

Primene veštačke inteligencije kao ključ za efikasno ublažavanje prirodnih katastrofa

Filip Marković
Katedra za teorijsku elektrotehniku,
merenja, računarstvo i informatiku
Univerzitet u Prištini,
Fakultet tehničkih nauka
Kosovska Mitrovica, Srbija
filip.markovic@pr.ac.rs

Žaklina Spalević
Katedra za pravne nauke
Univerzitet Singidunum,
Fakultet za turistički i hotelijerski
menadžment
Beograd, Srbija
zspalevic@singidunum.ac.rs

Dejan Rancić
Katedra za računarstvo
Univerzitet u Nišu,
Elektronski fakultet
Niš, Srbija
dejan.rancic@elfak.ni.ac.rs

Olivera Pronić-Rančić
Katedra za telekomunikacije
Univerzitet u Nišu,
Elektronski fakultet
Niš, Srbija
olivera.pronic@elfak.ni.ac.rs

Petar Spalević
Katedra za elektroniku i telekomunikacije
Univerzitet u Prištini,
Fakultet tehničkih nauka
Kosovska Mitrovica, Srbija
petar.spalevic@pr.ac.rs

Sažetak—Poslednjih godina, napredak u veštačkoj inteligenciji otvara nove mogućnosti za efikasnije upravljanje rizicima i ublažavanje prirodnih katastrofa koje predstavljaju ozbiljan izazov za zemlje u svetu. Metode veštačke inteligencije, poput nadgledanog učenja, nenadgledanog učenja, dubokog učenja, pojačanog učenja i dubokog pojačanog učenja, prikazane u ovom radu, mogu se koristiti u analizi podataka o katastrofama, ranoj detekciji, donošenju odluka i planiranju intervencija. U globalnom kontekstu suočavamo se s raznolikim prirodnim katastrofama, a analiza njihove distribucije i učestalosti je ključna za razvoj efikasnih strategija upravljanja rizicima. U radu je korišćenjem podataka iz Međunarodnog centra za bazu podataka o katastrofama EM-DAT, dat pregled ključnih kategorija katastrofa - geofizičke, meteorološke i hidrolološke, u Republici Srbiji i u svetu, za period od 2010. do 2023. godine, kao i mogućnosti primene veštačke inteligencije koja može imati ključnu ulogu u svim fazama upravljanja katastrofama.

Ključne reči—veštačka inteligencija; mašinsko učenje; prirodne katastrofe

I. UVOD

Performanse veštačke inteligencije (VI) obično zavise od pristupa kvalitetnim podacima, mašinskom učenju i odabiru odgovarajućeg arhitektonskog modela. Razvojem i implementacijom naprednih tehničkih alata i pristupa, kao što su sateliti, dronovi i daljinsko snimanje, korišćenje različitih mreža, kao što su meteorološke, hidrometeorološke i seizmičke, podaci o Zemlji se brzo povećavaju. Očekuje se da će mašinsko učenje biti značajno prisutno u aplikacijama smanjenja rizika od katastrofa. Primena VI u upravljanju katastrofama obuhvata četiri faze: ublažavanje, priprema, odgovor i oporavak. Prema registrovanim događajima, većina VI aplikacija usmerena je na fazu odgovora na katastrofu [1].

VI može i treba da pomogne da se izgradi održiviji svet [2].

Prirodne nepogode poput poplava, zemljotresa i požara mogu prouzrokovati značajnu štetu i gubitak života. Razvoj VI poslednjih godina pruža nove mogućnosti za unapređenje odgovora na katastrofe i ublažavanje njihovih posledica [3]. VI, posebno mašinsko učenje, igra sve značajniju ulogu u smanjenju rizika od katastrofa (DRR-disaster risk reduction) - od prognoziranja ekstremnih događaja i razvoja mapa opasnosti do otkrivanja događaja u stvarnom vremenu, pružanja situacione svesti i podrške odlučivanju.

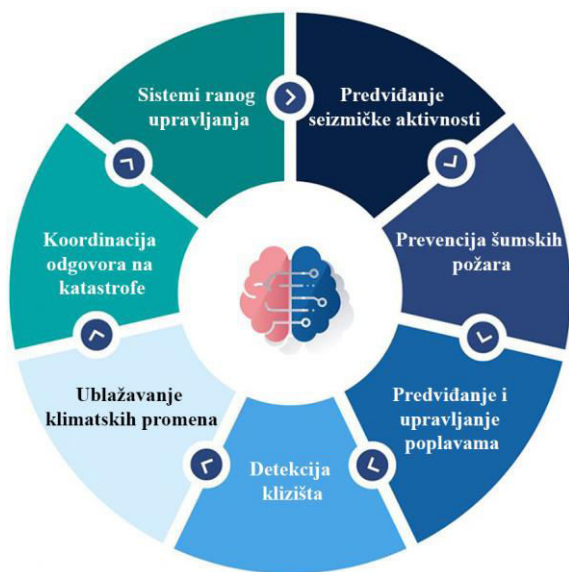
Prirodne katastrofe, bez obzira na njihovu prirodu ili uzrok, često imaju devastirajući uticaj na zajednice i infrastrukturu. Tokom proteklih decenija, svet je svedočio sve većem broju katastrofalnih događaja koji su rezultirali ozbiljnim socio-ekonomskim gubicima.

U ovom kontekstu, efikasno upravljanje rizicima i pravovremena reakcija postaju ključne. Kada je reč o upravljanju katastrofama, VI nalazi primenu u svim fazama procesa počevši od preventivnih mera i pripreme, preko brzog i efikasnog odgovora u trenucima krize, pa sve do faze oporavka i rehabilitacije. Zanimljivo je, da je uprkos ovom širokom spektru primene, najveći fokus trenutno na fazi intervencije. Razlog tome može se tražiti u mogućnosti VI sistema da pruže brze i precizne informacije u kritičnim trenucima, omogućavajući donosiocima odluka da reaguju u realnom vremenu [4].

Učestalost i intenzitet prirodnih nepogoda, posebno poplava, beleže porast u poslednjim godinama, a očekuje se da će klimatske promene dodatno da pogoršaju ove događaje. Povećana dostupnost i broj satelita sa neprekidno unapređenim prostornim i vremenskim rezolucijama mogu pružiti efikasne izvore podataka koji pomažu u realnom vremenu u naporima od procene opasnosti do spasilačkih operacija. Analiza ovih obimnih podataka zahteva visoko efikasne algoritme koji mogu brzo i tačno generisati rezultate u dinamičkom okruženju. VI pruža priliku za ponovljivu, pravovremenu i pouzdanu obradu

podataka. Nakon što su podaci mapirani, izazov je obezbediti brzu dostavu prostornih informacija korisnicima i donosiocima odluka na način koji je lako razumljiv i dostupan [5].

Na Sl. 1 su ilustrovane inicijative usmerene na sprečavanje, smanjenje ili potpuno otklanjanje prirodnih katastrofa, čime se istovremeno minimiziraju i socio-ekonomski izazovi i gubici.



Slika 1. Veštačka inteligencija u otkrivanju prirodnih katastrofa [6]

VI se odnosi na tehnologije koje imitiraju ili čak nadmašuju ljudsku inteligenciju u obavljanju određenih zadataka. Mašinsko učenje, kao podskup VI koji uključuje nadgledano učenje (npr. random forest ili decision trees), nenadgledano učenje (npr. K-sredina) ili pojačano učenje (npr. Markovljev proces odlučivanja), može se pojednostaviti kao parsiranje podataka u algoritme koji uče iz podataka radi vršenja klasifikacije ili predviđanja [7].

II. METODE VEŠTAČKE INTELEGENCIJE

Istraživanje se bazira na pregledu stanja istraživanja i prakse primene VI u upravljanju katastrofama, klasifikujući metode VI u nekoliko kategorija: nadgledano učenje, nenadgledano učenje, duboko učenje, pojačano učenje, kao i duboko pojačano učenje [1].

A. Nadgledano učenje

Nadgledano učenje u mašinskom učenju predstavlja ključnu paradigmu u kojoj model apsorbuje znanje iz označenih podataka kako bi stekao sposobnost pravilnog mapiranja ulaznih podataka na odgovarajuće ciljane izlazne vrednosti. Ova tehnika se često koristi za efikasno rešavanje problema predviđanja ili klasifikacije, gde model uči implicitne obrasce i veze između ulaza i izlaza.

Nadgledano učenje postavlja temelje za razvoj modela sposobnih za donošenje preciznih predviđanja na osnovu prethodno označenih primera. Važno je napomenuti da nadgledano učenje omogućava modelu da generalizuje svoje znanje na nove, nepoznate situacije. Ovaj pristup doprinosi

razvoju inteligentnih sistema koji su sposobni prilagoditi se i donositi ispravne odluke u različitim kontekstima [8].

B. Nenadgledano učenje

U dinamičnom svetu mašinskog učenja, gde podaci postaju ključni faktor za donošenje odluka, jedan od važnih pristupa je nenadgledano učenje. Nenadgledano učenje, ključna grana mašinskog učenja, omogućava modelima da autonomno istražuju obrasce u neoznačenim podacima. Bez potrebe za unapred definisanim ciljevima, ovaj pristup je od suštinskog značaja u situacijama gde nedostaju označeni podaci ili gde je potrebno istražiti inherentne karakteristike informacija [8].

Jedan od značajnih primera primene nenadgledanog učenja je klasterovanje. Ovde, model samostalno identifikuje sličnosti između podataka i grupiše ih u klustere [9]. Ovaj pristup omogućava automatsko otkrivanje suštinskih struktura, što doprinosi dubljem razumevanju podataka [10].

Nenadgledano učenje predstavlja istraživački izazov. Omogućava modelima da sami otkrivaju suštinske strukture, doprinoseći širem razumevanju informacija. U svetu gde se količina podataka neprestano povećava, nenadgledano učenje postaje nezaobilazna komponenta koja omogućava modelima da samostalno istražuju svet podataka, otkrivajući nevidljive obrasce i doprinoseći širem razumevanju informacija.

C. Duboko učenje

Duboko učenje predstavlja metode učenja iz podataka gde se računanje vrši kroz višeslojne neuronske mreže i obradu. Pojam "duboko" u metodologiji dubokog učenja odnosi se na koncept više nivoa ili faza kroz koje se podaci obrađuju radi izgradnje modela vođenog podacima [11].

Duboko učenje je klasa algoritama koja koristi više slojeva kako bi progresivno izvlačila karakteristike iz ulaznih podataka, poboljšavajući performanse učenja i pokrivajući širok spektar primena. Iako može zahtevati dugo vreme obuke, ovi algoritmi su posebno pogodni za rešavanje problema ocene štete, detekcije pokreta, prepoznavanja lica, predviđanja transporta i obrade prirodnog jezika u podršci upravljanju katastrofama. Duboko učenje može imati više definicija, ali uglavnom podrazumeva tehniku mašinskog učenja koja koristi mnogo slojeva za izdvajanje i transformaciju karakteristika iz podataka, sa fokusom na nadgledano ili nenadgledano učenje [12].

Dakle, duboko učenje igra ključnu ulogu u transformaciji mašinskog učenja, omogućavajući modelima da samostalno nauče reprezentacije podataka i rešavaju kompleksne zadatke.

D. Pojačano učenje

Kroz učenje iz serije pojačanja (gde se koriste kazne i nagrade kao pozitivni i negativni signali), koriste se algoritmi za učenje pojačanja kako bi se rešavali problemi orijentisani ka cilju donošenja odluka u sekvencijalnom redosledu i obliku u se kao Markovljevi procesi odlučivanja [8].

Markovljevi procesi odlučivanja modeliraju stohastičke sekvencijalne prelaze između stanja, pružajući osnovu za efikasno rešavanje problema odlučivanja [13]. Kombinacija

dubokog učenja i Markovljevih procesa odlučivanja često se koristi za modeliranje i predviđanje dinamičnih interakcija u kompleksnim stvarnim situacijama. U svetu pojačanog učenja, ključna veza između korisnika i okruženja omogućava adaptivne odluke i interakciju na osnovu povratnih informacija, koristeći fundamentalne koncepte kao što su Markovljeva svojstva i procesi. Ovi alati pružaju sposobnost razumevanja i efikasne navigacije u složenim okruženjima [14]. Ovaj metod je često korišćen u situacijama gde je potrebno postizanje određenih ciljeva kroz sekvencijalne korake, kao što su problemi robotike, upravljanje resursima ili kontrola semafora.

E. Duboko pojačano učenje

Duboko pojačano učenje kombinuje učenje pojačanja sa dubokim neuronskim mrežama, težeći stvaranju autonomnih sistema koji sami uče i razvijaju strategije za ostvarivanje dugoročnih nagrada. Duboko pojačano učenje ima izuzetne performanse u rešavanju problema sa kompleksnim sekvencijalnim zadacima, kao što su računarski vid, robotika, finansije, pametne mreže, itd. Zahteva veliku količinu podataka za obuku i vreme obuke da bi postiglo prihvatljive performanse, pa duboko pojačano učenje ponekad postaje izuzetno računski zahtevno [1].

Duboko pojačano učenje takođe predstavlja izazov zbog potrebe za preciznim podešavanjem hiperparametara kako bi se postigle optimalne performanse. Pored toga, postoji rastući interes za razvoj interpretabilnih modela unutar dubokog pojačanog učenja, kako bi se omogućilo bolje razumevanje odluka koje modeli donose. Uz to, kontinuirano istraživanje i razvoj novih tehnika regularizacije i optimizacije naglašava potrebu za stalnim unapređenjem alata i metoda u ovoj oblasti [15].

III. REPUBLIKA SRBIJA I PRIRODNE KATASTROFE: VEŠTAŠKA INTELIGENCIJA ZA ANALIZU I PREVENCIJU

U svetu u kojem živimo, suočavamo se sa raznovrsnim prirodnim katastrofama koje često ostavljaju trajne posledice na živote i imovinu ljudi. Analiza distribucije i učestalosti različitih vrsta prirodnih katastrofa ključna je za razvoj efikasnih strategija upravljanja rizicima. U nastavku ćemo se fokusirati na tri ključne kategorije katastrofa: geofizičke, meteorološke i hidrološke i dati prikaz istih u Republici Srbiji i u svetu. Cilj ove analize je pružiti dublje razumevanje dinamike prirodnih katastrofa na svetskom nivou, istražujući kako se Republika Srbija integriše u ovu sliku nedaća.

Korišćenje VI za upravljanje katastrofama može spasiti zajednice, živote i egzistencije ljudi. Trenutno, VI može predviđati četiri vrste prirodnih katastrofa: zemljotrese, erupcije vulkana, uragane i tornada.

Zemljotresi – istraživači "hrane" informacione sisteme VI seizmičkim slikama kako bi ih obučili. VI analizira podatke i uči o obrascima različitih zemljotresa, a zatim može predvideti gde se zemljotresi i naknadni potresi mogu dogoditi.

Erupcije vulkana – istraživači pružaju VI seizmičke i geografske informacije, i mogu dobiti tačne prognoze budućih erupcija vulkana.

Uragani i tornada – VI sistemi prate satelitske slike, predviđaju putanju uragana ili tornada i mogu odrediti jačinu oluje [7].

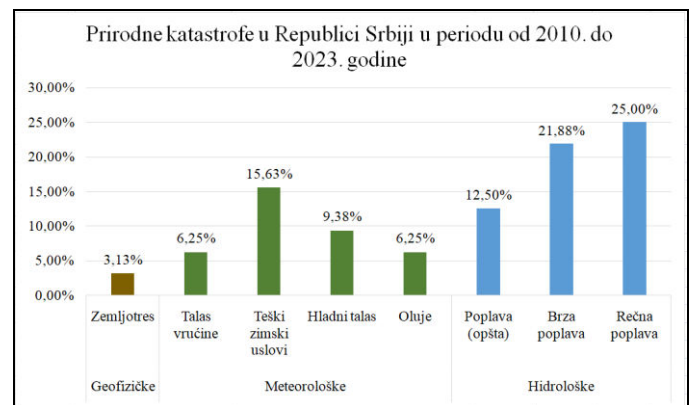
Za potrebe ovog rada koristili smo Međunarodni centar za bazu podataka o katastrofama - EM-DAT. EM-DAT sadrži podatke o pojavama i posledicama preko 26.000 masovnih katastrofa širom sveta od 1900. godine do današnjeg dana. Baza podataka se sastavlja iz različitih izvora, uključujući UN agencije, nevladine organizacije, reosiguravajuće kompanije, istraživačke institute i novinske agencije. Centar za istraživanje epidemiologije katastrofa (CRED) (Centre for Research on the Epidemiology of Disasters) distribuira podatke u otvorenom pristupu za nekomercijalnu upotrebu.

Glavni cilj baze podataka je da posluži potrebama humanitarnih akcija na nacionalnom i međunarodnom nivou. Inicijativa ima za cilj da racionalizuje donošenje odluka za strategije pripreme za katastrofe i smanjenje rizika od katastrofa, kao i da pruži objektivnu osnovu za procenu ranjivosti i postavljanje prioriteta [16].

Koristeći podatke EM-DAT, u Republici Srbiji su u periodu od 2010. do 2023. godine zabeležene geofizičke (zemljotresi-pomeranje tla), hidrološke (poplave-opšte, rečne i brze poplave koje nastaju iznenada otapanjem snega) i meteorološke (hladni talasi, topli talasi, teški zimski uslovi) katastrofe.

Uz pomoć podataka koje nam pruža EM-DAT, autori su izvršili selekciju podataka po vremenskim katastrofama i uz pomoć MS Office Excell-a je predstavljena procentualna grafička zastupljenost vremenskih katastrofa u periodu od 2010-2023. godine.

Na Sl. 2 je dat pregled prirodnih katastrofa koje su se dogodile u Republici Srbiji u periodu od 2010. do 2023. godine.



Slika 2. Prirodne katastrofe u Republici Srbiji u periodu od 2010. do 2023. godine, prema podacima EM DAT

Ako uzmemo u obzir navedene podatke o prirodnim katastrofama logično se nameće zaključak da se Republika Srbija, poput mnogih zemalja, suočava sa različitim prirodnim nepogodama koje mogu značajno uticati na živote ljudi i infrastrukturu. Analizom podataka o prirodnim katastrofama od 2010. do 2023. godine, možemo identifikovati ključne tačke koje zahtevaju poseban akcenat kako bi se unapredila priprema i odgovor na ove izazove.

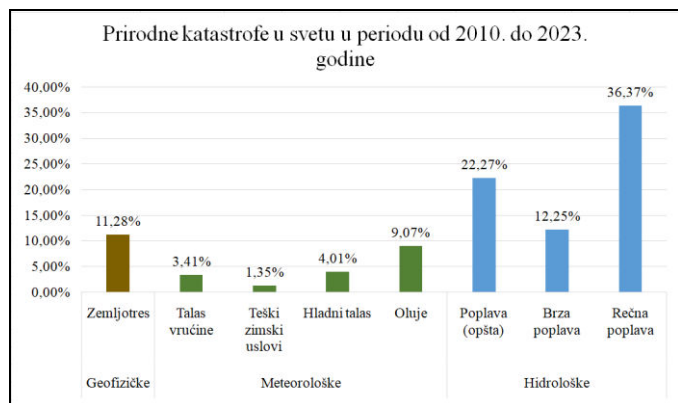
Jedan od značajnih aspekata koji se izdvaja je učestalost teških zimskih uslova (15,63%). Ovi uslovi često dovode do otežanog saobraćaja, energetskih poteškoća i opasnih situacija po zdravlje. Stoga je ključno usmeriti napore na održavanje puteva, obezbeđivanje adekvatnog grejanja i edukaciju javnosti o bezbednom ponašanju tokom zimskih meseci.

Druga važna tačka su poplave koje čine značajan deo prirodnih katastrofa (brze poplave - 21,88%, rečne poplave - 25,00%). Ove poplave različitog porekla zahtevaju raznolike strategije upravljanja. Izgradnja sistema odbrane od poplava, razvoj sistema ranog upozoravanja i obrazovanje građana o postupanju tokom poplava postaju imperativi za smanjenje rizika.

Zemljotresi, iako manje učestali, čine deo prirodnih katastrofa (3,13%). Iako ova cifra može delovati niska, važno je napomenuti da zemljotresi mogu imati katastrofalne posledice. Stoga je od suštinske važnosti fokusirati se na izgradnju infrastrukture otporne na zemljotrese i obrazovanje javnosti o bezbednim postupcima tokom potresa.

Hladni talasi (9,38%) i oluje (6,25%) takođe zahtevaju posebnu pažnju. Ovi fenomeni mogu dovesti do energetskih poremećaja, štete na objektima i opasnosti po bezbednost ljudi. Ojačavanje infrastrukture, posebno energetskih sistema, i efikasno upravljanje vodama ključni su za smanjenje rizika tokom ovih nepogoda.

Na Sl. 3 je dat pregled prirodnih katastrofa koje su se dogodile u svetu u periodu od 2010. do 2023. godine.



Slika 3. Prirodne katastrofe u svetu u periodu od 2010. do 2023. godine, prema podacima EM DAT

Sa Sl. 3 se uočava da geofizički zemljotresi, kao ozbiljan rizik po živote i infrastrukturu, čine 11,28% ukupnih prirodnih katastrofa u svetu. Ove nepogode često imaju nepredvidive i katastrofalne posledice, a njihova distribucija je globalna, sa naglaskom na seizmički aktivnim regionima. S obzirom na ovu visoku učestalost, neophodno je unapređenje tehnologije za ranu detekciju i razvoj sistema upozoravanja kako bi se smanjile štete.

Potom, talasi vrućine, teški zimski uslovi, hladni talasi i oluje predstavljaju različite aspekte meteoroloških nepogoda koje zajedno čine značajan deo ukupnih prirodnih katastrofa (17,84%). Klimatske promene doprinose povećanoj učestalosti ekstremnih meteoroloških događaja. Odgovor na ove izazove

zahteva unapređenje sistema za praćenje vremenskih uslova, kao i edukaciju i pripremu populacije za ekstremne situacije.

I na kraju, hidrološke katastrofe, sa posebnim osvrtom na poplave, čine najveći deo ukupnih prirodnih katastrofa (70,89%). Opšte poplave, brze poplave i rečne poplave sve zajedno čine veći deo podataka. Ova visoka učestalost ukazuje na potrebu za sistemima za upravljanje vodama, efikasnim planiranjem naseljenih područja i investicijama u infrastrukturu koja može smanjiti rizik od poplava.

Analizirajući ključne kategorije katastrofa, u Republici Srbiji u i svetu možemo izdvojiti nekoliko važnih zaključaka.

Geofizičke katastrofe, pre svega zemljotresi, čine manji deo ukupnih rizika u Republici Srbiji u poređenju sa svetskim procentima. Ipak, njihova prisutnost naglašava potrebu za pažljivim pristupom seizmičkom riziku, bez obzira na njegov manji obim.

Kada su u pitanju meteorološke katastrofe, Republika Srbija se ističe po većem procentu u odnosu na globalni prosek. Teški zimski uslovi i hladni talasi čine značajan deo ovog segmenta, ukazujući na potrebu za prilagođavanje lokalnim klimatskim karakteristikama.

Hidrološke katastrofe, posebno poplave, iako izazivaju značajan rizik, imaju nešto manji udeo u Republici Srbiji u poređenju sa svetskim prosekom. Ovo može biti povezano s regionalnom topografijom, ali i ukazuje na važnost održivog upravljanja vodama.

VI donosi revolucionarne mogućnosti u upravljanju prirodnim katastrofama u Republici Srbiji. Ključne oblasti gde VI ima značajan doprinos obuhvataju rano upozoravanje, analizu rizika, upravljanje resursima i logistikom, komunikaciju sa javnošću i analizu uticaja klimatskih promena. Kombinacija dubokog učenja, geoprostornih analiza i optimizacije resursa omogućava efikasan odgovor i bolje planiranje intervencija u slučaju nepogoda. VI obećava transformaciju načina kojim bi se Republika Srbija nosila sa izazovima prirodnih katastrofa, pružajući temelj za sigurniju i otporniju budućnost.

IV. ZAKLJUČAK

Veštačka inteligencija sa posebnim osvrtom na tehnike mašinskog učenja, pokazuje značajan potencijal u smanjenju rizika od katastrofa i poboljšanju odgovora na njih. Primena VI obuhvata sve faze upravljanja katastrofama, od preventivnih mera i pripreme, do brzog reagovanja u trenucima krize, pa sve do faze oporavka.

U radu su naglašene ključne metode VI, uključujući nadgledano učenje, nenadgledano učenje, duboko učenje, pojačano učenje i duboko pojačano učenje. Svaka od ovih tehnika ima svoje prednosti i primene u kontekstu upravljanja katastrofama.

Takođe, ovi koncepti se mogu primeniti na situaciju u Republici Srbiji, gde je analizirana učestalost različitih vrsta prirodnih katastrofa od 2010. do 2023. godine. Identifikovane su ključne tačke koje zahtevaju poseban akcenat, uključujući

teške zimske uslove, poplave, zemljotrese i druge meteorološke nepogode.

Na kraju možemo zaključiti da je VI ključna za efikasno upravljanje rizicima od katastrofa, pružajući brze i precizne informacije, poboljšavajući odlučivanje i doprinoseći opštoj otpornosti zajednica na katastrofe.

U budućnosti, kontinuirano istraživanje i implementacija VI će biti od suštinskog značaja za izgradnju sigurnijeg i otpornijeg društva pred sve češćim izazovima prirodnih katastrofa.

LITERATURA

- [1] W. Sun, P. Bocchini, B. D. Davison, "Applications of artificial intelligence for disaster 2 management," *Natural Hazards*, 103(3), pp. 2631-2689, DOI:10.1007/s11069-020-04124-3, September 2020.
- [2] Ž. Spalević, F. Marković, S. Marković, "Artificial intelligence: the new inevitability of contemporary society," *Kultura Polisa*, <https://doi.org/10.51738/Kpolisa2023.20.3r.88smm>, 20(3), pp. 88-106, 2023.
- [3] M. Hesham, "Natural Disasters and Artificial Intelligence," № 10634, 6 pages, EasyChair Preprint, 29 July, 2023.
- [4] S. K. Abid, N. Sulaiman, S. W. Chan, U. Nazir, M. Abid, H. Han, A. Ariza-Montes, A. Vega-Muñoz, "Toward an Integrated Disaster Management Approach: How Artificial Intelligence Can Boost Disaster Management," *Sustainability*, 13(22), 17 pages, DOI: [10.3390/su132212560](https://doi.org/10.3390/su132212560), 2021.
- [5] H. McGrath; S. Jabari, "Current Limitations and Emerging Trends in Real-Time Mapping of Natural Disasters and the Emergence of Disaster Dashboards for Communicating Risk," *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium IGARSS*, DOI: [10.1109/IGARSS47720.2021.9554478](https://doi.org/10.1109/IGARSS47720.2021.9554478), 11-16 July, 2021.
- [6] <https://www.bbvaopenmind.com/en/technology/artificial-intelligence/artificial-intelligence-and-natural-disasters/>, preuzeto 04.01.2024.
- [7] M. Kuglitsch, A. Albayrak, R. Aquino, A. Craddock, J. Edward-Gill, R. Kanwar, A. Koul, J. Ma, A. Marti, M. Menon, I. Pelivan, A. Toret, R. Venguswamy, T. Ward, E. Xoplaki, A. Rea, J. Luterbacher, "Artificial Intelligence for Disaster Risk Reduction: Opportunities, challenges, and prospects," 71(1), 2022, dostupno na: <https://public-old.wmo.int/en/resources/bulletin/artificial-intelligence-disaster-risk-reduction-opportunities-challenges-and>
- [8] S. J. Russell, P. Norvig, "Artificial Intelligence A Modern Approach," Third Edition, Prentice Hall Series in Artificial Intelligence, 2010.
- [9] G. W. Milligan, M. C. Cooper, "An examination of procedures for determining the number of clusters in a data set," *Psychometrika*, 50, pp. 159-179, <https://doi.org/10.1007/BF02294245>, 1985.
- [10] U. Maulik, S. Bandyopadhyay, "Performance evaluation of some clustering algorithms and validity indices," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 24(12), pp. 1650-1654, DOI: [10.1109/TPAMI.2002.1114856](https://doi.org/10.1109/TPAMI.2002.1114856), December 2002.
- [11] I. H. Sarker, "Deep Learning: A Comprehensive Overview on Techniques, Taxonomy, Applications and Research Directions," *SN Computer Science*, 2(420), <https://doi.org/10.1007/s42979-021-00815-1>, 18 August 2021.
- [12] Li Deng, Dong Yu, *Deep Learning: "Methods and Applications, Foundations and Trends in Signal Processing,"* 7(3-4), pp. 197-387. <http://dx.doi.org/10.1561/20000000039>, 30 June 2014.
- [13] C. C. White III, D. J. White, "Markov decision processes," *European Journal of Operational Research*, 39(1), pages 1-16, [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(89\)90348-2](https://doi.org/10.1016/0377-2217(89)90348-2), 06 March 1989.
- [14] <https://towardsdatascience.com/introduction-to-reinforcement-learning-markov-decision-process-44c533ebf8da>, preuzeto 05.01.2024.
- [15] M. Kiran, M. Ozyildirim, "Hyperparameter Tuning for Deep Reinforcement Learning Applications," CC BY 4.0, January 2022.
- [16] <https://www.emdat.be/>, preuzeto 02.01.2024.

ABSTRACT

In recent years, advancements in artificial intelligence have opened new possibilities for more effective risk management and mitigation of natural disasters, which pose a serious challenge for countries worldwide. Artificial intelligence methods, such as supervised learning, unsupervised learning, deep learning, reinforcement learning, and deep reinforcement learning, as discussed in this paper, can be used in the analysis of disaster data, early detection, decision-making, and intervention planning. On a global scale, we are faced with various natural disasters, and analyzing their distribution and frequency is crucial for developing effective risk management strategies. This paper provides an overview of key disaster categories - geophysical, meteorological, and hydrological in the Republic of Serbia and globally, for the period from 2010 to 2023, as well as the potential applications of artificial intelligence, which can play a crucial role in all phases of disaster management.

APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE AS A KEY FOR EFFECTIVE MITIGATION OF NATURAL DISASTERS

Filip Marković, Žaklina Spalević, Dejan Rančić, Olivera Pronić-Rančić, Petar Spalević