

VPLYV HASIACICH PIEN NA ENVIRONMENT

IVANA TUREKOVÁ

EFFECT OF FIRE-FIGHTING FOAMS TO ENVIRONMENT

ABSTRAKT

Hasiace peny sú všeobecne používané k haseniu požiarov horľavých kvapalín, pričom sa využíva ich účinok izolačný, dusivý a chladiaci. Cieľom príspevku je posúdiť a porovnať penidlá, v súčasnosti používané v hasičských útvaroch nielen z hľadiska vysokého hasiaceho účinku (schopnosť rýchleho prerušenia horenia na veľkej ploche pri malej spotrebe), ale aj z hľadiska vplyvu na životné prostredie v celej etape ich životnosti.

Kľúčové slová: penidlá, hasiace látky, požiar

ABSTRACT

Extinguishing foams are common used by extinguishing fire of flammable liquids, whereby their insulating, choky and refrigerating effect are exploited. The purpose of lecture is to consider and compare foams, that are at present used in fire departments, not only on the part of high extinguishing effect (capability of faster aborted burning on the large surface by little usage) but even to aspect of bearing on the environment in whole stage of their life cycle.

Key words: foams, fire extinguisher, fire

ÚVOD

Hasiace látky sú rôzne látky a materiály, s použitím ktorých je možné dosiahnuť zastavenie (spomalenie) procesu horenia. Základné požiadavky na hasiace látky sú:

- vysoký hasiaci účinok (schopnosť rýchleho prerušenia horenia na veľkej ploche pri malej spotrebe),
- nesmú byť škodlivé pre ľudský (živý) organizmus, a to aj pri ich použití a skladovaní,
- iné kritéria ako dostupnosť, dostupná cena a iné.

Významné postavenie medzi hasiacimi látkami zaujímajú hasiace peny.

CHARAKTERISTIKA HASIACICH PIEN

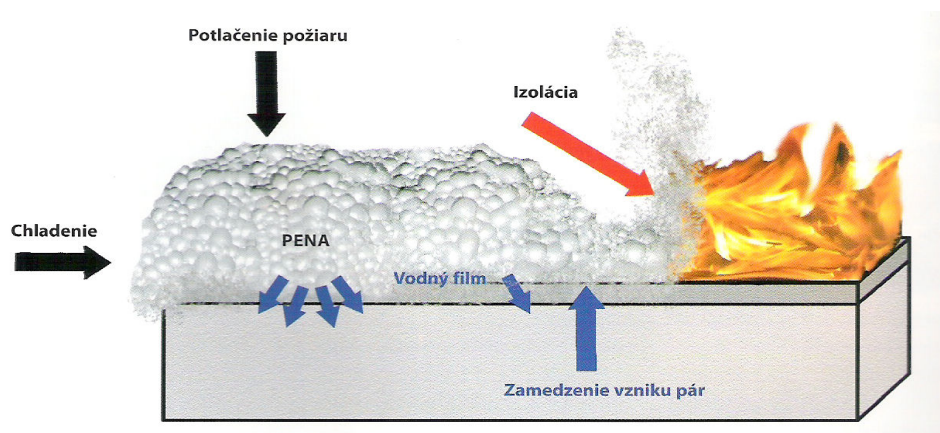
Hasiaca pena je hasiaca látka pozostávajúca z množstva bublín vytvorených z kvapaliny mechanicky alebo chemicky. Chemická pena je tvorená reakciou alkalického roztoku s kyslým roztokom za prítomnosti stabilizátora peny a mechanická pena vzniká zavádzaním vzduchu a/alebo inertného plynu do penotvorného roztoku [1].

Peny patria medzi **disperzné dvojfázové systémy**, ktoré sa skladajú z disperzného prostredia (kvapalina), v ktorom sa nachádza dispergovaná fáza – trojrozmerné lamely stálej štruktúry obsahujúce uzatvorený plyn. Hrúbka lamiel sa pohybuje v rozmedzí 0,001–0,01 mm [2].

Hasiace účinky pien spočívajú v nasledovných fyzikálnych princípoch (obrázok 1):

- **izolačný** – oddeľuje horľavú látku od plameňa,
- **dusivý** – zamedzuje prístup vzdušného kyslíka k horľavej látke, zabraňuje vyparovaniu pár horľavých kvapalín,

- **chladiaci** – znižuje teplotu horiacej látky, a tým spomaľuje rýchlosť horenia, čo je priamo úmerné obsahu vody v pene [3].



Obrázok 1 Schéma mechanizmu hasenia penou [3]

Hasiace peny sú všeobecne používané na obmedzenie šírenia a hasenia požiarov triedy B a k zabráneniu opätovnému vznieteniu. Tieto peny môžu byť použité na ochranu proti vznieteniu horľavých kvapalín a v určitých podmienkach na hasenie požiarov triedy A. Peny môžu byť používané v kombinácii s inými hasiacimi látkami, hlavne plynými hasiacimi látkami a práškami [4].

FYZIKÁLNE VLASTNOSTI PENIDIEL

Penidlo je kvapalina, ktorá sa zmiešava s vodou v predpísanej koncentrácii, pričom vzniká penotvorný roztok. Pena je disperzný systém, v ktorom je dispergovanou látkou plyn (vzduch) a disperzným prostredím kvapalina (heterogénna zmes plynu a kvapaliny). Je to nestabilný systém, ktorý podlieha rýchlym zmenám. Pena je zhhluk vzduchových bublín vytvorených z penotvorného roztoku. Rýchlosť tejto premeny je dôležitá na posudzovanie stability peny [1].

Stabilitu, vlastnosti, ako aj účinnosť pien a penidiel určujú ich fyzikálochemické vlastnosti. Medzi sledované fyzikálo-chemické vlastnosti penidiel a pien patrí:

- **číslo napenenia** – je pomer získaného objemu peny k objemu kvapaliny, na základe ktorého bola táto pena vyrobená. Číslo napenenia udáva, koľkokrát je objem peny väčší než objem penotvorného roztoku. Na základe tohto čísla rozdeľujeme peny do troch skupín (ťažká, stredná a ľahká pena),
- **viskozita** – je vyjadrením tekutosti kvapaliny, je závislá od teploty (so vzrastajúcou teplotou klesá),
- **mrazuvzdornosť penidiel** – teplota, pri ktorej je látka kvapalná a nezačína vylučovať tuhé časti,
- **obsah sedimentu** – je podiel tuhých častí v koncentrátoch penidiel vyjadrený v % obj.,
- **stabilita peny** – je ovplyvnená vylučovaním vody z peny, definuje sa polčasom, resp. štvrtčasom rozpadu, čo je čas potrebný na vylúčenie polovice, resp. štvrtiny vody obsiahnutej v pene [1],
- **polčas rozpadu peny** – čas, za ktorý sa uvoľní z peny 50 % penotvorného roztoku, udáva sa v minútach; rýchlosť tejto premeny je dôležitým faktorom určujúcim kvalitu a stabilitu peny,

- **pH** – reakcia kvapalín, t.j. kyslosť, zásaditosť alebo neutralita vyjadrená ako záporný dekadický logaritmus aktivity vodíkových iónov,
- **súčiniteľ rozprestretia penotvorného roztoku** – hodnota, ktorá uvádza schopnosť jednej kvapaliny samovoľne sa rozprestrieť na povrchu inej kvapaliny, nie je však ukazovateľom jeho kvality; udáva sa v $\text{mM} \cdot \text{m}^{-1}$ [3].

Stálosť pien závisí od štruktúry povrchových filmov z tzv. penotvorných látok, ako sú elektrolyty, mydlá, saponíny, proteíny a pod. V procese hasenia požiaru sa peny neustále rozrušujú vplyvom tepelného žiarenia plameňa, vnútorných síl samotnej peny a horúcim povrchom horiacej kvapaliny. Je dokázané, že rýchlosť rozpadu peny účinkom tepla plameňa je omnoho menšia, ako na samotnom povrchu zahriatej vyparujúcej sa kvapaliny. V tomto procese majú peny izolačný a chladiaci účinok. Tieto účinky závisia od druhu a kvality používaných penidiel. Na kvalitu vplyva viac faktorov, z ktorých z praktického hľadiska sú dôležité podmienky a doba skladovania peny [6].

Peny ako hasiacu látku pripravujeme v okamihu zásahu. Vlastnosti peny a jej kvality ovplyvňujú vlastnosti a čistota použitých chemikálií, t.j. vody, penotvorných prísad a plynnej zložky (najčastejšie vzduch). Zásadný vplyv na kvalitu peny má aj použité penotvorné zariadenie.

Podľa charakteru a použitia koncentrácie penotvorných prísad je možné v okamžiku zásahu pripraviť penu so špeciálnym zameraním na príslušný požiar. Penotvorné prísady, s ohľadom na ich zloženie a z toho vyplývajúcich vlastností, delíme do nasledujúcich skupín [5]:

- proteínové penidlá (P),
- fluóroproteínové penidlá (FP),
- syntetické penidlá (S),
- penidlá odolné proti alkoholu (AR),
- penidlá tvoriace vodný film (AFFF),
- fluóroproteínové penidlá tvoriace vodný film (FFFP) [4].

Sumárne sú výsledky hasiacich schopností penidiel uvádzané v tabuľke 1.

Tabuľka 1 Obvyklé hasiace schopnosti rôznych druhov penidiel [4]

Druh penidla	Trieda hasiacej schopnosti	Úroveň odolnosti proti spätnému horeniu	Filmotvorné
AFFF (nie AR)	I	C	+
AFFF (AR)	I	B	+
FFFP (nie AR)	I	B	+
FFFP (AR)	I	A	+
FP (nie AR)	II	A	-
FP (AR)	II	A	-
P (nie AR)	III	B	-
P (AR)	III	B	-
S (nie AR)	III	C	-
S (AR)	III	C	-

DOPADY PENIDIEL NA ŽIVOTNÉ PROSTREDIE

Vznikajúce produkty horenia a zvyšky po horení sú oveľa škodlivejšie ako použitý hasiaci prostriedok. Rýchlo uhasený požiar často vyváži negatívne dopady použitých hasiacich látok, nakoľko sa obmedzí tvorba toxických produktov a zvyškov po horení. Pri hasení požiarov napr. vodou, ktorá je považovaná za neškodlivú pre životné prostredie, odtekajúca voda kontaminovaná rozkladnými

produktmi horenia látok môže významne zaťažiť životné prostredie na dlhú dobu. Pri aplikácii hasiacich pien a najmä environmentálne akceptovateľných, je možno požiare uhasiť skôr a menej zaťažiť životné prostredie splodinami horenia ako v prípade vody.

Environmentálne akceptovateľné hasiace peny by mali mať aspoň takú hasiacu schopnosť ako peny pripravené z tradičných proteínových alebo AFFF penidiel a s minimálnymi dopadmi na životné prostredie (voda, pôda). Je známe, že tradičné prímеси v penidlách (tezidy, etylénglykol, butyldiglykol, propylénglykol, alkylpolyglykozid, nonylalkohol) môžu spôsobiť problémy z hľadiska toxicity samotných látok, resp. ich rozkladných produktov. Najväčšie toxické nebezpečenstvo pri aplikácii hasiacich pien hrozí pre ryby a vodné mikroorganizmy.

V porovnaní s chemickými látkami a prípravkami sa uvádza nízka toxicita penidiel. Problémy vznikajú sekundárnou toxicitou, nakoľko rozkladné produkty majú dlhú biologickú odbúrateľnosť v životnom prostredí.

Biologická odbúrateľnosť penidiel je ich schopnosť biologickou alebo chemickou cestou odbúrať pôvodné látky na rozkladné produkty prijateľné životným prostredím, napr. asimiláciou (voda a oxid uhličitý). Biologické odbúravanie spôsobujú mikroorganizmy a huby. Stupeň biologickej odbúrateľnosti penidiel sa často udáva ako pomer biochemickej spotreby kyslíka (BSK) a chemickej spotreby kyslíka (ChSK).

Biochemická spotreba kyslíka je množstvo rozpusteného kyslíka spotrebovaného mikroorganizmami za určitý čas, napr. 5 dní (BSK₅) pri biochemických procesoch pri rozklade organických látok vo vode pri aeróbných podmienkach. Toto množstvo kyslíka je úmerné množstvu prítomných rozložiteľných organických látok, a preto možno z hodnoty BSK odhadnúť stupeň znečistenia vody hasiacou penou. Biochemická spotreba kyslíka sa stanovuje v pôvodnom alebo vhodne zriedenom roztoku penidla.

Chemická spotreba kyslíka vyjadruje množstvo kyslíka potrebného na oxidáciu organických látok vo vode použitím silných oxidačných činidiel za určitý čas (najčastejšie sú to dve hodiny). Je mierou celkového obsahu organických látok vo vode a tým aj ukazovateľom organického znečistenia vody.

Biologická odbúrateľnosť penidla sa vyjadruje ako podiel BSK₅ a ChSK vyjadrený v percentách

$$\text{biologickej odbúrateľnosti} = \frac{\text{BSK}_5}{\text{ChSK}} \cdot 100 \quad [\%] \quad (1)$$

Ideálna pena by mala mať úplnú odbúrateľnosť a nemala by významne spotrebovať rozpustený kyslík vo vode. Environmentálne neškodlivé peny (tzv. zelené peny, angl. „green foams“) by mali hasiť požiare tak účinne ako tradične používané, ale musíme poznať ich odbúrateľnosť, inak nemajú význam. Sú niekoľkonásobne drahšie ako klasické peny, ale na druhej strane môžu nahradiť svojou hasiacou schopnosťou fluoroproteínové a AFFF peny (dobré zhášanie plameňov u AFFF a zabránenie spätnému rozhoreniu u fluoroproteínových pien).

EXPERIMENTÁLNA ČASŤ

Cieľom experimentu bolo posúdenie hasiacich vlastností penidiel v laboratórnych podmienkach a následne experimentálne overiť ich vplyv na životné prostredie.

K experimentom bolo použité nasledovné penidlá (tabuľka 2).

Tabuľka 2 Použité penidlá a ich charakteristiky

Názov penidla	Použitie pre triedy požiarov	Odporúčaná koncentrácia	Poznámky
Sthamex AFFF 1 %	A a B	1 %	špeciálne určený proti požiarom uhľovodíkov, umelých hmôt a produktov minerálnych olejov
Sthamex AFFF F-15	A a B	3 %	špeciálne určený proti požiarom ropných produktov a plastov
Pyronil	A a B	3 %	syntetické viacúčelové penidlo, aj ľahká pena
Moussol APS F-15	A a B	3 % a	hasenie požiarov kvapalín nepolárnych uhľovodíkov
		6 %	hasenie kvapalín polárnych uhľovodíkov

Ich výber vychádzal zo zisteného prieskumu dostupnosti v HZZ. Z každého penidla bolo pripravených 5 rôznych koncentrácií (1 %, 3 %, 6 %, 9 % a 12 %).

I. POSÚDENIE PENIDIEL Z HĽADISKA HASIACICH A FYZIKÁLNYCH VLASTNOSTÍ

Číslo napenenia

Pre stanovenie čísla napenenia (E) sa postupovalo podľa normy STN EN 1568-3: 2002 Technické podmienky penidiel pre ťažké peny na povrchové použitie na kvapaliny nemiešateľné s vodou. Zisťovala sa hodnota čísla napenenia vybraných penidiel rôznych koncentrácií a čas tvorby peny (tabuľka 3).

Tabuľka 3 Číslo napenenia a čas napenenia testovaných penidiel

p.č.	koncentrácia penidla [%]	Číslo napenenia E				Čas napenenia [s]			
		Sthamex AFFF 1 %	Sthamex x AFFF F-15	Pyronil	Moussol APS F-15	Sthamex x AFFF 1 %	Sthamex x AFFF F-15	Pyronil	Moussol APS F-15
1.	12	4,886	4,909	4,901	4,822	6,61	16,58	17,71	19,23
2.	9	4,894	4,891	4,908	4,854	11,69	19,20	20,34	23,38
3.	6	4,890	4,827	4,878	4,887	13,35	19,25	25,63	26,20
4.	3	4,906	4,826	4,839	4,837	14,70	25,28	30,55	30,24
5.	1	4,827	4,883	4,820	4,807	27,35	35,04	34,44	57,81

Číslo napenenia sa pohybovalo okolo hodnoty $4,9 \pm 0,1$ u všetkých penidiel, čo umožňuje objektívne porovnať čas napenenia. Najrýchlejšie sa napenili penidlá Sthamex AFFF 1%, Sthamex AFFF F-15, potom Pyronil a najdlhší čas napenenia mal Moussol APS F-15, u ktorého sa čas napenenia pri 1 % koncentrácii výrazne predlžil.

Polčas rozpadu

K testovaniu polčasu rozpadu podľa odporúčania výrobcov v kartách bezpečnostných údajov boli použité 3 %-né roztoky a bol sledovaný čas, za ktorý sa uvoľnilo z peny 50 % penotvorného roztoku. Výsledky nameraných hodnôt pre jednotlivé penidlá sú v tabuľke 4.

Tabuľka 4 Polčasy rozpadu testovaných penidiel (3 %-né roztoky)

p.č.	Názov penidla	Polčas rozpadu [s]
1.	Sthamex AFFF 1 %	62
2.	Sthamex AFFF F-15	166
3.	Pyronil	187
4.	Moussol APS F-15	187

Najpriaznivejšie výsledky boli dosiahnuté s použitím penidiel Pyronil a Moussol APS F-15, kde polčas rozpadu bol 187 sekúnd.

Meranie viskozity penidiel

Viskozita bola stanovená podľa normy DIN 53015:2001 Viscometry – Measurement of viscosity using the Hoesppler falling-ball viscometer na viskozimetri Höppler KF 3.2, ktorý je určený hlavne na meranie dynamickej viskozity newtonských kvapalín. Výsledky sú v tabuľke 5.

Tabuľka 5 Nameraná viskozita penidiel

p.č.	Názov penidla	t [s]	ρ_1 [g.cm ⁻³]	ρ_2 [g.cm ⁻³]	K [mPa.cm ³ .g ⁻¹]	η [mPa.s]
1.	Sthamex AFFF 1 %	124	2,224	1,07	0,07293	10,436
2.	Sthamex AFFF F-15	70	2,224	1,04	0,07293	6,044
3.	Pyronil	76	2,224	1,545	0,07293	3,466
4.	Moussol APS F-15	69	8,142	1,170	0,1225	58,931

Najnižšia viskozita bola nameraná u penidiel Pyronil a Sthamex AFFF F-15, najvyššiu malo penidlo Sthamex AFFF 1 %.

II. VPLYV PENIDIEL NA ŽIVOTNÉ PROSTREDIE

Bola stanovená BSK₅ a ChSK, výsledky sú sumarizované v tabuľke 6.

Tabuľka 6 Výsledky hodnôt BSK₅ a ChSK testovaných penidiel (3 %-né roztoky)

p.č.	Názov penidla	BSK ₅ [mg.l ⁻¹]	ChSK [mg.l ⁻¹]	BSK ₅ /ChSK [%]
1.	Sthamex AFFF 1 %	76,23	22 790	0,33
2.	Sthamex AFFF F-15	73,68	21 370	0,34
3.	Pyronil	79,20	33 530	0,23
4.	Moussol APS F-15	83,46	17 470	0,47

Z výsledkov biologickej odbúrateľnosti penidiel možno usúdiť, že všetky penidlá majú nízku schopnosť sa biologicky rozkladať z dôvodu veľmi malého podielu rozložiteľných látok.

Akútna toxicita

Akútna toxicita je schopnosť alebo vlastnosť penidla spôsobiť vážne biologické poškodenie alebo smrť organizmu za pomerne krátku dobu expozície (24-96 hodín). Bola stanovená IC₅₀ ako inhibičná koncentrácia skúšanej látky, ktorá spôsobí 50 % inhibíciu rastu koreňa rastliny *Sinapis alba* (čistá odroda horčice bielej, klíčivosť semien > 90 %, veľkosť semien 1,5 mm – 2,5 mm) za 72 hodín.

Základným sledovaným parametrom pre hodnotenie testu je priemerná dĺžka koreňov. Hodnota stanovená v testovanom roztoku sa porovnávala s kontrolou a vypočítalo sa percento inhibície (skrátene) či stimulácia (predĺženie koreňa). Výsledky sú uvedené v tabuľke č. 7.

Tabuľka 7 Výsledky ekotoxikologického testu na semenách vyšších rastlín

p.č.	Názov penidla	IC _{0,5} *	IC ₁	IC ₂	IC ₃	IC ₅
		%	%	%	%	%
1.	Sthamex AFFF 1 %	96,2				
2.	Sthamex AFFF F-15	87,6	88,3			
3.	Pyronil	98,0				
4.	Moussol APS F-15	66,2	76,7	87,9	89,6	98,3

*ekotoxikologický test na semenách vyšších rastlín *Sinapis alba*, dolný index vyjadruje koncentráciu vzorky v obj. %.

prázdne okienka = nevyklíčilo ani jedno semiačko.

Na základe ekotoxikologického testu vyplýva, že vyššie koncentrácie sú značne toxické pre testovaný druh rastliny.

ZÁVER

V súčasnosti poznáme množstvo druhov hasiacich pien, ktoré majú rôzne fyzikálne a hasiace vlastnosti. Novšie typy vytlačajú do úzadia zastarané typy penidiel, ktoré majú horšie hasiace vlastnosti a nemožno ich použiť na širšie spektrum druhov požiarov. Každá hasiaca pena, ako ukázalo aj naše testovanie, má svoje klady a zápory. Preto je nutné poznať ich fyzikálne vlastnosti, či už ide o stabilitu peny pri nízkych i vysokých teplotách, ktorá je definovaná polčasom rozpadu; číslom napenenia, ktoré určuje či sa jedná o ťažkú, strednú alebo ľahkú penu a aj o viskozitu, teda odpor kvapaliny voči vnútornému treniu a ďalších vlastností, aby boli vhodne vybraté a použité v praxi na zdolávanie požiarov.

Moderné hasiace peny možno považovať za veľmi kvalitné z hľadiska fyzikálnych vlastností, avšak v posledných rokoch aj v súvislosti s novou legislatívou REACH sa veľká pozornosť upriamuje na ich ekotoxické vlastnosti. Ak sú hasiace peny použité na hasenie veľkých požiarov, je veľmi pravdepodobné, že ich produkty, napríklad rozpadnutá voda z vytvorenej peny, sa dostávajú do pôdy, vodných tokov a môžu ovplyvniť aj čistenie odpadových vôd. Všetky typy pien majú rozdielne ekologické parametre, a to z dôvodu ich zložiek, ktoré určujú mieru biologickej odbúrateľnosti. Aj ekotoxikologické testovanie na *Sinapis alba* dokázalo, že už nízka koncentrácia penidla sa vyznačuje značnou toxicitou.

LITERATÚRA

- [1] BALOG, K. *Hasiace látky a jejich technológie*. Ostrava : Edice SPBI Spektrum, 2004. ISBN 80-86634-49-3
- [2] CONEVA, I. Pena - hasiaca látka. In *Fire Engineering Proceedings 1st International Conference*. Zvolen : Technická univerzita, 2002. ISBN 80-89051-05-7
- [3] MIKUŠOVÁ, K. Fyzikálne vlastnosti penidiel. In *Spravodajca: Protipožiarna ochrana a záchranná služba*, 2008, roč.39, č.3, s. 24 - 29.
- [4] STN-EN 1568: 2002, *Hasiace látky. Penidlá. Časť 1-4: Technické podmienky penidiel pre stredné, ľahké a ťažké peny na povrchové použitie na kvapaliny miešateľné a nemiešateľné s vodou*.
- [5] ORLÍKOVÁ, K. *Hasiva klasická a moderní*. Ostrava : Edice SPBI Spektrum, 2002. ISBN 80-

- 86111-93-8
[6] JIRKOVSKÁ, V. Posúdenie kvality penidiel. In *Zborník prác požiarnotechnickej stanice*, 1988, s. 54–56

Tento príspevok vznikol v rámci riešenia grantovej úlohy VEGA č. 1/0488/08 s názvom Environmentálne dopady hasiacich pien pri hasení požiarov v prírode.

ADRESA AUTORKY:

Ivana TUREKOVÁ, doc. Ing. PhD., MTF STU so sídlom v Trnave, e-mail: ivana.tureková@stuba.sk

RECENZENT:

Dagmar SAMEŠOVÁ, doc. Ing. PhD., PhD., TU vo Zvolene, Fakulta ekológie a environmentalistiky, e-mail: samesova@vsld.tuzvo.sk