

SUSTAV ZA GAŠENJE POŽARA VODENOM MAGLOM

Šincek, Luka

Master's thesis / Specijalistički diplomski stručni

2025

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Karlovac University of Applied Sciences / Veleučilište u Karlovcu**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:128:289004>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-31**



VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
Karlovac University of Applied Sciences

Repository / Repozitorij:

[Repository of Karlovac University of Applied Sciences - Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

Veleučilište u Karlovcu
Odjel sigurnosti i zaštite
Stručni diplomski studij Sigurnost i zaštita

Luka Šincek

SUSTAV ZA GAŠENJE POŽARA VODENOM MAGLOM

DIPLOMSKI RAD

Karlovac, 2025.

Karlovac University of Applied Sciences
Safety and Protection Department
Professional graduate study of Safety and Protection

Luka Šincek

WATER-MIST FIRE EXTINGUISHING SYSTEM

Master thesis

Karlovac, 2025

Veleučilište u Karlovcu
Odjel sigurnosti i zaštite
Stručni diplomski studij Sigurnost i zaštita

Luka Šincek

SUSTAV ZA GAŠENJE POŽARA VODENOM MAGLOM

DIPLOMSKI RAD

Mentor: Lidija Jakšić, mag. ing. cheming.

Karlovac, 2025.



Stručni diplomski studij: Sigurnost i zaštita

Usmjerenje: Zaštita od požara

Karlovac, 2025.

ZADATAK DIPLOMSKOG RADA

Student: Luka Šincek

Matični broj: 0420421013

Naslov: **SUSTAV ZA GAŠENJE POŽARA VODENOM MAGLOM**

Opis zadatka:

U radu pod nazivom *Sustav za gašenje požara vodenom maglom* objasniti koje vrste stabilnih sustava postoje te koji se sve mediji koriste za gašenje požara. Također, detaljno će biti opisan sustav za gašenje požara vodenom maglom, povijest samog uređaja, od kojih se dijelova sastoji te gdje se najčešće koristi. Za pisanje završnog rada će se prikupiti i proučiti stručna literaturu.

Zadatak zadan:
Travanj, 2024.

Rok predaje rada:
Veljača, 2025.

Predviđeni datum obrane:
Ožujak, 2025.

Mentor:
Lidija Jakšić, mag. ing. cheming., pred.

Predsjednik Ispitnog povjerenstva:
dr. sc. Zvonimir Matusinović, prof. struč. stud.

PREDGOVOR

Završni rad s temom *Sustav za gašenje požara vodenom maglom* nastao je u suradnji s mentoricom Lidijom Jakšić kojoj ovim putem zahvaljujem na povjerenju, uloženom trudu i vremenu te svim korisnim savjetima tijekom pisanja rada.

Zahvaljujem i Veleučilištu u Karlovcu i svim profesorima na kvalitetom znanju stečenom kroz svih pet godine.

Mojoj obitelji zahvaljujem se na trudu, strpljenju, pomoći i velikoj podršci tijekom cijelog studiranja.

SAŽETAK

Ovaj rad bavi se istraživanjem, analizom i primjenom sustava za gašenje požara vodenom maglom, koji predstavlja jedno od najučinkovitijih i ekološki prihvatljivih rješenja u modernoj zaštiti od požara. Sustav se temelji na korištenju finih kapljica vode pod visokim tlakom, koje omogućuju brzo hlađenje požara, smanjenje koncentracije kisika u zapaljivom području te sprječavanje širenja toplinskog zračenja. U usporedbi s konvencionalnim metodama gašenja, poput sprinkler sustava, vodena magla troši znatno manje vode, čime se minimizira sekundarna šteta uzrokovana gašenjem. Rad pruža detaljan pregled stabilnih sustava za gašenje požara te analizira prednosti i nedostatke različitih metoda gašenja, uključujući sustave bazirane na kemijskim sredstvima, plinovima i vodom. U radu su detaljno opisane ključne komponente sustava za gašenje požara vodenom maglom, poput mlaznica, visokotlačnih pumpi, cjevovoda, spremnika za vodu i kontrolnih jedinica. Objasnjen je princip rada sustava, uključujući mehanizme hlađenja, istiskivanja kisika i blokiranja prijenosa topline, koji zajedno osiguravaju učinkovito gašenje požara i smanjenje njegovog širenja.. Jedan od ključnih dijelova rada posvećen je prednostima i izazovima primjene ovog sustava u praksi. Pored tehničkih i ekonomskih aspekata, rad se bavi i regulatornim zahtjevima te standardima koji definiraju dizajn, testiranje i certificiranje sustava vodene magle. S obzirom na njegovu visoku učinkovitost i ekološku održivost, sustav za gašenje požara vodenom maglom sve se češće koristi u zaštiti kritične infrastrukture, industrijskih postrojenja, kulturnih i povijesnih objekata te modernih građevina.

Ključne riječi: sustav za gašenje požara, vodena magla, visokotlačni sustavi, mlaznice, pumpe, cjevovodi, spremnici za vodu, kontrolne jedinice, stabilni sustavi gašenja

SUMMARY

This paper explores the research, analysis, and application of water mist fire suppression systems, which represent one of the most effective and environmentally friendly solutions in modern fire protection. The system is based on the use of fine water droplets under high pressure, enabling rapid fire cooling, reduction of oxygen concentration in the combustible area, and prevention of heat radiation spread. Compared to conventional fire suppression methods, such as sprinkler systems, water mist consumes significantly less water, minimizing secondary damage caused by extinguishing. The paper provides a detailed overview of fixed fire suppression systems and analyzes the advantages and disadvantages of different extinguishing methods, including systems based on chemical agents, gases, and water. It thoroughly describes the key components of water mist fire suppression systems, such as nozzles, high-pressure pumps, pipelines, water tanks, and control units. The working principle of the system is explained, including cooling mechanisms, oxygen displacement, and heat transfer blocking, which together ensure effective fire suppression and prevent its spread. One of the key sections of the paper focuses on the advantages and challenges of applying this system in practice. In addition to technical and economic aspects, the paper also addresses regulatory requirements and standards that define the design, testing, and certification of water mist systems. Due to its high efficiency and environmental sustainability, the water mist fire suppression system is increasingly used in the protection of critical infrastructure, industrial facilities, cultural and historical buildings, and modern structures.

Key words: fire suppression system, water mist, high-pressure systems, nozzles, pumps, pipelines, water tanks, control units, fixed fire suppression systems

SADRŽAJ

ZADATAK DIPLOMSKOG RADA	I
PREDGOVOR	II
SAŽETAK	III
SUMMARY	IV
1. UVOD	1
1.1. Predmet i cilj rada	1
2. STABILNI SUSTAVI	2
2.1. Sustav za gašenje požara pomoću NOVEC 1230	2
2.2. Sprinkler sustavi	3
2.3. Sustav za gašenje požara pomoću CO₂	4
2.4. Sustav za gašenje požara pomoću inergena	5
2.5. Sustav za gašenje požara pomoću argonita	6
2.6. Sustav za gašenje požara pomoću FM 200	6
2.7. Sustav za gašenje požara pomoću aerosola	7
2.8. Sustav za gašenje požara vodenom maglom	8
3. SUSTAV ZA GAŠENJE POŽARA VODENOM MAGLOM	10
3.1. Povijest uređaja i početak primjene	10
3.1.1. Rani dani prije 1950.	10
3.1.2. Razdoblje između godina 1950.-1970	11
3.1.3. Razdoblje između godina 1970.-1990.	11
3.1.4. Razdoblje između godina 1990.-2008.	13
3.2. Komponente sustava	15
3.2.1. Mlaznice	15
3.2.1.1. Visokotlačna mlaznica za vodenu maglu otvorenog tipa	15
3.2.1.2. Visokotlačna mlaznica za vodenu maglu zatvorenog tipa	16
3.2.2. Visokotlačne pumpe	17
3.2.3. Cjevovodi	17
3.2.4. Spremnici za vodu	18
3.2.5. Kontrolne jedinice	18
3.3. Princip rada	18

3.4. Sprinklera pumpna jedinica (SPU)	19
3.4.1. Glavni dijelovi	19
3.4.2. Upravljački ormar	22
3.4.3. Upute za rad	24
3.4.3.1. Sustav u stanju mirovnja	24
3.4.3.2. Pokretnje	24
3.4.3.2.1. Automatsko pokretanje	24
3.4.3.2.2. Ručno pokretanje - daljinsko	24
3.4.3.2.3. Ručno pokretanje - lokalno	24
3.4.4. Održavanje	25
3.5. Plinska pumpna jedinica (GPU)	26
3.5.1. Princip rada	26
3.5.2. Prednosti GPU-a u sustavima vodene magle	26
3.5.3. Primjena GPU-a u sustavima gašenja požara vodenom maglom	27
3.6. Akumulatorska jedinica u strojarnici (MAU)	28
3.6.1. Vrste pražnjenja	29
3.6.2. Primjena sustava	29
3.7. Mjesta primjene	30
3.7.1. Zaštita od požara u zgradama	30
3.7.2. Zaštita od požara za podatkovne centre, komunikacijske sustave, IT područja	31
3.7.3. Kabelski tuneli	32
3.7.4. Industrijska postrojenja - proizvodni sustavi, CNC centri, preše, turbine, generatori, pumpe, ispitne ćelije motora	32
3.7.5. Transportni sustavi - pokretne trake i montažne linije	33
3.7.6. Zaštita od požara u prehrambenoj industriji	33
3.7.6. Transformatori	34
3.7.7. Lakirnice	34
3.7.8. Cestovni tuneli	35
3.7.9. Željeznički tunel	35
3.7.10. Sigurnost podzemnog prometa	35
3.8. Benefiti sustava za gašenje požara vodenom maglom	37

4. ZAKLJUČAK	39
5. LITERATURA	41
6. PRILOZI	42
6.1. Popis simbola	42
6.2. Popis slika	42
6.3. Popis tablica	42

1. UVOD

1.1. Predmet i cilj rada

Sustavi s vodenom maglom su sustavi za suzbijanje požara koji koriste vrlo male kapljice vode za gašenje ili kontrolu požara. Ove kapljice su učinkovite u kontroli požara zato što troše manje vode i imaju manje cijevi od standardnog sustava raspršivača zbog povećanih učinaka hlađenja, istiskivanja kisika i prethodnog vlaženja koje osigurava veličinu i raspodjelu kapljica. Neke dodatne prednosti protupožarnih sustava vodene magle uključuju smanjenu štetu uzrokovanu vodom i mali utjecaj na okoliš, dok je jedan od nedostataka veći tlak u sustavu. Veličina kapljice za sustave s vodenom maglom može varirati između 1000 mikrona i 10 mikrona. Ova mala veličina kapljica smanjuje potrebnu količinu nanošenja, pojačava isparavanje i pomaže u smanjenju razine kisika u gašenju vidljivih i skrivenih požara.

Sustavi s vodenom maglom već se dugo koriste za specifične primjene (kao što je pomorstvo), ali počevši od sredine 1990-ih napredak u korištenju sustava s vodenom maglom bio je potaknut postupnim ukidanjem halona i njihovom upotrebom kao protupožarnog sustava za prostore u kojima je količina vode koja se može pohraniti ili ispustiti ograničena. Osim toga, postoji dugačak popis aplikacija u kojima su sustavi vodene magle navedeni za upotrebu, uključujući sljedeće: Prostorije strojeva, turbine za izgaranje, industrijski štednjaci na ulje, računalne učionice, prostorije s opremom za obradu podataka, kemijske nape, preše za drvene ploče, brodske putničke kabine i hodnici, smještaj na brodu i javne površine, cestovni tuneli, tuneli za provođenje kabela i mnogi drugi.

Predmet ovog rada je istražiti dostupnu literaturu vezanu uz sustave za gašenje požara vodenom maglom.

2. STABILNI SUSTAVI

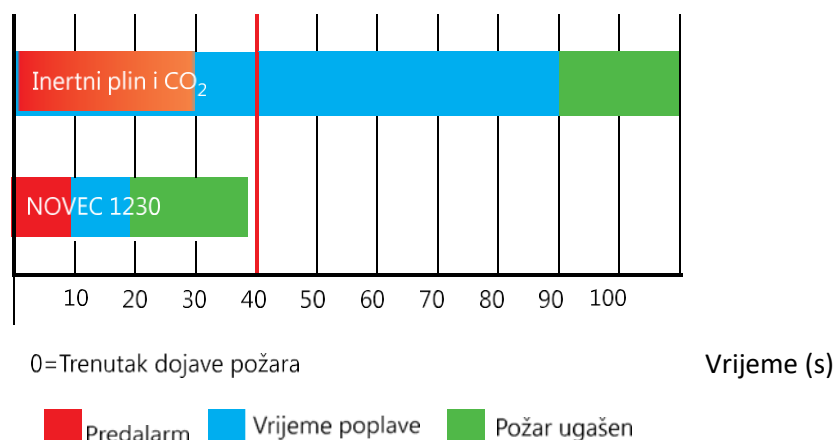
2.1. Sustav za gašenje požara pomoću NOVEC 1230

Novec 1230 sintetičko je kemijsko sredstvo za gašenje požara koje se skladišti u bocama u tekućem stanju, a ispušta se kao plin. S obzirom na to da ne sadržava vodu, poznat je i pod nazivom voda bez vode, odnosno suha voda. Novec gasi vatru po principu hlađenja uklanjanjem topline iz trokuta gorenja. Miješanjem Novec-a 1230 sa zrakom nastaje plinska smjesa koja ima veći toplinski kapacitet od zraka, a ta smjesa prilikom povećanja temperature apsorbira veliku količinu energije [1].

Važno je napomenuti da se ispuštanjem Novec-a ne smanjuje koncentracija kisika u prostoriji što sprječava opasnost od nestanka zraka odnosno zagušivanja, a za gašenje je potrebna niska koncentracija. Prelazak iz tekućeg u plinovito stanje odvija se otprilike 50 puta brže nego kod vode. Novec je čisto sredstvo za gašenje požara, te je vrlo siguran za upotrebu u prostorijama u kojima ljudi konstantno borave. U prostoriju ugroženu požarom ispušta se u roku od šest do deset sekundi, te se zbog njegovih svojstava u gašenoj prostoriji neće smanjiti vidljivost niti ugroziti disanje, što ljudima omogućuje da je sigurno napuste [1].

Za uspješno gašenje požara potrebna je mala koncentracija, odnosno mala količina sredstva Novec 1230 (Slika 1). Korištenje Novec-a može se podijeliti na četiri područja: na protupožarnu zaštitu imovine velike vrijednosti, na mjesta gdje bi upotreba drugih sredstava za gašenje požara mogla prouzrokovati štetu; na situacije u kojima je bitno da sredstvo za gašenje požara zauzima čim manje mjesta za pohranu (primjerice u zrakoplovima) te sve druge situacije u kojima se mora koristiti nevodljivo sredstvo za gašenje požara [1].

Sustavi za gašenje požara sredstvom Novec mogu se naći u arhivima, umjetničkim galerijama, knjižnicama, na mjestima gdje se čuvaju vrlo vrijedne stvari, u računalnim centrima i serverskim prostorijama, kod pružatelja internetskih usluga, nuklearnim elektranama, financijskim institucijama i bankama, sefovima, u kontrolama zračnog prometa, zračnim lukama i brojnim drugim objektima [1].



Slika 1. usporedba gašenja požara inertni plin i CO₂ naspram NOVEC 1230 [1]

2.2. Sprinkler sustavi

Sprinkler je aktivan stabilni uređaj za gašenje uz pomoć vode, namijenjen je gašenju požara ili sprječavanju nastanka većih požara u poslovnim i industrijskim zgradama, hotelima, bolnicama te stambenim zgradama svih veličina. Prvi sprinkler sustav postavljen je 1812. g. u kazalište Theatre Royal u Londonu. Do 1940. g. upotrebljavali su se isključivo u komercijalnim odnosno poslovnim objektima za koje su vlasnici dobivali popuste na premije osiguranja radi njegove učinkovitosti. Naknadno su se sprinkler sustavi počeli upotrebljavati i u hotelima, bolnicama i školama da bi se u današnje vrijeme upotrebljavali i u svim objektima u kojima boravi puno ljudi, odnosno u svim objektima koji imaju velike požarne sektore zato što može pružiti propisanu razinu sigurnosti od požara. Sprinkler sustavi mogu biti i manji te su takvi sustavi pogodni za ugradnju u domaćinstva. U slučaju povišene temperature uslijed požara ampula (Slika 2.) u glavi sprinklera puca, otvara se ventil i iz mlaznice se raspršuje voda sve do dolaska vatrogasaca koji zatvaraju glavni ventil te je iz tog razloga sustav izuzetno pouzdan jer se ne pokreće bez potrebe. Prednost sprinkler sustava je u tome što se aktivira parcijalno odnosno aktiviraju se samo mlaznice na mjestu gdje je nastao požar. Voda je zbog svoje odlične apsorpcijske energije vrlo učinkovito sredstvo gašenja, no kod standardnih sprinkler ustava većina raspršene vode beskorisno otječe te može poplaviti mjesto požara. Zbog upotrebe velikih količina vode cijevi sustava gašenje moraju biti velikog promjera i potreban je veliki rezervoar za vodu. Slabost sustava je i sporo aktiviranje (dugo vrijeme reakcije), jer se ampula zagrijava na temperaturu aktivacije tek kada je požar značajnih dimenzija. Postoji

više tipova sprinkler sustava. Dijelimo ih prema namjeni objekta i vrsti materijala za gašenje. Neki od tipova sprinkler sustava su mokri, suhi, serijski (tandemski), kombinirani brzi-suhi, unaprijed upravljani (engl. pre-action) i sustavi s daljinskim upravljanjem (engl. deluge) te vodena magla [1].



57 °C / 135 °F	Orange
68 °C / 155 °F	Red
79 °C / 174 °F	Yellow
93 °C / 200 °F	Green
141 °C / 286 °F	Blue
182 °C / 360 °F	Purple

Slika 2. Ampule sprinkler sustava [2]

2.3. Sustav za gašenje požara pomoću CO₂

Pomoću plina CO₂ pruža se protupožarna zaštita prostora i objekata u kojima bi voda mogla prouzročiti štetu ili ako voda ne predstavlja adekvatno sredstvo za gašenje požara. Gašenje požara uz pomoć CO₂ koristi se već preko 80 godina i to za gašenje skladišta zapaljivih tekućina i plinova, električnih instalacija, strojnih alata, proizvodnih pogona, računalnih centara te osjetljive električne opreme. Prednost CO₂ je da pri kombinaciji s drugim tvarima ne stvara nikakve kemijske reakcije odnosno kemijske komponente[1].

CO₂ je sredstvo za gašenje koje ne stvara taloga i namijenjeno je zaštititi iznimno osjetljivih materijala. Kao sredstvo za gašenje, CO₂ djeluje na principu otpuštanja kisika, što onemogućava gorenje. Količina kisika u prostorima i zemaljskoj atmosferi je 21 %, a kada se mjesto nastanka požara preplavi s CO₂ razina kisika brzo opada do 15 % ili manje, što sprječava daljnji razvoj požara. Takva vrsta gašenja požara iznimno je štetna za zdravlje ljudi koji se nalaze u prostoru za vrijeme gašenja zato što povećana koncentracija može izazvati trovanje [1].

2.4. Sustav za gašenje požara pomoću inergena

Inergen je mješavina plinova koju sačinjavaju dušik, argon i ugljikov dioksid. Požar gasi vrlo slično kao i CO₂, tako da koncentraciju kisika smanji na razinu između 12 % i 15 %. Inergen sustavi rade na principu da otkriju i ugase vatru u početnoj fazi požara, prije nego što nastane šteta, a koncentracijom sredstva za gašenje omogućava vrućim površinama u prostoru da se ohlade. Opskrba sredstvom za gašenje inergen priključena je na sustav (Slika 3.) cijevi s mlaznicama koje usmjeravaju sredstvo u zaštićen i zatvoren prostor. Svi plinovi od kojih se sastoji inergen prisutni su u prirodi tako da on ne oštećuje okoliš, a nema utjecaja ni na ljude u objektu kao npr. CO₂. Čovjeku je za disanje potrebno približno 10 % kisika, a pri ispuštanju plina inergen u prostor koncentracija kisika u zraku spušta se s uobičajenih 21 % na ispod 15 % i vatra se gasi. Ulogu razrjeđivanja kisika u inergenu imaju dušik i argon. Argon ima i sekundarnu ulogu. Zbog svoje velike specifične mase gustoću inergena približava gotovo na istu razinu na kojoj se nalazi gustoća zraka. Na taj se način inergenu onemogućava da ispari iz prostora i prikladna koncentracija sredstva za gašenje se u prostoru s uobičajenim brojem ljudi može održavati 10 minuta ili dulje. Požarni testovi u Danskoj, Francuskoj, Njemačkoj, Velikoj Britaniji i SAD-u pokazali su da inergen učinkovito gasi površinske požare razreda A, požare tekućina razreda B i požare razreda C. Kao iznimno čisto sredstvo za gašenje, koje ne oštećuje osjetljivu opremu i materijale te je istovremeno sigurno za ljude, inergen je posebno primjeren za zaštitu laboratorija, telekomunikacijskih prostora, računalnih centara, prostora s električnim sklopkama i distribucijskih prostora, arhiva i ostalih prostorima u kojima požar može prouzročiti veliku ekonomsku i gospodarsku štetu [1].

Inergen nije prikladan za gašenje požara materijala s atipičnim reakcijama sagorijevanja, a neki od tih materijala su:

- metali i kemikalije koje ne ovise o kisiku u atmosferi
- tinjajući požari drveta, papira, tekstila itd.
- materijali koji reagiraju s CO₂, kao alkalni metali i metalni hidridi [1].



Slika 3. Cilindri inergena povezani u sustav [1]

2.5. Sustav za gašenje požara pomoću argonita

Argonit je plin za gašenje požara koji se sastoji od prirodnih plinova dušika i argona. Požar gasi na način da smanji koncentraciju kisika do ispod granice koja još uvijek omogućava gorenje, a nije opasna za zdravlje i život ljudi i životinja (otprilike 12 % preostalog kisika) [1].

Argonit je, za razliku od FM-200 i Novec 1230, potpuno prirodan plin, no potrebna je veća količina plina kojega je potrebno skladištiti pod visokim tlakom (do 300 bara) u plinovitom stanju. Sredstvo za gašenje ispusti argonit u prostor u 60 sekundi. Sustav za gašenje požara funkcionira i sastavljen je na način sličan kao kod sustava FM-200 ili Novec 1230 [1].

2.6. Sustav za gašenje požara pomoću FM 200

FM-200, heptafluoropropan s kemijskom oznakom HFC-227ea napravljen je da zamjeni halon 1301. Plin halon 1301 oštećuje ozonski sloj, opasan je za okoliš i na visokim temperaturama razgrađuje se na dva štetna spoja: HBr (vodikov bromid) i HF (vodikov fluorid) [1].

Plin za gašenje FM-200 ekološki je plin koji pri gašenju požara ne šteti okolišu, ljudima i osjetljivoj računalnoj opremi. Ovaj sustav za gašenje namijenjen je da spriječi uništavanje raznih predmeta u zatvorenim prostorima (računala, medicinska oprema i povijesni predmeti od velike vrijednosti) [1].

Princip gašenja plina FM-200 temelji se približno na 80 % fizikalnoj osnovi i 20 % na kemijskoj osnovi. FM 200 djeluje tako da smanjuje temperaturu tvari koja gori ispod temperature paljenja, zatim smanjuje i udaljava plamen od tvari koja gori i na kraju obustavlja gorenje. Uslijed vrlo brzog dovoda plina u prostoriju zahvaćenu požarom, dolazi do hlađenja plamena. Da bi se plin FM-200 mogao istisnuti iz čelične boce (Slika 4.) ubačen je čisti dušik i tlak je u boci sličan onome kod halona (otprilike 5 bara) [1].



Slika 4. Spremnik FM-200 [3]

2.7. Sustav za gašenje požara pomoću aerosola

Sredstvo za gašenje temelji se na tehnologiji ekološkog aerosola u prahu SFE (engl. Solid Fire Extinguishing), kao prihvatljiva zamjena (sredstvo za gašenje s potpunim ispunjavanjem) za halon. Raspoloživi su različiti modeli, namijenjeni gašenju i osiguravanju inertizacije za razrede požara A (kruta goriva), B (tekuća goriva), C (plinovita goriva) i E (električni uređaji) unutar ograđenih prostora. Potrebna koncentracija za različite vrste požara i veličina zaštićenog prostora određena je sadržajem krutog sredstva za gašenje SFE pojedine jedinice i ukupnog broja jedinica cjelokupnog

sustava. Sredstvo za gašenje, ispušteno iz sustava, je aerosol u prahu (100 gr/m³), razvijen na licu mjesta, koje s pomoću kemijske reakcije, bez mehanizma pod visokim tlakom, rasprši mikronske čestice (1 – 5 mikrona) suhog praha koje plutaju u inertnom plinu [1].

Za aktiviranje kemijske reakcije potrebna je visoka temperatura upaljača ili iskra. Osnovna jedinica proizvodi dostupne količine aerosola u prahu koji se upotrebljava za gašenje požara u zatvorenom prostoru veličine 10 m³. Malena je, sigurna, jednostavna za upotrebu i ne zahtijeva održavanje. Sustav se može spojiti na standardne dojavne i alarmne požarne sustavima, koji se mogu montirati unutar ili izvan zaštićenog prostora. Sredstvo za gašenje ne utječe štetno na ozon i nije otrovno, a istovremeno je cjenovno učinkovito. Sredstvo za gašenje upotrebljava se za gašenje u nadzornim sobama, električnim kabinetima, prostorima s pogonima i kompresorima, skladištima zapaljivih plinova i tekućina, skladištima s bojama, server sobama, pomorskim sustavima i telekomunikacijskim čvorovima [1].

2.8. Sustav za gašenje požara vodenom maglom

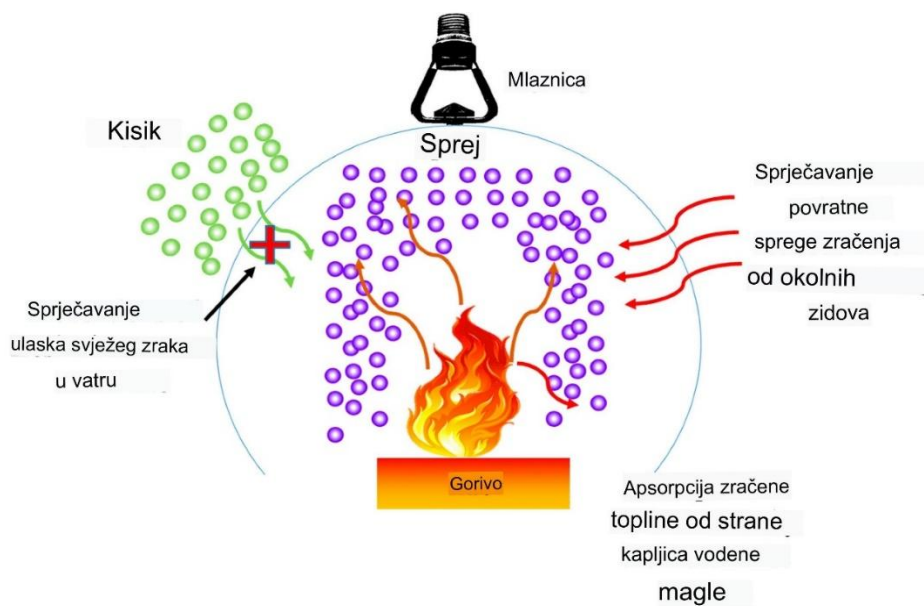
Voda je zbog svoje odlične apsorpcijske energije vrlo učinkovito sredstvo za gašenje. No njena učinkovitost tijekom upotrebe u klasičnim oblicima gašenja s cijevima i topovima, kao i kod uobičajenih sprinkler sustava i njima sličnima, iznimno je malena [1].

Veći dio vode ne obavi svoju ulogu gašenja već ostane neupotrijebljena, a samo se manji dio zaista upotrijebi za gašenje požaru. Posljedice takvih sustava su poplavljeni objekti zbog gašenja i šteta zbog poplavne vode, koja može biti veća od štete uslijed požara [1].

Također je poznato da se pri evakuaciji ljudi vrlo nerado kreću kroz područje u kojem se aktivirao sprinkler sustav koji raspršuje vodu. Sustav gašenja požara s visokotlačnom maglom funkcionira slično običnom sprinkler sustavu, no zahvaljujući sustavu za raspršivanje vode u obliku mikroskopskih kapljica ima puno prednosti: potrošnja vode je čak do 10 puta manja, gašenje se provodi hlađenjem, blokiranjem zračenja i smanjivanjem koncentracije kisika samo na mjestu gašenja (Slika 5.). Kapljice prodiru duboko u područje požara, ljudi mogu ostati u prostoriji i tijekom gašenja, šteta nakon požara je minimalna, što znači da se posao može nastaviti gotovo neometano, jer se ispire i dim i drugi proizvodi sagorijevanja. Cijeli sustav je iznimno pouzdan i zauzima malo prostora zahvaljujući činjenici da je cjevovod izrađen od nehrđajućih cijevi malih promjera koje se spajaju i bez varenja. Na prvi pogled moglo bi se pomisliti da je u mnogim

situacijama u kojima se upotrebljava gašenje vodenom maglom gašenje vodom u potpunosti zabranjeno, no to nije tako [1].

Budući da se radi o malom volumenu vode, veći dio vode ispari pri gašenju, sekundarne štete praktički nema, sustav vodene magle prikladan je za gašenje u umjetničkim galerijama sa slikama neprocjenjive vrijednosti, kao i u računalnim centrima. Kao zaštita od požara također se upotrebljava na svim luksuznim turističkim brodovima na kružnim putovanjima, većini putničkih brodova te brodovima za vojnu upotrebu. Sustav gašenja požara vodenom maglom upotrebljava se i u brojnim drugim situacijama: hoteli, bolnice, starački domovi, zračne luke, uredi, stambeni prostori, računalni i telekomunikacijski centri, muzeji i zgrade kulturne baštine, crkve i katedrale, neboderi, kabelski tuneli, cestovni i željeznički tuneli, zrakoplovni hangari i industrija svih vrsta [1].



Slika 5. Princip rada sustava za gašenje požara vodenom maglom [4]

3. SUSTAV ZA GAŠENJE POŽARA VODENOM MAGLOM

3.1. Povijest uređaja i početak primjene

3.1.1. Rani dani prije 1950.

Porijeklo moderne tehnologije vodene magle vodi natrag do upotrebe malih ili finih kapljica spreja. Prvi poznati pokušaji ručnog gašenja požara učinjeni su u SAD-u. Tvrtka FE Myers iz Ashland Ohio, SAD, već 1880. godine je prodavala sustav leđne naprtnjače s lancem koji proizvodi male kapljice vode za borbu protiv malih šumskih požara. Ova tehnologija stekla je veću reputaciju početkom 1900-tih kada su razvijeni oprema za pumpanje i novi materijali za brtvljenje. Više razine tlaka omogućile su stvaranje većih tokova raspršivača malih kapljica. Prvi pioniri također su prepoznali ekstremnu učinkovitost raspršivača malih kapljica u usporedbi s konvencionalnim sustavima prskalice. Već 1930-ih postojalo je nekoliko tvrtki koje su nudile sustave koji su primjenjivali fino atomiziranu vodu u obliku magle [5].

Tvrtka Lechler iz Metzingena u Njemačkoj predstavila je u to vrijeme isti ključ prednosti vodene magle (učinak hlađenja, istiskivanje kisika i mala oštećenja vodom) koje se i danas koriste kao glavni argumenti pri promicanju tehnologije vodene magle. Ključna Lechlerova inovacija bila je mlaznica s višestrukim otvorima nazvana mlaznica za vodenu prašinu. U to doba postojale su neke znanstvene i neznanstvene aktivnosti s raspršivačima malih kapljica s fiksnim instalacijama. 1940-ih inženjerski odjel Factory Mutuala izveo je seriju testova s malim mlaznicama za gašenje benzina od 19 MW. Uočeno je da je učinak usporediv s konvencionalnim prskalicama, pri čemu su stope protoka bile mnogo niže. Mnoge vatrogasne postrojbe u Europi i SAD- u usvojile su gašenje požara vodenom maglom kao ručnu strategiju gašenja požara. Taktiku gašenja požara vodenom maglom posebno je razvio američki marinski korpus 1940-ih [5].

Tijekom ranih dana gašenja požara vodenom maglom, učinkovitost vode u obliku magle već je bila dobro poznata. Gašenje požara vodenom maglom viđena kao moguća alternativa. Međutim, komercijalno i tehnički sustavi vodene magle još se nisu smatrali konkurentnima za fiksne instalacije. Ideja o zamjeni konvencionalnih raspršivača sustavima vodene magle nije bila izvediva u to vrijeme. Razine tlaka primijenjenih sustava još uvijek su bile znatno ispod onih današnjih sustava uglavnom zbog nedostatka odgovarajućih komponenti. Tehnologija vodene magle stoga se uglavnom primjenjivala za ručno gašenje požara [5].

3.1.2. Razdoblje između godina 1950.-1970.

Razvoj između godina 1950.-1970. može se općenito sažeti kao vrijeme nasumičnih napora, jer su postojale neovisne istraživačke aktivnosti u SAD-u i Europi. Međutim, te aktivnosti nisu bile sustavne nego su bile probe. Komercijalni interes također je još uvijek bio na niskoj razini. Glavni istraživački rad provodili su istraživački instituti i znanstvenici. Komercijalne tvrtke bile su rjeđe uključene. Glavni fokus i dalje je bio na konvencionalnim sustavima raspršivača, ali i na drugim novim tehnologijama kao što su prah i posebno sustavi koji koriste plinove. Međutim, bilo je nekih napora koje su poduzeli primjerice FM u SAD-u i A. Herterich u Njemačkoj. Također, DJ Rasbash je započeo svoj istraživački rad s fine kapljice sprejeva u ovom razdoblju. Postoje neka druga imena i istraživačke grupe koje su radile s vodenom maglom ili finim vodenim sprejevima u ovom vremenskom razdoblju, ali dokumentacija više ne postoji ili nije poznata autoru [5].

3.1.3. Razdoblje između godina 1970.-1990.

Razvoj gašenja požara vodenom maglom uvelike se promijenio tijekom tog razdoblja. Osnovno znanje o raspršivačima malih kapljica i njihovom učinku na vatru stekli su i javno objavili prvi pioniri prije mnogo godina. U međuvremenu je podrška tehnologijama poput hidrauličkih sustava koji koriste visoki tlak postala opće poznata u drugim industrijama. Logična posljedica bila je povećanje radnog tlaka sustava vodene magle kako bi se osiguralo više energije na mlaznicama za cijepanje vode i ubrzanje kapljica [5].

Postojalo je nekoliko odvojenih istraživačkih skupina koje su radile s tehnikama gašenja požara vodenom maglom istovremeno u različitim dijelovima svijeta. Vjerojatno neke skupine nisu ni znale za napore drugih uključenih u istu temu [5].

Glavna struja se mijenjala od nižih prema višim pritiscima. To je značilo da se veličina kapljica smanjuje. Imena kao što su Vincent, Beyler Pietrak&Patterson i Rasbash mogu se spomenuti u vezi s ovim istraživanjem gašenja požara finim raspršenim vodom. Vjerojatno manje poznato ime je Hans Joachim Herzog iz bivšeg DDR-a (Deutsche Demokratische Republik) koji je od početka 1980-ih intenzivno radio s vodenom maglom niskog i srednjeg pritiska. Proizvodi njegove tvrtke zapravo su ugrađeni u niz industrijskih i javnih zgrada poput npr. Leipzig Boćarski centar sredinom 1980-ih [5].

Međutim, razvojni rad s najjačim utjecajem na modernu tehnologiju vodene magle vjerojatno potječe iz Švedske. Tamošnji razvoj započeo je Krister Giselsson, učitelj švedske vatrogasne škole. Zajedno sa svojim kolegom Matsom Rosanderom razvio je novu taktiku ručnog gašenja požara u zatvorenom prostoru. Ovo takozvano ofenzivno gašenje požara temeljilo se na primjeni malih raspršivača kapljica u kratkim naletima kako bi se učinkovito ohladili plinovi izgaranja bez narušavanja toplinske ravnoteže ili stvaranja velikih količina vrele pare. Na temelju svojih eksperimenata za ručno gašenje požara Giselsson i Rosander počeli su razvijati fiksni sustav vodene magle početkom 1980-ih. Suradivali su s tvrtkom Electrolux Euroclean koja se bavila visokotlačnim čišćenjem. Electrolux Euroclean dobio je nadahnuće za razvoj sustava za gašenje požara visokotlačnom vodenom maglom kao rezultat nesreće u kojoj je njihova oprema za čišćenje korištena za gašenje friteze pod vatrom. Ključni ljudi u Electrolux Eurocleanu bili su Omar Vestli, Håkan Ungerth, Bengt Crener i Sten Hansen. Electrolux Euroclean nije imao znanja o vatrogasnom inženjerstvu pa su se oni savjetovali s Giselssonom. Giselsson je zauzvrat dobio podršku visokotlačne opreme od Electrolux Euroclean. Bilo je nekoliko požara testovi i demonstracije koje su organizirale ove dvije grupe programera u Švedskoj od 1981. do 1983. Electrolux Euroclean proveo je niz testova u švedskom istraživačkom institutu SP kako bi dokazao i pokazao učinkovitost nove tehnologije budući da nije bilo dostupnih referenci. Korišteni tlakovi bili su između 120 i 150 bara, a korištene su standardne industrijske mlaznice. Electrolux Euroclean je sredinom 1980-ih počeo razvijati vlastitu mlaznicu za vodenu maglu koja se aktivira staklenim balonom (sprinkler) . Naziv tvrtke promijenjen je u HTC nakon što su ključni ljudi koji se bave gašenjem požara kupili prava za gašenje požara vodenom maglom od Electrolux Eurocleana. HTC se fokusirao samo na zaštitu od požara visokotlačnom vodenom maglom [5].

Utjecaj nadolazeće promjene u razmišljanju o okolišu bio je uočen već krajem 1980-ih kada je potpisan Montrealski protokol. Tijekom kasnih 1980-ih napravljeni su i neki drugi pristupi sa sustavima finog raspršivanja, ali samo vrlo malo s iznimno finom atomiziranom vodom. Opsežan rad PG Papavergosa s raspršivačima malih kapljica koje stvara dvostruka tekućina kao primjer mogu se spomenuti mlaznice. Nadalje nadaleko poznata američka istraživanja zaštite zrakoplova.

Razdoblje od 1970. do 1990. može se sažeti kao vrijeme ranog razvoja moderne tehnologije vodene magle. Otkrivene su sve prednosti primjene posebno visokotlačne vodene magle i rani komercijalni sustav već je bio plasiran na tržište u Švedskoj. Tehnologija je u to vrijeme već bila vrlo napredna.

I mlaznice koje se aktiviraju toplinom (mlaznice s vodenom maglicom) bile su u svojim načelima dizajna vrlo slične one koje se danas mogu vidjeti na tržištu. Uglavnom se smanjila veličina mlaznica, a vrijeme aktivacije automatskih mlaznica je postalo kraće. Švedski pioniri koristili su male kapljice s različitim karakteristikama raspršivanja stvorene iz vode pod visokim pritiskom (80-280 bara) . Samo još nije bilo pravo vrijeme za proboj, ali su se vidjeli prvi znakovi promjene [5].

3.1.4. Razdoblje između godina 1990.-2008.

Godina 1990. vrlo je važna za povijest moderne tehnologije vodene magle. Kao i mnogo puta prije, promjenu je konačno potaknula katastrofa. Rano ujutro 7. travnja 1990. godine na putničkom trajektu “Scandinavian Star” izbio je ozbiljan požar. Rezultat ovog incidenta je da 40% (157 osoba) putnika nije preživjelo katastrofu. Ovo je bio posljednji alarm za pomorsku industriju i vlasti koji su razumjeli probleme povezane sa zajedničkim strategijama zaštite od požara. Količina vode potrebna i teška cjevovod je učinio gotovo neizvedivim korištenje “klasičnih” prskalica za zaštitu trajekata. Ovo je bilo vrijeme da pioniri predstave svoje rješenje. Ključni događaj vjerojatno su bile vatrogasne demonstracije u Bålsti u Švedskoj 20.6.1990. Demonstracije je provela nova tvrtka Ultrafog koju su osnovali Krister Giselsson, Sven Brutsner i Stephan Forsström. Fokus ove tvrtke bio je plasirati tehnologiju gašenja požara visokotlačnom vodenom maglom u pomorski sektor [5].

Prikazani su požari u kabinama s i bez upotrebe visokotlačnog sustava vodene magle, a demonstracijama su svjedočili brojni ljudi iz brodarskih kompanija, osiguravajućih društava, vatrogasno- spasilačkih službi i nekih drugih tvrtki iz pomorske industrije [5].

Na primjer, finska tvrtka Marioff KY, ovih je dana tvrtka za visokotlačne cijevi bila među pozvanim stranama na demonstracijama u Bålsti. Tek pola godine kasnije Marioff je započeo vlastiti razvoj proizvoda za gašenje požara vodenom maglom pod visokim pritiskom. Marioff je postao prva priča o komercijalnom uspjehu s gašenjem požara vodenom maglom potkrijepljeno njihovim znanjem o hidraulici i visokotlačnim cjevovodima [5].

Godine nakon požarnih demonstracija u Bålsti bile su vrijeme kada je nekoliko drugih tvrtki primijećeno da su uključene u rad s visokotlačnom vodenom maglom. Švedski pioniri su nastavili, ali također su barem danske, norveške, njemačke, engleske i japanske tvrtke ili razvijale i plasirale

na tržište visokotlačne sustave vodene magle. Prve velike nautičke instalacije za smještajne prostore realizirane su 1992. godine (m/s Danica, m/s Festival i m/s Karneval) [5].

Priču o uspjehu moderne tehnologije vodene magle na pomorskom tržištu podržao je IMO, Međunarodna pomorska organizacija, koja je prihvatila sustave vodene magle kao alternativu konvencionalnim prskalicama. Nekoliko rezolucija IMO-a tijekom 1994. i 1995. ubrzalo je korištenje vodene magle u pomorskoj industriji. Zahtjev za zamjenom halonskih sustava uzimao je maha tijekom istog vremenskog razdoblja, što je dovelo tehnologiju vodene magle u prostore strojeva i slične primjene također na obali [5].

Međutim, za širu upotrebu moderne tehnologije vodene magle bilo je potrebno puno više vremena za kopneno tržište nego za pomorski sektor. Važna polazna točka bio je prvi standard koji je stvorio NFPA. Rad na standardizaciji započeo je 1993. godine, a prvi standard NFPA750 za sustave zaštite od požara vodenom maglom objavljen je 1996. godine. Danas postoje i drugi standardi i službene smjernice za vodenu maglu poput FM5560, CEN TS14972, APSAD D2 i UPTUN 251. Područja primjene vodene magle od tada su se brzo povećala. Takve u prehrambenoj industriji bile su među prvim kopnenim primjenama. Ubrzo je tehnologiju usvojila IT industrija i građevine baštine. Ekološki i sigurnosni aspekti stalno su dobivali na važnosti što je posljedično ograničilo upotrebu različitih plinovitih sredstava za gašenje požara. Ovo je i dalje glavni pokretač daljnjeg razvoja moderne tehnologije vodene magle [5].

Osnivanje International Water Mist Association 1998. godine još je jedna važna prekretnica u povijesti moderne tehnologije vodene magle. Svrha IWMA je okupiti sve strane koje imaju interes u borbi protiv požara vodenom maglom. Danas su proizvođači, glavni istraživački instituti, vodeća tijela za izdavanje odobrenja, instalacijske tvrtke i inženjerski uredi dio IWMA-e. Zajednički promiču tehnologiju, istodobno dajući savjete o dobrim praksama kako bi njezina uporaba bila sigurna i učinkovita. Povećano zanimanje za vodenu maglu je dobro odražava se u razvoju IWMA; bilo je samo 5 korporativnih članova u 1998, danas ima više od 50 takvih u cijelom svijetu. Godišnja IWMA konferencija dobro je poznato mjesto susreta za industriju vodene magle [5].

Tijekom posljednjih 20 godina tržište modernih sustava vodene magle stalno raste. Prema tržišnim procjenama IWMA- e, sektor mora se počeo stabilizirati, iako su u posljednje vrijeme istražena neka nova područja primjene. Trenutačno najveći dio rasta dolazi od kopnenog tržišta i niza novih aplikacija. Vodena magla još uvijek predstavlja samo mali dio industrije zaštite od požara u

usporedbi s tržištem sprinklera i plinskih sustava za gašenje požara. Međutim, od protupožarnih demonstracija u Bålsti, Švedska, u lipnju 1990., moderna vodena magla neprestano se probijala i postala dobro prihvaćena tehnologija za zaštitu od rizika koji prethodno nisu bili zaštićeni, kao i alternativa tradicionalnim tehnikama. Mnoge prednosti moderne tehnologije vodene magle osnova su za nastavak ove uspješne priče [5].

3.2. Komponente sustava

3.2.1. Mlaznice

Mlaznice su ključna komponenta sustava za gašenje požara vodenom maglom. Njihova funkcija je pretvoriti vodu u vrlo fine kapljice pod visokim tlakom. Ove kapljice imaju veličinu između 10 i 100 mikrona, što povećava površinu hlađenja i brzinu isparavanja [6].

3.2.1.1. Visokotlačna mlaznica za vodenu maglu otvorenog tipa

Visokotlačna mlaznica za finu vodenu maglu (Slika 6.) sastoji se od tijela mlaznice, mlaznice, jezgre mlaznice i sita filtera i drugih dijelova. Nakon što određeni tlak vode uđe u mlaznicu kroz filtarsku mrežicu mlaznice, voda se pod pritiskom izbacuje iz otvora mlaznice velikom brzinom, što stvara snažno trenje s okolnim zrakom, a voda se raspada, stvarajući tako fino raspršenu vodenu maglu pod određenim kutom. Fina vodena magla raspršena visokotlačnom prskalicom za finu vodenu maglu pripada klasi I fine vodene magle. Visoki tlak, dobar difuzni učinak, vrijeme zadržavanja vodene magle nakon prskanja je dugo, u usporedbi s drugim mlaznicama, može smanjiti intenzitet gašenja požara i ima manju potrošnju vode. Visokotlačna mlaznica za vodenu maglu otvorenog tipa raspršuje visokotlačnu vodenu maglu i važna je komponenta, bilo kroz sićušne kapljice koje hlade plamen, kisik, vodenu paru ili gašenje požara. Obično se instaliraju na mjestu kao što su proizvodni pogoni, skladišta, trgovački centri, hoteli, bolnice, kazališta, poslovne zgrade, visoke zgrade, garaže i druga mjesta. Mlaznica treba biti spuštена ili horizontalno ugrađena. Ako se koristi na brodovima ili korozivnim okruženjima, može se osigurati mlaznica od nehrđajućeg čelika. Otvorene mlaznice dizajnirane su za sustave koji se aktiviraju u cijelosti u trenutku požara. Obično se koriste u industrijskim pogonima, tunelima i drugim velikim prostorima gdje je potrebno brzo djelovanje. Ove mlaznice nemaju vlastiti mehanizam aktivacije, već rade u kombinaciji s kontrolnim ventilima [6].



Slika 6. Visokotlačna mlaznica za vodenu maglu otvorenog tipa [6]

3.2.1.2. Visokotlačna mlaznica za vodenu maglu zatvorenog tipa

Visokotlačna mlaznica za vodenu maglu zatvorenog tipa (Slika 7.) sastoji se od opreme za napajanje punjenjem, sustava filtera, ventila za regulaciju tlaka, glave raspršivača s vodenom maglom i drugih komponenti i mreže cjevovoda za opskrbu vodom. Komponente mlaznice također bi trebale podnijeti veći radni tlak uzrokovan izvorom tlaka u softveru sustava prema standardu radne temperature, a ukupni protok softvera sustava može se uzeti u obzir pri primjeni visokotlačne mlaznice za vodenu maglu. S anti-hrđajućim tretmanom, antikoroziivnim karakteristikama, industrijskom proizvodnjom ploče od nehrđajućeg čelika visokog pritiska vodene magle, konusni kut mlaznice je velik. Tok magle je ravnomjerno raspoređen, a učinkovitost apsorpcije topline je visoka. Zatvorene mlaznice opremljene su toplinskim senzorima (ampulama) koje reagiraju na porast temperature. Aktiviraju se pojedinačno, čime se smanjuje potrošnja vode i šteta. Koriste se u prostorima gdje je potrebna selektivna zaštita, poput server soba, muzeja i arhiva [7].



Slika 7. Visokotlačna mlaznica za vodenu maglu zatvorenog tipa [7]

3.2.2. Visokotlačne pumpe

Visokotlačne pumpe osiguravaju tlak potreban za stvaranje vodene magle. Tlak u ovim sustavima obično iznosi od 50 do 200 bara, ovisno o specifičnim zahtjevima sustava. Moderne pumpe izrađene su od materijala otpornih na koroziju i dizajnirane su za dugotrajan rad uz minimalno održavanje [7].

3.2.3. Cjevovodi

Cjevovodi prenose vodu od spremnika do mlaznica. Izrađeni su od nehrđajućeg čelika ili bakra, što ih čini otpornima na visoke tlakove i korozivne utjecaje. Njihova kompaktna veličina olakšava instalaciju u različitim objektima, uključujući povijesne zgrade gdje je minimalan utjecaj na strukturu ključan [7].

3.2.4. Spremnici za vodu

Spremnici za vodu služe kao izvor tekućine za sustav. Njihova veličina i kapacitet ovise o veličini objekta i specifičnim zahtjevima sustava. U nekim slučajevima, sustavi se mogu spojiti na glavni vodovod kako bi se osigurala neprekidna opskrba vodom [7].

3.2.5. Kontrolne jedinice

Kontrolne jedinice koordiniraju rad svih komponenti sustava. Sastoje se od senzora, ventila i elektroničkih kontrolera koji osiguravaju pravovremenu aktivaciju sustava u slučaju požara. Moderni sustavi često su povezani s pametnim sustavima upravljanja zgradama (BMS) [7].

3.3. Princip rada

Sustavi za gašenje požara vodenom maglom djeluju kombinacijom nekoliko mehanizama koji osiguravaju njihovu učinkovitost u različitim uvjetima požara:

1. Hlađenje

Voda u obliku fine magle ima izrazito veliku površinu u odnosu na volumen, što omogućava brzo apsorpiranje topline iz okoline. Kada magla dospije na požar, apsorbira toplinu i brzo prelazi u plinovito stanje, odnosno paru. Ovaj proces značajno snižava temperaturu u prostoru i na taj način smanjuje mogućnost daljnjeg širenja požara. Dodatno, hladeći okolne površine, sustav sprječava sekundarne zapaljenja [7].

2. Istiskivanje kisika

Kada se voda ispari, povećava se volumen vodene pare u prostoru. Ta para zamjenjuje kisik, čija je prisutnost ključna za održavanje procesa gorenja. Smanjenjem koncentracije kisika ispod razine potrebne za održavanje vatre, požar se učinkovito suzbija. Ovaj mehanizam posebno je učinkovit u zatvorenim prostorima [7].

3. Blokiranje prijenosa topline

Vodena magla djeluje kao barijera koja sprječava prijenos toplinskog zračenja. Time se smanjuje mogućnost širenja požara na susjedne površine i objekte. Ova karakteristika posebno je važna u prostorima s visokim rizikom od propagacije požara [7].

4. Učinkovita distribucija magle

Mlaznice sustava osiguravaju ravnomjernu distribuciju fine magle u prostoru. Ovisno o tipu mlaznica, sustav može pokriti široke površine ili biti usmjeren na specifične točke rizika. Korištenjem različitih mlaznica optimizira se djelotvornost sustava u različitim uvjetima [7].

5. Automatska aktivacija

Sustav je povezan s detektorima dima i topline koji osiguravaju brzu reakciju u slučaju detekcije požara. Nakon aktivacije senzora, kontrolne jedinice pokreću pumpe i otvaraju ventile za distribuciju vode kroz mlaznice. Ovaj proces traje samo nekoliko sekundi, čime se minimalizira vrijeme reakcije i potencijalne štete [7].

3.4. Sprinklera pumpna jedinica (SPU)

Sprinkler pumpna jedinica (SPU) (Slika 8. i Slika 9.) dizajnirana je za opskrbu vodom pod visokim pritiskom u sustav distribucije vodene magle koji se koristi za zaštitu od požara. Koristi se s jednofluidnim, jednocijevnim sprinkler sustavima koji koriste vodu, u obliku fine magle, kao sredstvo za suzbijanje požara. Pojačana sprinkler pumpna jedinica (BSPU) (Slika 10. i Slika 11.) ima sličnu funkcionalnost kao standardni SPU, ali pruža veći protok po jednom motoru. Obično se koristi u pomorskim aplikacijama (prostori strojeva) [8].

3.4.1. Glavni dijelovi

SPU ima sljedeće glavne dijelove:

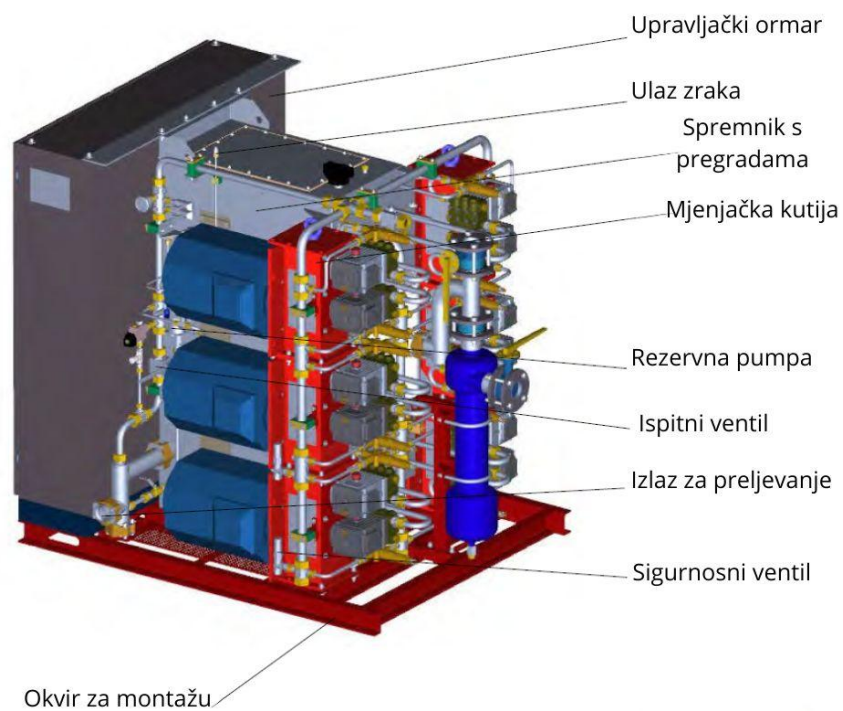
- Jedan ili više modula pumpe (broj ovisi o instaliranom SPU-u, pogledajte specifikacije sustava).

Svaki modul pumpe ima jedan 3-fazni elektromotor, dvije klipne pumpe i dva rasterećenja.

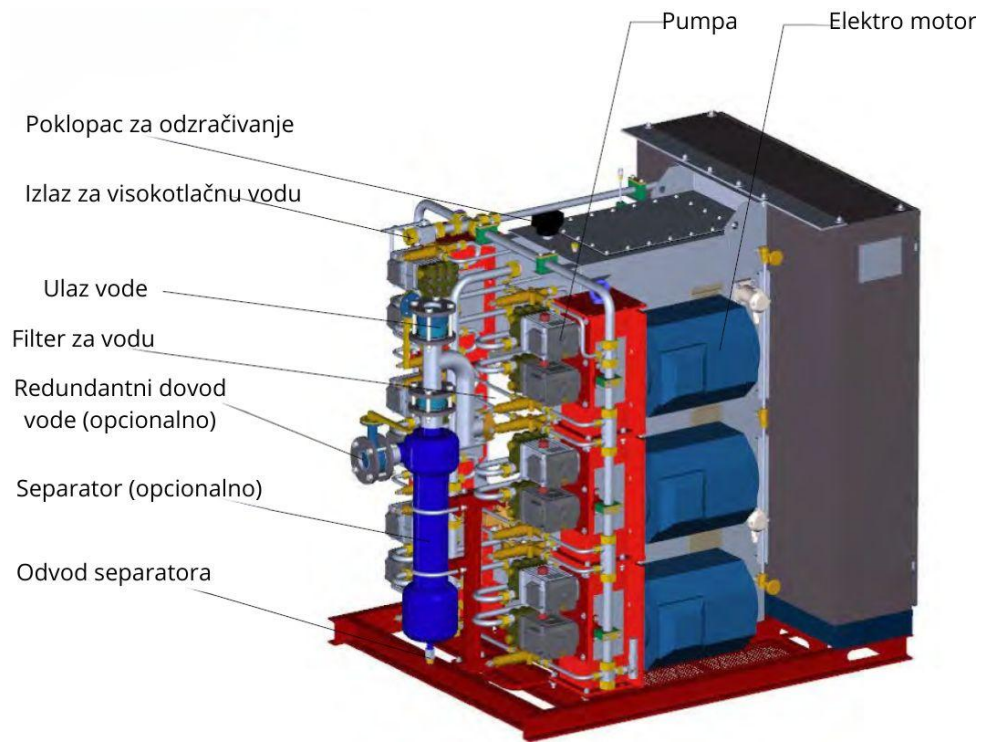
- Električni sustav upravljanja i nadzora (relay)
- Spremnik s pregradama (jedinice se također mogu isporučiti bez spremnika za pregrade).
- Separator (opcija) i filter na ulazu iz sustava za dovod vode
- Pneumatska rezervna pumpa

Mogu postojati jedan ili dva izvora napajanja za SPU. Ako sustav uključuje dva izvora napajanja, prebacivanje između njih se vrši automatski. Napojna pumpa ili hidrofor dovodi svježu vodu u

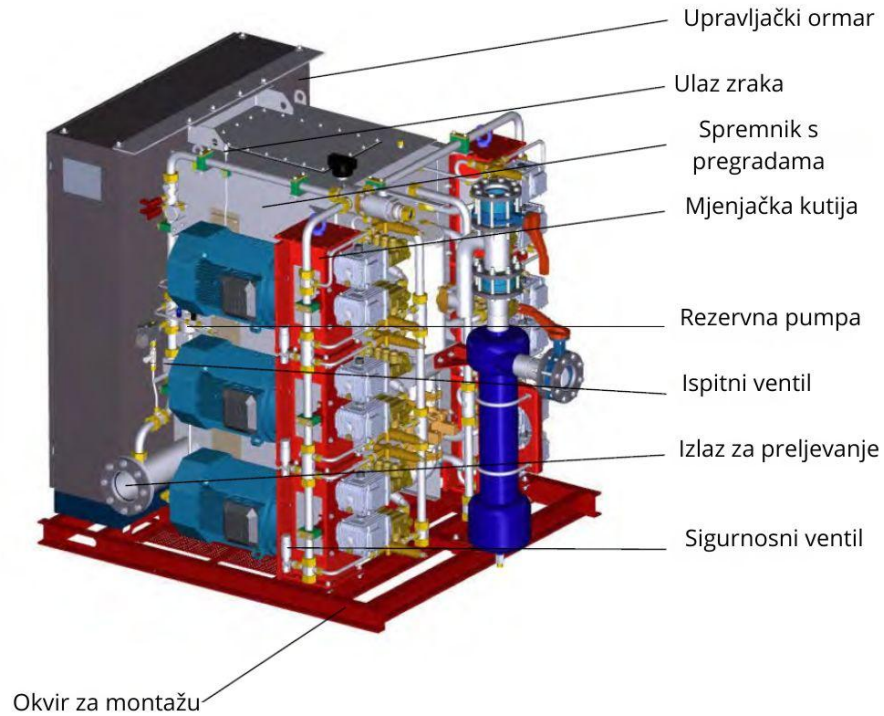
SPU. Osim slatke vode ulaz SPU može biti spojen na glavni protupožarni ili drugi izvor vode radi redundancije. BSPU ima iste osnovne komponente kao i standardni SPU. Postoje neke male razlike, na primjer BSPU ima usisna crijeva od spremnika do pumpi, dok SPU ima cijevi [8].



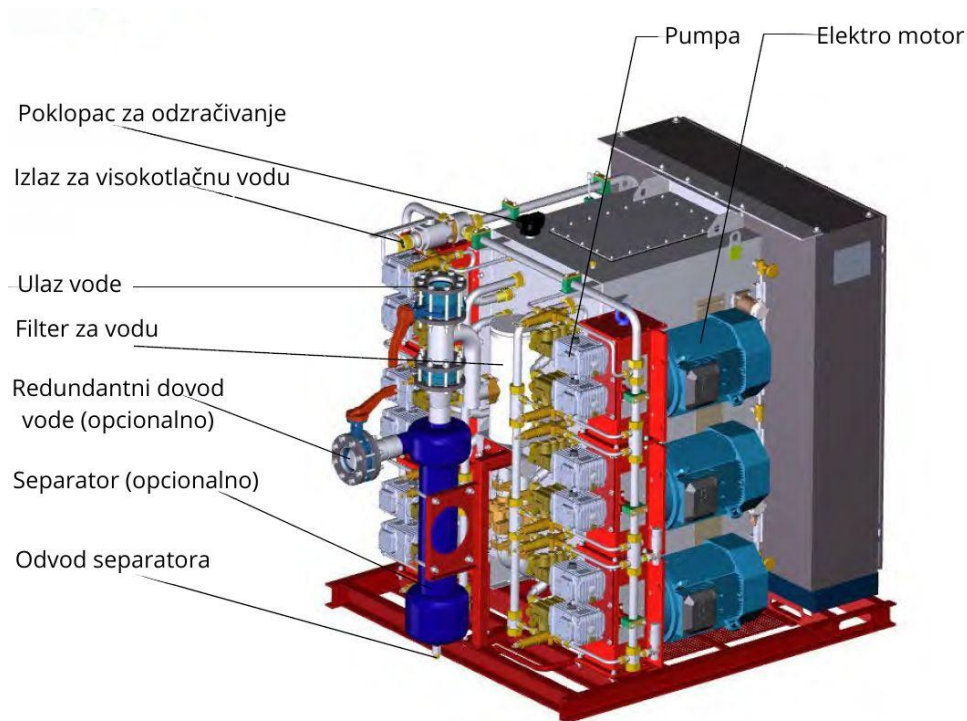
Slika 8. SPU [8]



Slika 9. SPU [8]



Slika 10. BSPU [8]



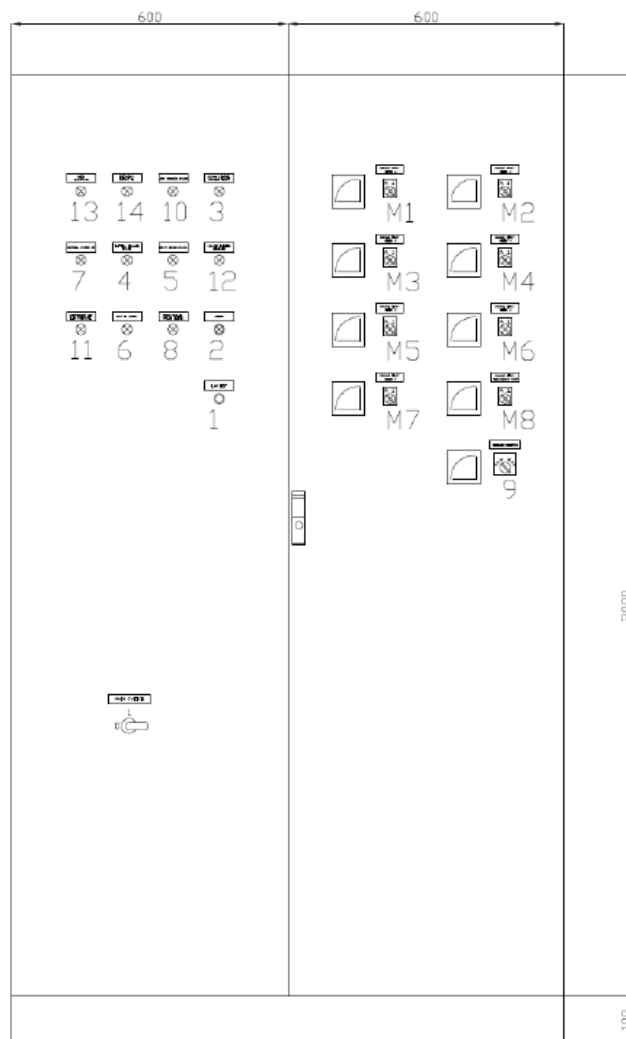
Slika 11. BPU [8]

3.4.2. Upravljački ormar

Upravljački ormar (Slika 12.) nadzire, upravlja i kontrolira SPU. Upravljački ormar ima sljedeće ručne radnje i dostupne odabire (brojevi u zagradama odgovaraju onima na slici):

- Motor za ručno pokretanje 1-X (X: ovisi o veličini jedinice) (M1-MX)
- Test lampe (1)
- Resetiranje sustava (2)
- Kvar upravljačkog napona od 230 VAC (3)
- Kvar punjača baterije (4)
- Uzemljenje 24 VDC (5)
- Bez vode (6)
- Kontrolni sustav uključen (7)
- Sljedeće se dodaje za primjenu na kopnu:
- Ulazni/izlazni ventil zatvoren (8)
- Odabir mjerenja napona (9)

- Kvar mrežnog napona (10)
- Komprimirani zrak niskog tlaka (11)
- Prekidač strujnog kruga pušten (12)
- Sljedeće se dodaje za pomorske primjene:
- Kvar jedinice pumpe (8)
- Glavno napajanje uključeno (13)
- Opskrba za hitne slučajeve uključena (14) [8].



Slika 12. Upravljački ormar [8]

3.4.3. Upute za rad

3.4.3.1. Sustav u stanju mirovnja

U normalnoj uporabi sustav mora biti u stanju mirovanja. Sustav je u stanju mirovanja kada:

- SPU je spojen na električnu mrežu i glavni prekidač je uključen
- radni zrak se dovodi do rezervne pumpe i pumpa radi
- tlak sustava je unutar postavljenih granica
- sustav upravljanja je operativan
- cjevovod je ispravan [8].

3.4.3.2. Pokretnje

3.4.3.2.1. Automatsko pokretanje

SPU će automatski početi raditi ako otkrije protok vode i/ili ako tlak vode padne ispod unaprijed postavljene vrijednosti (obično 17 bara) dulje od unaprijed postavljenog vremena (obično 10 - 20 sekundi) (ovisno o veličini sustava). Suvišni motor, ako je isporučen, automatski će se pokrenuti ako se jedan od motora ne pokrene ili prestane raditi. Za zaustavljanje jedinice pritisnuti i držati tipku Reset jednu sekundu. Uvjeriti se da nema požara prije nego što se jedinica zaustavi. Ako još uvijek postoji protok u sustavu nakon razdoblja resetiranja, jedinica će se ponovno pokrenuti. Izolirati dijelove u kojima postoji protok [8].

3.4.3.2.2. Ručno pokretanje - daljinsko

Pritisnuti gumb za hitno pokretanje na daljinskoj upravljačkoj ploči (ako postoji) za pokretanje SPU-a. Pritisnuti tipku za hitno pokretanje drugi put kako biste zaustavili pumpu. Nakon toga potrebno je resetirati jedinicu [8].

3.4.3.2.3. Ručno pokretanje - lokalno

Postaviti prekidače za aktiviranje crpke u upravljačkom ormaru jedinice crpke u položaj "1" kako bi se crpka uključila. Za zaustavljanje crpki, postaviti prekidače u položaj "A". Nakon toga resetirati pumpe [8].

3.4.4. Održavanje

U Tablici 1. prikazani su minimalni zahtjevi za frekventnost održavanja SPU-a.

Tablica 1. minimalni zahtjevi za frekventnost održavanja SPU-a [8].

Poglavlje	Zadatak	Tjedno	Mjesečno	Godišnje	Svaki 5 godina	*
5.2.1.	Provjeriti sve položaje ventila	x	x	x		x
5.2.2.	Provjeriti pumpu i tlak u stanju mirovanja	x	x	x		x
5.2.3.	Provjeriti el. napajanje, ispitnu lampu	x	x	x		x
5.2.4.	Vizualno pregledati pumpnu jedinicu i njezine priključke	x	x	x		x
5.2.5.	Provjeriti razinu ulja u pumpama		x	x		x
5.2.6.	Provjeriti pogonske lance i fleksibilnu spojku			x		x
5.2.7.	Provjeriti regulator tlaka zraka i praznu vodenu bravu		x	x		x
5.2.8.	Provjeriti filter za vodu i separator			x		x
5.2.9.	Testno pokretanje jedinice		x	x		x
5.2.10.	Provjeriti baterije i punjač pumpne jedinice			x	x	x
5.2.11.	Provjeriti vrijednosti postavki prekidača tlaka, protoka i pretvarača			x		
5.2.12.	Testirati jedinicu u skladu s servisnim uputama			x		x
5.2.13.	Provjeriti filter poklopca za odzračivanje				x	x
5.2.14.	Zamijeniti usisna crijeva (BSPU)				x	
5.2.15.	Promijeniti ulje pumpe (svakih 2 god. ili 200 h)					x

* Druge frekvencije mogu biti navedene u lokalnim zakonima i propisima ili u posebnim uputama za sustav.

3.5. Plinska pumpna jedinica (GPU)

GPU (Slika 13.) predstavlja ključnu komponentu u sustavu gašenja požara vodenom maglom. Ova jedinica koristi energiju komprimiranog plina za pogon pumpe koja osigurava potrebni tlak i protok vode za isporuku fine maglice prema diznama. GPU omogućuje pouzdano djelovanje sustava u uvjetima kada električni pogon nije dostupan ili je nepouzdan, čime se povećava sigurnost i učinkovitost u kritičnim situacijama. GPU kao dio sustava gašenja požara vodenom maglom pruža visok stupanj sigurnosti i fleksibilnosti, čineći ga ključnim dijelom zaštite u mnogim kritičnim okruženjima [9].

3.5.1. Princip rada

1. Izvor energije

GPU koristi komprimirani plin (npr. dušik ili zrak) pohranjen u visokotlačnim spremnicima. Plin pokreće pumpu, eliminirajući potrebu za električnom energijom ili vanjskim motorima [9].

2. Pumpa visokog tlaka

Plin djeluje na klipnu ili membransku pumpu koja generira visoki tlak potreban za stvaranje vodene magle. Obično je tlak u rasponu od 50 do 200 bara, ovisno o zahtjevima sustava [9].

3. Distribucija vodene magle

Voda pod visokim tlakom prolazi kroz specijalno dizajnirane dizne koje je pretvaraju u finu maglu. Fina magla apsorbira toplinu i smanjuje koncentraciju kisika u području požara, što doprinosi brzom gašenju [9].

3.5.2. Prednosti GPU-a u sustavima vodene magle

1. Neovisnost o električnoj energiji

GPU omogućuje rad čak i tijekom nestanka struje, što ga čini idealnim za primjene u kritičnim objektima poput bolnica, naftnih rafinerija, brodova i industrijskih postrojenja [9].

2. Visoka učinkovitost i pouzdanost

Zbog robusnog dizajna i minimalnog broja pokretnih dijelova, GPU je izuzetno pouzdan i ima nizak rizik od kvara tijekom rada [9].

3. Brza reakcija

GPU omogućuje trenutačno postizanje potrebnog tlaka vode, što osigurava brzo djelovanje sustava pri izbijanju požara [9].

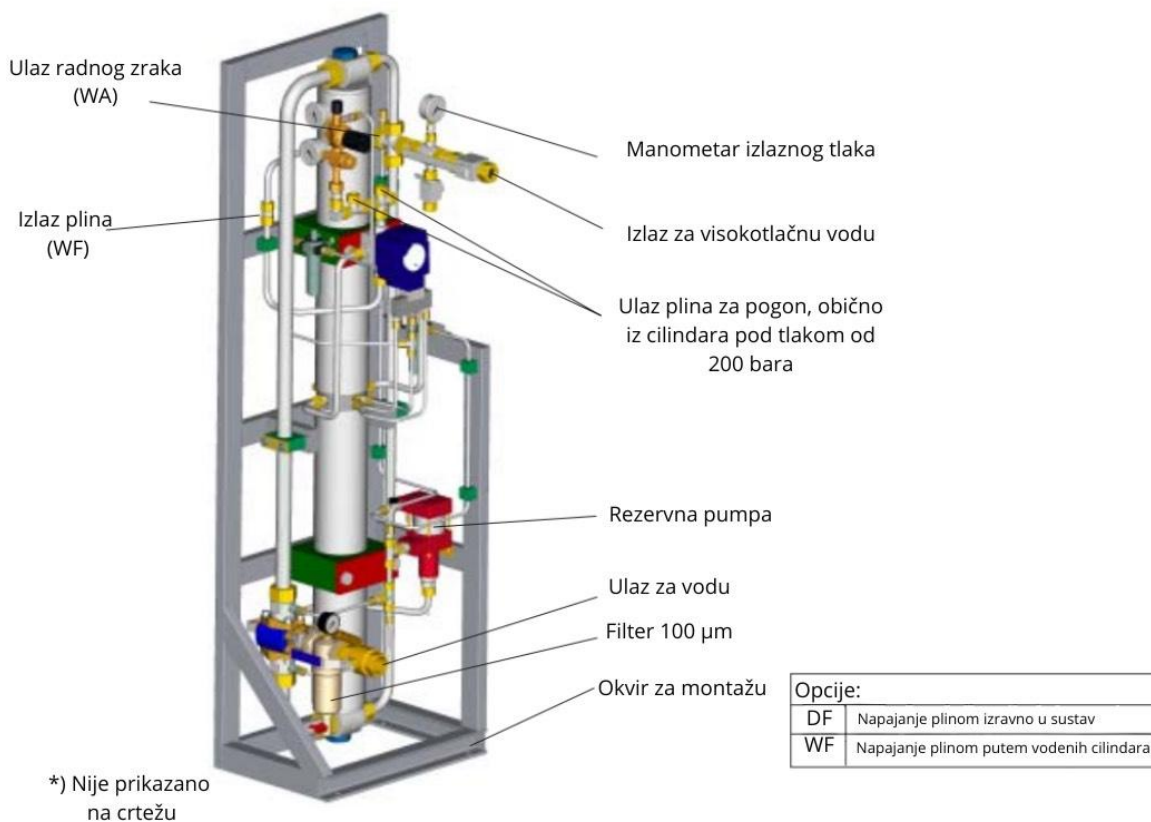
4. Ekološka prihvatljivost

Sustav koristi vodu i plin koji nisu štetni za okoliš, čime se izbjegava upotreba kemijskih sredstava za gašenje [9].

3.5.3. Primjena GPU-a u sustavima gašenja požara vodenom maglom

- **Industrijska postrojenja:** Osiguranje zaštite u pogonima s lakozapaljivim materijalima gdje električni sustavi mogu biti nepouzdana.
- **Morska industrija:** Na brodovima i naftnim platformama GPU je neophodan zbog ograničenog pristupa električnoj energiji i potrebe za kompaktnim i pouzdanim sustavima.
- **Visokorizični objekti:** Koristi se u nuklearnim postrojenjima, vojnim instalacijama i skladištima opasnih materijala.

GPU kao dio sustava gašenja požara vodenom maglom pruža visok stupanj sigurnosti i fleksibilnosti, čineći ga ključnim dijelom zaštite u mnogim kritičnim okruženjima [9].



Slika 13. GPU [10]

3.6. Akumulatorska jedinica u strojarnici (MAU)

MAU (Slika 14.) sustavi za zaštitu od požara vodenom maglom su tipa dvostruke tekućine, jednocijevni koji koriste vodu kao sredstvo za suzbijanje i dušik pod tlakom kao pogonski i raspršujući medij. MAU je samostalna jedinica i ne treba nikakvu vanjsku vodu ili električnu energiju. Potreban je električni signal za otpuštanje ventila električnog pokretača ako se koristi automatsko ili daljinsko aktiviranje. Svaki raspored sustava konfiguriran je s pomoću dovoda vode i dušika kako bi se osigurala ukupna potreba za sredstvom za suzbijanje požara tijekom najmanje 10 minuta za potrebnu količinu glava za raspršivanje. U zaštićenom prostoru, prisilna ventilacija, protok goriva i svih nebitnih maziva i hidrauličkih tekućina moraju se prekinuti nakon otkrivanja požara. MAU se sastoji od vodenih cilindara potpuno međusobno povezanih i napajanih dušičnim cilindrom pod tlakom. U stanju pripravnosti, cilindri za vodu i sustav cjevovoda nisu pod tlakom. Nakon pokretanja, jedinica će kontinuirano prazniti tijekom trajanja pražnjenja kroz cijevi od

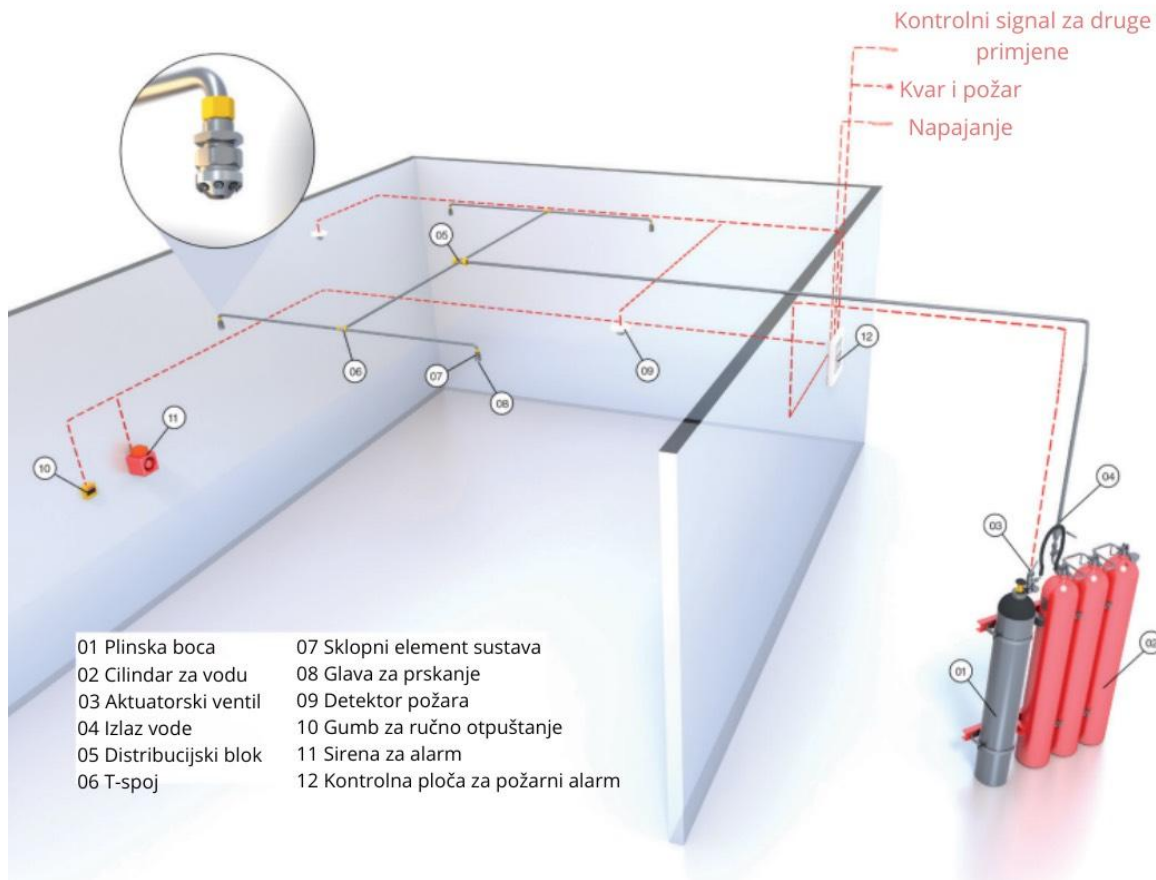
nehrđajućeg čelika i glave za raspršivanje visoke magle. Aktivacija sustava može se izvršiti daljinski ili ručno, ovisno o ventilu pokretača. Sustav mora biti povezan s odgovarajućim sustavom za otkrivanje i upravljanje koji može raditi automatski [11].

3.6.1. Vrste pražnjenja

- **Pojedinačno pražnjenje** obuhvaća jedno kontinuirano pražnjenje
- **Produženo pražnjenje** uključuje električki tempirana ili pneumatski sekvencirana pražnjenja kroz jednu distribucijsku mrežu. Tipična primjena ovog rasporeda bila bi produljeno pražnjenje u plinsku turbinu kako bi se prilagodilo vrijeme zaustavljanja. Obično je za plinske turbine potrebno produženo pražnjenje od 20 minuta kontinuirane zaštite. Za VdS odobrene sustave potrebno trajanje pražnjenja je 30 minuta, osim ako nije drugačije dogovoreno [11].

3.6.2. Primjena sustava

Uobičajene primjene uključuju kućišta plinskih turbina i njihove pomoćne prostorije, prostore za strojnice i njihove pomoćne prostorije, prostorije za pumpe za gorivo ili ulje za podmazivanje, spremnike ili sustave za filtriranje, klipove ulja za podmazivanje, mjenjačke kutije, generatore, kompresore i transformatore. Primjene se nalaze u postrojenjima za proizvodnju energije s jednim ciklusom, kombiniranim ciklusom i postrojenjima za kogeneraciju energije, u proizvodnji nafte i plina, raznim procesnim industrijskim postrojenjima i u bilo kojem području gdje rade strojevi na ugljikovodično gorivo [11].



Slika 14. MAU [12]

3.7. Mjesta primjene

3.7.1. Zaštita od požara u zgradama

Sigurnost ljudi je najveći prioritet kada je u pitanju zaštita od požara u javnim zgradama. U kulturnim ustanovama treba se pozabaviti i zaštitom unikatnih umjetnina, knjiga ili čitavih objekata [13].

Tehnologija vodene magle pod visokim pritiskom nudi sljedeće:

- Može značajno smanjiti toplinsko zračenje za ljude koji bježe zbog svog intenzivnog učinka hlađenja.
- Šteta od vode može se svesti na minimum. Visokotlačni sustavi vodene magle zahtijevaju samo približno 10 % vode potrebne za konvencionalne sustave raspršivača. To znači manje štete, manje troškove popravka ili obnove i kraće zastoje ili prekide rada.

- Kompaktniji je od konvencionalnih sustava, jednostavniji i estetskiji u smislu integracije u postojeće ili nove zgrade.
- Visoka razina tlaka omogućuje zaštitu zgrada visine TV tornja samo jednom pumpnom jedinicom u podrumu.
- Bolji učinak hlađenja i zaštite od fine vodene magle pod visokim pritiskom omogućuje korištenje više estetskih materijala [13].

3.7.2. Zaštita od požara za podatkovne centre, komunikacijske sustave, IT područja

Podatkovni centri i prostorije sa sklopnim jedinicama predstavljaju posebnu opasnost zbog mogućih kratkih spojeva ili preopterećenja sustava. Nedovoljno odvođenje topline ili neispravan rashladni sustav povećat će ovaj rizik u zgradama. Kvarovi takvih područja predstavljaju značajne poteškoće za operatere. To se odnosi na banke, nadležna tijela, osiguravajuća društva, a jednako tako i na pružatelje internetskih usluga [13].

Nakon što izbije požar, postoji rizik od gubitka podataka zbog požara ili štete od vode. Osim toga, čestice čađe i korozivni plinovi će se formirati zbog plastike koja se koristi za izolaciju kabela, na primjer, što može dugoročno oštetiti IT sustave. Prskalice su često neprikladne za IT područja zbog očekivanog oštećenja vodom. Korištenje sustava za gašenje plinom također može biti problematično jer se često ne može dugoročno jamčiti za zatvorenost, a plin ne razvija dovoljan učinak hlađenja [13].

Visokotlačni sustavi vodene magle nude idealnu zaštitu u zgradama:

- 100 % ekološki prihvatljiv, bez opasnosti za ljude
- Može se pokrenuti bez vremena prethodnog upozorenja
- Nisu potrebne pregrade
- Nema ograničenja u pogledu zaštićene površine
- Koristiti kao zaštitu prostorija, kao i za zaštitu podignutih podova
- Vezivanjem čestica čađe i razrjeđivanjem dimnih plinova smanjuju se štete
- Minimalna šteta od vode
- Nema ovisnosti o proizvođačima plinova za gašenje
- Nema korozivnih nusproizvoda iz sredstava za gašenje

Osim zaštite cijelih prostorija, vodena magla može se koristiti i izravno u ormarima poslužitelja ili razvodnim ormarima. FOGTEC je proveo testove protiv požara pokazujući da su elektroničke komponente računalnih regala korištene u testovima požara pretrpjele manju štetu od bilo kojeg drugog testiranog sustava za gašenje požara [13].

3.7.3. Kabelski tuneli

Čak i danas, kabelski tuneli i kanali se rijetko štite protupožarnim sustavom zbog straha od oštećenja vodom, iako se u takva područja često nalazi cjelokupno napajanje i većina kabela za prijenos podataka. Požar u kabelskoj kanalizaciji može dovesti poduzeće do zastoja. Vodena magla svojim posebnim svojstvima stvara optimalnu zaštitu za kabelske kanale i značajno povećava njihovu dostupnost:

- Minimalna šteta od vode u zgradama
- Tolerantan na prisilnu ventilaciju ili otvore
- Nema vremena prethodnog upozorenja ili opasnosti za osoblje
- Ugradnja je obično potrebna samo ispod stropa
- Vodena magla se širi čak i na područja ispod kabelskih polica [13]

3.7.4. Industrijska postrojenja - proizvodni sustavi, CNC centri, preše, turbine, generatori, pumpe, ispitne ćelije motora

Goriva i maziva su požarna opterećenja koja se često koriste u industriji. Razorne požare mogu uzrokovati vruće površine u kombinaciji s curenjem. Često vrlo dugo vrijeme obnove za uništene strojeve stvara velike poteškoće operaterima. Korištenje sustava za gašenje plinom uglavnom je povezano s rizicima i često se mogu koristiti samo uz vrijeme prethodnog upozorenja [13].

Ovisno o specifičnim zahtjevima, sustavi vodene magle mogu se projektirati kao sustavi zaštite prostorija ili objekata. Prednosti za operatere su sljedeće:

- Trenutačno hlađenje zaštićenog prostora ili stroja
- Kratki zastoji
- Vrlo mala veličina sustava; manje smetnje sa strojevima
- Niski operativni troškovi

- Jeftino ponovno puštanje u rad sustava
- Nisu potrebne mjere zaštite osoblja
- Nema toplinskih naprezanja na materijale ili strojeve zahvaljujući ravnomjernom hlađenju [13]

3.7.5. Transportni sustavi - pokretne trake i montažne linije

Požar se može brzo proširiti na velika područja putem pokretnih traka i montažnih traka. Opasnost od požara može se smanjiti upotrebom vatrootpornih pokretnih traka, ali se ne može u potpunosti spriječiti. Osim toga, transportne trake ove vrste znatno brže stare i manje su fleksibilne. Oni također ne mogu pružiti zaštitu od transportirane robe koja gori [13].

Sustavi vodene magle posebno su prikladni za posebno kritična područja u transportnom sustavu kao što su pogoni, ležajevi i proboji u zidove, ali i za cjelokupnu zaštitu:

- Lokalna, precizna montaža
- Potrošeno manje vode
- Kraći zastoji; minimalni prostorni zahtjevi
- Nema prethodnog vremena prije upozorenja
- Smanjeni zahtjevi za čišćenjem [13]

3.7.6. Zaštita od požara u prehrambenoj industriji

Uljne požare vrlo je teško kontrolirati konvencionalnim sustavima za gašenje požara. Vrlo visoka temperatura se postiže u kratkom vremenu i požari se šire vrlo brzo. Visokotlačni sustavi vodene magle mogu se odmah i učinkovito boriti protiv požara ulja budući da se male kapljice odmah raspršuju na površini ulja i tako guše vatru. Time se sprječavaju eksplozije ulja u zgradama, dok se ponovno paljenje suzbija [13].

Za industrijske staze za prženje, friteze u dubokoj masnoći u kuhinjama, pećnicama itd.

- Korištenje čiste vode
- Manji rizik od ponovnog paljenja zbog ravnomjernog hlađenja metalnih površina i ulja
- Nisu potrebne pregrade
- Nema dugotrajnog čišćenja kao kod kemijskih sredstava
- Samo kratki prekidi poslovanja [13]

3.7.6. Transformatori

Siguran i pouzdan rad transformatora osnovni je zahtjev za gotovo sve proizvodne sustave, infrastrukturne sustave i unutar gradske sustave, jer su kvarovi transformatora općenito povezani s visokim troškovima. Stoga je važno da šteta bude što je moguće manja u slučaju požara. Visoke razine energije koje prolaze kroz transformator u kombinaciji s prisutnošću velikih količina (zapaljivog) ulja rezultiraju posebnim rizicima od požara [13].

Sustavi vodene magle idealni su za transformatore bilo da su vani ili u zatvorenim prostorima. Vodena magla posebno je učinkovita u borbi protiv požara tečnosti, a time i požara transformatorskog ulja. Intenzivan učinak hlađenja sitnih kapljica vodene magle pod visokim pritiskom počinje čim se sustav aktivira [13].

- Trenutačna aktivacija bez vremena prethodnog upozorenja
- Korištenje samo male količine vode, stoga samo neznatna kontaminacija sredstvom za gašenje
- Upotreba malih presjeka cijevi štedi prostor
- Niski troškovi održavanja
- Različite konfiguracije pune skale testirane na požar za unutarnju i vanjsku upotrebu [13]

3.7.7. Lakirnice

Moderna područja za lakiranje omogućuju vrlo velike proizvodne količine, što znači da su zastoji skupi incidenti za operatere. Korištenje otapala, koja su uglavnom zapaljiva, tijekom procesa bojanja rezultira nizom posebnih zahtjeva zaštite od požara [13].

Ovdje vodena magla pod visokim pritiskom može ponuditi idealnu zaštitu. Za razliku od plina, vodena se magla vrlo brzo raspršuje u odgovarajuća područja bez ikakvih vremena prethodnog upozorenja. Osim toga, vodena magla pod visokim pritiskom omogućuje vrlo brz učinak hlađenja koji ne predstavlja opasnost za operatere. S druge strane, za razliku od sustava za raspršivanje, koriste se samo vrlo male količine vode kako bi se šteta od vode i količina onečišćene vode svela na minimum [13].

- Minimalni prekidi proizvodnje u slučaju požara
- Jednostavna integracija zahvaljujući malim komponentama
- Nema prethodnog vremena prije upozorenja
- Jeftino ponovno puštanje u rad sustava za gašenje požara u slučaju požara [13]

3.7.8. Cestovni tuneli

Unatoč znatnim požarnim opterećenjima i ograničenim evakuacijskim putovima, u tunelima mora biti zajamčena zaštita korisnika tunela i same konstrukcije. Minimalni zahtjev za sve koncepte zaštite je da je evakuacija moguća. Fiksni sustavi za gašenje požara tako brzo i učinkovito bore požare u tunelima da se veće nakupljanje topline na mjestima izvan samog izvora požara može gotovo izbjeći. Količina dima se smanjuje ograničavanjem požara tako da se preostali volumen dima može znatno smanjiti hlađenjem. Time se znatno poboljšavaju uvjeti za preživljavanje, pa je kontrolirana evakuacija najčešće omogućena znatno dulje vrijeme. Oštećenje tunela i učinak topline i dima na građevinsku konstrukciju smanjeni su u istoj mjeri. U mnogim slučajevima nema potrebe za građevinskim mjerama zaštite od požara poput upotrebe protupožarnih panela, potrebno je manje izlaza za bijeg, a sustavi za ventilaciju i odimljavanje mogu se dizajnirati znatno manji. Sve to općenito dovodi do značajnih ušteda [13].

Budući da je oštećenje tunela značajno smanjeno u slučaju požara, to znači da su i zastoji tunela znatno kraći. Ukupna dostupnost tunela je time značajno povećana. Protupožarni sustavi također se općenito mogu instalirati puno brže od mjera zaštite od požara u zgradama tako da su ekonomske štete manje, a manji su i gubici s obzirom na cestarine. Općenito govoreći, troškovi ulaganja i životnog ciklusa su smanjeni [13].

3.7.9. Željeznički tunel

Za razliku od cestovnih tunela, opasnost od nesreća u željezničkim tunelima znatno je manja jer je nadzor vozila obično bolji i njima upravljaju profesionalni vozači. Međutim, sve katastrofe zbog tehničkih nedostataka ipak mogu dovesti do velikih šteta. Posebno u dugim tunelima, tehnički kvarovi su vrlo problematični. Rute za bijeg često se mogu osigurati samo uz velike poteškoće u odgovarajućim intervalima za evakuaciju. Potpuna zaštita željezničkog tunela ili postavljanje protupožarnih stanica u koje mogu uletjeti vlakovi u plamenu često predstavlja jeftinu alternativu za operatere kako bi mogli jamčiti sigurnost za putnički promet i dostupnost tunela za teretni promet. Sustavi za gašenje požara obično se mogu brže i jeftinije ugraditi u željeznički tunel i mogu nadoknaditi nedostatke u zaštiti od požara [13].

3.7.10. Sigurnost podzemnog prometa

Podzemni i metro sustavi sve više postaju najvažniji dio prometne infrastrukture. Općenito govoreći, metro sustavi su jedini prometni sustavi koji nude dovoljne transportne kapacitete i

moćnost njihove implementacije ili daljnjeg razvoja bez značajnog narušavanja drugih površinskih prometnih sustava. Velika okupljanja putnika u vlakovima i na kolodvorima, u kombinaciji sa specifičnostima podzemnih prometnih sustava, za posljedicu imaju posebne izazove zaštite od požara. Do sada je bilo moguće odgovoriti na te izazove samo vrlo visokim ulaganjima. Inteligentnom integracijom mjera zaštite od požara u željezničkom voznom parku i stanicama, FOGTEC-ovi pametni koncepti nude operaterima metro sustava bolju dostupnost prometne infrastrukture, dok u isto vrijeme značajno smanjuju troškove. Optimalan ukupni rezultat za složen prometni sustav zahtijeva inteligentno inženjerstvo. Prethodno je, međutim, infrastruktura metro sustava sa svojim stanicama i tunelima bila planirana gotovo potpuno neovisno o vozilima. Kao rezultat toga, nije iskorišten veliki potencijal za optimizaciju i uštedu troškova, budući da posebno metro sustavi imaju prednost da su vozila koja ih koriste jasno definirana. Sa svojim timom specijalističkih dizajnera, FOGTEC kombinira mjere zaštite od požara za oba ova područja – postaje i vozila – zajedno. To znači da se ravnoteža između željezničkih vozila i kolodvora ne ocjenjuje zasebno, već je dizajnirana tako da se optimalno rješenje pronade za operatera korištenjem iterativnog pristupa. Kao rezultat, na primjer, zahtjevi za evakuacijske rute ili veličina sustava za odimljavanje u postajama mogu se značajno smanjiti. Nasuprot tome, vozila mogu imati otvoreniji dizajn i težina se može smanjiti. Zbog inteligentne upotrebe vodene magle u područjima perona i kolosijeka, požari u željezničkom parku mogu se vrlo učinkovito boriti. To rezultira značajnim smanjenjem količine dima koja se može očekivati. Istovremeno se hladi preostali dim, čime se znatno smanjuje njegov volumen. Posljedično, potrebno je znatno manje dima izvući iz stanice. To dovodi do uštede ne samo za sustave za odimljavanje, već i za njihove nadzemne otvore. Specifična svojstva vodene magle omogućuju njezinu upotrebu za mnoge zadatke zaštite od požara u postajama. Korištenjem samo jednog centraliziranog pumpnog sustava, mogu se zaštititi prostorije s opremom, sobe za nadzor, platforme, kabelski kanali, trgovačka područja, pokretne stepenice i dizala. Upotreba različitih sustava, kao što su sustavi za gašenje plinom za prostore s opremom i sprinkleri za prostore za kupovinu, nije potrebna. Uz smanjenje investicijskih troškova, smanjuju se i troškovi održavanja, a time i životni ciklus. Mjere zaštite od požara koje su često vrlo složene, a samim time i skupe, mogu se smanjiti ili u potpunosti izostati. Do sada su metro vozila obično bila projektirana tako da se, u slučaju požara u prostorima za putnike ili opremu, vatra može oduprijeti dovoljno dugo dok evakuacija nije moguća. Kao što je slučaj s većinom drugih područja koja predstavljaju izazove za zaštitu od požara, ima više smisla boriti se protiv požara nego ojačati

okolnu blizinu mogućeg mjesta požara, tako da može izdržati vatru. Hotelijeri ili proizvođači automobila nikada ne bi projektirali hotel ili proizvodnu traku motora tako da mogu gorjeti satima. Vatra se uvijek gasila automatski. Pametni koncepti sada omogućuju FOGTEC-u implementaciju ovog pristupa u željezničkim vozilima. Kompaktni, lagani sustavi za gašenje požara bore se s požarima na isti način u tehničkim područjima kao u putničkim prostorima, znatno pojednostavljujući dizajn vozila i rezultirajući uštedom troškova – ne samo u investicijama, već posebno za rad vozila, jer to dovodi do značajnih ušteda na težini [13].

3.8. Benefiti sustava za gašenje požara vodenom maglom

- Zahtijeva manje vode
- Smanjuje toplinu i kisik
- Ne šteti ljudima
- Pruža poboljšanu sigurnost za sigurnost podataka stanara / rad - nema rizika od lažnog pražnjenja sa sustavima za prethodno djelovanje, održava ventilaciju radi tijekom
- Ne oštećuje ozonski omotač
- Ne doprinosi globalnom zagrijavanju
- Ekološki je prihvatljiv
- Lagan je
- Pouzdan je
- Svestran je
- Fleksibilan je
- Može se jednostavno naknadno ugraditi
- Može se lako produžiti
- Nudi modularne koncepte za proširenja
- Nakon požara mora se pokupiti manje vode (u opasnim okruženjima)
- Pruža produljeno vrijeme rada - ventilacija radi tijekom pražnjenja, aktivacija samo u područjima gdje je otkriven požar, nema potrebe za dopunjavanjem (u usporedbi s plinskim sustavima)
- Koristi tanje cijevi (manje materijala)
- Osigurava povećanu optimizaciju prostora - ušteda prostora za skladištenje vode (nasuprot sustavima prskalica), kompaktne pumpe (nasuprot plinskim bocama)

- Osigurava uštedu na CAPEX-u - ušteda prostora za skladištenje vode (za razliku od sprinkler sustava), zaštita čitavih objekata jednom tehnologijom
- Osigurava uštedu na OPEX - nema rizika od lažnog pražnjenja sa sustavima za prethodno djelovanje, zaštita cijelih objekata jednom tehnologijom, aktivacija samo u područjima gdje je otkriven požar, nema potrebe za dopunjavanjem (u usporedbi s plinskim sustavima) [14]

4. ZAKLJUČAK

Zaštita od požara jedan je od ključnih aspekata sigurnosti u industriji, javnim objektima i infrastrukturi. Među brojnim sustavima koji se koriste za gašenje požara, vodena magla se ističe kao jedno od najučinkovitijih i najnaprednijih rješenja. Ovaj rad detaljno je obradio sustave za gašenje požara, s posebnim naglaskom na sustav vodene magle, njegov povijesni razvoj, tehničke karakteristike, principe rada, komponente te široku primjenu u različitim područjima. Sustavi za gašenje požara vodenom maglom koriste finu vodenu maglu, koja se raspršuje pod visokim tlakom, omogućujući učinkovito suzbijanje požara uz značajno manju potrošnju vode u usporedbi s konvencionalnim sustavima. Njihova učinkovitost proizlazi iz kombinacije nekoliko mehanizama – hlađenja plamena i okolnog prostora, smanjenja koncentracije kisika u zoni požara te sprječavanja prijenosa toplinskog zračenja na susjedne površine. Ova svojstva omogućuju brzo gašenje požara uz minimalnu sekundarnu štetu, što je posebno važno u osjetljivim prostorima poput arhiva, muzeja, podatkovnih centara i industrijskih pogona. U radu su detaljno analizirane komponente sustava vodene magle, uključujući mlaznice (otvorenog i zatvorenog tipa), visokotlačne pumpe, cjevovode, spremnike za vodu i kontrolne jedinice. Opisani su i različiti tipovi aktivacije, uključujući automatske, ručne i daljinske metode, koje omogućuju prilagodbu sustava specifičnim zahtjevima zaštite od požara. Također, posebna pažnja posvećena je principima rada, koji omogućuju brzo djelovanje sustava u slučaju požara te smanjuju rizik od širenja požara na druge dijelove objekta. Povijesni pregled razvoja tehnologije gašenja požara vodenom maglom pokazao je da su se rani oblici ovog sustava koristili još početkom 20. stoljeća, ali su značajniji pomaci ostvareni tek krajem 20. i početkom 21. stoljeća, kada su uvedene sofisticirane visokotlačne tehnologije. Ključni događaji, poput požara na brodu *Scandinavian Star* 1990. godine, potaknuli su razvoj novih i učinkovitijih sustava za zaštitu od požara, što je dovelo do široke primjene vodene magle u pomorskoj industriji, a kasnije i u drugim sektorima. Prednosti sustava za gašenje požara vodenom maglom su brojne. Osim smanjenja potrošnje vode, što omogućuje zaštitu područja s ograničenim vodnim resursima, sustav pruža brzu i učinkovitu reakciju na požar te minimalizira štetu na objektima i imovini.

Zahvaljujući visokom stupnju automatizacije, sustavi se mogu integrirati s modernim sustavima upravljanja zgradama, čime se dodatno poboljšava sigurnost korisnika. Osim toga, ekološka prihvatljivost ovog sustava, u usporedbi s kemijskim sredstvima za gašenje, čini ga idealnim

rješenjem za zaštitu okoliša i smanjenje utjecaja na ljude i prirodu. Unatoč svim prednostima, postoje i određeni izazovi u implementaciji ovih sustava. Visok početni trošak, potreba za specijaliziranom instalacijom te redovito održavanje sustava mogu predstavljati prepreke za širu primjenu, posebice u manjim objektima. Također, različiti regulatorni zahtjevi u pojedinim zemljama zahtijevaju usklađivanje standarda kako bi se osigurala pravilna primjena sustava u skladu s međunarodnim propisima. Primjena sustava vodene magle neprestano se širi, a očekuje se da će daljnji razvoj tehnologije rezultirati još učinkovitijim, ekonomičnijim i prilagodljivijim rješenjima. Suvremeni trendovi u zaštiti od požara usmjereni su na povećanje sigurnosti, smanjenje ekološkog utjecaja te optimizaciju resursa, što sustav vodene magle čini ključnim elementom budućih protupožarnih strategija. Ovaj rad pružio je sveobuhvatan uvid u sustav za gašenje požara vodenom maglom, njegovu važnost, prednosti i izazove. S obzirom na kontinuirani razvoj tehnologije i rastuću potrebu za učinkovitom zaštitom od požara, može se zaključiti da će ovaj sustav igrati sve važniju ulogu u budućnosti zaštite ljudi, imovine i okoliša od požarnih rizika.

5. LITERATURA

- [1] Stabilni sustavi za gašenje požara, <https://www.tehnomobil-elsting.hr/media/k2/attachments/Stabilni-sustavi-gasenje-pozara.pdf> - pristupljeno 30.11.2024.
- [2] Sprinkler sustavi, <https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.quora.com%2FHow-do-sprinklers-work-and-spray-only-when-theres-a-fire&psig=AOvVaw2XxcbWx2qT7cgE8lLnSkA&ust=1685687428175000&source=images&cd=vfe&ved=0CBEQjRxqFwoTCJDBuJW5of8CFQAAAAAdAAAAABAa> – pristupljeno 02.12.2024.
- [3] FM 2000, <http://hr.fluorinated-chemical.com/fire-extinguishing-agent/fm-200-agent-heptafluoropropane.html> - pristupljeno 02.12.2024.
- [4] Sustavi za gašenje požara vodenom maglom, <https://www.mdpi.com/2571-6255/6/2/40> - pristupljeno 03.12.2024.
- [5] Lakkonen M.: „Povijest moderne zaštite od požara vodenom maglom“, Izdanje 36 (2008), 69-72, https://fogtec-international.com/files/ifp_nov_-_wm_history_tunnel.pdf - pristupljeno 10.12.2024.
- [6] Mlaznica otvorenog tipa, <https://www.nozzlespray.com/Nozzle-products/Fire-Fighting-Nozzles/ds-water-mist-nozzle.html> - pristupljeno 20.12.2024.
- [7] Mlaznica zatvorenog tipa, High Pressure Automatic Water Mist Nozzles with Glass Bulb - Close Type – pristupljeno 09.01.2025.
- [8] Priručnik za rad, Hi-Fog Operation Manual | PDF | Pump | Valve – pristupljeno 10.01.2025.
- [9] Plinska pumpna jedinica, HI-FOG® Gas Pump Unit (GPU) | Kidde Fire Systems – pristupljeno 11.01.2025.
- [10] Plinska pumpna jedinica, GPU_6_x_E6104x.pmd – pristupljeno 11.01.2025.
- [11] Akumulatorska jedinica u strojarnici, FM_Machinery_Space_260_cum_MAU_system_05July2004b – pristupljeno 11.01.2025.
- [12] Akumulatorska jedinica u strojarnici , hi-fog-machinery-space-accumulator-unit-mau-sell-sheet.pdf – pristupljeno 11.01.2025.
- [13] Mjesta primjene, Fire fighting systems for buildings & industrial plants - FOGTEC – pristupljeno 09.02.2025.
- [14] Prednosti vodene magle, Benefits of Water Mist - IWMA International Water Mist Association – pristupljeno 09.02.2025.

6. PRILOZI

6.1. Popis simbola

IMO – Međunarodna pomorska organizacija

IWMA – Međunarodno udruženje vodene magle

SPU – Sprinkler pumpna jedinica

BSPU – Pojačana sprinkler pumpna jedinica

GPU – Plinska pumpna jedinica

MAU – Akumulatorska pumpna jedinica

6.2. Popis slika

	Stranica
Slika 1. Usporedba gašenja požara interni plin i CO ₂ naspram NOVEC 1230.....	3
Slika 2. Ampule sprinkler sustava.....	4
Slika 3. Cilindri inergena povezani u sustav	6
Slika 4. Spremnik FM-200.....	7
Slika 5. Princip rada sustava za gašenje požara vodenom maglom	9
Slika 6. Visokotlačna mlaznica za vodenu maglu otvorenog tipa.....	16
Slika 7. Visokotlačna mlaznica za vodenu maglu zatvorenog tipa	17
Slika 8. SPU	20
Slika 9. SPU	21
Slika 10. BSPU.....	21
Slika 11. BSPU.....	22
Slika 12. Upravljački ormar	23
Slika 13. GPU.....	28
Slika 14. MAU	30

6.3. Popis tablica

	Stranica
Tablica 1. Minimalni zahtjevi za frekventnost održavanja SPU-a	25