

Marko Luščić

“Prijelaz na sintetička pjenila bez fluora (SFFF) - Uvod u tranziciju”

Opatija, 11.3.2024.

Sadržaj

Uvod - promjene na vidiku.....	2
Kako je sve počelo: Evolucija i važnost fluoriranih pjenila (AFFF) u gašenju požara.....	4
Razotkrivanje tajne PFOS-a - Od otkrića do posljedica	5
Otključavanje koda kvalitete: Kako prepoznati vrhunsko sintetičko pjenilo bez fluora za izvanrednu vatrogasnu učinkovitost	6
EN 1568/2018.....	7
1. Točka smrzavanja	8
2. Viskoznost (5.1).....	10
3. Površinska napetost (5.2)	11
4. Ekspanzija pjenila (5.3).....	12
5. 25%-tno vrijeme drenaže (5.3).....	12
6. Vatrogasni testovi (5.4).....	13
7. 25%-tno povratno sagorijevanje (5.4)	14
Nakon što ste pregledali izvješća o testiranju i odabrali pravi SFFF - što sada? Testirajte, testirajte, testirajte!	16
Epilog - prihvaćanje čišće budućnosti: učinkovita dekontaminacija PFAS-om za nesmetan prijelaz na SFFF.....	17
Literatura	19

Uvod - promjene na vidiku

Ulaskom u 2024. godinu, industrija pjenila suočava se s ključnim trenutkom u prijelazu s C6 na sintetička pjenila bez fluora (SFFF). Ova promjena, potaknuta zabrinutošću za okoliš i regulatornim zahtjevima, predstavlja značajnu prekretnicu za proizvođače, vatrogasce i industrijske dionike.

Istovremeno, proizvođači se bore sa sve užim regulatornim okvirom, ograničenjima i smanjenom dostupnošću osnovnih sirovina za proizvodnju. Kao rezultat toga, vodeći proizvođači koncentrata pjenila već su najavili da će ove godine obustaviti proizvodnju pjenila za gašenje požara koja sadrže PFAS. Ova odluka se usko naslanja na najave velikih globalnih kompanija u kemijskoj industriji da postupno ukinu proizvodnju PFAS kemikalija do kraja 2025. Tijekom proteklih pet godina, imao sam privilegiju surađivati s nizom industrijskih vatrogasaca, kako u zemlji tako i u inozemstvu. Tijekom tih interakcija dobio sam neprocjenjiv uvid u izazove s kojima se suočavaju usred ove tranzicije. Usred kakofonije informacija koje prožimaju naše profesionalno okruženje, postalo je sve očitije da se odabir ispravnog puta prema tranziciji na SFFF pokazao kao izazovan zadatak.

Ono što ovaj prijelaz čini složenim jest fragmentirana priroda dostupnih informacija. Pri prelasku na SFFF, dionici se često nalaze u situaciji da pretražuju višestruke izvore, nailazeći na informacije koje su, ili otvorene za različita tumačenja, ili su predstavljene stručnim jezikom sličnim onome što se može pronaći u pravnim ili znanstvenim raspravama.

Bujica informacija postaje posebno izražena kada se razmatraju propisi Europske unije (EU) u vezi s per- i polifluoroalkilnim tvarima (PFAS), kao što su Uredba EU 2019/1021, Uredba REACH, Uredba EU 2020/784, Uredba EU 2023/1608, i Uredba EU 2021/1297. Kratkim osvrtom na neke osnovne informacije iz navedenih uredbi, stječe se dojam zamršenosti propisa i prepreka koje oni predstavljaju za dionike u industriji:

1. (EU) 2019/1021 o perzistentnim organskim onečišćujućim tvarima i PFOS-u:

Ovaj propis, donesen 2019. godine, zamijenio je prethodnu zakonsku regulativu kako bi se uskladio s odlukama donesenima na UN-ovoj Stockholmskoj konvenciji. On predstavlja ključni korak prema ograničavanju prisutnosti PFOS-a i njegovih derivata u vatrogasnim pjenilima. Međutim, nametanje maksimalne dopuštene granice od 10 ppm za PFOS u smjesama postavlja temelje za izazove koje usklađenje nosi sa sobom, ostavljajući malo prostora za derogacije.

2. (EU) 2020/784 Delegirana uredba o PFOA:

Građena na temelju (EU) 2019/1021, ova delegirana uredba adresira prisutnost PFOA-e u vatrogasnim pjenilima. S postavljenom granicom od 25 ppb-a za PFOA u otopinama i strožim ograničenjima za povezane tvari, uredba ističe potrebu za prijelazom na pjenila koje ne sadrže PFOA. Međutim, rokovi za derogacije do 4. srpnja 2025. godine dodaju složenost situaciji, ostavljajući pritom dionike u žurbi da ispune nadolazeće i multiplicirajuće uvjete.

Uredba utvrđuje konkretne odredbe o upotrebi i zbrinjavanju koncentrata vatrogasnih pjenila koja sadrže PFOA, i relevantne su u središnjoj Europi:

1. Zabrana proizvodnje i distribucije: Od 4. srpnja 2020. godine, proizvodnja i distribucija vatrogasnih pjenila koji sadrže PFOA (C8) zabranjeni su u EU.
2. Zbrinjavanje postojećih zaliha: Postojeće zalihe vatrogasnih pjenila pohranjenih u originalnoj ambalaži trebalo bi odmah zbrinuti. Koncentrati pjenila koji se već nalaze u spremnicima smiju su se koristiti do 4. srpnja 2025. godine ali, uz određene uvjete:
 1. Ograničenja nakon 4. srpnja 2020. godine: Ponovno punjenje spremnika vatrogasnim pjenilima koja sadrže PFOA zabranjeno je. Takva pjenila ne smiju se koristiti u svrhu obuke, a fiksni sustavi u kojima su PFOA pjenila smiju se testirati samo ako se 100% generirane pjene prikupi i pravilno zbrine. Pjenila koje sadrže PFOA smiju se koristiti samo u stvarnim nesrećama tijekom gašenja požara klase B (zapaljive tekućine).
 2. Ograničenja nakon 1. siječnja 2023. godine: Fluorirana vatrogasna pjenila smiju se koristiti u samo u tijekom stvarnih požarnih nesreća i to pod uvjetom da se 100% generirane pjene prikupi i pravilno zbrine.
 3. Do 4. srpnja 2025. godine: Sva pjenila koja sadrže PFOA moraju se odbaciti i više se ne smiju držati niti koristiti unutar EU-a.

3. (EU) 2023/1608 koja se tiče PFHxS-a:

S fokusom na PFHxS (maksimalno prihvatljivo ograničenje od 25 ppm za njega i njegove soli u smjesama), ova uredba uvodi dodatne izazove za dionike. Uspostavljanje strogih granica i nedostatak izuzetaka doprinosi nastanku dodatnog regulatornog tereta prilikom rješavanja starih vatrogasnih pjenila.

Kada se uzmu u obzir sve informacije iz različitih uredbi koje se odnose na proizvodnju, skladištenje, testiranje, obuku i izlivanje pjene, ove regulacije, između ostalog, zajedno prikazuju pejzaž regulatorne fragmentacije i kompleksnosti. To dodatno otežava već izazovan zadatak prelaska s pjenila na bazi PFAS-a na SFFF. Različiti vremenski okviri, granice i zahtjevi navedeni u EU-ovom regulatornom okviru predstavljaju labirint konfuzije za dionike u industriji.

Osim toga, nedostatak centraliziranih smjernica i sveobuhvatnog nadzora dodatno doprinosi zbrci, ostavljajući dionike da se bore s različitim fragmentiranim informacijama raspršenim po različitim direktivama i amandmanima. Kao rezultat toga, praćenje evoluirajućih propisa i osiguranje usklađenosti postaje izazovna zadaća, ispunjena nesigurnošću i zbunjenošću.

Kroz ovaj članak, ciljам ponuditi skroman doprinos temeljen na mojem prethodnom iskustvu, pružajući osnovne smjernice za upravljanje predstojećim promjenama u vezi sa SFFF-om. Prije nego što se upustimo u složenosti tranzicije, osvrnut ćemo se kratko na prošlost kako bismo bolje razumjeli cjelokupni opseg ove teme. Nadam se da će ovaj članak pomoći svima koji traže bolje razumijevanje ove teme i da će moji uvidi biti korisni uvod u tranziciju do koje će neminovno vrlo skoro i doći.

Kako je sve počelo: Evolucija i važnost fluoriranih pjenila (AFFF) u gašenju požara

Kroz povijest vatrogastva određeni su događaji katalizirali značajan napredak u tehnologiji suzbijanja požara. Požar iz 1967. na nosaču zrakoplova USS Forrestal i požar na USS Enterpriseu iz 1969. poslužili su kao vjesnici potrebe za učinkovitim rješenjem protiv požara klase B koji uključuju ugljikovodike poput dizela i benzina. Iz pepela tih incidenata pokrenuta je potraga za vrhunskim pjenilom za gašenje požara. Odlučujući trenutak došao je kada je američka mornarica pokrenula istraživački projekt s ciljem razvoja potentnog rješenja za učinkovito gašenje požara B kategorije. Među konkurentima, 3M se istaknuo svojim revolucionarnim proizvodom poznatim kao Light Water, koji je kasnije prepoznat kao prvi AFFF na svijetu. Ova revolucionarno pjenilo pokazalo je nevjerovatnu učinkovitost gašenja i otpornost na povratno sagorijevanje, postavljajući novi standard u tehnologiji gašenja požara.



1: Požar na USS Forrestal

Prepoznajući iznimna svojstva AFFF-a, američko Ministarstvo obrane (DoD) usvojilo ga karakteristike novog pjenila kao mjerilo za stvaranje vatrogasnog standarda US MIL-F. Ova potvrda učvrstila je poziciju fluoriranog pjenila kao prvog izbora za suzbijanje požara klase B, te je također pridonijela njegovoj širokoj primjeni u različitim sektorima, uključujući vojne, petrokemijske i energetske industrije.

Ukratko, AFFF nudi niz pogodnosti koje ga čine iznimno učinkovitim alatom u gašenju požara:

1. Učinkovitost i brzo gušenje: AFFF pokazuje iznimnu učinkovitost u gašenju požara zapaljivih tekućina, poput onih koji uključuju benzin, ulje i avionsko gorivo. To postiže formiranjem tankog filma preko površine goriva, brzim širenjem i prenošenjem pjene kako bi ugušila požar i izolirala ga od kisika.
2. Suzbijanje isparavanja: Suzbijanjem isparavanja zapaljivih para iz tekućine, AFFF smanjuje rizik od ponovnog zapaljenja i sprječava eskalaciju požara.
3. Učinak hlađenja: AFFF pomaže u hlađenju požara, smanjujući njegovu temperaturu i minimalizirajući rizik od ponovnog zapaljenja ili eksplozije.
4. AR verzija za polarne otapala: U situacijama koje uključuju polarna otapala, pjenila otporna na alkohol AR AFFF koriste polimerni film kako bi spriječila miješanje alkohola s vodom iz pjene. Taj sloj polimernog filma osigurava stabilnost pjene i sprječava njezino uništenje, čime poboljšava učinkovitost u gašenju požara zapaljivih tekućina koje se miješaju s vodom.
5. Vrsta primjene: AFFF pokazuje raznolikost upotrebe jer se može primijeniti na različite vrste požara, uključujući požare klase A i požare klase B, što ga čini vrijednim alatom u različitim scenarijima gašenja požara.

6. Kompatibilnost i jednostavnost upotrebe: Zahvaljujući niskoj viskoznosti, AFFF je kompatibilan s većinom vatrogasne opreme i sustava isporuke, olakšavajući integraciju u operacije gašenja požara.

7. Dugotrajnost: AFFF se odlikuje dugotrajnošću čime omogućuje vatrogasnim postrojbama bezbrižnu pohranu budući da tijekom tog vremena izvrsno zadržava sve karakteristike, čime se osigurava spremnost za hitne situacije.

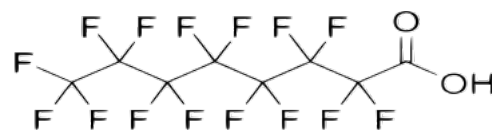
Fascinantna učinkovitost AFFF-a proizlazi iz "magičnih" sastojka: fluorosurfaktanata. Ove izvanredne komponente kemijskog sastava pjenila daju AFFF-u njegova iznimna svojstva, koja su ga čvrsto pozicionirala na tržištu već dugi niz godina. No, kao to obično i biva, vrijeme vladavine stare tehnologije primiče se kraju, a nova, ekološki prihvatljiva rješenja, već su na vratima.

Razotkrivanje tajne PFOS-a- Od otkrića do posljedica

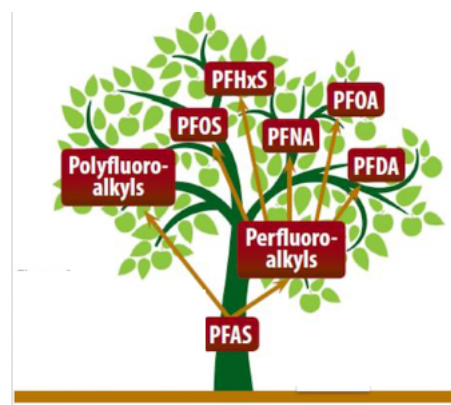
U središtu diskursa znanstvene zajednice, tijekom 1980-ih godina, počeo je izranjati neobičan fenomen koji je zainteresirao istraživače diljem svijeta. Otkriven je enigmatičan kemijski spoj prisutan u krvi i organima ljudi i životinja diljem svijeta, što je izazvalo intrige i zabrinutost među znanstvenom zajednicom. U znanstvenike se uvukla nesigurnost zbog nemogućnosti određivanja podrijetla i nedovoljno informacija o potencijalnim opasnostima spoja koje je, kako se čini, postao opće prisutan fenomen. Pokrenuta su iscrpna istraživanja te su, nakon godina temeljitog proučavanja, znanstvenici otkrili identitet ove čudne tvari: perfluorooktanskisulfonat poznatiji danas kao - PFOS, (dio kemijske obitelji PFAS).

Zapanjujuće, PFOS je detektiran u krvotoku gotovo svakog ljudskog stanovnika planeta, čime se postavljaju pitanja o njegovoj prevalenciji i implikacijama. Daljnje istraživanje rasvijetlilo je uznemirujuću stvarnost da PFOS nije samo opskuran element, već sveprisutni sastojak integriran u razne potrošačke proizvode, uključujući - koncentrate pjenila za gašenje požara. Ovo otkriće potvrdilo je široku izloženost PFOS-u i potaknulo hitna ispitivanja o njegovom utjecaju na ljudsko zdravlje i okoliš. Znanstveni konsenzus uskoro je i potvrdio ozbiljne implikacije izloženosti PFOS-u, identificirajući nekoliko zabrinjavajućih karakteristika:

1. Visoka postojanost/spora biološka razgradnja: PFOS je izuzetno postojan i teško se razgrađuje u okolini, što dovodi do njegovog dugotrajnog nakupljanja. Zbog sporog procesa razgradnje, takve kemikalije često se nazivaju i "vječnim kemikalijama", budući da je potrebno



2: Kemijska kompozicija PFOS-a



3: Obiteljsko stablo PFAS kemikalija

tisuće godina za potpunu razgradnju. Ova dugotrajna postojanost dodatno pogoršava dugoročne ekološke posljedice kontaminacije PFOS-om.

2. Bioakumulacija: PFOS se nakuplja u tkivima živih organizama tijekom vremena, što predstavlja rizik za ljude ali i za divlje životinje te cijelu cikliku prehrane živih organizama.

3. Toksičnost: PFOS je toksičan i za ljudsko zdravlje i za životnu sredinu. Dokazano je kancerogen i može izazvati ozbiljna oštećenja vitalnih organa kao što su jetra, bubrezi i mokraćni mjehur. Pored toga, izloženost PFOS-u povezana je s bolestima štitnjače, reproduktivnih organa, oštećenjem imunološkog sistema, visokim kolesterolom i drugim ozbiljnim zdravstvenim problemima.

4. Transport na velike udaljenosti: Zbog svoje visoke postojanosti i sposobnosti bioakumulacije, PFOS može prijeći velike udaljenosti putem vode, čime se uzrokuje kontaminacija na mjestima daleko udaljenim od početnog izvora. Dokazi o kontaminaciji PFOS-om pronađeni su čak i u krvi polarnih medvjeda i pingvina, što dokazuje da je fluor u ovom obliku sposoban prolaziti kroz različite ekosisteme te završiti i na mjestima gdje se najmanje očekuje.

Iako je globalna populacija, većinom, iskusila minimalnu izloženost PFAS kemikalijama i s njima povezanim rizicima, određene skupine ljudi u puno su većoj opasnosti od štetnih posljedica. Radnici u kemijskoj industriji i vatrogasci koji svakodnevno koriste proizvode na bazi PFAS-a izloženi su visokim razinama tih kemikalija. Nadalje, zajednice smještene u blizini zračnih luka, vojnih baza i industrijskih područja, gdje se AFFF često koristio, također su izložene povećanim rizicima i zdravstvenim izazovima.

S obzirom na navedeno, je li fer kriviti regulatore za njihove napore da uvedu promjene, bez obzira na financijske troškove i potencijalnu zabunu koju to može izazvati? Dugo nije bilo održivih alternativa za AFFF, a zaštita industrijskih mjesta (s obiljem zapaljivih tekućina) bila je neophodna za opće dobro. Međutim, s pojavom novih, učinkovitih i ekološki prihvatljivih rješenja status quo više nije održiv. Do nedavno, u nedostatku službenog imena, ovo inovativno rješenje bilo je poznato pod različitim deskriptivnim nazivima poput FFF, 3F i NFF (nefluorirana pjena). Sada ga svi zajedno znamo i po službenom nazivu - SFFF, sintetičko pjeno bez fluora.

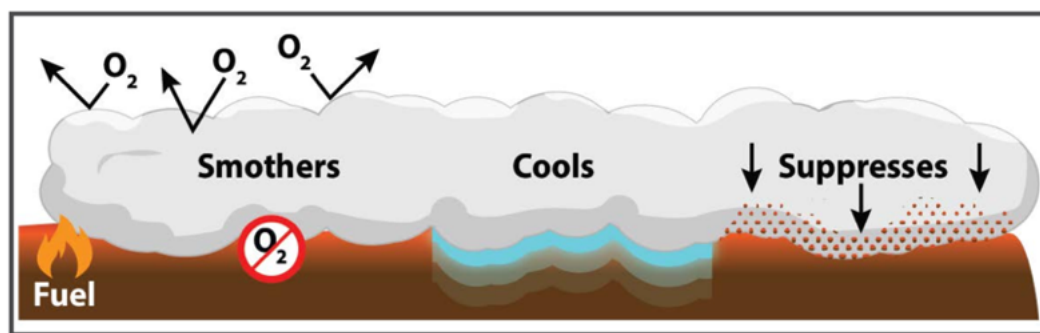
Otključavanje koda kvalitete: Kako prepoznati vrhunsko sintetičko pjeno bez fluora za izvanrednu vatrogasnu učinkovitost

Najveća razlika u performansama između AFFF-a i SFFF-a leži u njihovom kemijskom sastavu i rezultirajućim karakteristikama njihovih mjehurića.

Važno je prepoznati da kemije različitih pjena sadrže znatne varijacije. Zato je potrebno izbjegavati miješanje različitih koncentrata pjena, čak i onih od istog proizvođača, jer to može ugroziti stabilnost i učinkovitost pjene, posebno kod SFFF-a. Za razliku od pjena bez fluora, AFFF-a se najčešće proizvodi jako sličnom kemijom pa će, ako i dođe do miješanja pjena, učinak na kvalitetu pjene biti manje izražen. Kod SFFF-a je zato dosljednost u odabiru koncentrata pjena ključna za maksimiziranje učinkovitosti gašenja požara.

Dok se AFFF oslanja na fluorirane surfaktante tj na vodenasti film koji se brzo širi preko gorivih površina, noseći pjenu sa sobom, SFFF ne sadrži fluorirane surfaktante niti bilo kakve fluorirane spojeve. Umjesto toga, SFFF se fokusira na kvalitetu svojih pjenušavih mjehurića.

Kada se primijeni na požar, SFFF stvara debeli, pjenušavi pokrivač koji prekriva površinu goriva, učinkovito prekidajući opskrbu kisikom i sprječavajući oslobađanje zapaljivih para. Ovaj pjenasti pokrivač, bogat mjehurićima, pruža izvrsnu pokrivenost i izolaciju, što poboljšava učinkovitost u gašenju požara. Dodatno, AFFF i SFFF pokazuju učinak hlađenja zbog vodene komponente pjene, koja pomaže u apsorpciji topline iz požara. Međutim, karakteristike mjehurića SFFF-a doprinose njegovoj sposobnosti formiranja trajnog i učinkovitog pjenastog pokrivača, čineći ga posebno prikladnim za borbu protiv požara koji uključuju zapaljive tekućine (goriva na bazi ugljikovodika). Postoje i AR SFFF-ovi koji su idealni za borbu protiv ugljikovodika i polarnih otapala (ketoni, esteri, alkoholi).



4: SFFF funkcije pjene

Radi osiguranja učinkovitosti i sigurnosti vatrogasnih koncentrata pjene, presudni su strogi procesi testiranja i odobravanja koji se primjenjuju diljem svijeta. Različiti standardi i certifikacijski postupci jamče prikladnost ovih koncentrata za gašenje požara, te se ne preporučuje njihova upotreba bez da je pjenilo ulistano ili odobreno kod regulatornog tijela. U Sjedinjenim Državama, NFPA-11 zahtijeva temeljito testiranje i odobrenje vatrogasnih pjenila, dok međunarodni standardi poput EN 1568 u Europi osiguravaju usklađenost koncentrata pjenila s propisanim standardima i omogućuju usporedbu različitih karakteristika pjenila. Stoga, u ovom trenutku kada se razmatra tranzicija na SFFF, iznimno je važno, kao prvi korak u procesu odabira odgovarajućeg pjenila, znati kvalitetno očitati informacije iz testnog izvješća EN 1568.

EN 1568/2018

EN 1568:2018, zajedno sa svojim prethodnikom EN 1568:2008, predstavlja sveobuhvatnu europsku normu precizno dizajniranu za ispitivanje i mjerenje svojstava pjenila. Ovaj standard obuhvaća niz detaljnih testova osmišljenih za procjenu ključnih pokazatelja performansi, kao što su učinkovitost gašenja požara, vrijeme povratnog sagorijevanja, 25% vremena drenaže, dinamička viskoznost i niz drugih kritičnih parametara. Samo ovlašteni laboratoriji smiju provoditi ova ispitivanja (i izdavati certifikate) kako bi osigurali da koncentrat pjenila

zadovoljavaju stroge standarde kvalitete, čime se podižu standardi učinkovitosti i sigurnosti u gašenju požara.

Prve stranice izvješća o ispitivanju sadrže vitalne podatke o pjenilu, uključujući pojedinosti o proizvođaču, nazivu pjene, vrsti klasifikacije, datumu ispitivanja i opsegu provedenih ispitivanja. Dodatno, na samom početku izvješća (točka 5.1) nalazi se iscrpan pregled općih karakteristika pjena. Unutar ovih karakteristika posebna se pozornost pridaje dvama važnim parametrima: točki smrzavanja i viskoznosti.

Kennwert <i>Characteristic</i>	Anforderung EN 1568:2018 <i>Requirement EN 1568:2018</i>	Messwert der Prüfstelle <i>Measured value of the laboratory</i>	Anforderung erreicht (Ja/Nein) <i>Requirement met (Yes/No)</i>
Sediment: <i>Sediment</i>			
vor Alterung Vol.-% <i>before ageing</i>	≤ 0,25	0	Ja Yes
nach Alterung Vol.-% <i>after ageing</i>	≤ 1,00	0	Ja Yes
Proben durch 180 µm-Sieb dispergierbar (Ja/Nein) <i>Samples through 180 µm-sieve dispersible (Yes/No)</i>	Ja Yes	Ja Yes	Ja Yes
Gefrierpunkt °C <i>Freezing point</i>		- 9,1	
Messunsicherheit <i>uncertainty</i> 0,5°C			
Dyn. Viskosität mPa·s (20 °C) <i>Dyn. viscosity mPa·s (20 °C)</i>		142	siehe Hinweis <i>see note</i>
(10 °C)		187	
(0 °C)		263	
(-5 °C)		337	
(-8 °C)		327	
Messunsicherheit <i>uncertainty</i> dynamisch <i>dynamic</i> 1%			
pH-Wert (20 °C) <i>pH</i>	6,0 – 9,5	7,75	Ja Yes
Messunsicherheit <i>uncertainty</i> 0,01			
Dichte g/cm ³ (20 °C) <i>Density</i>		1,0429	
Brechungsindex n ^D ₂₀ <i>Refraction index</i>		1,3729	

5: 5.1 Generalne karakteristike koncentrata

1. Točka smrzavanja

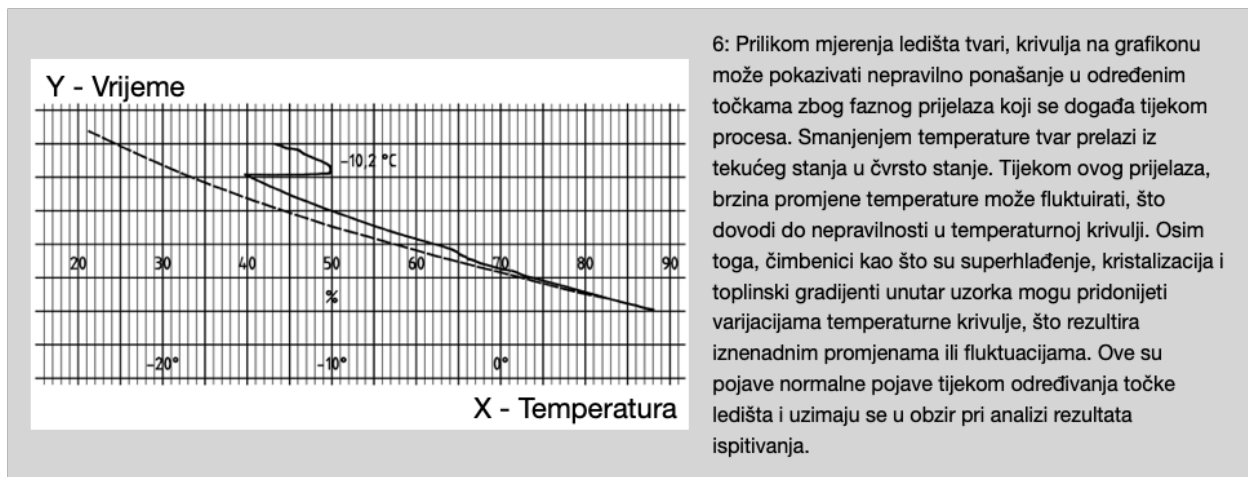
Svrha i postupak:

Određivanje točke ledišta koncentrata pjene za gašenje požara zahtijeva precizan postupak ispitivanja. Uzorak koncentrata stavlja se u tikvicu opremljenu termometrom i miješalicom. Tikvica se zatim uroni u kupelj za hlađenje koja može postići temperature ispod minus 30°C.

Temperatura kupelji za hlađenje se podešava tako da bude malo ispod očekivane točke smrzavanja koncentrata. Kako se uzorak hladi, njegova se temperatura kontinuirano prati i iscrtava se graf temperature u odnosu na vrijeme. Najviša točka na temperaturnoj krivulji odgovara točki smrzavanja koncentrata.

Značaj rezultata:

Točka smrzavanja je parametar koji utječe na upotrebljivost koncentrata u hladnim okruženjima. Niža točka smrzavanja ukazuje na bolju otpornost na smrzavanje, osiguravajući da koncentrat ostaje učinkovit čak i na temperaturama ispod ništice. S druge strane, koncentri pjenila s višim točkama smrzavanja mogu postati manje učinkoviti ili se čak zamrznuti u hladnim uvjetima, čineći ih neupotrebljivima u svrhu gašenja požara. Tumačenje rezultata ispitivanja točke smrzavanja ključno je za odabir odgovarajućeg koncentrata pjenila za operacije gašenja požara. Koncentrati s nižim točkama smrzavanja poželjni su za upotrebu u regijama s hladnom klimom ili tijekom zimskih mjeseci.



Scenarij iz prakse

U svijetu izvan laboratorija, veliki spremnici, kao što su IBC (1000 L), nude dodatnu izolaciju, omogućujući koncentratu da izdrži ekstremno niske temperature dulje vrijeme. Međutim, ako se pojave ekstremni vremenski uvjeti, to može izazvati potencijalne rizike prilikom opskrbe vodom, ugrožavajući cijeli sustav zaštite od požara čak i prije nego što koncentrat postane problem. Nadalje, skladištenje spremnika pjenila u kontroliranim zatvorenim prostorima (zatvoreno skladište) daje dodatnu zaštitu od vanjskih temperaturnih fluktuacija. U slučaju da se koncentrat pjenila smrzne, potrebno je procijeniti njegovu kvalitetu nakon vraćanja u prvobitno, tekuće stanje. Kvalitetne pjene dizajnirane su za sigurno otapanje bez ugrožavanja svojih protupožarnih svojstava, čime zadržavaju svoju učinkovitost.

2. Viskoznost (5.1)

Koncept viskoznosti ima veliku važnost u raspravama o gašenju požara, posebno u vezi s jednostavnošću upotrebe, što izravno utječe na sposobnost pravilnog umješavanja pjenu s vodom unutar induktora ili proporcionera.

Fluidi se općenito klasificiraju u dvije kategorije: newtonske i ne-newtonske. Ne-Newtonove tekućine možemo dalje podijeliti na pseudoplastične, dilatantne i viskoelastične tekućine.

Newtonske tekućine održavaju konstantnu viskoznost bez obzira na primijenjenu brzinu smicanja ili naprezanje. Brzina smicanja označava brzinu kojom se susjedni slojevi tekućine pomiču jedan u odnosu na drugi pod vanjskom silom ili naprežanjem. Jednostavno rečeno, mjeri koliko se brzo tekućina deformira ili pomiče. Voda je idealan primjer Newtonske tekućine, budući da njezina viskoznost ostaje dosljedna u različitim uvjetima, bez obzira na promjene u brzini protoka ili primijenjenoj sili. Vrijedno je napomenuti da određeni FFF-ovi, koji su vrlo učinkoviti za požare kategorije A, i pokazuju umjerenu učinkovitost za požare kategorije B, pokazuju karakteristike Newtonove viskoznosti.

Pseudoplastične tekućine karakterizira smanjenje viskoznosti s povećanjem brzine smicanja. Dinamička viskoznost, koja mjeri otpor tekućine prilikom različitog smicanja, korelira s pseudoplastičnim ponašanjem. Kako se brzina smicanja povećava, dinamička viskoznost pseudoplastične tekućine se smanjuje, što olakšava protok. Dodatno, više temperature mogu dodatno smanjiti dinamičku viskoznost u pseudoplastičnim tekućinama, poboljšavajući njihove karakteristike protoka.

Na primjer, zamislite da uzmete bocu ketchupa tijekom toplog dana (sobna temperatura od 30°C). U početku ketchup teče sporo. Međutim, dok tresete bocu, kečap počinje brže teći zbog povećane brzine smicanja, što u kombinaciji s povišenom temperaturom prostorije uzrokuje smanjenje njegove dinamičke viskoznosti. To sve rezultira s bržim protokom.

Nasuprot tome, ketchup pohranjen na nižoj temperaturi i izložen istom smicanju pokazao bi sporiji protok zbog malo veće dinamičke viskoznosti nego u prethodnom primjeru.

Kada se uspoređuje dinamička viskoznost različitih SFFF formulacija, kao što je navedeno u izvješćima o ispitivanju, ključno je ispitati podatke pod istim uvjetima brzine smicanja i temperature kako bi se osigurala točnost i valjanost usporedbe. Kao industrijski standard, usporedbe dinamičke viskoznosti obično se provode pri brzini smicanja od 375 s⁻¹ (simulacija kretanja pjenu u vatrogasnom vozilu u pokretu) i na 20°C. Opća preporuka je ciljati dinamičku viskoznost od maksimalno 140 mPas ili nižu pod gore navedenim uvjetima kako bi se zajamčila optimalna izvedba doziranja i miješanja.

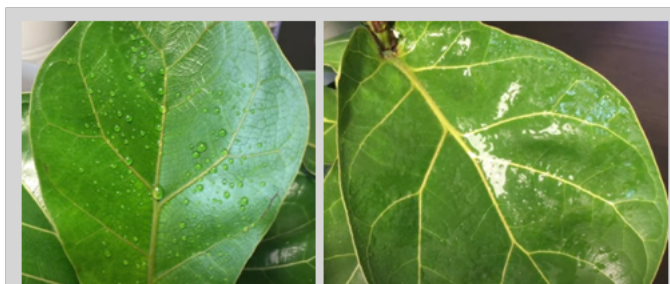
Shear rate (s ⁻¹)	75	150	225	300	375	450	525	600
Test temperature (°C)	20							
Shear stress (Pa)	20,68	27,84	33,40	39,77	44,54	49,31	52,49	57,26
Viscosity (mPas)	275,59	185,55	148,45	132,55	118,77	109,57	100,00	95,41

7: Dinamička viskoznost kod brzine smicanja od 375 s⁻¹ i na temperaturi od 20 °C

3. Površinska napetost (5.2)

Površinska napetost (navedena u 5.2 dijelu izvješća o ispitivanju) značajno utječe na sposobnost vlaženja pjenila, posebno kada se miješa u koncentraciji u rasponu od 0,1% do 0,6%. Takva pjenila mogu smanjiti površinsku napetost vode sa 70 mN/m na 23 mN/m, što rezultira povećanjem učinkovitosti vode (i do 4 puta) u borbi protiv požara klase A. Evo kako niža površinska napetost vode tj. viša sposobnost vlaženja utječe na sposobnost gašenja požara klase A:

1. Sprječavanje paljenja: vlaženjem drva prije izbijanja vatre ono postaje otpornije na paljenje.
2. Prodor: drvo, budući da je porozno, sadrži brojne sićušne prostore između svojih vlakana, što omogućuje brzo širenje vatre kroz materijal. Pjena s izvrsnom sposobnošću vlaženja može prodrijeti duboko u te pore, osiguravajući da voda dopre do najtoplijih dijelova vatre i ugasi skrivene plamenove.
3. Hlađenje: temeljito navlaženje površine drva olakšava brzo hlađenje. Ovaj učinak smanjuje temperaturu drva, smanjujući pritom i vjerojatnost ponovnog paljenja tj sprječavajući daljnje širenje vatre.
4. Sprječavanje ponovnog paljenja: čak i nakon što se vidljivi plamen ugasi, tinjajući žar može ostati u drvu. Učinkovito vlaženje osigurava temeljito gašenje ovih žarova, smanjujući rizik od ponovnog zapaljenja i sprječavajući ponovno rasplamsavanje vatre.



8: List biljke poprskan samo vodom i list biljke poprskan vodom kojoj je smanjena površinska napetost.

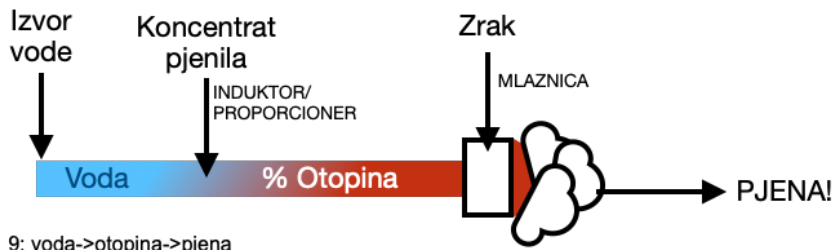
Korištenje pjenila u višim koncentracijama, obično u rasponu od 1% do 6%, rezultira stvaranjem pjene s poboljšanim protupožarnim sposobnostima, posebno učinkovitim protiv požara ugljikovodika. Ova pjena ne samo da širi mjehuriće kako bi prekrila vatru, već također iskorištava svoju sposobnost vlaženja za učinkovito miješanje s ugljikovodičnim gorivima. Kroz proces emulgiranja (sličan miješanju ulja i vode u preljevu za salatu), pjena inkapsulira ili zaključava gorivo, što dovodi do njegovog razrjeđivanja i povećanja njegovog flash pointa tj točke paljenja čime se smanjuje rizik od ponovnog paljenja. Međutim, važno je napomenuti da se gorivo i sredstvo za vlaženje mogu s

vremenom odvojiti, pod utjecajem čimbenika kao što su vrsta goriva, temperatura i koncentracija korištenog sredstva za vlaženje.

U odjeljku 5.3 izvješća o ispitivanju, navedeni su podaci o brzinama ekspanzije pjene i vremenu odvodnje.

4. Ekspanzija pjenila (5.3)

Omjer ekspanzije odnosi se na omjer gotove pjene stvorene iz određenog volumena otopine pjenila nakon ekspanzije zrakom iz uređaja za stvaranje pjene. Ovaj proces uključuje dodavanje zraka otopini pjenila što povećava njen volumen i dovodi do proizvodnje gotove pjene. Omjer ekspanzije kvantificira povećanje volumena postignuto tijekom ovog procesa, odražavajući sposobnost ekspanzije pjene.



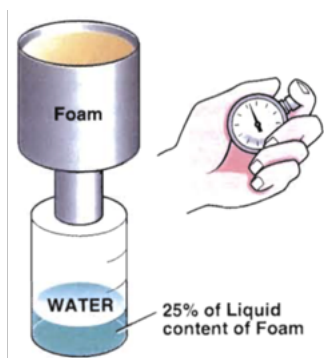
9: voda->otopina->pjena

<p>10: Ekspanzija otopine pjenila</p>	<p>Odjeljak 5.3.1 EN 1568-dio 1:2018 bavi se pjenom srednje ekspanzije Omjer ekspanzije je od 20:1 do 200:1 Prilagodno za suzbijanje isparavanja opasnih kemikalija Kriterij prolaza: Uspješno položen ispit.</p> <p>Odjeljak 5.3.2 EN 1568-dio 2:2018 bavi se pjenom visoke ekspanzije Omjer ekspanzije je >200:1 Prilagodno za gašenje požara u zatvorenim prostorima poput podruma, rudnika i područja na brodu Kriterij prolaza: Uspješno položen ispit.</p> <p>Odjeljak 5.3.3 EN 1568-3. dio, 4:2018 bavi se pjenom niske ekspanzije Omjer ekspanzije kreće se od 3:1 do 20:1 Idealno za gašenje požara zapaljivih tekućina (klasa B) Kriterij prolaza: Uspješno položen ispit.</p>
---------------------------------------	---

5. 25%-tno vrijeme drenaže (5.3)

U svakom od gore navedenih dijelova provodi se kritično mjerenje 25%-tnog vremena drenaže. Ova metrika precizno procjenjuje stabilnost pjene generirane točnim umješavanjem pjenila s pitkom i morskom vodom te ispuštanjem pri određenim omjerima ekspanzije. Precizno se mjeri vrijeme potrebno da se volumen pjene smanji za 25% od svog početnog volumena. Viša vrijednost u ovoj metrici iznimno je važna jer omogućava vatrogascima dulje vrijeme stabilnosti pjene čime se smanjuje potreba za reapičiranjem iste kako bi se održala stabilnost mjehurića.

Štoviše, dulje vrijeme drenaže ne samo da povećava sigurnost vatrogasaca, već osigurava i vrhunsko obuzdavanje požara, naglašavajući pritom robusnost pjene i pružajući izuzetnu kontrolu nad vrućim površinama. Dodatno, u nekim slučajevima, mjeri se i 50% vremena drenaže.



11: Mjerenje 25%-tnog vremena drenaže

Kennwert		Messwert der Prüfstelle
Characteristic		Measured value
Anwendungskonzentration Usage concentration	%	3
Versuche unter Verwendung künstlichen Süßwassers		
Tests using simulated fresh water		
25 %-Entwässerungszeit 25 %-drainage time	min:s	unbehandelte Probe untreated sample
		70:55
		Probe behandelt nach Anhang E EN 1568:2018 Sample conditioned according to annex E EN 1568:2018
		Probe oberer Teil Top sample
		66:53
		Probe unterer Teil Bottom sample
		70:10
Messunsicherheit uncertainty	2s	
Anforderung nach Abschnitt 10.2 b) EN 1568-3,-4:2018 erreicht Requirement according to clause 10.2 b) EN 1568-3,-4:2018 met	(Ja/Nein) (Yes/No)	Ja Yes
Versuche unter Verwendung künstlichen Meerwassers		
Tests using simulated sea water		
25 %-Entwässerungszeit 25 %-drainage time	min:s	unbehandelte Probe untreated sample
		49:27
		Probe behandelt nach Anhang E EN 1568:2018 Sample conditioned according to annex E EN 1568:2018
		Probe oberer Teil Top sample
		45:09
		Probe unterer Teil Bottom sample
		51:11
Messunsicherheit uncertainty	2s	
Anforderung nach Abschnitt 10.2 d) EN 1568-3,-4:2018 erreicht Requirement according to clause 10.2 d) EN 1568-3,-4:2018 met	(Ja/Nein) (Yes/No)	Ja Yes

12: Sekcija 5.3.3 / nisko ekspanzivna pjena / dio 3&4 / vrijeme 25%-tne drenaže. U ovom primjeru, vrijeme 25%-tne drenaže, kada se pomiješa s vodom iznosi 70 minuta i 55 sekundi, dok s morskom vodom iznosi 49 minuta i 27 sekundi. Ovi rezultati pokazuju iznimnu stabilnost pjene.

6. Vatrogasni testovi (5.4)

Odjeljak 5.4 bavi se sveobuhvatnom procjenom učinka pjene u požaru i njezinim povratnim izgaranjem.

U ovom dijelu se ispituje učinkovitost suzbijanja požara primjenom pjene u određenoj koncentraciji i unaprijed određenom omjeru ekspanzije. Ova procjena uključuje analizu brzine kojom se vatra može ugасiti i vremena koje je potrebno da ponovno počne gorjeti.

U odjeljku 5.4.1 (Srednje ekspanzivna pjena, EN 1568-1:2018) dane su informacije o vremenu koje je potrebno pjeni, produciranoj u zadanom omjeru (s pitkom i morskom vodom) i ispuštenoj pri srednjoj ekspanziji, za gašenje određenog požara. Nakon 60 sekundi slobodnog vremena gorenja, pjena se oslobađa i ako je vrijeme gašenja kraće od 120 sekundi, a vrijeme 1% povratnog gorenja duže od 30 sekundi, test je prošao.

7. 25%-tno povratno sagorijevanje (5.4)

25%-tno vrijeme povratnog sagorijevanja odnosi na vrijeme potrebno da se pjena, koja okružuje zapaljeni spremnik, rasprši tj da se vatra proširi iz zapaljenog spremnika na preostalo područje prekriveno pjenom (i time uništi 25% opožarene površine te opet rasplamsa vatru).



13: Zapaljenje, normalno gorenje, rašireno gorenje, 25% opožarene površine pjene.

U odjeljku 5.4.2 (Visoko ekspanzivna pjena, EN 1568-2:2018) dane su informacije o vremenu koje je potrebno pjeni, produciranoj u zadanom omjeru (s pitkom i morskom vodom) i ispuštenoj pri visokoj ekspanziji, za gašenje određenog požara. Nakon 60 sekundi slobodnog vremena gorenja, pjena se oslobađa i ako je vrijeme gašenja kraće od 150 sekundi, test je prošao.

U odjeljku 5.4.3 (Nisko ekspanzivna pjena, EN 1568-3:2018) dane su informacije o vremenu koje je potrebno pjeni, produciranoj u zadanom omjeru (s pitkom i morskom vodom) i ispuštenoj pri niskoj ekspanziji, za gašenje određenog požara. Protokol testiranja uključuje korištenje posude za vatru dimenzija 4,52 m² u kojoj se nalazi zapaljeni heptan. Razdoblje izgaranja od 60 sekundi utvrđuje se kao dio postupka. Nanošenje pjene može se izvesti direktno ili indirektno. U slučaju indirektnog nanošenja, ispuštena pjena usmjerava se prema ploči postavljenoj iznad posude za vatru, odakle se odbija u posudu. Nasuprot tome, kod metode direktnog nanošenja, pjena se ispušta izravno u posudu za vatru.

Nakon uspješnog gašenja požara provodi se test 25%-tnog ponovnog sagorijevanje. Nakon završetka procesa gašenja, ocjene učinkovitosti dodjeljuju se na temelju dva kriterija:

- Učinkovitost gašenja: označena ocjenama I+, I, II i III, pri čemu se I i I+ smatraju najboljima
- Otpornost na povratno sagorijevanje: označena ocjenama A, B, C i D, pri čemu se A smatra najboljom ocjenom.

Slijedom toga, IA ili I+A prepoznate su kao najviše moguće ocjene u EN 1568-3:2018, pri čemu IA ima najveću ocjenu u EN 1568-3:2008.

Kennwert <i>Characteristic</i>	Ergebnis der Prüfstelle <i>Result obtained by the laboratory</i>	
	künstliches Süßwasser <i>simulated fresh water</i>	künstliches Meerwasser <i>simulated sea water</i>
Anwendungskonzentration % <i>Usage concentration</i>	3	
Löschleistungsklasse <i>Extinguishing performance class</i>	I	I
Rückbrandbeständigkeitsstufe <i>Burn-back resistance level</i>	A	A
Anforderung nach Abschnitt 11 EN 1568-3:2018 erreicht (Ja/Nein) <i>Requirement according to clause 11</i>	Ja	Ja
EN 1568-3:2018 met (Yes/No)	Yes	Yes

14: Učinkovitosti gašenja i otpornosti na povratno sagorijevanje pokazuju ocjenu: IA (pitka voda)/ IA (morska voda)

U odjeljku 5.4.4 (Nisko ekspanzivna pjena, EN 1568-4:2018) dane su informacije o vremenu koje je potrebno pjenu, produciranoj u zadanom omjeru (s pitkom i morskom vodom) i ispuštenoj pri niskoj ekspanziji, za gašenje požara na polarnim otapalima tj na zapaljivim tekućinama koje se miješaju s vodom. Protokol testiranja uključuje korištenje posude za vatru dimenzija 1,72 m² u kojoj se nalazi zapaljeni aceton ili izopropanol. Razdoblje izgaranja od 120 sekundi utvrđuje se kao dio postupka. Nakon uspješnog gašenja požara provodi se test ponovnog sagorijevanja. Nakon završetka procesa gašenja, ocjene učinkovitosti dodjeljuju se na temelju dva kriterija:

- Učinkovitost gašenja, označena ocjenama I, II
- Otpornost na povratno sagorijevanje, predstavljena ocjenama A, B i C.

Kennwert Characteristic	Ergebnis der Prüfstelle Result obtained by the laboratory				
Anwendungskonzentration <i>Usage concentration</i>	%	3			
		künstliches Süßwasser <i>simulated fresh water</i>	künstliches Meerwasser <i>simulated sea water</i>		
		Aceton <i>acetone</i>	Isopropanol <i>isopropanol</i>	Aceton <i>acetone</i>	Isopropanol <i>isopropanol</i>
Löschleistungsklasse <i>Extinguishing performance class</i>		I	I	I	I
Rückbrandbeständigkeitsstufe <i>Burn-back resistance level</i>		A	A	A	A
Anforderung nach Abschnitt 11 EN 1568-4:2018 erreicht (Ja/Nein) <i>Requirement according to clause 11</i>		Ja	Ja	Ja	Ja
EN 1568-4:2018 met (Yes/No)		Yes	Yes	Yes	Yes

15: Učinkovitosti gašenja i otpornosti na povratno sagorijevanje pokazuju ocjene:
za aceton IA (pitka voda)/ IA (morska voda)
za izopropanol IA (pitak voda)/ IA (morska voda)

Nakon što ste pregledali izvješća o testiranju i odabrali pravi SFFF- što sada? Testirajte, testirajte, testirajte!

Nakon pažljivog pregleda EN 1568 izvješća o ispitivanju i temeljitog upoznavanja sa sadržajem testnog izvješća, imperativ je naglasiti važnost provođenja dodatnih ispitivanja na odabranom SFFF-u. Nakon što se napravi usporedba između različitih SFFF opcija korištenjem izvješća o ispitivanju EN 1568, sljedeći ključni korak podrazumijeva izravno testiranje pjena u praktičnim scenarijima.

Bitno je priznati nužnost testiranja pjena u stvarnim situacijama kako bi se osigurala njihova učinkovitost i prikladnost za specifične primjene u gašenju požara. Ovaj proces testiranja bi u idealnom slučaju trebao uključivati prisutnost proizvođača pjene ili stručnjaka iz industrije, čija stručnost može ponuditi vrijedne uvide i zapažanja.

Nadalje, važno je prepoznati da iako izvješća o ispitivanju EN 1568:2018 ili 2008 daju vrijedne podatke, ona ne moraju uvijek savršeno odražavati učinkovitost pjena u stvarnim scenarijima gašenja požara. Odstupanja između izvješća o ispitivanju i stvarnih svojstava pjene mogu nastati zbog različitih čimbenika, uključujući uvjete okoline, metode primjene, interakciju pjene s različitim vrstama vatre i varijacije opreme. Dodatno, EN 1568 ne mjeri "spreadability" tj brzinu i efikasnost širenja gotove pjene po površini požara, što je još jedan ključni aspekt koji treba uzeti u obzir.

Ova spoznaja naglašava potrebu za oprezom, budući da se prave mogućnosti proizvoda često otkrivaju tek testiranjem na terenu. Oslanjanjem samo na teoretske podatke, izvješća o

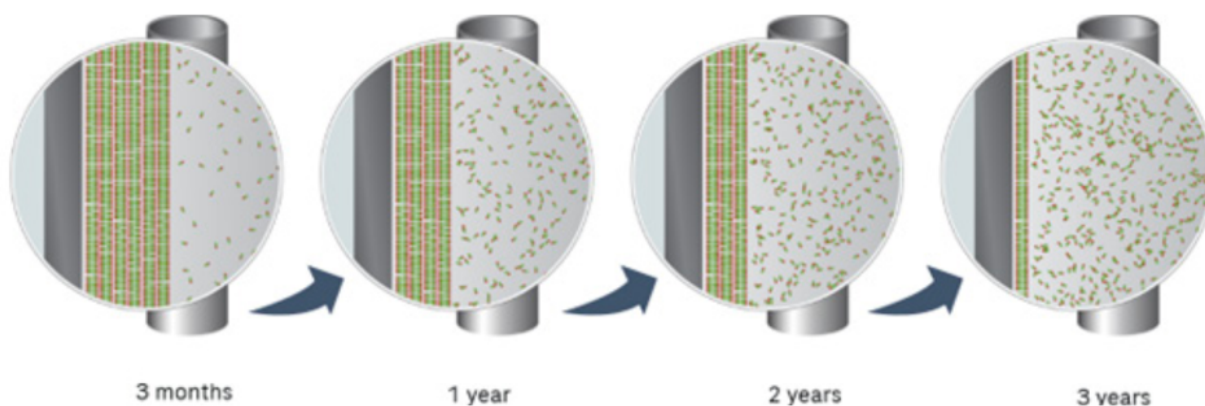
ispitivanju ili marketinške tvrdnje definitivno se neće stvoriti potpuna slika o učinkovitosti pjenila. Stoga je provođenje dodatnih testova u stvarnim uvjetima ključno za donošenje informiranih odluka o odabiru i korištenju pjenila za gašenje požara, čime se u konačnici povećava operativna učinkovitost i sigurnost.

Osim provođenja daljnjih testova na odabranom SFFF-u, bitno je od proizvođača zatražiti izvješće o biorazgradivosti. Ovo izvješće pruža uvid u to koliko brzo se pjena biološki razgrađuje u prirodi, što je ključno za pitanja o ekološkoj prihvatljivosti. Nadalje, bitno je osigurati da se odabrani SFFF proizvodi u zasebnom pogonu kako bi se spriječila kros kontaminacija s pjenilima na bazi PFAS-a, dajući prioritet sigurnosti okoliša i usklađenosti s propisima.

Štoviše, s obzirom na to da je prelazak na SFFF svojevrsni projekt, svaka lokacija trebala bi biti pregledana od strane stručnog vatroinženjera i to je neophodno za pripremu učinkovitog projekta prijelaza na SFFF. Ključno je razumjeti da SFFF nije samo instant zamjena za AFFF. SFFF u ovom slučaju je zapravo projekt. I upravo zato stručnjak vatrozaštite mora razviti sveobuhvatan plan za prelazak lokacija na SFFF, uzimajući u obzir faktore kao što su infrastruktura, kompatibilnost opreme, zahtjevi za obuku i usklađenost s propisima. Ovaj proaktivni pristup osigurava gladak prijelaz na SFFF i maksimizira njegovu učinkovitost u scenarijima gašenja požara u stvarnom svijetu.

Epilog- prihvaćanje čišće budućnosti: učinkovita dekontaminacija PFAS-om za nesmetan prijelaz na SFFF

Dok se industrije pripremaju za tranziciju, putovanje prema sigurnijem i ekološki prihvatljivijem rješenju za gašenje požara počinje zapravo učinkovitom dekontaminacijom PFAS-a. Puko ispiranje vodom, iako je nekoć bila uobičajena praksa, ne eliminira tvrdokorne ostatke PFAS duboko ukorijenjene u opremi za gašenje požara.



16: Projecirano otpuštanje PFAS-a u SFFF - kros kontaminacija (iz članka Ian Rossa - How clean is clean, u zadnjem izdanju Catalyst-a.

Trajni izazov leži u slojevima PFAS-a koji tvrdoglavo prijanjaju na površine opreme, što predstavlja značajan rizik od kontaminacije čak i nakon opetovanih pokušaja ispiranja. Posljedice neadekvatne dekontaminacije su dalekosežne te dovode u opasnost čistoću novog SFFF pjenila (kros kontaminacija) ali i potencijalno ugrožavaju njegovu učinkovitost (miješanje kemija). Osim toga, stvaranje velikih količina otpadne vode pune PFAS-a zahtijeva skupe mjere zbrinjavanja, dodatno naglašavajući hitnost za održivijim rješenjem.

Specijalizirani kemijski agensi, razvijeni nedavno, pokazali su neusporedivu učinkovitost u brznoj i sveobuhvatnoj dekontaminaciji protupožarnih sustava, osiguravajući usklađenost sa zakonskim ograničenjima uz smanjenje proizvodnje otpada. S ovim inovativnim rješenjima, industrijska postrojenja mogu napraviti tranziciju na SFFF, čuvajući pritom operativnu učinkovitost i integritet okoliša.

U modernom okruženju vatrozaštite, napredak u tehnologiji otvorio je nova vrata u rješavanju stalnog izazova kontaminacije PFAS-om. Uz inovativne metode i alate koji su nam na raspolaganju, industrije sada imaju sredstva za direktno rješavanje problema povezanih s PFAS-om.

Specijalizirane tvrtke, koristeći ovaj tehnološki napredak, spremne su podržati industrije na njihovom putu prema sustavima za gašenje požara bez PFAS-a. Kroz kombinaciju najsuvremenijih tehnologija i pedantnih procesa, ove tvrtke nude sveobuhvatna rješenja za dekontaminaciju koja jamče iskorjenjivanje ostataka PFAS-a. Ovo predstavlja značajan korak naprijed u osiguravanju ekološke održivosti i usklađenosti s propisima.

Uz jamstvo temeljite dekontaminacije i naknadnih testova koji potvrđuju odsutnost ostataka PFAS-a, industrijska postrojenja mogu sigurno prigrliti budućnost bez zabrinutosti za kontaminaciju.

Razvoj tehnologije osnažio je industrije da se učinkovito pozabave problemom PFAS-a, označavajući ključni trenutak u stalnim nastojanjima da se stvori sigurnije i čišće okruženje za sadašnje i buduće generacije.

Literatura

Angus Fire (2024). Coverting Fixed Foam Systems to Fluorine Free Foam Concentrate. *The Catalyst*, 65-68. <https://www.joiff.com/the-catalyst/>

Bayliss, P. (2024). Can SFFF Be a Full “Drop-in” replacement for AFFF?. *The Catalyst*, 71-74. <https://www.joiff.com/the-catalyst/>

Garris, D. A. (2024). Selecting the right Non-Fluorinated foam Solutions. *The Catalyst*, 30-34. <https://www.joiff.com/the-catalyst/>

Kidde Fire Fighting. A Firefighter’s Guide to Foam. *National Foam*. <http://foamtechnology.us/Firefighters.pdf>

Leonhard, Dr. T. (2024). PFAS - still time to care, or should we care now?. *The Catalyst*, 60-64. <https://www.joiff.com/the-catalyst/>

Oshaughnessy, J. & Calveley, M. 2024). Water vs. Chemical Decontamination - achieving an affective transition. *The Catalyst*, 68-70 <https://www.joiff.com/the-catalyst/>

Ross, I. (2024). How Clean is Clean. *The Catalyst*, 56-59 <https://www.joiff.com/the-catalyst/>

Valtonnen, J. (2024). Management of Change to Fluorine-Free Foams. *The Catalyst*, 17-20. <https://www.joiff.com/the-catalyst/>

Synthetic Fluorine Free Foam - a comprehensive reference guide for the professional firefighter (2021). *National Foam*.