

**PAMETNI AI MODEL ZA UNAPREĐENJE ZAŠTITE NA RADU VATROGASNIH INTERVENCIJA: INTEGRACIJA
TEHNOLOGIJA ZA EFIKASNIJU PREVENCIJU, DETEKCIJU I KOORDINACIJU**

**SMART AI-BASED MODEL FOR ENHANCING OCCUPATIONAL SAFETY IN FIREFIGHTING OPERATIONS:
INTEGRATION OF TECHNOLOGIES FOR IMPROVED PREVENTION, DETECTION, AND COORDINATION**

Milorad Giljaca, Komandant Službe zaštite i spasavanja

Tivat, Crna Gora, ORCID broj: 0009-0002-7596-902X, gix147@yahoo.com

Miliša Todorović, Fakultet za tehničke studije, Univerzitet Travnik, BiH, ORCID broj: 0000-0001-6239-4285 ,
milisa.todorovic@eftfts.edu.ba

KRATAK SADRŽAJ

Ovaj rad predstavlja teorijski model pametnog sistema zasnovanog na vještačkoj inteligenciji (AI) s ciljem unapređenja zaštite na radu prilikom vatrogasnih intervencija. Model kombinuje savremene tehnologije kako bi optimizovao ključne procese, uključujući prevenciju, detekciju i predikciju širenja požara, kao i efikasniju koordinaciju sa nadležnim službama. Integracijom AI se postiže preciznije donošenje odluka, smanjuje mogućnost ljudskih grešaka i povećava bezbjednost vatrogasaca i drugih učesnika intervencija. Pored toga, unaprijeđena rana detekcija i predikcija požara doprinose smanjenju materijalne štete, operativnih troškova i rizika po ljudske živote. Predloženi model obuhvata sve aspekte vatrogasnih aktivnosti, od optimizacije ruta i poboljšane koordinacije sa hitnim službama do praćenja intervencija u realnom vremenu. Dodatno, predviđa obuku vatrogasaca za rad sa naprednim tehnologijama, čime se povećava efikasnost sistema i poboljšava spremnost timova na terenu. Analiza modela pokazuje potencijal AI tehnologija u modernizaciji vatrogasnih intervencija, unapređenju operativne organizacije i omogućavanju brže i preciznije reakcije u vanrednim situacijama.

Ključne reči: vještačka inteligencija, bezbednost i zdravlje na radu, vatrogasne intervencije, prevencija požara, detekcija požara, predviđanje širenja požara, optimizacija ruta, koordinacija službi, bezbednost vatrogasaca, AI tehnologije.

ABSTRACT

This study presents a conceptual model for an AI-driven intelligent system designed to improve occupational safety in firefighting operations. The framework utilises artificial intelligence to improve prevention, early detection and dynamic prediction of fire development while enabling more effective coordination with emergency services. Through AI-supported decision-making, the system reduces the likelihood of human error, increases the accuracy of operational decisions and contributes to better protection of firefighters and personnel. The model focuses on comprehensive support in all phases of firefighting, from route optimisation and real-time situation monitoring to seamless integration with other emergency services. It also includes specialised training modules that prepare firefighters for the practical application of advanced digital tools, improving operational readiness and resilience. The results emphasise the transformative potential of AI technologies in reshaping firefighting practises, improving safety standards and ensuring faster and more reliable interventions at critical incidents.

Key words: artificial intelligence, occupational safety, firefighting interventions, fire prevention, fire detection, fire spread prediction, route optimization, service coordination, firefighter safety, AI technologies.

UVOD

Pametni integrisani sistemi za predviđanje, detekciju i koordinaciju vatrogasnih intervencija postaju sve važniji zbog povećane učestalosti i intenziteta požara, koji su često uzrokovani klimatskim promjenama, urbanizacijom i promjenama u korišćenju zemljišta. Ovi faktori čine tradicionalne metode borbe protiv požara nedovoljnim,

jer požari mogu brzo preći velike površine i postati van kontrole. U takvim uslovima, ključno je reagovati u najkraćem mogućem vremenskom periodu, kako bi se spriječile velike štete.

Društvo danas ima pristup velikim količinama podataka kroz tehnologije kao što su senzori, satelitski snimci i meteorološke informacije. Ovi podaci mogu značajno unaprijediti način na koji se predviđaju i upravljaju požarima, jer omogućavaju preciznu analizu u realnom vremenu, što tradicionalne metode nisu u mogućnosti da obezbijede. Implementacija AI u ove sisteme omogućava da se podaci koriste za automatsko prepoznavanje obrazaca, prognozu širenja požara i optimizaciju resursa, čime se povećava brzina i tačnost reakcije.

Korišćenje pametnih sistema takođe doprinosi boljoj optimizaciji resursa, čime se smanjuje vrijeme reakcije na požare. AI može da pomogne u efikasnoj raspodjeli ljudskih i tehničkih resursa, kao i da odabere najbrže i najefikasnije rute za hitne intervencije. Ovakav pristup smanjuje mogućnost grešaka i omogućava vatrogasnim službama da se fokusiraju na ključne zadatke, povećavajući efikasnost operacija [1,2].

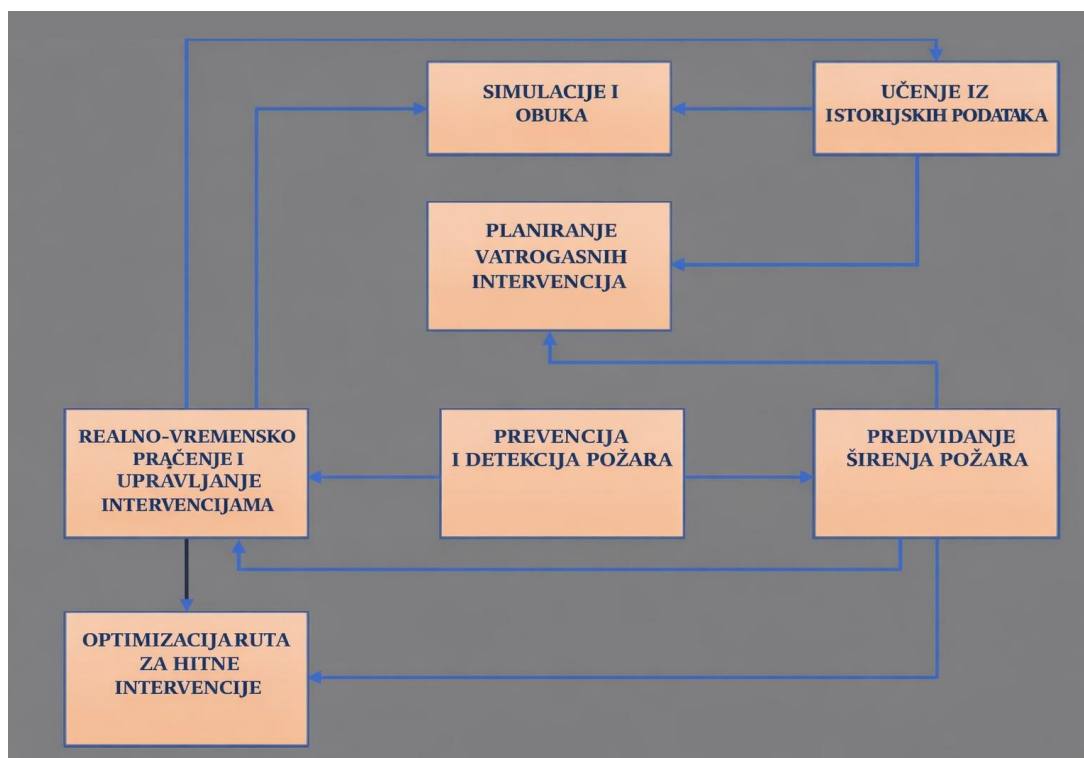
Uvođenjem ovih sistema, omogućava se i kontinuirani razvoj i poboljšanje performansi, jer AI može da analizira prethodne podatke i uči iz novih situacija. Tako se smanjuje ljudska greška, povećava sigurnost i poboljšava sposobnost donošenja boljih odluka u kriznim situacijama, što je ključno za zaštitu ljudi i imovine.

U ovom radu se predlaže teorijski model pametnog sistema koji koristi vještačku inteligenciju (AI) kako bi unaprijedio zaštitu na radu tokom vatrogasnih intervencija. Model integriše savremene tehnologije s ciljem optimizacije ključnih procesa, uključujući prevenciju, detekciju i predikciju širenja požara, kao i koordinaciju sa relevantnim službama.

Primjena AI omogućava preciznije i efikasnije donošenje odluka, smanjenje ljudskih grešaka i povećanje bezbjednosti vatrogasaca i svih učesnika intervencija. Osim toga, unapređuje se rana detekcija i prevencija požara, što doprinosi smanjenju materijalnih šteta, operativnih troškova i rizika po ljudske živote.

Predloženi model pokriva sve aspekte vatrogasnih aktivnosti, od optimizacije ruta i koordinacije sa službama do praćenja intervencija u realnom vremenu. Takođe, uključuje programe obuke vatrogasaca za korišćenje novih tehnologija, čime se dodatno povećava efikasnost sistema.

U radu se analizira kako AI može transformisati vatrogasne intervencije, poboljšati organizaciju i omogućiti brže i preciznije reagovanje u kriznim situacijama.



SLIKA 1. - Vizualizuje međuzavisnosti među elementima vatrogasnih intervencija.

Slika 1. je organizovana kako bi prikazala ključne komponente sistema i njihove veze a vezane su za AI primjenu u optimizaciji vatrogasnih intervencija:

- simulacija i obuka,
- učenje iz istorijskih podataka,
- real-time praćenje i upravljanje resursima,
- planiranje vatrogasnih intervencija,
- optimizacija rute za hitne intervencije,
- prevencija požara i detekcija dima,
- predikcija širenja požara.

Sistem na slici 1. je strukturiran tako da povezuje simulacije, istorijske podatke i real-time informacije sa ciljem:

1. rane detekcije i prevencije požara,
2. predviđanja razvoja situacije kako bi resursi bili unaprijed usklađeni,
3. planiranja i optimizacije intervencija kako bi se smanjilo vrijeme reakcije i povećala efikasnost.

Povezanost segmenata u sistemu proizlazi iz njihove međusobne zavisnosti i logičnog toka podataka koji omogućava efikasan rad cjelokupnog modela. Simulacija i obuka predstavlja početni korak, jer omogućavaju testiranje i usavršavanje sistema u kontrolisanim uslovima. Rezultati simulacija koriste se za učenje iz istorijskih podataka, gdje se analiziraju prethodne intervencije, požari i obrasci koji se ponavljaju. Ova analiza je ključna, jer stvara bazu znanja koja sistemu omogućava da donosi bolje odluke u stvarnom vremenu. Ovi podaci zatim prelaze u planiranje vatrogasnih intervencija, koje se oslanja na kombinaciju istorijskih saznanja i trenutnih informacija sa terena. Ovdje je važno da planiranje omogući pravovremeno usklađivanje ljudskih i tehničkih resursa kako bi se smanjila reakcija na kritične situacije. Istovremeno, real-time praćenje i upravljanje resursima osigurava da sistem u svakom trenutku ima precizne informacije o stanju na terenu, što omogućava rano prepoznavanje opasnosti kroz prevenciju požara i detekciju dima. Kada se požar detektuje, podaci iz detekcije idu ka predikciji širenja požara. Ovaj segment je presudan, obzirom da omogućava sistemu da predvidi kako će se požar razvijati u budućnosti, uzimajući u obzir faktore poput vjetera, terena i intenziteta požara. Ove informacije služe kao osnov za prilagođavanje planova intervencija i alokaciju resursa, kako bi se pravovremeno usmjerili tamo gdje će šteta biti najveća. Završni dio sistema je optimizacija ruta za hitne intervencije, koja dolazi kao logičan ishod planiranja intervencija. Kada je poznato gdje i kako reagovati, važno je odabrati najbrže i najefikasnije rute za vatrogasna vozila. Optimizacija ruta smanjuje vrijeme dolaska na lokaciju požara i time povećava šanse za Sistem je povezan tako da podaci teku od početne faze simulacija i obuke, kroz analizu istorijskih i real-time informacija, ka planiranju i optimizaciji reakcija. Svaki segment direktno zavisi od prethodnog, jer bez ranih analiza ne bi bilo moguće efikasno planirati intervencije, dok bi bez predikcija i optimizacije rute reakcija na terenu bila sporija i manje precizna. Ovakva struktura omogućava sistemu da funkcioniše kao cjelina koja kontinuirano unapređuje svoje performanse. Svaki segment logično proizilazi iz prethodnog, a svi zajedno čine ciklus upravljanja vatrogasnim intervencijama koji se oslanja na AI modele za predviđanje i donošenje odluka.

TABELA 1 - Komponente pametnog sistema za predviđanje i upravljanje požarima

Komponenta	Funkcija	Primjeri uređaja	Tehnologija koja se koristi
1. Senzori i IoT uređaji	Prikupljaju podatke o okolini u stvarnom vremenu, tj. temperaturi, vlažnosti, gustini dima, brzini vjetera, i drugih meteoroloških podataka.	Senzori dima, temperaturni senzori, vlažni senzori, senzori za prepoznavanje gasa i CO ₂ , GPS uređaji.	IoT omogućava povezivanje i razmjenu podataka između uređaja, centralizovanu analizu podataka.
2. Prediktivni algoritmi bazirani na AI	AI algoritmi analiziraju podatke prikupljene od senzora i IoT uređaja za predviđanje širenja požara.	-	Algoritmi tj. neuronske mreže, regresija, klasifikacija, DL.

3. Dronovi i robotski sistemi	Dronovi prikupljaju podatke o požarištima, dok robotski sistemi ulaze u opasne zone za gašenje ili evakuaciju.	Dronovi sa kamerama visoke rezolucije, termalni senzori, robotski sistemi za gašenje i evakuaciju.	AI za automatsku detekciju požara, prediktivna analiza, robotske tehnologije za autonomnu intervenciju.
4. Sistemi za upravljanje resursima	Omogućuju optimalno raspoređivanje vatrogasnih timova, vozila, dronova i drugih resursa, koristeći podatke u realnom vremenu.	Softverske platforme za praćenje resursa, aplikacije za upravljanje.	Napredni algoritmi za optimizaciju resursa, analitika u realnom vremenu, IoT za povezivanje uređaja i sistema.
5. Centralizovana analiza podataka i donosiocje odluka	Centralizovani serveri analiziraju podatke iz svih izvora i omogućavaju donošenje odluka u realnom vremenu.	-	Napredni računarski sistemi, analitički alati za obradu velikih količina podataka, AI za donošenje odluka.
6. Komunikacija u realnom vremenu	Omogućava brzu i efikasnu komunikaciju između svih učesnika u intervenciji, uključujući vatrogasce, vođe timova, operativne centre i druge relevantne aktere.	Mobilne aplikacije, komunikacioni interfejsi za real-time razmjenu informacija.	Mobilne mreže, IoT za povezivanje i razmjenu podataka, aplikacije za instant komunikaciju.

Pametni integrisani sistem za predviđanje, usklađivanje i otkrivanje požara baziran na primjeni AI, koristi napredne tehnologije kako bi omogućio efikasnu i pravovremenu reakciju u procesu detekcije, predviđanja, usklađivanja resursa i sigurnosti tokom vatrogasnih intervencija. Sistem se sastoji od nekoliko ključnih komponenta koje rade zajedno, svakodnevno analizirajući podatke u realnom vremenu i omogućavajući optimalno djelovanje.

Arhitektura predloženog pametnog sistema integrisanog za predviđanje, usklađivanje i otkrivanje požara se temelji na modernim tehnologijama tj. IoT, AI, dronovima, robotskim sistemima i naprednim algoritmima za analizu podataka. Ovako definisana struktura modela može omogućiti pravovremeno otkrivanje i predviđanje požara, optimizaciju intervencija, smanjenje rizika za vatrogasce i minimiziranje štete na imovini i životnoj sredini (Tabela 1).

Senzori i IoT uređaji omogućavaju kontinuirano prikupljanje podataka o uslovima na terenu. Ovi uređaji prate faktore tj. temperature, vlažnosti, gustine dima, brzina vjetra i drugih meteoroloških podataka koji su ključni za procjenu stanja požara. Korišćenje različitih vrsta senzora, tj. senzora dima, temperaturnih senzora, senzora za prepoznavanje gasa i CO₂, omogućava detaljno praćenje stanja u realnom vremenu. IoT tehnologija omogućava povezivanje svih uređaja u mrežu, omogućujući besprekornu razmjenu podataka između njih i centralizovanu analizu podataka u stvarnom vremenu.

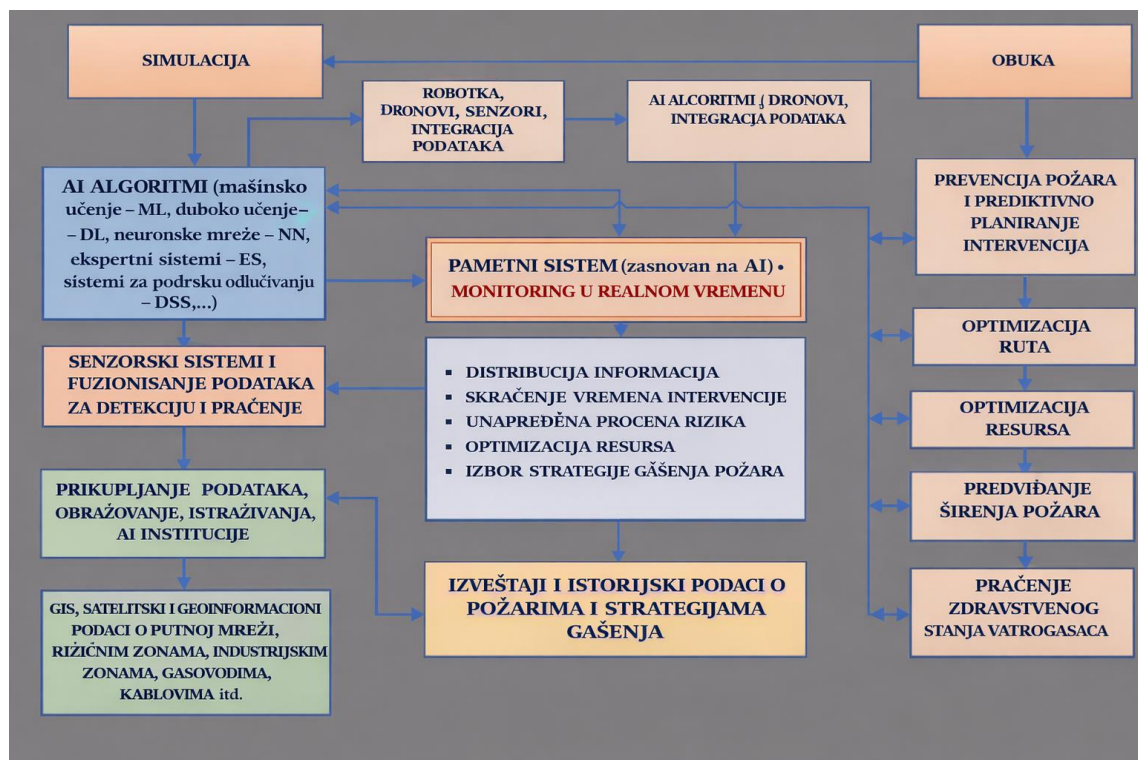
AI prediktivni algoritmi koriste tehnike DL i ML kako bi analizirali prikupljene podatke i predvidjeli širenje požara. Na osnovu podataka o vremenskim uslovima, tipovima terena, gustini vegetacije i drugim faktorima, AI može prepoznati potencijalne tačke širenja požara i pružiti prognoze o njegovoj dinamici. Algoritmi takođe mogu predložiti optimalne rute evakuacije za stanovništvo ili efikasne metode gašenja. Prediktivni modeli omogućavaju donošenje brzih i tačnih odluka o tome gdje i kada preduzeti akciju.

Za vizuelnu i termalnu analizu, dronovi i robotski sistemi igraju ključnu ulogu. Dronovi sa kamerama visoke rezolucije i termalnim sensorima se mogu koristiti za mapiranje terena i praćenje širenja požara u realnom vremenu. Dronovi automatski detektuju početne faze požara, prate promjene u njegovom razvoju. Robotski

sistemi takođe mogu biti korišćeni u opasnim zonama, kako bi se smanjio rizik za ljudske živote. Na primjer, roboti opremljeni za gašenje požara ili evakuaciju ljudi mogu biti poslani u teško dostupne i opasne oblasti koje bi bile previše rizične za ljudske interventne timove [3,4].

Sistemi za upravljanje resursima omogućavaju optimalnu raspodjelu dostupnih resursa (vatrogasnih timova, vozila, dronova i druge opreme) u realnom vremenu. Ovaj sistem koristi podatke prikupljene sa terena, kao i prognoze o širenju požara, kako bi automatski rasporedio resurse prema prioritetima. Na primjer, ako AI predvidi da će požar brzo rasti u određenom području, sistem će automatski alocirati vatrogasne jedinice i opremu na tu lokaciju. Takođe, sistem može pratiti stanje svih resursa i optimizovati raspodjelu u skladu sa promjenama u situaciji na terenu. Centralizovana analiza podataka i donošenje odluka omogućava da se svi podaci sa terena, uključujući informacije sa senzora, dronova, kamera i drugih uređaja, prikupljaju u centralnom sistemu za obradu. Napredne računarske tehnologije koriste se za analizu tih podataka i donošenje odluka u realnom vremenu. Ovaj sistem koristi napredne analitičke alate, uključujući AI algoritme, koji omogućavaju brzo donošenje odluka, tj. preporuka za evakuaciju, optimizaciju rute za vatrogasce ili promjene u strategiji gašenja. Podaci se prikupljaju u realnom vremenu sa svih sistema i automatski se obavještavaju relevantni akteri, uključujući vatrogasni timovi, hitna pomoć, policija i druge službe.

Komunikacija u realnom vremenu je ključna za efikasnu koordinaciju tokom vatrogasnih intervencija. Korišćenje mobilnih aplikacija i drugih interfejsa za real-time komunikaciju omogućena je neposredna razmjena informacija među svim učesnicima u intervenciji. To uključuje komunikaciju između vatrogasnih timova, operativnih centara, dronova i drugih relevantnih aktera. Brza razmjena podataka omogućava bolje praćenje situacije na terenu, ažuriranje statusa resursa i informisanje svih strana o promjenama u dinamici požara. Sistem automatski obavještava sve relevantne strane o statusu, novim prijetnjama, potrebama za dodatnim resursima ili promjenama u situaciji. Jedna od ključnih karakteristika ovog sistema je njegova integracija, koja omogućava da svi ovi elementi funkcionišu kao jedinstveni, koherentni sistem. Svi uređaji, algoritmi, roboti i analitički alati međusobno komuniciraju i dijele podatke, što omogućava maksimalnu efikasnost i brzinu u donošenju odluka. Sistem omogućava proaktivnu detekciju, preciznu analizu i optimizovanu reakciju u realnom vremenu, što značajno povećava efikasnost vatrogasnih intervencija i smanjuje rizik od štete ili gubitka života. Ukratko, integrisani pametni sistem koristi sinergiju između različitih tehnologija tj. IoT, AI, dronova, robotskih sistema i centralizovane analize podataka kako bi unaprijedio sve aspekte vatrogasnih intervencija - od prevencije i detekcije požara do optimizacije resursa, sigurnosti vatrogasaca i koordinacije svih relevantnih službi.



SLIKA 2 - integrisani sistem zaštite na radu za upravljanje vatrogasnim intervencijama

Slika 2. prikazuje integrisani sistem zaštite na radu za upravljanje vatrogasnim intervencijama, gdje su ključni elementi međusobno povezani kroz tok informacija i funkcionalnosti koje omogućavaju efikasno donošenje odluka, real-time praćenje i automatsku koordinaciju resursa. Sistem je dizajniran da kombinuje različite izvore podataka, tehnologije i AI algoritme kako bi se postigao glavni cilj - brže, preciznije i optimizovano reagovanje na požare.

Centralni dio slike zauzima Real-time praćenje, koje je srž sistema, jer omogućava trenutnu reakciju i distribuciju informacija do svih povezanih komponenti. Informacije u realnom vremenu dolaze iz više izvora, poput senzora i satelita za detekciju i praćenje, koji omogućavaju rano otkrivanje požara i kontinuirano nadgledanje situacije na terenu. Ovi podaci se prikupljaju, pripremaju i obrađuju kroz sistem koji čuva i distribuira informacije, oslanjajući se na GIS i katastarske podatke putne, komunalne i infrastrukturne mreže. Na taj način, informacije o lokaciji požara mogu se tačno mapirati, a rute i strategije prilagoditi trenutnim uslovima.

AI algoritmi predstavljaju ključni element, jer omogućavaju obradu i analizu podataka dobijenih iz real-time praćenja, čime se donose predikcije širenja požara, optimizuju resursi i odabiru strategije gašenja. Ovi algoritmi koriste tehnologije tj. ML, NN, ES, DL, DSS, i druge sisteme, čime sistem postaje adaptivan i sposoban za automatsko donošenje odluka. AI takođe komunicira sa robotskim platformama i dronovima koji služe za nadzor, detekciju i podršku na terenu [5,6,7].

Informacije iz real-time praćenja i AI algoritama dalje se usmjeravaju ka planiranju i optimizaciji intervencija. Ovdje dolazi do izražaja automatizacija procesa gašenja požara, gdje sistem samostalno odabira rute, strategije i alokaciju resursa. Ove informacije se koriste za obuku vatrogasaca i pripremu na osnovu stvarnih scenarija, kao i za praćenje zdravstvenog stanja vatrogasaca, čime se dodatno unapređuje zaštita na radu i bezbjednost intervencija. Sve ovo omogućava sistemu da djeluje sinhronizovano i prilagodljivo, gdje se resursi poput vozila i ljudstva optimalno koriste.

Osim toga, sistem se oslanja na istorijskim i orijentacionim podacima o požarima i strategijama gašenja, koji predstavljaju osnovu za donošenje odluka o budućim intervencijama. Ovi podaci pomažu AI modelima da unaprijede predikcije i bolje razumiju kako se požar širi, što je ključno za dinamičko prilagođavanje resursa.

Na kraju, slika jasno prikazuje kako svaki segment ima specifičnu funkciju, ali su svi međusobno povezani kroz tok informacija koji ide od senzora i praćenja, preko AI analiza, do planiranja, obuke i automatizacije intervencija. Ovakva integracija omogućava sistemu da funkcioniše kao jedinstvena cjelina koja reaguje brzo, optimizuje resurse i smanjuje rizik za ljudske živote.

Troškovi pametnog integrisanog modela u prevenciji, detekciji, predviđanju i koordinaciji vatrogasnih intervencija

Implementacija pametnog integrisanog modela zasnovanog na naprednim tehnologijama AI, IoT, dronovima i robotskim sistemima u prevenciji, detekciji, predviđanju širenja požara i koordinaciji vatrogasnih intervencija može dovesti do značajnih unapređenja u operativnoj efikasnosti vatrogasnih službi. Ipak, kao i svaka napredna tehnološka integracija, uvođenje ovih sistema nosi sa sobom značajne troškove koji se mogu svrstati u inicijalne, tekuće i troškove povezane sa održavanjem i unapređenjem sistema, kao i troškove povezane sa obukom ljudskih resursa.

1. Inicijalni troškovi implementacije pametnog integrisanog modela obuhvataju nekoliko ključnih faktora, od kojih svaki ima dugoročan uticaj na finansijsku održivost sistema.

- Akvizicija i instalacija hardverske infrastrukture podrazumijeva nabavku pametnih uređaja i senzora, dronova, robotskih sistema i IoT uređaja što predstavlja prvi značajan trošak. Ovi uređaji moraju biti prilagođeni specifičnim potrebama vatrogasnih službi, uključujući zahtjeve za detekciju požara u različitim okruženjima, tj. urbanih, industrijskih i prirodnih sredina. Takođe, uređaji moraju biti izuzetno pouzdani i otporni na ekstremne uslove, što podrazumijeva specijalizovanu proizvodnju i visoke troškove nabavke.
- Razvoj i integracija softverskih sistema je drugi važan segment inicijalnih troškova za razvoj naprednih algoritama za ML, prediktivne modele za analizu širenja požara, kao i razvoj platformi za integraciju svih tehnologija u jedinstveni operativni sistem. Ove platforme omogućavaju prikupljanje, obradu i

analiziranje podataka u realnom vremenu, omogućujući vatrogascima da donose pravovremene i informisane odluke. Razvoj takvih sistema uključuje visokokvalifikovane stručnjake u oblasti računarstva, podataka i AI, čime se značajno povećavaju početni troškovi.

- Obuka ljudskih resursa i implementacija novih tehnologija zahtijeva obuku zaposlenih u vatrogasnim službama, kao i operativnih timova koji će koristiti te tehnologije. Obuka uključuje rad sa naprednim uređajima poput dronova i robotskih sistema, kao i edukaciju u vezi sa upotrebom sofisticiranih analitičkih alata i sistema za donošenje odluka temeljenih na AI. Takođe, važno je obezbijediti sertifikaciju zaposlenih za rad sa visoko specijalizovanim tehnologijama kako bi se osigurala njihova sigurnost i efikasnost tokom intervencija [8].

2. Tehnička podrška i održavanje - Održavanje pametnog integrisanog sistema predstavlja kontinuirani trošak tokom cjelokupnog životnog ciklusa sistema. Pored redovnog ažuriranja softverskih sistema i optimizacije algoritama, neophodno je obezbijediti stalnu tehničku podršku i održavanje fizičkih uređaja.

- Redovno održavanje i unapređenje hardverske infrastrukture obzirom da dronovi, roboti, pametni senzori i IoT uređaji zahtijevaju redovno servisiranje i ažuriranje, kako bi ostali operativni i pouzdani. Uređaji moraju biti otporni na promjene u vremenskim i terenskim uslovima, a redovno održavanje uključuje provjeru, kalibraciju i zamjenu oštećenih ili zastarelih dijelova.
- Ažuriranje softverskih sistema i algoritama je neophodno u cilju očuvanja tačnosti i efikasnosti sistema, jer softverski alati i algoritmi koji omogućavaju analizu i predikciju širenja požara, kao i optimizaciju resursa, moraju biti redovno ažurirani. To uključuje dodavanje novih podataka u sistem, unapređivanje modela ML, kao i poboljšanje tačnosti predikcija na temelju istorijskih podataka.
- Bezbjednost podataka i sistema obzirom da sa povećanjem korišćenja IoT uređaja, senzora i dronova, sigurnost podataka postaje ključni aspekt održavanja sistema. Stalna ulaganja u zaštitu podataka, enkripciju i sigurnosne protokole neophodna su za očuvanje integriteta sistema i zaštitu od potencijalnih cyber napada, što čini značajan segment održavanja.

3. Potencijalne tehničke greške i njihova prevencija - Tehničke greške u okviru pametnog integrisanog sistema može imati ozbiljne posljedice, naročito u situacijama kada je preciznost u donošenju odluka ključna za zaštitu na radu, kao i sigurnost vatrogasaca i efikasnost intervencije.

- Greške u detekciji i predikciji obzirom da algoritmi ML i računarski vid, iako su izuzetno moćni, nisu imuni na greške. Netačne detekcije požara ili pogrešno predviđeni pravci širenja požara mogu dovesti do ozbiljnih posljedica, uključujući kašnjenje u reakciji ili nepravilnu alokaciju resursa. To zahtijeva stalnu verifikaciju i testiranje sistema na osnovu novih podataka i terenskih iskustava.
- Problemi sa komunikacijom i integracijom sistema obzirom na integraciju različitih tehnologija, postoji mogućnost tehničkih problema u vezi sa komunikacijom između uređaja i sistema. Greške u prenosu podataka ili prekidi u mreži mogu dovesti do kašnjenja u donošenju odluka, što može negativno uticati na efikasnost vatrogasnih intervencija.

Zbog tih potencijalnih grešaka, razvoj sistema za testiranje i validaciju modela, kao i implementacija redundantnih sistema, postaju ključni za očuvanje efikasnosti i tačnosti tokom vatrogasnih intervencija.

4. Uloga ljudskih resursa u implementaciji pametnih tehnologija - Iako pametni integrisani modeli koriste napredne tehnologije za analizu podataka i donošenje odluka, ljudski resursi ostaju centralni faktor u njihovoj uspješnoj primjeni. Vatrogasci i operativni timovi i dalje igraju ključnu ulogu u interpretaciji rezultata dobijenih iz AI sistema i donošenju konačnih odluka u kriznim situacijama. Ljudska intervencija postaje ključna u situacijama kada se suočavaju sa nepredvidljivim okolnostima, koje tehnologija još uvijek ne može u potpunosti obraditi. Ljudski faktor je takođe važan u procesu obuke i kontinuiranog unapređivanja sistema. Povratne informacije sa terena, u kombinaciji sa podacima prikupljenim kroz sistem, omogućavaju stalnu adaptaciju modela, čineći ga sve preciznijim i efikasnijim u predviđanju i optimizaciji vatrogasnih intervencija.

Iako implementacija pametnog integrisanog modela u prevenciji, detekciji, predviđanju širenja požara i koordinaciji vatrogasnih intervencija nosi sa sobom značajne inicijalne i tekuće troškove, dugoročne koristi u pogledu povećanja efikasnosti, preciznosti i smanjenja ljudskih gubitaka čine ovu investiciju opravdanom. Redovno održavanje sistema, kao i ulaganje u obuku ljudskih resursa, predstavljaju ključne faktore za održavanje i unapređenje ovog modela. Uz odgovarajuće tehničke, operativne i etičke pristupe, ovaj model može značajno doprinijeti unapređenju zaštite na radu, kao i bezbjednosti i efikasnosti vatrogasnih službi, smanjujući rizike i povećavajući kapacitet za brzo reagovanje u kriznim situacijama.

Na osnovu analize predloženog integrisanog modela koji koristi napredne metode AI za prevenciju, detekciju, predviđanje i koordinaciju zaštite na radu tokom vatrogasnih intervencija, mogu se uočiti ključne oblasti koje zahtijevaju dalji razvoj kako bi se poboljšala efikasnost, pouzdanost i sigurnost sistema u realnim uslovima.

Prva preporuka odnosi se na unapređenje osnovnih algoritama koji čine temelj ovog modela. Poseban naglasak treba staviti na razvoj sofisticiranijih prediktivnih algoritama zasnovanih na DL i NNs. Korišćenjem većih baza istorijskih podataka, kao i njihovom integracijom sa novim izvorima informacija, kao što su podaci prikupljeni putem satelita, meteoroloških stanica, terenskih senzora i GIS sistema, moguće je značajno poboljšati preciznost predviđanja rizika od požara. Ova unapređenja omogućila bi pravovremeno donošenje odluka, proaktivno planiranje intervencija i povećanje zaštite na radu tokom akcija gašenja požara.

Drugi ključni aspekt je infrastruktura koja podržava implementaciju ovog modela. Da bi sistem bio efikasan, neophodno je obezbijediti pouzdane komunikacione mreže, naročito u udaljenim i teško pristupačnim područjima. Kontinuirana razmjena podataka između komandnog centra, terenskih timova i senzorskih sistema je ključna za pravovremenu reakciju. Implementacija IoT tehnologija može dodatno poboljšati povezanost i omogućiti automatizovanu sinhronizaciju podataka. GIS sistemi, sa detaljnim podacima o terenima, zgradama i potencijalnim preprekama, mogu olakšati planiranje ruta za vatrogasne timove i omogućiti bržu reakciju u kriznim situacijama [8,9]. Takođe, za efikasnu koordinaciju sa drugim službama za hitne situacije, kao što su policija, hitna pomoć i civilna zaštita, nužno je standardizovati komunikacione protokole i razviti interoperabilne sisteme. Takvi sistemi omogućili bi razmjenu ključnih informacija u realnom vremenu, što bi povećalo sigurnost na radu, kao i efikasnost resursa tokom intervencija. Dodatno, integracija centralizovanih baza podataka sa podacima o prethodnim intervencijama omogućila bi analizu i dugoročno planiranje strategija za buduće izazove. Obuka ljudskih resursa je takođe ključna komponenta za uspješan razvoj sistema. Operativno osoblje i vatrogasni timovi moraju usvojiti napredne vještine za rad sa tehnologijama poput AI sistema, GIS platformi i nosivih uređaja za praćenje vitalnih parametara. Obuka treba da uključuje simulacije i treninge u realističnim uslovima, pri čemu bi upotreba virtuelna stvarnost (VR) i proširena stvarnost (AR) tehnologija omogućila bezbjedne, ali realistične scenarije za obuku, čime se doprinosi boljoj pripremljenosti i smanjenju rizika od povreda tokom intervencija. Sigurnost sistema mora biti prioritet, pa je potrebno smanjiti redundanciju i obezbijediti otpornost na tehničke kvarove, prekide u napajanju ili komunikacionim mrežama. Unapređenje protokola zaštite podataka, uključujući primjenu savremenih enkripcijskih tehnologija, osiguraće povjerenje korisnika i zaštitu od potencijalnih zloupotreba podataka. Takođe, važno je nastaviti sa istraživanjima novih tehnologija, kao što su 5G mreže, autonomni dronovi i vatrogasna vozila, koji mogu doprinijeti smanjenju vremena reakcije i povećanju bezbjednosti tokom intervencija. Dronovi sa senzorima i kamerama visoke rezolucije mogli bi pružiti dodatne informacije sa terena, dok bi autonomna vozila omogućila bržu dostavu opreme ili pomoć u zonama visokog rizika.

ZAKLJUČAK

Implementacija ovih preporuka omogućila bi dalji razvoj predloženog sistema, povećavajući njegovu efikasnost, tehnološku sofisticiranost i sigurnost. Na taj način, vatrogasne službe bi bile bolje pripremljene za suočavanje sa kompleksnim izazovima u budućnosti, uz poboljšanje zaštite na radu i smanjenje rizika tokom intervencija.

LITERATURA

1. I. Gomaa, M. Adelzadeh, S. Gwynne, et al., "A Framework for Intelligent Fire Detection and Evacuation System," *Fire Technol.*, vol. 57, pp. 3179–3185, 2021. <https://doi.org/10.1007/s10694-021-01157-3>
2. D. Jung, V. T. Tran, D. Q. Tran, M. Park, And S. Park, "Conceptual Framework Of An Intelligent Decision Support System For Smart City Disaster Management," *Applied Sciences*, Vol. 10, No. 2, P. 666, 2020. <https://doi.org/10.3390/app10020666>
3. A. Jaber, F. Guarnieri, and J. L. Wybo, "Intelligent software agents for forest fire prevention and fighting," *Safety Science*, vol. 39, no. 1-2, pp. 3–17, 2001. [https://doi.org/10.1016/S0925-7535\(01\)00021-2](https://doi.org/10.1016/S0925-7535(01)00021-2)
4. G. Liu, Z. Liu, G. Qu, L. Ren, L. Wang, And M. Yan, "Dual-Agent Intelligent Fire Detection Method For Large Commercial Spaces Based On Numerical Databases And Artificial Intelligence," *Process Safety And Environmental Protection*, Vol. 191, Part B, Pp. 2485–2499, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2024.10.010>

5. H. Mahmoud, A. Alharbi, And N. S. Alghamdi, "Time-Efficient Fire Detection Convolutional Neural Network Coupled With Transfer Learning," *Intelligent Automation & Soft Computing*, Vol. 31, No. 3, Pp. 1393–1403, 2022. [https://www.researchgate.net/publication/357489694 Time-Efficient Fire Detection Convolutional Neural Network Coupled with Transfer Learning.1](https://www.researchgate.net/publication/357489694_Time-Efficient_Fire_Detection_Convolutional_Neural_Network_Coupled_with_Transfer_Learning.1)
6. K. E. Mata, And Et Al., "Design of Intelligent Agent Using Artificial Neural Network for E-Service of Bureau of Fire Protection," *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*, Vol. 9, No. 1.2, Pp. 58–62, 2020. [https://www.researchgate.net/publication/341209311 Intelligent Agent Using Artificial Neural Network for E-Service of Bureau of Fire Protection](https://www.researchgate.net/publication/341209311_Intelligent_Agent_Using_Artificial_Neural_Network_for_E-Service_of_Bureau_of_Fire_Protection)
7. S. A. H. Mohsan, N. Q. H. Othman, Y. Li, M. H. Alsharif, and M. A. Khan, "Unmanned Aerial Vehicles (UAVs): Practical Aspects, Applications, Open Challenges, Security Issues, and Future Trends," *Intelligent Service Robotics*, Vol. 16, Pp. 109–137, 2023. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11370-022-00452-4>
8. X. Zou, "Design of Intelligent Wearable Equipment Vital Signs Monitoring System for Firefighters Based on Multi-Sensor," in *2023 IEEE International Conference on Sensors, Electronics and Computer Engineering (ICSECE)*, Pp. 1546–1551, IEEE, 2023. <https://doi.org/10.1109/ICSECE58870.2023.10263523>
9. Y. Xu, Z. Wang, Q. Zheng, and Z. Han, "The Application of Dijkstra's Algorithm in the Intelligent Fire Evacuation System," *Proceedings of the 4th International Conference*, Pp. 1–5, IEEE, 2012.