

Primjena GIS tehnologije u gospodarenju reziduima

Žigrović, Adam

Master's thesis / Diplomski rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:169:723959>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-04-03**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET
Diplomski studij rudarstva

PRIMJENA GIS TEHNOLOGIJE U GOSPODARENJU REZIDUIMA

Diplomski rad

Adam Žigrović
R309

Zagreb, 2022.



KLASA: 602-01/22-01/206
URBROJ: 251-70-11-22-2
U Zagrebu, 04.11.2022.

Adam Žigrović, student

RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM 602-01/22-01/206, URBROJ: 251-70-11-22-1 od 04.11.2022. priopćujemo vam temu diplomskog rada koja glasi:

PRIMJENA GIS TEHNOLOGIJE U GOSPODARENJU REZIDUIMA

Za voditelja ovog diplomskog rada imenuje se u smislu Pravilnika o izradi i obrani diplomskog rada Izv.prof.dr.sc. Dario Perković nastavnik Rudarsko-geološko-naftnog-fakulteta Sveučilišta u Zagrebu

Voditelj

(potpis)

Izv.prof.dr.sc. Dario Perković

(titula, ime i prezime)

Predsjednik povjerenstva za
završne i diplomске ispite:

(potpis)

Izv.prof.dr.sc. Mario Klanfar

(titula, ime i prezime)

Prodekan za nastavu i studente:

(potpis)

Izv.prof.dr.sc. Borivoje
Pašić

(titula, ime i prezime)

PRIMJENA GIS TEHNOLOGIJE U GOSPODARENJU REZIDUIMA

Adam Žigrović

Rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet
Zavod za rudarstvo i geotehniku
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Sažetak

Svrha izrade ovog rada je kartirati i prikazati na karti podatke o reziduima dobivene istraživanjima na lokaciji bivše tvornice Jugovinil u Kaštelu Sućurcu, naselju u gradu Kaštela. Za izradu karata korišten je računalni softver *ArcGIS Desktop*. Obradivani su podaci o brzinama doza, koncentracijama radija-226 i radona, te koncentracijama teških metala. U teoretskom dijelu rada obrađeni su općeniti pojmovi vezani uz rad radi lakšeg razumijevanja rada. U praktičnom dijelu rada prikazani su rezultati u obliku karata. Dobiveni rezultati su zadovoljavajući.

Ključne riječi: Rezidui, geoinformacijski sustavi, radionuklidi, interpolacija, pepeo, termoelektrana

Završni rad sadrži: 36 stranica, 0 tablica, 31 sliku, 0 priloga, i 0 reference.

Jezik izvornika: Hrvatski

Pohrana rada: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta, Pierottijeva 6, Zagreb

Mentori: Dr.sc. Dario Perković, izvanredni profesor RGNF

Ocjenjivači: Dr.sc. Dario Perković, izvanredni profesor RGNF
Dr.sc. Želimir Veinović, izvanredni profesor RGNF
Dr.sc. Uroš Barudžija, izvanredni profesor RGNF

APPLICATION OF GIS TECHNOLOGY IN RESIDUE MANAGEMENT

Adam Žigrović

Thesis completed at: University of Zagreb
Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering
Mining and Geotechnics Department
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Abstract

The purpose of this work is to map and display on the map the data of NORM residues obtained from the research at the location of the former Jugovinil factory in Kaštela. The ArcMap program was used to create the maps. Data on dose rates, radium-226 and radon concentrations, and heavy metal concentrations were processed. In the theoretical part of the work, general terms related to the work are discussed for easier understanding of the work. In the practical part of the work, results are presented in the form of maps. The results of the work are satisfactory.

Keywords: residues, geoinformatic systems, radionuclides, interpolation, ash, thermal power plant

Thesis contains: 36 pages, 0 tables, 31 figures, 0 appendixes, 0 references.

Original in: Croatian

Archived in: Library of the Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, Pierottijeva 6, Zagreb

Supervisors: Associate Professor Dario Perković, PhD

Reviewers: Associate Professor Dario Perković, PhD
Associate Professor Želimir Veinović, PhD
Associate Professor Uroš Barudžija, PhD

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. REZIDUI.....	2
2.1. Prirodni radionuklidi.....	3
2.2. Rezidui u Republici Hrvatskoj.....	4
2.3. Pepeo iz termoelektrane na ugljen.....	7
3. PRIMJENA GIS TEHNOLOGIJE	10
4. ODLAGALIŠTE PEPELA I ŠLJAKE TERMOELEKTRANE TVORNICE JUGOVINIL U KAŠTELIMA	322
5. ZAKLJUČAK	34
6. LITERATURA.....	35

POPIS SLIKA

Slika 2-1 Uranijski i torijski niz	4
Slika 2-2 Plomin I i odlagalište pepela i šljake (HEP d.o.o.)	5
Slika 2-3 Lokacija postrojenja tvornice Petrokemija d.d. i odlagališta fosfogipsa (Petrokemija d.d.).....	6
Slika 2-4 Cijev za eksploataciju nafte i plina s naslagama (Kamat.de).....	7
Slika 2-5 Shematski prikaz aerociklona.....	8
Slika 2-6 Prikaz presjeka odlagališta s brtvenim slojevima.....	9
Slika 3-1 Lokacija zahvata s prikazom zona u obliku poligona (<i>ArcMap</i>).....	10
Slika 3-2 Dodavanje tablica iz <i>excela</i> (<i>ArcMap</i>).....	11
Slika 3-3 <i>Add XY data</i> (<i>ArcMap</i>).....	12
Slika 3-4 Pretvaranje tablica u shape file (<i>ArcMap</i>).....	13
Slika 3-5 Spremanje podataka u mapu shp (<i>ArcMap</i>).....	13
Slika 3-6 Prikaz slojeva (<i>ArcMap</i>).....	14
Slika 3-7 Prikaz točaka mjerenja (<i>ArcMap</i>).....	15
Slika 3-8 <i>Geoprocessing</i> (<i>ArcMap</i>).....	15
Slika 3-9 <i>Spatial Analyst</i> (<i>ArcMap</i>).....	16
Slika 3-10 Interpolacija (<i>ArcMap</i>).....	17
Slika 3-11 Interpolacija, prvi korak (<i>ArcMap</i>).....	17
Slika 3-12 Interpolacijska karta brzina doza.....	19
Slika 3-13 Interpolacijska karta koncentracije radija.....	20
Slika 3-14 Interpolacijska karta koncentracije radona.....	21
Slika 3-15 Interpolacijska karta koncentracije bakra.....	22
Slika 3-16 Interpolacijska karta koncentracije cinka.....	23
Slika 3-17 Interpolacijska karta koncentracije kadmija.....	24
Slika 3-18 Interpolacijska karta koncentracije kobalta.....	25
Slika 3-19 Interpolacijska karta koncentracije kroma.....	26
Slika 3-20 Interpolacijska karta koncentracije mangana.....	27
Slika 3-21 Interpolacijska karta koncentracije nikla.....	28
Slika 3-22 Interpolacijska karta koncentracije olova.....	29
Slika 3-23 Interpolacijska karta koncentracije talija.....	30
Slika 3-24 Interpolacijska karta koncentracije željeza.....	31

Slika 4-1 Lokacija odlagališta pepela i šljake termoelektrane tvornice Jugovinil (*Google Earth Pro*).....32

POPIS KORIŠTENIH OZNAKA I JEDINICA

Oznaka	Jedinica	Opis
A	Bq	ukupna radioaktivnost
V	m ³	Volumen
m	kg	Masa
B	Bq/m ili Bq/V	Specifična radioaktivnost
E	J	Energija
D	Gy	Apsorbirana doza
T	s	Vrijeme
vD	Gy/s	Brzina doze
ρ	kg/m ³	Gustoća
O	m	Opseg
A	m ²	Površina
v	m/s	Brzina

1. UVOD

Rad obrađuje primjenu geografskih informacijskih sustava (u daljnjem tekstu „GIS“) u gospodarenju reziduima. Primjena GIS tehnologije omogućuju lakše prikazivanje podataka dobivenih istraživanjima na lokaciji zahvata i daje preglednost rezultata povezivanjem podataka s geografskim kartama i terenom. Rad se sastoji od dva dijela teoretskog i praktičnog. U teoretskom dijelu su ukratko objašnjeni pojmovi vezani uz radionuklide i radioaktivnost, lokacije s reziduumima u Republici Hrvatskoj i odlagalište pepela i šljake termoelektrane tvornice Jugovinil u Kaštelu Sućurcu, naselju u gradu Kaštela. U praktičnom dijelu su obrađeni podaci dobiveni istraživanjima na lokaciji odlagališta pepela i šljake termoelektrane bivše tvornice Jugovinil u Kaštelama te su prikazani pomoću GIS tehnologije. Svrha ovog rada je prikazati mogućnosti i prednosti korištenja GIS-a u gospodarenju reziduima.

2. REZIDUI

Pojam rezidui, u Republici hrvatskoj, zakonski je definiran pravilnikom o praćenju stanja radioaktivnosti u okolišu u članku 3. (NN RH 40/18) te glasi „*rezidui jest materijal koji ostaje nakon industrijskog procesa a koji se sastoji od ili koji je onečišćen prirodnim radionuklidima i nastaje u industrijskim sektorima koji su navedeni u točki A Priloga 2. koji je sastavni dio ovoga Pravilnika*” (Veinović, 2018.) definiraju pojam rezidui kao „*novi naziv za prirodno radioaktivne materijale koncentrirane industrijskim ili drugim aktivnostima i predstavljaju specifičnu kategoriju industrijskog nusproizvoda koja se ne vodi kao otpad u užem smislu, niti kao radioaktivni otpad.*” (p. 1.). Rezidui kao takvi, ako nisu zbrinuti na pravilan način, mogu predstavljati opasnost za zdravlje ljudi i okoliš. U reziduima se može pojavljivati široki spektar radionuklida sa vrlo različitim vremenima poluraspada tako da je prije zbrinjavanja istih potrebno odrediti vrste i količine radionuklida u njima. Problematika gospodarenja reziduima leži u njihovom zbrinjavanju ili iskorištenju na način na koji oni ne bi bili štetni za okoliš. Isto tako rad sa tvarima koje imaju povećane koncentracije radionuklida može loše utjecati na zdravlje radnika koji su direktno izloženi tim materijalima. Sama kompleksnost te problematike najviše se odražava na sigurnosne aspekte gospodarenja reziduima.

Primarna karakteristika radioaktivnih materijala u reziduima je ionizirajuće zračenje. Ionizirajuće zračenje je pojava prijenosa energije u obliku fotona ili masenih čestica koje ima dovoljno energije da u međudjelovanju s kemijskom tvari ionizira tu tvar. U međudjelovanju s tvari dolazi do izmjene energije i izmjene strukture ozračene tvari. Posljedice mogu biti korisne ili vrlo štetne (Dežalija, 2006).

Postoji nekoliko načina mjerenja radioaktivnosti i zračenja pojedinih tvari.

Ukupna radioaktivnost (A) radionuklida izražava se brojem raspada u jedinici vremena (Bq).

$$A = \frac{\text{raspad}}{t} \text{ [Bq]} \quad (2-1)$$

Gdje je: A – ukupna radioaktivnost

t – vrijeme (s)

Specifična radioaktivnost (B) je radioaktivnost specifične mase ili volumena tvari. Izražava se u Bq po jedinici mase ili u Bq po jedinici volumena.

$$B = \frac{A}{m} \left[\frac{\text{Bq}}{\text{kg}} \right] \quad (2-2)$$

Ili

$$B = \frac{A}{V} \left[\frac{Bq}{m^3} \right] \quad (2-3)$$

Gdje je: B – specifična radioaktivnost

m – masa (kg)

V – volumen (m³)

Doza ionizirajućeg zračenja označava količinu predane energije određenoj masi tvari.

Apsorbirana doza (D) je količina energije ionizirajućeg zračenja koju apsorbira tvar na koju djeluje zračenje. Mjerna jedinica je Gy (Grey)

$$D = \frac{E}{m} \left[\frac{J}{kg} \right], [Gy] \quad (2-4)$$

Gdje je : D – doza ionizirajućeg zračenja (Gy)

E – predana energija (J)

Brzina apsorbirane doze je količina energije ionizirajućeg zračenja koju tvar na koju djeluje zračenje apsorbira u jedinici vremena. Izražava se u Gy/s.

$$vD = \frac{D}{t} \left[\frac{Gy}{s} \right] \quad (2-5)$$

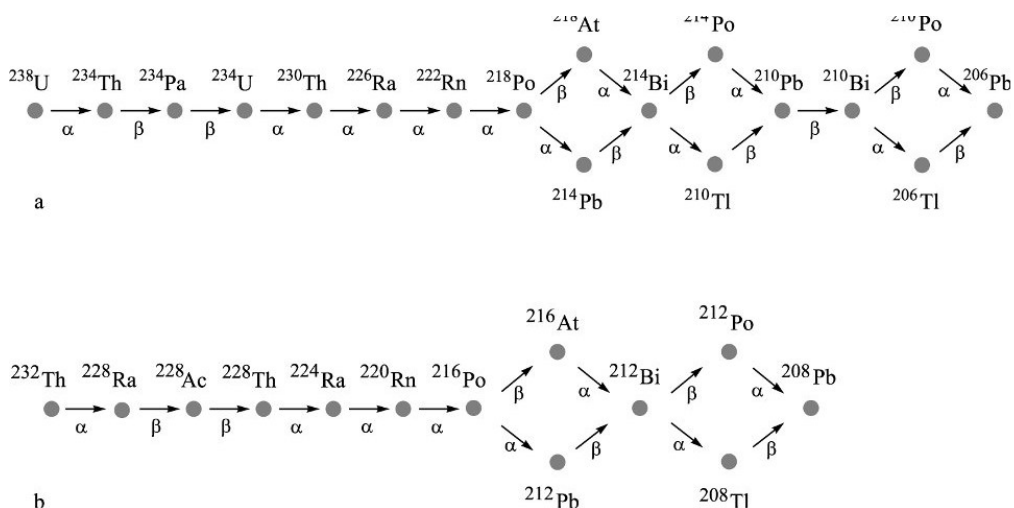
Gdje je: vD – brzina apsorbirane doze (Gy/s)

Mjerenje brzine apsorbirane doze je važno jer vrijeme izloženosti zračenju bitno utječe na oštećenje strukture tvari koja je izložena ionizirajućem zračenju te na moguće štetne posljedice po žive organizme.

2.1. Prirodni radionuklidi

Prirodni radionuklidi prisutni su u okolišu te su gotovo svi produkti raspada uranijskog, torijskog ili aktinijskog niza (slika 2-1). Prirodni radionuklidi mogu emitirati alfa, beta i/ili gama zračenje te su time štetni za ljude i sve žive organizme ukoliko se nađu u međusobnom kontaktu. Njihova koncentracija u prirodi znatno varira ovisno o području na kojemu se nalaze. Mjesta s povećanim koncentracijama prirodnih radionuklida su, prema Pravilniku o praćenju stanja radioaktivnosti u okolišu (NN RH 40/18), spilje, toplice/lječilišta i rudnici. Na svijetu postoje određene lokacije s izrazito povišenim koncentracijama ionizirajućeg zračenja koje je posljedica visoke koncentracije prirodnih radionuklida na tim lokacijama.

Raznim ljudskim djelatnostima (spaljivanje ugljena u termoelektranama, eksploatacija nafte i plina...), u kojima se upotrebljavaju prirodni materijali, može doći do njihovog koncentriranja te mogu postati štetni za okoliš. Povećanje koncentracije radionuklida se odvija na način da količina radionuklida u materijalu ostaje ista, dok se volumen samog materijala znatno smanjuje.



Slika 2-1 Uranijski i torijski niz (Enciklopedija.hr)

2.2. Rezidui u Republici Hrvatskoj

U Republici Hrvatskoj rezidui se nalaze na sljedećim lokacijama:

- 1) Odlagalište pepela i šljake termoelektrana Plomin I i II
- 2) Odlagalište fosfogipsa tvornice Petrokemija d.d. u Kutini
- 3) Odlagalište pepela i šljake bivše termoelektrane u Kaštelanskom zaljevu u dvorištu bivše tvornice Jugovinil
- 4) Lokacije na kojima se obavlja eksploatacija nafte i plina ili lokacije na kojima se obavlja čišćenje cijevi korištenih za pridobivanje nafte i plina (Veinović et al., 2022).

Termoelektrana Plomin nalazi se u Istri, na kraju Plominskog zaljeva. Postrojenje Plomin I u radu je od 1970. godine (slika 2-2). U početku rada se za dobivanje električne energije koristio domaći ugljen (antracit) iz istarskih ugljenokopa, te lignit i smeđi ugljen iz Bosne i Hercegovine. Navedeni ugljeni sadrže povećanu koncentraciju radionuklida i sumpora te njihovim izgaranjem u postrojenju nastaje pepeo i šljaka povećane radioaktivnosti. Odlagalište pepela i šljake je pod stalnim nadzorom Instituta za medicinska istraživanja i medicinu rada čiji članak tvrdi da je „Početkom rada TE Pogona I odlagalište pepela i šljake bilo je smješteno blizu termoelektrane, u maloj uvali, kao hrpa otpada koji se sakuplja

tijekom rutinske operacije. Kasnije je preko odlagališta, kao i na stranama, postavljen pokrov od geosintetičkog materijala, te prekriveni slojem zemlje debljine 40 - 60 cm i trava je posijana preko svega. Izgrađeni su kanal za odvod oborinske vode i taložni tank, a oko cijelog odlagališta postavljena je žičana mreža." (Kovač i Marović, 2008).



Slika 2-2. Plomin I i odlagalište pepela i šljake (HEP d.o.o.)

Tvornica Petrokemija d.d. nalazi se u Kutini (slika 2-3). Tvornica ,uz ostale proizvode, proizvodi fosfatna mineralna gnojiva. Prilikom proizvodnje fosfatnih mineralnih gnojiva nastaje fosfogips kao otpadni materijal proizvodnog procesa. Fosfogips se odlaže na odlagalište. Za proizvodnju fosfatnih mineralnih gnojiva koristi se ruda bogata fosforom koja ima povišenu prirodnu radioaktivnost. Proizvodnim procesom većina radionuklida ostaje koncentrirana u fosfogipsu. Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada obavlja kontrolu radioaktivnosti na odlagalištu i oko odlagališta kako bi se na vrijeme uočilo možebitno prodiranje radionuklida u okoliš (Bituh, 2012).



Slika 2-3. Lokacija postrojenja tvornice Petrokemija d.d. i odlagališta fosfogipsa (Petrokemija d.d.)

U Republici Hrvatskoj nafta se pridobiva na području panonskog bazena, a na području Jadranskog mora pridobiva se prirodni plin (Kišić, 2015). Prilikom eksploatacije nafte i prirodnog plina postoji mogućnost dovođenja u kontakt alata koji se koriste za eksploataciju i radioaktivnih materijala koji se nalaze pod zemljom, u stijenskoj masi ili u ležištima ugljikovodika. Radionuklidi se najčešće nakupljaju kao talog na cijevima korištenima za eksploataciju (slika 2-4). Takav talog, ne samo što smanjuje promjer cijevi i smanjuje protok kroz cijev, nego također može sadržavati radionuklide. Cijevi kontaminirane talogom koji sadrži povećane razine radionuklida karakteriziraju se kao rezidui i potrebno ih je odlagati na pravilan i zakonski propisan način.

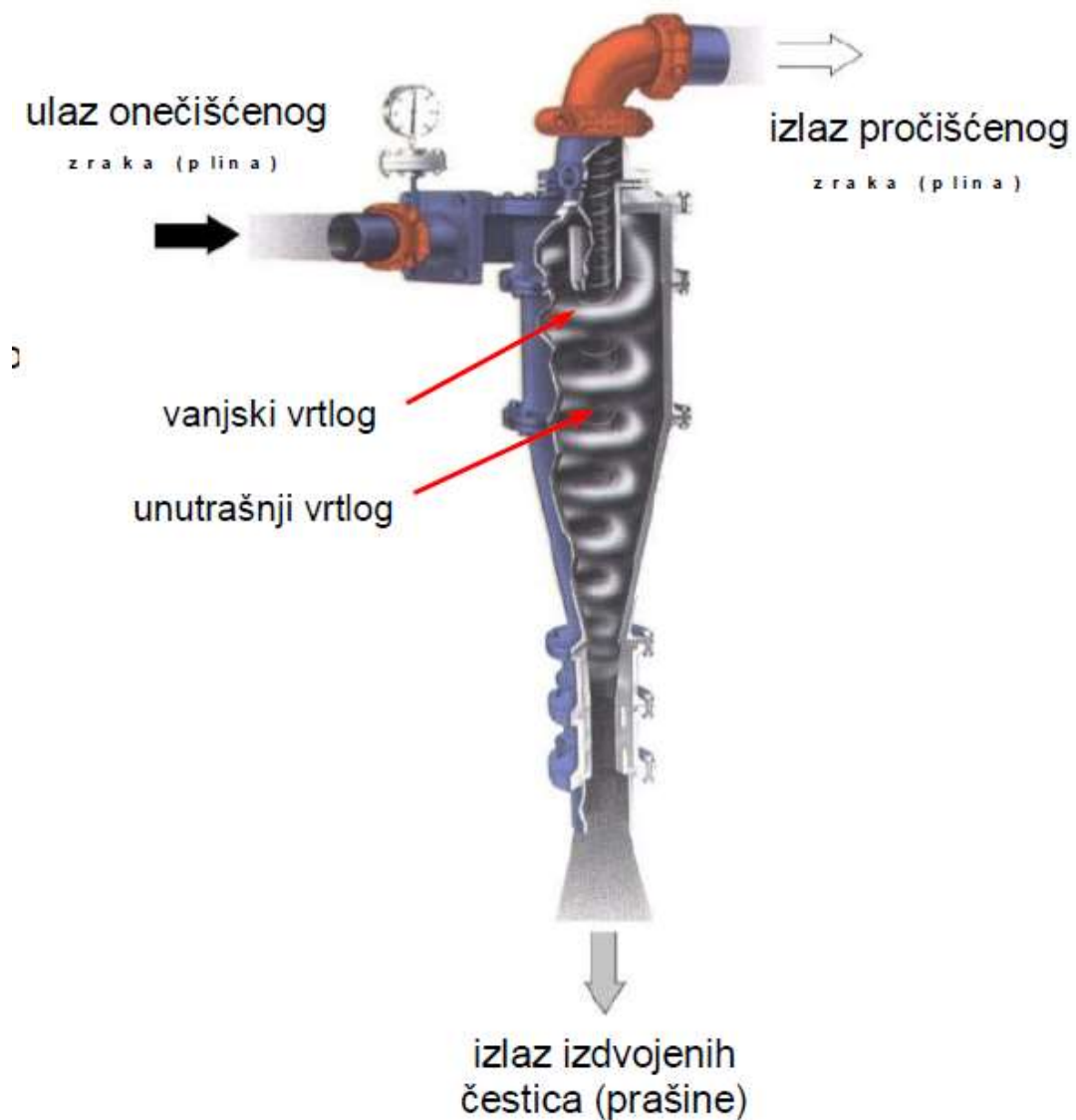


Slika 2-4. Cijev za eksploataciju nafte i plina s naslagama (www.kamat.de)

2.3. Pepeo iz termoelektrane na ugljen

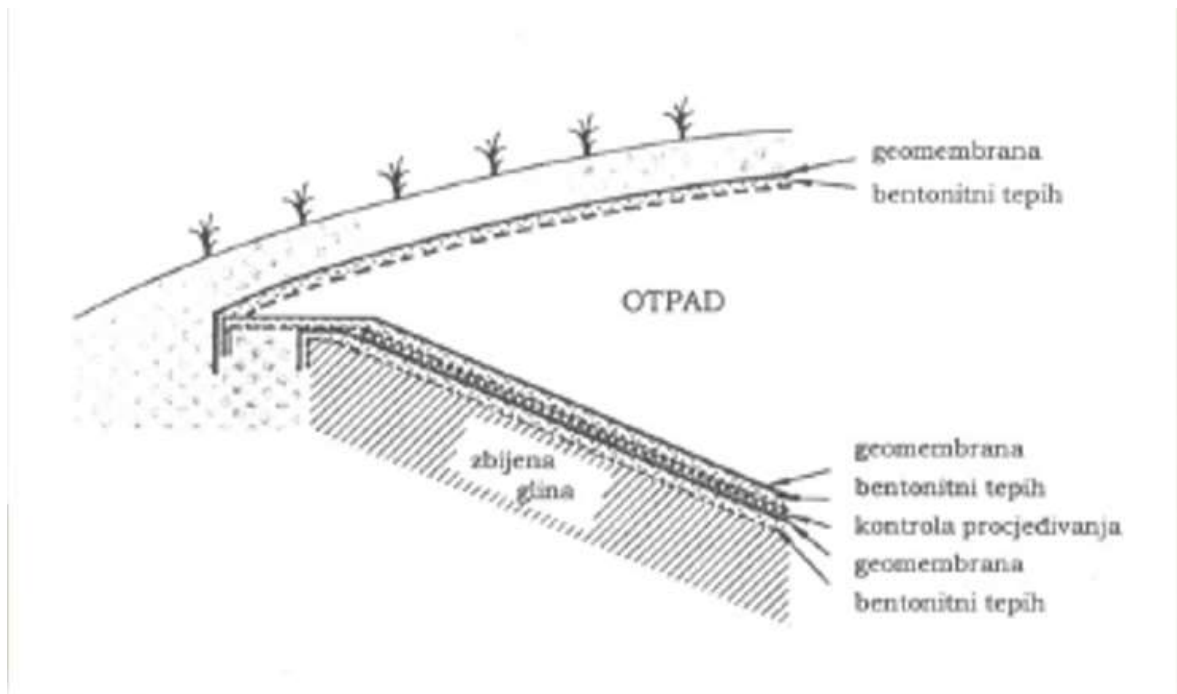
Spaljivanjem ugljena koji prirodno sadrži radionuklide u svome sastavu, dobiva se pepeo koji sadrži povećane koncentracije radionuklida, te ga kao takvog možemo smatrati kao rezidui i potrebno ga je skladištiti i odlagati na zakonom propisan način. Marović i Bauman (1986) kažu kako je kod rada termoelektrana na ugljen, količina raspršene radioaktivnosti veća nego kod rada nuklearnih elektrana. Pošto su produkti izgaranja ugljena dim i pepeo, radionuklidi će se sasvim sigurno nalaziti i u dimu i u pepelu. Odgovarajućim modernim tehnologijama filtriranja otpadnih plinova iz termoelektrana, udio radionuklida u otpadnom plinu može biti smanjen za 99,5% (Marović i Bauman, 1986). Pošto se radionuklidi često nalaze vezani za krute čestice te se pomoću krutih čestica raspršuju u zrak, uklanjanjem krutih čestica iz produkata izgaranja može se znatno smanjiti sadržaj radionuklida u otpadnim plinovima termoelektrana na ugljen. U današnje vrijeme koriste se razne kombinacije uređaja kako bi se postigli odgovarajući rezultati pročišćivanja. Gotovo uvijek

se kao prethodni uređaji u sustavima pročišćavanja plinova koriste gravitacijski taložnici. Njihova svrha je odvojiti krute čestice iz struje otpadnih plinova koje imaju promjer veći od 50 μm . Zatim se koriste aerocikloni koji su najviše primjenjivani uređaji u svrhu pročišćavanja otpadnih plinova (slika 2-5). Oni su namijenjeni za izdvajanje čestica promjera većeg od 5 μm . Kao zadnji stupanj pročišćavanja koriste se mokri kolektori. Mokri kolektori imaju mogućnost uklanjanja najsitnijih čestica iz otpadnih plinova, promjera manjeg od 10 μm i plinovitih onečišćujućih tvari iz otpadnih plinova kao naprimjer SO_2 .



Slika 2-5. Shematski prikaz aerociklona (Sobota, 2021)

Međutim, isti ti uređaji na sebi zadržavaju koncentrirane radioaktivne tvari, stoga ih možemo svrstati u kategoriju rezidua i moramo ih zbrinuti na propisan način. Pepeo se najčešće odlaže u blizini termoelektrana na odlagalištima. Konstrukcija odlagališta pepela mora onemogućiti oborinskim vodama da dođu u kontakt s pepelom, onemogućiti raznošenje pepela djelovanjem vjetra i onemogućiti da pepeo dođe u direktan kontakt s podzemnim vodama. To se postiže izgradnjom temeljnog brtvenog sloja, koji se izrađuje od gline i geosintetika (najčešće geomembrane) i pokrovnog brtvenog sloja koji se izgrađuje od istih materijala (slika 2-6). Odlagalište mora sadržavati drenažni sloj, sustav kanala i spremnike za odvodnju i sakupljanje oborinske vode, koja bi u slučaju da dođe u tijelo odlagališta mogla negativno djelovati na kvalitetu okoliša ili na samo odlagalište.



Slika 2-6. Prikaz presjeka odlagališta s brtvenim slojevima (Veinović, 2021)

3. PRIMJENA GIS TEHNOLOGIJE

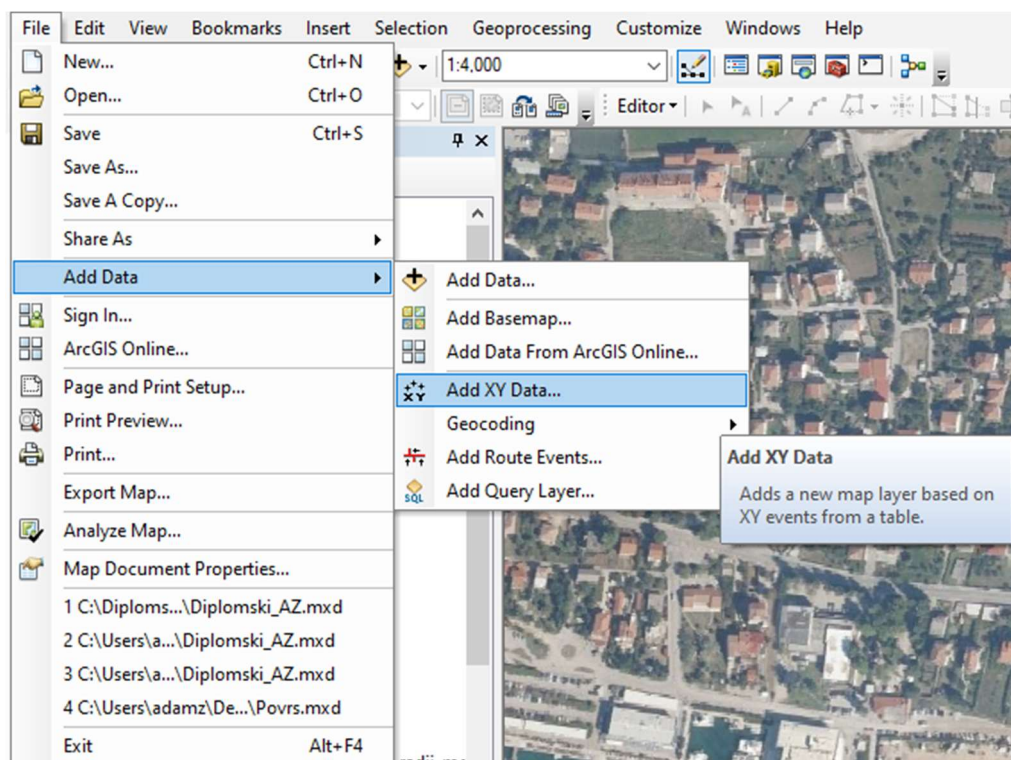
Za potrebe ovog rada korištena je GIS tehnologija kako bi se kartirali i prostorno prikazali podaci dobiveni mjerenjem na lokaciji odlagališta pepela i šljake termoelektrane tvornice jugo-vinil u Kaštelima. Korišten je računalni program *ArcMap* 10.8.1. Podaci koji su korišteni u radu dobiveni su u obliku *Excel* tablice od instituta za medicinska istraživanja. Na lokaciji na kojoj se radi istraživanje mjerenja su izvođena na odabranim točkama čije su koordinate navedene u tablicama. Koordinate točaka su potrebne kako bi se podaci mogli prikazati u *ArcMapu* i dobiti zadovoljavajući rezultati na karti. Za svaku točku su rađena razna mjerenja od kojih će se samo pojedina koristiti u ovom radu. U radu će biti prikazane brzine doza, koncentracije radija i radona, koncentracije metala u tlu kao što su krom, bakar, cink, olovo i ostali. Područje na kojem je vršeno mjerenje podijeljeno je na 5 zona. Podaci o zonama su dobiveni u *CAD* formatu te su pomoću programa *AutoCAD* obrubljene zone, te su prebačeni u *ArcMap* i u njemu prikazani kao poligoni (slika 3-1).



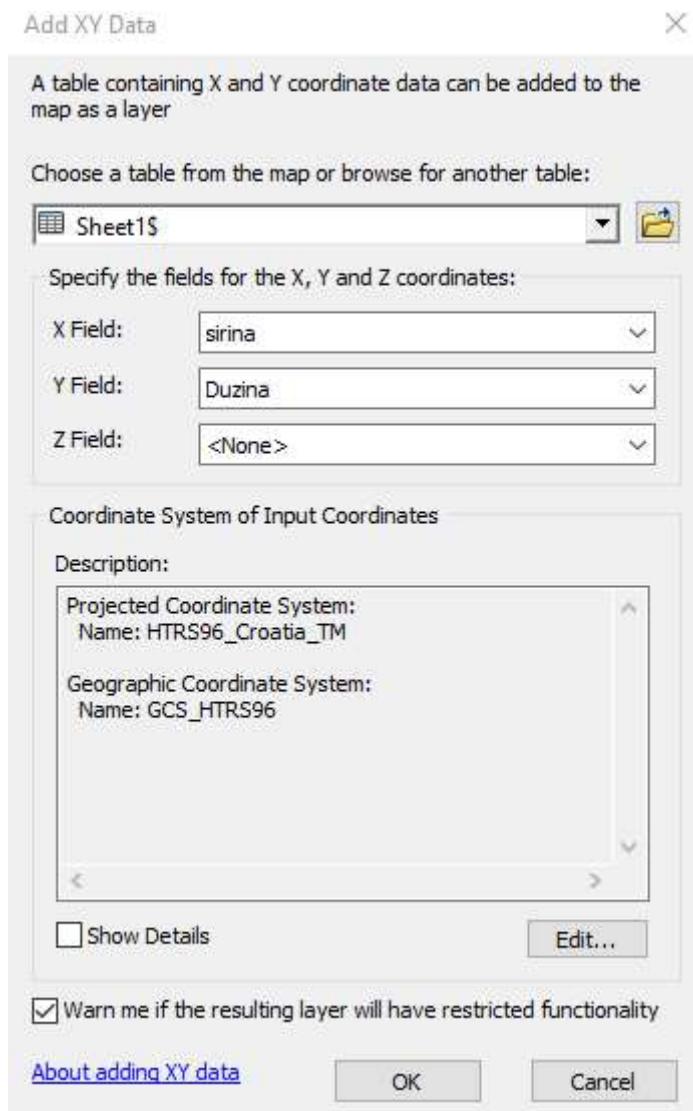
Slika 3-1. Lokacija zahvata s prikazom zona u obliku poligona (*ArcMap*)

Zone su nazvane A (žuta boja), B (plava boja), C (ružičasta boja), D (zelena boja) i četiri poligona modro plave boje nazvana su „More”. U zoni A se nalazi lokacija stare deponije rudne jalovine s povećanom prirodnom radioaktivnošću. Zona B je lokacije koja je namjenski nasipavana šljakom, pepelom i ostalim građevinskim materijalima s prostora SFRJ tijekom 70-ih i 80-ih godina prošlog stoljeća. U zoni C se nalazi lokacija koja je nastala sanacijom odlagalište pepela i šljake iz zone A. Zona D je taložnica i od posebnog je interesa za istraživanje jer se na toj lokaciji skladištio pepeo i šljaka dobiveni iz ugljena korištenog u termoelektrani. Zona more je obrađena kako bi se utvrdilo ima li u moru pokraj lokacije štetnih učinaka i kako bi se utvrdile koncentracije radionuklida (Prlić, 2011).

Kako bi se u *ArcMap*-u mogle povezati lokacije zahvata sa stvarnim položajem na karti i iste prikazati, potrebno je u program učitati topografske i ortofoto karte. Karte su preuzete s *Geoportala*. Da bi se započelo raditi s podacima iz excela u *ArcMap*-u, potrebno je podatke u tablicama prilagoditi za rad u programu postavljanjem rezultata mjerenja u decimalni oblik, uklanjanjem razmaka u tekstualnom dijelu i uređivanjem tablica. Za rad u programu napravljene su 2 zasebne *excel* tablice s podacima. Prva tablica sadrži podatke o brzinama doza, a druga podatke o koncentracijama radona, radija i teških metala. Tablicu je potrebno pretvoriti u *.xls* oblik kako bi ju program mogao otvoriti. Zatim se tablice učitavaju u program pomoću naredbe *Add XY Data* (slika 3-2) koja se može pronaći pod *File>Add Data>Add XY Data* (slika 3-3).



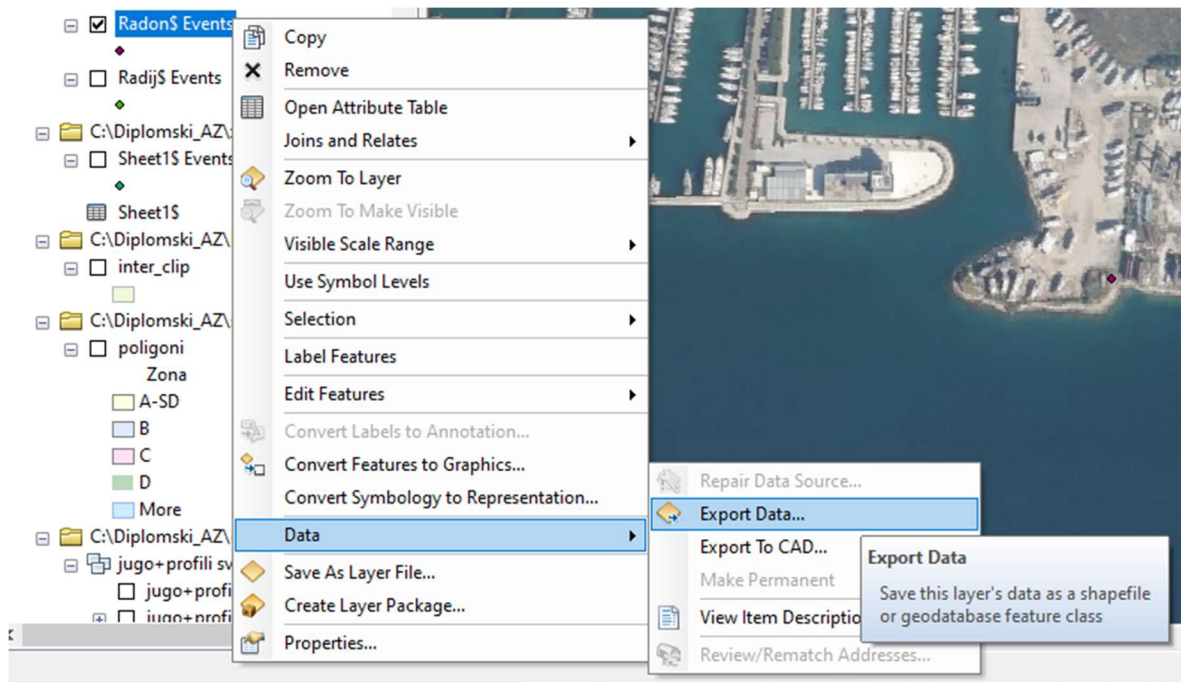
Slika 3-2. Dodavanje tablica iz *Excela* (*ArcMap*)



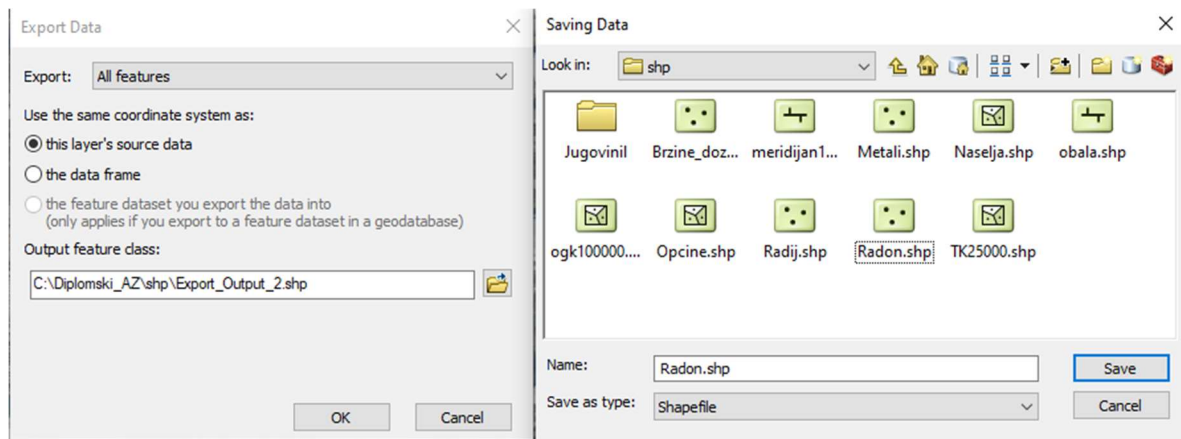
Slika 3-3. *Add XY data (ArcMap)*

Prilikom dodavanja tablica potrebno je pod „*X field*“ postaviti kolonu širina koja predstavlja geografsku širinu točaka mjerenja, a pod „*Y field*“ kolonu dužina koja predstavlja geografsku dužinu točaka mjerenja. „*Z field*“ ostavljamo prazan. Koordinatni sistem se namješta na *MGI_Balkans 5* jer su koordinate mjerenja označene u tom sustavu i karte u programu *ArcMap* su namještene u *MGI_Balkans_5*.

Nakon što su tablice dodane u program, potrebno ih je pretvoriti u *Shape file* u obliku .shp te ih kao takve spremiti kako bi program mogao raditi s tim podacima. To je rađeno na način da se učitana *excel* tablica otvori desnim klikom miša, zatim se klikne „*Data> Export Data*“. (slika 3-4). Potrebno je odabrati mapu shp i spremiti *shapefile* unutra kako bi ju program mogao pronaći prilikom rada (slika 3-5).

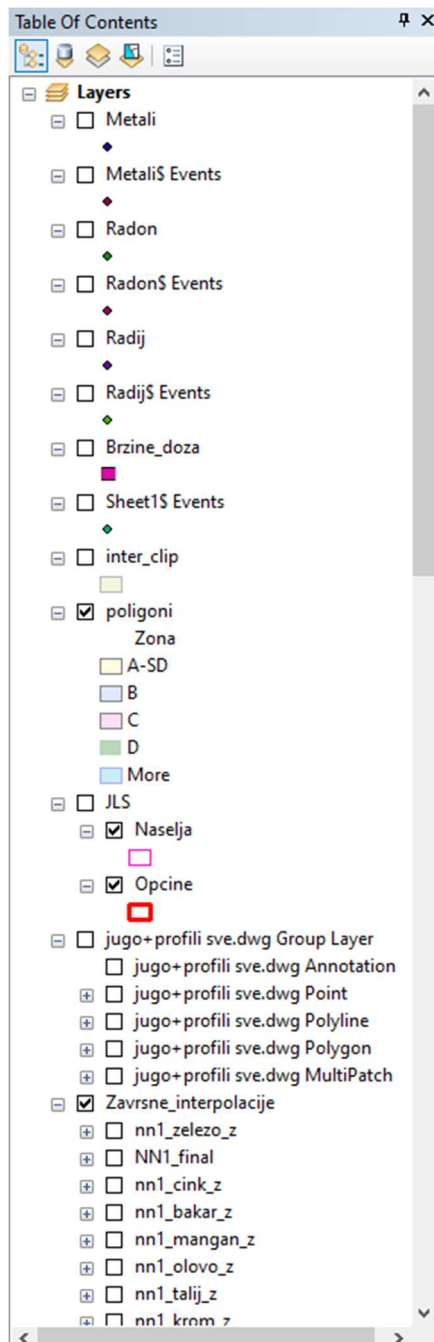


Slika 3-4. Pretvaranje tablica u *shapefile* (ArcMap)



Slika 3-5. Spremanje podataka u mapu shp (ArcMap)

Napravljeni *shapefile*-ovi prikazani su kao slojevi u tablici sadržaja (eng. *Table of Contents*) (slika 3-6). Tamo se može uključiti ili isključiti njihova vidljivost. Kada su uključeni, prikazuju točke mjerenja na karti (slika 3-7).

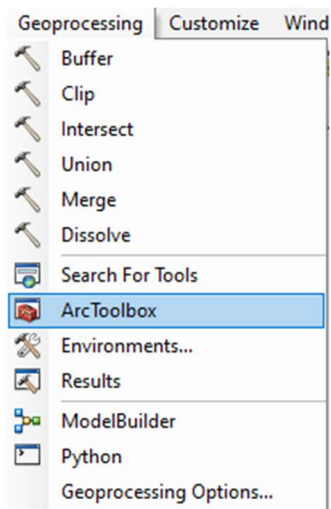


Slika 3-6. Prikaz slojeva (ArcMap)

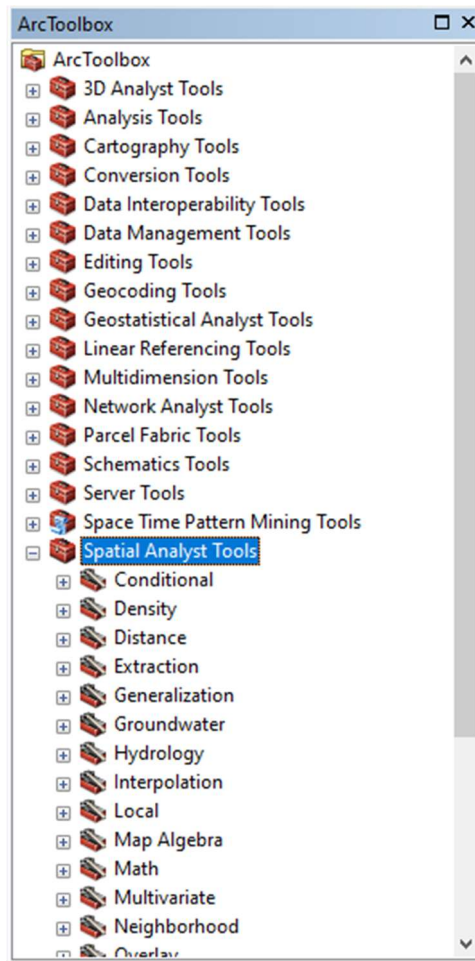


Slika 3-7. Prikaz točaka mjerenja (*ArcMap*)

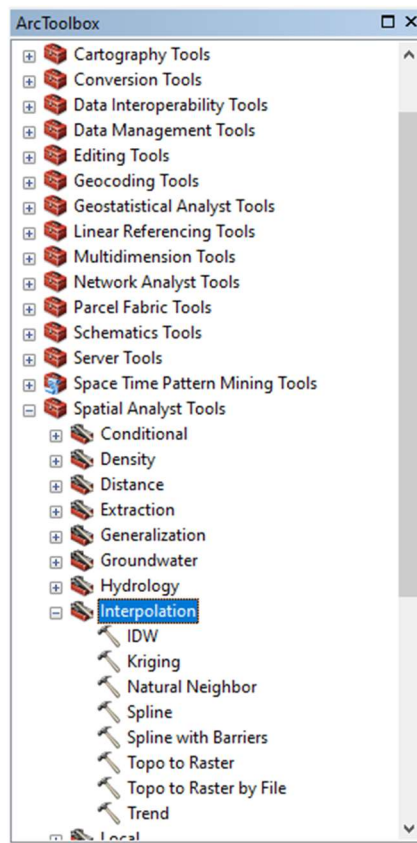
Sljedeći korak je izrada interpolacijske karte s podacima iz tablice. Interpolirani su podaci o brzinama doza (nGy/h), koncentracijama radona i radija i koncentracijama teških metala u točkama mjerenja. Interpolacija je napravljena na način da se pronade izbornik *Geoprocessing* i u njemu odabere opcija *ArcToolbox* (slika 3-8). Kada se otvori *ArcToolbox* potrebno je odabrati *Spatial Analyst Tools* kao što je prikazano na slici 3-9., zatim je potrebno odabrati opciju *Interpolation* i metodu *Natural Neighbor* (slika 3-10).



Slika 3-8. *Geoprocessing* (*ArcMap*)

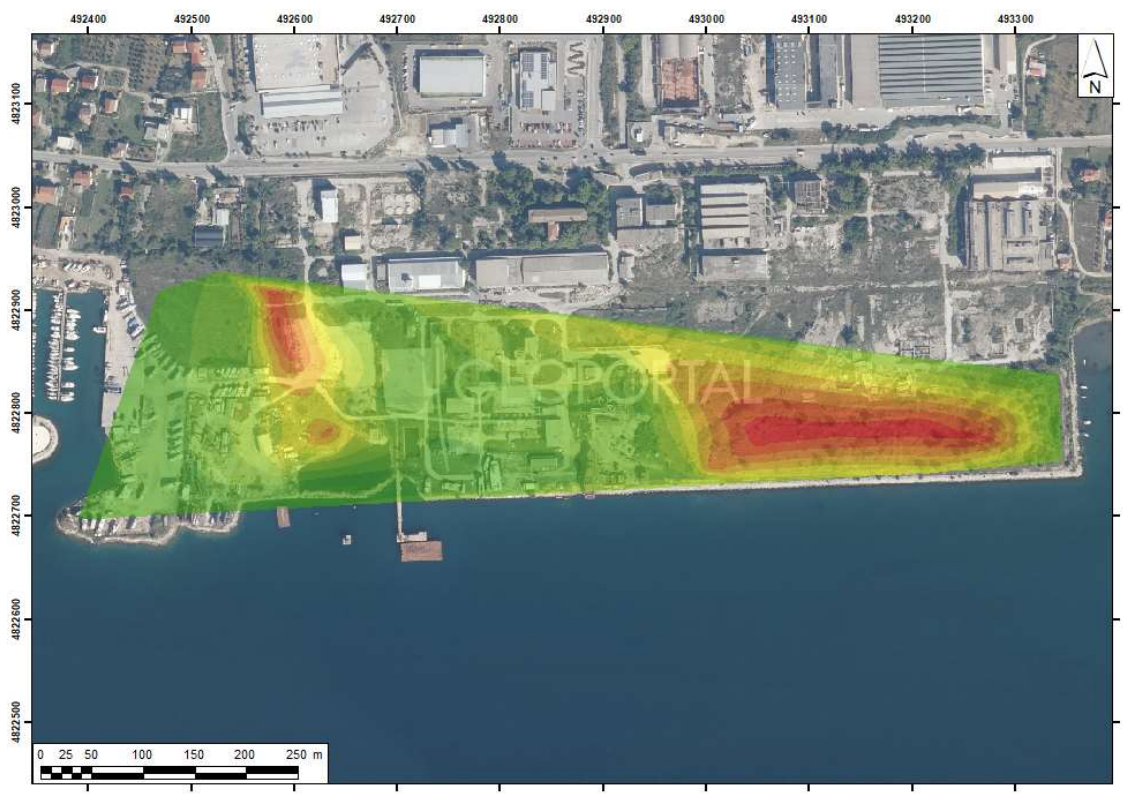


Slika 3-9. *Spatial Analyst (ArcMap)*



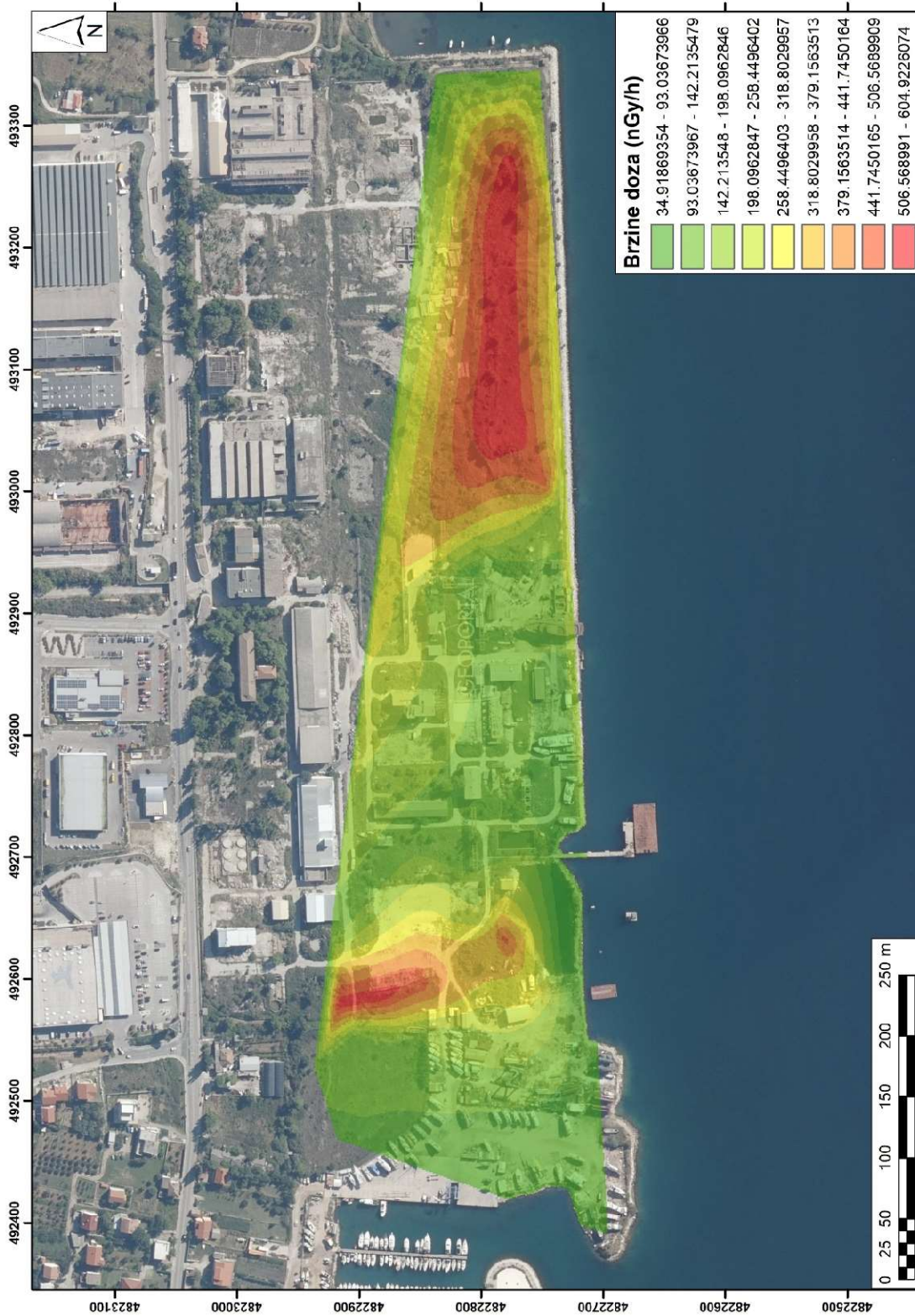
Slika 3-10. Interpolacija (*ArcMap*)

Interpolacijom su dobivene karte kao na slici 3-11.

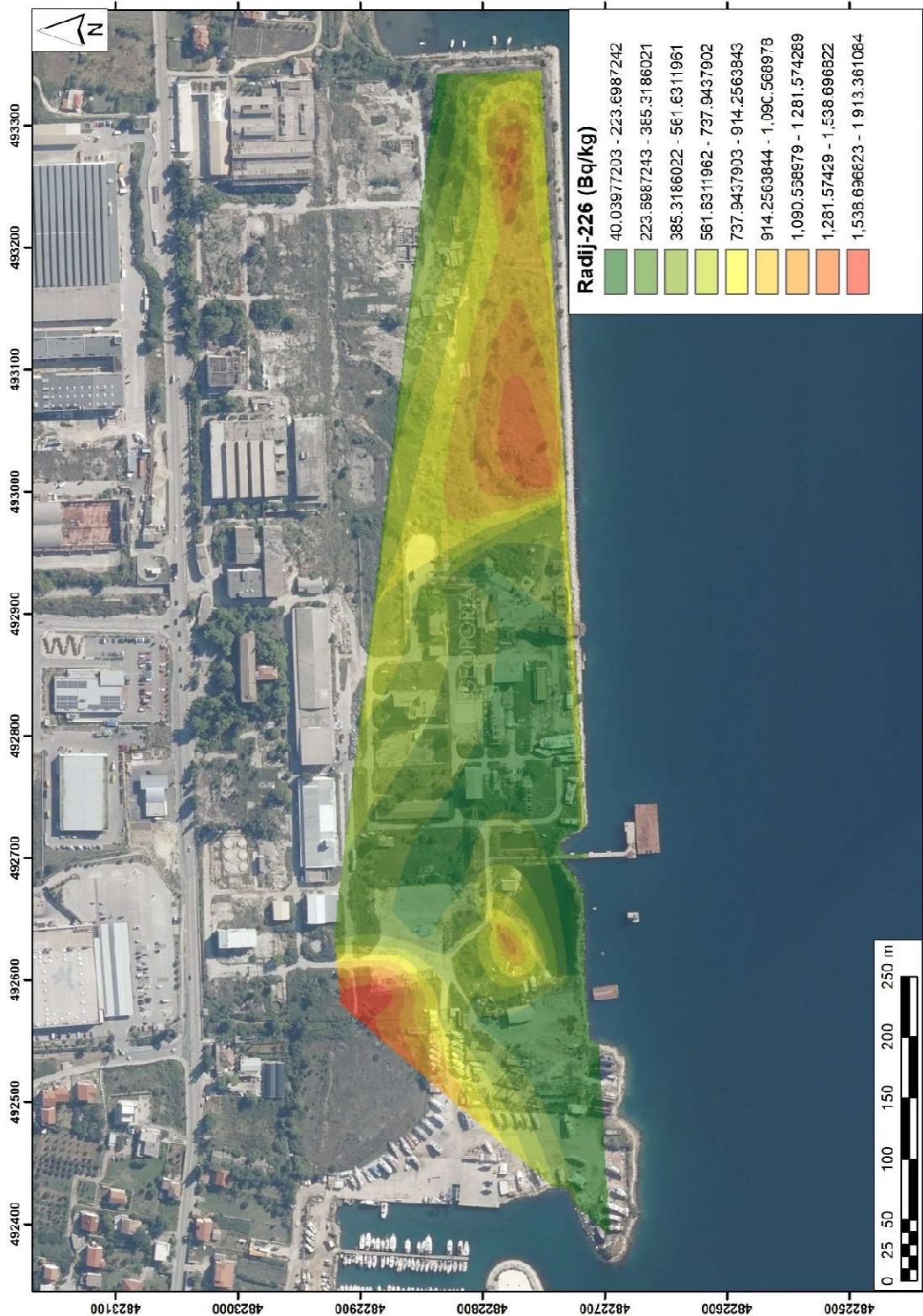


Slika 3-11. Interpolacija, prvi korak (*ArcMap*)

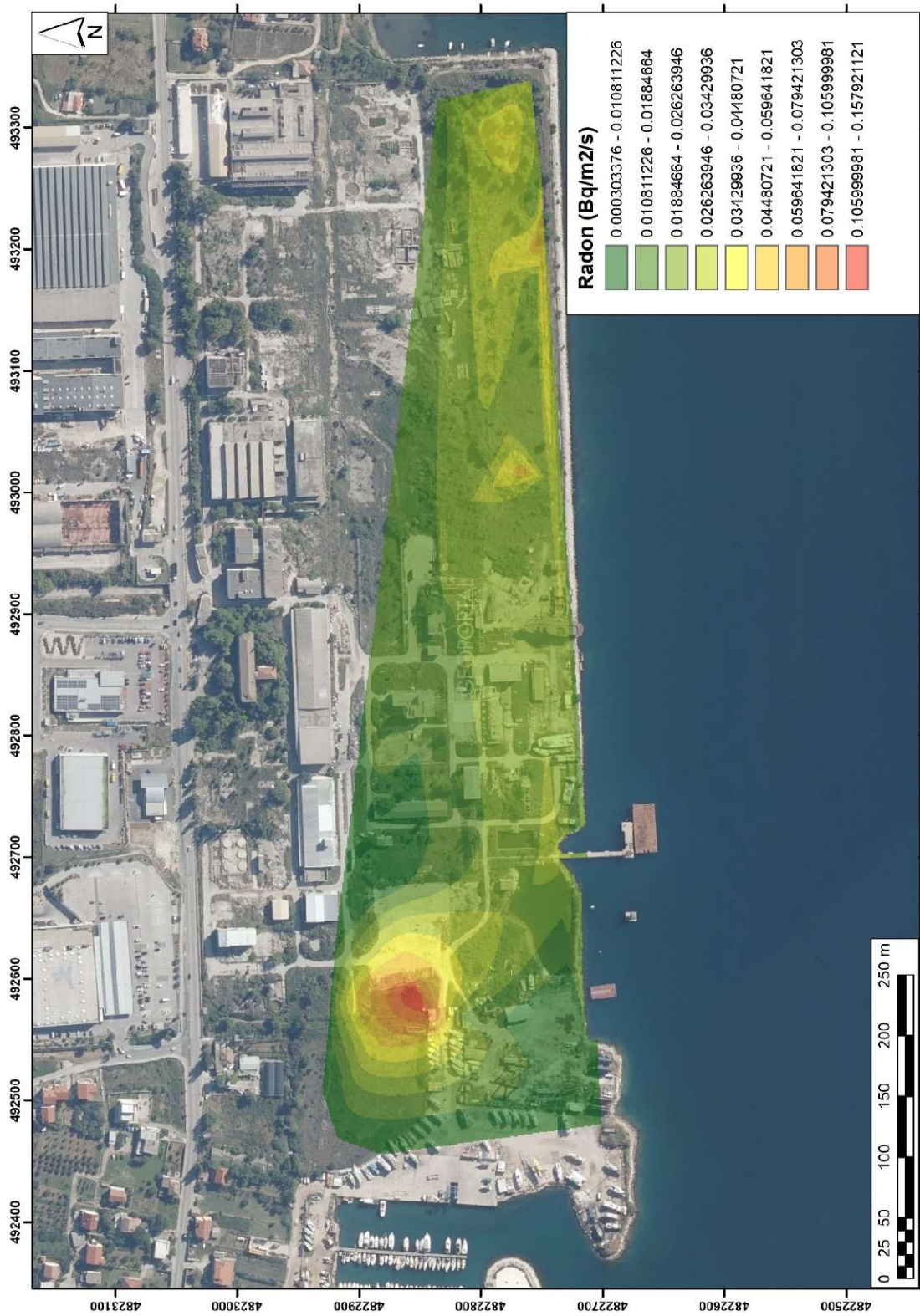
Dobiveno područje interpolacije potrebno je dodatno ograničiti jer su vršena mjerenja koja su pokazala da je prisutnost radionuklida i teških metala u moru negativna. Za granicu je uzeta morska obala. Orezivanje interpoliranog područja je izrađeno u nekoliko koraka. Pošto se interpolacijski *grid* ne može uređivati i orezivati u programu *ArcMap*, potrebno ga je prvo pretvoriti u poligon, a da bi to bilo moguće mora se prebaciti iz *Floating point grida* u *Integer*. To se radi pomoću alata *Int* zatim se nastali *raster* pomoću alata *Raster to polygon* pretvori u poligon te se kao takav spremi kao *shapefile*. Alat je napravio nekoliko desetaka tisuća poligona koje je potrebno združiti u uniju pomoću alata *Union* koji se nalazi u *Editor toolbaru*. Sljedeće je potrebno koristiti alat *Cut polygons tools* kako bi se izrezali neželjeni dijelovi poligona. Posljednje se koristi alat *Extract by mask* koji omogućava da interpolacijski *grid* bude orezan prema napravljenom poligonu u prošlom koraku. Na dobivene karte potrebno je postaviti kartografske elemente. Postavljeni su prikaz sjevera, traka mjerila, prikaz geografske širine i visine i legenda. Prikaz izrezanih interpolacijskih područja s kartografskim elementima može se vidjeti na slikama 3-12 do 3-24. Navedene slike su ujedno i završne karte koji prikazuju raspodjelu koncentracija obrađenih elemenata i izotopa te brzina doza na području tvornice Jugovinil u Kaštelima.



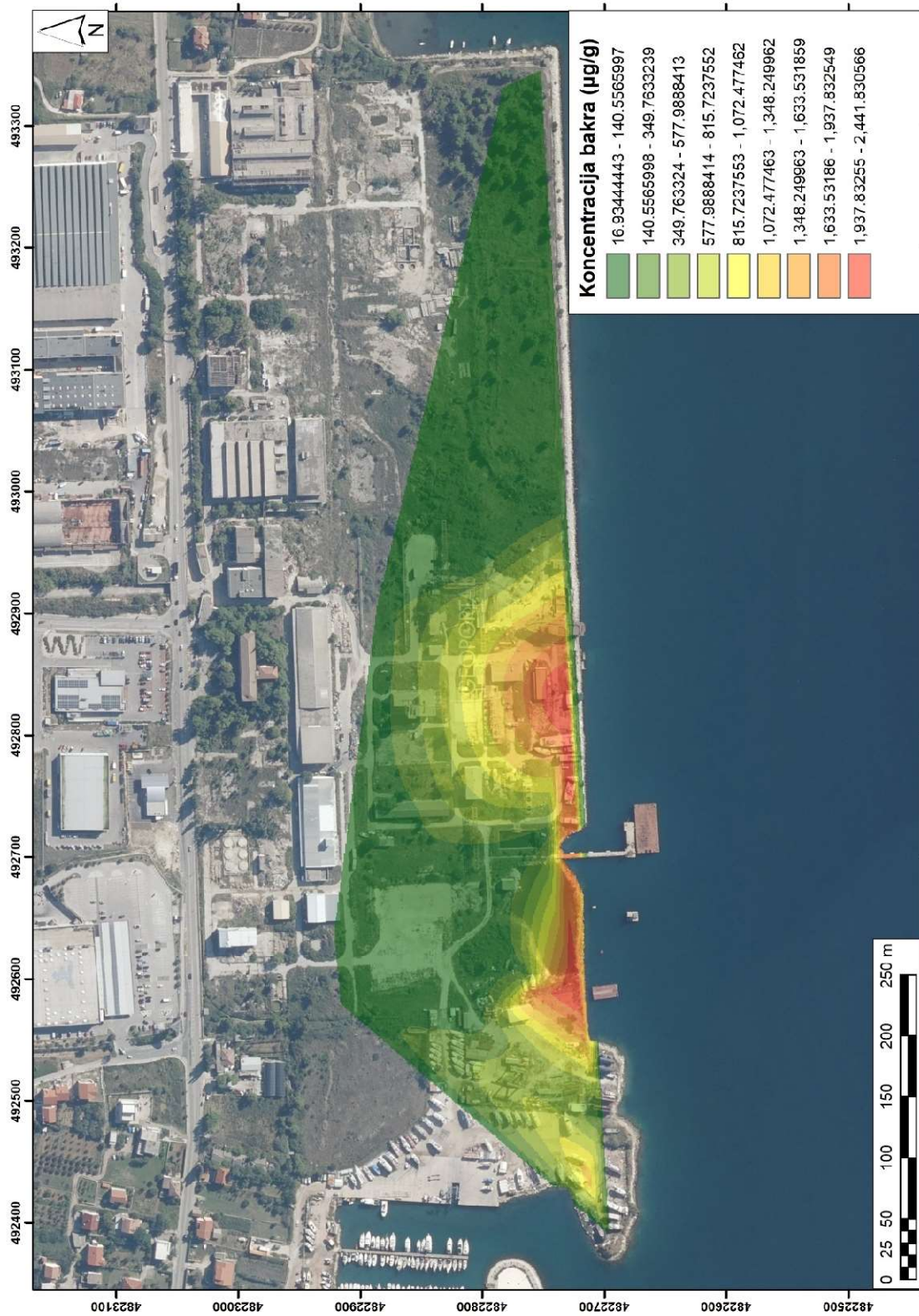
Slika 3-12. Interpolacijska karta brzina doza



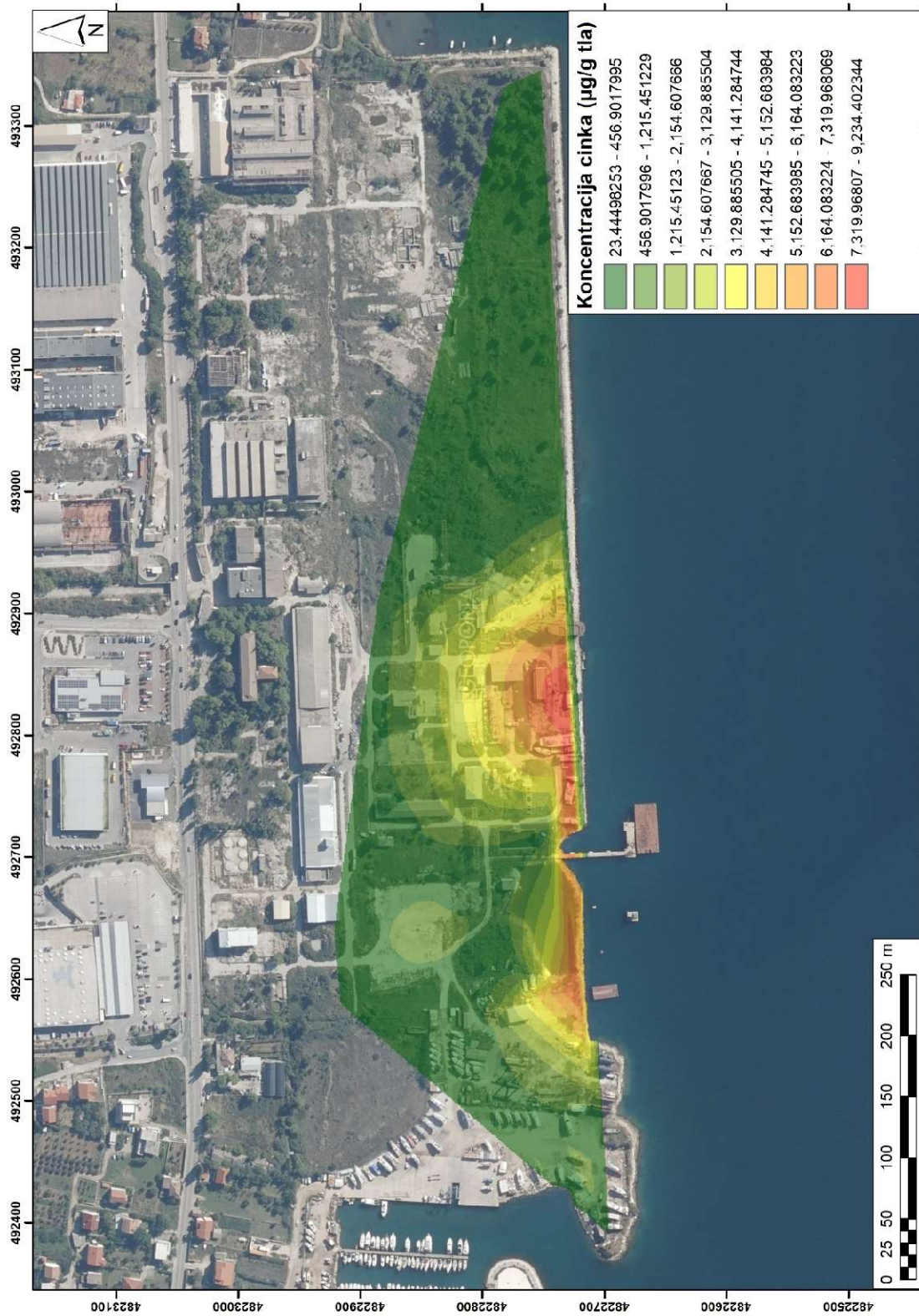
Slika 3-13. Interpolacijska karta koncentracije radija



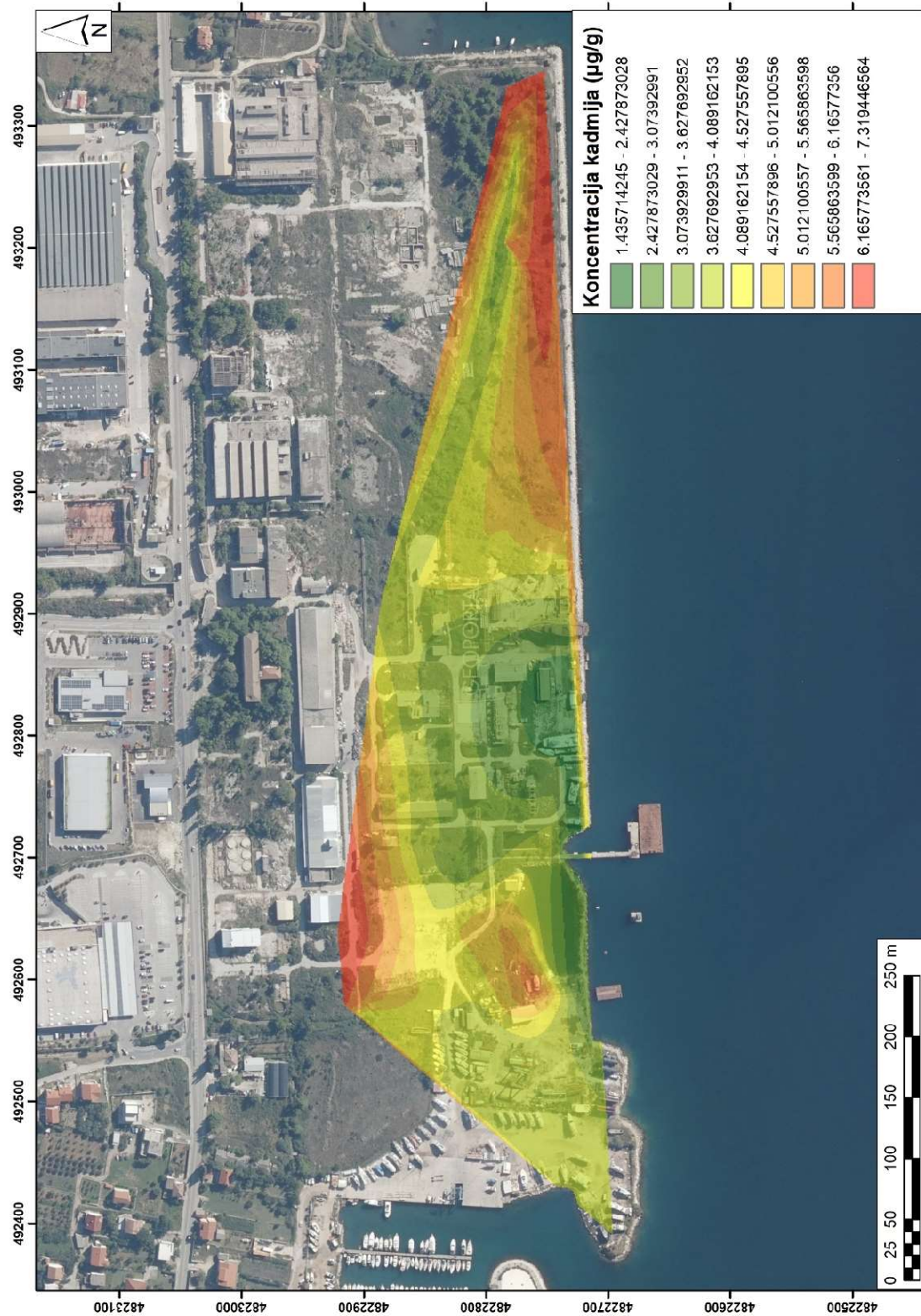
Slika 3-14. Interpolacijska karta koncentracije radona



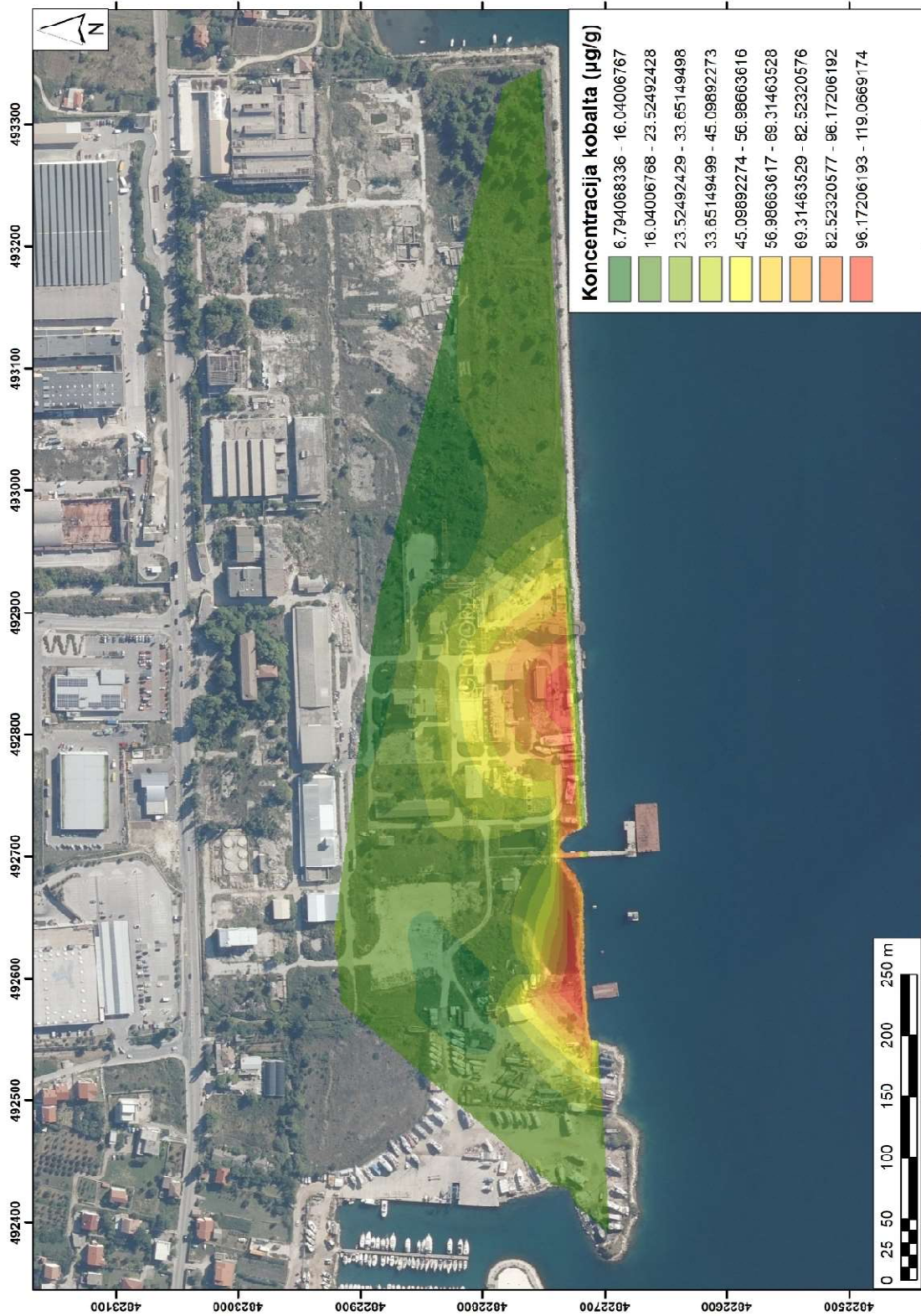
Slika 3-15. Interpolacijska karta koncentracije bakra



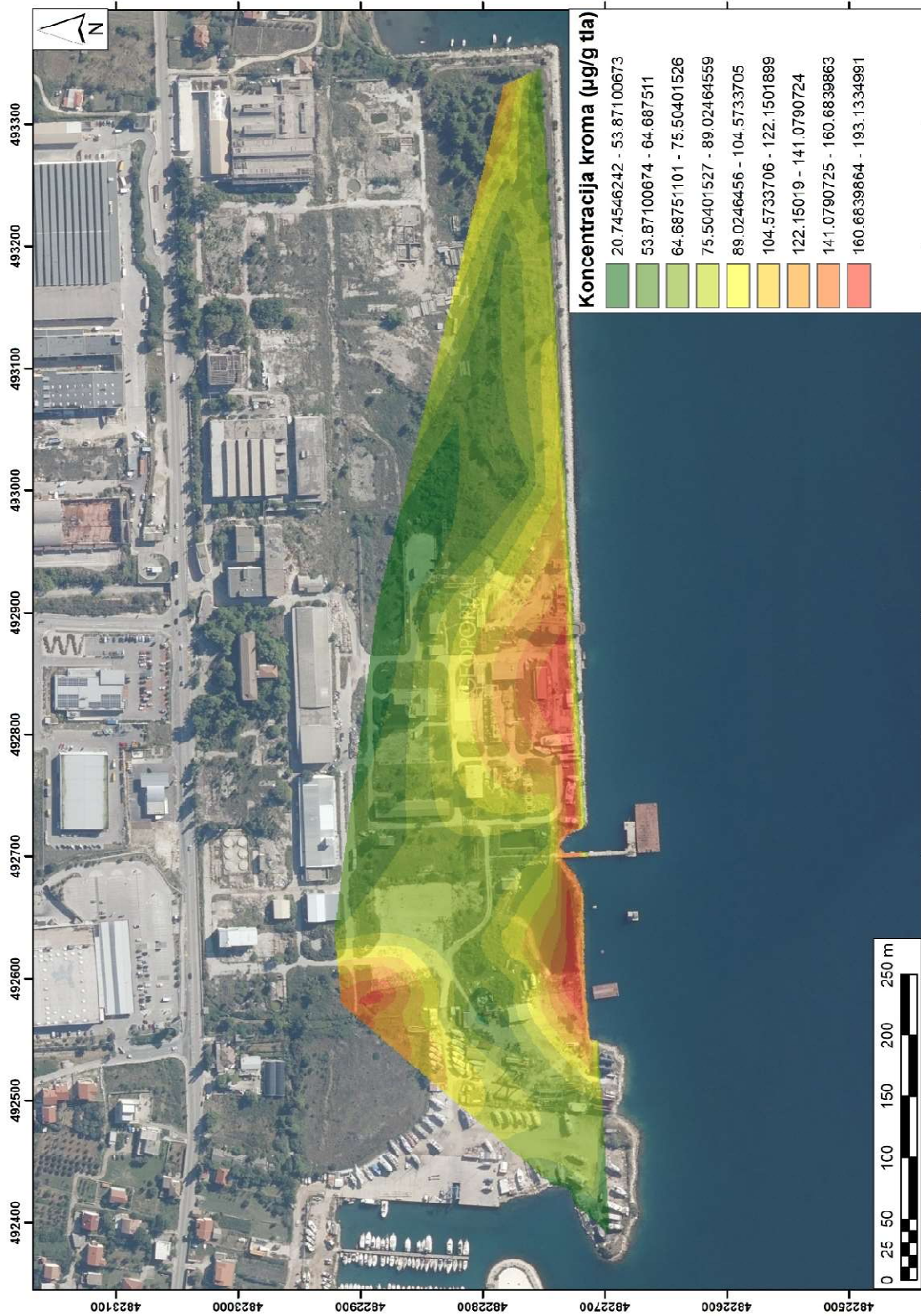
Slika 3-16. Interpolacijska karta koncentracije cinka



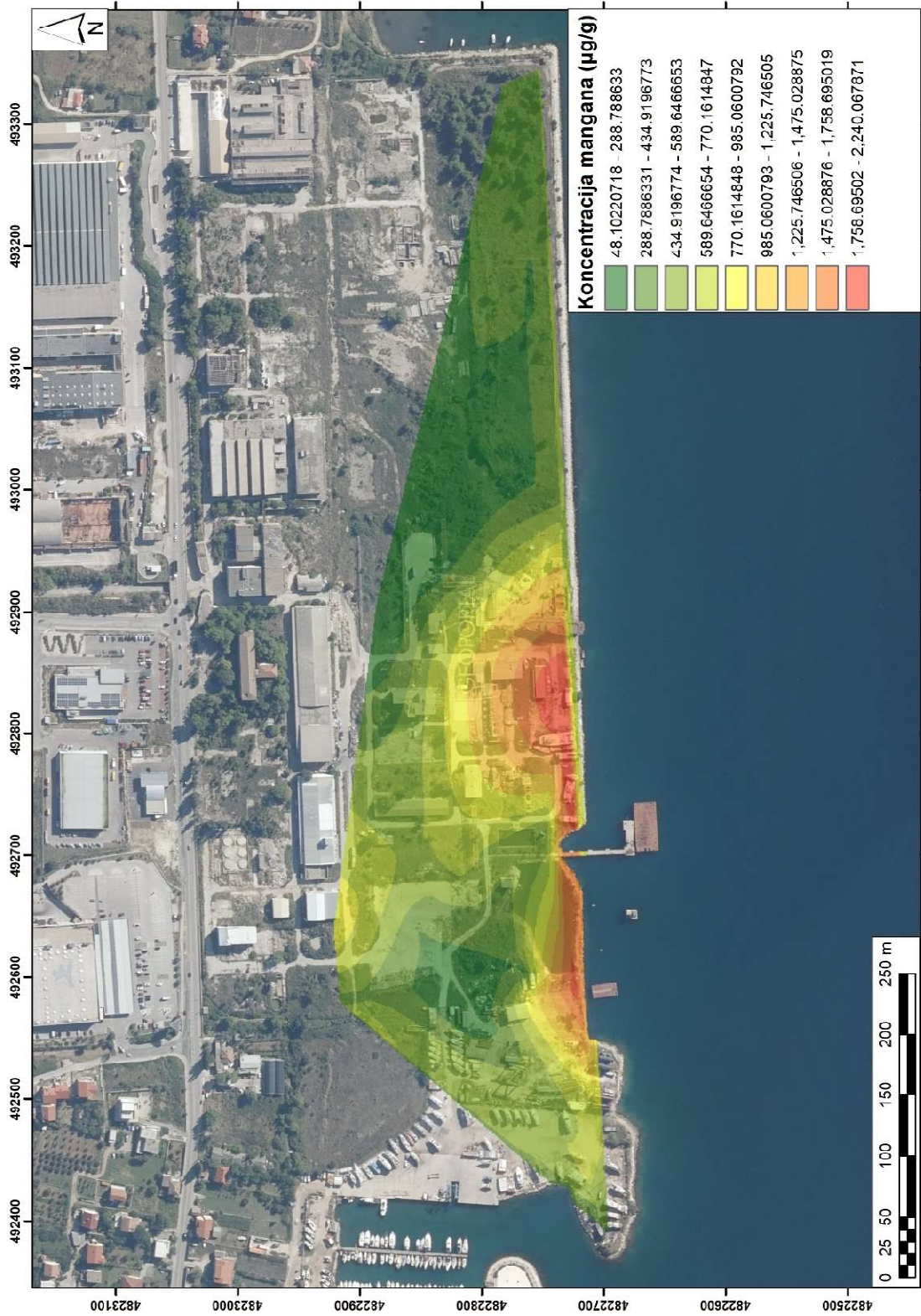
Slika 3-17. Interpolacijska karta koncentracije kadmija



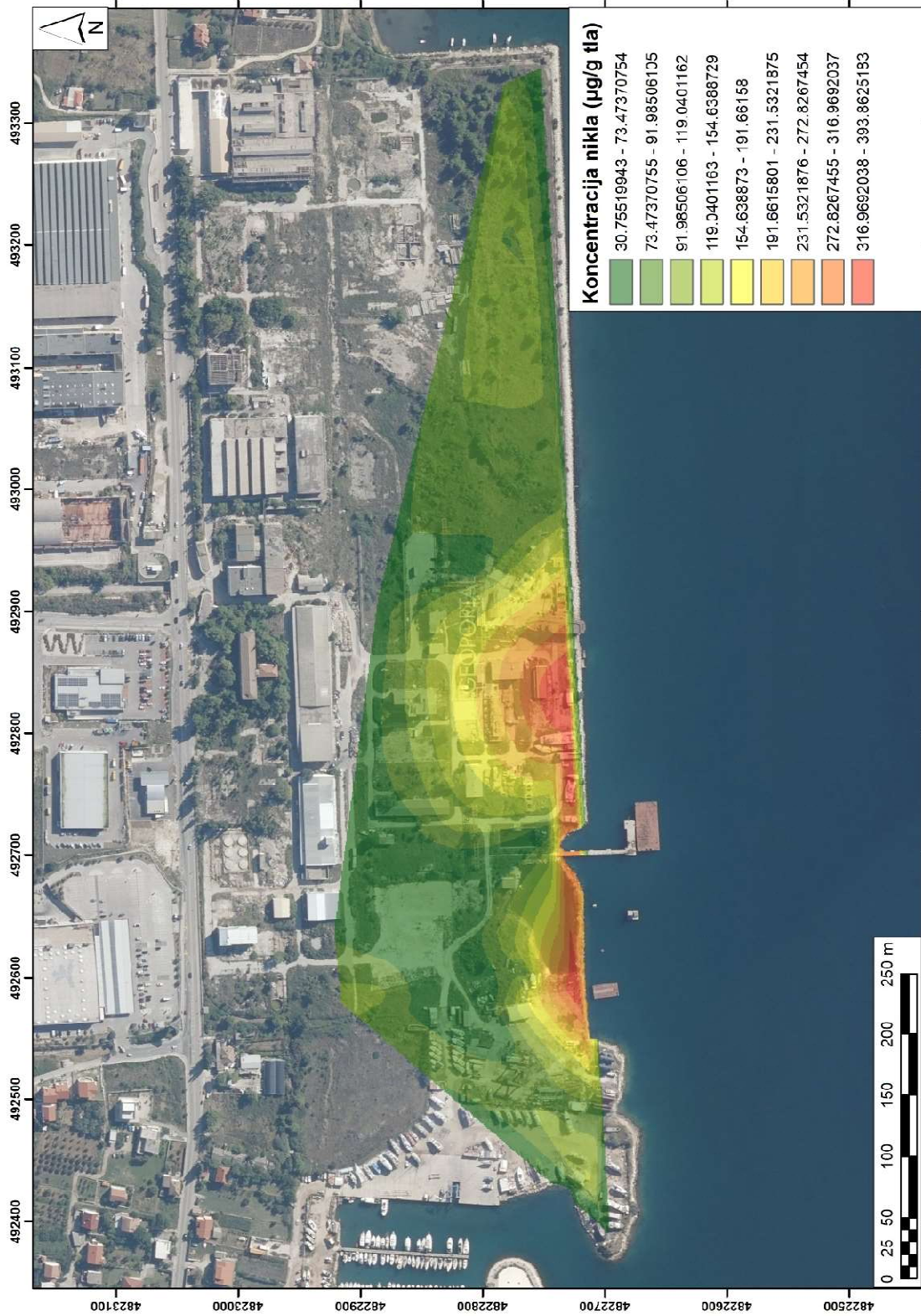
Slika 3-18. Interpolacijska karta koncentracije kobalta



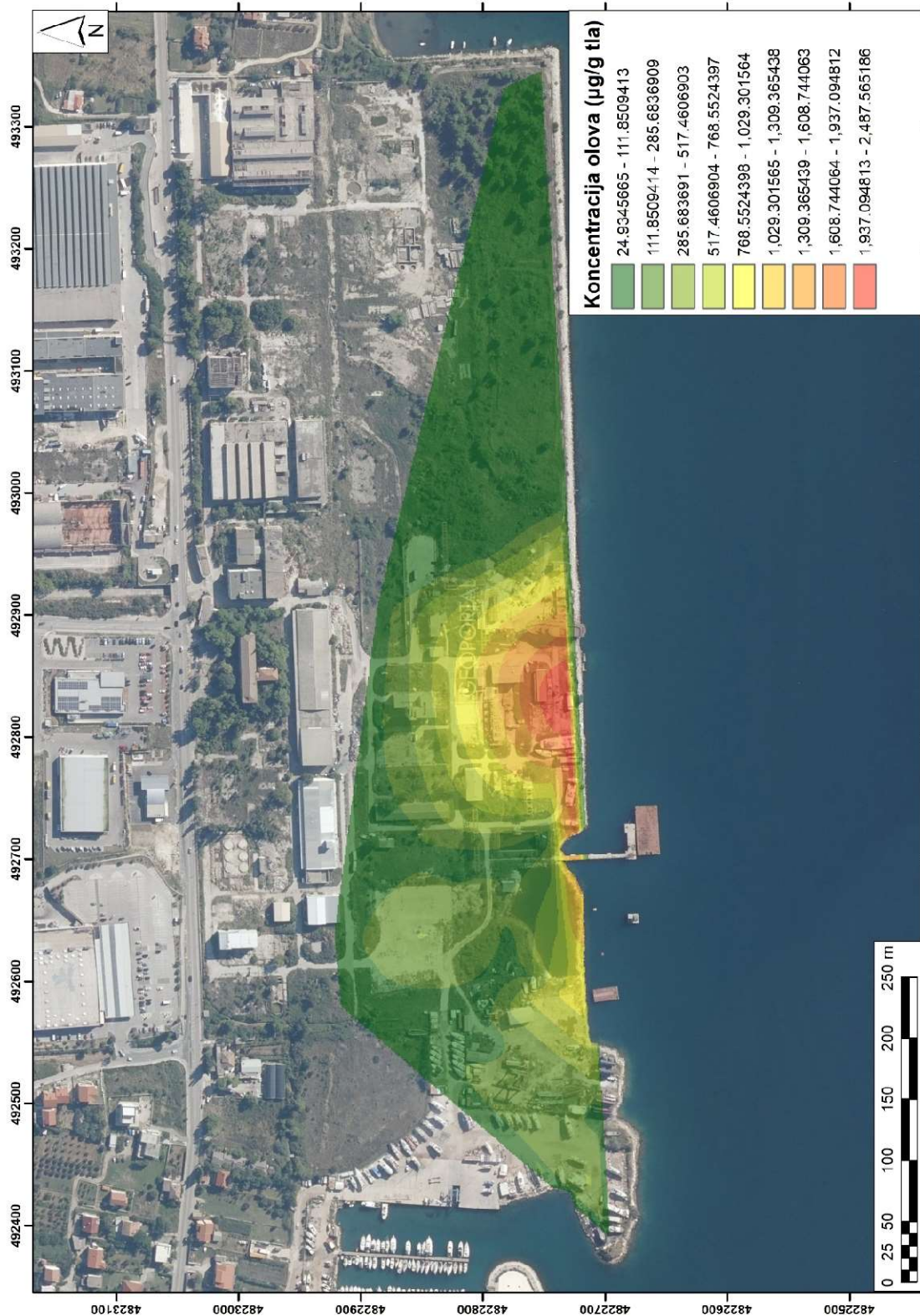
Slika 3-19. Interpolacijska karta koncentracije kroma



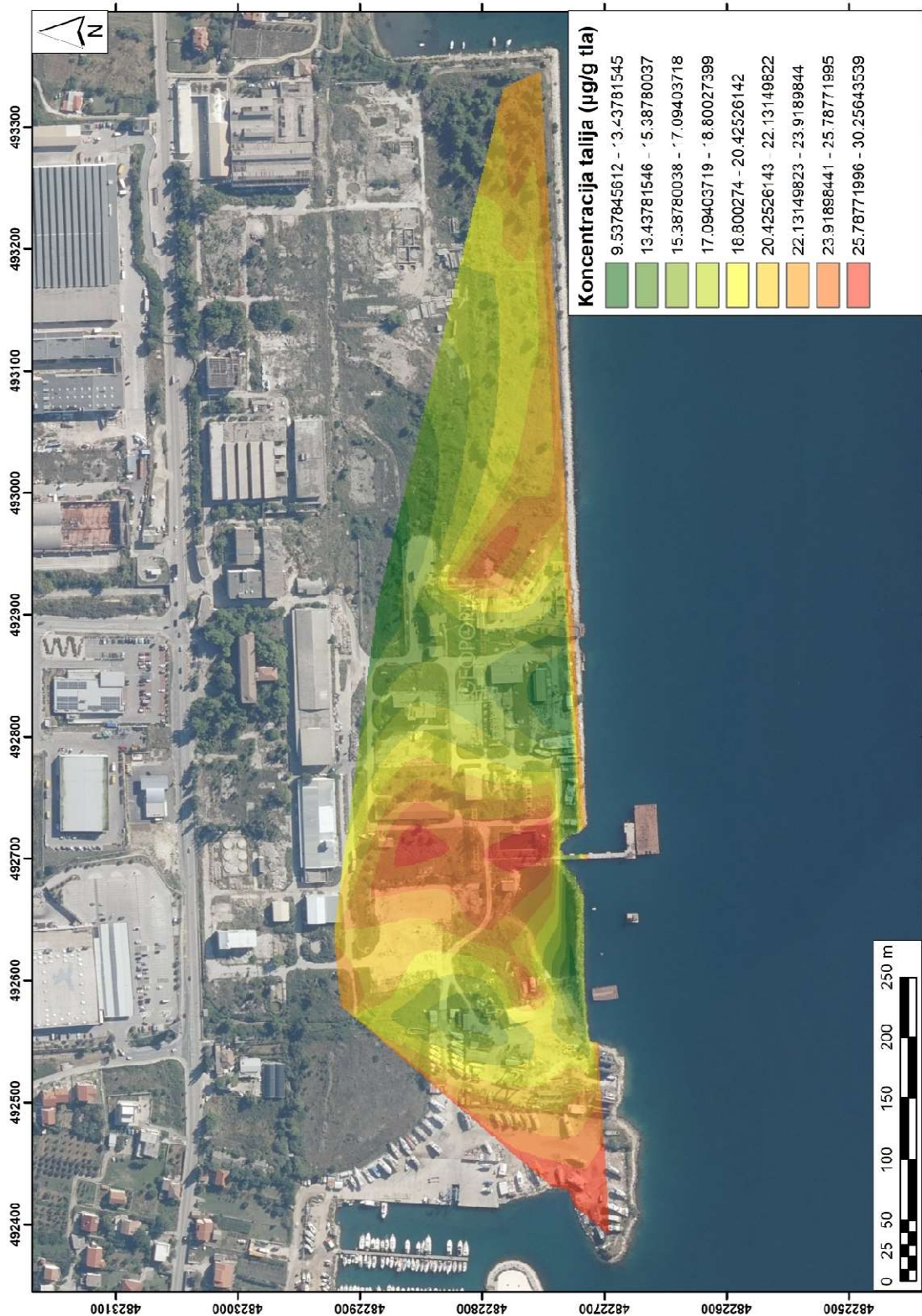
Slika 3-20. Interpolacijska karta koncentracije mangana



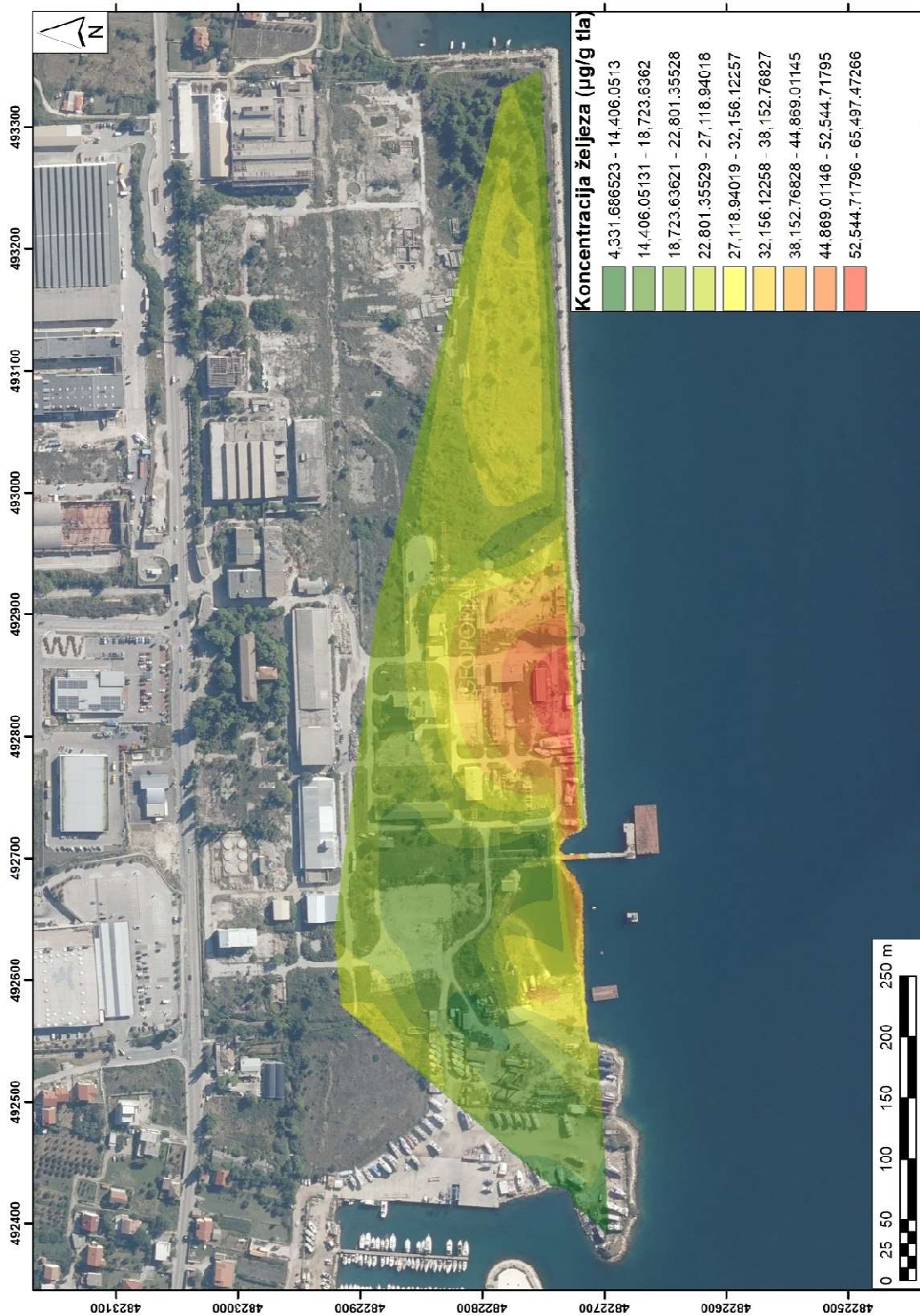
Slika 3-21. Interpolacijska karta koncentracije nikla



Slika 3-22. Interpolacijska karta koncentracije olova



Slika 3-23. Interpolacijska karta koncentracije talija



Slika 3-24. Interpolacijska karta koncentracije željeza

4. ODLAGALIŠTE PEPELA I ŠLJAKE TERMoeLEKTRANE TVORNICE JUGOVINIL U KAŠTELIMA

Odlagalište pepela i šljake termoelektrane tvornice Jugovinil nalazi se u Kaštelanskom zaljevu između Kaštel Gomilice i Kaštel Sućurca u Splitsko-dalmatinskoj županiji (slika 4-1). Za vrijeme rada tvornice Jugovinil, 1947.-2001., koja je proizvodila plastične mase, postojala je potreba za električnom energijom koja se dobivala iz termoelektrane na ugljen u sklopu same tvornice. Termoelektrana u sklopu tvornice je otvorena 1949. godine. Otpad, koji je produkt rada termoelektrane je primarno pepeo nastao izgaranjem ugljena i leteći pepeo nastao pročišćavanjem otpadnih plinova. Pepeo nastao radom termoelektrane se odlagao u dvorištu tvornice na više mjesta u različitim periodima rada tvornice. Kako se za rad termoelektrane koristio ugljen s povišenim udjelima ^{238}U i ^{226}Ra , većinom iz istarskih ugljenokopa, tako su i na lokaciji odlagališta pepela pronađene povišene koncentracije ^{238}U i ostalih radioaktivnih elemenata nastalih njegovim raspadom (Oreščanin, 2005). Oreščanin i dr. (2005) u svom radu navode kako je ugljen potreban za rad termoelektrane dovezen iz pet različitih ležišta, to je jasan razlog raznolikosti teških metala i radionuklida u otpadnom materijalu. Prlić (2011) u svom radu navodi kako se „U ugljenima koji su korišteni i spaljivani u termoelektrani tvornice Jugovinil nakon 1973. godine nalazili su se, kao i u svim ugljenim rudama, uz prirodne uranove izotope, ^{238}U i ^{235}U , i članovi njegovog radioaktivnog niza koji su u većini manje radioaktivni, ali im je radiotoksičnost veća". (p. 78) Pepeo se do 1973. godine odlagao u okolici postrojenja, kada je određena lokacija budućeg odlagališta. Otpadni materijal je premješten nekoliko stotina metara do mjesta odlagališta i tamo je odložen. Brtveni slojevi odlagališta su napravljeni od plastične folije i sloja gline, a pokrovni sloj od humusa. Krajem 1980-ih i početkom 1990-ih godine pepeo je odlagan direktno u more uz obalu sa svrhom nasipavanja obale.



Slika 4-1. Lokacija odlagališta pepela i šljake termoelektrane tvornice Jugovinil (*Google Earth Pro*)

5. ZAKLJUČAK

Pregledom završnih karata vide se područja na kojima se nalaze blago povećane koncentracije teških metala, radija, radona i brzina doza. Povećane koncentracije se uglavnom pojavljuju na tri mjesta. U zoni B, stotinjak metara zapadno od zone C i u zoni D. U zoni D nalaze se povećane koncentracije radija-226, kadmija i talija te velike brzine doza. Ta zona je služila kao taložnica i na toj lokaciji se skladištio pepeo i šljaka dobiveni od ugljena korištenog za rad termoelektrane. U zoni B se nalaze veće brzine doza, nešto povišene (detektabilne) koncentracije radija-226, radona, kadmija, kroma i talija. Zona B predstavlja područje namjenski nasipavano pepelom, šljakom i ostalim građevinskim materijalima s prostora SFRJ. Zona C je lokacija koja je nastala sanacijom odlagališta pepela i šljake 1974. godine. Stotinjak metara zapadno od zone C utvrđene su povišene koncentracije teških metala, prvenstveno bakra, cinka, kobalta, kroma, mangana, nikla, olova, talija i željeza. Dobiveni rezultati kartiranja su karte s izdvojenim područjima detektiranih materijala koje mogu poslužiti za određivanje eventualno potrebnih mjera sanacije lokacije. Naime, ukoliko bi se pokazalo da nađeni materijali i izmjerene brzine doza predstavljaju razlog za sanaciju lokacije, temeljem karata moguće je odrediti koliki je zahvat sanacije potreban pa i koju metodu primijeniti ukoliko treba provesti sanaciju. Obzirom da koncentracije i doze nisu velike, vjerojatno će biti moguće lokaciju urediti nanošenjem zemljanog materijala i ograničenjima po pitanju gradnje, odnosno dubine temelja.

6. LITERATURA

BITUH T. 2012. *Istraživanje širenja fosfogipsa s odlagališta u okoliš uporabom radionuklida*. Zagreb : Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu

DEŽALIJA M. 2006. *Ionizirajuće zračenje u biosferi*, Split: Sveučilište u Splitu, Kemijsko-tehnološki fakultet.

KIŠIĆ K. 2015. *Analiza pridobivanja i preradbe nafte i plina u hrvatskoj od 2000. do 2013. godine*. Zagreb: Rudarsko-geološko naftni fakultet, zavod za geologiju i geološko inženjerstvo, Sveučilište u Zagrebu

KOVAČ J., MAROVIĆ G. 2008. *Radioaktivnost odlagališta pepela i šljake*. Opatija (simpozij) : Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Jedinica za zaštitu od zračenja.

MAROVIĆ G., BAUMAN A. 1986. *Radioaktivnost termoelektrana na ugljen*. Zagreb: Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Laboratorij za radioaktivnost biosfere.

NARODNE NOVINE 2018. *Pravilnik o praćenju stanja radioaktivnosti u okolišu*. br. 40/18. Zagreb: Narodne novine d.d.

OREŠČANIN V., BARIŠIĆ D., LOVRENČIĆ I., MIKELIĆ L., ROŽMARIĆ-MAČEFAT M., PAVLOVIĆ G., LULIĆ S. 2005a. *The influence of fly and bottom ash deposition on the quality of Kastela Bay sediments*. Zagreb: Institut Ruđer Bošković, Laboratorij za radioekologiju.

OREŠČANIN V., BARIŠIĆ D., LOVRENČIĆ I., MIKELIĆ L., ROŽMARIĆ-MAČEFAT M., LULIĆ S. 2005b. *Chemical and radiological characterisation of TENORM deposited in Kaštel Gomilica*. Stubičke Toplice: VI. simpozij HDZZ, Institut Ruđer Bošković, Zagreb

PETROKEMIJA d.d. 2014. *Sažetak za informiranje javnosti zahtjev za utvrđivanje objedinjenih uvjeta zaštite okoliša postojećeg postrojenja, petrokemija d.d. tvornica gnojiva. Kutina: Petrokemija d.d.*

PRLIĆ I. 2011. *Radiološka mjerenja u gradu Kaštela na lokaciji bivše tvornice Jugovinil i u njezinoj okolici.* Zagreb: Institut za medicinska istraživanje i medicinu rada

SOBOTA I. 2021. *Materijali s predavanja.* Rudarsko geološko naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu

VEINOVIĆ Ž., PERKOVIĆ D., MOSTEČAK A., SHARMA I., MIHIĆ SURIĆ M., PRLIĆ I. 2018. *Gospodarenje reziduima u Republici Hrvatskoj.* Zagreb: Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada

VEINOVIĆ Ž., PRLIĆ I., KUJUNDŽIĆ T., SURIĆ MIHIĆ M., PERKOVIĆ D., DOMITROVIĆ D., KORMAN T., MOSTEČAK A., UROIĆ G. 2020. *Gospodarenje reziduima u okviru Nacionalnog programa provedbe Strategije zbrinjavanja radioaktivnog otpada, iskorištenih izvora i istrošenog nuklearnog goriva Republike Hrvatske, Zagreb*

VEINOVIĆ Ž. 2021. *Materijali s predavanja* Rudarsko geološko naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu

radioaktivnost. *Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje.* Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2021. Pristupljeno 28.9.2022.

<<http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=51474>>

radiobiologija, *Skripta*, Veterinarski fakultet u Zagrebu, 2011. Pristupljeno 23.9.2022.

<https://web.archive.org/web/20121125114645/http://www.radiobiologija.vef.unizg.hr/skripta/RAD11-20.htm>

Kamat, slika preuzeta sa stranice. Pristupljeno 18.9.2022.

www.kamat.de