Variografska analiza prostorne raspodjele otopljenog organskog ugljika u Dugopolju

Gorek, Mateja

Master's thesis / Diplomski rad

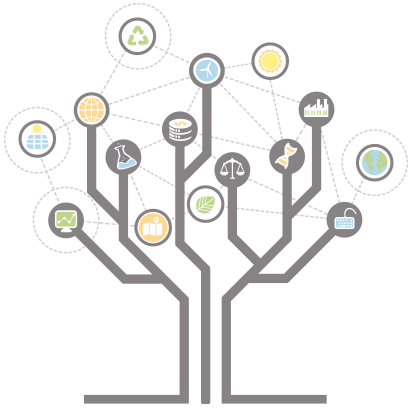
2018

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

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:130:566542

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**



Repository / Repozitorij:

Repository of Faculty of Geotechnical Engineering - Theses and Dissertations

zir.nsk.hr

dabar
DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

Variografska analiza prostorne raspodjele otopljenog organskog ugljika u Dugopolju

Gorek, Mateja

Master's thesis / Diplomski rad

2018

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

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:130:566542

Rights / Prava: In copyright

Download date / Datum preuzimanja: **2020-10-29**

Repository / Repozitorij:

Repository of Faculty of Geotechnical Engineering

zir.nsk.hr

DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

GEOTEHNIČKI FAKULTET

MATEJA GOREK

VARIOGRAFSKA ANALIZA PROSTORNE RASPODJELE OTOPLJENOG ORGANSKOG UGLJIKA U DUGOPOLJU

DIPLOMSKI RAD

VARAŽDIN, 2018.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

GEOTEHNIČKI FAKULTET

DIPLOMSKI RAD

VARIOGRAFSKA ANALIZA PROSTORNE RASPODJELE OTOPLJENOG ORGANSKOG UGLJIKA U DUGOPOLJU

KANDIDATKINJA:

MATEJA GOREK

MENTOR :

Doc. dr. sc. IVAN KOVAČ

KOMENTORICA:

Prof. dr. sc. SANJA KAPELJ

NEPOSREDNI VODITELJ:

Dr.sc. Željka Fiket

VARAŽDIN, 2018.

SAŽETAK

Ime i prezime: Mateja Gorek

Naslov rada: Variografska analiza prostorne raspodjele otopljenog organskog ugljika u Dugopolju

Općina Dugopolje se nalazi u Splitsko-dalmatinskoj županiji, 12 km sjeverno od Splita. Na prostoru općine Dugopolje prikupljeni su uzorci tla na temelju kojih su kasnije dobivene koncentracije otopljenog organskog ugljika. Kako bi bolje razumjeli prostornu raspodjelu ugljika u tlu objašnjene su geološke, pedološke i hidrogeološke karakteristike istraživanog područja. Osim prirodnih karakteristika o kojima ovisi koncentracija ugljika na tom području, velik utjecaj imaju i ljudske djelatnosti, promet i gospodarstvo. Ugljik nalazimo u tri oblika, elementarnom, anorganskom i organskom. Prva dva oblika su isključivo rezultat prirodnih procesa i karakteristika područja, dok organski ugljik povezujemo i s ljudskim faktorom. Kako bi se dobila prostorna raspodjela organskog ugljika koristi se varigrafska analiza koja je sastavni dio geostatistike, a geostatistika se bavi analiziranjem određenog parametra u prostoru. Na temelju dobivenih koncentracija ugljika s točnim koordinatama u programu Surfer 8 izradio se eksperimentalni variogram. Pomoću metode kriging odabran je teorijski variogram koji se najbolje uklapao u eksperimentalni variogram. U ovom slučaju to je bio „Power“, jer je on dao najmanju grešku procjene. Greška procjene je rezultat krosvalidacije koja se koristi kada se želi ocjeniti rezultat dobiven sa dvije ili više metoda za isti skup podataka. S odabranim variogramom izrađena je karta izolinija koja se zatim uklopila u topografsku kartu područja istraživanja te je dobiven jasan prikaz raspodjele organskog ugljika u tlu na području Dugopolja.

Ključne riječi: Dugopolje, organski ugljik, variogram

Sadržaj

1. Uvod 1

2. Smještaj u prostoru 2

2.1. Splitsko-dalmatinska županija 2

2.2. Općina Dugopolje 2

3. Osnovna obilježja područja istraživanja 4

3.1. Prirodna obilježja 4

3.1.1. Geografske karakteristike 5

3.1.2. Geološke karakteristike 6

3.1.3. Hidrogeološke karakteristike 7

3.1.4. Pedološke karakteristike 7

3.2. Prometna povezanost 9

3.3. Gospodarstvo 9

4. Ugljik 12

4.1. Organski ugljik 12

5. Variografska analiza 14

5.1. Variogram 14

5.2. Eksperimentalni variogram 16

5.3. Krosvalidacija 17

6. Materijali i metode 18

6.1. Otopljeni organski ugljik u tlu Dugopolja 18

6.2. Variografska analiza organskog ugljika u Dugopolju 20

7. Rezultati i rasprava 25

8. Zaključak 28

9. Literatura 29

Popis slika 31

Popis tablica 32

1. Uvod

U tlu i sedimentima postoje tri osnovna tipa ugljika: elementarni, anorganski i organski ugljik. Primarni izvori elementarnog ugljika u tlu i sedimentu su nepotpuni produkti sagorijevanja organske tvari (ugljen, grafit i čađa), geološki izvori (grafit i ugljen) ili disperzije navedenih oblika ugljika tijekom rudarenja, obrade i izgaranja tih materijala

Organski ugljik često se uzima kao sinonim za prirodnu organsku tvar jer organska onečišćivala u prirodnim sustavima u pravilu čine tek neznatan dio ukupnog organskog ugljika. Određivanje otopljenog organskog ugljika (DOC) bitan je dio karakterizacije svakog mjesta uzorkovanja ili ekološke procjene budući da prisutnost ili odsutnost organskog ugljika može značajno utjecati na to kako će reagirati određena tvar ili kemikalija u tlu, odnosno sedimentu.

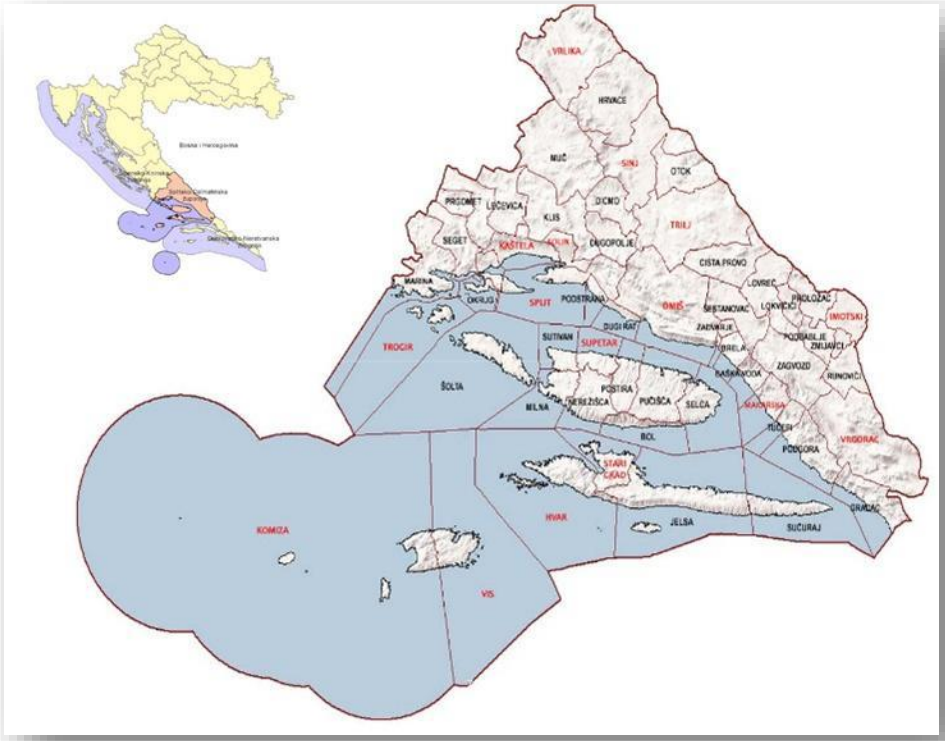
U ovom diplomskom radu zadatak je bila variografska analiza koncentracije otopljenog organskog ugljika u tlu na području Općine Dugopolje. Cilj rada je uz pomoć variografske analize odrediti prostornu raspodjelu koncentracija otopljenog organskog ugljika u tlu na istraživanom području. U ovom radu problem će se rješavati u dvodimenzionalnom prostoru te će se stoga koristi eksperimentalni variogram. Podaci o ukupnom ugljiku u uzorcima tla s područja Dugopolja čine bazu podataka za variografsku analizu.

Svrha rada je na temelju provedenih analiza odrediti mjesta koja su izložena utjecaju povišenih koncentracija organskog ugljika jer se u slučaju povišene koncentracije organskog ugljika u podzemnim vodama javlja opasnost za zdravlje ljudi.

2. Smještaj u prostoru

2.1. Splitsko-dalmatinska županija

Splitsko-dalmatinska županija smještena je u središnjem dijelu južne Hrvatske. Na sjeverozapadu graniči sa Šibensko-kninskom županijom, a na jugoistoku s Dubrovačko-neretvanskom županijom, na sjeveroistoku ima kopnenu granicu s Bosnom i Hercegovinom, a na jugozapadu njena morska granica čini granicu teritorijalnog mora Republike Hrvatske [1].



Slika 1. Položaj Splitsko-dalmatinske županije [2]

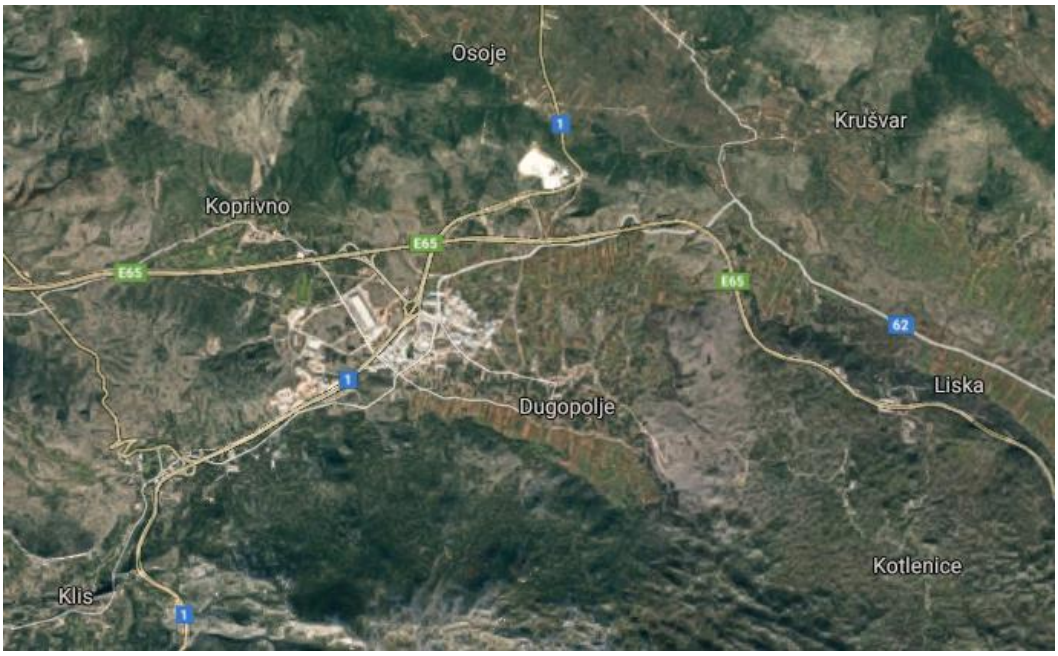
Prostorno je najveća županija Hrvatske ukupne površine 14 106,40 km^2. Površina kopnenog dijela s površinom otoka je 4.523,64 km^2 (8% površine Republike Hrvatske), a površina morskog dijela je 9.576,40 km^2 (30,8% morske površine Republike Hrvatske). Najveći dio zauzima zaobalje (59,9%), dok najmanji udio površine otpada na otoke (19%) [1].

2.2. Općina Dugopolje

Općina Dugopolje smještena je u Splitsko-dalmatinskoj županiji na udaljenosti 12 km od Splita. Smještena je u tipičnom krajoliku Dalmatinske zagore na rubu prostranog krškog polja,

odvojenog od mora planinom Mosor, a čini prijelaz iz dinarsko-planinskog dijela u primorski pojas [3].

Na površini Općine od 63,5 km^2 nalaze se ukupno 4 naselja: Dugopolje, Koprivno, Kotlenice i Liska. Na slici 2 vidljiv je satelitski prikaz navedih naselja.



Slika 2. Satelitski prikaz općine Dugopolje [4]

Naselje Dugopolje smjestilo se na sjevernoj strani Dugopoljskog polja. Južnu stranu doline zatvara planina Mosor dok se na istoku polje uzdiže u uzvisinu Kotlenice, a na zapadu se proteže sve do naselja Koprivno [3].

Smještaj i oblik naselja u općini Dugopolje posljedica su prostorno-geografskih osobitosti prostora i vrijednosti oskudnog poljoprivrednog zemljišta zbog čega su naselja formirana najčešće na prisojnim rubovima polja. Sva naselja općine Dugopolje longitudionalnog su tipa. Raspoložive obradive površine su male, a parcele usitnjene, ali s dobrim klimatskim uvjetima za proizvodnju poljoprivrednih kultura [3].

Najznačajnije poljodjelske površine na prostoru općine su: Dugopoljsko polje, Vučepolje, polje sa sjeverne strane Liska te polje sa južne strane naselja Koprivno. Polja pripadaju tipu suhih polja jer njima ne protječu tokovi vode, a nema ni izvora. Tlo je antropogena crvenica koja je rezultat tisućljetne obrade zemljišta [3].

3. Osnovna obilježja područja istraživanja

3.1. Prirodna obilježja

Područje Splitsko-dalmatinske županije karakterizira nekoliko tipova klime:

- *Mediteranska* u otočnom i priobalnom području
- *Submediteranska* u području zagore
- *Kontinentalna* u prostoru zaobalja do kojeg više ne dopire „utjecaj mora“
- *Planinska* u najvišim područjima zaobalja.

One su posljedica velike reljefne raznolikosti te morskog utjecaja modificiranog brdsko-planinskim „barijerama“.

Krećući se od otočnog do zaobalnog područja, srednje godišnje temperature opadaju, a povećava se ukupna količina oborina [1].

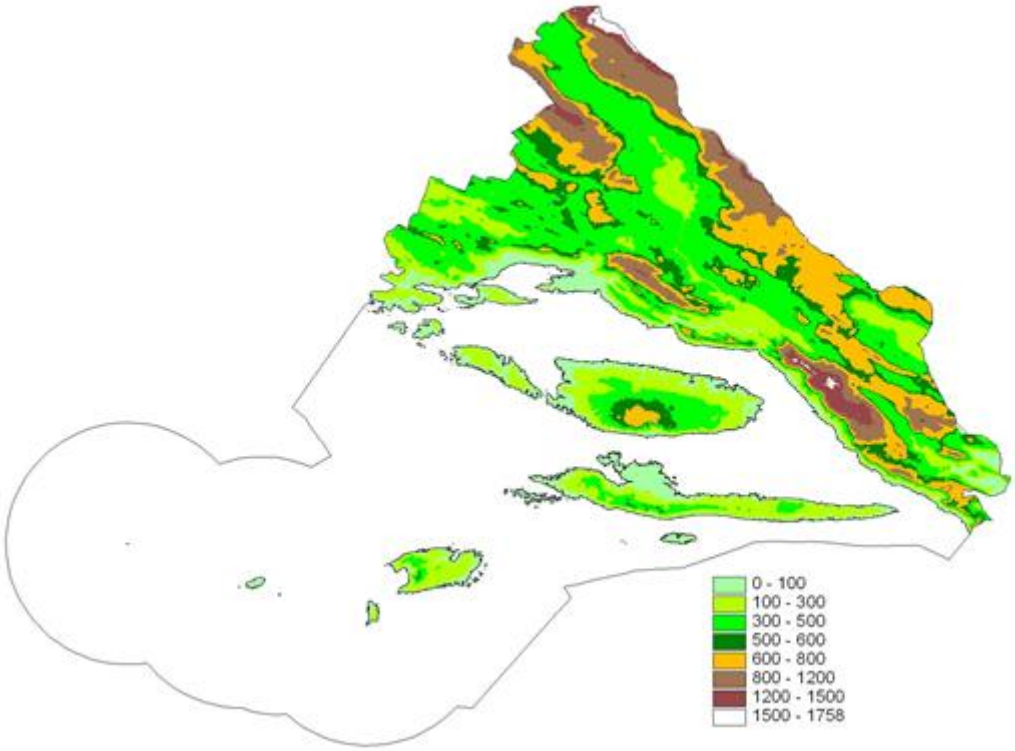
Klima otočnog područja je topla s obiljem sunca i temperaturama koje rijetko padaju ispod 0°C te s malo oborina. Za razliku od otočnog, područje zaobalja karakteriziraju temperature koje tijekom jesenskih i zimskih mjeseci često padaju ispod nule, a prisutna je i veća količina oborina. Klima priobalja okarakterizirana je maksimalnim oborinama u hladnom periodu godine te vrućim i suhim, izrazito vedrim ljetom [1].

Temperatura najhladnijeg mjeseca kreće se između 3°C i 18°C, dok je srednja temperatura najtoplijeg mjeseca veća od 22°C. Oborina je najmanje ljeti, a najviše u kasnu jesen (županijski minimum iznosi 289 mm/godini, a maksimum 1589 mm/godini). Snijeg je u otočnom i priobalnom području rijetkost i ne zadržava se duže od dana, dok je u zaobalju redovita pojava, posebno u višim i dublje u kontinent uvučenim područjima [1].

Područje općine Dugopolje ima izmijenjeni jadranski tip mediteranske klime. To se očituje u srednjim temperaturama i količinom oborina. Temperature su niže u prosijeku 3°C nego uz obalu, naročito u zimskom periodu, a i količina padalina veća je nego u priobalju. Kiše padaju uglavnom u zimskom periodu godine, gotovo 2/3 ukupnih količina [3].

3.1.1. Geografske karakteristike

Prema geomorfološko-reljefnim obilježjima, prostor Splitsko-dalmatinske županije može se opisati kao dominantno brdovito područje krša s većim brojem uklopljenih krških polja (Slika 3). Od većih planinskih masiva ističu se priobalni planinski niz koji čine Vilaja, Kozjak, Mosor i Biokovo te u zaobalnom dijelu masivi Svilaje, Dinare i Kamešnice. Značajnija krška polja uključuju Cetinsko-paško, Hrvatačko, Sinjsko, Mućko-postinjsko, Konjsko, Dugopolje, Dicmansko i Imotsko polje, Rastok i Vrgorsko jezero [5].



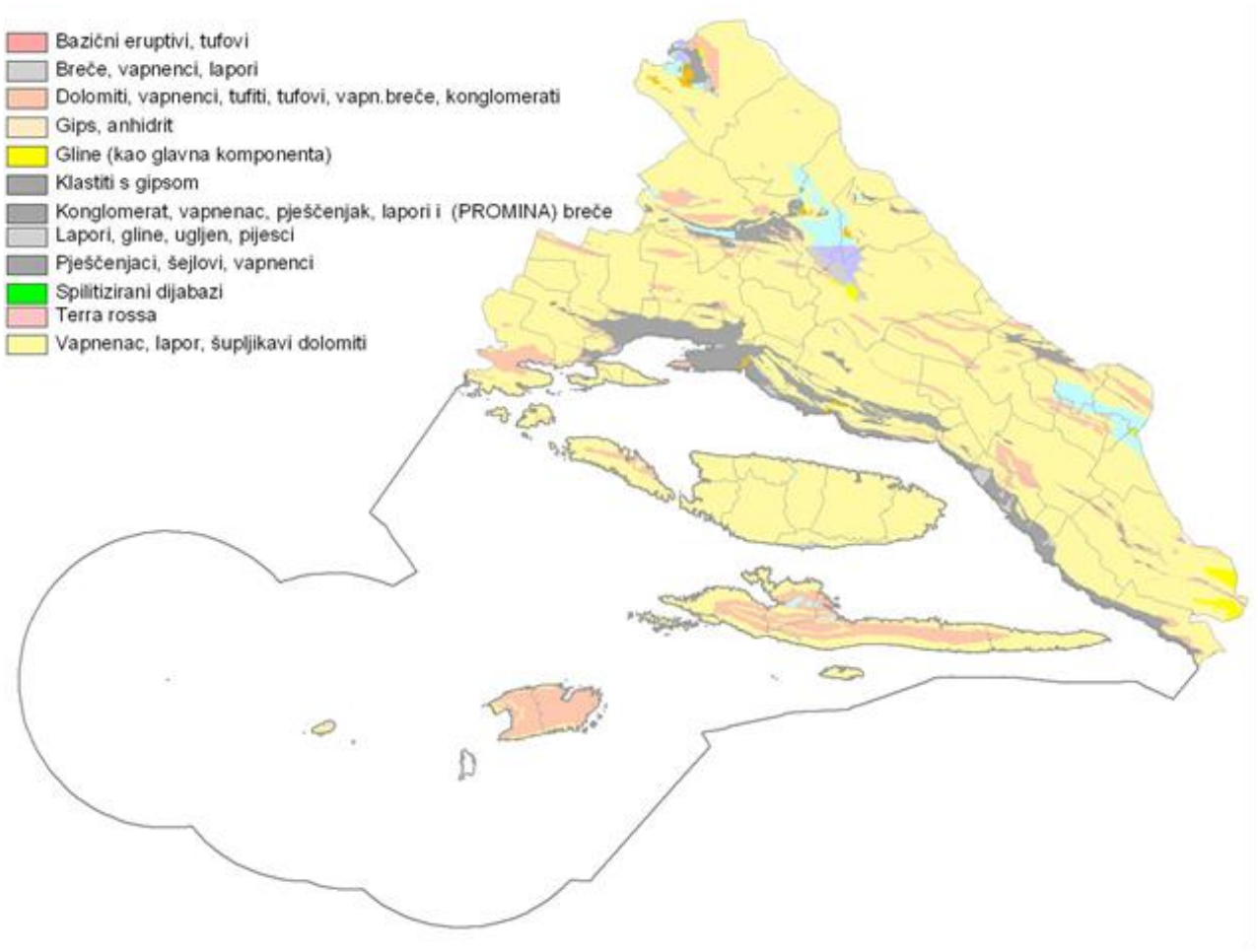
Slika 3. Reljefna karta Splitsko-dalmatinske županije [6]

Osnovno obilježje općine Dugopolje je vapnenačko krški reljef, kojeg karakteriziraju vapnenački grebeni i krške uvale i udoline. Krške udoline u pravilu čine polja koja su prekrivena plodnim zemljištem koje se obrađuje i koristi za uzgoj poljodjeljskih kultura [3].

Dugopolje još obilježava planinski greben Mosor s najvećim vrhom od 1330 m. Najveće polje je Dugopoljsko polje veličine 160 ha plodnog zemljišta, a najveća krška zaravan na području općine je Koprivno – Dugopolje [3].

3.1.2. Geološke karakteristike

Splitsko-dalmatinska županija izgrađena je od sedimentnih stijena starosti u rasponu od trijasa do kvartara, ponajviše kredne starosti. Iznimka su manja područja s eruptivnim stijenama u prostoru Komiže, Brusnika i Jabuke [2].



Slika 4. Geološko-litološka karta Splitko-dalmatinske županije [6]

U Splitsko-dalmatinskoj županiji prevladavaju vapnenci, dolomiti i lapori (Slika 5.). Vapnenci i dolomiti su temelj krške geomorfologije koju karakterizira velika pukotinska poroznost i s time povezani složeni hidrološki režim površinskih i podzemnih voda [2].

Područje Dugopolja na kojem je provedeno istraživanje izgrađeno je od karbonatnih i klastičnih naslaga mezozojske i kenozojske starosti. Donjokredne naslage predstavljaju bazalne vapnenačke breče na jugozapadnim padinama Mosora, te tanko uslojeni vapnenci s tanjim lećama dolomita. Gornjokredne naslage izgrađuju gromadasti vapnenci i dolomiti [7].

Kvartarne naslage na području Dugopolja su prašinaste gline s manjim udjelom ulomaka i kršjem okolnih stijena. Debljina ovih naslaga je promjenjiva, od površina sa veoma plitkim pokrovom (<0.5 m) pa do površina s pokrovom preko 1 m debljine [8]. Na području uzorkovanja prisutni su sedimenti s prijelaza eocena u miocen, cenomana, turona, senona i kvartara [7].

U kontekstu poljoprivrede, najvažnije su kvartarne naslage diluvijalnih breča, crvenice (u krškim poljima i vrtačama), aluvijalni nanosi riječnih tokova (Jadro i Cetina), flišne naslage (južne padine Kozjaka, Mosora i Biokova, odnosno Segetsko polje, Kaštelansko polje, Primorska poljica, Lokva-Rogoznica, Makarsko primorje), flišne zone na otocima, te dolomitski tereni s udolinama i manjim poljima (naročito na otocima) [2].

3.1.3. Hidrogeološke karakteristike

Područje Splitsko-dalmatinske županije pripada Jadranskom regionalnom slivu. Temeljne značajke sliva su prostrane zone prikupljanja vode u planinskom području Dinare, Svilaje i Kamešnice te njihovog širokog zaleđa, kao i kompleksni uvjeti u zonama izviranja na kontaktima s vodonepropusnim barijerama izgrađenim od klastita ili pod usporenim djelovanjem mora. Vode iz područja visokog krša prelijevaju se na niže morfološke stepenice sve do konačne erozijske baze – Jadranskog mora. Dio toka ima duboki podzemni karakter, ali dio voda teče površinski i pripovršinski, osobito u krškim poljima i koritu rijeke Cetine [2].

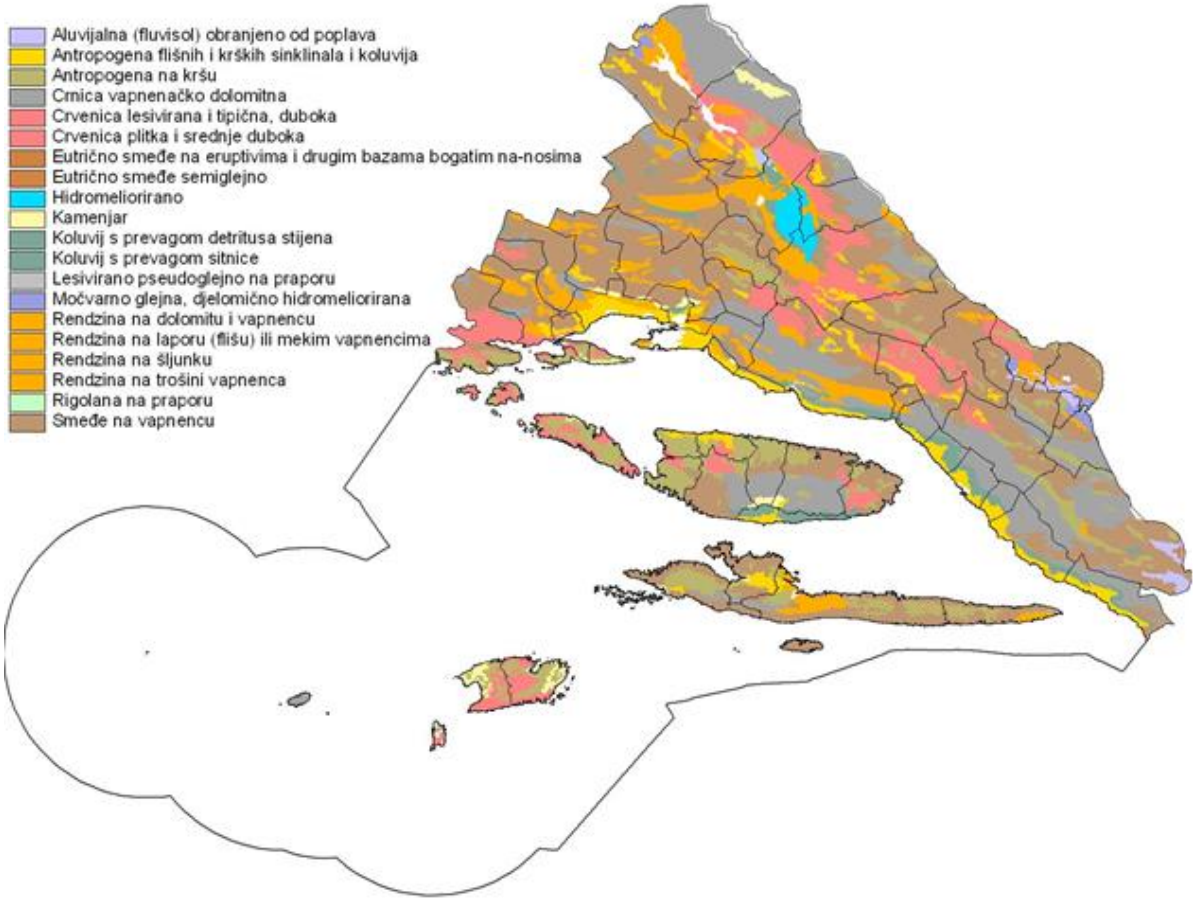
Složeni reljef i vodopropusna krška geološka podloga područja rezultirali su relativno „bezvodnim“ karakterom područja s vrlo složenom površinskom i podzemnom hidrografijom te većim brojem slivnih područja [2].

3.1.4. Pedološke karakteristike

Temeljem analize pedoloških karakteristika [9] utvrđeno je da od ukupno 4.523,64 km^2 površine Županije, 49,4% površine pripada šumama, 48% poljoprivrednim površinama, 2% naseljima i okućnicama, a svega 0,6% vodenim površinama.

Velika površina ogoljenog krša i oskudica plodnih tala i vode posljedica su vapnenačko-dolomitskog litološkog supstrata i krškog, izrazito vodopropusnog karaktera područja.

Odnosno, posljedica su tipičnog procesa „krške erozije“ gdje se tlo ispire u pukotine u razlomljenom krškom reljefu. Zbog toga prostorom Županije dominira smeđe tlo na vapnencu ili dolomitu (52.485 ha) i vapneno dolomitna crnica (42.027 ha) što je vidljivo na slici 5 [9].



Slika 5. Rasprostranjenost pojedinih tipova tla u Splitsko-dalmatinskoj županiji [5]

Na području Dugopolja duga karstifikacija terena stvorila je morfologiju tipičnoga krškog polja. Dno krškog polja prekriveno je najmlađim, kvartarnim naslagama- zemljom crvenicom i nanosnim materijalom. Crvenica (tal. Terra rossa) je široko rasprostranjen tip tla na Mediteranu. Debljina varira od nekoliko centimetara do nekoliko metara. Mineralni sastav crvenice može biti varijabilan. Crvena boja prepoznatljiva je karakteristika crvenice, a rezultat je rubifikacije, procesa kojim dolazi do formiranja hematita koji daje crvenu boju tlu. Crvenica sadrži visok udio izmjenjivih iona Ca i Mg, dok se pH vrijednosti ovog tipa tla kreću od blago bazičnih do neutralnih [7].

3.2. Prometna povezanost

Zbog povoljnog geografskog položaja i prirodnih resursa, područje Općine Dugopolje je od rimskih vremena bio prostor kojim su prolazile trase glavnih kopnenih komunikacija. Suvremeni razvoj prometnica ponovo daje veliki značaj ovom području. Državna cesta D1 (Dalmatina) je cestovni pravac koji povezuje cjelokupni teritorij Republike Hrvatske, a Splitsko-dalmatinsku županiju uključuje na cestovnu mrežu Europe [6].

Na njen pravac priključuju se državne ceste D60 i D220, čijim se dionicama Brnaze - Trilj i Trilj – Kamensko ostvaruje veza teritorija Županije i Republike Hrvatske s Republikom Bosnom i Hercegovinom. Državna cesta D62 pravca Dugopolje-Šestanovac-Zagvozd-Vrgorac-Kula Norinska-Metkovic, osim što ostvaruje kontinuitet cestovnih pravaca u mreži državnih cesta predstavlja i važan alternativni pravac državnoj cesti D8 - Jadranskoj turističkoj cesti [6].

Pored spomenutih dionica državnih cesta važno je spomenuti i dva pravca koja su bitna za povezivanje Općine Dugopolje sa cjelovitim teritorijem i sjedištem Splitsko-dalmatinske županije. To su županijske ceste Ž6145 pravca D1-Dugopolje i Ž6147 pravca D62-Liska-Donji Dolac [6].

3.3. Gospodarstvo

Okosnicu gospodarskog razvitka Općine Dugopolje čini gospodarska zona. Po indeksu razvijenosti Općina Dugopolje 2016. godine nalazila se na prvom mjestu u Hrvatskoj (indeks 283%) [10].



Slika 6. Gospodarske zone u Dugopolju [11]

Danas se u Dugopolju nalazi pet gospodarskih zona (Slika 6). Zona od koje je sve krenulo je zona Podi koja se prostire na 95,7 ha. Na njenom istočnom rubu nalazi se zona Krč koja je mnogo manja i s njom dijeli dobru komunalnu i prometnu povezanost. Tu je svoje poslovne građevine izgradilo dvanaest investitora, poput Tommyja, Saponije, Bosmattoma i Trgometala. Zapadno od zone Podi su zone Bani i Bani-sjever, a dijeli ih brza cesta Split – Sinj [12].

Poduzetnička zona Bani prostire se na 2,5 ha, a sa zonom Bani-sjever povezana je nadvožnjakom. Ta se zona, smještena sjeverno od brze ceste, prostire na 28 ha i ondje se nalaze poduzeća kao što su prodajni centar Autoline (zastupnik Mercedes-Benza), Medika i Iveco.

Najnovija je zona Podi-zapad koju od zone Podi dijeli samo brza cesta i neznatno je veća – 95,9 ha [12].

Sve to čini jedinstven prostor odijeljen uglavnom samo prometnicama, a imena su određena prema lokalitetima i u skladu s detaljnim planovima. Ukupno je do 2012. godine u dugopoljskim gospodarskim zonama izgrađeno 83 građevinska objekta u kojima djeluje 180 tvrtki [12].

4. Ugljik

U tlu i sedimentima postoje tri osnovna tipa ugljika: elementarni, anorganski i organski ugljik. Primarni izvori elementarnog ugljika u tlu i sedimentu su nepotpuni produkti sagorijevanja organske tvari (ugljen, grafit i čađa), geološki izvori (grafit i ugljen) ili disperzije navedenih oblika ugljika tijekom rudarenja, obrade i izgaranja tih materijala [13].

Anorganski oblici ugljika nastaju iz geološke podloge ili matičnog supstrata tla. Prisutni su u tlu i sedimentu u obliku karbonatnih minerala, najčešće kalcita i dolomita [13].

Organski oblici ugljika u tlima i sedimentima kreću se od svježe deponiranog materijala (primjerice lišće, grančice) do vrlo raspadnutih oblika poput humusa. Osim prirodnih izvora organskog ugljika treba spomenuti i ugljik koji je rezultat ljudskih aktivnosti [13].

4.1. Organski ugljik

Organski ugljik često se uzima kao sinonim za prirodnu organsku tvar jer organska onečišćivala u prirodnim sustavima u pravilu čine tek neznatan dio ukupnog organskog ugljika. Organska tvar u tlu je smjesa huminskih i fulvo kiselina te ugljikohidrata, proteina i dugih lanaca masnih kiselina. Huminske i fulvo kiseline imaju širok raspon funkcionalnih grupa čija sposobnost vezanja metala može značajno varirati [14].

Prirodne organske tvari same po sebi ne predstavljaju opasnost za zdravlje ljudi, međutim njihovom uklanjanju posvećuje se sve više pažnje zbog nastajanja kancerogenih nusprodukata pri dezinfekciji vode [15].

Otopljeni organski ugljik je jedan od parametara koji se koristi pri kvantifikaciji i karakterizaciji prirodnih organskih tvari iz kojih nastaju dezinfekcijski nusprodukti. Određivanje otopljenog organskog ugljika (DOC) bitan je dio karakterizacije svakog mjesta uzorkovanja ili ekološke procjene budući da prisutnost ili odsutnost organskog ugljika može značajno utjecati na to kako će reagirati određena tvar ili kemikalija u tlu, odnosno sedimentu [15].

Pješčana tla obično sadrže manje organske tvari od tla finije teksture poput ilovače ili gline. Loše drenirana tla obično imaju mnogo više humusa od svojih bolje dreniranih ekvivalenata. Općenito, pod usporedivim uvjetima, organska tvar se povećava kako raste efektivna vlaga.

Unutar pojasa jednakih uvjeta vlage i usporedive vegetacije, prosječni sadržaj organske tvari u tlu povećava se dva do tri puta za svaki pad prosječne godišnje temperature od 10°C [15].

Kultiviranje može imati značajan utjecaj na sadržaj organske tvari u tlu. U toplim i suhim područjima kao što je južna Europa, iscrpljivanje organske tvari može biti brzo jer su procesi razgradnje ubrzani na visokim temperaturama. Poljoprivredna tla koja se intenzivno obrađuju u dužem vremenskom razdoblju pokazuju pad sadržaja organske tvari od 30% [16].

5. Variografska analiza

Na temelju spoznaje da postoji određena povezanost između vrijednosti parametara i da se ona smanjuje s povećanjem njihove udaljenosti nastala je metoda kriging, koja je nazvana po dr. D. J. Krigeu koji je prvi primijetio tu povezanost. Kasnije je cijela metoda nazvana geostatistika te je ona našla primjenu u mnogim područjima gdje je potrebno analizirati prostornu raspodjelu određenog parametra [18].

Ključni pojam u geostatistici je regionalizirana varijabla, ona ima kontinuitet od točke do točke unutar istražnog prostora. Geostatistika se bavi izračunom vrijednosti varijable u prostoru (regiji) te od tuda i naziv regionalizirana varijabla [18]. U ovom slučaju regionalizirana varijabla je otopljeni organski ugljik.

5.1. Variogram

Variogramom se prikazuje međusobna povezanost podatka na temelju njihovih razlika. Podaci koji su najbliži se najmanje razlikuju, a s povećanjem udaljenosti njihove razlike se u prosjeku povećavaju. Vrijednosti na temelju kojih je dobiven variogram zove se semivarijanca. Semivarijanca se računa prema formuli [19]:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} (x_i - x_{i+h})^2$$

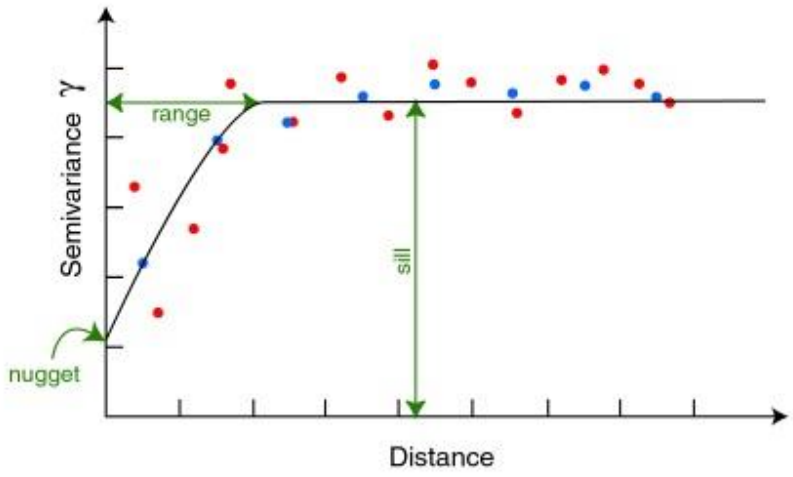
x_i = vrijednost analiziranog parametra

x_{i+h} = udaljenost h od x

N (h) = konačni broj vrijednosnih parova

Semivarijanca je mjera prostorne zavisnosti između podatka iz istog skupa uzduž određenog smjera. Što je prostorna zavisnost veća, vrijednost semivarijance je manja.

S povećanjem koraka povećavaju se razlike između podataka a s time se povećava i vrijednost semivarijance. Zbog toga, semivarijanca pokazuje koliko vrijednost jednog rezultata mjerenja ima utjecaja na vrijednost rezultata susjednih mjerenja [19].



Slika 7. Variogram [20]

Kada se dobije prostorni raspored rezultata mjerenja u obliku semivariograma, traži se matematička funkcija (jednadžba) koja će najbolje odgovarati tim podacima. Jedan tip takve jednadžbe je sferična funkcija koja se može vidjeti na slici 11. Iz slike se mogu vidjeti tri najbitnija djela funkcije:

- odstupanje (nugget)
- prag (sill)
- doseg (range).

Odstupanje je vrijednost u kojoj funkcija siječe ordinatu. Ta vrijednost se može objasniti kao mjera količine slučajnih stohastičkih varijacija (šumova) u uzorku podataka. Često u praksi kada se ponovi mjerenje na istoj lokaciji ne dobije se isti rezultat mjerenja.

Drugo važno obilježje je prag. Prag odgovara vrijednosti stvarne varijance podataka. Nakon što krivulja dosegne prag prestaje s pravilnim rastom [19].

Zadnje važno obilježje je doseg. Doseg označava udaljenost po apcisi od nule pa do točke na kojoj funkcija sječe prag, tj. udaljenost na kojoj se semivarijanca prestaje povećavati. Na većoj udaljenosti od sjecišta praga i variogramske krivulje više se ne može govoriti o kontinuitetu među točkama [19].

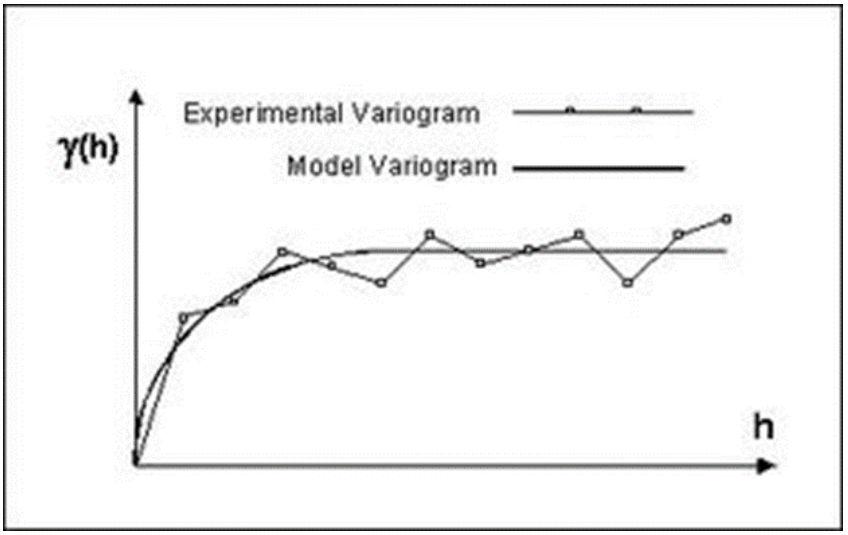
5.2. Eksperimentalni variogram

Variogram je mjera koliko se brzo stvari mijenjaju u prosjeku. Temeljni princip je da, u prosjeku, dva objekta promatranja koja su bliže su sličnija od dva objekta promatranja koja su udaljenija [19].

U geostatističkoj praksi problemi se rješavaju u jedno- ili više-dimenzionalnom istražnom prostoru. U ovome slučaju radi se o dvodimenzionalnom prostoru i koristi se eksperimentalni variogram.

Pri tome su x i y prostorne koordinate dok je z_i vrijednost promatranoga parametra u točki (x_i ,y_i). Suštinska razlika u izračunu vrijednosti semivarijance za dvodimenzionalni prostor u odnosu na izračun za jednodimenzionalni prostor je u tome što taj postupak ide u različitim smjerovima [19].

Zbog jednostavnosti se pretpostavlja kako je prostor izotropan, prema tome regionalizirana varijabla ima ista svojstva u svim smjerovima. Zbog velikog broja podataka koji se javljaju prilikom rješavanja problema kod geostatističkih izračuna koristi se računalo i adekvatni software.



Slika 8. Eksperimentalni variogram [20]

5.3. Krosvalidacija

Nakon što se na temelju prikupljenih podataka dobije eksperimentalni variogram, pomoću postupka krosvalidacije se odabire teorijski model variograma koji se najbolje uklapa u eksperimentalni variogram. Rezultat krosvalidacije se zove numerička pogreška procjene ili srednja kvadratna pogreška procjene (eng. mean square error – MSE) [19].

$$MSE_{metoda} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(izmj.vrij. - proc.vrij.)_i^2$$

U nekome skupu s ‘n’ podataka postupak se ponovi točno ‘n’ puta. U svakome koraku odabire se jedna (uvijek druga) mjerena vrijednost, stavlja izvan skupa podataka, uspoređuje se razlika izvorne i procijenjene vrijednosti na istoj lokaciji te računa njezin kvadrat. Na kraju se zbroje takvi kvadrati po svim postojećim točkama [19].

Postupak krosvalidacije se koristi kao metoda za provjeru uspješnosti interpolacije u različitim sredinama. Takav postupak posebno se uspješno upotrebljava kada se žele ocijeniti rezultati dobiveni s dvjema interpolacijskim metodama ili više njih za isti ulazni skup mjerenih vrijednosti [19].

Nije točno određeno koliko mora iznositi vrijednost krosvalidacije već se odabire onaj model za koji se dobije najmanja pogreška procjene.

6. Materijali i metode

6.1. Otopljeni organski ugljik u tlu Dugopolja

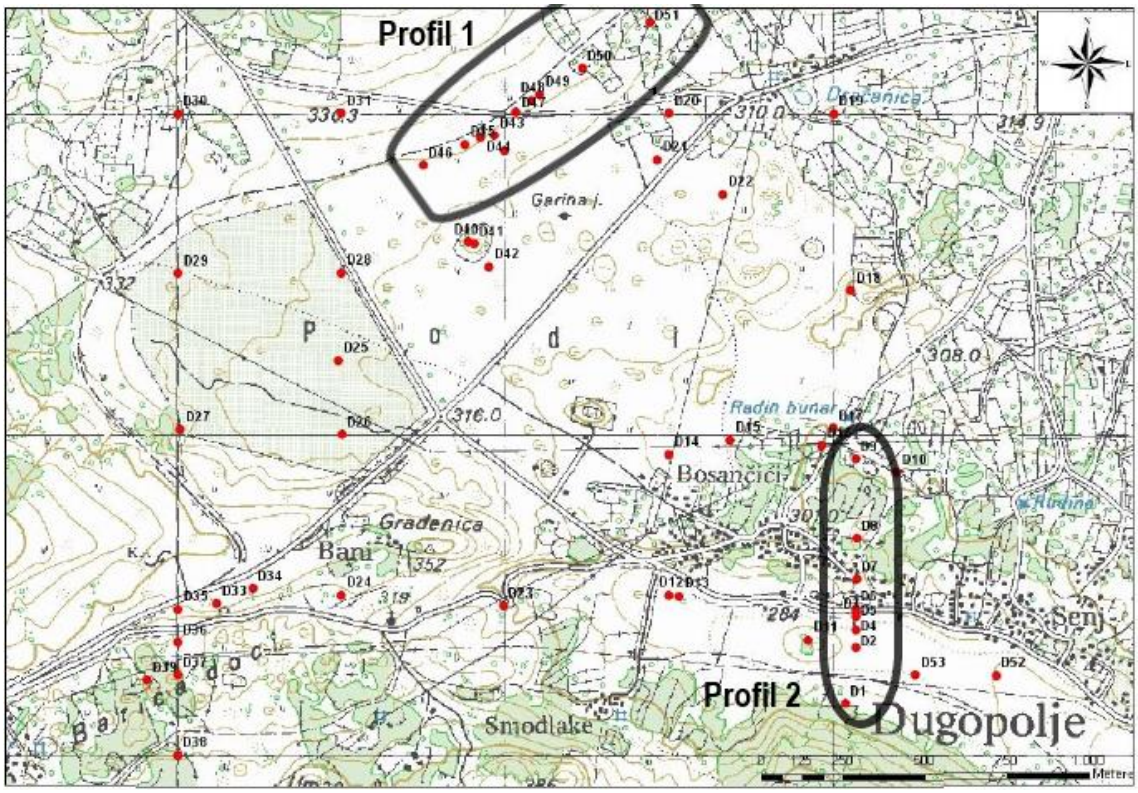
Podaci o koncentracijama otopljenog ugljika u tlu na području Dugopolja preuzeti su iz doktorata dr. Dogančić [17]. U nastavku slijedi kratak opis provedenog postupka uzimanja uzoraka tla na području Općine Dugopolje.

Uzorci tla su sakupljani po pravilnoj pravokutnoj mreži s međusobnom udaljenošću od 500 m između dvije točke uzorkovanja, na dubinama 0-20 cm, 20-40 cm i 40-60 cm. Uz područja od posebnog interesa (mjesta potencijalnog onečišćenja) mreža uzorkovanja je gušća što je vidljivo na slikama 9, 10 i 11. Napravljena su i dva detaljna profila okomito na autocestu te lokalnu cestu koja prolazi kroz samo selo Dugopolje. Prvi profil predstavljaju uzorci od D-1 do D-9, a drugi od D-46 do D-51 (Slika 9).

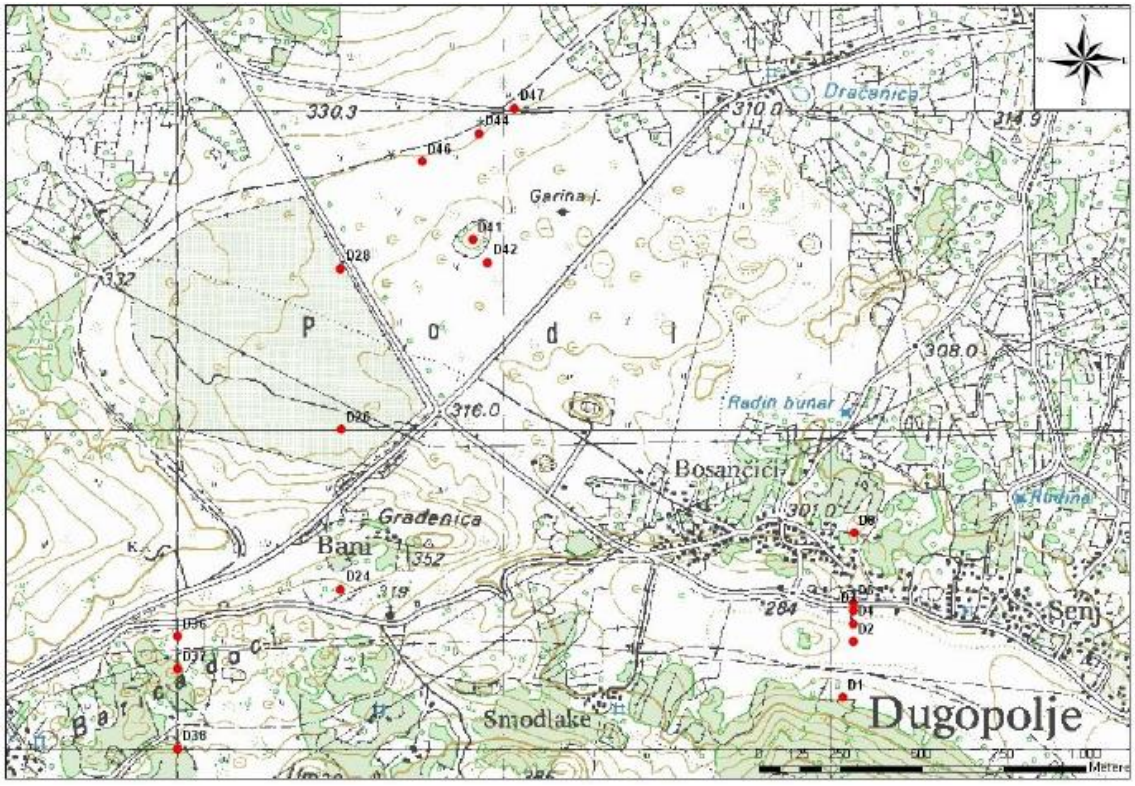
Uzorci iz najplićeg dijela su uzorkovani lopaticom, nakon uklanjanja organskog sloja (trava, lišće, grančice). Uzorci iz dubljih dijelova su uzorkovani augerom pazeći da prilikom uzimanja uzoraka ne dođe do onečišćenja uzorka tlom iz viših slojeva ili metalom s alata [17].

Uzorci su osušeni na zraku, prosijani kroz sito promjera pora 2 mm te skladišteni do daljnjih analiza. Otopljeni organski ugljik određivan je u vodenim eluatima tla. Vodeni eluati su pripremljeni tako da je 10 g uzorka tla stavljeno u staklenu čašu i dodano 25 ml deionizirane vode [17].

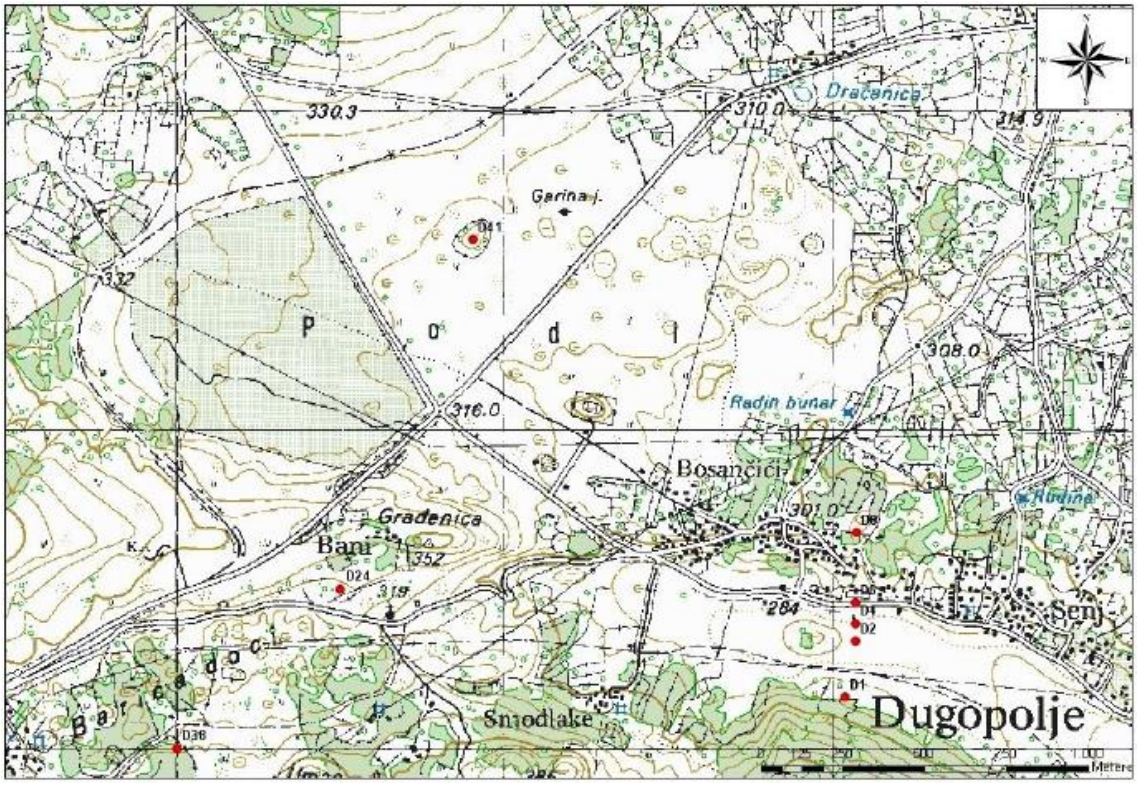
Za potrebe ovog diplomskog rada uzete su u obzir koncentracije otopljenog organskog ugljika u površinskom sloju tla.



Slika 9. Raspored točaka uzorkovnja na dubini 0-20 cm [17]



Slika 10. Raspored točaka uzorkovanja na dubini 20-40 cm [17]



Slika 11. Raspored točaka uzorkovanja na dubini 40-60 cm [17]

6.2. Variografska analiza organskog ugljika u Dugopolju

Prostorna raspodjela organskog ugljika na istraženom području određena je pomoću metode variografske analize koja je sastavni dio geostatistike. Na taj način se brže i jeftinije dolazi do približno točne vrijednosti promatranog parametra, u ovom slučaju organskog ugljika, na bilo kojoj lokaciji unutar promatranog područja.

Podaci o ukupnom ugljiku u uzorcima tla s područja Dugopolja sa ukupno 53 lokacije čine bazu podataka za variografsku analizu. Geostatistički izračuni provedeni su primjenom software-a Surfer 8 tvrtke GoldenSoftware.

U Tablici 1. navedene su vrijednosti otopljenog organskog ugljika izmjerene u eluatima tala uzetih s 53 lokacije na području Dugopolja te geodetske koordinate lokacija uzorkovanja preuzete iz Dogančić (2017).

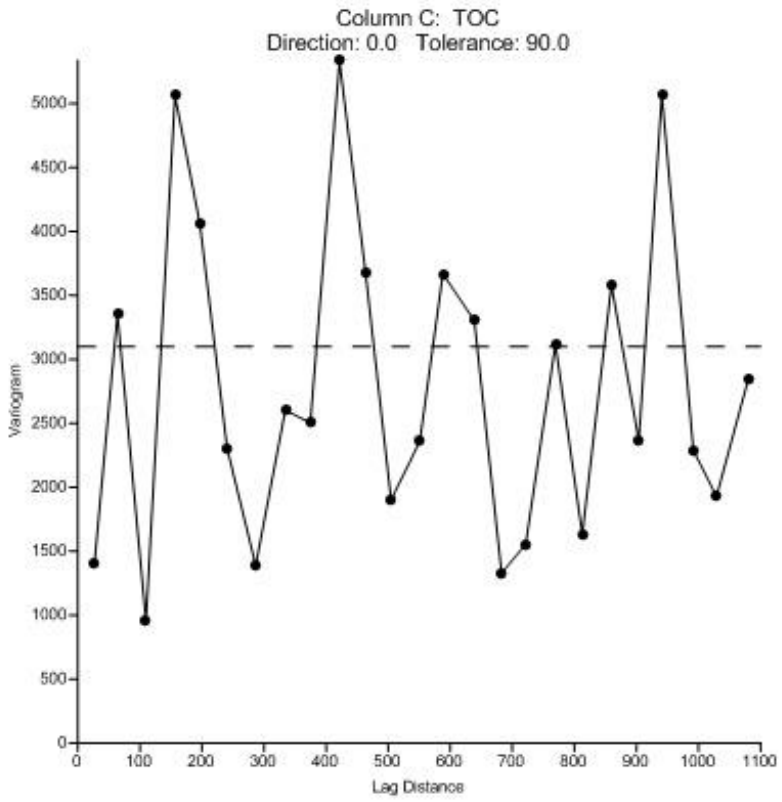
Tablica 1. Koordinate područja s pripadajućim rezultatima mjerenja DOC-a

Uzorak	Koordinate X	Koordinate Y	DOC (mg/kg)	Uzorak	Koordinate X	Koordinate Y	DOC (mg/kg)
D-1	6386042	4827162	66,3	D-28	6384501	4828504	34,1
D-2	6386073	4827336	49,7	D-29	6384002	4828502	151
D-3	6386073	4827434	22,5	D-30	6384000	4829000	49,0
D-4	6386073	4827392	57,7	D-31	6384500	4829001	39,4
D-5	6386071	4827445	45,7	D-32	6385000	4828886	68,2
D-6	6386073	4827458	10,6	D-33	6384119	4827474	30,4
D-7	6386074	4827550	70,7	D-34	6384229	4827521	44,7
D-8	6386074	4827677	32,1	D-35	6384001	4827456	75,4
D-9	6386073	4827924	22,9	D-36	6384000	4827353	44,9
D-10	6386197	4827883	69,9	D-37	6384000	4827251	146
D-11	6385927	4827360	123	D-38	6384000	4827001	48,3
D-12	6385502	4827500	56,4	D-39	6383907	4827235	140
D-13	6385532	4827497	114	D-40	6384886	4828601	64,2
D-14	6385502	4827939	42,5	D-41	6384905	4828595	55,3
D-15	6385688	4827983	25,4	D-42	6384952	4828523	103
D-16	6385967	4827966	11,7	D-43	6384968	4828931	146
D-17	6386002	4828020	76,8	D-44	6384927	4828926	175
D-18	6386057	4828449	104	D-45	6384879	4828904	104
D-19	6386004	4829000	58,9	D-46	6384750	4828839	102
D-20	6385500	4829001	55,8	D-47	6385034	4829006	134
D-21	6385465	4828856	49,2	D-48	6385080	4829041	304
D-22	6385665	4828749	53,7	D-49	6385108	4829060	181
D-23	6384994	4827467	128	D-50	6385236	4829141	70,5
D-24	6384500	4827501	45,2	D-51	6385442	4829284	201
D-25	6384490	4828231	141	D-52	6386500	4827250	46
D-26	6384502	4828001	58,3	D-53	6386253	4827251	42,8
D-27	6384008	4828017	49,7				

Izvor: Izrada autora prema Dogančić, 2017.

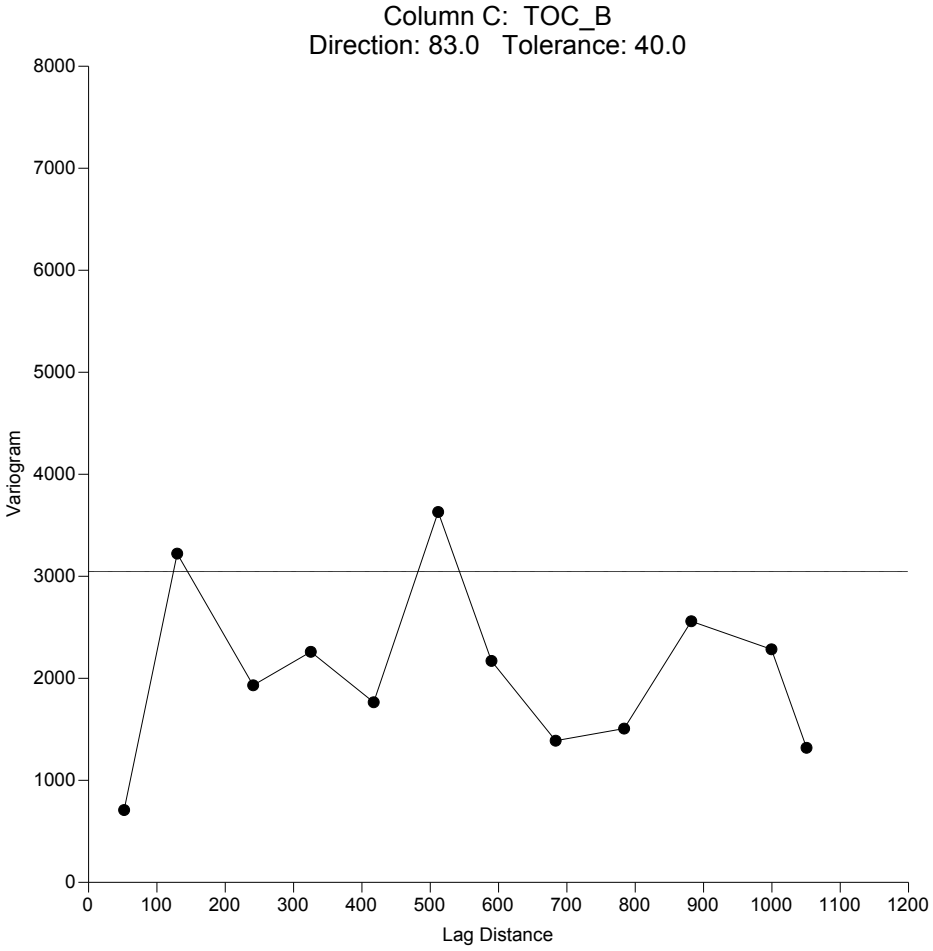
Koncentracije otopljenog organskog ugljika u eluatima tla na području Dugopolja kreću se od 10,6 mg/kg do 304 mg/kg, s prosječnom vrijednosti 80,0 mg/kg. Najmanja koncentracija otopljenog organskog ugljika utvrđena je na lokaciji D-6 (X=6386073, Y=4827458) s koncentracijom 10,6 mg/kg. Najveća koncentracija otopljenog organskog ugljika utvrđena je na lokaciji D-48 (X=6385080, Y=4829041) s koncentracijom 304 mg/kg.

Eksperimentalni variogrami za prethodno navedenu bazu podataka koncentracija ukupnog ugljika u tlu na području Dugopolja prikazan je na Slici 12.



Slika 12. Eksperimentlni variogram

Analizom anizotropije (pojava kada je variogramski doseg veći u jednome nego u drugome smjeru) dobio se najbolji eksperimentalni variogram (Slika 13). Za dobiveni eksprimentalni variogram korišteno je 13 koraka, smjer tolerancije od 83° i tolerancija 40.



Slika 13. Najbolji eksperimentalni variogram

Iz slike se može vidjeti da je povezanost između podataka vrlo mala. Isprekidana crta predstavlja varijancu (prag), a varijanca je mjera raspršenosti rezultata oko aritmetičke sredine. Kada krivulja presijeca prag, očitana vrijednost na apscisi (doseg) predstavlja udaljenost do koje su podaci međusobno prostorno ovisni.

Nakon eksperimnetalnog variograma napravljena je krosvalidacija podataka za svaku interpolacijsku metodu, kako bi odabrali matematičku metodu kojom će se interpolirati teorijski variogrami u eksperimentalni variogram.

Tablica 2 prikazuje varijancu greške procjene za različite interpolacijske metode. Iz tablice se može vidjeti da je najmanja greška procjene za metodu Minimum Curvature, a najveća za metodu Radial Basis Function.

Tablica 2. Krosvalidacija podataka za različite interpolacijske metode

Interpolacijske metode	Varijanca greške procjene
Inverse Distance to a Power	2477
Kriging	3261
Minimum Curvature	1535
Modified Shepard's Method	4697
Natural Neighbor	3081
Nearest Neighbor	4282
Polynomial Regression	2522
Radial Basis Function	18228
Triangulation with Linear Interpolation	3262
Moving Average	2942
Data Metrics	x
Local Polynomial	2925

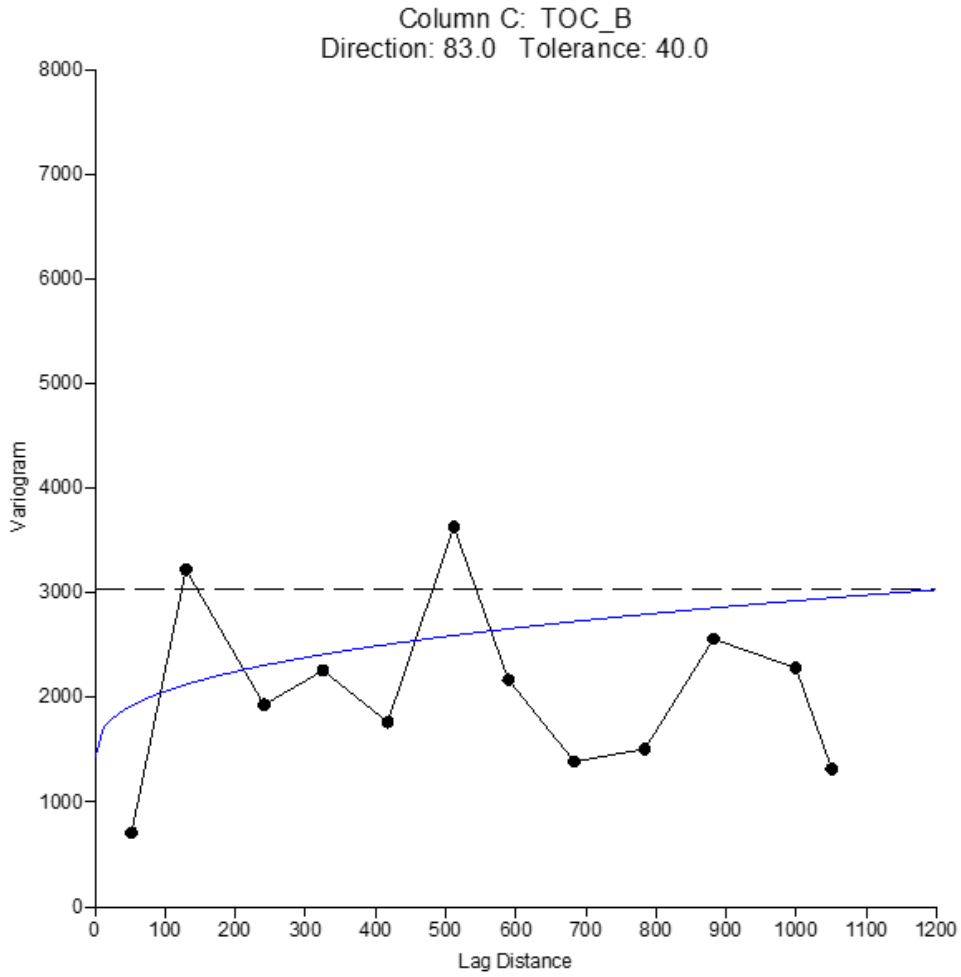
Izvor: Izrada autora

Na temelju dobivenih rezulata varijance greške procjene odabire se interpolacijska metoda. U ovom slučaju odabrana metoda je Kriging. Njena je glavna specifičnost da zadržava ulazne podatke kao fiksne i ne mijenja ih. Na temelju točkastih podataka ona provlači plohu kroz te podatke poštujući prvenstveno trend podataka (dinamička srednja vrijednost). Time ova metoda ne daje idealnu matematičku plohu već ju konstruira adekvatno podacima. To je ujedno i najfleksibilnija metoda koja generira iznimno dobar prikaz za gotovo bilo koji set podataka te se zbog toga ona najčešće i preporučuje.

7. Rezultati i rasprava

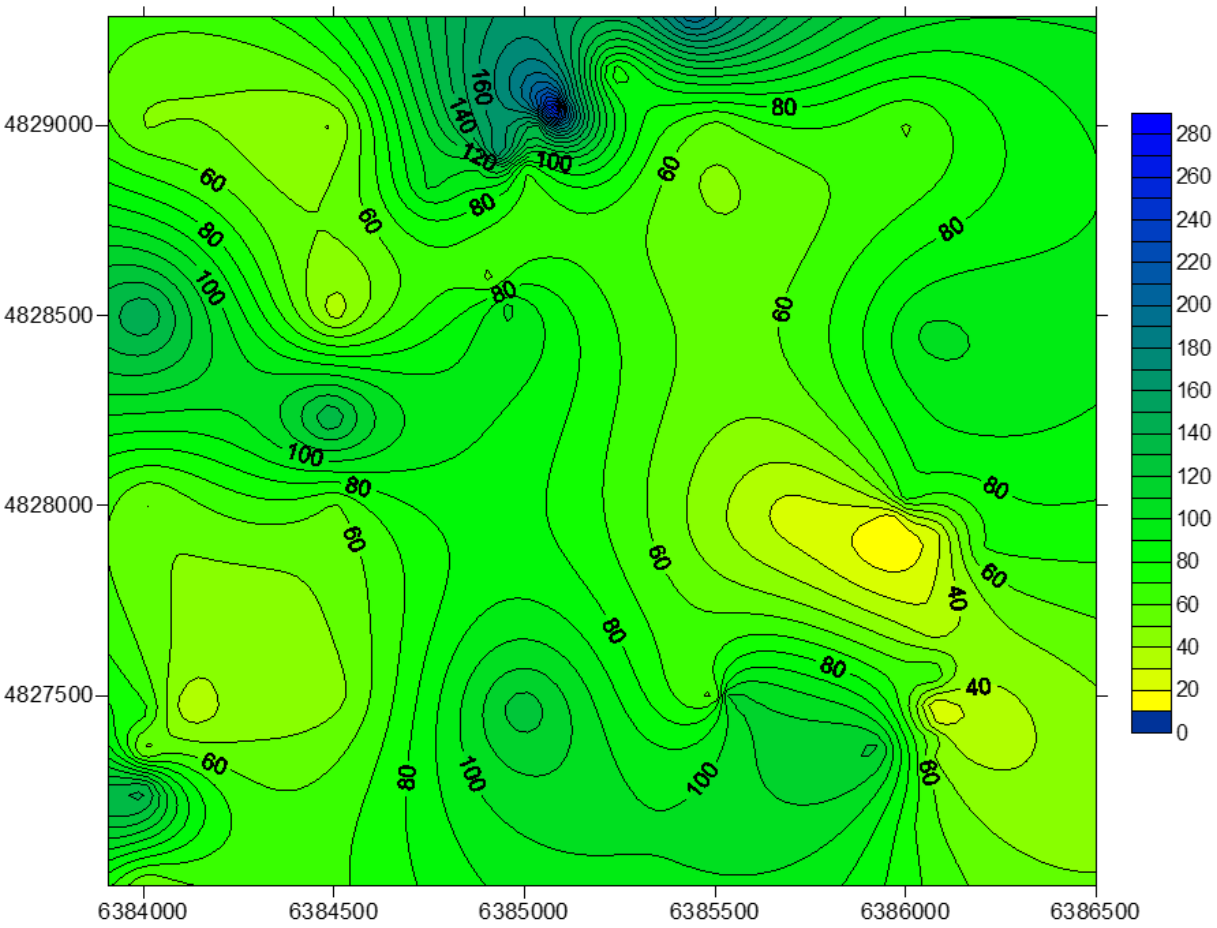
S odabranom interpolacijskom metodom krosvalidiraju se podaci za svaki teorijski variogram kako bi se odabrala krivulja koja se najbolje uklapa u eksperimentalni variogram.

Vrijednost krosvalidacije prvotnog variograma iznosila je 3260. Uklapanjem teorijskih variograma u eksperimentalni dolazi se do najniže varijance greške procjene koja iznosi 2559 za model „Power“. Najbolje uklopljeni teorijski variogram („Power“) prikazan je na slici 14.



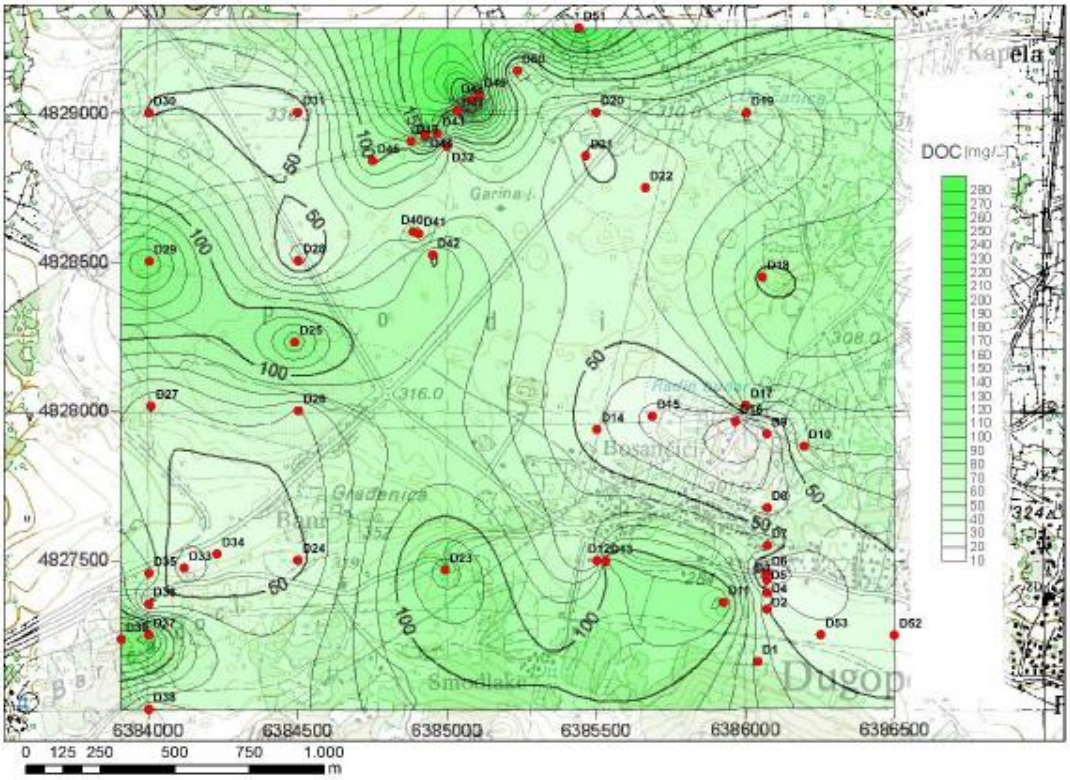
Slika 14.Teorijski variogram uklopljen u eksperimentalni variogram

Na temelju dobivenih podataka izrađena je karta izolinija za istraživano područje Dugoplja (Slika 15).



Slika 15. Karta izolinija za područje Dugopolja

Izolinije su krivulje koje povezuju točke s jednakom vrijednošću varijable na koju se odnosi. Preklapanjem karte izolinija s topografskom kartom Dugopolja dobiva se jasniji geografski prikaz lokacije povećane koncentracije otopljenog organskog ogljika.



Slika 16. Preklopljena karta izolinija s topografskom kartom Dugopolja [16]

Najviše koncentracije otopljenog organskog ugljika uočene su duž 2. profila (uzorci: D-46 – D-51). Budući da je drugi profil smješten uz autocestu, pretpostavka je kako su povišene koncentracije (od 70,5 mg/kg do 304 mg/kg) DOC-a posljedica onečišćenja ispušnim tvarima iz automobila (benzinske pare, mineralna ulja, itd.).

Nešto niže koncentracije (od 10,6 mg/kg do 66,3 mg/kg) uočene su duž prvog profila, što je normalna pojava ako uzmemo u obzir da su hrvatska poljoprivredna tla osiromašena organskom tvari. Smatra se da je na području Općine Dugopolje (ili općenito) navedeno posljedica loše agrotehničke prakse prilikom pripreme tla za sjetvu.

8. Zaključak

Variografskom analizom koncentracije otopljenog organskog ugljika u tlu na području Općine Dugopolje određena je prostorna raspodjela koncentracija organskog ugljika u tlu na istraživanom području. Bazu podataka za provođenje variografske analize činili su podaci o ukupnom ugljiku u uzorcima tla s područja Dugopolja, uzeti s ukupno 53 lokacije. Na temelju prikupljenih podataka dobiven je eksperimentalni variogram, nakon čega je pomoću postupka krosvalidacije odabran teorijski model variograma koji se najbolje uklapa u eksperimentalni variogram. U ovom slučaju to je bio model „Power“

Nakon odabira najbolje uklopljenog teorijskog variograma (Power) izradila se karta izolinija. Preklapanjem karte izolinija s topografskom kartom Dugopolja dobiven je jasniji geografski prikaz lokacije povećane koncentracije otopljenog organskog ugljika. Najviše koncentracije otopljenog organskog ugljika u tlu (od 70,5 mg/kg do 304 mg/kg) uočene su duž drugog profila koji je smješten uz autocestu te se pretpostavlja kako su one posljedica onečišćenja ispušnim tvarima iz automobila (benzinske pare, mineralna ulja, itd.). Maksimalna dopuštena koncentracija za ukupni organski ugljik u vodi za piće zasad nije definirana.

Nešto niže koncentracije otopljenog ugljika u tlu (od 10,6 mg/kg do 66,3 mg/kg) uočene su duž prvog profila, što je normalna pojava ako uzmemo u obzir da su hrvatska poljoprivredna tla osiromašena organskom tvari. Smatra se da je na području Općine Dugopolje navedeno posljedica loše agrotehničke prakse prilikom pripreme tla za sjetvu.

9. Literatura

[1] Splitsko-dalmatinska županija. *Informacije.* Dostupno na: https://www.dalmacija.hr/zupanija/informacije [10.08.2018.]

[2] Službeni glasnik Splitsko-dalmatinske županije (2008) *Izvješće o stanju okoliša i Program zaštite okoliša Splitsko-dalmatinske županije*

[3] Arching d.o.o. (2004) *Prostorni plan uređenja Općine Dugopolje*.[PPOUD] Knjiga 1. Dostupno na: http://dugopolje.hr/dokumenti/prostorni-plan-uredenja-opcine-dugopolje/ [10.07.2018.]

[4] Google (2013) *Google Earth*. Dostupno na: http://earth.google.com, [15. 7. 2018]

[5] Splitsko-dalmatinska županija, Upravni odjel za graditeljstvo, komunalne poslove, infrastrukturu i zaštitu okoliša (2012) *Izvješće o stanju okoliša u Splitsko-dalmatinskoj županiji za razdoblje od 2018. do 2011. godine*. Dostupno na: https://www.dalmacija.hr/Portals/0/docs/UOZastitaOkolisa/dokumenti/Izvje%C5%A1%C4%87e%20o%20stanju%20okoli%C5%A1a%20u%20Splitsko-dalmatinskoj%20%C5%BEupaniji%20za%20razdoblje%202008.%20-%202011.%20godine.pdf [13.08.2018.]

[6] Oikon d.o.o. (2008) *Program zaštite okoliša Splitsko-dalmatinske županije*. Dostupno na:rcco.hr/wp-content/uploads/2016/12/Program_zastite_-okolisa_SDZ.doc. [25.08.2017.]

[7] Martić, P (2011) *Utjecaj prometnica na kakvoću tla i vode u području sliva izvora Jadra*, Diplomski rad, Prirodoslovno-matematički fakultet Sveučilišta u Zagrebu

[8] Kapelj, S. (2005) *Studija upravljanja vodama sliva Jadra i Žrnovnice – Prva faza studijsko istraživačkih radova EVV:1/2005*, Hrvatske Vode, Split

[9] Bogunović, M., Vidaček, Ž., Husnjak, S., Bensa, A., Sraka, M., Vrhovec, D. (2007) *Vrjednovanje tala Splitsko-dalmatinske županije za potrebe natapanja*, Agronomski glasnik 2/2007, ZagrebHrvatska gospodarska komora. [HGK] *Poduzetničke zone Splitsko - dalmatinske županije*. Preuzeto 01.08.2018. sa https://www.hgk.hr/zupanijska-komora-split/poduzetnicke-zone

[10] Mak usluge. (2018) *Pano gospodarskih objekata poslovne zone općine Dugopolje.* Dostupno na: http://www.mak-usluge.hr/?p=2580&lang=hr [10.08.2018.]

[11] Nadilo, B. (2012) *Čudo u Dugopolju*. Građevinar 4/2018. Dostupno na: http://www.casopis-gradjevinar.hr/assets/Uploads/JCE 64201204RUBRIKE1Gradiliste.pdf [02.08.2018.]

[12] Parsons, S.A., Jefferson, B., Goslan, E.H., Jarvis, P.R., Fearing, D.A. (2004) *Natural organic matter - the relationship between character and treatability*. Water Science and Technology: Water Supply

[13] Hooda, P. S.(ed.) (2010) *Trace elements in soils*. John Wiley & Sons, United Kingdom

[14] Schumacher, B., A. (2002) *Methods for the determination ot total organic carbon (TOC) in soils and sediments*, Ecological Risk Assessment Support Center Office of Research and Development, US. Environmental Protection Agency, Environmental Sciences Division National Exposure Research Laboratory, Las Vegas

[15] Jones, R. J. A., Hiederer, R., Rusco, E., Loveland, P. J., Montanarella, L. (2003) *The Map of organic Carbon in Topsoils in Europe*, Version 1.2, September 2003: Explanation of Special Publication Ispra 2004 No.72 (S.P.I.04.72). European Soil Bureau Research Report No.17, EUR 21209 EN, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.

[16] Dogančić, D. (2017) *Modeliranje specifične ranjivosti podzemnih voda u uvjetima krša na području Dugopolja*. Doktorska disertacija, Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 21. srpnja 2017

[17] Andričević R., Gotovac H., Ljubekov I. (2006) *Geostatistika*, Sveučilište u Splitu, Građevinsko-arhitektonski fakultet

[18] Malvić, T. (2008) *Primjena geostatistike u analizi geoloških* podataka, udžbenici Sveučilišta u Zagrebu

[19] GMS: Kriging. (2018) U: Wikipedia. Dostupno na: https://www.xmswiki.com/wiki/GMS:Kriging. [04.08.2018.]

[20] Interna skripta „*Geostatistika*“, iz kolegija „Analiza prostornih podataka“ prof. dr. sc. Damir Medak (Geodetski fakultet, Sveučilište u Zagrebu)

Popis slika

Slika 1. Položaj Splitsko-dalmatinske županije [2] 2

Slika 2. Satelitski prikaz općine Dugopolje [4] 3

Slika 3. Reljefna karta Splitsko-dalmatinske županije [6] 5

Slika 4. Geološko-litološka karta Splitko-dalmatinske županije [6] 6

Slika 5. Rasprostranjenost pojedinih tipova tla u Splitsko-dalmatinskoj županiji [5] 8

Slika 6. Gospodarske zone u Dugopolju [11] 10

Slika 7. Variogram [20] 15

Slika 8. Eksperimentalni variogram [20] 16

Slika 9. Raspored točaka uzorkovnja na dubini 0-20 cm [17] 19

Slika 10. Raspored točaka uzorkovanja na dubini 20-40 cm [17] 19

Slika 11. Raspored točaka uzorkovanja na dubini 40-60 cm [17] 20

Slika 12. Eksperimentlni variogram 22

Slika 13. Najbolji eksperimentalni variogram 23

Slika 14.Teorijski variogram uklopljen u eksperimentalni variogram 25

Slika 15. Karta izolinija za područje Dugopolja 26

Slika 16. Preklopljena karta izolinija s topografskom kartom Dugopolja [16] 27

Popis tablica

Tablica 1. Koordinate područja s pripadajućim rezultatima mjerenja DOC-a 21

Tablica 2. Krosvalidacija podataka za različite interpolacijske metode 24