Utjecaj otvorenih požara na kvalitetu voda

Jolić, Adam

Master's thesis / Diplomski rad

2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Agriculture / Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:204:553026

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**



Repository / Repozitorij:

Repository Faculty of Agriculture University of Zagreb







Sveučilište u Zagrebu
Agronomski fakultet
University of Zagreb
Faculty of Agriculture

UTJECAJ OTVORENIH POŽARA NA KVALITETU VODA

DIPLOMSKI RAD

Adam Jolić

Zagreb, rujan, 2020.

Sveučilište u Zagrebu
Agronomski fakultet
University of Zagreb
Faculty of Agriculture

Diplomski studij:

Ekološka poljoprivreda i agroturizam

UTJECAJ OTVORENIH POŽARA NA KVALITETU VODA

DIPLOMSKI RAD

Adam Jolić

Mentor:
izv. prof. dr. sc. Željka Zgorelec

Zagreb, rujan, 2020.

Sveučilište u Zagrebu
Agronomski fakultet

University of Zagreb
Faculty of Agriculture

IZJAVA STUDENTA
O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Ja, **Adam Jolić**, JMBAG 178101637, rođen 29.10.1995. u Zagrebu, izjavljujem da sam samostalno izradila/izradio diplomski rad pod naslovom:

UTJECAJ OTVORENIH POŽARA NA KVALITETU VODA

Svojim potpisom jamčim:

- da sam jedina autorica/jedini autor ovoga diplomskog rada;
- da su svi korišteni izvori literature, kako objavljeni tako i neobjavljeni, adekvatno citirani ili parafrazirani, te popisani u literaturi na kraju rada;
- da ovaj diplomski rad ne sadrži dijelove radova predanih na Agronomskom fakultetu ili drugim ustanovama visokog obrazovanja radi završetka sveučilišnog ili stručnog studija;
- da je elektronička verzija ovoga diplomskog rada identična tiskanoj koju je odobrio mentor;
- da sam upoznata/upoznat s odredbama Etičkog kodeksa Sveučilišta u Zagrebu (Čl. 19).

U Zagrebu, dana _____

_____

Potpis studenta / studentice

Sveučilište u Zagrebu
Agronomski fakultet

University of Zagreb
Faculty of Agriculture

IZVJEŠĆE

O OCJENI I OBRANI DIPLOMSKOG RADA

Diplomski rad studenta/ice **Adam Jolić**, JMBAG 178101637, naslova

UTJECAJ OTVORENIH POŽARA NA KVALITETU VODA

obranjen je i ocijenjen ocjenom _____ , dana

_____ .

Povjerenstvo: potpisi:

1. izv. prof. dr. sc. Željka Zgorelec, mentor _____
2. prof. dr. sc. Ivica Kisić, član _____
3. izv. prof. dr. sc. Aleksandra Bensa, član _____

Zahvala

Iskrena zahvala mojoj mentorici izv. prof. dr. sc. Željki Zgorelec na ukazanom povjerenju i stručnim savjetima u izradi ovog rada.

Također se zahvaljujem i ostalim članovima komisije, prof. dr. sc. Ivici Kisiću i izv. prof. dr. sc. Aleksandri Bensi na izdvojenom vremenu i volji da prisustvuju u procesu izrade i obrane ovoga rada.

Zahvaljujem se svojoj obitelji i prijateljima što su mi pružili mogućnost obrazovanja i svu podršku koja mi je bila potrebna na tom putu.

Sažetak

Diplomskog rada studenta/ice **Adama Jolića**, naslova

UTJECAJ OTVORENIH POŽARA NA KVALITETU VODA

Požar, pojava nekontrolirane vatre, postao je svjetska svakodnevica. Ugroženost pojedinih područja varira, a iako su klimatske promjene danas vrlo prisutne i ponekad uzrok pojave požara, ljudski čimbenik je glavni i najčešći. Posljedice požara otvorenog prostora mogu se podijeliti na direktne i indirektne. Direktne posljedice vezane su za fizikalna, kemijska i mikrobiološka svojstva tla, a indirektne se manifestiraju kroz promjenu izgleda okoliša, pojave erozije vjetrom i vodom te općenito posljedice koje ti procesi nose sa sobom. Osim na svojstva tla, požar ima utjecaja i na kvalitetu vode kako za piće (čovjeku) tako za održavanje životinjskog i biljnog svijeta. Najučinkovitija metoda sprječavanja takvog narušavanja ekosustava je preventivno provođenje agrotehničkih zahvata.

KLJUČNE RIJEČI: požari otvorenog prostora, posljedice požara, tlo, kvaliteta vode, metode prevencije

Summary

Of the master's thesis – student **Adam Jolić,** entitled

WILDFIRE EFFECTS ON WATER QUALITY

Wildfire, the appearance of uncontrolled fire, has become an everyday occurrence in the world. The vulnerability of certain areas varies, and although climate change is very present today and is sometimes the cause of wildfires, the human factor is the main and most common. The consequences of an open wildfire can be divided into direct and indirect. The direct consequences are related to the physical, chemical and microbiological properties of the soil, and the indirect ones are manifested through changes in the appearance of the environment, the occurrence of wind and water erosion and in general the consequences that these processes bring with them. In addition to soil properties, wildfire also has an impact on water quality for both drinking (human) and for the maintenance of fauna and flora. The most effective method of preventing such ecosystem disturbances is the preventive implementation of agrotechnical interventions.

KEY WORDS: wildfires, wildfire consequences, soil, water quality, preventive methods

SADRŽAJ

1. UVOD 1

2. POŽAR I NJEGOVI ČIMBENICI 2

2.1. PROCES GORENJA 2
2.2. PODJELA ŠUMSKIH POŽARA 3
2.3. ČIMBENICI NASTANKA POŽARA 5
2.4. UTJECAJ KLIMATSKIH PROMJENA NA UČESTALOST POŽARA 5

3. UTJECAJ OTVORENIH POŽARA NA TLO 7

3.1. VODONEPROPUSNOST TLA 11
3.2. EROZIJA TLA 13

4. UTJECAJ OTVORENIH POŽARA NA KVALITETU VODA 15

4.1. FIZIKALNA SVOJSTVA VODE 23
4.2. KEMIJSKA SVOJSTVA VODE 26
4.3. HRANJIVE TVARI U VODI 27
4.4. UTJECAJ VATROGASNIH SREDSTAVA 29

5. PROCESI OBNOVE TLA I VODE NAKON OTVORENIH POŽARA 32

6. ZAKLJUČAK 37

7. LITERATURA 38

8. POPIS SLIKA I TABLICA 46

1. UVOD

Požar na otvorenom prostoru, odnosno šumski požar prirodna je nepogoda koja predstavlja veliku opasnost za šumska zemljišta i šume kako u Republici Hrvatskoj tako i u svijetu. To je proces nekontroliranog izgaranja zapaljivih i gorivih materijala koji ovise o nizu čimbenika kao što su geološki, geomorfološki, pedološki i vegetacijski, a najvažniji čimbenik su klimatske prilike (Bakšić i sur., 2015.). Kako navode Rosavec i sur. (2012.) sve veći broj požara u značajnoj mjeri degradira ekosustav i narušava njegovu stabilnost što dovodi do smanjenja bioraznolikosti i povećanja opustošenih područja. Uzroci mogu biti različiti, od prirodnih (suša, udar groma, temperatura...) do onih uzrokovanih ljudskim faktorom.

Šume Republike Hrvatske imaju ciklus razaranja i obnavljanja vatrom što često zna poprimiti katastrofalne razmjere jer se osim šuma uništavaju poljoprivredne kulture, kao i ugrožavaju naseljena mjesta i ljudski životi.

Statistički gledano, zabilježen je porast broja šumskih požara diljem Sredozemlja, a povećana je opasnost prisutna u svim područjima pod utjecajem mediteranske klime. 2019. godine u razdoblju do kraja srpnja u Hrvatskoj je zabilježeno 5314 požara, od kojih je čak 2987 zabilježeno u priobalnom području, a ostalih 2327 na kontinentu. U više od 80 % slučajeva uzročnik požara je čovjek, a njegovo gašenje i sanacija znaju trajati satima pa čak i danima (Hrvatska vatrogasna zajednica, 2019.).

Takvo povećanje broja požara utjecalo je na smanjenje sposobnosti mediteranskog ekosustava da se prirodno regenerira te je došlo do smanjenja bioraznolikosti i povećanja erozije tla. Usavršavanje metoda prevencije i borbe protiv požara otvorenog prostora omogućuje smanjenje opožarenih površina. Zbog pripreme i vođenja preventivnih aktivnosti bitno je poznavati čimbenike koji uvjetuju nastanak šumskih požara kao i čimbenike koji započinju širenje vatrene stihije (Rosavec i sur., 2012.).

Cilj ovog preglednog rada bit će proučiti i detaljno prikazati što su dosadašnja istraživanja u Svijetu, ali i kod nas pokazala, da li i u kojoj mjeri otvoreni požari utječu na kvalitetu voda (podzemnih i površinskih).

2. POŽAR I NJEGOVI ČIMBENICI

Požar, kao što je ranije rečeno, nekontrolirano je gorenje koje nanosi materijalnu štetu i ugrožava ljudske živote. Nastaje ako su ispunjena tri uvjeta ili tako zvani požarni trokut: prisutnost goriva, poticaj kisika i dovoljna temperatura. Gorivo mora biti dobro posušeno jer u protivnom njegova prevelika vlažnost uzrokuje samogašenje. Do samogašenja dolazi i kada je količina kisika u zraku manja od 14 %. Temperatura zapaljivosti kreće se od 260 °C pa sve do 300 °C što znači da odbačeni opušak cigarete, koji razvija temperaturu od oko 650 °C, može prouzrokovati požar (Jurjević i sur., 2009.). Kako navodi Bilandžija (1992.) šumskim gorivom se smatra cjelokupna količina biljnog materijala, mrtvog i živog koja se nalazi iznad mineralnog dijela tla.

Intenzitet požara odnosi se na brzinu požara pri kojoj proizvodi toplinsku energiju. Što je veći intenzitet to je veći utjecaj na okoliš i vodene resurse. Intenzitet je funkcija klime, temperature, brzine širenja, prinosa topline i goriva. Temperature mogu biti u rasponu od 50 do 1500 °C (DeBano i sur., 1998.).

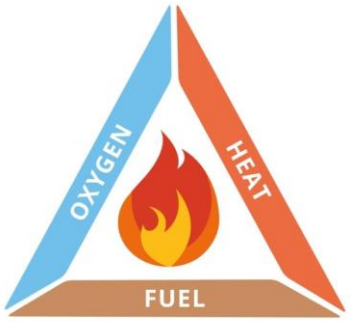
Požari se razlikuju po fazama razvoja, veličini, mjestu nastanka i vrsti gorive tvari. U požaru se mogu prepoznati tri faze: početna, razbuktala i faza živog zgarišta. Obilježje početne faze je slabi intenzitet izgaranja pa se vatra širi prilično sporo. Na brzinu širenja bitno utječe toplina koja proporcionalno raste i zagrijava okolni zrak. Razbuktala faza ističe se po najvećem intenzitetu izgaranja, najvišim temperaturama i najvećoj brzini širenja vatre. Zadnja faza ili faza živog zgarišta nastaje kada vidljivi dijelovi izgore pa je intenzitet gorenja vrlo malen ili je vatra zatrpana konstrukcijom. Ukoliko se takvo zgarište nakon gašenja ne pregleda temeljito, može doći do ponovnog požara, najčešće zahvaćanjem materijala koji u prethodnoj fazi nije potpuno izgorio. Prema veličini razlikujemo male, srednje, velike i katastrofalne požare koji ovise o količini zahvaćene gorive tvari (*požar*, Hrvatska enciklopedija).

Do boljeg razumijevanja nastanka i širenja šumskih požara dolazi se primjenom različitih fizikalnih modela te proučavanjem njihovih zakonitosti (Španjol i sur., 2008.).

2.1. PROCES GORENJA

Gorenje ili izgaranje je brza kemijska reakcija praćena pojavom topline i svjetlosti, najčešće u obliku plamena. To je proces oksidacije (spajanje gorive tvari s kisikom), uz stvaranje različitih reakcijskih produkata. Kako bi gorenje počelo potrebno je ispuniti sljedeće uvjete: prisutnost goriva, poticaj kisika i dovoljna temperatura. Ukoliko neki od uvjeta nedostaje ne može započeti proces gorenja. Isto tako ukloni li se jedan od uvjeta dolazi do prestanka gorenja, u ovom slučaju gašenja požara (*gorenje*, Hrvatska enciklopedija; Karlović, 2002.).

Na slici 1 prikazan je shematski prikaz požarnog trokuta, odnosno tri uvjeta za nastanak požara.



Slika 1. Požarni trokut

Izvor: *https://images.app.goo.gl/jbz18LdzDfKm4bXX9*

2.2. PODJELA ŠUMSKIH POŽARA

Kako navode Jurjević i sur. (2009.) šumski požari nanose šumama velike štete što ovisi o starosti i površini šume, vrstama drveća, odnosno vegetacije te o vrsti požara i njegovoj jačini. Predstavljaju najopasnije štetne činitelje jer u svijetu godišnje izgori oko 70 milijuna hektara šume. Postoji nekoliko vrsta požara ovisno o tome koji dio zahvaća.

1. **Niski** ili **prizemni požar**, prikazan na slici 2, zahvaća samo mrtvi materijal na tlu i nisko raslinje. Može se razviti naglo, a uz utjecaj vjetra i povoljnog omjera gorive tvari, izgaranja mogu biti veća od 10 km/h. Brzo se širi ukoliko uz utjecaj vjetra gori suha trava te dostiže temperaturu do 900 °C.



Slika 2. Niski požar

Izvor: *https://images.app.goo.gl/DiUzqTegK6SRKFqB7*

2. **Požar krošnja, vršni** ili **visoki požar,** prikazan na slici 3, razvija se većinom iz niskog požara jačeg intenziteta, a zahvaća pojedine grane zajedno s lišćem ili iglicama, čitavu krošnju ili deblo. Širi se skokovito. To znači da prestiže liniju niskog požara i spušta se na tlo te se dalje širi kao niski požar, postajući jači ponovno se prebacuje na krošnje, no za to je potrebna velika količina toplinske energije. Požari krošnji učinkovito se mogu ugasiti uz pomoć zrakoplova ili mlazova s većim volumnim protokom.



Slika 3. Visoki požar

Izvor: *https://images.app.goo.gl/4J4jjDAdQNRjo1s88*

3. **Podzemni požar,** prikazan na slici 4, redovito se javlja na tresetištima i širi se sporo. U njega se ubrajaju i požari u kamenitim kraškim terenima kada nakon dugotrajnih suša požar zahvati i korijenje u pukotinama kamenja i škrapa. Prizemni požar može prodrijeti do dubine 0,5 m što čini veliku štetu na korijenju biljaka. Nastaje udarom groma ili paljenjem vatre u šupljinama stabala.



Slika 4. Podzemni požar

Izvor: *https://images.app.goo.gl/8wBtMPK6QqgWcrGN7*

2.3. ČIMBENICI NASTANKA POŽARA

Vatra je dio mediteranskog ekosustava, a učestalost i intenzitet požara tijekom posljednjih desetljeća znatno je porastao (Ferreira i sur., 2009.). Krajolici širom Sredozemlja postali su zapaljivi, a količina goriva povećala se zbog depopulacije ruralnog područja te napuštanja obradivih površina (Moreira i sur., 2001.). Sredozemno područje Europe proteže se na oko 900 000 km^2 što zauzima 40 % ukupnog sredozemnog bazena, a na šume otpada 19 milijuna ha (Dubravac i Hrvoj, 2015.).

Šumski požari, kako navodi Bakšić i sur. (2015.), rjeđe nastaju prirodnim uzrocima, a najčešće djelatnošću čovjeka, no ipak kada govorimo o uzrocima 60 do 70 % njih ostaje nepoznato. Najčešći prirodni uzrok je udar groma ili vulkanska erupcija. Svi ostali požari nastaju ljudskim faktorom i mogu biti nenamjerni ili namjerni slučaj.

Promatrajući sezonsku dinamiku požara postoje dva kritična razdoblja. Prvo kritično razdoblje javlja se u kasnu zimu i rano proljeće (2., 3., 4. mjesec), a udio požara tog razdoblja iznosi više od 30 % od ukupnog godišnjeg broja požara. Iako su požari u tom razdoblju česti, nisu velikih ili katastrofalnih razmjera. Drugo kritično razdoblje je u ljetnim mjesecima (7., 8., 9. mjesec), kada nastane oko 50 % godišnjeg broja požara (Bakšić i sur., 2015.).

Prema Barišiću (2011.) u požarnoj sezoni od 1981. do 2010. godine, najugroženije područje u Hrvatskoj je dalmatinska obala s otocima i dalmatinsko zaleđe. Glavni razlog toga su dugotrajna sušna razdoblja s visokom temperaturom zraka, a potencijalnu opasnost od šumskih požara povećava i ljudski čimbenik zbog većeg broja turista u ljetnim mjesecima.

Osim toga, toplinski stres je također pokazatelj povoljnih uvjeta za nastanak požara. Ekstremno visoke temperature, posebice one dugotrajne, pospješuju isušivanje mrtvog gorivog materijala na tlu i vegetacije općenito te se na taj način povećava opasnost od požara. Vrući dani definirani su kao dani s maksimalnom temperaturom zraka od 30 °C i više. Razdoblje od deset uzastopnih vrućih dana naziva se toplinskim stresom. Najugroženija područja s obzirom na klimatske promjene, to jest toplinski stres jesu jadransko područje u Hrvatskoj te Sredozemlje u Europi (Feist, 2011.).

2.4. UTJECAJ KLIMATSKIH PROMJENA NA UČESTALOST POŽARA

Posljednje studije, kako navode Westerling i sur. (2006.), pokazuju da klimatske promjene povećavaju rizik nastanka požara. Očekuje se da će klimatske promjene uzrokovati povećanje temperature i učestalost sušnih uvjeta u sljedećim desetljećima čime će se povećati zapaljivost goriva i rizična požarna područja. Uz to, topliji i suši uvjeti pridonose širenju insekata koji mogu ugroziti zdravlje stabala, stvarajući dodatno

gorivo u šumi. Nastanak i ponašanje požara određeno je interakcijom između klime, goriva i topografije. Kao takvo, ponašanje požara varira od temperature zraka i relativne vlage, što utječe na zapaljivost goriva, a zajedno s vjetrom pridonosi širenju vatre (Chandler i sur., 1983).

Vjeruje se da su požari u Australiji naznaka onoga što bi ubuduće moglo postati uobičajeno ako se temperatura poveća za 3 °C. Iako su na početak požara utjecali prirodni vremenski obrasci, golemu ulogu u njihovoj razornosti ima globalno zatopljenje. Analizirajući već postojeće studije dolazi se do povezanosti između klimatskih promjena i povećane učestalosti požara. To su najčešće razdoblja uslijed kombinacije visokih temperatura, male vlažnosti, rijetkih padalina i jakog vjetra.

Prema Hrvatskom agrometeorološkom društvu, u većini požara na otvorenom vremenski uvjeti imaju odlučujuću ulogu o njihovom razvoju, širenju i ponašanju. Meteorološki elementi koji najviše utječu na pojavu i širenje požara su Sunčevo zračenje, temperatura zraka, relativna vlažnost zraka, količina oborina, brzina i smjer vjetra te struktura atmosfere. Nestabilno stratificirana atmosfera (kada se topliji zrak nalazi u prizemnim slojevima) posebno je opasna za širenje požara.

Prema Španjolu i sur. (2008.), najvažniji klimatski pokazatelji koji se uzimaju u razmatranje su vlaga i voda, to jest oborine. Oni su, uz toplinu, najznačajniji za rast i razvoj biljaka te povezani sa zapaljivošću gorive tvari.

Ako je gorivi materijal dovoljno vlažan, tada ni vjetar ne može uvjetovati da se požar brže proširi. U uvjetima kada se požar već razbuktao, vjetar pomaže da se gorivi materijal uz požarnu površinu temeljito isuši, što ubrzava daljnje širenje vatre. Najveće promjene u vjetrovitom režimu duž obale i u obalnom zaleđu te na otocima uočavaju se tijekom kolovoza (Vučetić, 2002.).

Na slici 5 prikazana je pojava gustog dima koja ukazuje na proces nastajanja požara. Može se primijetiti kako vjetar otežava njegovo gašenje.



Slika 5. Požar na Korčuli

Izvor: *https://images.app.goo.gl/Dphi41mE5cwg84ev5*

3. UTJECAJ OTVORENIH POŽARA NA TLO

Tlo je tanki dio između litosfere i atmosfere koji nastaje raspadanjem i mrvljenjem stijena uslijed djelovanja različitih čimbenika poput kiše, vjetra i valova. Ono je samostalna prirodna tvorevina i istodobno proizvodno sredstvo za biljnu i stočarsku proizvodnju (*tlo*, Hrvatska enciklopedija). Bogunović (1996.) navodi kako je tlo temeljni i nezamjenjiv čimbenik biljne proizvodnje, kao i sastavni dio kopnenog prostora. Tlo je nastalo postupnim razvitkom iz rastresitih stijena ili trošine čvrstih stijena pod utjecajem vanjskih faktora poput klime, reljefa i biljnih organizama te pedogenetskih procesa koji obuhvaćaju razne pretvorbe i transport pridošlih tvari i energije u tlu (Racz, 1991.). Bašić (1994.) navodi da tlo nastaje dugotrajnim i veoma kompliciranim te srazmjerno sporim – dugotrajnim procesima, a može biti uništeno, zagađeno ili premješteno u veoma kratkom vremenu.

Otkad ekosustav ovisi više o promjeni u tlima, nego vegetacijskim promjenama, uveden je termin utjecaja požara na tlo. Time bi se poboljšalo predviđanje reakcija ekosustava na vatru (Keeley, 2009.; Robichaud i sur., 2007.).

Požar na tlo utječe u sferi funkcioniranja podzemnog ekosustava tako što temperatura vatre može izmijeniti biološka, fizikalna i kemijska svojstva tla. Jačinu tih promjena u velikoj mjeri određuje temperatura tla postignuta tijekom požara kao i vremenski period održavanja visokih temperatura (Cerda i Robichaud, 2009.). Kao što navode Pierce i sur. (2004.) požar može povećati ranjivost krajolika na poplave i erozije te uzrokovati značajnu prijetnju opskrbi pitkom vodom nizvodno od izgorjelih područja. Učinak požara na tlo može varirati od smrtnosti mikroba i sjemena do razvoja vodonepropusnosti, promjene u strukturi tla te gubitak hranjivih tvari (DeBano, 2000b).

Jedan od najvećih posljedica požara otvorenog prostora ili šumskog požara je povećanje erozijskih procesa i blatnih tokova što uzrokuje smanjenje kvalitete tla, onečišćenje voda, povećane emisije stakleničkih plinova te smanjenje bioraznolikosti – primarno tla, a zatim i vegetacije. Neke od promjena na opožarenoj površini su pogoršavanje fizikalnih značajki tla kao primjerice hidrofilnost i propusnost tla, promjena u mineralnom sastavu tla, pogoršanje kemijskih značajki poput reakcije tla, smanjenja organskih tvari i izraženiji erozijski procesi (Kisić, 2019.).

Martinović i sur. (1978.) utvrđuju da se nakon požara mijenja kemijski sastav i sadržaj gline u tlu. Oni navode da je sadržaj topljivog fosfora općenito nizak dok je sadržaj topljivog kalija varirao u vrijednostima. Također dolaze do zaključka da se tijekom 10 do 13 godina smanji sadržaj humusa od 11 do 13 %, a ukupnog dušika od 7 do 25 %. Ovisno o tipu tla i nagibu terena mijenja se sadržaj gline, a uzme li se u obzir pad količine i kvalitete humusa, Martinović i sur. (1978.) navode da šumski požar nepovoljno utječe na izgled i građu tla.

Unatoč važnosti zagrijavanja tla prilikom požara, o toj je temi jako malo poznatih činjenica. Temperatura tla se najčešće ne mjeri tijekom požara i procjena temperature na većoj dubini tla je praktički nemoguća te zbog toga nema dovoljno podataka za

predviđanje iznenadnih požara (Stoof, 2011.). Kao i u situacijama bez požara, temperatura tla određena je unosom topline na površini te njegovim toplinskim svojstvima. Dok mineralogija, struktura i gustoća tla igraju veliku ulogu, vlažnost tla je također važna zbog utjecaja na toplinski kapacitet i toplinsku vodljivost (Abu-Hamdeh i Reeder, 2000.; Massman i sur., 2008.).

Najveći efekt zagrijavanja je na 300 do 400 °C kada se sadržaj organskih tvari polako počinje smanjivati, a količina gline povećavati (Stoof, 2011.).

Gimeno – Garcia i sur. (2004.) su proveli istraživanje o obrascima temperature tla tijekom požara u mjestu La Concordia u Španjolskoj, na tipičnoj mediteranskoj šumskoj padini. Istraživanje je provedeno pomoću eksperimentalnih požara na devet parcela (dužine 20 m, širine 4 m) sa sličnom morfologijom, gradijentom padina, tlom i vegetacijom. Procijenjene su dvije jačine požara, visoka i umjerena, ovisno o količini dodane biomase. Za mjerenje temperature su korištene dvije metode: termočlanci i termosenzitivne boje. Prva metoda omogućuje dobivanje podataka o vršnim temperaturama i trajanju izloženosti tla visokim temperaturama, dok druga nadzire prostornu raspodjelu vršnih temperatura na površini tla. Kao zaključak istraživanja navode da je temperatura svakog požara bila različita, a povećavala se linearno ovisno o utjecaju meteoroloških uvjeta za vrijeme gorenja (vjetar i oborine). Također navode kako prostorni obrasci mogu imati važnu ulogu u objašnjenju promjena tla, posebice distribuciji hranjivih tvari. Požar je uzrokovao gubitak organskih tvari, ukupni dušik te izmjenjivi kalcij. S druge strane povećao se fosfor, amonijak i magnezij. Takve promjene, kako navode, mogu utjecati na oporavak vegetacije zahvaćene šumskim požarom.

Gorenje, prikazano na slici 6, povećava volumnu gustoću suhe tvari tla, a smanjuje sadržaj organskih tvari te značajno mijenja teksturu tla u smislu da se povećava količina gline, a smanjuje količina pijeska. Nadalje, gorenje ima najveći utjecaj na vlažnost tla (Stoof, 2011.). Osim toga, treba napomenuti učinak pepela. Pepeo ima važnu ulogu u obnovi opožarenog područja jer sadrži veliku količinu hranjivih sastojaka potrebnu za rast i razvoj biljaka (Pereira i sur., 2012.). Cerda i Doerr (2008.) navode da pepeo smanjuje otjecanje skladištenjem oborina, a s druge strane Onda i sur. (2008.) smatraju da je pepeo uzrok povećanog površinskog otjecanja nakon požara. Kemijski sastav taloženog pepela najčešće sadržava kalcij, magnezij, kalij, silicij i fosfor, dok u nekim slučajevima može sadržavati značajne količine aluminija, mangana, željeza i cinka (Etiegni i Campbell, 1991.; Khanna i sur., 1994.). Točan omjer tih elemenata ovisi o gorivoj tvari i postignutim temperaturama (Demeyer i sur., 2001.). Debljina sloja pepela ovisi o jačini požara, a Zavala i sur. (2014.) navode je pepeo ključni faktor u smanjenju erozije tla.

Učinci sagorijevanja očituju se i na boji tla. U slabim do umjerenim požarima tlo je prekriveno crnim ili sivim pepelom koji ostaje sve dok biljna rekolonizacija ne modificira mezokarp ili srednji sloj (Certini, 2005.).



Slika 6. Gorenje organskih tvari

Izvor: *Dubravac, Hrvoj (2015.): Brošura o obnovi vegetacije i staništa Preporuke za upravljanje biomasom nakon požara*

Kako navodi Certini (2005.) tlo doživljava najveću promjenu prilikom gubljenja organskih tvari. Ovisno o jačini požara organske tvari mogu ispariti, sagorjeti ili potpuno oksidirati. Istraživanje Gonzalez – Perez i sur. (2004.) o utjecaju požara na organske tvari dovelo je do idućih zaključaka:

- opće uklanjanje vanjske kisikove skupine što daje materijale sa smanjenom topljivosti
- smanjenje dužine lanca alkilnih spojeva, poput alkana, masnih kiselina i alkohola
- aromatizacija šećera i lipida
- formacija heterocikličkih dušikovih spojeva
- makromolekularna kondenzacija humusnih supstanci
- proizvodnja nepromjenjive komponente – crnog ugljika

Crni ugljik nastaje na temperaturama između 250 i 500 °C zbog nepotpunog sagorijevanja drvenih ostataka. U smislu spektroskopskih svojstava, sagorijevanje rezultira gubitkom O-alkilnih i di-O-alkilnih struktura koje dominiraju drvećem te povećanjem aromatskog ugljika. Na izuzetno jakoj temperaturi dobiva se konačni produkt sagorijevanja, grafit (Baldock i Smernik, 2002.; Czimczik i sur., 2002.).

Mineralno tlo izvorno sadrži hidrofobne tvari, kao što su alifatski ugljikovodici. Njihova koncentracija ovisi o vrsti vegetacije i karakteristikama tla, ali općenito su smanjeni poslije dubine od 3 centimetra. Zagrijavanjem na 200 do 250 °C se inducira plinovito stanje hidrofobnih tvari, a iznad 280 °C se nepovratno raspadaju (Doerr, 2000.; Huffman i sur., 2001.; DeBano, 2000a).

Izravni utjecaj požara na fizikalna svojstva tla, kako navode Imeson i sur. (1992.) je stvaranje kontinuirane vodonepropusne paralele s površinom koja smanjuje propusnost tla.

Zagrijavanjem tla neumoljivo se povećava i pH tla kao posljedica denaturacije organskih kiselina. Međutim, značajno povećanje javlja se samo pri visokim temperaturama (> 450 – 500 °C). Vrijednost pH gornjeg sloja tla se može povećati do tri jedinice odmah nakon požara. To povećanje je bitno zbog proizvodnje kalijevih i natrijevih oksida, hidroksida i karbonata, koji nisu postojali tijekom vlažne sezone (Arocena i Opio, 2003.). Granged i sur. (2011a,b) navode kako se kiselost tla obično smanjuje zbog uništenja organskih kiselina, a većem doprinosu karbonata, baza i oksida iz pepela.

Kada govorimo o utjecaju požara na biogeokemijski ciklus hranjivih tvari, mislimo na dušik i fosfor kao najbitnije. Količina organskog dušika se prilikom zagrijavanja smanjuje, ali značajan dio ostaje u promijenjenom obliku (Fisher i Binkley, 2000.). Progresivna izmjena se događa u dvije faze. U prvoj fazi, slobodne aminokiseline i NH_2 skupine se uklanjaju, ali nema značajnih promjena na peptidnoj strukturi. U drugoj fazi, amid-N (deprotonirani oblik amonijaka) se pretvara u heterocikličke spojeve, poput pirola, imidazola i indola. Umjereni do jaki požari pretvaraju većinu organskog dušika u anorganski, kao što su amonijak i nitrati. Za razliku od dušika, količina fosfora prilikom zagrijavanja tla se ne smanjuje (Certini, 2005.). Isparavanje hranjivih tvari posljedica je plamena i izgaranja, a njihova isparena količina ovisi o temperaturi izgaranja te o samom sadržaju (Raison, 1979.). Provedena su istraživanja izgaranja na vlažnom organskom tlu crne smreke, a različita dubina izgaranja kontrolirala se vlagom iz tla. Rezultati istraživanja su pokazali da je razina pepela i udjela ugljika i dušika u njemu ovisila o dubini izgaranja kao i razini hranjivih tvari prije izgaranja. Nadalje, pepeo dobiven dubljim izgaranjem imao je smanjene koncentracije dušika i ugljika. S druge strane, istraživanje na močvarnim staništima dovodi do rezultata veće proizvodnje amonijaka i emisije ugljikovodika (Beyers i sur., 2005.).

Gonzalez Parra i sur. (1996.) utvrđuju da se količina mangana značajno povećava nakon požara zahvaljujući pepelu, a ponašanje željeza, bakra, cinka i molibdena nije poznato zbog manjka podataka.

Osim svega navedenoga treba spomenuti i utjecaj požara na mikroorganizme to jest smanjenje njihove biomase. U ekstremnim slučajevima dolazi do potpune sterilizacije tla (Certini, 2005.).

Unatoč saznanjima o utjecaju vatre na sadržaj organskih tvari, gustoći i teksturi tla, saznanja o učincima na hidrološka svojstva tla i dalje su ograničena (Alauzis i sur., 2004.; Andreu i sur., 2001.; Badia i Marti, 2003.).

3.1. VODONEPROPUSNOST TLA

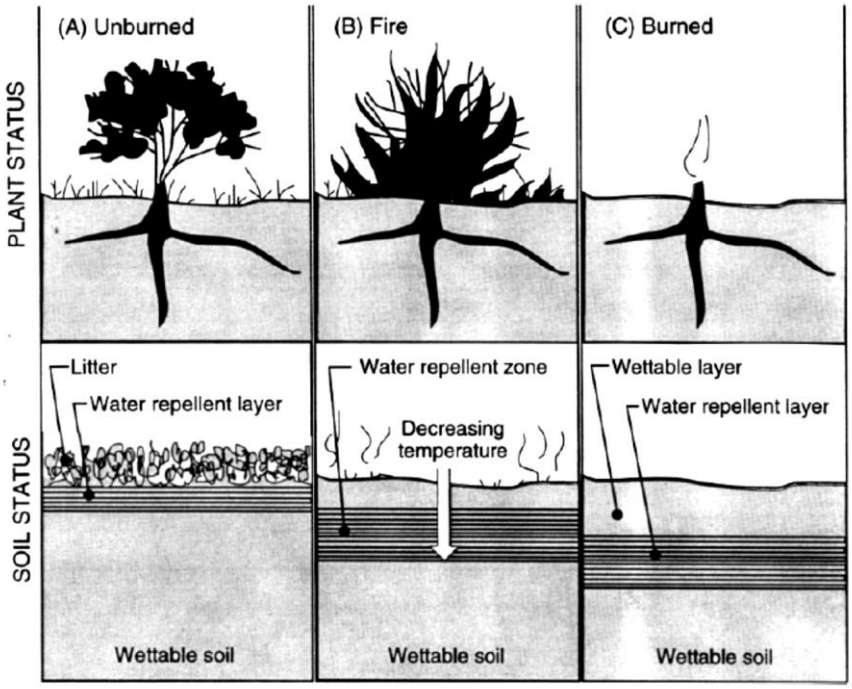
Kada se govori o vodonepropusnosti tla (slika 7), najčešće se govori o fizikalnim svojstvima i procesima jer je vodonepropusnost usko povezana s infiltracijom i kretanjem vode u tlu. Jordan i sur. (2013.) navode da je otpornost na vodu svojstvo tla koje smanjuje njegov afinitet prema vodi, smanjenjem infiltracije vode satima, danima ili tjednima. Smanjenjem stope infiltracije povećava se otjecanje što kasnije ima značajne posljedice poput erozije (Shakesby i Doerr, 2006.).



Slika 7. Vodonepropusnost tla

Izvor: *https://images.app.goo.gl/8xZ8G6UTnNF5j9Zj7*

Prema DeBano (2000a) repelencija ili vodonepropusnost je najčešće sloj promjenjive debljine i prostornog kontinuiteta koji se nalazi na površini tla ili nekoliko centimetara paralelno ispod mineralnog tla. Ako se nalazi u mineralnom tlu, vodonepropusnost je najčešće prekrivena slojem spaljenog tla ili pepela. Takav, vodonepropusni sloj, raniji istraživači, opisali su kao efekt „limenog krova“. DeBano i Krammes (1965.), nakon mnogih terenskih ispitivanja i promatranja, dolaze do zaključka kako je vodonepropusnost ili repelencija važan faktor za ubrzanu eroziju prvih nekoliko godina nakon požara. Početno istraživanje pokazalo je da se vodonepropusnost može pojačati zagrijavanjem smjese tla i organskih tvari na različitim temperaturama različit period vremena (Krammes i DeBano, 1966.). Prema toj hipotezi organska se tvar nakuplja na površini tla te gornji slojevi tla postaju vodonepropusni zbog djelomičnog isušivanja mješavine razgrađenih organskih tvari i mineralnog tla (slika 8A). Tijekom požara hidrofobne tvari isparavaju, a vodonepropusni sloj se pomiče dublje (slika 8B). Nakon samog požara, vodonepropusni sloj je ispod i paralelan sa slojem površinskog tla (slika 8C).



Slika 8. Proces nastanka vodonepropusnog sloja

Izvor: L.F. DeBano / Journal of Hydrology 231–232 (2000.) 195–206

Vodonepropusnost uzrokovana požarom uzrokovana je: isparavanjem i naknadnom kondenzacijom organskih spojeva (DeBano i Krammes, 1966.), polimerizacijom organskih molekula na odbojnije verzije (Giovanni i sur., 1983.), poboljšanim vezanjem takvih molekula na čestice tla (Savage, 1974.) te otapanjem i preraspodjelom voskova na agregate tla i mineralna zrna (Franco i sur., 2000.).

Paige i Zygmunt (2012.) provode istraživanje utjecaja požara na kvalitetu vode i eroziju te dolaze do zaključka da na vodonepropusnost utječu kemijska svojstva tla. Suha tla imaju veći afinitet adsorpcije tekućine i vodene pare zbog snažne veze između čestica mineralnog tla i vode. S druge strane, na vodonepropusnom se tlu kapljica vode može zadržati toliko dugo dok ne ispari.

Jačina vodonepropusnosti izazvane požarom ovisi o jačini požara, vrsti i količini prisutnih organskih tvari, temperaturi, teksturi tla te sadržaju vode u tlu. Vatra utječe na vodu na dva načina. Prvi je taj da spaljena površina tla nije zaštićena od kišnice koja raspršava fino tlo i čestice pepela. Drugi utjecaj vatre na vodu u tlu je zagrijavanje što samo po sebi stvara sloj vodonepropusnog tla i ometa daljnju infiltraciju u tlo. Dubina vodonepropusnog sloja rijetko prelazi 6 do 8 centimetara (Huffman i sur., 2001.).

Vodonepropusna tla također imaju utjecaj na daljnju eroziju tla, a time i onečišćenje kvalitete vode. Naime, kada se na tlu napravi vodonepropusni sloj, njegove čestice postaju osjetljivije na kapljice kiše i ostaju duže prisutne pa se počinje stvarati sediment. Nadalje, smanjenje infiltracije uzrokuje veće šanse za otjecanje i eroziju posebice na padinama slijeva.

3.2. EROZIJA TLA

Erozija tla (slika 9) je odnošenje površinskog dijela tla pod različitim utjecajima, vode, vjetra ili u ovom slučaju požara. Može biti spor proces, a uključuje tri različita djelovanja: odvajanje tla, kretanje i taloženje. Erozijom se smanjuje produktivnost tla i onečišćuju susjedni potoci, rijeke ili jezera. To može prouzročiti smanjenje kvalitete vode, ali i života u vodenim staništima. Erozija je zasigurno najvidljiviji i dramatičniji utjecaj požara otvorenog prostora na tlo, a kako bi se spriječila ili umanjio učinak potrebno je pravovremeno reagirati.

Kako navode Johanson i sur. (2001.) erozija ovisi o brojnim čimbenicima uključujući površinska svojstva, nagib, intenzitet i količinu oborina te veličinu i sastav zahvaćenog područja.

Butorac i sur. (2005.) provode istraživanje površinskog otjecanja i erozije tla na opožarenoj površini alepskog bora u okolici Splita. Kako navode, već je tada uočeno da je biljni pokrov najdjelotvorniji čimbenik u sprječavanju štetnog erozijskog procesa. Međutim požari na tom području postaju prirodna pojava te biljni pokrov postaje sve oskudniji. Tijekom istraživanja registrirano je 265 kišnih dana, to jest 3 244,1 mm oborina. Gubitci tla varirali su po godinama, a srednja godišnja količina gubitka tla pokazuje male vrijednosti, svega 3,398 g/m^2 (0,03 t/ha), s prosječnom vrijednosti površinskog otjecanja od 4,42 mm/m^2. U prvoj su se godini istraživanja pokazale veće vrijednosti, ali nisu prelazile erozijsku toleranciju. U drugoj, trećoj i četvrtoj godini ta se vrijednost smanjuje, a u jačem intenzitetu pojavljuje se tek prilikom veće količine oborina. Butorac i sur. (2005.) dolaze do zaključka da je veliku ulogu u smanjenom otjecanju imao travni pokrov koji štiti tlo od udara kišnih kapi i svojim gustim korijenjem ga čuva od erozije. Također su, kako navode, vrlo važne geološke i pedološke karakteristike.



Slika 9. Erozija tla nakon požara

Izvor: *https://images.app.goo.gl/tv5KxEvZpxr6u1b78*

Veliki porast otjecanja i erozije obično se pripisuje razvoju vodonepropusnog sloja na tlu koji ograničava infiltraciju (Scott i Van Wyk, 1990.). Snaga ili jačina takvog sloja, prema Tiedeman i sur. (1979.) povećava se intenzitetom vatre zbog većeg zagrijavanja tla. Prilikom toga dolazi do gubitka tako zvanog zaštitnog sloja što može dovesti do porasta erozije.

Većina istraživanja pokazala je da je najveći porast otjecanja i erozije unutar prve dvije godine nakon požara, a to naravno ovisi o intenzitetu oborina (Helvey, 1980., Robichaud i Waldrup, 1994.).

Na slici 10 prikazana je erozija tla prašume nakon požara.



Slika 10. Erozija tla prašume

Izvor: *https://images.app.goo.gl/umaeEVhntCnQ4ogj8*

4. UTJECAJ OTVORENIH POŽARA NA KVALITETU VODA

Požar otvorenog prostora ne utječe isključivo na vegetaciju i kopnene životinje već može pokrenuti poplave te oštetiti vodena staništa, kao i kvalitetu vode. Povećanom vjerojatnošću katastrofalnih požara na zapadu Sjedinjenih Američkih Država, ali i u ostatku svijeta, povećala se potreba za shvaćanjem učinaka koje požari mogu imati na fizikalna, kemijska i biološka svojstva vode. Površinska voda koja teče kroz područja zahvaćena požarom može prenositi velike količine sedimenta, organskih koloida i kemikalija koje mogu značajno narušiti kvalitetu vode i vodenih staništa. Kvaliteta vode, površinske ili podzemne, ocjenjuje se pomoću tri glavna kriterija: mikrobiološka, fizikalna i kemijska svojstva (Surber, 2002.).

HIDROLOŠKI CIKLUS

Hidrološki ciklus predstavlja procese i puteve kojima voda kruži s tla u atmosferu i opet nazad. To je važan proces koji omogućava održavanje života, a sastoji se od pet procesa: kondenzacija, oborine, infiltracija, otjecanje i evapotranspiracija. Iako je u prirodi to kompleksan proces, može se pojednostaviti kao sustav komponenti koje skladište vodu te čvrsti, tekući ili plinoviti protok vode između tih komponenti. Požar značajno utječe na otjecanje, infiltraciju, evapotranspiraciju, skladištenje vlage u tlu i općenito kopneni protok vode (Neary i Ffolliott, 2005.; Gereš, 2004.).

Hidrološki ciklus, kako navodi Gereš (2004.), kontrolira vremensku i prostornu raspodjelu obnovljive svježe vode, a klimatske promjene dodatno kompliciraju predvidljivost te raspodjele. Istraživanja su pokazala da mora, oceani, jezera i rijeke daju približno 90 % vlage u atmosferi. Ta vlaga u atmosferu dolazi isparavanjem ili evaporacijom. Procesom evapotranspiracije u atmosferu odlazi voda iz biljaka ili tla. U atmosferi, procesom kondenzacije vlaga iz plinovitog agregatnog stanja prelazi u tekuće te dolazi do oborina. Oborine su također jedan od procesa hidrološkog ciklusa, a predstavljaju tekuće ili čvrste proizvode kondenzacije vodene pare koji padaju iz oblaka. Osim toga, tu je i otjecanje odnosno dio oborina koji se pojavljuje kao vodotok. Zadnji proces hidrološkog ciklusa je infiltracija, to jest protjecanje vode kroz tlo u poroznoj sredini.

Na slici 11 prikazan je hidrološki ciklus s procesima kruženja vode.



Slika 11. Hidrološki ciklus

Izvor: *https://images.app.goo.gl/34LWfP7UWM78kh9F9*

Hidrološki procesi nakon požara mogu se odvijati zbog promijenjene temperature ili prisutnosti pepela (Bodi i sur., 2012.). Shakesby (2011.) navodi kako su hidrološki procesi nakon požara često poboljšani. Uzrok tome je uklanjanje vegetacije, promjena karakteristika tla, struktura tla te zadržavanje vode (Larsen i sur., 2009.; Woods i sur., 2007.; Silva i sur., 2006.).

Istraživanja su pokazala da sloj pepela (slika 12) koji prekriva tlo ima važnu ulogu u hidrološkim procesima nakon požara (Bodi i sur., 2011.). Prije nego li se pepeo ispere kišom ili odnese vjetrom, tlo i pepeo djeluju kao dvoslojni sustav sa slabo razumljivim hidrološkim svojstvima (Moody i sur., 2009.). Pepeo utječe na kontrolu otjecanja vode i eroziju nakon požara, a njegovi učinci ovise o:

- njegovim fizikalnim i mineralnim svojstvima koji ovise o temperaturi i uvjetima izgaranja (na primjer sadržaj kalcijevog karbonata, vodonepropusnost, veličina čestica ili poroznost)
- fizikalno – kemijskim promjenama nakon djelovanja s atmosferom i vodom
- debljini sloja
- geologiji i vrsti tla (Kinner i Moody, 2007.; Etiegni i Campbell, 1991.; Woods i Balfour, 2010.)

Kemijski sastav pepela, kako navode Dlapa i sur. (2013.) može biti promjenjiv i ovisi o različitim faktorima poput temperature gorenja, vrsti biljnih vrsta, vremenu izloženosti toplini, gustoći goriva i tako dalje. Dominantni elementi u pepelu su kalcij, kalij,

magnezij, silicij, mangan, aluminij, fosfor, sumpor, željezo, natrij i cink (Liodakis i sur., 2007.).



Slika 12. Prikaz nataloženog pepela donesenoga erozijskim procesima

Izvor: *https://images.app.goo.gl/cCKgpV4HgYxHsQXo8*

Osim svega navedenog, treba spomenuti i količinu vode koja je vrlo važna. Omogućavanje neograničene količine vode visoke kvalitete neophodno je za život životinja. Potrošnja vode veća je i važnija od potrošnje hranjivih tvari. Požar svojim utjecajem na kvalitetu vode indirektno utječe na životinjski svijet. Tako primjerice prilikom požara dolazi do zagrijavanja temperature vode, nižeg vodostaja i pepela koji zajedno sa tlom zagađuje vodu i stvara nemoguće uvjete života vodenim životinjama (Surber, 2002.).

Povećanje protoka vode tijekom ili nakon požara rezultira kemijskim, fizikalnim i biološkim promjenama u kvaliteti vode potoka, rijeka i jezera. Jačina promjena ovisna je o veličini i jačini požara te ukupnoj količini oborina nakon požara. Tok struja nakon požara transportira krute i otopljene materijale koji nepovoljno utječu na kvalitetu vode. Najveći utjecaj na kvalitetu vode imaju sedimenti. Akumulacija smeća i ostalih raspadnutih organskih tvari na površini tla često djeluje kao filter koji uklanja bakterije i ostale biološke organizme iz površinskog toka (Neary i Ffolliott, 2005.).

Landsberg i Tiedemann (2000.) navode da su faktori s najvećim utjecajem na kvalitetu vode zamućenost, sedimentnost, porast hranjivih tvari te povećana temperatura vode.

Nadalje navode da od kemijskih parametara treba uzeti u obzir nitrate i nitrite, koncentraciju sulfata, klorida, željeza i drugih otopljenih elemenata, kao i promjenu pH vrijednosti.

Tijekom i nakon požara, prema Hrvatskom zavodu za javno zdravstvo, može doći do zagađivanja prirodnog toka vode kemijskim tvarima zbog upotrebe kemijskih sredstava za gašenje požara, pirolize ili nepotpunog izgaranja vegetacije.

Kvaliteta vode odnosi se na fizikalna, kemijska i biološka svojstva vode u odnosu na određenu upotrebu. Promjene u kvaliteti vode bilo zbog ljudskog ili prirodnog faktora mogu uzrokovati nemogućnost korištenja vode u svrhu pića. Zakoni i propisi definiraju kada je ugrožen standard vode, a njihova glavna svrha je održavanje kvalitete vode za piće. Kvaliteta vode se obično nakon jedne ili dvije godine vraća na razine prije požara, kada u nju ulazi svježa voda s izvora potoka, a atmosfera s vremenom pomaže očistiti i razrijediti većinu zagađenja (Neary i Ffolliott, 2005.).

PRAVILNIK O PARAMETRIMA SUKLADNOSTI, METODAMA ANALIZE, MONITORINGU I PLANOVIMA SIGURNOSTI VODE ZA LJUDSKU POTROŠNJU TE NAČINU VOĐENJA REGISTRA PRAVNIH OSOBA KOJE OBAVLJAJU DJELATNOST JAVNE VODOOPSKRBE (NN 125/2017)

U sljedećim tablicama prikazane su vrijednosti mikrobioloških, kemijskih i indikacijskih parametara za određivanje kvalitete vode za piće te dopuštene vrijednosti radioaktivnih tvari propisane pravilnikom Ministarstva zdravstva Republike Hrvatske.

Napomena: M.D.K. označava maksimalno dopuštene koncentracije

Tablica 1. Tablica mikrobioloških parametara za određivanje pitkosti vode

PARAMETAR	JEDINICA	M.D.K
Escherichia coli (E. Coli)	broj / 100 mL	0
Enterokoki	broj / 100 mL	0
Clostridium perfringens	broj / 100 mL	0
Enterovirusi	broj / 5000 mL	0

Tablica 2. Tablica kemijskih parametara za određivanje pitkosti vode

PARAMETAR	JEDINICA	M.D.K
Akrilamid	µg / L	0,10
Antimon	µg / L	5,0

Arsen	µg / L	10
Benzen	µg / L	1,0
Benzo(a)piren	µg / L	0,010
Bor	mg / L	1,0
Bromati	µg / L	10
Kadmij	µg / L	5,0
Krom	µg / L	50
Bakar	mg / L	2,0
Cijanidi	µg / L	50
1,2-dikloretan	µg / L	3,0
Epiklorhidrin	µg / L	0,10
Fluoridi	mg / L	1,5
Olovo	µg / L	10
Živa	µg / L	1,0
Nikal	µg / L	20
Nitrati	mg / L	50
Nitriti	mg / L	0,50
Pesticidi	µg / L	0,10
Pesticidi ukupni	µg / L	0,50
PAH (policiklički aromatski ugljikovodici)	µg / L	0,10
Selen	µg / L	10
Suma tetrakloreten i trikloreten	µg / L	10
THM - ukupni	µg / L	100
Vini klorid	µg / L	0,50
Kloriti	µg / L	400
Klorati	µg / L	400
Otopljeni ozon	µg / L	50

Tablica 3. Tablica indikatorskih parametara za određivanje pitkosti vode

PARAMETAR	JEDINICA	M.D.K
Aluminij	µg / L	200
Amonij	mg / L	0,50
Barij	µg / L	700
Berilij	µg / L	
Boja	mg / PtCo skale	20
Cink	µg / L	3000
Detergenti anionski	µg / L	200,0
Neionski	µg / L	200,0
Fenoli	µg / L	
Fosfati	µgP / L	300
Kalcij	mg / L	
Kalij	mg / L	12
Kloridi	mg / L	250,0
Kobalt	µg / L	
Koncentracija vodikovih iona	pH jedinica	6,5 – 9,5
Magnezij	mg / L	
Mangan	µg / L	50,0
Ugljikovodici	µg / L	50,0
Miris		bez
Mutnoća	NTU	4
Natrij	mg / L	200,0
Okus		bez
Silikati	mg / L	50
Slobodni rezidualni klor	mg / L	0,5
Srebro	µg / L	10
Sulfati	mg / L	250,0

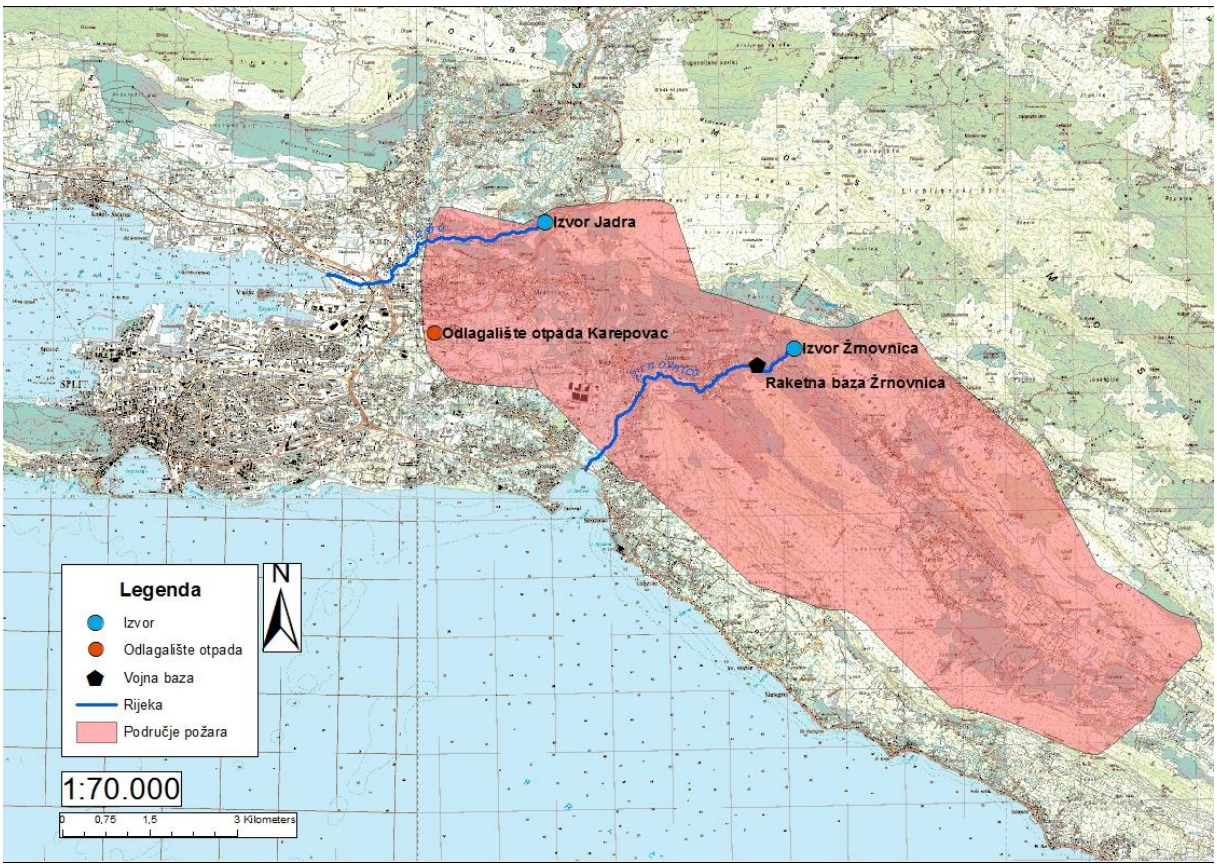
Temperatura	°C	25
TOC	mg / L	bez značajnih promjena
Ukupna tvrdoća	$CaCO_3$ mg / L	
Ukupne suspenzije	mg / L	10
Utrošak $KmnO_4$	O_2 mg / L	5,0
Vanadij	V µg / L	5,0
Vodikov sulfid	mg / L	0,05
Vodljivost	µS / cm / 20 °C	2500
Željezo	µg / L	200,0
Broj kolonija 22 °C	broj / 1 mL	100
Broj kolonija 36 °C	broj / 1 mL	100
Ukupni koliformi	broj / 100 mL	0
Pseudomonas aeruginosa	broj / 100 mL	0

Tablica 4. Tablica radioaktivnih tvari

PARAMETAR	JEDINICA	VRIJEDNOST
Radon	Bq / L	100
Tricij	Bq / L	100
ID	mSv	0,10

Iz gore navedenih tablica (tablica 1., tablica 2., tablica 3., tablica 4.) možemo zaključiti da neki elementi nemaju maksimalnu dopuštenu koncentraciju jer nisu štetni za ljudski život. Nadalje svako prekoračenje maksimalnih dopuštenih koncentracija smatra se onečišćenjem te voda nije pogodna za piće.

2018. godine Hrvatski zavod za javno zdravstvo provodi istraživanje kvalitete vode na izvorištima Žrnovnica i Jadro nakon velikog požara koji je pogodio to područje 2017. godine. Izvorišta rijeka nalaze se u krškom području u blizini grada Splita, a zbog specifičnih hidrogeoloških obilježja krša podzemne su vode osjetljive na različite prirodne i antropogene utjecaje. Voda iz rijeke Jadro opskrbljuje veliko područje pitkom vodom dok je Žrnovnica malo manje izdašnija.



Slika 13. Područje zahvaćeno požarom

Izvor: *https://www.hzjz.hr/sluzba-zdravstvena-ekologija/kvaliteta-vode-na-izvoristima-rijeke-jadro-i-zrnovnice-nakon-pozara/*

Uzorci su prikupljani svaki dan pet dana nakon požara te dva puta tjedno do prve kiše. Nakon prvih kiša uzorci su ponovno prikupljani pet dana zaredom. Analiza je obuhvaćala niz metoda kao i skraćenih analiza na pH, metale te ostale parametre bitne za određivanje kakvoće pitke vode. Mjerne vrijednosti uspoređivane su s propisanim maksimalnim dopuštenim koncentracijama (tablica 1) prema Pravilniku o parametrima sukladnosti i metodama analize vode za ljudsku potrošnju.

Koncentracije nitrata bile su od 1,8 do 4,4 mg / L na izvoru Žrnovnica i 2,4 do 3,1 mg / L na izvoru Jadra. Koncentracije izmjerenih sulfata od 11,8 do 17,5 mg / L na izvoru Žrnovnica i 17,0 do 21,7 mg / L na izvoru Jadra, a koncentracije klorida od 13,1 do 19,7 mg / L na izvoru Žrnovnica i 15,8 do 22,7 mg / L na izvoru Jadra. Sve izmjerene vrijednosti bile su ispod dopuštenih granica.

Svi analizirani metali osim bakra i aluminija, uključujući i živu, bili su ispod granice kvantifikacije određivanja, odnosno, ako su i bili prisutni, radilo se o niskim koncentracijama. Izmjerene vrijednosti bakra (maksimalna vrijednost 61 µg/L) i aluminija (maksimalna vrijednost 54,9 µg/L) nisu prelazile MDK vrijednosti propisane Pravilnikom, koje za aluminij iznose 200 µg/L, a za bakar 2000 µg/L.

Do pojave prvih oborina svi praćeni fizikalno-kemijski pokazatelji bili su ispod MDK vrijednosti propisanih Pravilnikom. Pojava oborina je uzrokovala pojavu zamućenja vode u vodoopskrbnom sustavu koji se opskrbljuje s izvora Žrnovnica, a kasnije je voda u rijeci Žrnovnici postala potpuno crna zbog spiranja gareži s ogromnog opožarenog područja. Od 11. rujna 2017. godine su na snazi bile mjere zabrane korištenja vode za piće. Iako voda u nekim dijelovima nije bila zamućena, bila je mikrobiološki neispravna te su i u tim predjelima bile na snazi mjere zabrane.

4.1. FIZIKALNA SVOJSTVA VODE

Požari pogađaju mnoga fizikalna svojstva kvalitete vode u potocima. Primjerice, temperaturu površinske vode, zamućenost, sedimentnost i alge.

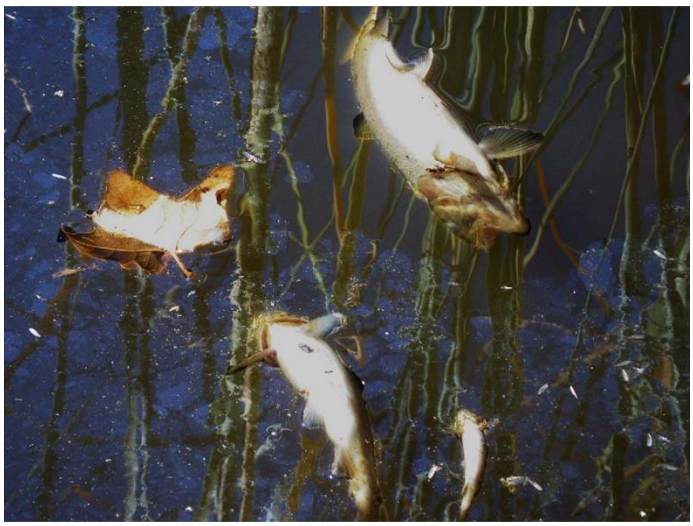
TEMPERATURA

Temperatura vode kritični je znak kvalitete vode na mnogim vodenim staništima. Ona kontrolira opstanak flore i faune u potocima, rijekama i jezerima (Beyers i sur., 2005.). Uklanjanje vegetacijskog pokrova može dovesti do porasta temperature vode što uzrokuje termičko zagađenje i biološku aktivnost (Brooks i sur., 2003.). Povećanjem temperature dolazi do pretjeranog obogaćivanja vode mineralnim tvarima što inducira prekomjerni rast algi koje utječu na boju, okus i miris pitke vode (Beyers i sur., 2005.). Budući da više sunčeve svjetlosti dopire do potoka i tla uz obalu, temperatura vode nakon požara se povećava. Stvarni porast temperature ovisi o duljini izloženog potoka i protoku struja (Swift i Messner, 1971.).

Porastom temperature, smanjuje se koncentracija otopljenog kisika što narušava preživljavanje i održivost vodenih populacija i zajednica (Neary i Ffolliott, 2005.).

Povišena temperatura ima utjecaj i na kvalitetu vode u vodoopskrbnoj mreži jer dovodi do smanjene stabilnosti rezidualnog klora čime se povećava rizik pojave patogenih mikroorganizama, nastanka biofilma i dezinfekcijskih nusprodukata. Porastom temperature potaknut je i rast algi i toksičnih cijanobakterija koje inhibiraju rast i razvoj mikroorganizama u vodenom okolišu (Bošnjak i sur., 2019.; Fisher i sur., 2012.; Pearl i sur., 2012.).

Na slici 14 prikazan je utjecaj visoke temperature na vodena staništa to jest ugibanje ribljih vrsta zbog smanjene koncentracije otopljenog kisika.



Slika 14. Utjecaj temperature na vodena staništa

Izvor: *https://images.app.goo.gl/p8iLDQH1dDT6j6Cg6*

ZAMUĆENOST I SEDIMENTNOST

Vodostaji zahvaćeni požarom često su osjetljivi na eroziju tla, a samim time i na velike količine sedimenta. Požari otvorenog prostora uzrokuju stvaranje veće količine sedimenta, a takav sediment utječe na protok potoka, jezera ili rijeka i dovodi do taloženja u kanalima (Beyers i sur., 2005.).

Požari uklanjaju biljke čiji korijeni drže tlo pa nakon požara i blaga kiša može uzrokovati eroziju tla. Sediment može imati dva oblika. Prvi se sastoji od čestica i organskih tvari te je za njega specifično da ostaje pomiješan s vodom, a drugi je u obliku taloga koji se kreće s vodom (Surber, 2002.).

Prinosi ili taloženje sedimenta ovisi o fizikalnim karakteristikama sedimenta, opskrbi česticama tla u protočnim kanalima, veličini i brzini toka slijeva. Ove varijable razlikuju se zbog geologije, vrste tla, topografije, vegetacije, karakteristika požara i vremenskih prilika. Veće taloženje karakteristično je za strme padine i područja raspadajućeg granita koji lako erodira. Takvo taloženje osiromašuje tlo i zamućuje vodu. S druge strane manje taloženje sedimenta karakteristično je za ravna područja gdje su požari slabiji. Taloženje nakon požara općenito je najveće prve godine nakon izgaranja, posebno kada je spaljeni slijev izložen velikim i jakim oborinama (Neary i Ffolliott, 2005.).

Zamućenost (slika 15) je izraz za optička svojstva vode koja raspršuje svjetlost. Uzrokovana je česticama koje ostaju pomiješane s vodom. Zamućenost smanjuje dubinu do koje sunčeva svjetlost može prodrijeti i time utječe na fotosintezu. Visoke razine zamućenosti otežavaju pročišćavanje kanala (Dunne i Leopold, 1978.).



Slika 15. Zamućenost vode

Izvor: *https://images.app.goo.gl/TNhLBJKg3PRmZFX97*

ALGE

Alge (slika 16) su autotrofni organizmi koji u svojem tijelu sadrže klorofil. Nastale su i razvijale se u vodi, ali veliki broj se tijekom evolucije prilagodio načinu života izvan vode pa se mogu naći na vlažnim staništima. One su primarni proizvođači organskih tvari u vodi, a to je osnova svih produkcijskih odnosa u ekološkom sustavu. Osim toga, kisik koji oslobađaju fotosintezom služi vodenim organizmima za disanje (*alge*, Hrvatska enciklopedija).

Surber (2002.) navodi da su za održavanje i nastanak algi potrebna hranjiva, sunčeva svjetlost i voda. Povećana temperatura vode i hranjivih tvari nakon požara povećava rast i razvoj algi u površinskim vodama. Neke alge, kao na primjer plavo – zelena mogu biti toksične za životinje, no ne postoji metoda kojom će se predvidjeti rast toksičnih algi nakon požara. Ukoliko postoji sumnja da je alga toksična, treba potražiti mrtve životinje oko izvora vode. Također takve alge su sluzave i teško ih je držati u ruci što je još jedan od testova na toksičnost.

Općenito, alge su sposobne preživjeti i najgore uvjete pa je širenje i rekolonizacija izgorjelih područja brža (Johansen, 1993.). Warcup (1981.) navodi da su alge bile prvi organizmi koji su obnovili tlo na spaljenom području grmovitih staništa Velike Britanije.

Tiedemann i sur. (1978.) provode istraživanje utjecaja algi i drugih mikroorganizama na kvalitetu i kvantitetu vode te dolaze do zaključka da alge imaju indirektan utjecaj na kvalitetu vode.



Slika 16. Prikaz algi u vodenim staništima

Izvor: *https://images.app.goo.gl/BjvszBr5V8wJmYJh8*

4.2. KEMIJSKA SVOJSTVA VODE

pH VODE

Vrijednosti pH vode predstavlja kemijsku ravnotežu, a promjena razine utječe na prisutnost nekih kemikalija. Pepeo koji se taloži odmah nakon požara može utjecati na pH vrijednost vode. U prvoj godini nakon požara povećanje pH vrijednosti tla doprinosi povećanju pH vrijednosti vode (Wells i sur., 1979.).

Surber (2002.) navodi da je povećanje pH vrijednosti vode nakon požara povezano sa šumskim tlom koje je prije požara obično kiselo kao i izgaranjem organskih tvari. Voda tada ima pH između 6,5 i 8,5 što se smatra prihvatljivim. Nadalje, povećana razina alkalnosti vode može se prepisati pepelu u potocima, rijekama i jezerima. Povećanju alkalnosti odnosno pH vrijednosti snažno pridonose karbonati i bikarbonati. Kada je pH vrijednost povećavana, vode postaju alkalnije i na vrijednosti od 10 sadrže velike količine karbonata. Prekomjerna alkalnost, iznad 8,5 šteti životinjama i izaziva fiziološke i probavne smetnje.

SALINITET VODE

Salinitet je ukupna količina soli u riječnoj, jezerskoj ili morskoj vodi koja se izražava u promilima. Od soli prisutnih u vodi izdvajamo karbonate, bikarbonate, sulfate, kalcij, magnezij, nitrate, kloride, fosfate i fluoride. Razina slanosti vode često se izražava pomoću izraza TDS ili *Total Dissolved Solids,* u prijevodu potpuno otopljene čvrste tvari. Visoko mineralizirane vode, one s visokim TDS razinama nemaju pretjeran učinak na zdravlje životinja i ljudi ukoliko se konzumira normalna količina

vode. Soli poput natrijevog klorida mijenjaju ravnotežu elektrolita i unutarstanični tlak u tijelu što uzrokuje oblik dehidratacije. Višak fluorida uzrokuje degeneraciju zubi. Ponekad velike razine soli rezultiraju štetom, kao na primjer bolešću ili smrti životinja. Zaključak je da razne soli i njihove razine imaju različite učinke na kvalitetu vode (Surber, 2002.).

4.3. HRANJIVE TVARI U VODI

Hranjive tvari predstavljaju otopljene kemijske sastojke vode čiji su glavni izvori geološki čimbenici, dekompozicija fotosintetskih produkata u anorganske tvari te velike i jake oluje. Hranjive tvari kruže uredno i predvidljivo sve dok neki oblik neravnoteže, u ovom slučaju požar, ne poremeti distribuciju. Učinci vatre na hranjive tvari vodenog ekosustava manifestiraju se brzom mineralizacijom i raspršivanjem biljnih hranjivih tvari od intrabiotika do ekstrabiotika (Brooks i sur., 2003.; Grier, 1975.).

DUŠIK

Nitratni (NO_3^--N), nitritni (NO_2^--N), amonij (NH_4^+-N) i organski dušik (Org-N) najčešći su oblici dušika koji se proučavaju nakon požara. Najveću pozornost pridonosi se NO_3-N čija je povećana koncentracija posljedica ubrzane mineralizacije i nitrifikacije. Požarom se povećava razina nitrata u tlu te postaje pokretna u vodi što znači da se lako kreće u podzemnim i površinskim vodama. Koncentracija dušika u tlu i vodi zahvaćenim požarima je različita, a ovisi o jačini i trajanju požara (Vitousek i Melillo, 1979.; Hibbert i sur., 1974.).

Riggan i sur. (1994.) provode istraživanje u južnoj Kaliforniji gdje je broj požara bio učestao te dolaze do zaključka da je koncentracija dušika bila relativno visoka u odnosu na područje koje nije zahvaćeno požarom. Razina NO_3-N popela se na 15,3 mg / L što je šest puta veće nego u nezahvaćenom području.

Tiedemann (1973.) s druge strane provodi istraživanje utjecaja gnojiva na kasniju koncentraciju dušika te zaključuje da je primjena gnojiva u tlu rezultirala većim koncentracijama dušika nego sama vatra. Scatena (2000.) smatra kako ni vatra ni gnojidba nakon požara neće imati štetne utjecaje na koncentraciju NO_3-N u pitkoj vodi.

Nitrati sami po sebi nisu toksični, ali u kontaktu s bakterijama ulaze u krvotok gdje crveni pigment ili hemoglobin odgovoran za prijenos kisika pretvaraju u smeđi pigment ili methemoglobin koji ne prenosi kisik. To stvara probleme kod životinja jer najčešće prouzrokuje smrt (Surber, 2002.).

FOSFOR

Fosfor u tlu i vodi prisutan je u nekoliko oblika. To su reaktivni ortofosfati (anorganski fosfat), razloženi složeni organski fosfati, organski fosfat u obliku čestica te ostali anorganski oblici (Ice, 1996.). Black (1968.) navodi da PO_4-P ne nestaje tako brzo kao NO_3-N jer se spaja s organskim spojevima u tlu. Prema istraživanjima McColla i Grigala (1975.) nakon požara dolazi do veće razine ukupnog fosfora što ukazuje na ubrzanu mobilizaciju.

Prema Surberu (2000.) razina fosfora se obično povećava prve godine od požara. On navodi kako se fosfor lako veže za čestice tla što stvara sedimente i povećava njegovu razinu na površini vode. Povećanje razine fosfora u vodi dovodi do obogaćivanja hranjivim tvarima što rezultira vodom ispunjenom vodenim biljkama i niskim udjelom kisika.

Koncentracije fosfora u nadzemnim tokovima mogu se povećati kao posljedica izgaranja, no te koncentracije nisu dovoljno visoke da bi promijenile kvalitetu vode (Longstreth i Patten, 1975.). Osim toga, fosfor može biti ograničen u vodenim staništima, a kada se nađe u vodi preuzimaju ga vodeni organizmi poput algi (Beyers i sur., 2005.).

SUMPOR I KLOR

Sulfat je, kako navode Johnson i Cole (1977.) relativno pokretljiv u vodi i tlu. Njegova mineralizacija nije često istraživana, no esencijalno je slična onoj za dušik. Utjecajem požara njegova koncentracija na spaljenom tlu i u vodi je veća nego uobičajeno. Takva koncentracija sumpora i dalje je ispod razine onečišćenja pitke vode, što znači da sulfati ne utječu na kvalitetu vode nakon požara (Beyers i sur., 2005.).

Landsberg i Tiedemann (2000.) provode istraživanje o razinama klora u vodi. Navode kako su sva istraživanja pokazala nižu razinu od one propisane zakonom što dovodi do zaključka da požar ne utječe na koncentraciju klora u tolikoj mjeri.

OTOPLJENI KISIK

Razina otopljenog kisika snižena je kada sedimenti i koloidi uđu u tok vode. Sedimenti tada apsorbiraju sunčevu svjetlost što povećava temperaturu vode, a smanjuje razinu kisika koju voda može zadržati. Hladna voda će zadržati više kisika od tople. Raspadanje organskih tvari u vodi snižava razinu otopljenog kisika jer za svoju razgradnju koriste kisik. Neke vodene vrste mogu preživjeti u potocima s razinom otopljenog kisika između 4 i 6 mg / L. Međutim, za zadržavanje hladne vode razine otopljenog kisika moraju biti između 8 i 13 mg / L (Surber, 2000.).

CIJANID

Cijanid predstavlja posebnu brigu nakon požara jer je sastavni element nekih vrsta sredstava za gašenje požara. Iako su određene količine cijanida prirodno proizvedene u prirodi, najvjerojatnije je da su povećane razine cijanida posljedica korištenja retardanata za gašenje požara (Yokelson, 1997.).

Ovisno o vrstama životinja, cijanid može biti štetan ili ne. Većina slatkovodnih riba tolerantnija je na cijanid, dok je kod stoke toksičnost cijanidom češća. Jednom kada se cijanid apsorbira, lako se transportira po čitavom tijelu te postaje vrlo otrovan za sve životinje. Cijanid reagira s enzimima uključenima u transport elektrona koji omogućuju upotrebu kisika što znači da će organizam ostati bez kisika, a stanice ubrzo umrijeti (Moore, 1990.).

Maksimalna dozvoljena koncentracija cijanida u vodi je 50 µg / L što znači da svaka veća koncentracija negativno utječe na kvalitetu vode za piće, a samim time i na čovjeka.

OSTALI ELEMENTI

U vodi se mogu naći i mnoštvo drugih elemenata od kojih su neki štetni, ali nisu glavna briga nakon požara. To su na primjer bakar, kobalt, živa, bor, arsen, krom, selen i tako dalje (Surber, 2000.). Maksimalna dozvoljena koncentracija tih elemenata navedena je u tablicama 1., 2., 3. i 4. te propisana Pravilnikom o parametrima sukladnosti, metodama analize, monitoringu i planovima sigurnosti vode za ljudsku potrošnju te načinu vođenja registra pravnih osoba koje obavljaju djelatnost javne vodoopskrbe (NN 125/2017).

4.4. UTJECAJ VATROGASNIH SREDSTAVA

Sredstva za gašenje požara često se upotrebljavaju u suzbijanju vatrene stihije. Iako njihovi utjecaji na okoliš nisu izravni, njihova upotreba može imati štetan učinak. Glavne brige upotrebe takvih sredstava su: učinci na kvalitetu vode i vodenih organizama, toksičnost vegetacije i učinci na zdravlje ljudi (Beyers i sur., 2005.).

Gimenez (2004.) navodi da se još od 1930. godine ulažu veliki napori u povećanju djelotvornosti vode za potrebe gašenja požara. Od tada su se u vodu počele dodavati različite kemikalije, poput sredstva za smanjenje površinske napetosti vode, dodaci za geliranje i tako dalje. Retardanti se najčešće koriste iz zraka, izbacivanjem iz zrakoplova na taktički odabranu obrambenu crtu ispred požara. Osim tog načina, postoji i onaj s kopna, no prednost zračne primjene u odnosu na kopnenu je u tome što se iz zrakoplova može lakše nanijeti kompaktni sloj (Knežević, 2017.).

Dugotrajni retardanti sadrže 85 % vode, 10 % anorganskih soli (amonijev sulfat, amonijev fosfat i diamonijev fosfat) te 5 % drugih dodataka kao što su bojila (crveni željezov oksid), inhibitori korozije, stabilizatori smjese, ugušćivači (prirodna guma ili glina) te drugi dodaci. Na tržištu postoje retardanti u obliku praha ili tekućeg koncentrata. Prah je, prije upotrebe, potrebno otopiti u vodi, dok se tekuće koncentrate koristi bez dodatne pripreme. Takvi, dugotrajni retardanti, zadržavaju svoje djelovanje sve dok ih s vegetacije ne ispere kiša (Knežević, 2017.).

Retardanti usporavaju širenje požara na temelju nekoliko fizikalno kemijskih procesa: hlade i oblažu gorivu tvar oduzimajući požaru kisik te usporavaju brzinu gorenja anorganskim solima. Djelotvornost retardanata temelji se na kemijskoj sposobnosti redukcije gorenja. To svojstvo se primarno pripisuje djelovanju fosforovog pentoksida koji daje prednost fosfatnim retardantima u odnosu na sulfatne (Gimenez, 2004.).

Sredstva za gašenje na bazi amonijaka imaju važnu ulogu u zaštiti vodenih resursa. Međutim, njihova upotreba može utjecati na kvalitetu vode, a u nekim slučajevima mogu biti toksična za vodena staništa. Također amonijeve soli stvaraju otopinu koja se lijepi za vegetaciju. Dodatni razlog za zabrinutost je korištenje sredstava koji sadrže natrijev ferocijanid. Takva sredstva imaju nižu toksičnost što znači smanjena smrtnost vodenih bića, ali se teže ispiru iz tla (Beyers i sur., 2005.).

Pekić (2007.) smatra da sredstva za gašenje požara imaju minimalan utjecaj na zdravlje ljudi. S druge strane, kada se govori o tlu, uočava povećanje biomase (najviše trave). Knežević (2017.) navodi kako je provedeno istraživanje 12 mjeseci nakon upotrebe retardanata te se uočio pad pH vrijednosti i porast koncentracije fosfora u tlu. Povećanje koncentracije dušika, ugljika i sumpora zamijećeno je odmah nakon primjene, no to se povećanje sljedećih nekoliko mjeseci smanjivalo. Nadalje, Knežević smatra da je utjecaj retardanata na vodeni ekosustav mnogo ozbiljniji, posebno kada je u pitanju kakvoća vode. Naime, retardanti dovode do eutrofikacije vode i time uzrokuje pomor riba. Kao što je ranije navedeno, amonijevi spojevi u vodi oslobađaju amonijak koji nanosi štetu vodenim staništima. Otrovnost i postojanost sastavnica retardanata ovisi o kemijskim reakcijama u vodi, protoku i turbulencijama vode. Unutar prvih 24 sata nitrati i topljivi organski dušik su primarni spojevi pronađeni u vodi. Za njih se smatra kako imaju malu otrovnost. Prema Kneževiću, pored amonijaka po svojoj otrovnosti se ističu inhibitori korozije, točnije natrijev ferocijanid. Osim toga, pod utjecajem UV zračenja dolazi do otpuštanja cijanida u vodu.

Važno je napomenuti da je planiranje rasporeda i nadzora vatrogasnih protupožarnih letjelica ključno za smanjivanje štete nad šumama i vodenim staništima (Beyers i sur., 2005.).

Na slici 17 prikazan je način gašenja požara iz zraka pomoću protupožarnih letjelica.



Slika 17. Vatrogasna protupožarna letjelica (primjena retardanata)

Izvor: *https://images.app.goo.gl/rgK7hQ2SrKSk4fQ8A*

5. PROCESI OBNOVE TLA I VODE NAKON OTVORENIH POŽARA

Kada se dogodi požar važna je brza intervencija da se požar što prije lokalizira i stavi pod nadzor čime se smanjuje površina štete, to jest gospodarski, ekološki i materijalni troškovi (Dubravac i Hrvoj, 2015.).

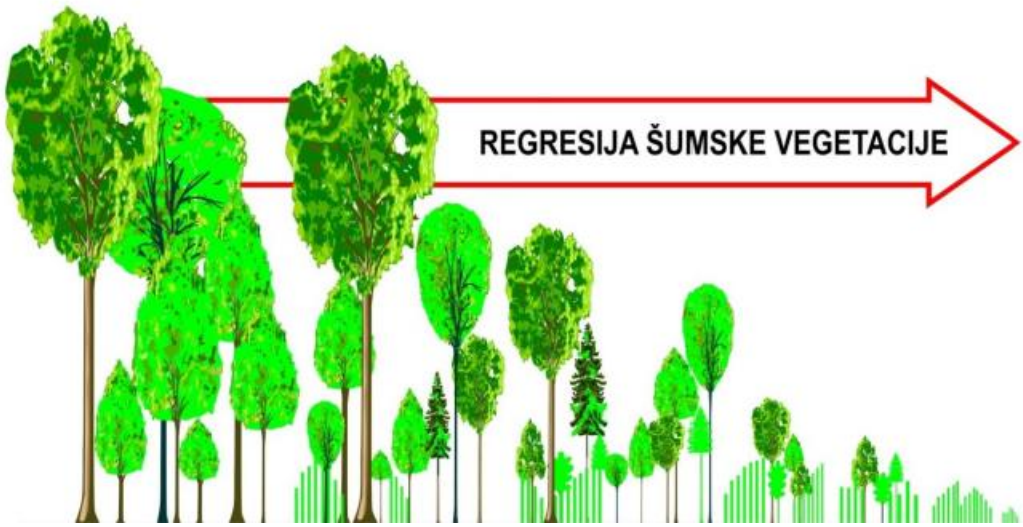
Paige i Zygmunt (2012.) navode da nakon što se utvrdi kolike je jačine bio požar, može se započeti s procesima za poduzimanje mjera protiv erozije i velikog onečišćavanja. Prema njima najkritičnija razdoblja za obnovu su prve dvije godine nakon požara, međutim što se prije započne s procesima za smanjenje otjecanja i erozije to je bolje za okoliš.

Beyers i sur. (2005.) spominju BAER ili *Burned – Area Emergency Rehabilitation* sustav mjera koje su najučinkovitije u smanjenju otjecanja i erozije. Istaknuti ciljevi BAER – a su:

- smanjenje opasnosti za život i imovinu na licu mjesta i izvan mjesta
- smanjenje gubitka tla i njegove produktivnosti
- smanjenje gubitka kontrole vode
- smanjenje pogoršavanja kvalitete vode

Dubravac i Hrvoj (2015.) u svome priručniku navode kako postoje dvije vrste sukcesija odnosno trajnog procesa smjene životnih zajednica. To su primarna i sekundarna. Primarna se događa na prostoru gdje nije bilo života, a s druge strane sekundarna na prostoru kojeg je uništio čovjek ili priroda. Uništavanjem šuma, kako navode, uništava se i tlo pa obnova traje duže i zahtjeva mukotrpan rad. Na staništima gdje su požari česta pojava mnoge biljne vrste imaju sjemenke otporne na vatru ili korijenje koje propupa i izbaci mladice neposredno nakon požara te na taj način brzo obnove svoje populacije. Sjemenje nekih biljaka iz takvih staništa ne može proklijati ako prethodno nisu bili izloženi vatri to jest visokoj temperaturi. To su, kako navode, većinom pionirske vrste borova prisutne na Mediteranu koje na tom području razviju istu vegetaciju koja je bila i prije požara. U slučaju kada izgori šumska zajednica koja nema mogućnost samoobnove dolazi do promjene vegetacije.

Na slici 18 prikazan je tijek regresije šumske vegetacije: gospodarska šuma postepeno se pretvara u zašikarenu šumu, a zatim u šumoliku šikaru. Stabalni oblici drveća pojavljuju se sve manje te prevladavaju grmoliki oblici drveća. Stvara se šikara koja je donekle očuvana, zatim otvorena šikara s vrlo malo stabala i na kraju šibljak i golet (Dubravac i Hrvoj, 2015.).



Slika 18. Obnova šumske vegetacije

Izvor: *Dubravac, Hrvoj (2015.): Brošura o obnovi vegetacije i staništa Preporuke za upravljanje biomasom nakon požara*

Preporučljivo je ostaviti postojeću vegetaciju kada je to moguće. Na područjima bez biljnog pokrova, tlo se može okopati te posaditi određena vegetacija, primjerice trava koja brzo klija i ima dugi vlaknasti korijen pomoću kojeg drži tlo na okupu (Paige i Zygmunt, 2012.).

Dubravac i Hrvoj (2015.) navode da se različite sanacijske mjere obavljaju se s obzirom na stanje vegetacijskog pokrova (degradacijski stupanj, mogućnost samoobnove, oštećenost vegetacije) i tla (količina tla, podložnost eroziji i erozija). Oni dijele uzgojne zahvate kojima se štiti i obnavlja vegetacija i tlo na: sanitarnu sječu preostale vegetacije i mjere zaštite tla.

SANITARNA SJEČA I OKOPAVANJE

Sanitarna sječa (slika 19) jedna je od mjera obnove vegetacije, a odnosi se na sječu i uklanjanje preostalih stabala i grmlja nakon požara. Time se žele postići bolji uvjeti za prirodnu obnovu, rast i razvoj novih biljaka. Nova vegetacija se može razviti iz preostalih panjeva, korijenja i sjemenki. Posječenu drvnu masu može se prodati ili usitniti, poleći i rasporediti po cijeloj površini gdje će ona štititi mlade biljke i tlo te time dozvoliti razvoj biljaka po cijeloj površini. Nadalje, ako se preostala masa slaže u pruge ili hrpe (slika 20) na taj se način usporava njeno raspadanje i ona predstavlja potencijalnu gorivu tvar duži niz godina što povećava mogućnost nastanka novog požara (Dubravac i Hrvoj, 2015.).

Paige i Zygmunt (2012.) navode kako okopavanje može biti vrlo učinkovito pogotovo nakon požara otvorenog prostora jer štiti površinu tla. Taj se proces može kombinirati s ponovnim sađenjem, a poboljšano zadržavanje vlage povećava uspjeh sadnje.



Slika 19. Sanitarna sječa

Izvor: *Dubravac, Hrvoj (2015.): Brošura o obnovi vegetacije i staništa Preporuke za upravljanje biomasom nakon požara*



Slika 20. Slaganje mase u pruge (lijevo) i hrpe (desno)

Izvor: *Dubravac, Hrvoj (2015.): Brošura o obnovi vegetacije i staništa Preporuke za upravljanje biomasom nakon požara*

KONTROLNE MJERE SPRJEČAVANJA EROZIJE

Korištenje bala sijena (slika 21) i kontrolnih brana može smanjiti brzinu strujanja u kanalima i potocima te pohraniti sediment. Pohranjivanjem sedimenta sprječava se daljnje onečišćenje voda, a time i ugroženost vodenih staništa. Takav proces poboljšavanja nakon požara trebao bi se koristiti kao sekundarno rješenje posebice na područjima gdje su susjedni obronci brda nestabilni. Kada se ne koristi pravilno, brana može prouzrokovati više štete nego koristi što dovodi do nestabilnosti kanala i povećane erozije (Paige i Zygmunt, 2012.).



Slika 21. Slamnate brane

Izvor: *Daniel G. Neary, Peter F.FFolliott (2005.): Effects of Fire on Soil and Water*

Takozvane terase napravljene od trupaca (slika 22) mogu predstavljati barijere otjecanju prilikom jakih kiša. Ako se pravilno postave mogu natjerati vodu da krivuda natrag i naprijed preko padina što usporava vodu i daje tlu više vremena da ju upije. Trupci su postavljeni na granice padina okomito prema smjeru strujanja vode ili padine. Također se trebaju postaviti u naizmjeničnom uzorku tako da voda ne može teći izravno niz nagib. Slamnate ograde mogu se koristiti na sličan način. One su dovoljno fleksibilne da slijede granice padina i time spriječe eroziju (Paige i Zygmunt, 2012.).



Slika 22. Postavljanje trupaca

Izvor: *Daniel G. Neary, Peter F.Ffolliott (2005.) : Effects of Fire on Soil and Water*

Paige i Zygmunt (2015.) navode da se ograde od mulja (slika 23) mogu koristiti gdje god je otjecanje raspršeno, primjerice na širokim, ravnim područjima. Takve zaštite mogu spriječiti širenje sedimenta i ukloniti ga iz otjecanja vode. Ograde od mulja izrađene su pomoću žičane ograde i tkanine koja služi kao filter za vodu. Mana takvih ograda je povremeno održavanje kako bi ostale funkcionalne.



Slika 23. Postavljanje ograde od mulja

Izvor: *Daniel G. Neary, Peter F.FFolliott (2005.): Effects of Fire on Soil and Water*

Obnova slijeva i kvalitete vode nakon požara dugotrajan je proces koji ovisi o različitim čimbenicima. Obnova voda najviše se postiže sprječavanjem erozije tla i uklanjanja sedimenta. Vrlo je važna pravilna obnova kanala jer se tada smanjuje brzina otjecanja i pospješuje sakupljanje sedimenta čime se sprječava daljnje onečišćenje voda.

6. ZAKLJUČAK

Požari otvorenog prostora velika su prijetnja šumskim zemljištima, šumama i napuštenim poljoprivrednim površinama u cijelome svijetu. Njihov nastanak najčešće je povezan s ljudskom djelatnošću, no klimatske promjene također mogu imati utjecaja. Sve veći broj požara u značajnoj mjeri degradira ekosustav i narušava njegovu stabilnost što dovodi do smanjenja bioraznolikosti i povećanja opustošenih područja.

Najveći utjecaj otvorenih požara odražava se na tlo i njegovu kvalitetu, a samim time i na kvalitetu voda što je u ovom radu objašnjeno. Tlo trpi razne kemijske i fizikalne promjene što najčešće dovodi do erozijskih procesa i stvaranja vodonepropusnog sloja na površini. Erozijski procesi smanjuju produktivnost tla i onečišćuju vodu koja se nalazi u blizini područja zahvaćenog erozijom.

Onečišćenje vode ili smanjenje njene kvalitete najviše se može povezati sa stvaranjem sedimenta. Sediment se može taložiti ili pomiješati s vodom, a ovisno o tome voda postaje zamućena i nepogodna za život vodenim životinjama. Osim sedimentacije i zamućenosti, voda trpi i razne kemijske promjene u sastavu. Primjerice, temperatura požara i pepeo nastao sagorijevanjem vegetacije značajno utječu na pH vrijednost vode, točnije alkalnost. Prekomjerna alkalnost šteti životinjama i vodenim staništima. Nadalje, promjene su vidljive i u hranjivim tvarima vode koje se nakon požara brže mineraliziraju. Najveći problem predstavljaju dušik i cijanid. Koncentracija dušika ovisi o jačini požara, a iako sam po sebi nije toksičan ponekad može nepovoljno utjecati na životinje. Cijanid je, s druge strane, povezan s korištenjem protupožarnih sredstava, a njegova apsorpcija postaje vrlo otrovna za živa bića.

Kako bi se to spriječilo važno je pravovremeno reagirati i započeti s procesima sprječavanja erozije i onečišćenja. Najučinkovitiji proces je postavljanje slamnatih bala i trupaca čime se sprječava nastanak erozije, a time i sedimentnost za koju je ranije rečeno kako onečišćuje vodu. Vrlo je bitna i pravilna obnova kanala jer se tada smanjuje brzina otjecanja i pospješuje sakupljanje sedimenta.

Kao zaključak treba izvući da požari otvorenog prostora imaju nepovoljan pa čak i razorni učinak na cijeli ekosustav, a čovjek vatru ne bi trebao olakotno shvatiti. Svakim požarom smanjuje se kvaliteta života kako životinja tako i ljudi, a te posljedice ne treba zanemarivati.

7. LITERATURA

1. Abu – Hamdeh, N.H., Reeder, R.C. (2000). Soil thermal conductivity: effects of density, moisture, salt concentration, and organic matter. Soil Science Society of America Journal 64: 1285 – 1290
2. Alauzis, M.V., Mazzarino, M.J., Raffaele, E., Roselli, L. (2004). Wildfires in NW Patagonia: longterm effects on a Nothofagus forest soil. Forest Ecology and Management 192: 131 – 142
3. *alge*. Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2020. (pristup: 26.05.2020.)
4. Andreu, V., Imeson, A.C., Rubio, J.L. (2001). Temporal changes in soil aggregates and water erosion after a wildfire in a Mediterranean pine forest. Catena 44: 69 – 84
5. Arocena, J.M., Opio, C. (2003). Prescribed fire-induced changes in properties of sub-boreal forest soils. Geoderma 113: 1 – 16
6. Badia, D., Marti, C. (2003). Plant ash and heat intensity effects on chemical and physical properties of two contrasting soils. Arid Land Research and Management 17: 23 – 41
7. Bakšić, N., Vučetić, M., Španjol, Ž. (2015). Potencijalna opasnost od požara otvorenog prostora u RH. Vatrogastvo i upravljanje požarima, br. 2/2015., vol. V, Zagreb, str. 30 - 40
8. Baldock, J.A., Smernik, R.J. (2002). Chemical composition and bioavailability of thermally altered Pinus resinosa (*Red pine*) wood. Organic Geochemistry 33: 1093 – 1109
9. Barešić, D. (2011). Utjecaj klimatskih promjena na opasnost od požara raslinja u Hrvatskoj. Geofizički odsjek PMF, Zagreb
10. Bašić, F. (1994). Klasifikacija oštećenja tala Hrvatske – pregledni članak. Agronomski glasnik 3 – 4/94: 291 – 310
11. Beyers, J.L., Brown, J.K., Busse, M.D., DeBano, L.F., Elliot W.J. (2005). Wildland Fire in Ecosystems Effects of Fire on Soil and Water. University of Nebraska - Lincoln
12. Bilandžija, J. (1992). Prirodno opterećenje sastojina alepskog, primorskog i crnog bora šumskim gorivima. Radovi, Vol 27, No. 2, Jastrebarsko, str. 105 - 113
13. Black, C.A. (1968). Soil plant relationships. New York: John Wiley & Sons, Inc., str. 792
14. Bodi, M.B., Doerr, S.H., Cerda, A., Mataix – Solera, J. (2012). Hydrological effects of a layer of vegetation ash on underlying wettable and water repellent soil. Geoderma 191: 14 – 23

15. Bogunović, M. (1996). Tlo u prostornom planu hrvatskog poljodjelstva – izlaganje sa znanstvenog skupa. Agronomski glasnik 2 – 4/1996: 99 – 113

16. Bošnjak, Ujević M., Bućan, Ž., Capak, K., Jeličić, P. (2019). Mogući utjecaj klimatskih promjena na kvalitetu vode za ljudsku potrošnju. Hrvatske vode 27 (2019), 110: 355 – 360

17. Brooks, K.N., Ffolliott, P.F., Gregersen, H.M., DeBano, L.F. (2003). Hydrology and the management of watersheds. 3rd Edition. Ames: Iowa State Press, str. 704

18. Butorac, L., Topić, V., Jelić, G., (2005). Površinsko otjecanje oborina i gubici tla u opožarenim kulturama alepskog bora (*Pinus halepensis Mill.*) na koluviju. Šumarski list 3(4): 165 – 174

19. Cerda, A., S.H. Doerr. (2008). The effect of ash and needle cover on surface runoff and erosion in the immediate post-fire period. Catena 74: 256 – 263

20. Cerda, A., P. Robichaud. (2009). Fire effects on soils and restoration strategies. Science Publishers, Enfield, NH, USA

21. Certini, G. (2005). Effects of fire on properties of forest soils: a review. Oecologia 143 (1): 1 – 10

22. Chandler, C., Cheney, P., Thomas, P. (1983). Fire in Forestry, vol. I. Forest fire behavior and effects. John Wiley & Sons, New York

23. Czimczik, C.I., Preston C.M., Schmidt M.W.I., Werner R.A., Schulze E.D. (2002). Effects of charring on mass, organic carbon, and stable carbon isotope composition of wood. Organic Geochemistry 33: 1207 – 1223

24. DeBano, L.F. (2000a). The role of fire and soil heating on water repellence in wildland environments: a review. Journal of Hydrology 232: 195 – 206

25. DeBano, L.F. (2000b). Water repellency in soils: a historical overview. Journal of Hydrology 231 – 232: 4 – 32

26. DeBano, L. F., Neary, D.G., Ffolliott, P.F. (1998). Fire's effects on ecosystems. New York: John Wiley & Sons, Inc., str. 333

27. DeBano, L.F., Krammes, J.S. (1966). Water repellent soils and their relation to wildfire temperatures. Bulletin International Association of Scientific Hydrology 11 (2):14 – 19

28. Demeyer, A., Vuondi Nkana, J.C., Verloo, M.G. (2001). Characteristics of wood ash and influence in soil properties and nutrient uptake: an overview. Bioresource Technology 77: 287 – 295

29. Dlapa, P., Bodi, M.B., Mataix – Solera, J., Cerda, A., Doerr, S.H. (2013). FT-IR spectroscopy reveals that ash water repellency is highly dependent on ash chemical composition. Catena 108: 35 – 43

30. Doerr S.H., Shakesby R.A., Walsh R.P.D. (2000). Soil water repellence: its causes, characteristics and hydro – geomorphological significance. Earth – Science Reviews 51: 33 – 65

31. Dubravac,T., Hrvoj. B. (2015). Brošura o obnovi vegetacije i staništa Preporuke za upravljanje biomasom nakon požara. Hrvatski šumarski institut, Jastrebarsko

32. Dunne, T., Leopold, L.B. (1978). Water in environmental planning. San Francisco, CA: W.H. Freeman and Company, str. 818

33. Etiegni, L., Campbell, A.G. (1991). Physical and Chemical characteristics of wood ash. Bioresource Technology 37: 173 – 178

34. Feist, O. (2011). Analiza toplinskog stresa za potrebe poljodjelstva u Hrvatskoj u prošlim, sadašnjim i budućim klimatskim uvjetima. Geofizički odsjek PMF, Zagreb

35. Ferreira, A., Silva, J.S., Coelho, C.D.A., Boulet, A.-K., Keizer J.J. (2009). The Portuguese experience in managing fire effects. Science Publishers (USA), Enfield, NH, USA.

36. Fisher, R.F., Binkley, D. (2000). Ecology and management of forest soils. 3rd edition, Wiley, New York

37. Fisher, I., Kastl, G., Sathasivan, A. (2012). A suitable model of combined effects of temperature and initial condition on chlorine bulk decay in water distribution systems. Water Research 46(10): 3293 – 3303

38. Franco, C.M.M., Clarke, P.J., Tate, M.E., Oades, J.M., (2000). Hydrophobic properties and chemical characterisation of natural water repellent materials in Australian sands. Journal of Hydrology 231 – 232: 47 – 58

39. Gereš, D. (2004). Kruženje vode u zemljinom sustavu – pregledni rad. Građevinar 56 (2004) 6: 355 – 365

40. Gimenez, A. (2004). Long – term forest fire retardants: a review of quality, effectiveness, application and environmental considerations. International Journal of Wildland Fire

41. Gimeno – Garcia, E., Andreu, V., Rubio, J.L. (2004). Spatial patterns of soil temperatures during experimental fires. Geoderma 118: 17 – 38

42. Giovannini, G., Lucchesi, S., Cervelli, S., (1983). Water – repellent substances and aggregate stability in hydrophobic soil. Soil Science 135: 110 – 113

43. Gonzalez – Perez, J.A., Gonzalez – Vila, F.J., Almendros, G., Knicker, H. (2004). The effect of fire on soil organic matter – a review. Environment International 30: 855 – 870

44. Gonzalez Parra, J., Cala Rivero, V., Iglesias Lopez, T. (1996). Forms of Mnin soils affected by a forest fire. Science of Total Environment 181: 231 – 236

45. *gorenje*. Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2020. (pristup: 21.05.2020.)

46. Granged, A.J.P., Jordan, A., Zavala, L.M., Munoz – Rojas, M., Mataix – Solera, J. (2011a). Short – term effects of experimental fire for a soil under eucalypus forest. Process 25: 1614 – 1629

47. Granged, A.J.P., Zavala, L.M., Jordan, A., Barcenas – Moreno, G. (2011b). Post – fire evolution of soil properties and vegetation cover in a Mediterranean heathland after experimental burning: a 3 – year study. Geoderma 164: 85 – 94

48. Grier, C.C. (1975). Wildfire effects on nutrient distribution and leaching in a coniferous ecosystem. Canadian Journal of Forest Research 5: 599 – 607

49. Helvey, I.D. (1980). Effects of a north central Washington wildfire on runoff and sediment production. Water Resources Bulletin 16: 627– 634

50. Hibbert, A.R, Davis, E.A., Scholl, D.G. (1974). Chaparral conversion potential in Arizona. Part I: Water yield response and effects on other resources. Res. Pap. RM - 126. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station

51. Hrvatska vatrogasna zajednica 2019. (*https://www.hvz.hr/vijesti/hrvatska-vatrogasna-zajednica/uspje%C5%A1no-odra%C4%91ena-protupo%C5%BEarna-sezona-2019*) (pristup: 20.05.2020.)

52. Hrvatski zavod za javno zdravstvo 2017. Kvaliteta vode na izvorima Jadro i Žrnovnica nakon požara (pristup: 26.05.2020.)

53. Hrvatsko agrometeorološko društvo 2014. Zbornik radova 3. agrometeorološke radionice – „Zaštita okoliša i šumski požari“

54. Huffman, E.L., MacDonald, L.H., Stednick, J.D. (2001). Strength and persistence of fire-induced soil hydrophobicity under ponderosa and lodgepole pine. Hydrological Processes 15: 2877 – 2892

55. Ice, G.G. (1996). Forest management options to control excess nutrients for the Tualatin River, Oregon. Special Report 96 – 04. Raleigh, NC: National Council of the Paper Industry for Air and Stream Improvement

56. Imeson, A.C., Verstraten, J.M., Van Mulligen, E.J., Sevink, J. (1992). The effects of fire and water repellence on infiltration and runoff under Mediterranean type forest. Catena 19: 345 – 361

57. Johansen, J.R. (1993). Cryptogamic crusts of semiarid and arid lands of North America. Journal Phycology 29: 140 – 147

58. Johanson M.P., Hakonson, T.E., Breshears, D.D. (2001). Post-fire runoff and erosion from rainfall simulation: contrasting forests with shrublands and grasslands. Hydrological Processes 15: 2953 – 2965

59. Johnson, D.W., Cole, D.W. (1977). Anion mobility in soils: Relevance to nutrient transport from terrestrial to aquatic ecosystems. Ecological Research Series, EPA-600/3-77-068. Corvallis, OR: U.S. Environmental Protection Agency

60. Jurjević P., Vuletić, D., Gračan, J., Seletković, G. (2009). Šumski požari u Republici Hrvatskoj (1992–2007). Šumarski list br. 1–2, CXXXIII (2009), str. 63 - 72

61. Karlović, V. (2002). Procesi gorenja i gašenja. Ministarstvo unutarnjih poslova RH, Zagreb 2002.

62. Keeley, J.E. (2009). Fire intensity, fire severity and burn severity: a brief review and suggested usage. International Journal of Wildland Fire 18: 116 – 126

63. Khanna, P.K., Raison, R.J., Falkiner, R.A., (1994). Chemical properties of ash derived from Eucalyptus litter and its effects on forest soils. Forest Ecology and Management 66: 107 – 125

64. Kinner, D.A., Moody, J.A., (2007). Infiltration and runoff measurements on steep burned hillslopes using a rainfall simulator with variable rain intensities. U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2007 – 5211

65. Kisić, I. (2019). Okolišni aspekti požara otvorenog tipa. Međunarodni simpozij agronoma 2019, Vodice, str. 3 - 14

66. Knežević, D. (2017). Retardanti protiv požara raslinja. Vatrogastvo i upravljanje požarima, br. 2/2017., vol. VII, Zagreb, str. 21 – 28

67. Krammes, J.S., DeBano, L.F. (1965). Soil Wettability: a neglected factor in watershed management. Water Resources Research 1: 283 – 286

68. Landsberg, J.D., Tiedemann, A.R. (2000). Fire management, water from forests and grasslands. NC: USDA Forest Service, Southern Research Station

69. Larsen, I.J., MacDonald, L.H., Brown, E., Rough, D., Welsh, M.J., Pietraszek, J.H., Libohova, Z., Benavides – Solorio, J.D., Schaffrath, K. (2009). Causes of post – fire runoff and erosion: water repellency, cover, or soil sealing. Soil Science Society of America Journal 73: 1393 – 1407

70. Liodakis, S., Katsigiannis, G., Lymperopoulou, T. (2007). Ash properties of Pinus halepensis needles with diammonium phosphate. Thermochimica Acta 453 (2): 136 – 146

71. Longstreth, D.J., Patten, D.T. (1975). Conversion of chaparral to grass in central Arizona: Effects on selected ions in watershed runoff. The American Midland Naturalist 93: 25 – 34

72. Martinović, J., Komlenović, N., Jedlovski, D. (1978). Utjecaj požara vegetacije na tlo i ishranu šumskog drveća. Šumski list (3 – 4): 139 – 148

73. Massman, W.J., Frank, J.M., Reisch, N.B. (2008). Long – term impacts of prescribed burns on soil thermal conductivity and soil heating at a Colorado Rocky Mountain site: a data/model fusion study. International Journal of Wildland Fire 17: 131 – 146

74. McColl, J.G., Grigal, D.F. (1975). Forest fire: effects on phosphorus movement to lakes. Science 185: 1109 – 1111

75. Moody, J.A., Kinner, D.A., Ubeda, X. (2009). Linking hydraulic properties of fireaffected soils to infiltration and water repellency. Journal of Hydrology 379: 291 – 303

76. Moore, J.W. (1990). Inorganic contaminants of surface water, research and monitoring priorities. Springer – Verlag, str. 334

77. Moreira, F., Rego, F.C., Ferreira, P.G. (2001). Temporal (1958 – 1995) pattern of change in a cultural landscape of northwestern Portugal. Landscape Ecology 16: 557 – 567

78. Neary, G.D., FFolliott F. P. (2005). Effects of fire on soil and water. Wildland Fire in Ecosystems, Part B

79. Onda, Y., Dietrich, W.E., Booker, F. (2008). Evolution of overland flow after a severe forest fire, Point Reyes, California. Point Reyes, California. Catena 72: 13 – 20

80. Paerl, H.W., Paul, V.J. (2012). Climate change: Links to global expansion of harmful cyanobacteria. Water Research 46 (5): 1349 – 1363

81. Paige G., Zygmunt J. (2012). The science behind wildfire effects on water quality, erosion. Living with wildfire in Wyoming, str. 31 – 34

82. Pekić, Z. (2007). High rate spray technique – a new way for effective aerial wildfire suppression. 4th International Wildland Fire Conference

83. Pereira, P., Capanko, V., Vaitkute, D., Pundyte, N., Pranskevicius, M., Zuokaite, E., Úbeda, X., Mataix – Solera, J., Cerda, A. (2012). Grassland fire effects on ash properties and vegetation restoration in Lithuania. Flamma Vol 3 (1): 3 – 8

84. Pierce, J.L., Meyer, G.A., Timothy Jull, A.J. (2004). Fire – induced erosion and millennial – scale climate change in northern ponderosa pine forests. Nature 432: 87 – 90

85. *požar*. Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2020. (pristup: 21.05.2020.)

86. Pravilnik o kvaliteti vode za piće NN 125/2017, Ministarstvo zdravstva Republike Hrvatske (pristup: 04.07.2020.)

87. Racz, Z. (1991). Značaj tla u prirodnim i agroekosustavima i suvremeni problemi njegove zaštite. Soc. Ekol. Vol. 1 (1992) No. 1: 105 – 118

88. Raison, R.J. (1979). Modification of the soil environment by vegetation fires, with particular reference to nitrogen transformations: a review. Plant Soil 51: 73–108

89. Riggan, P.J., Lockwood, R.N., Jacks, P.M. (1994). Effects of fire severity on nitrate mobilization in watersheds subject to chronic atmospheric deposition. Environmental Science and Technology 28: 369 – 375

90. Robichaud, P.R., Waldrop, T.A. (1994). A comparison of surface runoff and sediment yields from low-and-high severity site preparation burns. Water Resources Bulletin Vol 30, No. 1: 27 – 34

91. Robichaud, P.R., Lewis, S.A., Laes, D.Y.M., Hudak, A.T., Kokaly, R.F., Zamudio, J.A. (2007). Postfire soil burn severity mapping with hyperspectral image unmixing. Sensing of Environment 108: 467 – 480

92. Rosavec, R., Španjol, Ž., Bakšić, N. (2012). Šumski požari kao ekološki i krajobrazni čimbenik u području Dalmatinske zagore. Vatrogastvo i upravljanje požarima, br. 3/2012., vol. I, Zagreb, str. 51 - 64

93. Savage, S.M. (1974). Mechanism of fire – induced water repellency in soil. Soil Science Society of America Journal 38: 652 – 657

94. Scatena, F.N. (2000). Drinking water from forests and grasslands: a synthesis of the scientific literature. General Technical Reports SRS-39. Asheville, NC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Research Station, str. 7 – 25

95. Scott, D.F., Van Wyk, D.B. (1990). The effects of wildfire on soil wettability and hydrological behaviour of an afforested catchment. Journal of Hydrology 121: 239 – 256

96. Shakesby, R.A. (2011). Post – wildfire soil erosion in the Mediterranean: review and future directions. Earth – Science Reviews 105: 71 – 100

97. Shakesby, R.A., Doerr, S.H. (2006). Wildfire as hydrological and geomorphological agent. Earth – Science Reviews 74: 269 – 307

98. Silva, J.S., Rego, F.C., Mazzoleni, S. (2006). Soil water dynamics after fire in a Portuguese shrubland. International Journal of Wildland Fire 15: 99 – 111

99. Stoof, C. (2011). Fire effects on soil and hydrology. Wageningen University, Netherlands

100. Surber, G. (2002). Water quality concerns after wildfire. After Wildfire, Montana State University, Section 3, str. 9 – 15

101. Swift, L.W., Messner, J.B. (1971). Forest cuttings raise temperature of small streams in the southern Appalachians. Journal of Soil and Water Conservation 26: 111 – 116

102. Španjol Ž., Biljaković K., Rosavec R., Dominko D., Barčić D., Starešinić. D. (2008). Šumski požari i fizikalni modeli. Šumarski list br. 5 – 6, CXXXII (2008), str. 259 – 267

103. Tiedemann, A.R. (1973). Stream chemistry following a forest fire and urea fertilization in north-central Washington. Research Note PNW – 203. Portland, OR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Forest and Range Experiment Station

104. Tiedemann, A.R., Helvey, J.D., Anderson, T.D. (1978). Stream chemistry and watershed nutrient economy following wildfire and fertilization in eastern Washington. Journal of Environmental Quality 7 (4): 580 – 588

105. *tlo*. Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2020. (pristupljeno: 01. 07. 2020.)

106. Vitousek, P.M., Melillo, J.M. (1979). Nitrate losses from disturbed forests: Patterns and mechanisms. Forest Science 25: 605 – 619

107. Vučetić , M. (2002). Vremenske prilike i usporedba sezone zaštite šuma od požara 2001. u odnosu na višegodišnji prosjek. Šumarski list 126, (11–12): 563-574

108. Warcup, H.H. (1981). Effect of fire on the soil microflora and other non-vascular plants. Canberra, Australia: Australian Academy of Science, str. 203 – 214

109. Wells, C.G., Campbell, R.E., DeBano, L.F., Lewis, C.E., Fredrickson, R.L., Franklin, E.C., Froelich, R.C., Dunn, P.H. (1979). Effects of fire on soil: a state of the knowledge review. General Technical Report WO – 7. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, str. 34

110. Westerling, A.L., Hidalgo, H.G., Cayan, D.R., Swetnam, T.W. (2006). Warming and earlier spring increases Western U.S. forest wildfire activity. Science 313 (5789): 940 – 943

111. Woods, S.W., Balfour, V.N. (2010). The effects of soil texture and ash thickness on the post – fire hydrological response from ash-covered soils. Journal of Hydrology 393: 274 – 286

112. Woods, S.W., Birkas, A., Ahl, R. (2007). Spatial variability of soil hydrophobicity after wildfires in Montana and Colorado. Geomorphology 86: 465 – 479

113. Yokelson, R. J. (1997). Trace gas emissions from specific biomass fire – types. Paper Delivered at: START Synthesis Workshop on Greenhouse Gas Emission, Aerosols and Land Use and Cover Change in Southeast Asia, November 15 – 18,1997, Taipei, Taiwan

114. Zavala, L.M., De Celis, R., Jordan, A. (2014). How wildfires affect soil properties: a brief review. Cuadernos de Investigacion Geografica No. 40 (2): 311 - 331

8. POPIS SLIKA I TABLICA

Slika 1. Požarni trokut 3
Slika 2. Niski požar 3
Slika 3. Visoki požar 4
Slika 4. Podzemni požar 4
Slika 5. Požar na Korčuli 6
Slika 6. Gorenje organskih tvari 9
Slika 7. Vodonepropusnost tla 11
Slika 8. Proces nastanka vodonepropusnog sloja 12
Slika 9. Erozija tla nakon požara 13
Slika 10. Erozija tla prašume 14
Slika 11. Hidrološki ciklus 16
Slika 12. Prikaz nataloženog pepela donesenoga erozijskim procesima 17
Slika 13. Područje zahvaćeno požarom 22
Slika 14. Utjecaj temperature na vodena staništa 24
Slika 15. Zamućenost vode 25
Slika 16. Prikaz algi u vodenim staništima 26
Slika 17. Vatrogasna protupožarna letjelica (primjena retardanata) 31
Slika 18. Obnova šumske vegetacije 33
Slika 19. Sanitarna sječa 34
Slika 20. Slaganje mase u pruge (lijevo) i hrpe (desno) 34
Slika 21. Slamnate brane 35
Slika 22. Postavljanje trupaca 35
Slika 23. Postavljanje ograde od mulja 36

Tablica 1. Tablica mikrobioloških parametara za određivanje pitkosti vode 18
Tablica 2. Tablica kemijskih parametara za određivanje pitkosti vode 18
Tablica 3. Tablica indikatorskih parametara za određivanje pitkosti vode 20
Tablica 4. Tablica radioaktivnih tvari 21