

# Utjecaj bure na kvalitetu tla u okruđu laguna tvornice glinice Obrovac

---

**Dogan, Ivan**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2022**

*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://um.nsk.hr/um:nbn:hr:204:283787>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-06-30**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository Faculty of Agriculture University of Zagreb](#)



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
AGRONOMSKI FAKULTET**

**Utjecaj bure na kvalitetu tla u okružju laguna  
tvornice glinice Obrovac**

**DIPLOMSKI RAD**

Ivan Dogan

Zagreb, lipanj, 2022.

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
AGRONOMSKI FAKULTET**

Diplomski studij:  
Agroekologija

**Utjecaj bure na kvalitetu tla u okružju laguna  
tvornice glinice Obrovac**

DIPLOMSKI RAD

Ivan Dogan

Mentor: Prof. dr. sc. Ivica Kisić

Zagreb, lipanj, 2022.

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
AGRONOMSKI FAKULTET**

**IZJAVA STUDENTA  
O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI**

Ja, **Ivan Dogan**, JMBAG 0178102041, izjavljujem da sam samostalno izradila/izradio diplomski rad pod naslovom:

**Utjecaj bure na kvalitetu tla u okruženju laguna tvornice glinice Obrovac**

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 završnog 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*

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
AGRONOMSKI FAKULTET

IZVJEŠĆE  
O OCJENI I OBRANI DIPLOMSKOG RADA

Diplomski rad studenta **Ivana Dogana**, naslova

**Utjecaj bure na kvalitetu tla u okružju laguna tvornice glinice Obrovac**  
obranjen je i ocijenjen ocjenom \_\_\_\_\_, dana \_\_\_\_\_.

Povjerenstvo:potpisi:

1. Prof. dr. sc. Ivica Kisić mentor\_\_\_\_\_
2. Prof. dr. sc. Željka Zgorelec član\_\_\_\_\_
3. Izv. prof. dr. sc. Aleksandra Bensa član\_\_\_\_\_

## **Zahvala**

Zahvaljujem se mentoru prof. dr. sc. Ivici Kisiću na ukazanom povjerenju koji je kao i mnogo puta prije stao iza mene te odlučio prihvatiti ulogu mentora diplomskog rada. Veliko hvala ide mojoj dragoj obitelji koja me pratila kroz cijelo životno obrazovanje, također hvala dragim prijateljima koji su uvijek bili tu i onda kada ponekad nije sve išlo od ruke. Zahvala svim profesorima koji su učinili moj put odrastanja nezaboravnim iskustvom prožetim s pregršt znanja, terenskih nastava i prakse. Pružili ste mi ono najvažnije, a to je osobni razvitak kroz koji sam postao ne samo bolji student nego i bolja osoba. Uz njih sam usvojio vrline poput marljivosti, borbenosti i da nikada ne odustajem te da se uvijek pouzdam u vlastiti trud i rad jer svaki uloženi trud prije ili kasnije vrati se i to višestruko.

## Sadržaj

<b>1. Uvod</b> .....	<b>1</b>
<b>2. Tvornica Jadral i proizvodnja glinice</b> .....	<b>3</b>
2.1. Povijest tvornice Jadral .....	4
2.1.1. Neuspjela sanacija tvornice Jadral .....	6
2.2. Vjetar bura.....	10
2.3. Boksit .....	12
2.4. Crveni mulj.....	13
2.4.1. Crveni mulj tvornice Jadral .....	14
2.4.2. Opasnosti crvenog mulja i razmjeri Mađarske katastrofe 2010. godine .....	17
2.4.3. Mjere sanacije Ajke.....	20
<b>3. Materijali i metode rada</b> .....	<b>22</b>
3.1. Tipovi tala na obrovačkom području .....	23
3.2. Uzorkovanje tla za kemijsku analizu.....	24
3.3. Određivanje pH vrijednosti i elektrovodljivosti (EC).....	26
3.4. Određivanje teških metala u tlu.....	27
<b>4. Rezultati istraživanja</b> .....	<b>28</b>
4.1. Rezultati pH i EC vrijednosti uzoraka sjeverno od laguna .....	28
4.2. Rezultati pH i EC vrijednosti tla južno od laguna.....	29
4.3. Analiza rezultata pH vrijednosti i EC vrijednosti sjeverno i južno od laguna .....	31
4.4. Analiza rezultata teških metala u tlu sjeverno i južno od laguna .....	33
4.4.1. Arsen (As) .....	33
4.4.2. Krom (Cr).....	33
4.4.3. Bakar (Cu).....	34
4.4.4. Cink (Zn).....	34
4.4.5. Nikal (Ni) .....	35
4.4.6. Mangan (Mn).....	35
4.4.7. Olovo (Pb).....	36
4.5. Analiza rezultata teških metala u tlu sjeverno i južno od laguna .....	36
<b>5. Zaključak</b> .....	<b>39</b>
<b>LITERATURA</b> .....	<b>40</b>
<b>Životopis</b> .....	<b>42</b>

## Sažetak

### Utjecaj bure na kvalitetu tla u okruženju laguna tvornice glinice Obrovac

Na obrovačkom području u lagunama bivše tvornice Jadral preko 40 godina nalazi se otpadni crveni mulj. Snažna bura koja puše s Velebita rasprostire preostali crveni mulj iz laguna oko same tvornice te zagađuje okolna tla i rijeku Zrmanju. Na tlima koja se nalaze neposrednu uz lagune nastupilo je taloženje opasnog materijala. Kemijskom analizom utvrđen je stupanj onečišćenja i negativne posljedice nesaniranih laguna pritom uzevši u obzir pružanje smjera puhanja vjetra. Izračunati su sljedeći parametri: pH vrijednost; elektrovodljivost te koncentracija teških metala (As, Cr, Cu, Ni, Mn, Pb) te koeficijenti korelacije na 38 uzoraka uzetih s 24 lokacije. Izračunom koeficijenata korelacije utvrđena je povezanost između sjeverne i južne strane za teške metale As, Mn, Cr i Pb te korelacija između pH i EC vrijednosti. Dobiveni rezultati sjeverne strane slabijeg onečišćenja označavali su referente uzorke. U zaključku ovisno o stupnju onečišćenja predložene su mjere izgradnje prirodne ili mehaničke barijere kako bi se zaustavilo daljnje širenje onečišćenja putem vjetra te metoda fitoremedijacije kako bi se smanjila vrijednosti teških metala u tlu.

**Ključne riječi:** bura, crveni mulj, laguna, onečišćenje



## Summary

### Impact of Bora wind on soil quality in the lagoon environment of the factory alumina Obrovac

On the area of city Obrovac the lagoon of the former Jadral factory stands waste material for over 40 years after the factory closure. The wind bora blowing from Velebit spreads the remaining red mud from the lagoons to surrounding soils of factory and the Zrmanja River. On soils next to the lagoons, residue of hazardous red mud has still lagged and research aims to determine the negative consequences of red mud using chemical soil analysis taken directly around factory, while keeping on wind direction. The following parameters were determined: pH; electroconductivity and concentration heavy metals (As, Cr, Cu, Ni, Mn, Pb) on 38 samples taken from 24 locations. The calculation revealed the correlation between the north and south sides for heavy metals As, Mn, Cr and Pb and the correlation between pH and EC values. The obtained results of the northern side with less pollution indicated the sample referents. In conclusion, depending on the degree of contamination, proposes measures to build a natural or mechanical barrier to stop the further spread of wind pollution and phytoremediation methods to reduce the values of heavy metals in the soil.

**Keywords:** bora, red mud, lagoon, contamination

## 1. Uvod

Tvornica Jadral kao nedorečeni projekt bivše države nalazi se podno Velebita u Zadarskoj županiji kraj grada Obrovca svega dva kilometra udaljena od rijeke Zrmanje te 12 kilometara od samoga ušća rijeke Zrmanje u Novigradsko more. Područje oko TGO ima umjereno vruću, vlažnu klimu s vrućim ljetima i općenito jakim vjetrom (burom) (Fiket i sur., 2018). Sama tvornica je radila 3 godine, točnije u periodu od 1978-1981. godine u tadašnjoj bivšoj Jugoslaviji. Po prestanku proizvodnje u Tvornici glinice Obrovac (TGO) na odlagalištu je ostalo 750 000 m<sup>3</sup> crvenog mulja i 1 000 000 m<sup>3</sup> otpadne lužine. (Šeremet 2013.)

Mazut je pohranjen u dva spremnika, ali se na šahtovima cjevovoda mogu uočiti tragovi izlivanja u dužini od 150 metara te je upitno koliko je mazuta na ovaj način oteklo u rijeku Zrmanju (Samokovlija Dragičević, 2004).

Da je određena količina otekla potvrđuju česti medijski zapisi i apeli udruga da prilikom svake obilnije kiše na rijeci Zrmanji pluta mazut. Zadnje najveće onečišćenje se dogodilo 23.12.2019. (URL1). Zbog već spomenutog jakog vjetra (bure), čestice crvenog mulja i kapljice otpadne lužine vrlo se lako raspršuju vjetrom preko cijelog okolnog područja čime mijenjaju geokemiju sedimenta i rijeke (Fiket i sur., 2018), čime mogu izazvati zagađenje zaliha pitke vode. Dodatni rizik zagađenja pitke vode predstavljaju i moguće pukotine u bazenima čime može doći do procjeđivanja otpadnog materijala kroz porozno podzemlje karbonatnog terena čak do rijeke Zrmanje (Oreščanin i sur., 2001).

Područje vapi za sanacijom, neophodno je privremeno zaustaviti degradaciju tla oko same tvornice te izraditi kvalitetne analize uz monitoring onečišćenog područja. S obzirom na potencijalnu opasnost povećanog sadržaja teških metala koji se nalazi u crvenom mulju, područje zahtjeva brzu reakciju stručnjaka. Za sanaciju obaju bazena trebalo bi najmanje dvije godine. Onaj tko dođe u Obrovac i pogleda sve to dokle pogled seže, i u krugu Tvornice i oko bazena, nužno se pita – hoće li to biti na vrijeme i kakve su posljedice onoga što je kontinuirano nastajalo posljednjih 40 godina (Samokovlija Dragičević, 2004).

Cilj rada je utvrditi kemijske promjene u tlu uzrokovane suhom i mokrom aeroprecipitacijom onečišćenih čestica crvenoga mulja i aerosola iz laguna. Temeljem rezultata utvrdit će se smjer

puhanja vjetra. U samoj analizi usporedit će se dobiveni rezultati pH vrijednosti, elektrovodljivosti, koncentracije teških metala (As, Cr, Cu, Ni, Mn, Pb) te koeficijenti korelacije sjeverne i južne strane laguna. Nakon čega će se preporučiti mjere sanacije i ublažavanja onečišćenja uzrokovana utjecajem bure na onečišćenja u lagunama.

## 2. Tvornica Jadral i proizvodnja glinice

Kao što smo u ranijem dijelu naveli da se tvornica Jadral nalazi podno Velebita uz samu rijeku Zrmanju (Slika 1). S distance od 50-ak godina teško je reći zašto je odabrana takvo ekološki osjetljivo područje za gradnju opasne tvornice? Vraćajući se u pedesetak godina unazad područje od iznimne bioraznolikosti koje danas sve više i više privlači turiste, tada u bivšem sastavu SFRJ-a smatrano je područjem koje treba oživiti. Kako se radilo o vremenu komunizma tadašnje vlasti bile su okrenute industrijskoj proizvodnji, dok se za ekologiju nije marilo. Vjerojatno je odabir same lokacije tvornice vezan uz politiku te nestručnu analizu uzetu iz doba kada se za obradu glinice koristila zastarjela tehnologija također uzeta i za nerentabilan izračun ekonomskog plana.



Slika 1. Prikaz laguna i tvornice Jadral pomoću 3D dimenzije

Izvor: <https://earth.google.com>

Područje oko Obrovca tada je bilo poznato po boksitnoj rudi koje ustvari i nije bilo previše. Radi tadašnje politike odlučilo se oživiti područje koje se tada bavilo isključivo poljoprivrednom stočarskom djelatnošću. Uz samu tvornicu glinice izgrađena su i dva velika bazena jer se u proizvodnom procesu stvaranja glinice javlja crveni mulj kao tehnološki otpad.

Crvenu boju mulja daju u najvećem broju ioni željeza uz ostale primjese koje se nalaze u boksitu (Šeremet 2013).

Budući da se boksit u proizvodnji miješa sa lužinom, taj lužnati dio otpremao se u izgrađene bazene. Zbog sastava mulja, bazeni su prvotno napravljeni kao nepropusni, gdje je na dnu bazena napravljen betonski nepropusni sloj, no problem je u gornjem dijelu bazena koji je ostao

otvoren i nezaštićen jer tadašnja struka nije marila na jaku buru koja i dan danas raznosi sadržaj laguna prema Obrovcu i Zrmanji.

## 2.1. Povijest tvornice Jadral

Slobodna Dalmacija piše kako je godine 1970. uz vatromet i slavlje obilježen početak izgradnje Tvornice glinice Jadral, koja će u povijesti ostati upamćena kao jedan od najvećih promašaja privrede Socijalističke Republike Hrvatske u tadašnjoj Jugoslaviji. Iz tih vremena poznata je uzrečica u cijeloj bivšoj državi: *Propao kao Obrovac*. Tog srpnja 1970. sve je izgledalo optimistično. S tadašnjom Istočnom Njemačkom potpisan je ugovor koji se sastojao od prodaje aluminija koji se ubuduće trebao proizvoditi u budućoj tvornici glinice u Obrovcu i TLM-u u Šibeniku. Iz Istočne Njemačke je stigla i konkretna uplata od 30 milijuna američkih dolara unaprijed, a aluminij je trebao biti isporučen kad proradi tvornica u Obrovcu (URL2). Do zatvaranja tvornice Jadral došlo je radi niskih cijena glinice te visokih troškova proizvodnje (Tošić 2006).

Tvornica glinice u Obrovcu započela je s radom 1978., a zbog nerentabilnosti proizvodnje i nedostatka vlastitih sirovina prestala je s radom 1981. godine. Nakon prestanka rada tvornice nije se vodilo računa o sanaciji zaostalih količina sirovine i otpada unutar i izvan tvorničkog kruga (Samokovlija Dragičević 2004). Već su kao i čitavi prostor bivše tvornice služili za lokalnu zajednicu (postoje dokazi i za šire područje) kao bespravno odlagalište najraznovrsnijih vrsta otpada. (URL2)

Iako je Jadral još od 60-tih godina započeo sa skromnom proizvodnjom boksita čijom se preradom dobivao aluminij, tek se izgradnjom tvornice eksploatacija tražene rudače mogla razviti u isplativ biznis. Na koncu se ispostavilo da se radi o promašenoj investiciji što zbog pogrešnih procjena o količini rude koju je skrivao obrovački krški kraj, a još više čini se zbog financiranja i rada obrovačke tvornice za koju je prije konačnog zatvaranja procijenjeno da manje troškove stvara ako ne proizvodi, nego da radi. Zbog toga što je koncipiran 20 godina prije izgradnje, a parametri su se u međuvremenu višestruko promijenili. Kad se sve uzme i oduzme, gašenjem Tvornice glinice Jadral zapečaćena je vizija industrijskog razvoja obrovačkog kraja. (URL3)

Prema Slobodnoj Dalmaciji iz 2004. godine u jednome bazenu, utjecajem vremena, sunca, kiše, vjetra i lužnate vode, pojavila se prilično velika rupa u asfaltu kojim je unutrašnjost bazena

prekrivena pa je prijetila opasnost izlivanja većih količina lužine i crvenog mulja s ostacima teških metala i drugih organskih onečišćenja u okoliš. Osim što lagune predstavljaju tempiranu bombu, na područje bivše tvornice Jadral problem su i ostaci neiskorišteni materijali koji su desetljećima zagađivali okoliš.

Najveći preostali zagađivači su ostaci bijeloga praha natrijeve lužine i mazut koji je dospio u tlo ispod tvornice, odakle se izljevao u Zrmanju pri jačoj kiši (Kutle i sur., 2003). Slobodna Dalmacija piše kako se zbog dvjestotinjak kilograma bakra uništio čitav upotrebljiv elektrotransformator vrijedan neusporedivo više od izvađenog bakra. Sva su stakla na zgradama TGO razlupana njih više od 1000, sve što je imalo ikakvu vrijednost više nema, čak su i željezne oplata skidane s rezervoara lužine iako je time načinjena ekološka šteta, a oboreni su i izvaljeni i veliki "silosi" na tlo (Slika 2).



Slika 2. Srušeni silosi na području tvornice Jadral

Izvor: <https://zadarski.slobodnadalmacija.hr/zadar/4-kantuna/542486>

Kao simbol nekadašnjega promašaja socijalističke gospodarske politike, Jadral je mnoge asociirao na bivšu državu, pa je rušeći postrojenja mislio da ruši bivši sistem, a uništavao je u stvari hrvatsku imovinu koja se puno kvalitetnije i bolje još mogla iskoristiti (URL4). Rušenjem dimnjaka visine 73 metara srušen je zadnji simbol neuspješnog projekta (Slika 3).



Slika 3. Rušenje dimnjaka posljednjeg simbola tvornice Jadral

Izvor: <http://www.057info.hr/vijesti/2008-05-15/srusen-dimnjak>

### **2.1.1. Neuspjela sanacija tvornice Jadral**

Prema procjeni tvrtke Teb Ekon d.o.o iz Zagreba, u travnju 2003. godine izrađen je elaborat o stanju imovine Jadrala. Od cjelokupne početne opreme, nakon brojnih krađa i uništavanja, ostalo je samo 18 % toga - natrijeva lužina, onečišćeni aluminijev hidrat, mazut, neki strojni dijelovi, limovi, strojno ulje i drugo (Samokovlija Dragičević, 2004).

Zbog potencijalne opasnosti zaostalog otpada tvornice Jadral za okoliš i ljude i sve češćih protesta i zahtjeva stanovništva Obrovca, Ministarstvo zaštite okoliša, prostornog uređenja i graditeljstva 2004. godine objavilo je plan da se što prije sruše i uklone ostaci tvornice Jadral kao i ostalih osam crnih točaka u okolišu na prostoru RH (tvornica ferolegura u Dugom Ratu, tvornica azbestnih betonskih proizvoda Salonit u Solinu, dimnjaci i teren oko koksare u Bakru i u TEF-u u Šibeniku, jama Sovljak kraj Rijeke, odlagalište šljake u Kaštelanskom zaljevu, odlagalište fosfogipsa u Kutini, zauljeni muljevi u Botovu). Znalo se da će ovaj posao biti skup i da će se obrovačka sanacija sastojati od dva dijela: prvo je rušenje preostalih objekata u krugu tvornice, a drugo je sanacija dva bazena s otpadnom lužinom i crvenim muljem (Samokovlija Dragičević, 2004).

Gradsko je poglavarstvo grada Obrovca s tvrtkom Perko iz Varaždina dogovorilo posao rušenja i razgradnje tvornice Jadral u vrijednosti od 250 000 kuna (Samokovlija Dragičević, 2004). Ovaj su iznos podijelili Obrovac i Jasenice te su zajedno razmatrali što bi moglo zamijeniti Jadral – ideje su bile plinska elektrana, vjetroelektrana ili gospodarska zona (Samokovlija Dragičević, 2004).

U Ministarstvu zaštite okoliša pronađena je kompletna dokumentacija o sanaciji lužnatih bazena koja je obuhvaćala tri izrađene studije. Dopis s tim materijalima ministrici Marini Matulović Dropulić uputio je tadašnji župan Zadarske županije Ivo Grbić koji je predložio i sastanak sa ministricom u Zadru. Direktor Fonda za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost Vinko Mladineo odmah je najavio početak hitne sanacije obrovačkih bazena. U bazenima se nalazilo 1,3 milijuna tona crvenoga mulja, te 630 tisuća m<sup>3</sup> lužnate vode (pH od 10 do 11). Ta je voda opasna za život ljudi, jer kada bi dno bazena puklo, ona bi procurila u okoliš i dospjela u Zrmanju te izazvala ekološku katastrofu, nepojmljivih razmjera. Stoga je Ministarstvo zaštite okoliša, prostornog uređenja i graditeljstva raspisalo natječaj na kojemu će se izabrati najkvalitetniji tehnološki postupak sanacije bazena izjavio je tada direktor Fonda Vinko Mladineo (Bezic D. 2019).

Nakon provedenog natječaja Fonda za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost za izvođenje sanacije bazena crvenog mulja i otpadne lužine kao najpovoljnija izabrana je ponuda tvrtke Sirovina odlagalište d.o.o. u iznosu od 80,6 milijuna kuna. Nažalost i projekt sanacije lužnatih bazena, zbog poznatih malverzacija otkrivenih u Fondu, propao je baš kao i Tvornica glinice Jadral i nikada nije dovršen. Propadali su i brojni pokušaji revitalizacije tog prostora: izgradnje tvornice žbuke, plinske elektrane, tvornice biodizela, gospodarske zone, tvornice brodova Elan, korištenja rudarskih kopova boksita, spalionice otpada i skladišta za zbrinjavanje otpada. Samo se bura i dalje "gosti" ostacima nekadašnje tvornice (Bezic D. 2019).

Prema izvješćima nadzornih inženjera koje je objavila Slobodna Dalmacija lužina i mulj nisu izišli iz bazena nego se vrši prepumpavanje iz velikog bazena u mali. Navedeno je potrebno izvršiti zbog više sile tj. izrazito velike količine oborina koje su u zadnjih mjesec dana dosegle količinu u bazenima od 265 mm/m<sup>2</sup> što je bitno veće od svih do sada izmjerenih padavina na tom području u zadnje tri godine, stoji u odgovoru iz Fonda za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost (URL3). Sanacija je trajala do 2011. godine kada je zaustavljena, jer su otkrivene malverzacije u Fondu i Sirovini odlagalištu d.o.o. te ovaj projekt, po jedinim pronađenim



podacima, do danas još nije dovršen. Na kraju se ukupni trošak popeo na vrtoglavih 240 milijuna kuna (Bezick D. 2019). U malom je bazenu ostalo oko 35 000 m<sup>3</sup> crvenog mulja koji je prekriven slojem nepropusne gline i kamenjem debljine 2 metra, a u velikom je bazenu crveni mulj ostao prekriven kamenjem. Otpadna se lužina uklanjala postupkom isparavanja te je na kraju ostalo oko 300 000 m<sup>3</sup>.(URL3)

Isto tako u obzir nije ni uzeto već prikazano jeftino i efikasno rješenje u kojem se i crveni mulj i otpadna lužina zajedno mogu sanirati u obliku želatinoznog koagulanta koji dalje ima ulogu pročišćivača otpadnih voda u drugim industrijama (Oreščanin i sur. 2017). Tvrtka Sirovina odlagalište d.o.o. sanaciju otpadnih bazena provela je na više načina tijekom pet godina od kojih je prvi korak bio zaštitni zid oko bazena kako bura više ne bi raznosila lužinu i čestice crvenog mulja, a dodatno je zaštićen i 100 metara širok kameni nasip. Potom su crveni mulj u velikom bazenu podijelili na pola, sve okružili i prekrili navozom kamena, za što je utrošeno oko 1 000 000 m<sup>3</sup> kamena i građevinskog otpada dovezenog sa šireg zadarskog područja. (URL5)

Iako je sanacija propala, ipak je donijela neke koristi. Srušena je većina zgrada kompleksa Jadral, smanjila se količina crvene prašine u okolišu, raslinje u okolnom kamenjaru ponovno se zazelenilo i pH vrijednost lužine je znatno smanjena (URL5). No, taj otpad i dalje tamo stoji te prostorom vlada pustoš kao da je vrijeme u potpunosti stalo (Slika 4).



Slika 4. Prikaz tvorničkog kruga na području bivše tvornice Jadral

Izvor: <http://www.sirovina.com/referentna-lista/>



Slika 5. Prikaz vjetroparka Jasenice

Izvor: <https://www.tportal.hr/biznis/clanak/okrecu-li-se-na-vjetroelektranama-laki-milijuni-foto-20200604>

Danas se u neposrednoj blizini otpadnih bazena nalazi nedavno izgrađen vjetropark Jasenice 1 te je ovaj prostor ponovno dobio na važnosti (Slika 5). Zadarsko zaleđe bogatije je za još jedan vjetropark te su vjetrenjače smještene podno Velebita. Taj dio Hrvatske idealan je za izgradnju vjetroelektrana, a investitori iz Austrije i Slovenije u njega su uložili 15 milijuna eura. Investitori tvrde da je planirana godišnja proizvodnja u vjetroparku 22 GW. Kako bi ljudi dobili predodžbu što bi to trebalo značiti, navodi se kako vjetrenjače mogu isporučiti električne energije za 6.000 kućanstava. (URL 6)

Ekološki aktivisti smatraju da sanacija nije odrađena dobro te da u bazenima postoji velika opasnost za ekološku katastrofu. Stanovnici i aktivisti sve više govore o izlivanju mazuta u Zrmanju (Slika 6), što osim problema s lagunama predstavlja dodatni problem. Zadnje veće izlivanje mazuta bilo je 23. prosinca 2019. godine gdje je prema procjenama stručnjaka iscurilo oko stotinjak litara mazuta. (URL7)



Slika 6. Mazut iz tvornice Jadral pluta na površini rijeke Zrmanje koju koriste okolna kućanstva

Izvor: <https://ezadar.net.hr/dogadaji/3624081/izlijevanje-mazuta-u-zrmanju-potencijalno-je-najveca-ekoloska-katastrofa-na-ovim-prostorima/>

U periodu od zatvaranja tvornice do danas procjenjuje da se oko pet tisuća litara polikloriranih bifenila izlilo se u samu rijeku Zrmanju. S obzirom da se pohranjuje u masna tkiva to je nešto što je dugoročno ušlo u floru i faunu ovoga područja. Stanovnici ovog kraja izloženi su povećanom obolijevanju od malignih bolesti jer se radi o izuzetno kancerogenim spojevima. Ovo je u ovom trenutku najveća ugroza i najveća potencijalna ekološka katastrofa u ovom dijelu Europe smatraju neki lokalni aktivisti! Izlijevanje lužine i crvenog mulja s iste lokacije uništio bi sav živi svijet sve do Karlobaga. Obrovački kraj, pa i šire, preživljava od turizma. Ovo onečišćenje i opasnosti koje još krije upitno sanirano postrojenje nekadašnje tvornice to ugrožavaju. (URL7)

## 2.2. Vjetar bura

Prema definiciji leksikografskog zavoda Miroslava Krležje riječ bura dolazi od grč. *βορέας* što doslovno prevedeno znači sjevernjak, odnosno jak, suh i hladan, mahovit (naglo mijenja smjer i brzinu) i turbulentan vjetar s kopna, koji pretežno u hladno doba godine puše duž istočne obale Jadranskoga mora. (URL8)

U unutrašnjosti za vrijeme trajanje bure pušu umjereni sjeverni i sjeveroistočni vjetrovi s kopna koji se ubrzavaju prelazeći preko planinskih lanaca, osobito na sniženim gorskim prijevojima. Na takvim mjestima se bura pojavljuje kao padajući, slapovit vjetar, tj. ima izrazitu, prema dolje usmjerenu komponentu gibanja (Slika 7).



Slika 7. Prikaz utjecaja bure koja stvara visoke valove

Izvor: <https://www.crometeo.hr/za-vikend-prava-marcana-bura-s-udarima-pre100-kmh/>

Najpoznatija je velebitska bura, kako je Velebit naša najduža planina valja istaknuti da reljef pogoduje stvaranju bure. Na strmim predjelima bura može ubrzati i do 200 km/h te čak dostići orkansku snagu. Poznato je da senjska bura zimi može zalediti i more tako da su u zimskim mjesecima prisutne nevjerojatne ledene skulpture (Slika 8). Važno je istaknuti da bura svoju snagu pokazuje na mahove što često zna stvoriti opasne uvjete za brodice koje se u tom trenutku nađu na moru (Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2021).



Slika 8. Zaledena Senjska riva

Izvor: <http://indirektno.com/zaledena-senjska-riva-bura-i-snijeg-u-senju-stvorili-nestvarne-prizore-ljepote/>

### 2.3. Boksit

Boksit (franc. *bauxite*, prema nalazištu *Les Baux-de-Provence*), glavna ruda za dobivanje aluminijske, crvenosmeđi mineralni agregat (Slika 9). Osnovni su minerali gipsit –  $(OH)_3$ , bemit –  $AlO(OH)$  i dijaspor –  $HAIO_2$ , a ima i hematita, getita, kaolinita, anatasa i rutila. Osim aluminijske (više od 90 %), boksit služi i u proizvodnji abraziva, cementa, kemijskih i vatrostalnih proizvoda. (URL9)



Slika 9. Prikaz boksitne rude crvenkaste boje

Izvor: <http://www.koval.hr/blogeky/kristali/bar/boksit.html>

Razlikuju se lateritni i krški boksiti. Lateritni su vezani uz alumosilikatne stijene, od kojih su nastali površinskim trošenjem u uvjetima tople i vlažne klime i pretežno se nalaze u tropima. Krški boksiti nastali su trošenjem površinskog pokrivača crvenice (tal. *terra rossa*) koja je prekrivala karbonatne stijene. U tropskoj i suptropskoj klimi iz crvenice se izlučivao silicij, a iz minerala glina nastali su aluminijski hidroksidi, odnosno boksit, koji je čest u Sredozemlju i na Karibima. U Hrvatskoj je boksit otkopavan u dolini Mirne za proizvodnju sumporne kiseline i *Obični alaun* (stipsa, kalijev aluminijski sulfat),  $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$  već od početka XVI. Stoljeća, a kao aluminijska ruda od 1914. Ležišta se pretežno nalaze u priobalnom području, od Istre do Imotskog, i različite su starosti (od gornjotrijaske do neogenske)(URL9 i URL 10).

Ležišta kvalitetnog boksita u Hrvatskoj većinom su iscrpljena. U Lici se još nalaze količina boksita, koji zbog većeg udjela kaolinita nisu prikladni za dobivanje aluminijske. Donjopaleogeni boksiti pretežno se nalaze u Istri, gdje je do danas otkopano 11,5 milijuna tona. To su mala ležišta nastala zapunjavanjem vrtača. Ležišta takve starosti nalaze se na

otocima sjevernoga Jadrana i u Dalmaciji. Ležišta gornjopaleogenskih boksita ima oko Obrovca, Drniša, Sinja i Imotskog, gdje je dosad otkopano 16 milijuna tona (Cvetko Tešović, 2019).

## **2.4. Crveni mulj**

Crveni mulj nastaje kao nusprodukt prilikom obrade aluminijske rude boksita. Rude boksita po svom sastavu sadrže visoki udio aluminijskog (III) oksida ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) preko 50 % te mali udio silicijevog (IV) oksida ( $\text{SiO}_2$ ) oko 3-10 %. Veći udio od navedenog uzrokovao bi značajan gubitak aluminijske i natrijske lužine prilikom postupka izdvajanja (Slika 10).

Dakako, crveni mulj osim glavnih komponenata (hidroksida-željeza, aluminijske i titana) sadrži koncentracije drugih teških metala, od kojih su neke i do dvadeset puta veće od prosječnoga sastava okolnog tla. Otpadna lužina osim visoke pH vrijednosti (pH vrijednost iznad 10) i visokog stupnja alkalnosti sadrži i visoke koncentracije elemenata arsena (As), vanadijske (V), kroma (Cr), bakra (Cu), kobalta (Co) i selena (Se) koje i do 30 puta mogu biti veće od dopuštene razine primjerice arsena (As) (Samokovlija Dragičević, 2004).

Takve otpadne vode ne smiju se ispuštati u prirodne vodotoke, a posebice u krški krajolik čiji ekosustav podzemnih voda je itekako osjetljiv. Shodno tome i odabir mjera na takvom području je sužen. Uz navedeno, potencijalna opasnost prijeto i u samim bazenima. Naime, radi se o vrlo starim bazenima u kojima se nalazi crveni mulj, scenarij pucanja samih laguna i izlivanje natrijske lužine i crvenog mulja u podzemni krški reljef bio bi katastrofalni ekocid.



Slika 10. Prikaz crvenog mulja tvornice Jadral kod Obrovca

Izvor: <https://zadardanas.hr/2013/01/traze-se-dodatni-detajli-o-sanaciji-bazena-crvenog-mulja/>

#### **2.4.1. Crveni mulj tvornice Jadral**

U ranijem dijelu spomenuta su dva bazena, odnosno lagune u kojima se nalazi crveni mulj. Veća laguna je volumena  $1,58 \times 10^6 \text{ m}^3$  te se procjenjuje da se u njoj nalazi oko  $1,05 \times 10^6 \text{ m}^3$  crvenog mulja od te količine  $0,35 \times 10^6 \text{ m}^3$  predstavlja osušeni crveni mulj, dok se za manju lagunu procjenjuje kako se u njoj nalazi otpadna lužine volumena  $0,75 \times 10^6 \text{ m}^3$  (Oreščanin i sur., 2001).

Crveni mulj ima visoku pH vrijednost oko 9-10 zbog Na/K(CO<sub>3</sub>) i hidrogenkarbonata(HCO<sub>3</sub>). Reakcijom Na/K hidroksida s (CO<sub>2</sub>) iz zraka nastaju Na/K(CO<sub>3</sub>) i hidrogenkarbonati (HCO<sub>3</sub>). Temeljem analize crvenog mulja tvornice Jadrara može se uočiti visoki udio željeza i aluminija koji ukazuje na dobra adsorpcijska te koagulacijska svojstva (Oreščanin i sur., 2017). Sastav crvenog mulja prikazan je u tablici 1.

Tablica 1. Prikaz zastupljenosti pojedinih elemenata i njihove koncentracije

Element	Jedinica	Koncentracija
<b>Natrij (Na)</b>	(%)	2,41
<b>Magnezij (Mg)</b>	(%)	2,11
<b>Aluminij (Al)</b>	(%)	9,13
<b>Silicij (Si)</b>	(%)	10,14
<b>Kalij (K)</b>	(%)	0,61
<b>Kalcij (Ca)</b>	(%)	12,04
<b>Titanij (Ti)</b>	(%)	3,71
<b>Vanadij (V)</b>	(mg/kg)	215
<b>Krom (Cr)</b>	(mg/kg)	279
<b>Mangan (Mn)</b>	(mg/kg)	4240
<b>Željezo (Fe)</b>	(%)	21,07
<b>Nikal (Ni)</b>	(mg/kg)	13
<b>Bakar (Cu)</b>	(mg/kg)	18
<b>Cink (Zn)</b>	(mg/kg)	65
<b>Arsen (As)</b>	(mg/kg)	50
<b>Rubidij (Rb)</b>	(mg/kg)	4
<b>Stroncij (Sr)</b>	(mg/kg)	71
<b>Itrij (Y)</b>	(mg/kg)	187
<b>Cirkonij (Zr)</b>	(mg/kg)	1770
<b>Olovo (Pb)</b>	(mg/kg)	21

Izvor: Oreščanin i sur., 2017.

Godine 2002. provedeno je istraživanje kojim se dokazalo da se crveni mulj može uspješno koristiti za uklanjanje teških metala, radionuklida, organskih i anorganskih tvari iz vodenih otopina. Nadalje, ukoliko se crveni mulj tretira s razrijeđenom sumpornom kiselinom, on postaje aktivan crveni mulj i kao takav može se neutralizirati s vlastitom otpadnom lužinom i iz nje apsorbirati teške metale (Oreščanin i sur., 2002).

Nakon uklanjanja lužine na prethodno opisan način, preostali crveni mulj postaje želatinozan i kao takav može biti korišten za apsorpciju teških metala iz otpadnih voda primjerice vode koja



se koristi za pranje brodova na brodogradilištu. Sastav otpadnih voda s brodogradilišta sadrži visok udio željeznih, aluminijskih i manganovih oksida, ali i minerala glina, karbonata i silicijevog dioksida koji dozvoljavaju fizičku sorpciju metala zbog vlastitih posebnih svojstava i nabijenosti molekula. Nakon tretmana crvenim muljem, otpadne vode više nisu opasne za okoliš i mogu biti direktno ispuštene u okoliš (Oreščanin i sur., 2002).

Na prikazan način potpuno bi se sanirala otpadna lužina i crveni mulj bez ikakvih dodatnih troškova te bi otpad iz jedne industrije bio uspješno iskorišten za sanaciju otpada iz drugih industrija (Samokovlija Dragičević, 2004).

Crveni mulj, zahvaljujući svom polimineralnom sastavu, može ukloniti elemente u kationskom (Cu, Zn, Pb, Ni) i anionskom (V (V), Cr (VI), Se (IV), As (III), As (V)) stanju u jednom koraku uz malu varijaciju pH vrijednosti (Oreščanin i sur., 2001). Za usporedbu, u tu svrhu često korištene aluminijske soli željeza uzrokuju značajan pad pH vrijednosti zbog hidrolize  $Fe^{3+}$  i  $Al^{3+}$  iona i zbog toga uspješan proces uklanjanja teških metala ne može biti izveden bez dodatka lužina i pufera što kao posljedicu ima otpadni mulj čiji je volumen 20 puta veći nego onaj prilikom korištenja crvenog mulja (Oreščanin i sur., 2001). Dakle, crveni mulj ima ulogu jeftinog apsorbera koji neiskorišten godinama stoji u bazenima i time nadmašuje skupe komercijalne apsorbera koji se prethodno moraju proizvesti i za čije su uspješno djelovanje potrebne brojne pomoćne tvari.

Sanacija crvenog mulja podrazumijeva uklanjanje teških metala koje organizmi mogu unijeti u organizam, dok se otpadna lužina sanira neutralizacijom s klorovodičnom kiselinom do  $pH = 8$  i potom se također uklanjaju teški metali postupkom koagulacije/flokulacije no, za to su potrebne velike količine kiseline, koagulant i ostalih pomoćnih tvari što je dosta skupo (Oreščanin i sur., 2001).

Tako bi za sanaciju otpada iz tvornice Jadral u Obrovcu o kojoj će biti riječi, troškovi za dva bazena iznosili oko 450 milijuna kuna, a rezultat takve sanacije bilo bi 30 000 tona otpadnog mulja koji bi zbog velikog udjela teških metala bio klasificiran kao tehnološki opasan otpad, a koji uvjetuje poseban postupak, čime se konačni trošak znatno povećava (Samokovlija Dragičević, 2004).

Suradnica Instituta Ruđer Bošković, dr. sc. Višnja Oreščanin, godinama je istraživala crveni mulj i njegovu moguću primjenu i došla do zaključka da crveni mulj i otpadna lužina zajedno mogu poslužiti kao sirovina za proizvodnju želatinoznog koagulanta. On se dalje može upotrebljavati kao sredstvo za pročišćavanje otpadnih voda iz raznih industrija i prostora za pranje brodova, postupkom koagulacije/flokulacije (Oreščanin i sur., 2002).

Ova odlična ideja iskorištavanja otpada poput crvenog mulja potaknula je neke ljude u Australiji da naprave industrijski uređaj za pročišćavanje otpadnih voda koji kao koagulant upotrebljava aktivirani crveni mulj (Samokovlija Dragičević, 2004).

#### **2.4.2. Opasnosti crvenog mulja i razmjeri Mađarske katastrofe 2010. godine**

Ekološka tragedija velikih razmjera dogodila se 4.10.2010. godine u malenom gradiću Ajka u Mađarskoj 160 km jugo-zapadno od Budimpešte. Uslijed ljudske greške i ne brige o samim lagunama došlo je do pucanja jednog od zidova laguna i iscurilo je u okoliš oko milijun m<sup>3</sup> crvenog mulja (Slika 11).

Akumulacija s crvenim muljem bila je 40 metara viša od okolnog područja, tako da je val crvenog mulja bio visok još dva metra kada je stigao do kuća u okolnom gradu Devecseru, pet kilometara od akumulacije. Katastrofa je bila neizbježna. Najbliže selo, Kolontár, potopljeno je bez ikakvog upozorenja. Većina smrtnih slučajeva dogodila se kada je žrtve svladao val blata viši od njih samih. Gradonačelnik susjednog sela Devecser dobio je telefonski poziv o tome što se događa s muljem, ali voda potoka Torna već je bila crvena i vodostaj je iz sekunde u sekundu rastao. Ovdje je poplava blata poplavila više od 200 kuća, a gotovo 800 ljudi napustilo je svoje domove. U katastrofi osam ljudi je smrtno stradalo i oko 200 ozlijeđenih. Lužnatost crvenog mulja uzrokovala je ozljede slične opeklinama (Burai i sur., 2011).



Slika 11. Razmjeri štete nakon pucanja zida lagune (Mađarska, Ajka 2010.godina)

Izvor: <https://cz.boell.org/en/2014/03/24/red-mud-catastrophe-hungary-energy-and-climate>

Ovako velika količina mulja posebnog viskoziteta, visoke lužnatosti ( $\text{pH} > 12$ ), kompliciranog toka i brzog širenja (Slika 12), dovela je do ekološke katastrofe te je bila nužna brza reakcija znanstvenika i stručnjaka kako bi se procijenila šteta i započela što prije sanacija (Burai i sur., 2011).



Slika 12. Prikaz područja zahvaćenog izlivanjem crvenog mulja na prostoru grada Ajka, Mađarska

Izvor: 5078972863\_2bd71ef38a\_b.jpg (staticflickr.com)

U crvenom mulju zabilježene su povišene koncentracije elemenata u tragovima (As, Cr, V), ali su oni slabo topljivi i zbog svoje su visoke sorpcije uglavnom vezani u sedimentu za titanijeve/manganove/željezne (Ti/Mn/Fe) okside i hidrokside, čime imaju ograničenu toksičnost, potencijalnu pokretljivost u okolišu i nisu biodostupni (Mayes i sur., 2011, Obhodaš i sur., 2012). Zbog ovakvog je načina vezanja teških metala, crveni mulj ponekad korišten u zagađenim tlima u svijetu kako bi se smanjio unos teških metala u biljke (Obhodaš i sur., 2012.)

Najveća je posljedica visoke pH vrijednosti teške kemijske opeklina ljudi i životinja, kao i pomor živih bića u zagađenom tlu i rijekama. No, pozitivno je da se vremenom pojavilo razrjeđivanje i pojačane karbonizacije natrijeve lužine s ugljikom iz zraka, čime se smanjila pH vrijednost crvenog mulja prisutnog u okolišu (URL11).

Spektroskopskim je snimanjem ustanovljeno da crveni mulj apsorbira u plavom i zelenom spektru (480-570 nm), a najveća je refleksija u crvenom spektru (650-720 nm). Zahvaljujući tome, bilo je moguće izračunati indeks sloja crvenog mulja (RMLI) pomoću hiperspektralnih vrpca (549 nm, 682 nm) i poznatog spektra korištenjem jednadžbe (1).

Indeks sloja zapravo označava dubinu sloja koja je u ovom slučaju bila 0-20 cm (Burai i sur., 2011), te je poznata dubina oteklog crvenog mulja vrlo važna za proces sanacije.

$$RMLI = (RED682nm - GREEN549nm) / (RED682nm + GREEN549nm) \quad (1)$$

Problem je ovih daljinskih istraživanja da je na pojedinim mjestima pojavljuje lažno pozitivan rezultat, jer kratkotrajna vegetacija ometa signal snimanja. Problem je riješen korištenjem slika čime su se mogla razlikovati područja potopljena crvenim muljem i ona koja to nisu. Ovaj je postupak znatno olakšao potrebnu neutralizaciju i čišćenje (Burai i sur., 2011).

Na primjeru Ajke vidi se kolika je opasnost crvenog mulja te razmjeri tragedije su lekcija da se ona nikada više ne ponovi. Scenarij ekocida bio bi još i gori u slučaju obrovačkog područja jer osim ljudskih žrtvi razmjeri ekološke katastrofe bile bi i veći jer osim onečišćenja izvora pitke vode nastupilo bi onečišćenja mora, a troškovi za sanaciju zahtijevali bi vrlo skupe mjere te je pitanje da li bi iste bile dovoljno budući da se radi o krškom reljefu gdje bi zarobljeni crveni mulj učinio područje nepristupačnim za život te ubrzao trenutni proces depopulacije

obrovačkog područja i zadarskog zaleđa koje živi od turizma. Nadležne vlasti trebaju pristupiti sa pravovaljanim i pravovremenim mjerama sanacije jer sat bivše tvornice i laguna i dalje otkucava.

### **2.4.3. Mjere sanacije Ajke**

Prije nego što se dotaknemo mjera sanacija, važno se dotaknuti teških metala. Teški metali definirani su kao metali sa specifičnom težinom većom od  $5 \text{ g/cm}^3$ , koji izazivaju ozbiljne toksikološke simptome i u manjim koncentracijama (Baykov i sur, 1996). Teški metali su još uvijek jedan od najvažnijih problema u okolišu (Nordberg i sur., 2007).

U znanstvenom radu ocijenjen je utjecaj toksičnih elemenata na okoliš u crvenom mulju iz Kidričeva (Slovenija) i Ajke primjenom postupka sekvencijalne ekstrakcije i analize specijacije. Prevladavajuća frakcija crvenog blata bila je netopljivi ostatak; ipak, zabrinutost za okoliš bila je usmjerena na vrlo pokretan dio aluminija (Al) i kroma (Cr). Aluminij u frakciji mulja topivoj u vodi iz mađarskog grada Ajka bila je prisutna isključivo u obliku toksičnog  $[\text{Al}(\text{OH})(4)](-)$ , dok je krom postojao u svom toksičnom šesterovalentnom obliku. Usporedna procjena crvenog blata iz Kidričeva (Slovenija) s nižom alkalnošću (pH 9) s onom iz Ajke pokazala je znatno nižu topljivost Al-a i prisutnost samo u tragovima (Milačić i sur. 2012).

Budući da su tijekom nesreće u Ajki u kopneni i vodeni okoliš ispuštene ogromne količine biološki dostupnih koncentracija iona Al i Cr(VI), ključno je praćenje Al i Cr(VI) tijekom korektivnih radnji na kontaminiranom mjestu. Posebnu pozornost treba posvetiti smanjenju rizika od ispuštanja topljivih Al spojeva i Cr(VI) u vodoopskrbu i površinske vode (Milačić i sur. 2012). S obzirom na volumen oteklog crvenog mulja koji je stigao do rijeka, veličinu čestica crvenog mulja koja je  $<10\mu\text{m}$  i relativno malenog gradijenta rijeka (0,93 m/km) može postupno doći do razrjeđenja i raspršenja preostalog zagađivača u sedimentu (Mayes i sur., 2011).

Tek 11-ti dan nakon nesreće, Ministarstvo zaštite okoliša Republike Mađarske naredilo je prestanak rada tvornice Ajka i obnovu zaštitnog zida, no predsjednik je MAL-a izjavio da će tvornica dalje raditi nakon par dana stanke. Prvotna procjena bila je da će popravak trajati godinu dana i koštati desetke milijuna dolara. Dana 11. listopada 2010. direktor MAL-a i 14 drugih zaposlenika uhićeni su, ali ubrzo pušteni, osumnjičeni su zbog kršenja zakona o

zbrinjavanju i onečišćenju okoliša. Obje su optužnice iz siječnja 2016, suđenje još uvijek traje. Nova brana izgrađena je 12. listopada 2010., čime je zadržan preostali volumen crvenog mulja. (URL12). Stanje područja može se vidjeti u različito vrijeme sa satelitskim snimcima (Slika 13). Na slikama se može vidjeti da je bazen crvenog mulja zatvoren i zarastao u korov, ali se utjecaj katastrofe na okoliš i dalje može vidjeti u obliku golog i crvenkastog terena čak 11 godina kasnije.



Slika 13. Gore lijevo stanje prije katastrofe (26.4.2004.), gore desno stanje 6 dana nakon katastrofe (9.10.2010.), sredina satelitski prikaz stanja (10.6.2021.)

Izvor: Google Earth

Prije katastrofe vidljivo je kako su sve površine obrađene te kako se zelena boja s obradivih površina dan danas nakon 11 godina od katastrofe nije vratila. Područja oko same lagune su sivkasto crne boje što ukazuje na činjenicu da je došlo do nepovratne degradacije samog tla. Sadržaj mađarskih otpadnih spremnika, tj. bazena, istovjetan je onome iz tvornice Jadral kraj Obrovca u Hrvatskoj.

### 3. Materijali i metode rada

U okolini grada Obrovca oko same tvornice Jadral na pravilnim udaljenostima od laguna u polukrugovima u smjeru udara bure provela su se uzorkovanja tla u veljači 2020 godine. Sjeverno od laguna odabrane su lokacije koje predstavljaju referenti uzorak radi utjecaja bure koji puše u smjeru sjever-sjeveroistok. U istraživanjima se uzorkovalo 38 uzoraka tla u porušenom stanju iz površinskog sloja tla do dubine od maksimalno 10 centimetara. Uzorci su uzeti sa 26 lokaliteta oko područja laguna (Slika 14).

Toga dana dnevna minimalna temperatura iznosila je 14 °C, dok je ona maksimalna iznosila do 25 °C, vjetar je puhao brzinom oko 11 km/h. U istraživanja je bilo uključeno određivanje sljedećih parametara:

- pH vrijednost tla (KCl) prema normi HRN ISO 10390:2005
- elektrovodljivost tla prema normi HRN ISO 11265:1994
- sadržaj teških metala (As, Cr, Cu, Zn, Ni, Mn, Pb) prema analiziranim lokacijama atomskom apsorpcijskom spektrometrijom (AAS)



Slika 14. Satelitski prikaz lokaliteta istraživanja s kojih su uzeti uzorci tla

Izvor: <https://earth.google.com/web/>

ISO 10390:2004 instrumentalnu metodu koristi se za rutinsko određivanje pH vrijednosti pomoću staklene elektrode u suspenziji tla u vodi u omjeru 1:5 (volumna frakcija) (pH u H<sub>2</sub>O), u otopini 1 mol/l kalijevog klorida (pH u KCl) ili u 0,01 mol/l otopini kalcijevog klorida (pH u CaCl<sub>2</sub>).

ISO 11265:1994 Određuje instrumentalnu metodu za rutinsko određivanje specifične električne vodljivosti u vodenom ekstraktu tla. Određivanje se provodi kako bi dobio podatak o sadržaju elektrolita topljivih u vodi u tlu.

Kako bi se utvrdila povezanost između rezultata sjeverne i južne strane korišten je *Pearsonov* koeficijent korelacije.

$$\text{Correl}(X, Y) = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2 \sum (y - \bar{y})^2}}$$

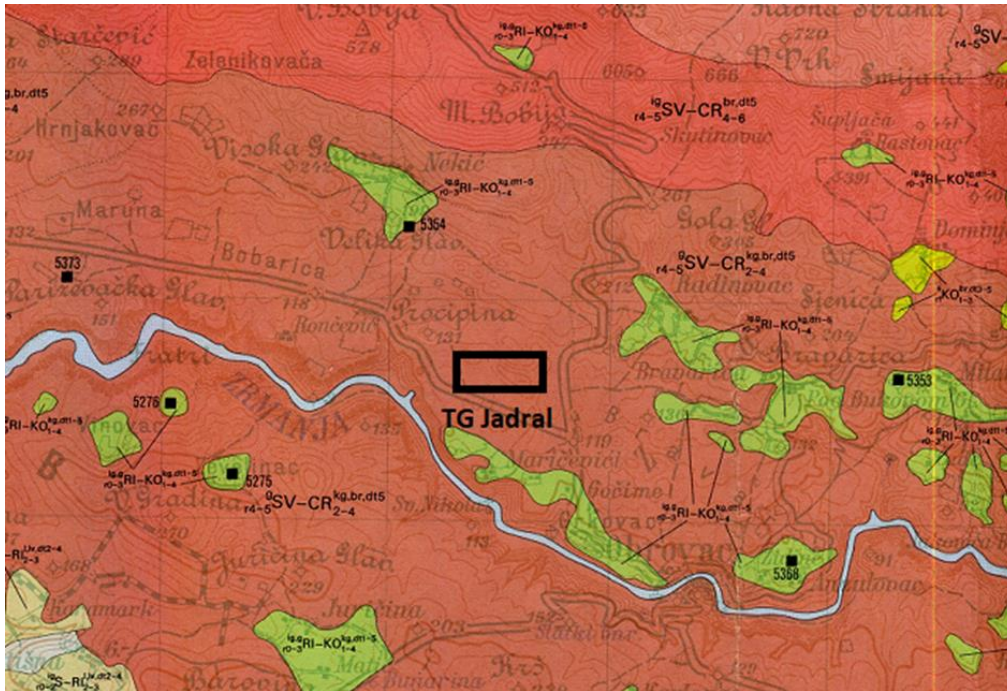
### 3.1. Tipovi tala na obrovačkom području

Na obrovačkome području dominiraju sljedeći tipovi tala:

- crvenica tipična i lesivirana
- smeđe na vapnencu, tipično i plitko
- karbonatni koluvij s prevagom zemljišnog materijala
- antropogena tla krša (njiva, vinograd i terasa na koluviju)

Navedeni tipovi tala mogu se pojaviti u manje ili više heterogenim zemljišnim kombinacijama, poput mozaika, niza i kompleksa u različitoj usitnjenosti, stjenovitosti i kamenitosti. Složenost zemljišne kombinacije ovisi o broju sistematskih jedinica, a najčešće u rasponu od 2 – 5 jedinica tla kao što je vidljivo na slici 15. (Tišma 2022).





**Legenda:** Crnim pravokutnikom označeno je područje tvornice Jadral

g <sub>r4-5SV-CR</sub> <sup>kg, br, dt5</sup> <sub>2-4</sub>	Smeđe na vapnencu, tipično, plitko (40 %) Crvenica tipična (40 %) Litosol na vapnencu (20 %)
ig <sub>r0-3RI-KO</sub> <sup>kg, dt1-5</sup> <sub>1-4</sub>	Antropogeno tlo njiva, vinograda i terasa na kolumbiji (30 %) Karbonatni kolumbij s prevagom zemljišnog materijala (30 %) Crvenica plitka (25 %) Smeđe na vapnencu tipično (15 %)

Slika 15. Tipovi tala u širem okruženju radnog prostora TG Jadral. Isječak pedološkog zemljovida M 1:50 000 (Izvor: list Novigrad 4)

### 3.2. Uzorkovanje tla za kemijsku analizu

Uzorkovanje je obavljeno na 26 lokacija, uzorkovano je 38 uzoraka (Slika 14). Sjeverno od laguna uzeto je 14 uzoraka na 8 lokaliteta (OB 1 - OB 8), na južnoj strani uzeta su 24 uzorka na 18 lokacija (OB 9 - OB 26). Uzorkovanje se provelo na lokacijama blizu potencijalnog izvora onečišćenja uzevši u obzir smjer puhanja vjetra (S-SI) kako bi rezultati istraživanja bili što točniji. Prikupljeni su prosječni uzorci tla koji su bili sastavljeni od desetak pojedinačnih uzoraka. Većina uzoraka uzeta je sa jedne dubine, a gdje je bilo moguće uzorci tla uzeti su sa dvije dubine do 10-ak centimetara. Uzorkovanje tla provodilo se lopatom za uzorkovanje, nakon čega su se pakirali u PVC vrećice te je svaki uzorak bio označen zasebnim brojem i dostavljen na laboratorijske analize. Slike 16-18 prikazuju 12 lokaliteta s kojih su uzeti uzorci za analizu.



Slika 16. Lokacije uzimanja uzoraka 1 i 2 (gore) te 3 i 4 (dolje) Fotografije: Ivica Kisić



Slika 17. Lokacije uzimanja uzoraka 5 i 6 (gore) te 7 i 8 (dolje) Fotografije: Ivica Kisić



Slika 18. Lokacije uzimanja uzoraka 9 i 10 (gore) te 11 i 12 (dolje) Fotografije: Ivica Kisić

### 3.3. Određivanje pH vrijednosti i elektrovodljivosti (EC)

Svaka pH vrijednost tla određuje reakciju tla koja je jedan od glavnih pokazatelja kvalitete tla. Reakcija tla utječe na pokretljivost i dostupnost mikro i makroelemenata, također utječe na odabir kultura. Interpretacija pH vrijednosti tla rađena je prema tablici 2 (Škorić 1992).

pH vrijednost	Reakcija tla
< 4,5	Jako kisela
4,5 – 5,5	Kisela
5,5 – 6,5	Slabo kisela
6,5 – 7,2	Neutralna
>7,2	Alkalna

Izvor: Škorić 1992.

### 3.4. Određivanje teških metala u tlu

Granične vrijednosti sadržaja teških metala u tlima se razlikuju od države do države, a u državama gdje je svijest o očuvanja okoliša viša, ili pak gdje su ovi problemi izraženiji, pojedine regije imaju zasebne strože kriterije za korištenje tla za različite namjene (Kisić 2012).

U istraživanju ispitane su korelacije između koncentracija teških metala sjeverne i južne strane. Prilikom interpretacije rezultata korišten je Pravilnik o zaštiti poljoprivrednog zemljišta (NN 71/19) kako bi se prikazao stupanj onečišćenja.

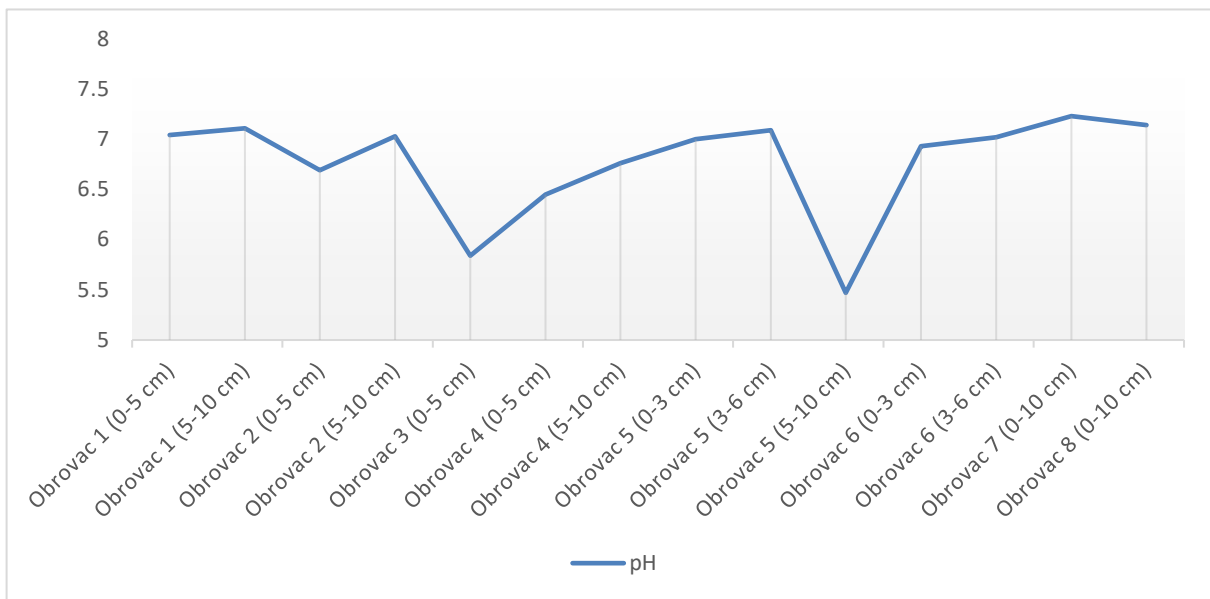
Tablica 3. Maksimalno dopuštene količine (MDK) za pojedine teške metale prema Pravilniku o zaštiti poljoprivrednog zemljišta od onečišćenja (NN 71/19)

<b>Elementi (mg/kg)</b>	<b>As</b>	<b>Cr</b>	<b>Cu</b>	<b>Ni</b>	<b>Pb</b>	<b>Zn</b>	<b>Mn</b>
<b>MDK (mg/(kg))</b>	15-30	40-120	60-120	30-75	50-150	60-200	15

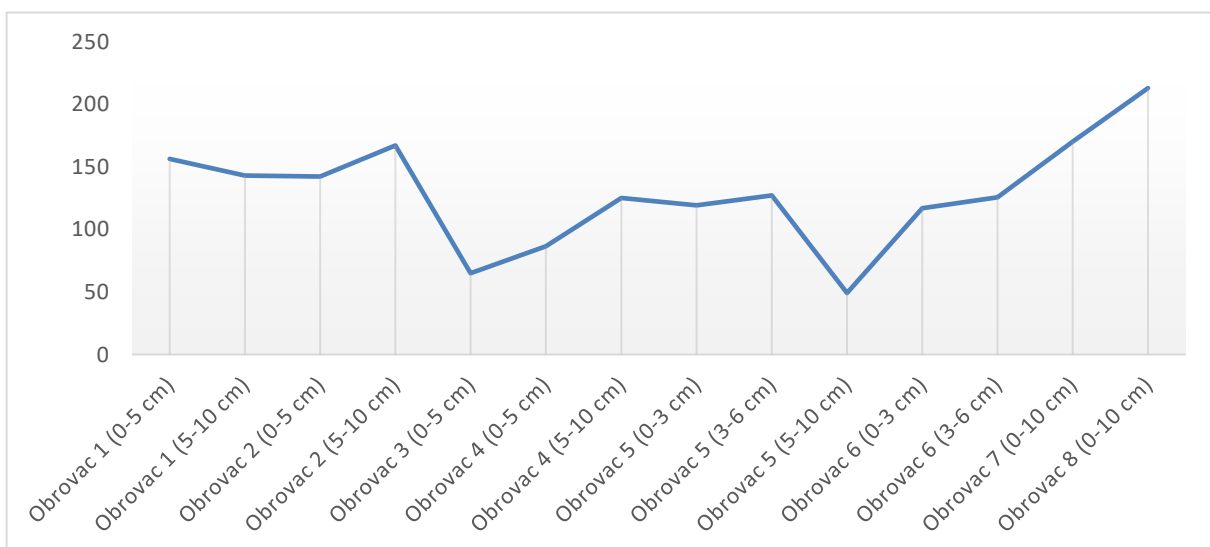
## 4. Rezultati istraživanja

### 4.1. Rezultati pH i EC vrijednosti uzoraka sjeverno od laguna

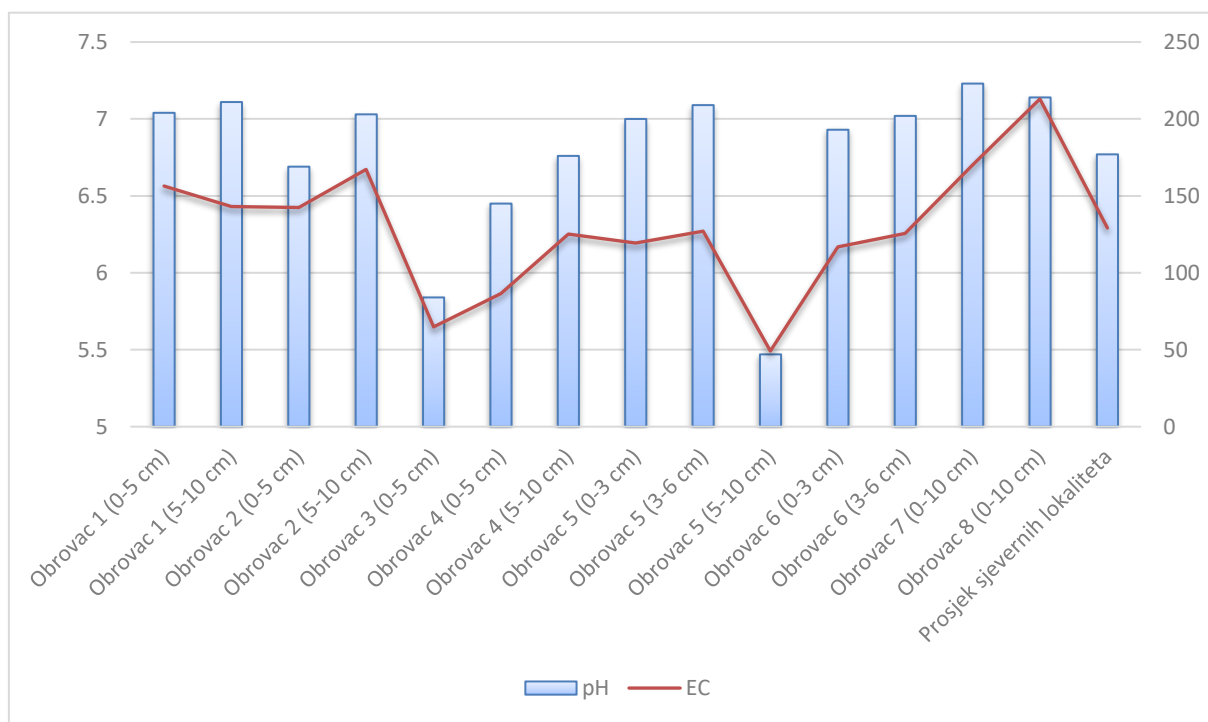
Graf 1 pokazuje da se pH vrijednost kreće u rasponu od 5,47 – 7,23, dok prosječna vrijednost 8 sjevernih lokaliteta u 14 uzoraka iznosi 6,77 što ukazuje kako na području sjeverno od laguna prevladava blago kiselo do neutralno tlo.



Graf 1. Rezultati uzoraka uzorkovani sjeverno od laguna (OB 1 - OB 8)



Graf 2. Rezultati na lokalitetima sjeverno od laguna (OB 1-OB 8)



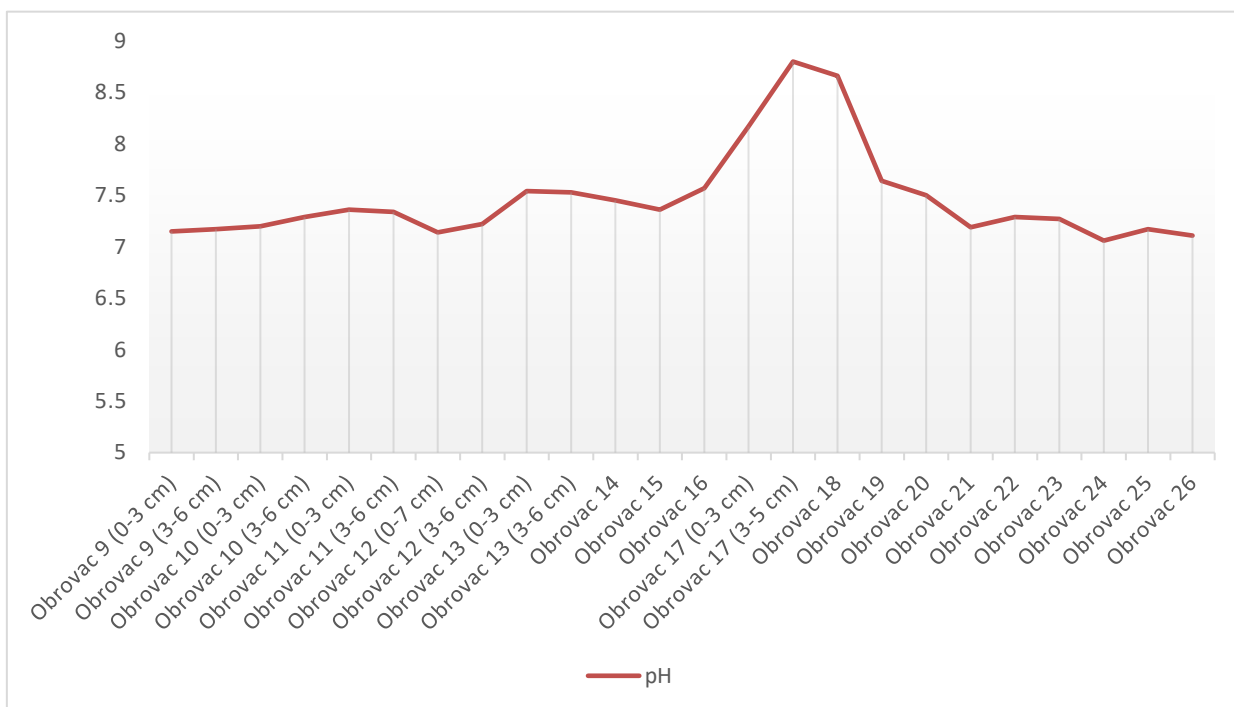
Graf 3. Prikaz korelacije pH vrijednosti i EC vrijednosti sjeverno od laguna

Krivulja elektrovodljivosti pada i raste na istim mjestima kao i pH vrijednosti što je vidljivo iz grafa 3. Izračunom koeficijenta korelacije može se utvrditi da postoji vrlo visoka povezanost između pH i EC vrijednosti sjeverno od laguna.

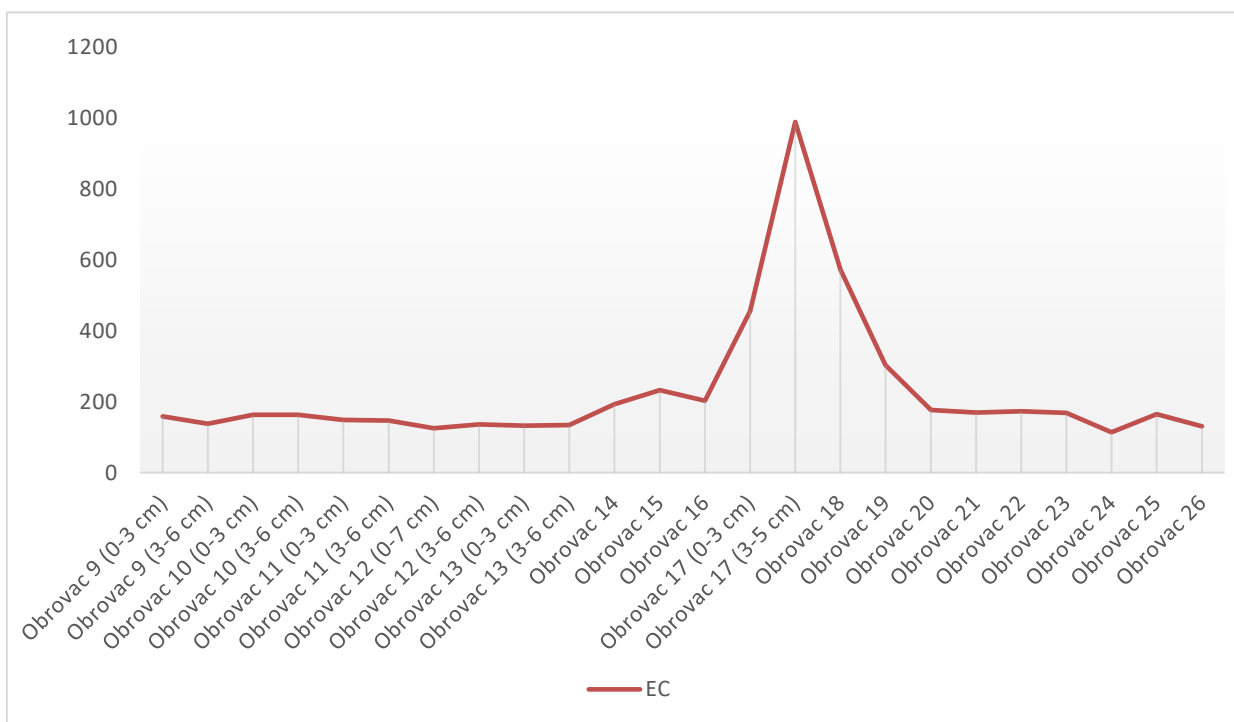
$$r=0,84$$

#### 4.2. Rezultati pH i EC vrijednosti tla južno od laguna

Prosječna pH vrijednost s 18 lokaliteta u 24 uzoraka južno od laguna iznosi 7,47 (Graf 4). S obzirom na rezultate prevladava neutralno tlo, dok na pojedinim lokacijama prevladava alkalno tlo visoke pH vrijednosti (Tablica 2).

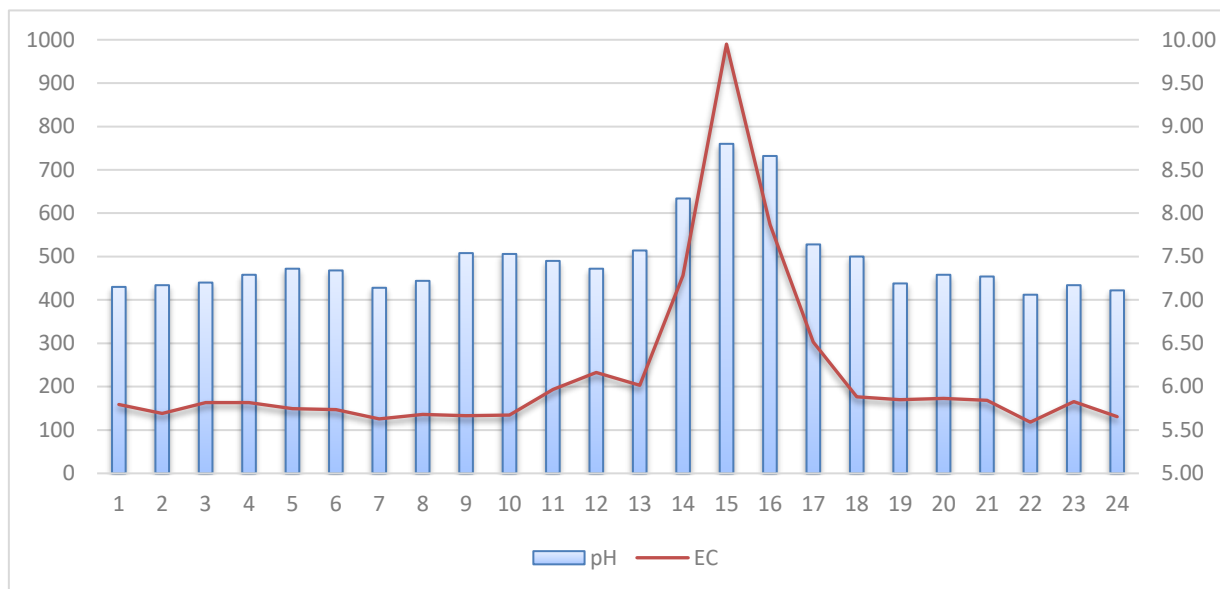


Graf 4. Rezultati pH vrijednosti na lokalitetima južno od laguna



Graf 5. Rezultati EC vrijednosti na lokalitetima južno od laguna

Kao što se može iščitati s grafa 5 na lokacijama OB17 i OB18 zabilježene su visoke EC vrijednosti. Uzrok povećanja EC vrijednosti su čestice crvenog mulja bogatog teškim metalima te natrijeve lužine koje su se dugi niz godina nošene burom smjera S-SI taložile u tlu južno od laguna.



Graf 6. Prikaz korelacije između pH vrijednosti i EC vrijednosti južno od laguna

Na grafu 6 može se uočiti da lokacije više pH reakcije tla sadrže i više EC vrijednost. Koeficijentom korelacije može se utvrditi da postoji povezanost između visokih pH i EC vrijednosti južno od laguna, porast pH vrijednosti prati porast EC vrijednosti.

$$r=0,92$$

### 4.3. Analiza rezultata pH vrijednosti i EC vrijednosti sjeverno i južno od laguna

Dobiveni rezultati analize ukazuju da je utjecaj crvenoga mulja raznošenog burom iz smjera laguna prema rijeci Zrmanji slabo izražen između ispitanih uzoraka tla s južne strane laguna te uzoraka sa sjeverne strane. Rezultati korelacijskih koeficijenata pokazuju povezanost između pH vrijednosti i EC vrijednosti uzoraka sjeverno i južno od laguna.

Korelacijski koeficijent za pH iznosi  $r = -0,53$ , dok za EC iznosi  $r = -0,44$ .

Na grafovima su jasno vidljivi rezultati koji prikazuju povišene pH i EC prosječne vrijednosti na područjima južno od laguna. Nadalje, najviše pH i EC vrijednosti izmjerene su na području oko uzoraka OB 17 i OB 18 što odgovara smjeru puhanja vjetra bure. Temeljem rezultata sa



slike terena može se utvrditi da lokaliteti južno od laguna na površini imaju puno manje vegetacije od područja sjeverno od laguna gdje lokaliteti južno sadrže veće koncentracije teških metala te visok pH.

Provedenom analizom sjeverne strane pH raspon tla iznosi od OB 5(5-10cm) 5,47 do 7,23 OB 8 (0-10) u odnosu na južnu stranu gdje pH raspon tla iznosi od OB 24 7,06 do 8,80 OB 17 (0-3 cm). Prema tome na sjevernom području javlja se blago kisela reakcija tla do neutralne, dok na području južno od laguna prevladava tlo neutralne do alkalne reakciju tla.

Prosječna EC vrijednost iznosi 129  $\mu$ S sjeverno od laguna, dok prosječna EC vrijednost iznosi 229  $\mu$ S što pokazuje kako je elektrovodljivost južno od laguna skoro dvostruko veća nego kod sjevernih lokaliteta.

Iz navedenog dalo bi se zaključiti da je djelovanje vjetra bure na lagune u kojima se nalazi crveni mulj najviše izraženo na području oko lokacija OB 17 i OB 18. Razlike u pH vrijednostima između sjeverne i južne strane pretpostavljaju utjecaj bure na promjenu pH reakcije tla te elektrovodljivosti (EC) u smjeru puhanja vjetra što potvrđuje koeficijent korelacije.

$$r = - 0,50$$

Dobiveni koeficijent korelacije pokazuje povezanost pH vrijednosti sjeverno i južno od laguna nepotpuna što znači da linearni porast jedne varijable odgovara linearnom opadanju druge varijable, no povezanost je takva da je jedna vrijednost jedne varijable povezana s više vrijednosti druge varijable. Dakle, postoji značajna povezanost između pH vrijednosti sjeverno i južno od laguna te bi se iz toga moglo zaključiti kako je do povećanja pH vrijednosti na južnoj strani došlo uslijed djelovanja bure koja je čestice crvenog mulja alkalne reakcije raznosila u smjeru jugo-jugoistok, geografski gledano iz smjera lagune prema kanjonu rijeke Zrmanje.

Koeficijent korelacije za EC je malo niži nego za pH vrijednost. Temeljem dobivenog koeficijenta može se utvrditi da postoji povezanost između EC vrijednosti sjeverno i južno od laguna, no zbog negativnog predznaka je negativna te nepotpuna što znači da linearni porast jedne varijable odgovara linearnom opadanju druge varijable.

$$r = - 0,44$$

## **4.4. Analiza rezultata teških metala u tlu sjeverno i južno od laguna**

### **4.4.1. Arsen (As)**

Na sjevernoj strani zabilježena prosječna koncentracija arsena (As) je 26 mg/kg, dok je na južnoj strani zabilježena prosječna koncentracija 40 mg/kg. Izračunati rezultati koncentracije arsena variraju od minimalnih 4 mg/kg (OB 18) do maksimalnih 74 mg/kg (OB 20).

Prema Pravilniku o zaštiti poljoprivrednog zemljišta od onečišćenja (NN 71/19) maksimalno dopuštena količina (MDK) arsena kreće se između 15 i 30 mg/kg ovisno o pH vrijednosti tla (Tablica 3).

U slučaju tvornice Jadral ispada kako su prosječne koncentracije arsena na sjevernoj strani ispod MDK, dok su prosječne koncentracije arsena na južnoj strani iznad MDK. S obzirom da se radi o području koje je dosta blizu valja utvrditi da li se radi o utjecaju bure ili je riječ o drugim faktorima.

Izračunom je dobiveni koeficijent korelacije koji ukazuje kako se radi o slaboj povezanosti vrijednosti arsena u tlu sjeverno i južno od laguna te se može zaključiti kako je utjecaj bure na širenje čestica arsena dosta slab.

$$r = 0,28$$

### **4.4.2. Krom (Cr)**

Koncentracija kroma na ispitanim lokacijama kreće se od 64 do 316 mg/kg. Maksimalna koncentracija kroma utvrđena je na jugozapadu točnije na lokaciji OB 13 na površinskom sloju te iznosi 316 mg/kg, dok je minimalna koncentracija izmjerena zapadno od velike lagune na lokaciji OB 8 dubini do 10 cm iznosi 64 mg/kg.

Prosječna koncentracija kroma uzoraka sjeverno od laguna iznosi 78 mg/kg, dok je na južnoj strani, zabilježena prosječna koncentracija kroma 133 mg/kg što prema Pravilniku o zaštiti poljoprivrednog zemljišta od onečišćenja (NN 71/19) takvo tlo sadrži krom iznad maksimalno dopuštene količine (MDK) koja iznosi između 40 i 120 mg/kg ovisno o pH vrijednosti tla (Tablica 3).

Kako bi utvrdili povezanost sjeverno i južno od laguna koristili smo već poznatu formulu za izračun koeficijenta korelacije. Rezultat ukazuje kako postoji povezanosti između koncentracije kroma u tlu sjeverne i južne strane te se može zaključiti kako bura utječe na širenje čestica kroma na području bivše tvornice što potvrđuju i povišene vrijednosti južno od laguna.

$$r = 0,54$$

#### **4.4.3. Bakar (Cu)**

Najveća koncentracija bakra utvrđena je na lokaciji OB 3 na dubini 0-5cm sjeverno od laguna gdje je izmjerena koncentracija od 46 mg/kg. Najniža koncentracija izmjerena je na lokaciji OB 18 8 mg/kg, južno ispod laguna. Uzorci uzeti sjeverno od laguna imaju prosječnu koncentraciju bakra od 36 mg/kg, dok prosječna koncentracija bakra na uzorcima južno od laguna iznosi 31 mg/kg.

Prema istraživanjima Oreščanin i sur. iz 2017. godine izmjerena koncentracija bakra u crvenom mulju iznosila je 18 mg/kg što zapravo ukazuje da vrijednosti dobivene analizom nisu povezane kako sa crvenim muljem tako i s burom.

$$r = 0,17$$

Dobiveni koeficijent korelacije pokazuje kako vrijednosti bakra u tlu sjeverno i južno od laguna su zanemarivo povezane.

#### **4.4.4. Cink (Zn)**

Utvrđene koncentracije cinka dosta su heterogene. Najveća koncentracija cinka u tlu izmjerena je na lokaciji OB 16 gdje je izmjereno 234 mg/kg cinka, dok ona najniža na lokaciji OB 18 svega 30 mg/kg.

Na sjevernoj strani zabilježena prosječna koncentracija cinka iznosi 130 mg/kg što je u odnosu na uzorke južno od laguna čiji prosjek iznosi 125 mg/kg, za 5 mg/kg više.

Prema Pravilniku o zaštiti poljoprivrednog zemljišta od onečišćenja (NN 71/19) MDK za cink iznosi 200 mg/kg uzevši u obzir pH vrijednosti tla područja oko same tvornice. Lokacija OB 16 jedina je koja premašuje MDK (Tablica 3).

Koeficijent korelacije pokazuje nikakvu povezanost između koncentracija cinka u tlu sjeverno i južno.

$$r = -0,11$$

#### 4.4.5. Nikal (Ni)

Ispitivanjem koncentracije nikla utvrđena je maksimalna vrijednost od 165 mg/kg na lokaciji OB 13 na dubini 0-3 cm, dok je najniža koncentracija 46 mg/kg dobivena na lokaciji OB 18.

Na sjevernoj strani zabilježena je prosječna koncentracija nikla od 99 mg/kg, dok na južnoj strani prosječna koncentracija iznosi 107 mg/kg. Porast prosječne koncentracije na južnim lokacijama moglo bi značiti kako je do povećanja došlo uslijed taloženja čestica crvenog mulja nošenih burom.

Prema Pravilniku o zaštiti poljoprivrednog zemljišta od onečišćenja (NN 71/19) MDK nikla se kreće između 35-75 mg/kg ovisno o pH vrijednosti tla (Tablica 3). Rezultati uzoraka s obzirom na Pravilnik ukazuju kako se u uzorcima sjeverno i južno od laguna nalazi povećana količina nikla.

Izračunom koeficijenta korelacije dobiveni rezultati koncentracija nikla u tlu ne pokazuju povezanost.

$$r = -0,08$$

#### 4.4.6. Mangan (Mn)

Analizom mangana utvrđeni su sljedeći rezultati: najveća vrijednost izmjerena je na lokaciji OB 13. Koncentracija mangana na lokacijama kreće se od 303 do 1340 mg/kg. Najveća koncentracija mangana utvrđena je na lokaciji OB 13 te iznosi 1340 mg/kg, a najniža koncentracija na lokaciji OB 18 koja iznosi 303 mg/kg. Obje lokacije nalaze se južno od laguna.

Oreščanin i sur. (2017) u analizi crvenog mulja izmjerili su ekstremnu koncentraciju mangana koja je iznosila 4240 mg/kg. Visoke koncentracije mangana u tlu se mogu povezati s onečišćenjem iz laguna. Sjeverno zabilježena je prosječna koncentracija mangana 892 mg/kg, dok je na južnoj strani zabilježena prosječna koncentracija 981 mg/kg. Pravilnik o zaštiti poljoprivrednog zemljišta od onečišćenja (NN 71/19) dopušta maksimalno dopuštenu količinu od 15 mg/kg (Tablica 3). Bez obzira što se radi o nepoljoprivrednom zemljištu vrijednosti su i dalje previsoke.

Koeficijent korelacije pokazuje povezanost koncentracija mangana u tlu sjeverno i južno od laguna.

$$r = 0,57$$

#### **4.4.7. Olovo (Pb)**

Analizom su utvrđeni sljedeći podaci za olovo. Koncentracija olova na lokacijama kreće se od 8 do 166 mg/kg. Najveća koncentracija olova izmjerena je južno od laguna 116 mg/kg na lokaciji OB 16, dok je najniža koncentracija 8 mg/kg na lokaciji OB 18.

Na sjevernoj strani zabilježena prosječna koncentracija olova je 51 mg/kg, dok je na južnoj strani zabilježena prosječna koncentracija 60 mg/kg. Olovo najčešće dopijeva u tlo sagorijevanjem benzina, ugljena, te iz otpadnih produkata strojeva i umjetnih gnojiva (fosfornih).

Prema istraživanjima Oreščanin i sur. iz 2017. godine izmjerena koncentracija olova u crvenom mulju je 21 mg/kg što upućuje na zaključak da koncentracija olova u tlu, u blizini laguna, nije povezana sa crvenim muljem iz laguna.

Pravilnik o zaštiti poljoprivrednog zemljišta od onečišćenja (NN 71/19) dopušta maksimalno dopuštenu količinu od 50 do 150 mg/kg ovisno o pH vrijednosti tla (Tablica 3.). Što znači da su vrijednosti ispod MDK.

Koeficijent korelacije ukazuje na slabu povezanost između koncentracija olova u tlu sjeverno i južno od laguna.

$$r = 0,29$$

#### **4.5. Analiza rezultata teških metala u tlu sjeverno i južno od laguna**

Temeljem dobivenih rezultata potrebno je napraviti analizu koeficijenata korelacije te prosječnih vrijednosti analiziranih teških metala u tlu prije donošenja samih zaključaka (Tablica 4).

Južno od laguna zabilježene su povećane koncentracije arsena, kroma i mangana u odnosu na sjevernu stranu, dok su prosječne vrijednosti cinka, olova, bakra i nikla unutar MDK. Prema svemu sudeći povećane vrijednosti južno od laguna posljedica su utjecaja bure koja puše u smjeru sjevera preko laguna prema rijeci Zrmanji te radi bržeg taloženja čestica kroz duži period

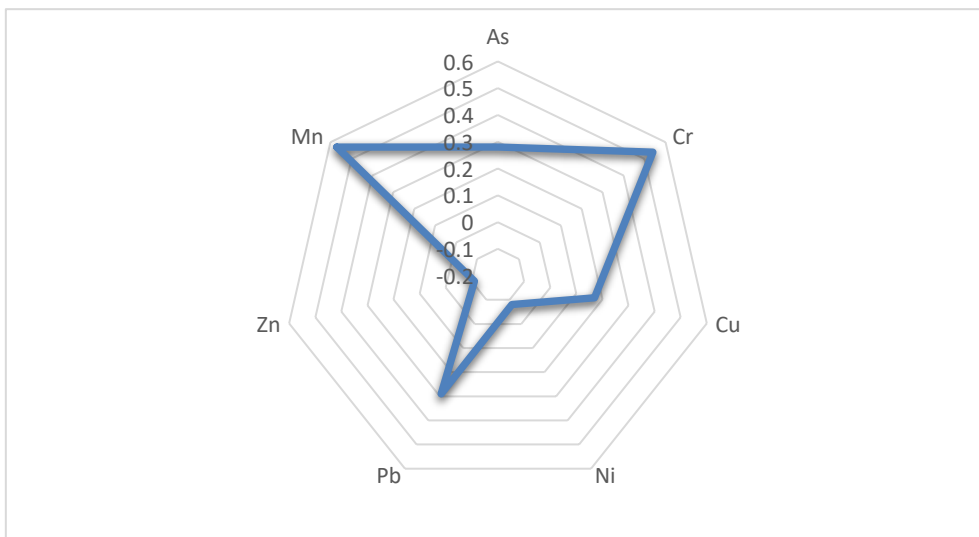
Tablica 4. Rezultati prosječnih vrijednosti teških metala te koeficijenti korelacije sjeverno i južno od laguna

Elementi (mg/kg)	As	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Mn	EC	pH
Sjeverno od laguna	26	78	36	99	51	130	892	129,06	6,77
Južno od laguna	40	133	31	107	60	125	981	229,25	7,47
Koeficijent korelacije	0,28	0,54	0,17	-0,08	0,29	-0,11	0,57	-0,50	-0,44
Interpretacija korelacije	Slaba	Stvarna značajna	Nikakva	Nikakva	Slaba	Nikakva	Stvarna značajna	Stvarna značajna	Stvarna značajna

Maksimalno dopuštenu količinu teških metala sjevernih i južnih lokaliteta prema Pravilniku o zaštiti poljoprivrednog zemljišta od onečišćenja (NN 71/19) koncentracije nikla(Ni) i mangana(Mn) premašuju MDK, no propisane vrijednosti odnose se na poljoprivredno zemljište. Nadalje, usporedbom podataka tablice 3 i 4 može se uočiti prekomjerni sadržaj arsena (As) i kroma (Cr) na lokacijama južno od laguna lokaliteta za razliku od sjevernih lokaliteta čije su vrijednosti iznad MDK. Koncentracije cinka (Zn) i olova (Pb) sjeverno i južno od laguna nalaze se ispod MDK.

Izračunom koeficijenta korelacije za teške metale dobiveni rezultati upućuju da vrijednosti As i Pb u tlu sjeverno od laguna su u slaboj korelaciji sa koncentracijama dobivenim južno od laguna (Tablica 4). Za elemente Zn, Cu i Ni prema koeficijentu korelacije ne postoji nikakva povezanost između rezultata sjeverno i južno od laguna. Koeficijenti korelacije za Cr i Mn pokazuju jaku povezanost koncentracija u tlu.

Iz dobivenih rezultata može se zaključiti da linearni porast jedne varijable odgovara linearnom opadanju druge varijable te je njihova povezanost takva da je jedna vrijednost jedne varijable povezana s više vrijednosti druge varijable. Preneseno na slučaju laguna to bi označavalo da porast vrijednosti južno od laguna označava pad vrijednosti sjeverno od laguna što zapravo potvrđuje utjecaj bure koja puše u smjeru sjever-sjeveroistok (Graf 7).



Graf 7. Interpolirani prikaz koeficijena korelacije za teške metale

## 5. Zaključak

Provedenom analizom za teške metala putem korelacijskog koeficijenta utvrđena je stvarna povezanost za Cr i Mn između rezultata sjeverno i južno od laguna, dok za elemente As i Pb utvrđena je slaba povezanost. Kod elemenata Cu, Zn, Ni nije utvrđena nikakva povezanost.

Prosječne vrijednosti arsena (As), kroma (Cr) i mangan (Mn) sjevernih i južnih lokaliteta sadrže povećane koncentracije u odnosu na dopuštene koncentracije propisanih Pravilnikom za poljoprivredna tla u Republici Hrvatskoj. Usporedbom vrijednosti crvenog mulja s povećanim koncentracijama teških metala u tlu dalo bi se zaključiti da je do povećanja vrijednosti južno od laguna nastupilo radi utjecajem crvenog mulja i bure koja raznosi materijal na okolna tla u smjeru juga - jugozapada. Utjecaj bure vidljiv je i na vegetaciji koje gotovo i da nema na prostoru južno od laguna. Također, lokacije minimalne i maksimalne koncentracije te prosječne vrijednosti As, Mn, Cr sjeverno i južno od laguna odgovaraju smjeru puhanja vjetra.

Koeficijenti korelacije između pH i EC vrijednosti pokazuju visoku povezanost, dok povezanost između sjeverne i južne strane manja je za EC, ali i dalje stvarna što upućuje da se promjene u reakciji tla očituju i u promjeni elektrovodljivosti.

Korelacijski koeficijent za pH iznosi  $r = -0,53$ , dok za EC iznosi  $r = -0,44$ .

Lokacije oko samih laguna potrebno je revitalizirati pomoću agrotehničkih zahvata obrade tla te nakon poboljšavanja fizikalnih i kemijskih svojstava tla potrebno je kultivirati tlo kako bi se napravila prirodna mehanička barijera koja bi smanjila daljnje širenje i taloženje čestica crvenog mulja na području južno od laguna. Nadalje, za lokacije čije vrijednosti premašuju MDK uz pomoć fitoremedijacije bi se smanjila koncentracija teških metala što je dugogodišnji proces. Neophodan je proces sanacije preostalih laguna koji zahtijeva znanje i veliku sumu novaca, ali kao privremeno rješenje kako bi se smanjio utjecaj bure mogu se napraviti mehaničke barijere koje bi se pružale uz lagune sa suprotnim nagibom od smjera bure.



## LITERATURA

- Baykov A. i sur. (1996). *A site-directed mutagenesis study of Saccharomyces cerevisiae pyrophosphatase Functional conservation of the active site of soluble inorganic pyrophosphatases*, *Eur. J. Biochem.* 138-143
- Bezjak, D. (2019). Utjecaj crvenog mulja i drugih ostataka iz proizvodnje aluminija na okoliš (Završni rad), Zagreb, str. 25-28
- Cvetko Tešović B. (2019). Geologija i rudarstvo, Rudarska geologija, Geologija mineralnih sirovina. Primijenjena geologija, Sveučilište u Zagrebu, PMF- Geološki odsjek. Zagreb
- Fiket, Ž., Kniewald, G. (2018). *The Zrmanja River Estuary (Adriatic Coast, Croatia) – the Need for Interdisciplinary Approach to Protection of Coastal Areas.*// Pomorski zbornik 55
- Fiket Ž., Mikac N., Kniewald G. (2018). *Sedimentary records of the Zrmanja River estuary, eastern Adriatic coast - natural vs anthropogenic impacts.* *J. of Soils Sediments.*17: 1905-1916.
- Kisić I. (2012). Sanacija onečišćenoga tla - Udžbenici Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, str. 276
- Kutle A., Nađ K., Obhođaš J., Oreščanin V., Valković V. (2003). *Assessment of environmental condition in the waste disposal site of an ex-alumina plant near Obrovac, Croatia. X-Ray Spectrom*, 33: 39-45.
- Mayes M. i sur. (2011). *Dispersal and Attenuation of Trace Contaminants Downstream of the Ajka Bauxite Residue (Red Mud) Depository Failure, Hungary.* *Environ. Sci. Technol.*, 45, 5147-5155.
- Milačić i sur. (2012). *Environmental impact of toxic elements in red mud studied by fractionation and speciation procedures* (Znanstveni rad)
- Obhođaš J. i sur. (2012). *Red mud characterization using atomic and nuclear analytical techniques. IEEE Transactions on nuclear science*, Vol. 59, No. 4
- Oreščanin i sur. (2001). *Red mud and waste base: raw materials for coagulant production.*// *Journal of Trace Microprobe Techniques*, 19(3), pp 419-428.
- Oreščanin i sur. (2002). *Study of coagulant production from red mud and its use for heavy metals removal.*// *Journal of Trace Microprobe Techniques*, 20(2), (2002) pp 233-245.
- Oreščanin i sur. (2017). *Obrada kiselih rudničkih efluenata i otpadnih voda iz prališta brodova primjenom crvenog mulja.*//Hrvatske vode. Broj 102. (2017) str 215-224
- Samokovlija Dragičević J. (2004). *Uklanjanje bivše tvornice Jadral u Obrovcu.* *Građevinar*, 56: 645-648.
- Sofilić T. (2014). *Onečišćenje i zaštita tla*, Metalurški fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Sisak, str. 59

Šeremet M. (2013). Sanacija i značajke crvenog mulja i lužine iz tvornice glinice Obrovac. Grafički fakultet, Zagreb, str. 37.

Tišma Ana (2022). Promjene kvalitete tla pod utjecajem bure u okruženju laguna na području tvornice glinice Jadral, Završni rad, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, str. 25

Tomašić Marija (2011). Kationsko izmjenjivački kompleks na dominantnim tipovima tala Republike Hrvatske (diplomski rad), Agronomski fakultet, Zagreb

Tošić L. (2006). Napokon čišći Obrovac.// Eko Revija 9. str.10

### **Popis korištenih poveznica:**

URL1: <https://www.ekovjesnik.hr/clanak/2430/mazut-u-zrmanji-i-novigradskom-moru>

URL2: <http://zadarski.slobodnadalmacija.hr/zadar/4-kantuna/clanak/id/542486>

URL3: <https://www.tjedno.hr/izgradnju-obrovca-nismo-mogli-zaustaviti/>

URL4: <https://www.057info.hr/vijesti/2008-05-15/srusen-dimnjak>

URL5: <https://www.zadarskilist.hr/clanci/30112010/kako-je-sanirana-tvornica-glinice>

URL6: <http://www.energetika-net.com/vijesti/obnovljivi-izvori-energije/otvorena-vjetroelektrana-jasenice-i-29854>

URL7: <https://ezadar.net.hr/dogadaji/3624081/izlijevanje-mazuta-u-zrmanju-potencijalno-je-najveca-ekoloska-katastrofa-na-ovim-prostorima/>

URL8: <https://enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=10210>

URL9: <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=8503>

URL10: <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=1350>

URL11: <https://cz.boell.org/en/2014/03/24/red-mud-catastrophe-hungary-energy-and-climate>

URL12: <https://www.icpdr.org/main/publications/accident-ajka-alumnia-plant>

URL13: Pravilnik o zaštiti poljoprivrednog zemljišta od onečišćenja NN 71/19 -  
[https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2019\\_07\\_71\\_1507.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2019_07_71_1507.html)

## Životopis

Ivan Dogan rođen je 26.12.1995. u Zagrebu. Otac Darko Dogan liječnik, a majka Gordana medicinska sestra. Odrastao je zajedno sa bratom Domagojem te dvije sestre Katarinom i Lucijom u Zagrebu. Osnovnu školu pohađao je u Zagrebu u razdoblju od 2002. do 2010. godine. Uz osnovnu školu, paralelno je pohađao osnovnu glazbenu školu u periodu od 2003. do 2009. godine svirajući violinu i klavir. Uz navedeno, u tom periodu aktivno se bavi nogomet te sudjeluje u brojnim sportskim natjecanjima. Nakon završetka osnovne škole prema svojim vjerskim uvjerenjima 2010. godine upisuje Nadbiskupsku klasičnu gimnaziju te sa odličnim uspjehom završava 2014. godine. Tijekom srednjoškolskog obrazovanja stječe znanja iz starogrčkog, latinskog i engleskog jezika te uz ljubav prema prirodi i živom svijetu 2014. godine upisuje Agronomski fakultet Sveučilište u Zagrebu smjer agroekologija. Važno je napomenuti kako se ljubav prema prirodi razvila još od najranije dobi gdje je sa obitelji ljeta provodio na imanju u Bogatićima Prominskim koje se nalaze na obroncima NP Krke. Nadalje, osim uspjeha na edukativnom planu bilježi nastupe u disciplini *street workoutu* gdje predstavlja Hrvatsku i bilježi zapažene rezultate. Uz natjecanja volontira i sudjeluje u EU projektima te projektima zdravog načina života uz vježbanje po osnovnim i srednjim školama u suradnji sa Ministarstvom sporta i obrazovanja. Ljubav prema sportu, stvorila je novu vrstu hobija, a to je fotografija. Uz redovite obaveze na Agronomskom fakultetu počinje se baviti sportom obaranje ruke gdje vrlo brzo stječe titulu viceprvaka Hrvatske te postaje kategoriziranim sportašem od Hrvatskog olimpijskog odbora te nastupima na europskim i svjetskim natjecanjima ostvaruje zapažene rezultat. Obranom završnog rada Permakulturni dizajn završava preddiplomski studij te se odlučuje nastaviti smjer agroekologije i na diplomskom studiju. Tijekom obrazovanja stječe znanja na računalu te radu s Microsoft Office programima kao što su Word, Power point i Excel bez kojih ne bi mogao dalje napredovati u svom obrazovanju.