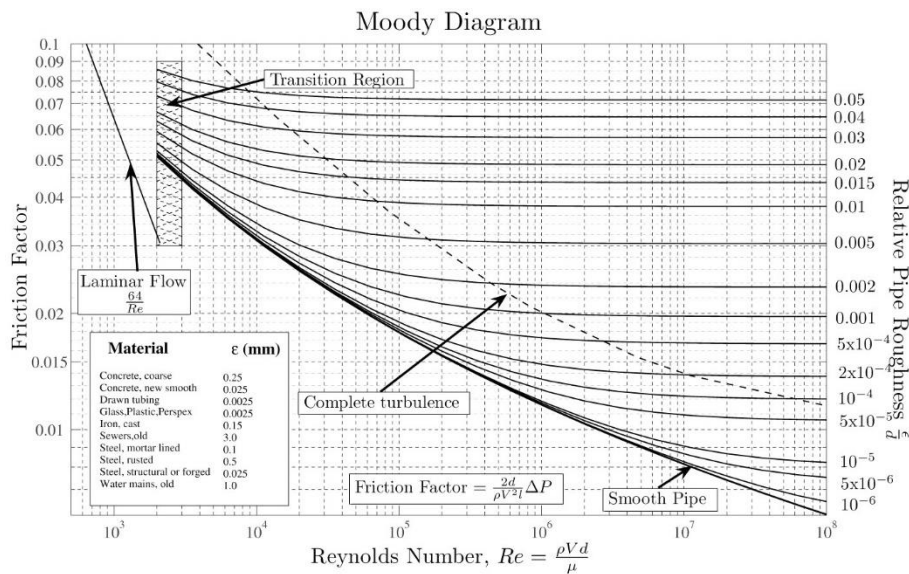
$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu}$$

ν kinematická viskozita ($\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$)

d průměr hadice (m)

v rychlost proudění ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)

Pro určení součinitele tření f je pro podmínky proudění v požárních hadicích využít Moodyho diagram. Z něj lze na základě Reynoldsova čísla (Re) a relativní drsnosti potrubí ($\frac{\varepsilon}{d}$) odečíst součinitel tření. Tato bezrozměrná veličina vyjadřuje odpor, který vytváří stěny hadice proudící kapalině. Pro nové požární hadice uvažujeme relativní drsnost potrubí $\frac{\varepsilon}{d} = 0,0001$.



Obrázek 22 Moodyho diagram [Beck, 2008, Wikimedia Commons]

Celková tlaková ztráta třením se vypočítá podle Darcy-Weisbachova vztahu. Pro tento výpočet nás zajímá délka hadic, rychlost proudění vody v hadicích, jejich průměr a hustota proudící tekutiny.

$$p_f = f \frac{l}{d_{had}} \cdot \frac{\rho v_H^2}{2}$$

p_f tlaková ztráta v hadicích (Pa)

f třecí součinitel (-)

l délka hadicového vedení (m)

v rychlost proudění vody v hadicovém vedení ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)

ρ hustota vody ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)

d průměr hadice (m)

Při změnách průměru v hadicovém vedení dochází k místním ztrátám tlaku. Při rozšíření vnitřního průměru dochází k vírům v místě rozšíření. Při zúžení uprostřed hadicového vedení dochází k nárazu části proudící tekutiny na stěnu zúžení. Ke změnám v průměru dochází při průtoku hasební látky z hadice do hadicové spojky a naopak. Tlakové ztráty počítáme samostatně pro zúžení a pro rozšíření. Tyto místní odpory (zejména ve spojkách) je nutné zohlednit při zejména při vysokých rychlostech proudění.

Tabulka 7 Rozměry spojek požárních hadic

Hadice	Vnitřní průměr hadice (mm)	Vnitřní průměr spojky (mm)
D25	25	18
C38	38	31,2
C42	42	36
C52	52	44,7
B65	65	55
B75	75	62

Ztrátový součinitel pro rozšíření:

$$\zeta_R = \left(1 - \frac{S_1}{S_2}\right)^2 = \left[1 - \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^2\right]^2$$

Ztrátový součinitel pro zúžení:

$$\zeta_Z = \left(\frac{S_2}{S_1} - 1\right)^2 = \left[\left(\frac{d_2}{d_1}\right)^2 - 1\right]^2$$

d_1 užší průměr spojky (m)

d_2 širší průměr spojky (m)

S_1 širší plocha průřezu spojky (m²)

$$S_1 = \pi \cdot \frac{d^2}{4}$$

S_2 užší plocha průřezu spojky (m²)

$$S_2 = \pi \cdot \frac{d^2}{4}$$

Rychlost proudění je na vstupní straně, pro zúžení se tak jedná o rychlost proudění vody v hadici (širší průřez), při rozšíření se vychází z rychlosti ve spojce (užší průřez).

Tlakové ztráty pro spojky v celém vedení.

$$p_n = n \cdot (p_Z + p_R)$$

p_n celkové tlakové ztráty pro spojky v celém vedení (Pa)

n počet spojek (-)

p_Z tlakové ztráty pro zúžení (Pa)

p_R tlakové ztráty pro rozšíření (Pa)

Celková tlaková ztráta:

$$p_c = p_f + p_n + p_p$$

p_c celková tlaková ztráta (Pa)

p_f tlaková ztráta třením v hadicích (Pa)

p_n tlaková ztráta spojkami (Pa)

p_p tlaková ztráta převýšením (Pa)

7.5. Kyvadlová dálková doprava vody

Kyvadlová dálková doprava vody je běžně užívána JPO při požárních zásazích. Medián vzdálenosti, na kterou se kyvadlová dálková doprava vody provádí je 2 km. Při rutinních požárech, které nevyžadují pro lokalizaci dosáhnout vysokého průtoku vody je zpravidla nutné dopravit potřebné množství vody pro likvidaci požáru. V tomto případě je s ohledem na početní stavy jednotek a časté užívání CAS kapacitou nádrže vyšší než 2 m³ nejjednodušší cestou využít kyvadlové dálkové dopravy vody. Při kalkulaci s tímto přístupem je ovšem nutné zohlednit skutečné možnosti JPO a dostupnou techniku dle plošného pokrytí území a to v I. stupni poplachu (tedy legislativou požadovanou techniku). Pro kyvadlovou dopravu vody se předpokládá využití zejména odběrního místa umožňujícího tlakové plnění CAS. Průtok dopravované vody je limitovaný dobou, za kterou vozidlo překoná vzdálenost mezi místem zásahu a odběrním místem požární vody. Zásobování požární vodou prostřednictvím kyvadlové dopravy vody je možné uvažovat pouze tehdy, pokud vzdálenost, místní podmínky a vydatnost odběrního místa umožňuje dosáhnout požadovaného průtoku na místě požáru.



Obrázek 23 Plnění cisternové automobilové stříkačky z nadzemního hydrantu

Kyvadlovou dálkovou dopravou vody je možné využít výhradně pokud přístupová komunikace je dvoupruhová, umožňuje otočení a kyvadlovou jízdu požární techniky (jednopruhová komunikace je využitelná jen při možnosti okružní jízdy). Při stanovení limitních parametrů je uvažováno s kritickou situací, kdy jedna ze zasahujících CAS je prázdná, a tedy využívá odběrní místo pro plnění již při jízdě k zásahu. Pro ověření dodávky vody je možné využít vztah:

$$q_{kyv} = \frac{V}{t_{kyv}}$$

kde je:

q_{kyv} je dodávaný průtok ($l \cdot \text{min}^{-1}$)

V objem nádrže CAS (l)

t_{kyv} čas potřebný pro jednu okružní jízdu CAS (min)

$$t_{kyv} = \frac{60 \cdot s_j}{v_j} + t_{pr} + \frac{V}{q_{nap}} + \frac{60 \cdot s_j}{v_j} + t_{pr} + \frac{V}{q_{vyp}}$$

kde je:

v_j je rychlost jízdy CAS ($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)

s dráha jízdy k odběrnímu místu nebo zpět (km)

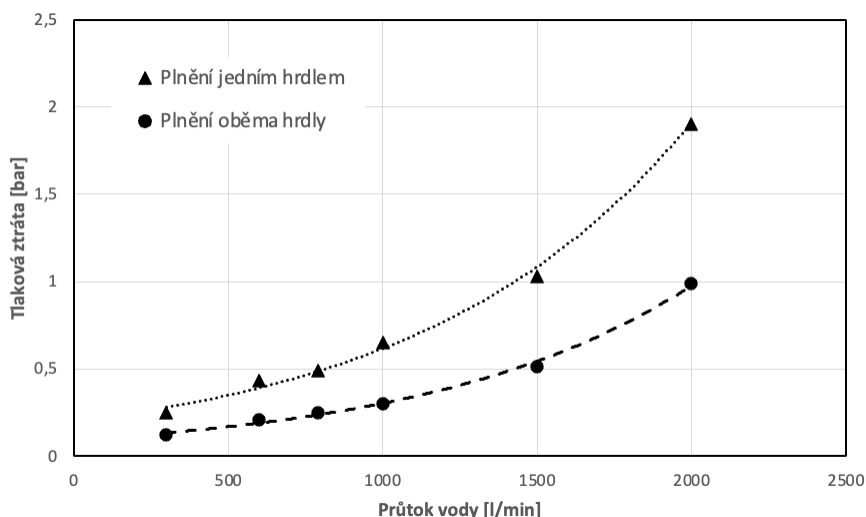
V objem nádrže CAS (l)

t_{pr} čas potřebný pro připojení a odpojení CAS k odběrnímu místu (min)

t_{nap} čas potřebný pro naplnění CAS odběrním místem (min)

t_{vyp} čas potřebný pro vypuštění CAS na místě požáru (min)

V případě, že je použito odběrní místo, které pro plnění CAS vyžaduje využití čerpadla (požární nádrž, vodní tok apod.) je uvažováno, že k dopravě vody se využívá pouze jedna CAS. V tomto případě se druhá CAS nebo přenosná motorová stříkačka z DA používá k plnění CAS která převáží vodu. Za vhodná odběrní místa pro tlakové plnění cisternových automobilových stříkaček pro kyvadlovou dálkovou dopravu vody lze považovat nadzemní požární hydrant nebo výtokový stojan či plnicí místo. Odběrní místo pro tlakové plnění CAS musí z hlediska hydrodynamického přetlaku odpovídat nejméně požadavkům pro plnění dvěma hrdly hadicemi B75.



Obrázek 24 Závislost tlakové ztráty při plnění CAS hydrantovým plnicím hrdlem na průtoku (experimentálně změřeno)

Pro snížení tlakové ztráty na plnicím potrubím CAS se uvažuje využít obou plnicích hrdel.

Shrnutí

Kapitola se zabývá problematikou dopravy vody z odběrných míst pro dodávku hadicemi v rámci požárních zásahů. Důležitým faktorem je umístění odběrného místa v optimální vzdálenosti z hlediska délky hadicového vedení a tlakových ztrát ve vedení. V případě vedení vody hadicemi je limitující faktor délka hadicového vedení a nutnost zohlednit tlakovou ztrátu. K výpočtu tlakové ztráty

se používá Hazen-Williamsova rovnice. Pro stanovení tlakové ztráty při vysokých rychlostech proudění je vhodné započítat také místní ztráty ve spojkách požárních hadic. Dále je možné využít kyvadlové dálkové dopravy vody. Klíčovým faktorem pro úspěšnost této dopravy je dostupnost a průtok odběrných míst.

Kontrolní otázky

- 1) Jakou vzdálenost musí odběrní místo splňovat z hlediska hadicového vedení a tlakových ztrát?
- 2) Jaký je standardní průměr hadice využívané pro dálkovou dopravu vody a jak se označuje?
- 3) Jaký je medián vzdálenosti, na kterou se kyvadlová dálková doprava vody provádí?
- 4) Na čem závisí tlaková ztráta při dálkové dopravě vody hadicemi?
- 5) Jak je možné snížit tlakovou ztrátu vedením při dálkové dopravě vody hadicemi?

Test

- 6) Jakým způsobem lze vypočítat tlakovou ztrátu ve vedení pro hadice B75?
- 7) Jak je možné omezit vliv tlakové ztráty ve vedení B75?
- 8) Který faktor nejvíce omezuje kyvadlovou dálkovou dopravu vody?
- 9) Jak je možné zvýšit vydatnost odběrního místa při plnění cisteren?
- 10) Kolik nejméně cisteren je třeba pro kontinuální dopravu vody?

Správná odpověď

- 1) Například pomocí Hazen-Williamsovy rovnice.
- 2) Vliv tlakové ztráty ve vedení B75 lze omezit ustavením požární techniky přímo k odběrnímu místu a navýšením jeho tlaku.
- 3) Vydatnost odběrního místa, ze kterého jsou cisternové stříkačky plněny.
- 4) Na odběrním místě použít požární čerpadlo k překonání hydraulických odporů v plnicím zařízení CAS.
- 5) Nejméně dvě cisterny, průtok musí být adekvátní rychlosti pendlování.

Literatura

- [1] THOMITZEK, Adam, Dana CHUDOVÁ, Tereza ČESELKÁ, Petr KUČERA a David KOTOUČ. Stanovení požadavků na zásobování stavebních objektů požární vodou a jinými hasivy. 2022. Certifikovaná metodika.
- [2] SÄRDQVIST, S. (2002). Water and other extinguishing agents. Karlstad: NRS Tryckeri AB.
- [3] DRÁBKOVÁ, Sylva a KOZUBKOVÁ, Milada. Cvičení z mechaniky tekutin. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2002. ISBN 80-248-0039-X.

8. Hasicí pěna

Kapitola je zaměřena na významný typ hasebních látek což jsou hasicí pěny. V kapitole jsou popsány chemické látky, které se používají pro vytváření hasicí pěny, dále také potřebné technické prostředky.

Cíl kapitoly

Cílem kapitoly je seznámit čtenáře s pěnotvornými prostředky. Druhy hasebních pěn. Dále jakým způsobem se pěny připravují a dopravují na požářiště. Čtenáři také budou prezentovány metody pro stanovení potřebného množství hasiva při hašení na plochu a objem.

8.1. Úvod

Hasicí pěna je tradičním a účinným nástrojem v boji proti požárům, který se v průběhu let vyvinul a zdokonalil. Tato kapitola nám přiblíží její vlastnosti, principy působení a výhody, a zároveň se zaměří na různé druhy hasicí pěny a jejich využití v různých situacích.

8.2. Použité pojmy a jejich vysvětlení

- *Pěnidla* jsou koncentrované pěnotvorné látky, které při smíchání s vodou ve správném poměru vytvářejí pěnotvorný roztok. V současnosti je vyráběna široká paleta pěnidel pro výrobu těžké, střední a lehké pěny. Široké uplatnění mají i víceúčelové pěny, které jsou vhodné téměř pro všechny oblasti, kde se používá pěna k hašení požárů tříd A a B.
- *Číslo napěnění* je poměr získaného objemu pěny k objemu kapaliny, na jehož základě byla tato pěna vyrobena. Číslo napěnění udává, kolikrát je objem pěny větší než objem pěnotvorného roztoku. Na základě tohoto čísla rozdělujeme pěny do tří skupin (těžká, střední a lehká pěna).
- *Stabilita pěny* je ovlivněna vylučováním vody z pěny, definuje se poločasem, resp. čtvrt časem rozpadu, což je čas potřebný k vyloučení poloviny, resp. čtvrtiny vody obsažené v pění.
- *Viskozita* vyjadřuje tekutosti kapaliny a závisí na teplotě (s vzrůstající teplotou klesá).
- *Mrazuvzdornost pěnidel* je teplota, při které je látka kapalná a nezačíná vylučovat tuhé části.

8.3. Hasicí pěna

Pěna je jedním z nejběžnějších hasiv používaných při zdolávání různých požárů, zejména požárů hořlavých kapalin. Jestliže dojde k požáru hořlavé kapaliny v nádrži nebo rozlité kapaliny, je nejvhodnějším hasivem pěna.

Hasicí pěna se jako hasivo prosadila ve 30. letech 20. století a od té doby prošla značným technickým vývojem. Hasicí pěny lze také použít, pokud se hasiči nemohou dostat dostatečně blízko k požáru, a to zaplavením prostoru (např. kabelové kanály). Civilní hasičské sbory používají pěnu k hašení různých hořlavin, a to včetně požárů pneumatik a jiných látek obtížně hasitelných vodou. Hasičské sbory na letištích ji využívají k rychlému potlačení požárů leteckého paliva.

Ve všech těchto případech platí stejné faktory z hlediska použití správné kombinace zařízení pro výrobu pěny, číslo napěnění, typ pěnotvorného prostředku a potřebné množství hasiva. Těžkou pěnu lze s úspěchem použít k ochraně před sálavým teplem nebo k uhašení požáru z větší vzdálenosti.

8.4. Fyzikálně-chemické vlastnosti hasební pěny

Pěna je hasicí médium založené na velkém množství plynem naplněných bublin, které jsou oddělené tenkými stěnami z roztoku vody a pěnidla. Hasicí pěna se skládá z tří základních složek: vody, pěnidla a plynu (zpravidla vzduchu). Hlavním smyslem pěnidla je snižovat povrchové napětí vody.

Používaným plynem pro napěnění je téměř výhradně vzduch, ale v někdy se může použít oxid uhličitý nebo dokonce kouř.

Dnes je důležité rozlišovat mezi typy pěn. Existují pěny určené pro hašení požárů třídy A, které jsou vhodné pro materiály, jako je dřevo, a pěny určené pro hašení požárů třídy B, které jsou vhodné pro hořlavé kapaliny.

V případě požárů třídy A je speciální vlastností směsi pěnového koncentrátu to, že snižuje povrchové napětí vody. To umožňuje vodě lépe pronikat do materiálů a chladit porézní materiály. I malé množství smáčedla přidávaného do směsi může významně snížit povrchové napětí vody a zlepšit její absorpční schopnosti.

Při hašení požárů pěnou dochází k přerušení tepelné zpětné vazby mezi plamenem a povrchem paliva. Dále dochází k omezení vypařování kapaliny a zabránění styku hořlavých par s oxidačním prostředkem.

Zařízení použitá k hašení požárů třídy B musí být schopna produkovat pěnu, která je schopna odolat rozkladu působením paliva. Tvorba pěny je založena na rozptýlení smáčedla ve stěnách pěnových bublin. Smáčedlo se skládá

z molekul, které jsou na jednom konci polarizované a rozpustné ve vodě, a z nepolárního molekulárního řetězce, který není ve vodě rozpustný.

Při určitých koncentracích ve vodě se tyto molekuly skládají do skupin polarizovaných molekul, známých jako micely, které se seskupují. Díky elektromagnetickým silám mezi molekulami jsou řetězce molekul uspořádány paralelně k sobě. To umožňuje vytvoření vrstvy nebo agregátů molekul, které jsou elektromagneticky drženy pohromadě. Tato vrstva není větší než tloušťka molekuly, s velikostí několika nanometrů. Polární konce molekul směřují ven k molekulám vody, tvořícím zbytek stěn bublin. Koncentrace, při které dochází k agregaci, je známá jako kritická koncentrace micel. Toto je také koncentrace, při které je povrchové napětí minimální. Pokud je kapalný film natažen při kritické koncentraci micel, počet povrchově aktivních molekul na povrchu se sníží. Konstanta vzlínivosti se pak zvyšuje spolu s povrchovým napětím, které působí proti protažení. Podobným způsobem působí proti kompresi. V důsledku toho vzniká nejstabilnější pěna, která se podává v dávce ekvivalentní kritické koncentraci micel.

Při vytváření pěnotvorné směsi je proto důležité řídit se doporučením výrobce. Kvalita vyrobené pěny bude horší, pokud je použita koncentrace směsi příliš nízká nebo příliš vysoká.

Skutečnost, že pěna může být použita k hašení různých typů požárů, vedla k vývoji mnoha různých typů pěnotvorných koncentrátů. Neexistuje ideální typ pro každou situaci. Například ty, které mají nejlepší odolnost vůči různým hořlavým látkám, nejsou zvláště vhodné pro vytváření lehké (vysoko napěněné) pěny a zaplavení místností. Poměr směsi vzduchu v pění je vyjádřena číslem napěnění a představuje poměr mezi průtokem pěny a průtokem kapaliny.

Tabulka 8 Rozdělení pěn podle čísla napěnění

Označení pěny	Stupeň	Číslo napěnění
Těžká	Nízko napěněná	Nižší než 20
Střední	Středně napěněná	20-200
Lehká	Vysoko napěněná	Vyšší než 20

8.5. Standardní pěnotvorné prostředky

Nejstarším typem pěnidel jsou proteinová pěnidla, která vznikají procesem hydrolýzy bílkovinných složek, jako například z rohu hovězího dobytka.

Tyto složky jsou následně schopné rozpustit se ve vodě. Vedle částečně odbouraných bílkovin obsahuje směs vybrané stabilizátory pěny, konzervační látky, antikoroziční prvky a látky, které zvyšují odolnost vůči mrazu. Mezi nevýhody používání proteinových pěnidel patří nepříjemný zápach, omezená trvanlivost (bílkoviny se nadále rozkládají), omezená flexibilita v použití (jsou tuhé a málo tekuté), obtížná aplikace a nízká odolnost vůči hořlavým látkám, zejména při aplikaci přímo na hořící povrch kapaliny. Mají také omezené smáčivost povrchů.



Obrázek 25 Hašení hořící motorové nafty pomocí těžké pěny

Na druhé straně, proteinová pěnidla nabízí několik výhod. Pěna má vysokou stabilitu i při tenké vrstvě pěny a odolává tepelnému záření. Dále má dobrou přilnavost.

Pěnotvorný roztok se připravuje přidáním 4 až 6 % pěnidla do vody. Číslo pění obvykle dosahuje hodnoty v rozmezí 6 až 10. Dnes se používají proteinová pěnidla Towalex a Tutogen U. Pro hašení polárních kapalin pěnidlo Polydol. Proteinová pěnidla jsou zejména v průmyslových závodech v současnosti nahrazena syntetickými přípravky.

Dalším vývojovým stupněm těchto pěnidel jsou fluoroproteinová pěnidla, jež představují další pokrok v rozvoji proteinových pěnotvorných přísad. Vznikají přidáním fluorovaných povrchově aktivních látek, které jsou rozpustné ve vodě a smíchány s proteinovými pěnotvornými přísadami. Pěny vytvořené z těchto pěnidel jsou tekutější než běžné proteinové pěny. Mají také větší schopnost opětovně uzavřít povrch při narušení jeho integrity, přestože nemají schopnost vytvořit vodní film na povrchu kapalných uhlovodíků. Fluoroproteinová pěna

odolává znečištění kapalnými uhlovodíky a lze ji úspěšně použít prostřednictvím stabilních hasicích zařízení pod hladinou nebo přímo na povrchu kapaliny. Příkladem pěnidel fluoroproteinového typu jsou pěnidla řady Tutogen FP. Tyto pěnidla slouží k přípravě těžké pěny pro hašení požárů uhlovodíků.



Obrázek 26 Syntetická pěnidla v přepravních kanystrech

Nejčastěji používaná jsou syntetická pěnidla, známá též jako univerzální pěnidla. Jsou využívána pro vytvoření různých typů pěn (těžkých, středních, lehkých) i ve formě roztoku jako smáčedla. Pěna vytvořená těmito prostředky má nižší odolnost vůči teplu ve srovnání s pěny typu AFFF, FP a FFFP, a také menší schopnost odolat opakovanému vzplanutí hořlavých látek. Dokážou však účinně uhasit menší požáry. Při aplikaci se doporučuje opatrné a šetrné pokládání pěny, aby se minimalizoval pohyb povrchu kapaliny. Často používaná syntetická pěnidla jsou Sthamex F-15, Fomtec MB5.

Pěnidla vytvářející vodní film jsou skupina látek, které vytvářejí pěnu a vznikají smísením vysoce fluorovaných povrchově aktivních látek s běžnými tenzidy. Tato směs je rozpustná ve vodě a produkuje pěnu. Kromě standardní pěny vzniká na povrchu hořlavé kapaliny vodní film, který izoluje a ochlazuje povrch kapaliny. Film má tendenci se spojovat a zacelovat mezery a tím hasí účinněji než standardní pěnidla. Tuto skupinu přísad objevila a vyráběla původně společnost 3M, která pojmenovala svůj výrobek "Light Water" nebo "Lehká voda". 3M ukončila výrobu lehké vody k 1. 1. 2001, dnes je výrobek dostupný pod jinými značkami. Pěnidla typu AFFF jsou primárně navržena pro vytváření těžké pěny, případně střední pěny, a v ojedinělých případech lze s nimi vytvářet lehkou pěnu,

zejména v stabilních hasicích zařízeních. Pro hašení požárů hořlavých kapalin se doporučuje používat pěny AFFF s číslem napětí mezi 6 až 10, což zajistí nejlepší hasicí účinnost. Dnes používaným pěnidlem je např. Sthamex AFFF a jiná pěnidla označovaná např. A3F.

Další kategorií jsou flouroproteinová pěnidla vytvářející vodní film FFFP. Toto jsou rovněž proteinová pěnidla s přísadami povrchově aktivních látek. Smyslem výroby FFFP pěnidel bylo spojit nejlepší vlastnosti fluoroproteinových pěnidel FP a pěnidel vytvářejících vodní film AFFF. U pěnidel typu FFFP dochází k rychlému rozpadu pěny stejně jako u AFFF a proteinový základ způsobuje vysokou odolnost proti zpětnému rozhoření hořlavé kapaliny. Pěnidlo vytváří plovoucí film na povrchu hořlavé látky. Film brání opětovnému vzplanutí a po narušení izolační vrstvy pěny je schopen volný prostor rychle pokrýt a izolovat. Pěnidla FFFP se používají výhradně k výrobě těžké pěny. Příkladem těchto pěnidel je Schaumgeist FFFP a Tutogen A3F/P.

8.6. Alkohol rezistentní pěnidla

Vývoj v chemickém průmyslu je spojen se zvýšením druhů a počtu vyráběných hořlavých kapalin. Zvláštní pozornost je věnována hořlavým kapalinám, které výrazně narušují účinnost hasicí pěny, tzv. polární kapaliny. Sem spadají alkoholy, estery, ethery, ketony, glykoly, amidy, aminy a další. Tyto kapaliny, označované jako polární rozpouštědla, včetně jejich směsí a roztoků, způsobují významné obtíže v hašení běžnými hasicími pěny. Rozpad pěny způsobený rozpouštěním vody z pěny v hořlavé kapalině vede k neúčinnosti hašení požáru. Je nutné zdůraznit, že stejná neúčinnost postihuje pěny vzniklé z proteinových, syntetických i AFFF pěnidel. V důsledku tohoto jevu se v průběhu mnoha let používají speciální alkohol rezistentní pěnidla označovaná jako AR, ATC nebo AV k účinnému hašení těchto kapalin. Pěnidla odolávající alkoholu jsou samostatnou skupinou pěnidel. Pěnidla typu AR jsou v praxi založena na běžných typech pěnidel.



Obrázek 27 Hašení hořícího etanolu alkohol rezistentním pěnidlem

Princip účinku těchto pěnidel spočívá v tvorbě polymerní vrstvy (polymerního filmu) po styku pěny s povrchem polární hořlavé kapaliny. Tato vrstva odděluje pěnu od hořlavé kapaliny a zabraňuje jejímu rozpadu. Na současném trhu je k dispozici mnoho těchto alkoholu odolných prostředků. Každý větší výrobce pěnidel má v nabídce několik různých typů těchto koncentrátů.

Obecnou výhodou všech alkohol rezistentních pěnidel je možnost úspěšného použití nejen k hašení polárních kapalin, ale i typických kapalných uhlovodíků. Výjimečně lze tyto pěnidla použít i k hašení požárů skupiny A. Nicméně ekonomicky výhodnější je v takových případech využití syntetických pěnidel, která se vyznačují lepšími smáčecími vlastnostmi. Příkladem je např. Moussol APS, FOMTEC ARC apod.

8.7. Bezfluorová pěnidla

V současné době je snaha omezit produkci pěnidel obsahujících toxické látky na bázi fluoru. Klíčovým dokumentem je Stockholmská úmluva o persistentních organických znečišťujících látkách. V současné době jsou touto úmluvou regulovány dvě fluorované látky, jejich soli a látky příbuzné. Perfluorooktansulfonová kyselina (PFOS), perfluorooktanová kyselina (PFOA). Fluorované přísady v pěnidlech typu AFFF a AR ovlivňují fyzikální vlastnosti těchto látek. Náhradou jsou pěnidla typu AFFF a AR tzv. bezfluorová. Bezfluorová pěnidla jsou zpravidla pseudoplastické kapaliny s vysokou hodnotou dynamické viskozity. Viskozita je vysoká při různých teplotách. Viskozita může negativně ovlivňovat kvalitu a přesnost smísení těchto pěnidel s vodou a rovněž jakost

generované pěny. Přesnost přimíšení pěnidla s vodou a jakost generované pěny závisí zejména na použitém pěnidlu, přiměšovači a pěnotvorném zařízení. Dále je ovlivněna fyzikálními parametry přimíšení (např. průtok vody, tlak na přiměšovacím a pěnotvorném zařízení, teplota pěnidla).

8.8. Přimíšení pěnidla do vody

Přimíšení pěnidla do vody může probíhat v čerpadle cisternové automobilové stříkačky. Integrovaný přiměšovač využívá přimíšení na principu proudového čerpadla (ejektoru) pomocí vody proudící ze strany výtlačného potrubí do potrubí sacího a přisávání pěnidla. Další možností je využití samostatného čerpadla jako přiměšovače. Toto čerpadlo elektronicky dávkuje pěnotvorný prostředek k protékajícímu množství vody čerpadlem (je třeba elektronický průtokoměr).



Obrázek 28 Přiměšovač AWG s přesným přimísením nízkých koncentrací pěnidel

Další možností je využití přenosného přiměšovače, který se umísťuje do útočného hadicového vedení a pěnotvorný prostředek je nasáván z přenosného kanystru. Přiměšovač funguje jako proudové čerpadlo a způsobuje významnou tlakovou ztrátu v hadicovém vedení. Přiměšovač musí být kompatibilní s použitou pěnotvornou proudnicí. Např. pro nominální průtok 200 l/min musí být použita jak proudnice, tak přiměšovač. Mezi přiměšovačem a proudnicí nesmí být vedení způsobující velkou tlakovou ztrátu jinak nebude vytvářena pěna kvalitní. Přiměšovač má boční obtok, který při velkém odporu

mezi přiměšovačem a proudnicí způsobí vnější zaplavení Venturiho trubice v přiměšovači a tím neadekvátní přimísení pěnotvorného roztoku.

V dnešní době jsou k dispozici také přiměšovače integrované do pěnotvorných proudnic.

Pro pěnidla s nízkým procentem přimísení musí být použity dostatečně přesné přiměšovače.

8.9. Způsoby vytváření pěny

Těžká pěna se může vytvářet klasickou jet tryskou s dutým prstencem vody bez dalšího zařízení. Obvyklé je ale využít pěnotvorných proudnic, které jsou tvořeny delší trubkou, do které ústí tryska, a injektorovým principem dochází k nasávání vzduchu a vytváření pěny. Standardní průtoky moderních ručních proudnic jsou 200 a 400 l.min⁻¹ (vychází z požadavků DIN). Starší typy proudnic užívaných v ČR mají průtok P3 320 l.min⁻¹ a P6 680 l.min⁻¹. Přenosné a stabilní monitory mohou mít průtok pěnotvorného roztoku 800-6000 l.min⁻¹. Speciální vysokoprůtokové monitory i výrazně více.

Střední pěna se vytváří v proudnici která je tvořena širokou troubou do které rotační tryska rozstříkuje pěnotvorný roztok na jemné síto. Přisávání vzduchu dochází k vytváření jemných bublin na sítu. Přenosné proudnice mají nominální průtok 200-400 l.min⁻¹. Střední pěna má nejlepší hasební vlastnosti při použití syntetických pěnidel. Nevýhodou je velmi omezený dostřik. Číslo napěnění u standardních proudnic se pohybuje mezi 75-100 a dostřik je 5-10 m (závislý na kvalitě vyrobené pěny). Existují kombinované pěnotvorné proudnice umožňující přepnout mezi těžkou a střední pěnou.

Pro vytváření lehké pěny se používají výhradně generátory, které mají mechanicky poháněný ventilátor (spalovacím nebo hydromotoerem). Ventilátor tlačí velkou rychlostí proud vzduchu na síto, které je postřikované pěnotvorným roztokem. Proud vzduchu způsobuje vytváření velkých bublin pěny. Lehkou pěnu je nutné směřovat do místa aplikace pomocí širokých (např. polyetylenových) hadic. Lehká pěna je snadno unášena větrem. Některé přetlakové ventilátory umožňují montáž adaptérů pro vytváření lehké pěny.

8.10. Tlakovzdušná pěna (CAFS)

Princip tlakovzdušné pěny spočívá v tom, že napěnění zajišťuje stlačený vzduch, který je do roztoku vody s pěnidlem přimícháván pomocí kompresoru před vstupem do hadic.



Obrázek 29 Hašení požáru pneumatik tlakovzdušnou pěnou

Hadicemi se tak dopravuje napěněná pěna a aplikuje se plnoproudou proudnicí s velkým průměrem trysky. Přimísení speciálního pěnidla je 0,1-1,0 %. Tlakovzdušná pěna je obvykle aplikována ve formě plného proudu, a protože je tvořena malými bublinkami tak ulpívá na hořlavých materiálech a nestéká. Podle prováděných testů je při hašení v interiérech i exteriérech dosaženo nižší spotřeby vody a voda méně odtéká jako nevyužitá. Dále je v místech kde se hasí lepší viditelnost, protože se generuje méně páry. Tlakovzdušná pěna se dělí na:

- *Mokrou pěnu*, která má napěnění přibližně 7 s tekutou konzistencí.
- *Suchou pěnu*, která má číslo napěnění až 21, a ulpívá na materiálech a konstrukcích.

8.11. Hašení pěnou na plochu

Při požárech hořlavých kapalin, případně tuhých látek, které se vlivem teplot taví, se jako hasivo používá pěna. Hlavní hasební efekt pěn spočívá v oddělení dvou ze tří podmínek hoření. Pokud se okysličovadlu dostane do cesty zábrana ve formě pěnového koberce, znemožní se tak průběh oxidačně-redukční reakce a hoření je přerušeno. Následně dochází k ochlazování a ztrátě energie potřebné k znovu rozhoření hořlavé kapaliny.

Výpočet pro stanovení množství hasiva spočívá v určení dodávky hasiva na plochu požáru – hladinu hořící kapaliny.

$$Q_h = I_p \cdot S_h$$

kde je:

Q_h potřebný průtok hasiva (l.min⁻¹)

I_p požadovaná intenzita dodávky hasiva na plochu požáru (l.min⁻¹.m⁻²)

S_h plocha hašení (m²)

$$n_{pr} = \frac{Q_h}{q_{pr}}$$

kde je:

n_{pr} je počet proudnic na hašení (-)

q_{pr} je průtok jedné proudnice (l.min⁻¹)

Tabulka 9 Intenzita dodávky a doba aplikace hasební pěny

Typ pěnidla	Intenzita dodávky I_p (l.min ⁻¹ .m ⁻²)	Doba aplikace (min)
Proteinové, Fluoroproteinové	6,5	30
Pěnidla vytvářející vodní film	4,1	30

8.12. Hašení pěnou na objem

K objemovému hašení pěnou přistupujeme v případech nepřístupných prostor, jako jsou kabelové kanály apod. Hašení v objemu představuje, jak název vypovídá, zaplnění daného prostoru pěnou (lehkou nebo střední pěnou). V případě velkých a objemných prostor se za objemové hašení považuje situace, kdy se pěnový koberec navrství min do 0,5 m, přičemž se předpokládá kompletní pokrytí předmětů a plochy v požáru. Množství dodávané pěny se stanoví podle vzorce:

$$Q = \frac{V}{t} \cdot k$$

kde je:

V objem prostoru (m³)

t čas dodávky pěny (min)

k součinitel ztrát vyjadřující vliv struktury hořlavých materiálů (regály apod.) a netěsností prostoru (1-3)

8.13. Lehká pěna

Hasební efekt lehké pěny je zejména izolační. Lehká pěna je snadno dopravitelná, lehká a snadno strhávána prouděním plynů. Princip hašení lehkou pěnou spočívá v zaplnění prostor kde hoří, v co nejkratším čase. Literatura uvádí, že prostor je nutné zaplnit pěnou v čase 3-6 min a vrstva pěny by měla dosáhnout 1,1násobku výšky skladovaných hořlavých materiálů. Při výpočtu je nutné zohlednit degradaci pěny působením sálavého tepla. Dodávku pěny potřebnou k zaplnění prostoru stanovíme ze vztahu:

$$R = \frac{V}{t} \cdot C_n \cdot C_l$$

kde je:

R požadovaný průtok pěny ($\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$)

V objem prostoru (m^3)

C_n je součinitel úbytku pěny 1,15, místnosti, kde intenzivně hoří 1,40

C_l je součinitel úbytku pěny úniky přes okna a dveře má hodnotu 1,2, pokud nejsou tak 1,0

t čas dodávky pěny (min) nejvýše 5-6 min

Generátor pro výrobu lehké pěny TURBEX MK II dosahuje průtoku pěny $178 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ (při tlaku 0,8 MPA).

Shrnutí

Hasicí pěna je hasicí médium složené převážně z vody, pěnidla a plynu (často vzduchu). Tvoří se pomocí speciálního zařízení, které smíchá vodu s pěnidlem a vstříkne vzduch, čímž vznikají pěnové bubliny. Tyto bubliny mají tenké stěny, které oddělují plyn (vzduch) od vody a pěnidla. Hasicí pěna je účinným prostředkem pro hašení požárů, zejména požárů hořlavých kapalin jako jsou nafta, benzin, oleje či alkoholy. Pěna zabraňuje vypařování hořlavé kapaliny a omezuje přístup vzduchu. Dochází k ochlazení hořlavé kapaliny a k potlačení hoření.

Existují různé typy hasicí pěny, které jsou vhodné pro hašení různých tříd požárů. Pěny určené pro třídu A jsou vhodné pro požáry pevných materiálů, jako jsou dřevo nebo papír, zatímco pěny určené pro třídu B jsou určeny pro hořlavé

kapaliny. Pěna je často využívána tam, kde by bylo použití vody neefektivní nebo nebezpečné.

Kontrolní otázky

- 1) Jaká je hlavní role pěnidla v hasicí pěně?
- 2) Co je specifickou vlastností směsi pěnového koncentrátu pro požáry třídy A?
- 3) Jaké jsou hlavní nevýhody proteinových pěnidel?
- 4) Co to jsou alkohol rezistentní pěnidla a jaký je princip jejich účinku při hašení hořlavých kapalin?
- 5) Co to jsou bezfluorová pěnidla a proč se začínají používat?

Test

- 1) Jak dělíme pěny podle čísla napěnění?
- 2) Co je to pěnidlo typu AFFF?
- 3) Jaký je princip účinku alkohol rezistentních pěnidel AR?
- 4) Jaké jsou výhody použití syntetických pěnidel oproti proteinovým?
- 5) Jak vzniká tlakovzdušná pěna CAFS?

Správná odpověď

- 1) Pěny dělíme podle čísla napěnění na těžkou < 20, střední 20-200 a lehkou > 200.
- 2) Jedná se o pěnidlo vytvářející vodní film.
- 3) Alkohol rezistentní pěnidla vytvářejí polymerní film po styku pěny s povrchem polární hořlavé kapaliny. Tato vrstva brání rozpadu pěny.
- 4) Syntetická pěnidla jsou výhodnější díky vyšší životnosti a lepší skladovatelnosti.
- 5) Tlakovzdušná pěna CAFS se vytváří pomocí vzduchového kompresoru, který napěňuje pěnotvornou směs přímo v požárním čerpadlu. Hadicemi tak proudí již napěněná pěna.

Literatura

- [1] SÄRDQVIST, S. (2002). Water and other extinguishing agents. Karlstad: NRS Tryckeri AB.
- [2] NFPA 11 (2021). Standard for Low-, Medium-, and High-Expansion Foam. Massachusetts: NFPA 2021.
- [3] KOPŘIVA, Jiří. Stanovení hasicí účinnosti pěnidel různého stáří. Diplomová práce. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava.
- [4] BALOG, Karol. Hasiace látky a jejich technológie. SPBI Spektrum. Červená řada, 37. V Ostravě: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, z.s. 2004. ISBN 80-86634-49-3.
- [5] SCHREIBER, H. M. (1972) a PORST, P. Hasební látky. Chemicko-fyzikální pochody při hoření a hašení díl II. Přel. L. Adámek a kol. Praha: ČSPO, 1972. 330 s.

9. Hasicí prášky a aerosoly

Tato kapitola je věnována hasicím práškům. Tyto chemická hasiva mají velmi dobrý hasební efekt. Jedná se o rozšířená a lety ověřená hasiva. Jejich hasební účinek spočívá hlavně odvodu tepla z reakční zóny plamene, což způsobuje terminaci řetězové reakce. Podle typu mají prášky ještě sekundární hasební efekty.

Cíl kapitoly

Cílem této kapitoly je představit čtenáři hasicí prášky, jejich chemické složení a způsob hasebního účinku. Čtenář si také osvojí jednoduchý princip výpočtu potřebných prostředků pro hašení.

9.1. Úvod

Tato část textu se věnuje hasicím práškům. Hasicí prášky jsou účinným a široce využívaným prostředkům pro potlačení a likvidaci požárů. Hasicí prášky jsou velmi rozšířenými hasivou používanými, ať jde o požár v domácnosti, průmyslovém objektu či v přírodě. Jejich výhodou je účinnost a rychlost reakce. V této kapitole se zaměříme na jejich složení, principy fungování a správné použití.

9.2. Použité pojmy a jejich vysvětlení

- *Dekrepitace* je rozpad prášku v plameni na menší částice, což zvyšuje hasební efekt zejména BC prášků.
- *Ekvivalentní chladící kapacita* je množství tepla, které by uvolnil požár, který je hasicím práškem terminovaný.
- *Aerosolem* označujeme velmi jemné části pevných nebo kapalných látek suspendované ve vzduchu.
- *Řetězové reakce* jsou reakce, ve kterých reaktivní produkt nebo meziprodukt vyvolává další reakci. Například se jedná o radikálové reakce.

9.3. Popis prášků jako hasiva

Hasicí prášky jsou anorganické nebo organické látky v tuhém skupenství, které zdolávají požár na principech chemicko-fyzikálního mechanismu hašení. Částice prášku o velikosti přibližně 0,1 mm jsou pod tlakem vystřikovány tryskou z hasicího zařízení. Oblak prášku zasáhne oblast turbulentně difuzního spalování a jemné částice vstupují do pásma spalování a odebírají tam energii požárem

vzniklým radikálům a tím způsobí terminaci oxidační reakce. Jejich hasební účinek je velmi rychlý a bezpečný. Prášky se používají jako náplň do přenosných hasicích přístrojů, dále do samočinných stabilních hasicích zařízení a také ve velkých práškových hasicích automobilech (kombinovaných hasicích automobilech).

Při použití prášku venku je důležité pamatovat na to, že prášek je citlivý na vítr. Rychlý způsob, jak zjistit, kterým směrem vítr fouká, je vypustit obláček prášku z hasicího zařízení (např. přenosného hasicího přístroje) přímo nahoru. Prášek je tak jemný, že jej vítr okamžitě zachytí. Doba potřebná k vyprázdnění přenosného hasicího přístroje je poměrně krátká, mezi půl až jednou minutou s nepřetržitým průtokem. To znamená, že hašení pomocí prášku při hašení většího požáru vyžaduje dobré naplánování průběhu zásahu. Jestliže předpokládáme následná opatření (použití vody nebo pěny) musí být připravena a spuštěna současně. Požár musí být práškem zasažen ve směru větru. Oblak prášku před hasičem snižuje sálavé teplo, které na něj působí. Proud prášku musí být namířen na jádro plamene a pohybuje se pomalým kýváním (jako zametání) přes oblast hoření. Na konstrukci práškové trysky jsou kladeny dva protichůdné požadavky. Jsou to dostřik proudu a síla nárazu, stejně jako rozložení proudu v oblasti požáru. Proud s dobrým dostřikem a průnikem plameny, může například způsobit rozstřík hořící kapaliny. Na druhou stranu, pokud je proud příliš široký, prášek se nemusí dostat k ohnisku požáru. Pokud chceme přerušit hašení, musíme z ovládací armatury dostat prášek. Můžeme toho docílit vyfoukáním. To se provede otočením nádoby dnem vzhůru. Tryska se poté otevře a ponechá se otevřená. Zabrání se tak rychlému úniku výtlačného plynu přes zavírací armaturu. Prášková hasicí zařízení je nutné po použití znovu naplnit.

9.4. Prášky typu BC

Prášky typu BC jsou vhodné pro hašení požárů hořících kapalin a plynů. Podstatnou složkou BC prášků je hydrogenuhličitan sodný NaHCO_3 případně hydrogenuhličitan draselný KHCO_3 . Do této skupiny řadíme i prášky, jejichž zvýšená účinnost je založena na dekrepitaci (rozpad na drobné částice vlivem tepla přímo na požářišti) jednotlivých komponentů. Přidání močoviny do uhličitanu draselného způsobuje prasknutí zrn prášku při zahřátí. Exponovaný povrch prášku se v důsledku toho zvyšuje a spolu s tím hasicí schopnost prášku.

Složení BC prášků je zpravidla následující:

- 95 až 98 % hydrogenuhličitanu sodného NaHCO_3 ;
- 1 až 3 % stearátu hořečnatého $(\text{C}_{17}\text{H}_{35}\text{COO})_2\text{Mg}$, který se používá pro hydrofobizaci prášku;

- 1 až 3 % dalších chemikálií, které zlepšují dopravitelnost a skladovatelnost prášků.

Hlavní složkou BC prášků vedle NaHCO_3 může být i hydrogenuhličitan draselný KHCO_3 . Hasicí účinnost prášků na bázi hydrogenuhličitanu draselného je sice lepší, avšak draselné soli jsou dražší a více hygroskopické než soli sodné. Proto KHCO_3 nemůže v prášcích zcela nahradit NaHCO_3 .

Čím jsou částice prášku drobnější, tím je prášek v procesu hašení účinnější. Pro zachování dobrých tokových vlastností prášku, které jsou důležité pro jeho dopravu, nelze částice prášku zmenšovat do nekonečna. Aby prášek měl dobrou hasicí účinnost a dal se přitom bezpečně přepravovat, je třeba dodržovat průměr částic asi 0,1 mm.

9.5. Prášky typu ABC

ABC prášky jsou univerzální hasicí prášky vhodné k hašení hořlavin všech tříd hořlavosti. Lze je použít i k hašení některých kovů, např. hořčíku, hliníku případně jejich slitin. Základní látkou těchto prášků jsou fosforečnany amonné, a to hydrogenfosforečnan diamonný $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ a dihydrogenfosforečnan amonný $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$. Prášky ABC mají vedle antikatalytického efektu i efekt vedlejší, plynoucí z charakteru fosforečnanů. Prášky tohoto typu se při teplotě plamene rozkládají následujícím způsobem:

- $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4 + \text{teplo} \rightarrow \text{H}_3\text{PO}_4 + 2 \text{NH}_3$;
- $\text{H}_3\text{PO}_4 + \text{teplo} \rightarrow \text{HPO}_3 + \text{H}_2\text{O}$;
- $\text{HPO}_3 + \text{teplo} \rightarrow$ polyfosfáty vytvářející glazuru.

Polyfosfáty vzniklé z metafosfátů reagují s povrchem žhnoucího paliva, vytvářejíce vrstvu glazury. Tloušťka této vrstvy závisí na množství použitého hasiva. Glazura proniká do pórů hmoty a brání přístupu vzduchu, čímž omezuje šíření ohně, zejména při požáru dřeva nebo pneumatik. Penetrace glazury do hmoty není většinou hluboká, avšak má významný vliv na zastavení hoření. Polyfosfáty fungují také jako účinná ochrana proti plamenům, což zabrání opětovnému vzplanutí materiálu. Během rozkladu amonných fosforečnanů se uvolňuje amoniak, který částečně inhibuje plamen a působí jako negativní katalyzátor v homogenní fázi, obzvláště při požárech v hutích a při hašení uhlí ve skladech, kde dochází k samovznícení.

Kromě zmíněných vlastností přispívají i amonné fosforečnany a hydrouhličitan sodný ke vzniku zuhelnatělé vrstvy. Tato vrstva má nízkou tepelnou vodivost, což dočasně zpomaluje průběh požáru a omezuje jeho šíření.

Porovnání prášků s podobnou specifickou plochou ukazuje, že chemické složení prášků má význačný vliv na snížení rychlosti hoření. Různé směsi prášků také vykazují odlišnou účinnost.

9.6. Hasební efekt prášků

Hasicí prášek je vždy mimořádně jemné zrnitosti. Například některé druhy prášku mohou dosahovat maximální velikosti zrna 0,35 mm, přičemž plocha jednoho zrna prášku obvykle činí kolem 0,3 m² na gram. Čím je zrnitost prášku jemnější, tím větší je plocha zrna v poměru k jeho hmotnosti. V důsledku toho jsou zrna lépe vystavena plamenům a mohou přijmout více tepla. Hasicí účinek v plynné formě je poté větší. Když se průměr zrna zmenší na polovinu, má stejná hmotnost prášku dvojnásobnou velikost plochy zrna.



Obrázek 30 Použití práškového hasicího přístroje pro hašení elektrického zařízení pod napětím

To znamená, že spotřeba prášku roste lineárně s průměrem. Hasicí účinek se výrazně zvyšuje, pokud velikost zrna prášku klesne pod 0,03 mm. Při zahřátí se zrna prášku zahřejí a absorbují se energie z plamenů. Některé typy prášku se vlivem tepla rozkládají a uvolňují například oxid uhličitý. Množství oxidu uhličitého však není dostatečné, aby to zásadně ovlivnilo hasicí efekt. Jiné látky se po rozkladu, jako je hydroxid sodný, taví a vypařují, a spotřebovává se další energie.

Spalování představuje řetězovou reakci, během které se vytvářejí krátkodobě existující radikály, aktivní molekuly a atomy. Tyto částice způsobují rozvětvení řetězců a podporují další hoření. Byly identifikovány zejména peroxidy, které se

snadno rozkládají. Pokud jsou částice prášku vneseny do plamene, vytváří se tzv. "prášková stěna", kde mohou tyto radikály, aktivní molekuly a atomy předat svou energii stěně. Jejich vlastní aktivační energie pak bývá tak nízká, že nemá vliv na další průběh řetězové reakce při vzájemné reakci radikálů. Pokud dojde k přerušení řetězové reakce, plamen zhasne. Tento jev je nazýván "stěnovým efektem" a také jako negativní katalýza.

Hlavní hasicí účinek je tedy stěnový, kdy prášek v pásmu spalování odebírá reagujícím částicím energii což brzdí produkci tepla z oxidační reakce a tím dochází k poklesu teploty. Některé prášky také vykazují chemický inhibiční účinek (který je nevýznamný). Hasicí účinek prášků BC z fyzického hlediska velmi podobný účinku plynů; jediný rozdíl spočívá v tom, že zrna prášku padají na zem. Hašení požárů v uzavřených prostorách pomocí prášku ABC dosahuje obdobného účinku jako hašení vodou. V tomto případě prášek interaguje jak s plameny, tak s povrchem paliva. Když se prášek ABC dostane na povrch paliva, zrna prášku se spojí a vytvoří souvislou vrstvu, která fyzicky brání výměně tepla a přenosu pyrolýzních plynů. Jedná se o fosfát, který se přeměňuje na kyselinu fosforečnou. Prášek ale nemá významný chladicí efekt a pokud v prostoru hořelo delší dobu hrozí, že po odpaření části prášku na povrchu hořlaviny dojde opětovnému vznícení. Totéž platí pro hořlavé kapaliny, kde aplikovaný prášek nebrání dalšímu vypařování kapaliny a zapálení par horkým povrchem. Velikost částic není homogenní a pohybuje se v rozmezí přibližně 0,005 až 0,080 mm. Pokud jsou zrnka prášku příliš jemná, dochází k efektu podobnému jako u vody při použití příliš jemného spreje. Zrna prášku mají příliš malou hybnost, aby umožnila proudu prášku dosáhnout požadovaného rozsahu průniku do plamenů. V tomto případě větší zrna přinášejí výhodu.

Ochlazující efekt prášku je omezený. Nicméně intenzita požáru je nejlépe vyjádřena tepelným výkonem (rychlostí uvolňování tepla). Na základě experimentů (Schreiber, 1972), (Särdqvist, 1996) je možné stanovit hasební schopnost práškového hasiva vztaženou k uvolněnému teplu při hoření jako ekvivalentní chladicí kapacitu. Tato veličina představuje, jakému ekvivalentnímu množství tepla působení prášku brání v uvolnění. Z experimentálních dat (Särdqvist, 1996) je možné odvodit že ekvivalentní „chladicí“ kapacita prášku je $Q_w = 42 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$. Přibližná efektivita hašení je 0,1 pro exteriér a 0,2 pro interiér.

Tabulka 10 Hasicí parametry práškových zařízení

Hasicí zařízení	Průtok (l.min ⁻¹)	Dostřik	Efektivita	Ekvivalentní chladicí výkon (MW)
Přenosný hasicí přístroj 6 kg	0,5	5	0,2	4
Ruční proudnice interiér	5	15	0,2	42
Ruční proudnice exteriér	5	15	0,1	21
Lafetová proudnice	20	25	0,1	126
	40	45	0,1	168
	60	60	0,1	252

9.7. Kombinovaný proud vody a prášku

Systém HydroChem představuje patentované řešení aplikace hasicího prášku, kde je prášek vpravován do středu vodního/pěnového proudu, což má za následek prodloužení účinného dosahu. V současné době je nejrozšířenější ruční proudnice s touto technologií od firmy Williams Fire. Další ruční proudnicí s moderní technologií hašení práškem a pěnou má ve svém katalogu i francouzská společnost POK. Hlavní výhodou těchto trysek ve srovnání se standardními tryskami s jedním hasivem je zvýšený dostřik prášku. Jednoduchá konstrukce a uživatelské rozhraní umožňují obsluze volbu hasiva podle aktuální situace.



Obrázek 31 Kombinovaný proud vody a prášku

V oblasti monitorů se mimo firmy Williams Fire na trhu vyskytují výrobky od švýcarské firmy Vogt, německé firmy Alco nebo rakouské firmy Rosenbauer. Německá firma Alco nabízí pro své monitory specifikace APF 3 až APF 5 možnost integrace trysky MZP pro hašení práškem současně s vodním/pěnovým proudem. Firma Rosenbauer přišla s technologií ChemCore. ChemCore trysky jsou zcela integrovány do monitorů a jsou k dispozici pro typovou řadu monitorů firmy Rosenbauer od RM 15 až po RM 130.

Kombinovaná ruční proudnice od firmy Williams Fire & Hazard Control umožňuje vedení hasebního zásahu pomocí vodního či pěnového proudu. Proudnic je navržena pro hašení práškem vodou nebo hasební pěnou dodávanou z externího zdroje. Průtok vody a pěny je nastaven pomocí otočného prstence který umožňuje nastavení hodnot 227, 360 nebo 473 l.min⁻¹. Úhel výstřiku je nastavitelný od plného proudu až do roztráštěného proudu natočením prstence, u ústí proudnice. Prášek se přivádí pomocí samostatné práškové hadice nejčastěji za použití stlačeného dusíku. Po otevření kohoutu hadice přivádějící prášek, tryska prášek rozptýlí do středu vodního/pěnového proudu. Tímto způsobem nasazení prášku zvyšujeme účinnost média, a především prodlužujeme vzdálenost, na kterou lze prášek efektivně dopravit použitím vody/pěny jako nosného media. Tato taktika umožňuje nasazení prášku z vyšší vzdálenosti. Průtok prášku je nastavitelný z hodnot 1,4 kg.s⁻¹, 2,3 kg.s⁻¹, 3,2 kg.s⁻¹ nebo 4,5 kg.s⁻¹ pomocí výměnných trysek. Účinný dostřik samostatného prášku je přibližně 8 m.

Tabulka 11 Účinný dostřik prášku ve vodním proudu [Tomčík, 2019]

	Průtok (l.min ⁻¹)		
Tlak (bar)	227	360	473
6	27	29	34
10	31	35	38

Kombinovaný systém hašení práškem ve vodním proudu výrazně zvyšuje dostřik prášku, ale také propojuje chladící efekt vody s razantním pronikáním částic prášku do plamene (např. při tryskovém plameni během úniku plynu).

Techniku použití prášku v proudu vody je možné využít i bez speciálních technických prostředků. Stačí do vodního proudu přidat prášek tryskou přenosného hasicího přístroje práškového. Takto je možné prášek dopravit na místa kam bychom jej s omezeným dostřikem nemohli jinak dostat.

9.8. Prášky hasicí kovy

Hořící kovy (např. sodík, draslík, hořčík, hliník, uran a thorium) lze účinně hasit pomocí speciálně navržených hasiv v práškové formě. Tato hasiva jsou navržena, aby zvládla hašení požárů kovů, které vyžadují odlišný přístup než běžné typy požárů.

Mezi typické složky těchto hasiv patří látky s vysokým bodem tání, jako je suchý písek, cementový prášek a chlorid sodný (kuchyňská sůl), které jsou odolné vůči rozkladu a chemickým reakcím. Tyto látky se aplikují na hořící kov, kde jej izolují a ochlazují, čímž účinně potlačují hoření a snižují riziko opětovného vzplanutí.

Při hašení kovů je klíčové použít pouze hasicí prášek určený pro požáry třídy D, aby nedošlo k nežádoucím chemickým reakcím mezi hasicím prostředkem a hořícím kovem. Důležitá je správná aplikace hasicího prostředku, pokud nejsou k dispozici specializované přístroje, je možné využít lopatu.

Hasicí přístroje určené pro hašení kovových požárů jsou navrženy s ohledem na specifické vlastnosti těchto požárů. Mají konstrukci, která umožňuje kontrolované uvolňování hasicí látky s nižší rychlostí, což je klíčové pro bezpečné hašení požárů kovů.

Je důležité si uvědomit, že hašení požárů lehkých kovů vyžaduje větší množství hasiva. Přibližně se předpokládá, že hasivo odpovídá množství hořícího kovu. Suchý písek je v mnoha případech nejlépe dostupný hasební prostředek. Další možností je nechat kov vyhořet a provádět požární obranu.

9.9. Nevýhody použití hasicích prášků

Nevýhodou hasicích prášků, je skutečnost, že nemají chladicí účinek. Při jejich použití často hrozí nebezpečí opětného vzplanutí požáru. Takovému nebezpečí se předchází např. kombinovaným nasazením prášku a pěny. Prášek prudce srazí plamen a poté nasazená pěna brání zpětnému vzplanutí. Při kombinovaném zákroku prášek – pěna nesmí prášek obsahovat takové chemikálie, které nepříznivě ovlivňují stabilitu použité pěny (nesmí např. obsahovat stearát hořečnatý, který pěnu rozkládá).

Použití prášku k hašení požáru rozdmýchává kouř, což v kombinaci s vytvořeným prachovým mrakem výrazně snižuje viditelnost.

Látky obsažené v hasicích prášcích jsou obecně považovány za bezpečné pro lidské zdraví. Prášek může způsobit podráždění dýchacích cest při hašení. Při nadměrném vdechnutí prášku může dojít k dočasným respiračním potížím. Při použití větších hasicích zařízení je vhodné využívat ochranu dýchání, zejména s ohledem na rozsah požáru a tvorbu kouře.

V oblastech, kde byl použit hasicí prášek, může dojít k problémům s nadměrně suchým vzduchem, buď v souvislosti s hašením požáru, nebo v případě neúmyslného úniku. Tento jev vyžaduje důkladné čištění. Prášek, vzhledem k jeho pevné formě, není v životním prostředí příliš aktivní. Použití tohoto typu hasiva významně přispívá k prevenci kontaminace vody a vzduchu nečistotami, na rozdíl od kapalných hasiv, jako jsou voda a pěna. Hasicí prášky zahrnují směsi běžně se vyskytujících solí, přičemž některé druhy prášku jsou hnojivý. Celkově má většina typů hasicích prášků minimální negativní dopad na životní prostředí. Toto souvisí také s omezeným množstvím, ve kterých jsou tyto hasiva obvykle nasazována.

Nejčastější komplikací při použití prášku k hašení je kontaminace citlivých zařízení. Tyto přístroje se vyskytují ve výrobě, počítačových sálech, v oblasti kulturní, umělecké nebo historické hodnoty. Prášek je jemnozrnný a vytváří jemný prach, který se šíří po celém prostoru a obecně proniká do všech dutin. Škody, které může prášek způsobit v případě požáru, jsou často přijatelné, protože kouř by taktéž způsobil škody vyžadující následné čištění.

Pokud je kontaminace způsobena náhodným vypuštěním práškového hasicího přístroje nebo SHZ, bude obtížnější ospravedlnit způsobenou škodu.

Jakékoli čištění po použití prášku uvnitř musí začít co nejdříve. Soli obsažené v prášku spolu s vlhkostí, mohou způsobit korozi například ve strojích. Čištění by mělo začít zametením co největšího množství prášku. Oblast by měla být poté vysáta a omyta nebo opláchnuta.

9.10. Aerosoly používané k hašení

Specifickým hasivem jsou aerosolová hasiva. Aerosolové hašení je založené na tvorbě hasicího aerosolu v místě vzniku požáru termickým způsobem, Mechanismus hašení je podobný jako u hasicích prášků. Hasicí aerosol vstupuje do reakce s aktivními radikály vznikajícími při požáru a terminuje proces hoření chemicko-fyzikální cestou. Mechanismus působení aerosolu na oheň je principiálně stejný jako u běžných hasicích prášků. Narazí-li aktivní částice vzniklá procesem hoření na povrch prachové částice, ztrácí část své energie. Zbývající energie nestačí na pokračování reakce a plamenné hoření se potlačuje.

Při likvidaci požáru se aerosol generuje na místě požáru z chemických sloučenin uzavřených v tzv. generátorech hasicího aerosolu. Iničiačním zdrojem je teplo uvolňující se v iničiační fázi hoření nebo elektronicky. Současné generátory hasicího aerosolu jsou schopny produkovat ultrajemný aerosolový prach, který má mnohonásobně větší povrch než klasický prášek. Tento aerosol má vyšší účinnost hašení a delší dobu usazování. V závislosti od podmínek prostředí může aerosol zůstat ve vznosu i několik desítek minut, a tak udržovat požadovanou zhášecí koncentraci. Aerosol generovaný termickou cestou je vhodný k hašení požárů tuhých látek i hořlavých kapalin. Generátory aerosolu dělíme na horké a studené. Horké generátory mají vyšší účinnost, ale mohou mít ještě 2 m od jeho ústí teplotu 180 °C. Oproti tomu generátory studené mají na výstupu teploty kolem 60 °C. Na rozdíl od generátorů horkých obsahují studené generátory kromě základních směsí další chemikálie, které snižují výstupní teplotu aerosolu. U nových typů generátorů jsou tyto teploty ještě nižší. Generátory hasicího aerosolu jsou vyráběny jako stabilní hasicí zařízení pro instalaci v budovách a také jako přenosné hasicí generátory. Tyto jsou určeny zejména k hašení rozvinutých požárů. Jejich použití je vhodné zejména tehdy, nebyla-li výrazně porušena těsnost prostoru, ve kterém požár vznikl. Generátory potřebném počtu se mohou do hořícího prostoru vhodit. Lze je aplikovat například i do prostor s výskytem, elektrických zařízení pod napětím, kabelových prostorů apod.

Shrnutí

Hasicí prášky jsou látky v tuhém skupenství, organické či anorganické, používané k hašení požárů na základě chemicko-fyzikálního mechanismu. Částice prášku o velikosti cca 0,1 mm jsou vystřikovány pod tlakem z hasicího zařízení. Tyto částice vytvářejí oblak prášku, který vstupuje do oblasti spalování, odebírá energii řetězovým reakcím potřebným k udržení hoření a způsobuje jejich terminaci. Hasicí prášky jsou používány v přenosných hasicích přístrojích, stabilních hasicích zařízeních a velkých práškových hasicích automobilech.

Při použití prášku na otevřeném prostranství je důležité brát v úvahu citlivost prášku na vítr a jeho omezený dostřik. Dostřik práškového proudu je možné zvýšit, pokud je aplikován do proudu vody.

Kontrolní otázky

- 1) Jakým mechanismem vstupují hasicí prášky do procesu hoření?
- 2) Jak ovlivňuje vítr aplikaci prášku?
- 3) Jakou podstatnou složku obsahují prášky typu BC?
- 4) Jakým způsobem se v plamenu rozkládají ABC prášky?
- 5) Co se stane, pokud jsou zrnka prášku příliš jemná?

Test

- 1) Jaký je hlavní hasební efekt práškových hasiv?
- 2) Proč prášky ABC hasí i žhnoucí materiály?
- 3) Jakým způsobem je možné zvýšit dostřik práškového proudu?
- 4) Jaké hasivo je nejvhodnější pro hašení hořících kovů?
- 5) Jakým způsobem hasí aerosolová hasiva?

Správná odpověď

- 1) Prášky vstupují mezi radikály řetězové reakce hoření, vytváří stěnu která odebírá radikálům energii a tím terminují proces hoření.
- 2) ABC prášky za vysokých teplot vytvářejí polyfosfáty, které brání přístupu vzduchu na žhnoucí povrch.
- 3) Dostřik prášků zvýšíme, jestliže jej aplikujeme do vodního proudu.
- 4) Pro hašení hořících kovů je vhodný suchý písek.
- 5) Aerosolová hasiva hasí obdobným efektem jako prášky jen mají menší velikost částí a zůstávají ve vznosu.

Literatura

- [1] SCHREIBER, H. M. (1972) a PORST, P. Hasební látky. Chemicko-fyzikální pochody při hoření a hašení díl II. Přel. L. Adámek a kol. Praha: ČSPO, 1972. 330 s.
- [2] BALOG, K. Hasiace látky a jejich technológie. SPBI Spektrum. Červená řada, 37. V Ostravě: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, z.s. 2004. ISBN 80-86634-49-3.
- [3] SÄRDQVIST, S. (2002). Water and other entinguishing agents. Karlstad: NRS Tryckeri AB.
- [4] TOMČÍK, R. Zhodnocení hasebních schopností hasících proudnic – monitorů pro aplikaci hasícího prášku v kombinaci s vodním proudem. Diplomová práce. Ostrava, 2019: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava.

10. Inertní plyny

Inertní plyny jsou velmi rozšířená hasiva užívaná jak ve stabilních hasicích zařízeních fungujících na principu zaplavení, tak v přenosných hasicích přístrojích a požární technice.

Cíl kapitoly

Cílem kapitoly je seznámit čtenáře se vlastnostmi a hasebním efektem nejpoužívanějších inertních plynů k hašení.

10.1. Úvod

Inertní plynné hasební látky představují klíčový prvek v oblasti požární ochrany, neboť poskytují účinné prostředky pro potlačení a omezování požárů v různých průmyslových, výrobních a komerčních prostředích. Tato kapitola je věnována zkoumání inertních plynů jako hasicích médií a jejich využití při zdolávání požárů. Zabývá se jak teoretickými aspekty, jako jsou fyzikální a chemické vlastnosti těchto plynů, tak i praktickými aplikacemi, včetně jejich účinnosti, skladování a manipulace.

10.2. Použité pojmy a jejich vysvětlení

- *Sublimace* je skupenská přeměna, při níž se pevná látka mění na plyn, aniž by došlo k tání pevné látky.
- *Inertní plyny* jsou plyny s nízkou reaktivitou, které se neúčastní oxidačních reakcí.
- *Suchý led* je zažitý název pro pevnou formu oxidu uhličitého.

10.3. Oxid uhličitý

Oxid uhličitý (CO_2) vzniká jako konečný produkt spalování uhlikatých sloučenin a je také produktem biologických procesů. Průmyslově se oxid uhličitý získává např. při pálení vápence. Dále se získává z uhličitánů jejich tepelným rozkladem nebo účinkem silnějších kyselin. V přírodě se vyskytuje ve větší koncentraci v minerálních vodách. Ve vzduchu se v atmosféře vyskytuje v nízkých, ale rostoucích koncentracích (aktuálně 0,042 % obj.). Oxid uhličitý je stabilní chemická sloučenina. Ve velké míře se využívá jako chladicí prostředek (suchý led) v průmyslu i v laboratořích. Zavedením průmyslové velkovýroby oxidu uhličitého umožnilo využít jeho vlastnosti také k hašení požárů.

Limitujícími vlastnostmi využití jako hasicí látky je jeho čistota. Oxid uhličitý (CO_2) je bezbarvý, nehořlavý plyn nakyslého zápachu a chuti. Je mnohem těžší než vzduch (relativní hustota vztažená na vzduch je 1,52). Jeho relativní molekulová hmotnost je 44,01, hustota $1,84 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ při teplotě $20 \text{ }^\circ\text{C}$ a tlaku 1 bar, kritická teplota $31,4 \text{ }^\circ\text{C}$ a kritický tlak $7,529 \text{ MPa}$. Oxid uhličitý lze poměrně lehce zkapalnit (při teplotě $20 \text{ }^\circ\text{C}$ je třeba tlaku $5,85 \text{ MPa}$).



Obrázek 32 Suchý led generovaný přenosným hasicím přístrojem CO_2

Oxid uhličitý si při expanzi ochlazuje, což je důsledek Joule-Thomsonova efektu. Joule-Thomsonův efekt se v hasicí technice projevuje při adiabatické expanzi kapalného oxidu uhličitého. Energie potřebná k uvolnění plynu se získává z nejbližšího okolí. Tepelné ztráty mohou být tak vysoké, že plyn se ochladí až na $-78,9 \text{ }^\circ\text{C}$. Při této teplotě a normálním atmosférickém tlaku vzniká tuhý oxid uhličitý ve formě sněhu (suchý led). Tento dopadá na povrch hořlavé látky, sublimuje a izoluje hořlavou látku od oxidačního prostředí. Z celkového množství CO_2 v nádobě může vznikat až 30 % pevné fáze. Aby tento tuhý oxid uhličitý vznikal musí být použita stoupačká trubice a expanzní tryska. Při volném výtoku CO_2 do atmosféry nevzniká pevný CO_2 sníh. Proudnice na CO_2 musí mít tepelně izolovanou rukojeť, aby nedošlo k omrzlinám při dotyku pokožkou na trysce.

10.4. Dusík

Dusík je plyn bez barvy, chuti a zápachu. Není toxický ani jinak nebezpečný. Dusík se vyskytuje v atmosféře v koncentraci 78 % (obj). Dusík je inertní plyn, to znamená, že reaguje s jinými chemickými sloučeninami pouze za vysokých teplot a tlaků. Za běžných teplot reaguje pouze s lithiem a hořčíkem.

Dusík je možné využít k ředění atmosféry v prostoru k potlačení hoření sníženou koncentrací kyslíku. K tomuto účelu je méně vhodný než CO₂, protože za běžné teploty se uchovává jako stlačený. Pro dosažení hasicí koncentrace je potřeba výrazně větší skladovací kapacita stlačeného plynu než zkapalněného CO₂.

10.5. Směsi inertních plynů (např. Inergen)

Inergen je plynná směs obsahující 52 % N₂, 40 % Ar a 8 % CO₂ určená pro stabilní hasicí zařízení. Z technického hlediska má při konstrukci SHZ výhody oproti CO₂, ale je potřeba vyšší hasební koncentrace. Inergen nezpůsobuje teplotní šok pro elektroniku.

10.6. Hasební efekt inertních plynů

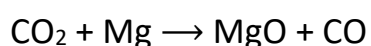
Inertní plyny jsou charakterizovány tím, že jsou chemicky neaktivní a nemají afinitu k jiným látkám, což znamená, že nejsou hořlavé ani podporují hoření.

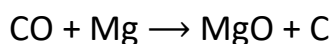
Základními vlastnostmi inertních plynů jsou nízká reaktivita a stabilita. Tyto plyny mají tendenci zamezovat hoření vlivem několika faktorů:

- Zředění kyslíku: Inertní plyny se běžně používají k ředění koncentrace kyslíku v prostoru, což vede ke snížení efektivity spalování až do terminace procesu hoření. Kyslík je nezbytný pro spalovací proces, a pokud je jeho koncentrace snížena pod určitou úroveň, může to znemožnit nebo potlačit hoření.
- Chlazení: Inertní plyny mohou chladit hořící materiál a okolní prostředí, což snižuje teplotu na úroveň, kdy je hoření obtížně udržitelné nebo se úplně zastaví.
- Dělicí efekt: Vytvářejí bariéru mezi hořícím materiálem a okolním kyslíkem. Tím zabraňují přístupu oxidačního prostředku k hořlavému materiálu a potlačují hoření.

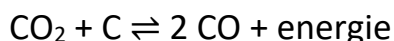
10.7. Nevýhody použití inertních plynů

Oxid uhličitý nelze použít pro hašení silně redukcujících látek (draslík, hořčík, vodík, uhlík). Za vysoké teploty dochází k redukci CO₂ za vzniku CO nebo C.

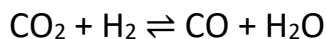




Při redukci CO_2 v přítomnosti žhnoucího koksu.



Vniká oxid uhelnatý v rovnováze s oxidem uhličitým (Boudouardova rovnováha). V praxi je významná také reakce CO_2 s H_2 .



Některá plynná hasiva, která jsou vysokotlaká nebo nízkoteplotně zkapalněná, mohou při aktivaci systémů SHZ vytvářet velmi nízké teploty. Plynná hasiva mají dva různé typy toxického účinku. Na jedné straně vytěsňují vzdušný kyslík a na druhé mohou tyto plyny způsobit otravu s různými účinky na funkce organismu.

V koncentracích potřebných k hašení požárů bude většina inertních plynných hasicích látek toxická. To platí i v případě, že nedošlo k požáru. To také znamená, že netoxické plynné hasivo může znemožnit pobyt v místnosti, kde bylo použito. V důsledku toho musí být u pevných systémů SHZ použity určité bezpečnostní opatření, aby se zabránilo pobytu lidí v místech, kde je aplikováno hasivo. Možná technická řešení zahrnují zpoždovací nebo poplašná zařízení. Inertní plyny, s výjimkou oxidu uhličitého, nemají při běžném použití žádné toxické vlastnosti. Inherentní toxicita oxidu uhličitého je uvedena v tabulce níže.

Tabulka 12 Fyziologické dopady inhalace oxidu uhličitého

Koncentrace (%)	Čas působení	Symptomy
2	Několik hodin	Obtížné dýchání
6-10	Nespecifikován	Zrychlené dýchání, bolest hlavy, úzkost
10-15	1,5 minuty	Neurologické příznaky, neklid, svalové křeče
12	8-23 minut	Ztráta vědomí
20-30	1 minuta	Ztráta vědomí a křeče

V důsledku toho většina plynů používaných jako hasiva není sama o sobě toxická, ale snižuje obsah kyslíku ve vzduchu. Zejména hasicí prostředky vyžadující vysoké koncentrace mohou produkovat nízké, a proto smrtelné hladiny kyslíku. Inertní plyny se při použití k hašení obvykle nerozkládají.

Shrnutí

Inertní plyny jsou plyny, které mají omezenou nebo žádnou reaktivitu s jinými chemickými látkami za běžných teplot a tlaků. Patří sem například dusík (N_2), oxid uhličitý (CO_2), argon (Ar) a helium (He). Tyto plyny jsou významné v hasicí technice kvůli svým vlastnostem, které umožňují hašení požáru.

Hasební efekt inertních plynů spočívá především ve dvou hlavních mechanismech. Inertní plyny, jako například oxid uhličitý, mají schopnost vytlačit kyslík z okolí ohně. Kyslík je nezbytný pro udržení a šíření ohně. Pokud se do hořící oblasti dopraví inertní plyn, kde je kyslík zředěn na nezávadné úrovni, oheň ztrácí palivo a nemůže se udržovat či rozšiřovat. Tím dochází ke snížení intenzity a hašení ohně. Při uvolnění inertního plynu do ohnivého prostoru dochází k absorpci tepla z požáru (adiabatická expanze). To má za následek snížení teploty v okolí ohně a významné zchladnutí hořlavých látek. Ochlazovací efekt má vliv na rychlost reakcí, včetně reakcí, které udržují hoření. Tímto způsobem inertní plyny snižují teplotu hoření a zabraňují jeho šíření. Doplňkovým efektem je oddělení hořlavé látky od oxidačního prostředí.

Inertní plyny jsou účinnými hasicími prostředky, které minimalizují vznik sekundárních škod při požáru.

Kontrolní otázky

- 1) Co je důsledkem Joule-Thomsonova efektu při hašení plynů?
- 2) Co za hasivo je Inergen?
- 3) Jaké jsou hlavní vlastnosti inertních plynů používaných k hašení?
- 4) Oxid uhličitý je lehčí nebo těžší než vzduch?
- 5) Co způsobuje vysokoteplotní redukce CO_2 ?

Test

- 1) Co to je suchý led a kde v požární technice vzniká?
- 2) Je možné pobývat v prostoru kde je hasicí koncentrace oxidu uhličitého?
- 3) Jaký je klíčový hasební efekt inertních plynů?
- 4) Může dojít při hašení pomocí oxidu uhličitého ke vzniku CO?
- 5) Jaký je toxický účinek inertních plynů?

Správná odpověď

- 1) Suchý led je pevná forma oxidu uhličitého a vzniká v expanzní trysce proudnice.
- 2) Není, hasicí koncentrace oxidu uhličitého je vyšší než koncentrace smrtelná pro člověka.
- 3) Hlavní hasební efekt je zředění atmosféry.
- 4) Při hašení pomocí CO₂ může dojít k vývinu CO vysokoteplotní redukcí např. za přítomnosti uhlíku.
- 5) Inertní plyny snižují koncentraci kyslíku ve vzduchu, oxid uhličitý také prohlubuje dýchání.

Literatura

- [1] SCHREIBER, H. M. (1972) a PORST, P. Hasební látky. Chemicko-fyzikální pochody při hoření a hašení díl II. Přel. L. Adámek a kol. Praha: ČSPO, 1972. 330 s.
- [2] BALOG, K. Hasiace látky a jejich technologie. SPBI Spektrum. Červená řada, 37. V Ostravě: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, z.s. 2004. ISBN 80-86634-49-3.
- [3] SÄRDQVIST, S. (2002). Water and other extinguishing agents. Karlstad: NRS Tryckeri AB.

11. Halony

Halonová hasiva byla v polovině 20. stol velmi rozšířená a oblíbená. Pro hašení uhlovodíků, vozidel a strojů se jednalo o hasiva s ideálními vlastnostmi. Poté co bylo u některých typů jejich užívání zakázáno zůstávají pouze fluorované uhlovodíky a nadále se ve specifických oblastech používají.

Cíl kapitoly

Cílem této kapitoly je poskytnout stručný přehled o halonových hasivech, jejich technických aspektech a aplikacích v oblasti požární ochrany. Čtenář by měl získat základní znalosti o těchto hasivech a současném způsobu jejich využití.

11.1. Úvod

Halonové hasicí látky představují v oblasti požární ochrany významný prvek, jenž se vyznačuje vysokou účinností a relativně nízkým poškozováním životního prostředí (u halonových náhrad). Tato kapitola se zaměřuje na důkladné zhodnocení halonových hasiv a jejich využití v požární bezpečnosti. Popisuje jejich chemické vlastnosti, mechanismus účinku při hašení ohně a porovnává s jinými typy hasicích látek. Dále se věnuje historii, vývoji, klasifikaci a standardizaci halonových hasiv, a to včetně polemiky o jejich výhodách a omezeních.

11.2. Použité pojmy a jejich vysvětlení

- ODP (Ozone Depletion Potential) je hodnota, která kvantitativně vyjadřuje vlastnosti jednotlivých látek způsobující rozpad ozonu ve stratosféře. Je to relativní hodnota příslušné látky srovnávaná s aktivitou působení na ozonovou vrstvu chladiva R 11 (CFC 11-CCl₂F), která má hodnotu ODP = 1. Hodnoty ODP ostatních látek pak vyjadřují vypočtenou redukci ozonu při volených konstantních podmínkách na jednotku hmotnosti látky emitované za jeden rok do atmosféry ve srovnání s jednotkou hmotnosti R11.
- GWP (potenciál globálního oteplování). Příspěvek jednotlivých látek na skleníkový efekt se určuje hodnotou GWP (Global Warming Potential). Je to relativní hodnota k volené hodnotě 1 pro vliv CO₂ na jednotku objemu plynu pro časový horizont životnosti v atmosféře (nejčastěji se uvažuje 100 let).
- NOAEL (No Observable Adverse Effect Level) je hladina koncentrace látky v ovzduší, při níž nebyly pozorovány nepříznivé účinky na lidský organismus. Uvádí se v % obj obvykle ve spojení se značkou (menší než). Například hasební látka HFC-236fa má hodnotu NOAEL < 10 % obj; to znamená, že při

koncentraci této látky v ovzduší menší než 10 % obj nebyly pozorovány její nepříznivé účinky na lidský organismus.

- LOAEL (Lowest Observable Adverse Effect Level) je nejnižší hladina koncentrace látky v ovzduší, při níž byly pozorovány nepříznivé účinky na lidský organismus. Uvádí se v % obj. Na příklad hasební látka HFC-236fa má hodnotu LOAEL 15 % obj; to znamená, že při této koncentraci látky v ovzduší byly pozorovány první nepříznivé účinky na lidský organismus.

11.3. Halonová hasiva

Jako halogenované uhlovodíky se označují sloučeniny uhlíku s vodíkem, které mají vodíkové atomy nahrazeny částečně nebo úplně halogenovými atomy. Název je z anglického „halogenated hydrocarbon“. Pro hašení mají význam halogeny fluor, chlor a brom. Substitucí vodíkových atomů v uhlovodících (metan, etan) halogeny vzniká široká variace sloučenin. Pro přehledné rozdělení vzniklo číslování, podle kterého se halony označují číslem kde je první číslo počet atomů uhlíku, druhé počet atomů fluoru, třetí číslo počet atomů chloru čtvrté číslo počet atomů bromu. Např. halon 1301 – trifluorbrommetan – CF_3Br .



Obrázek 33 Hasicí přístroj s plynem HFC-236fa (označený Halon)

Halony pro požární účely se prokazatelně používají od roku 1881 a to pro hašení hořícího petroleje (chloroform). V téže roce byl doporučen jako hasební látka tetrachlormetan. V roce 1933 bylo zjištěno, že bromované a jodované uhlovodíky mají hasební účinek ještě vyšší než chlorované. Ve druhé polovině 20. století se používání halonů jako hasiv významně rozšířilo napříč průmyslem a vojenstvím. V současné době je používání halonů omezeno. Důvody pro zákaz používání halonů zahrnují následující:

- Halony jsou známé svým negativním vlivem na ozonovou vrstvu ve stratosféře. Chemické složení halonů obsahuje chlor a brom, které přispívají k poškození ozonové vrstvy. Ozonová vrstva je klíčová pro filtraci škodlivého ultrafialového záření ze slunce, které může způsobovat rakovinu kůže, poškozovat rostliny a zvířata a ohrožovat životní prostředí jako celek. Po omezení výroby a používání halonů a freonů došlo k prokazatelnému zpomalení poškození ozonové vrstvy.
- Některé halony jsou skleníkovými plyny, což znamená, že mají schopnost zadržovat teplo v atmosféře a přispívat ke globálnímu oteplování. To má nepříznivé dopady na klimatické změny a životní prostředí.
- Halony jsou toxické a mohou způsobit poškození dýchacího ústrojí, kůže a očí. Exponované osoby mohou trpět závratěmi, bolestí hlavy, nevolností a v extrémních případech i smrtí.

Kvůli těmto závažným problémům byly halony postupně nahrazeny jinými méně škodlivými hasícími látkami, jako jsou halokarbony nebo halonové substituty, které mají menší dopad na ozonovou vrstvu a klima. Tento proces byl uskutečněn pomocí mezinárodních dohod, jako je Montreálský protokol, který byl uzavřen v roce 1987 a jehož cílem je ochrana ozonové vrstvy omezováním produkce a spotřeby látek, které ji poškozují.

Rozšířená hasiva, u kterých bylo ukončeno používání podle Montrealského protokolu a jeho Londýnského a Kodaňského dodatku. (halony):

- Halon 1301 (bromtrifluormetan);
- Halon 2402 (dibromtetrafluoretan);
- Halon 1211 (bromchlordifluormetan).

Vybraná hasiva (nepoškozující ozonovou vrstvu), která se mohou dále používat:

- HFC-227ea FM 200 (heptafluorpropan);
- HFC-236fa FE 36 (hexafluorpropan);
- FK-5-1-12 NOVEC 1230 (Perfluoro(2-methyl-3-pentanon)).

11.4. Hasební efekt halonů

Halonové látky jsou složeny z atomů fluoru, chloru, bromu a v některých případech i jodu. Tyto halogeny jsou chemicky reaktivní a vytvářejí volné radikály, které jsou klíčovými účastníky řetězových reakcí hoření. Tento mechanismus je důležitý při hašení požáru. Jestliže je halonová látka uvolněna do prostoru s přítomností plamenů, dochází k jejímu rozkladu za vysokých teplot. Tímto rozkladem vznikají halogenové radikály, jako jsou chlorové, fluorové a bromové radikály. Tyto halogenové radikály vstupují působí jako inhibitory, tím, že se slučují přednostně s radikály, které jsou klíčové pro řetězovou reakci hoření. Halogenové radikály narušují řetězové reakce tím, že se vážou na radikály obsahující uhlík, vodík a kyslík, které jsou klíčové pro udržení plamene. Halogenové radikály reagují s radikály v pásmu spalování, což má za následek terminaci. Tímto způsobem jsou přerušeny řetězové reakce hoření a je zabráněno dalšímu šíření plamene.

Tabulka 13 Přehled halonových hasiv

Generické nebo obchodní jméno	Chemické složení	Hasební koncentrace (%)	ODP/GWP	NOAEL/LOAEL (%)	Použití
Halon 1301	CF ₃ Br	3,27 ± 0,37	10/7140	5/7,5	SHZ
Halon 1211	CH ₂ ClBr	3,8	3/1890	0,5/0,75	PHP SHZ
Halon 2402	C ₂ F ₄ Br ₂	NU	6/1640	5/-	PHP SHZ
Halotron I	CF ₃ CHCl ₂	6,5	0,02/77	Menší než 2/2	PHP SHZ
FM-200®	CF ₃ CHFCF ₃	6,16-7,9	0/3220	9/10,5	SHZ
FE 36™	CH ₃ H ₂ F ₆	8,8-9,8	0/9400	10/15	PHP/SHZ
Deugen	C ₄ F ₁₀	6,25	0/8600	40/ více než 40	SHZ
Novect™ 1230	CF ₃ CF ₂ C(O)C F(CF ₃) ₂	5,3-5,9	0/1	10/ větší než 10	SHZ

Tento proces inhibice řetězových reakcí má za následek výrazné zpomalení hoření a postupné hašení plamene. Hovoříme o tom, že halony působí na plamen antikatalytickým efektem (chemickou inhibicí hoření). Kombinací tohoto účinku s dalšími mechanismy, jako je odvod tepla a omezení přístupu kyslíku, halony účinně potlačují hoření.

Pro zaplavení prostoru hasicími plyny je možné použít následující vztah:

$$m_{potr} = \frac{V}{S} \cdot \frac{C_{has} \cdot 1,3}{100 - (C_{has} \cdot 1,3)}$$

kde:

m_{potr} hmotnost hasiva v kg potřebná k vytvoření hasební koncentrace (kg)

V objem prostoru (m^3)

S specifický objem par ($m^3 \cdot kg^{-1}$)

C_{has} hasební koncentrace (% obj.)

Tabulka 14 Hodnoty pro návrh potřebného množství hasiva

Hasivo	FM – 200	FE – 36	Novec 1203
Spec. objem par ($m^3 \cdot kg^{-1}$)	0,1373	0,1526	0,0733
Hasební koncentrace (% obj.)	6,6	6,3	6,0

Pokud srovnáme hasební koncentrace uvedených fluorovaných uhlovodíků s hodnotami NOAEL a LOAEL je zřejmé, že tyto látky je možné v hasební koncentraci používat v přítomnosti osob. Této skutečnosti lze využít například při návrhu stabilních hasicích zařízení pro velíny, řídicí střediska a vojenskou techniku.

11.5. Nevýhody halonů (a jejich náhrad)

Halogenová hasiva se působením vysokých teplot (nad 400 °C) rozkládají, což modifikuje jejich toxicitu. Po uhašení, některé plyny produkují produkty rozkladu, které mohou být někdy toxičtější než původní plyn. Hlavními produkty rozkladu jsou kyselina fluorovodíková (HF), kyselina bromovodíková (HBr), kyselina chlorovodíková (HCl) a kyselina jodovodíková (HI), přičemž první z nich převládá. Tyto plyny způsobují podráždění a ovlivňují sliznice očí, nosu a krku. Mezi produkované patří brom (Br_2), fluor (F_2), jód (I), karbonylfluorid (COF_2) a fosgen ($COCl_2$). karbonyl zejména karbonylfluorid a fosgen jsou oba vysoce toxické, ale byly naměřeny pouze velmi nízké koncentrace. V této souvislosti je nutné si uvědomit, že hořením vznikají vysoce toxické produkty spalování, a tedy při hašení v uzavřených prostorech je nutné se proti nim chránit.

Shrnutí

Halogenované uhlovodíky, což jsou sloučeniny uhlíku a vodíku, jejichž vodíkové atomy jsou částečně nebo úplně nahrazeny halogenovými atomy, jako jsou fluor, chlor a brom. Halony jsou významné pro hašení, avšak jejich používání bylo omezeno. Jedním z důvodů omezení využívání halonů je známý negativní vliv těchto látek na ozonovou vrstvu ve stratosféře. Chemické složení halonů obsahuje chlor a brom, které aktivně přispívají k poškozování ozonové vrstvy. Ozonová vrstva je klíčová pro filtrování škodlivého ultrafialového záření ze slunce.

Halonové hasební látky obsahují fluor, chlor, brom a někdy i jod. Tyto halogeny vytvářejí volné radikály, které při hašení požáru narušují řetězové reakce hoření tím, že se vážou na důležité radikály obsahující uhlík, vodík a kyslík. Tímto způsobem halony zamezují šíření plamene.

Kontrolní otázky

- 1) Co to jsou halogenované uhlovodíky?
- 2) Jaký význam pro hašení mají halogeny?
- 3) Jak halogenové radikály působí na řetězové reakce při hašení požáru?
- 4) Jaký je význam ozonové vrstvy pro životní prostředí?
- 5) Mohou se používat hasiva HFC-236fa a HFC-227ea?

Test

- 1) Proč bylo zakázáno používat klasické halony jako hasiva?
- 2) Jaký je hasební efekt halonů?
- 3) Co vzniká při rozpadu halonů za vysokých teplot?
- 4) Co to je NOAEL a LOAEL?
- 5) Je možné pobývat v prostoru chráněném halonovým SHZ?

Správná odpověď

- 1) Halony a tvrdé freony narušují ozónovou vrstvu.
- 2) Halony působí antikatalyticky. Chemicky vstupují do řetězové reakce hoření, radikály vzniklé rozpadem halonů vážou radikály vzniklé hořením a tím způsobí inhibici řetězových reakcí.
- 3) Vznikají toxické látky jako je HF a HOF₂.

- 4) Jedná se o hranice koncentrací při kterých nebyly NOAEL a byly LOAEL pozorovány nepříznivé účinky na lidský organismus.
- 5) Ano, hasební koncentrace halonů je nižší než NOAEL.

Literatura

- [1] SCHREIBER, H. M. (1972) a PORST, P. Hasební látky. Chemicko-fyzikální pochody při hoření a hašení díl II. Přel. L. Adámek a kol. Praha: ČSPO, 1972. 330 s.
- [2] BALOG, K. Hasiace látky a jejich technologie. SPBI Spektrum. Červená řada, 37. V Ostravě: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2004. ISBN 80-86634-49-3.
- [3] SÄRDQVIST, S. (2002). Water and other extinguishing agents. Karlstad: NRS Tryckeri AB.