



GIS

GIS ANALIZE

2 GEOSTATISTIKA



- Geostatistika je vrsta statistike koja se koristi da analizira i predvidi vrednosti pridružene prostornim ili prostorno-vremenskim fenomenima.
- Ona inkorporira prostorne (i u nekim slučajevima vremenske) koordinate podataka u analizama podataka.
- Metodi:
 1. IDW
 2. Kriging
 3. AHP

Geostatistika



- Mnogi geostatistički alati su prvobitno bili razvijeni kao praktična sredstva da opišu prostorne obrasce i da interpoliraju vrednosti za lokacije na kojima uzorci nisu uzeti.
- Ovi alati i metode su od tada evoluirali tako da sada ne omogućuju samo interpolaciju vrednosti, nego i **meru neizvesnosti** za ove vrednosti.
- Merenje neizvesnosti je ključno za pouzdano donošenje odluka, jer pruža informacije o mogućim vrednostima (ishodima) za svaku lokaciju, a ne samo jednu interpoliranu vrednost.
- Geostatistička analiza je takođe evoluirala od uni- ka multivarijantnoj i nudi mehanizme da se inkorporiraju sekundarni skupovi podataka koji dopunjuju (potencijalno retke) primarne promenljive od interesa, i na taj način omogućava konstruisanje tačnijih interpolacionih modela i modela neizvesnosti.

Primena geostatistike



Geostatistika se široko primenjuje u mnogim oblastima nauke i inženjerstva, na primer:

- Rudarstvo koristi geostatistiku za nekoliko aspekata projekta: u početku da se kvantifikuju mineralni resursi i proceni ekonomska izvodljivost projekta, a zatim svakodnevno kako bi se odlučilo koji se materijal usmerava na postrojenje, a koji je otpad, koristeći ažurirane informacije kako postaju dostupne.
- U ekološkim naukama, geostatistika se koristi za procenu nivoa zagađujućih materija kako bi se odlučilo da li predstavljaju pretnju po životnu sredinu ili ljudsko zdravlje i zahtevaju sanaciju.
- Relativno nove aplikacije iz oblasti nauka o zemljištu fokusiraju se na mapiranje nivoa hranljivih materija u tlu (azot, fosfor, kalijum i tako dalje) i druge indikatore (kao što je električna provodljivost) kako bi se proučili njihovi odnosi na prinos useva i propisali precizne količine đubriva za svaku lokaciju na terenu.
- Meteorološke primene uključuju predviđanje temperature, padavina i pratećih varijabli (kao što je kisela kiša).
- Nedavno je bilo nekoliko primena geostatistike u oblasti javnog zdravlja, na primer, predviđanje nivoa zagađivača životne sredine i njihov odnos prema stopama incidence raka.

Primena geostatistike



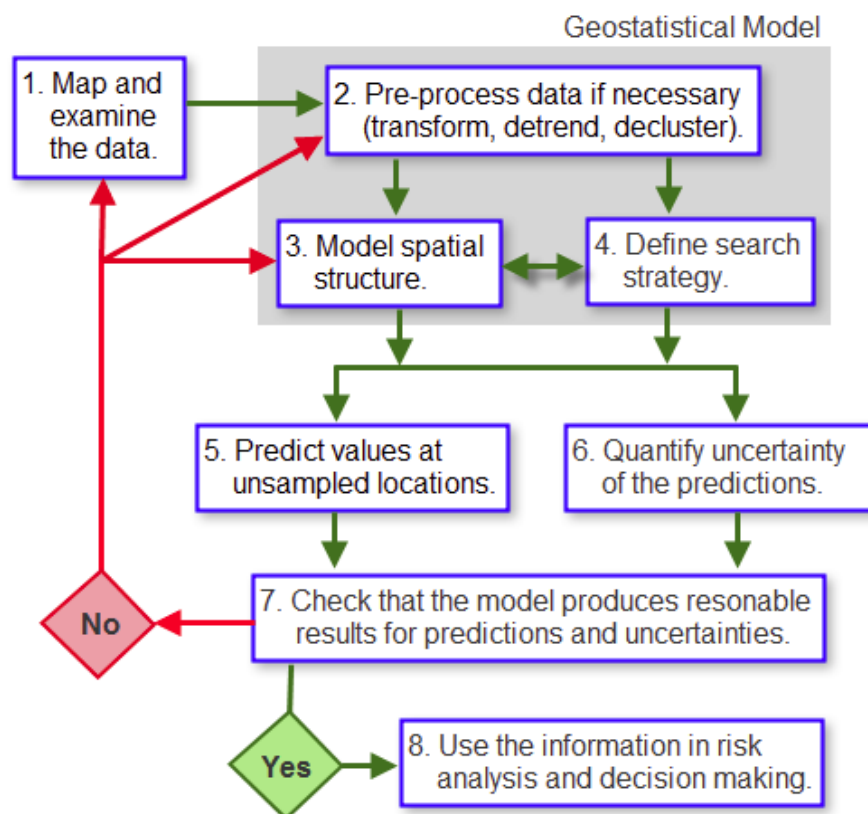
- U svim ovim primerima, opšti kontekst je da postoji određeni fenomen interesovanja koji se dešava na određenom području (nivo kontaminacije zemljišta, vode ili vazduha od strane zagađivača, sadržaj zlata ili nekog drugog metala u rudniku i tako dalje).
- Iscrpne studije su skupe i dugotrajne, tako da se fenomen obično karakteriše uzimanjem uzoraka na različitim lokacijama.
- Geostatistika se zatim koristi za izradu predviđanja (i srodnih mera neizvesnosti predviđanja) za neuzorkovane lokacije.
- Generalizovani tok rada za geostatističke studije opisan je u geostatističkom toku rada.

Geostatistička analiza



- Geostatistička analiza **koristi uzorke na različitim lokacijama nekog područja i stvara (interpolira) kontinualnu površinu.**
- Tačke uzorkovanja su merenja neke pojave kao što je curenje radijacije iz nuklearne elektrane, izlivanje nafte ili visine terena.
- Geostatistička analiza izvodi površinu koristeći vrednosti sa izmerenih lokacija za predviđanje vrednosti za svaku drugu lokaciju datog područja.

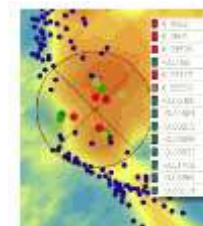
Geostatistički tok rada (workflow)



1. Mapiranje i proučavanje podataka – ispitivanje statističkih i prostornih svojstava podataka upotrebom npr. Histograma, klasifikacija, podešavanje boja...

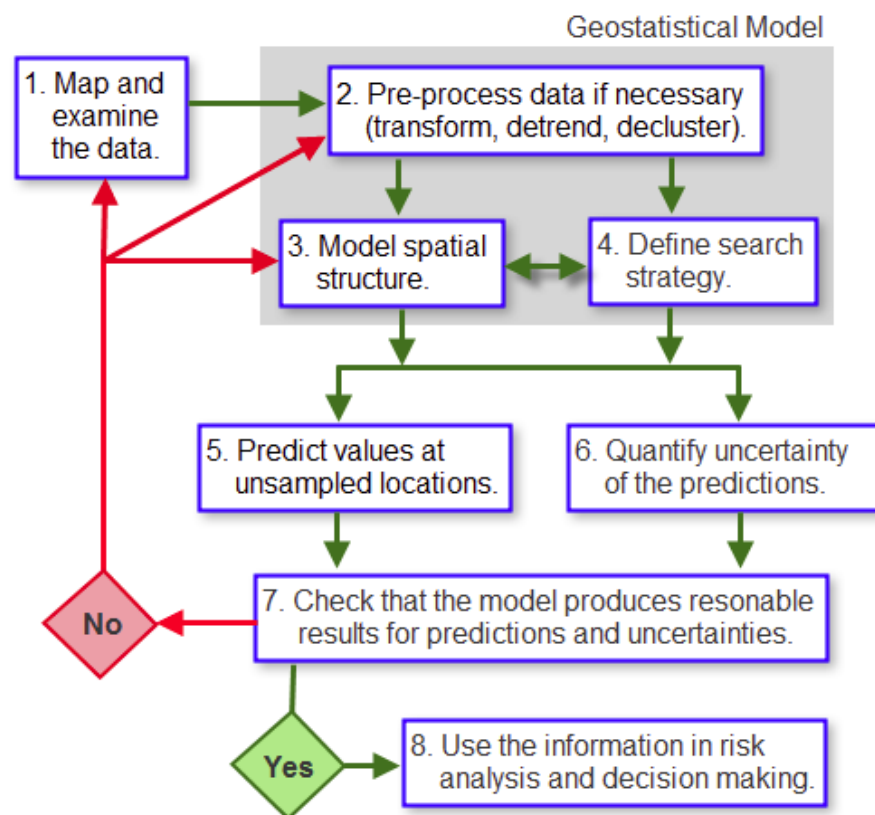
Izgradnja geostatističkog modela:

2. Pre-procesing podataka – transformacija podataka (npr. da prati Gausovu raspodelu), deklastering...
3. Modelovanje prostorne strukture (prostorne korelacije), kao što je kriging (za eksplicitno modelovanje upotrebom semivariograma ili funkcija kovarijanse) ili Inverse Distance Weighting koji pretpostavlja određeni stepen prostorne korelacije
4. Definisanje strategije pretrage – definiše koliko tačaka se koristi da generiše vrednosti za neuzorkovane lokacije, a prostorni raspored (korelacija) se takođe može definisati. Oba faktora utiču na interpolirane vrednosti i pridruženu neodređenost. Mnoge metode koriste elipsu pretrage, koja se može podeliti u sektore (iz svakog sektora se uzima određeni broj tačaka).



*Searching neighborhood step
Podela na sektore*

Geostatistički tok rada (workflow)



5. **Predviđanje vrednosti na neuzorkovanim lokacijama** – Kada je model za predikciju kompletno definisan, može se koristiti da se generišu interpolirane vrednosti za sve neuzorkovane lokacije unutar područja od interesa. Izlaz je obično mapa koja prikazuje vrednosti modelovane varijable.
6. **Kvantifikovanje neodređenosti predikcije** - U zavisnosti od interpolacionog metoda, isti model može da se koristi i za generisanje mere nesigurnosti za interpolirane vrednosti. Nemaju svi modeli ovu mogućnost, tako da je važno definisati na početku da li je potrebna mera nesigurnosti.
7. **Provera modela** - izlaz modela treba proveriti, odnosno osigurati da su interpolirane vrednosti i pridružene mere nesigurnosti razumne i odgovaraju očekivanjima.
8. **Upotreba informacija u analizama rizika i donošenju odluka** – Kada je model zadovoljavajuće kreiran, prilagođen i njegovi izlazi provereni, rezultati se mogu koristiti u analizama rizika i donošenju odluka.

Metodi



- Geostatistička analiza pruža dve grupe interpolacionih tehnika:
 - determinističke i
 - geostatističke.
- Sve metode se oslanjaju na sličnosti bliskih tačaka uzorkovanje za stvaranje površine.
- Determinističke tehnike koriste matematičke funkcije za interpolaciju.
- Geostatistika se oslanja i na statističke i na matematičke metode, koje se mogu koristiti za stvaranje površina i procenu nezvesnosti predviđanja.

2.1 Deterministički interpolacioni metodi



- Deterministički interpolacioni metodi su direktno bazirani na izmerenim vrednostima okruženja ili na matematičkim formulama koje određuju glatkoću rezultujuće površine.
- Generisanje kontinualne površine koja se koristi za predstavljanje određene mere je ključna mogućnost koja se zahteva u većini GIS aplikacija.
- Možda najčešće korišćeni tip površine je digitalni elevacioni model terena.
- Glavni izazov sa kojim se suočava većina GIS modela je stvaranje najtačnije moguće površine iz postojećih podataka uzoraka, kao i određivanje greške i varijabilnosti predviđene površine.
- Nove generisane površine se koriste u daljem GIS modeliranju i analizi, kao i u 3D vizuelizaciji. Razumevanje kvaliteta ovih podataka može znatno poboljšati korisnost i svrhu GIS modelovanja.

Analiziranje površinskih karakteristika obližnjih lokacija



- Uopšteno gledano, **stvari koje su bliže jedna drugoj imaju tendenciju da budu više slične nego stvari koje su međusobno udaljene.**
 - Ovo je **fundamentalni geografski princip** (Tobler, 1970).
- Primer:
 - Kada se pokušava kreirati površina terena, može se pretpostaviti da će vrednosti uzoraka koji su najbliži lokaciji za koju se vrši predviđanje, biti slične.
 - Ali koliko lokacija uzoraka treba da se razmotri?
 - Da li sve vrednosti uzorka treba razmotriti jednako?

Rešenje

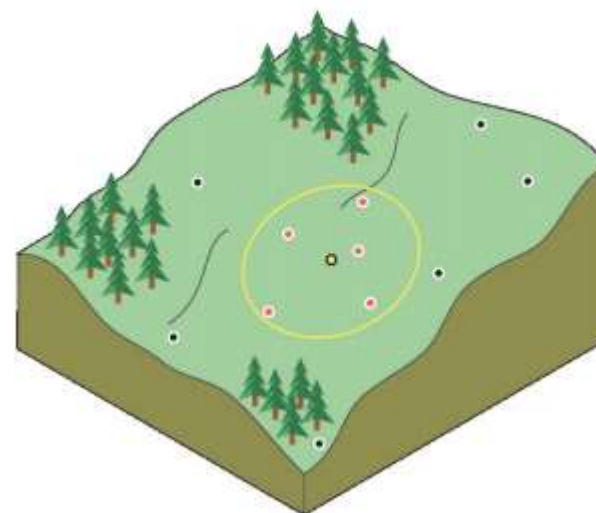


- Koliko lokacija uzoraka treba da se razmotri?
 - Jedno rešenje je da se uzme u obzir dovoljno tačaka da se dobije dobar uzorak, ali da skup tačaka bude dovoljno mali kako bi bio praktičan. Broj će se razlikovati od količine i raspodele tačaka uzorka i karaktera površine. Ako su uzorci nadmorske visine relativno ravnomerno raspoređeni i karakteristike površine se ne menjaju kroz područje od interesa, mogu se sa predviđenom tačnošću predvideti površinske vrednosti iz okolnih tačaka.
- Da li sve vrednosti uzorka treba razmotriti jednako?
 - Sa pomeranjem dalje od mesta predviđanja, uticaj tačaka će se smanjivati.
 - Ako je tačka previše daleko, to može biti štetno jer se tačka može nalaziti na području koje se dramatično razlikuje od lokacije čija vrednost se predviđa.

Inverse Distance Weighting (IDW)



- Da bi se uzela u obzir udaljenost dve tačke, **vrednosti bližih tačaka su ponderisane više nego kod onih koje su udaljenije.**
- Ovo je osnova za interpolacionu tehniku Inverse Distance Weighting (IDW). Kao što njeno ime sugeriše, **težina vrednosti opada, sa porastom razdaljine od lokacije za predikciju.**

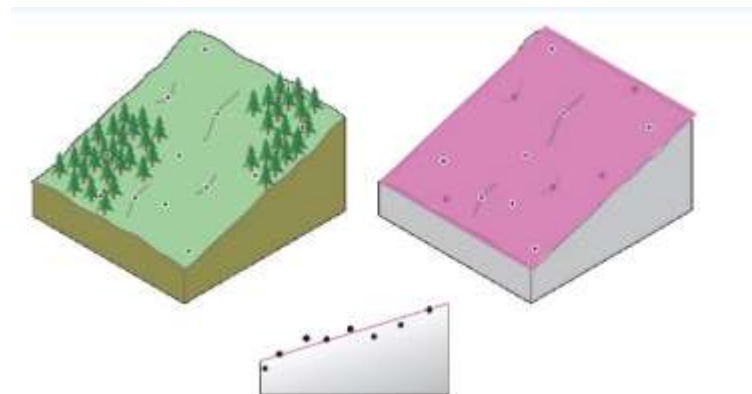


Vizuelizacija globalne polinomijalne interpolacije



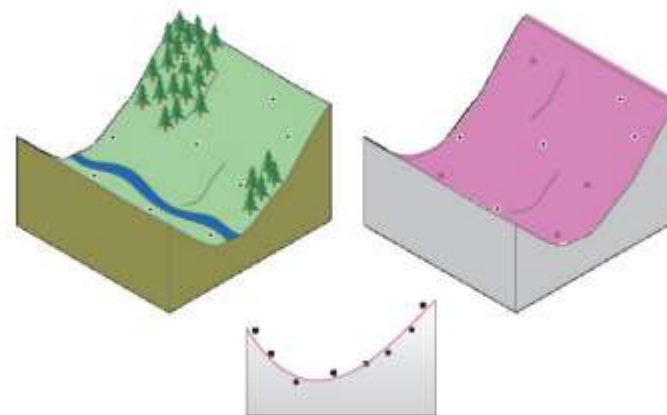
■ Globalna polinomijalna interpolacija prvog reda

- Praćenje globalnog trenda
- Kontinuirani nagib
- Ne uzima u obzir lokalne varijacije
- Postavlja se ravan između tačaka uzoraka



■ Globalna polinomijalna interpolacija drugog reda

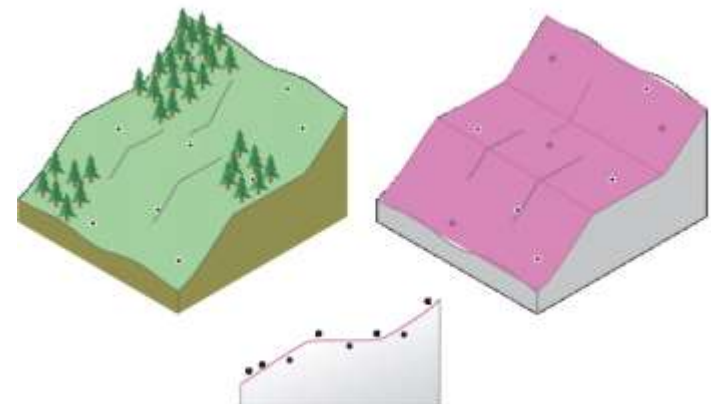
- Za modelovanje doline
- Dozvoljeno jedno savijanje ravni



Vizuelizacija lokalne polinomijalne interpolacije



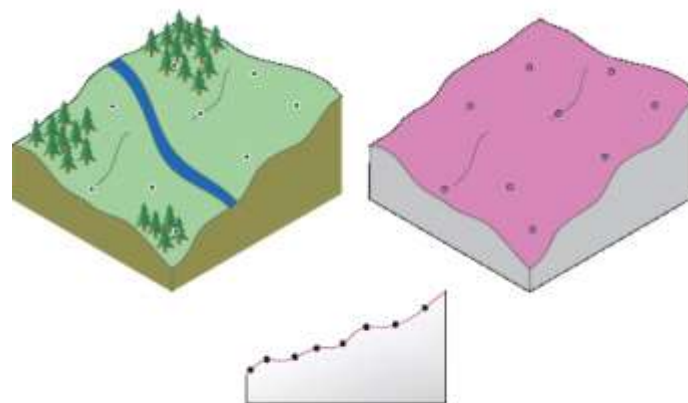
- Uzima u obzir lokalne varijacije
- uklapa mnogo manjih preklapajućih ravni, a zatim koristi centar svake ravni kao predviđanje za svaku lokaciju u područja od interesa
- rezultujuća površina će biti fleksibilnija i preciznija



Vizualizacija funkcije radijalne osnove



- radial basis functions - RBF
- Omogućava praćenje globalnog trenda uz uzimanje u obzir i lokalnih varijacija!



2.2 Geostatistički metodi



- Druga familija interpolacionih metoda se sastoji od geostatističkih metoda koji su bazirani na **statističkim modelima koji uključuju autokorelaciju** (statističke relacije između izmerenih tačaka).
- Ne samo da ove tehnike imaju mogućnost da proizvedu predviđanje površine, nego mogu i da daju određenu meru izvesnosti ili tačnosti predviđanja.

Kriging



- Kriging je sličan IDW po tome što **ponderiše** okružujuće izmerene vrednosti kako bi izveo predviđanje za svaku lokaciju.
- Međutim, ponderi su bazirani ne samo na udaljenosti između izmerenih tačaka i lokacija za predviđanje, već i na celokupnom prostornom razmeštaju (rasporedu) između izmerenih tačaka.
- Da bi se koristio prostorni razmeštaj prilikom definisanja težinskih faktora (pondera), **prostorna autokorelacija** mora biti kvantifikovana.

Kriging - definicija



- Skup interpolacionih metoda koje se oslanjaju na semivariogramске modele prostorne autokorelacije radi generisanja predviđenih vrednosti, grešaka povezanih sa predviđanjima i drugih informacija u vezi sa raspodelom mogućih vrednosti za svaku lokaciju na području od interesa (pomoću kvantilnih mapa i mapa verovatnoće, ili putem geostatističkih simulacija, koja pruža skup mogućih vrednosti za svaku lokaciju).

Prostorna autokorelacija



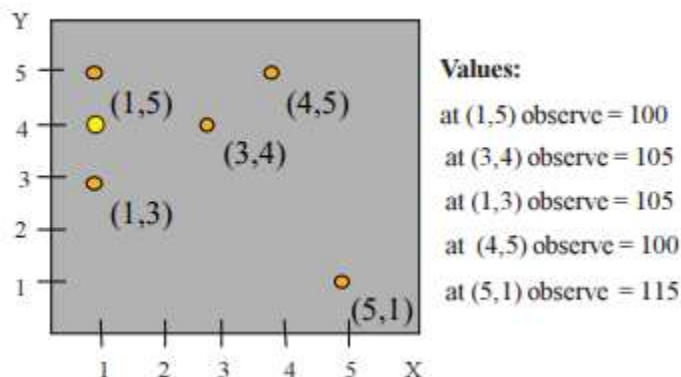
- Prirodni fenomeni često predstavljaju prostornu autokorelaciju - da su vrednosti uzoraka koje se uzimaju jedni pored drugih sličnije od uzoraka uzetih daleko jedan od drugog.
- Neke metode interpolacije zahtevaju eksplicitni model prostorne autokorelacije (na primer, kriging), drugi se oslanjaju na pretpostavljene stepene prostorne autokorelacije bez obezbeđivanja sredstava za merenje (na primer, Inverse Distance Weighting), a druge ne zahtevaju nikakav pojam o prostornoj autokorelaciji u skupu podataka.
- Kada postoji prostorna autokorelacija, tradicionalne statističke metode (koje se oslanjaju na nezavisnost među posmatranjima) ne mogu se pouzdano koristiti.

Primer određivanja (računanja) visine u tački upotrebom Kriginga



- Visina pet narandžastih tačaka je poznata – treba odrediti visinu žute tačke.
- Za kriging je bitna konfiguracija tačaka (raspored tačaka).

Prediktor se formira kao ponderisana suma podataka



$$\hat{Z}(s_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(s_i)$$

$Z(s_i)$ – vrednost na i-toj lokaciji
 λ_i – nepoznata težina izmerene vrednosti na i-toj lokaciji
 s_0 je lokacija predviđanja (npr. (1,4))
 $N=5$ – broj izmerenih vrednosti

Običan kriging model

$$Z(\mathbf{s}) = \mu + \varepsilon(\mathbf{s})$$

$\mathbf{s}=(X,Y)$ – lokacija
 $Z(\mathbf{s})$ – vrednost na toj lokaciji
 μ - konstantna srednja vrednost
 $\varepsilon(\mathbf{s})$ – random greške

Ovo je isti tip prediktora kao i za IDW interpolaciju. Međutim, kod IDW λ_i zavisi samo od razdaljine lokacije predviđanja. Kod kriginga ova vrednost zavisi od semivarijograma, razdaljine do lokacije predviđanja i prostorne relacije između izmerenih vrednosti oko lokacije predviđanja.

Primer – određivanje visine u tački



- Kada se radi predviđanje za nekoliko lokacija, neka predviđanja su iznad stvarnih vrednosti, a neka ispod.
- U proseku razlika između predviđene i stvarne vrednosti treba da bude 0 (unbiased prediction).
- Da bi prediktor bio unbiased za nepoznatu vrednost, suma težina λ_i mora biti jednaka 1.
- Razlika između stvarne vrednosti ($Z(s_0)$) i prediktora $\sum_{i=1}^N \lambda_i Z(s_i)$ mora biti što manja, kroz minimizovanje statističkih očekivanja formule:

$$\left(Z(s_0) - \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(s_i) \right)^2$$
- Minimizovanjem očekivanja kriging prediktor je u proseku blizu nepoznate vrednosti što je više moguće. Rešenje minimizacije daje kriging jednačina, čiji se elementi popunjavaju sa semivarijogramima.

$$\Gamma * \lambda = g$$

or

$$\begin{pmatrix} \gamma_{11} & \cdots & \gamma_{1N} & 1 \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \gamma_{N1} & \cdots & \gamma_{NN} & 1 \\ 1 & \cdots & 1 & 0 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} \lambda_1 \\ \vdots \\ \lambda_N \\ m \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \gamma_{10} \\ \vdots \\ \gamma_{N0} \\ 1 \end{pmatrix}$$

Koraci



- Ovaj primer daje osnovne korake geostatistike upotrebom običnog krigina (Ordinary Kriging):
 1. Računanje empirijskog semivarijograma
 2. Fitovanje modela
 3. Kreiranje matrica
 4. Pravljenje predviđanja

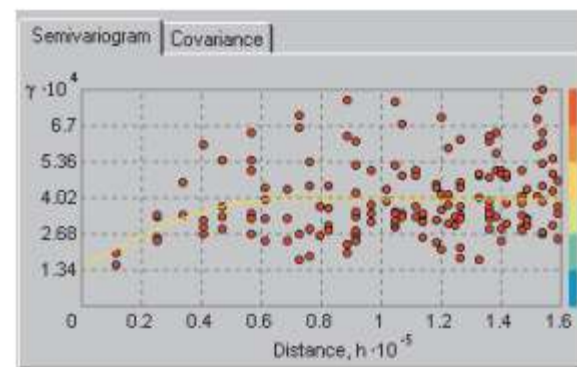
NAPOMENA: Slajdovi 21-31 su informativnog karaktera kako se računa Kriging i mogu se preskočiti. Ceo postupak je automatizovan u QGIS alatu kako je prikazano na slajdu 32 i 33.

Slajdovi 34-44 pokazuju primer upotrebe Kriginga za mapiranje kvaliteta vazduha upotrebom QGIS alata.

1 Računanje empirijskog semivarijograma



- Kriging, kao i većina interpolacionih tehnika, je baziran na pretpostavci da stvari koje su blizu jedna drugoj su sličnije nego udaljene stvari (ovo je kvantifikovano kao prostorna autokorelacija).
- Empirijski semivarijogram je sredstvo da se istraži ova veza.
- Parovi koji su blizu trebalo bi da imaju manju razliku merenja nego oni koji su udaljeni jedan od drugog.
- Opseg do kog je ova pretpostavka tačna se može ispitati u empirijskom varijogramu.



Semivarijogram - definicija



- Funkcija koja opisuje razlike (varijanse) između uzoraka razdvojenih varirajućim udaljenostima.
- Tipično, semivarijogram će pokazati niske varijanse za male razdaljine, a veće varijanse na većim razdaljinama razdvajanja, što ukazuje da su podaci prostorno autokorelirani.
- Semivarijogrami koji su dobijeni estimacijom iz podataka uzoraka su emprijski semivarijogrami.
- Oni su predstavljeni skupom tačaka na grafikonu.
- Funkcija se fituje naspram ovih tačaka i naziva se model semivarijograma.
- Model semivarijograma je ključna komponenta u krigingu (moćan interpolacioni metod koji može da pruži predviđanja vrednosti, greške prilikom predviđanja i informacije o distribuciji mogućih vrednosti za svaku lokaciju područja od interesa).

Računanje empirijskog semivarijograma



- Da bi se izračunale vrednosti G matrice, mora se ispitati struktura podataka kroz kreiranje empirijskog semivariograma.
- U semivariogramu, polovina razlike kvadrata između parova lokacija (y osa) je prikazana relativno u odnosu na razdaljinu koja ih razdvaja (x osa).
- Prvi korak kod kreiranja empirijskog semivarijograma je izračunavanje razdaljine i razlike kvadrata između svakog para lokacija.

$$d_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}$$

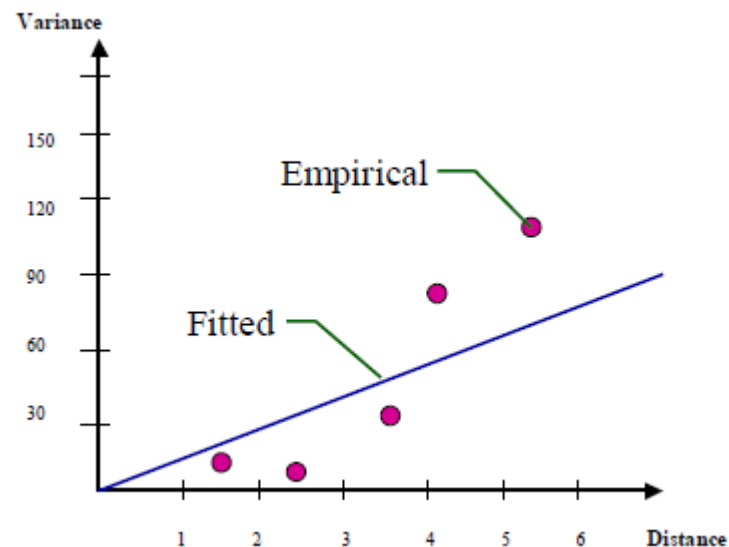
Binning the Empirical Semivariogram				
Lag Distance	Pairs Distance	Av. Distance	Semivariance	Average
1+-2	1.414, 2	1.707	12.5, 12.5	12.5
2+-3	2.236, 2.236, 3	2.491	12.5, 0, 0	4.167
3+-4	3.606, 3.606	3.606	50, 12.5	31.25
4+-5	4.472, 4.123	4.298	50, 112.5	81.25
5+	5.657	5.657	112.5	112.5

Locations	Distance Cal.	Distances	Difference ²	Semivariance
(1,5),(3,4)	$\text{sqrt}[(1-3)^2 + (5-4)^2]$	2.236	25	12.5
(1,5),(1,3)	$\text{sqrt}[0^2 + 2^2]$	2	25	12.5
(1,5),(4,5)	$\text{sqrt}[3^2 + 0^2]$	3	0	0
(1,5),(5,1)	$\text{sqrt}[4^2 + 4^2]$	5.657	225	112.5
(3,4),(1,3)	$\text{sqrt}[2^2 + 1^2]$	2.236	0	0
(3,4),(4,5)	$\text{sqrt}[1^2 + 1^2]$	1.414	25	12.5
(3,4),(5,1)	$\text{sqrt}[2^2 + 3^2]$	3.606	100	50
(1,3),(4,5)	$\text{sqrt}[3^2 + 2^2]$	3.606	25	12.5
(1,3),(5,1)	$\text{sqrt}[4^2 + 2^2]$	4.472	100	50
(4,5),(5,1)	$\text{sqrt}[1^2 + 4^2]$	4.123	225	112.5

2 Fitovanje modela



- Fitovanje modela se postiže definisanjem linije koja omogućava najbolje poklapanje kroz tačke u empirijskom semivarijogramu.
- Odnosno, potrebno je naći liniju tako da (ponderisana) razlika kvadrata između svake tačke i linije je najmanja moguća. Ovo se naziva (ponderisan / težinski) least-squares fit.
- Ova linija se smatra modelom koji kvantifikuje prostornu autokorelaciju u zadatim podacima (uzorcima).



Fitovanje modela



- Vrednosti empirijskog semivariograma se ne mogu direktno koristiti u G matrici, jer se mogu dobiti negativne standardne greške za predviđanja
- Umesto toga, mora se fitovati model naspram empirijskog semivariograma
- Kada je model fitovan, on se koristi za određivanje vrednosti semivariograma za različite udaljenosti.

3 Kreiranje matrica



- Jednačine za obični kriging sadržane su u matricama i vektorima koji zavise od prostorne autokorelacije između izmerenih lokacija uzorka i lokacije predviđanja.
- Vrednosti autokorelacije dolaze iz prethodno opisanog modela semivariograma.
- Matrice i vektori određuju težine kriginog koje su dodijeljene svakoj izmereni vrednosti.

Point	Distance	g Vector for (1,4)
(1,5)	1	13.5
(3,4)	2	27.0
(1,3)	1	13.5
(4,5)	3.162	42.69
(5,1)	5	67.5
		1

	(1,5)	(3,4)	(1,3)	(4,5)	(5,1)	
	Γ Matrix (Gamma)					
(1,5)	0	30.19	27.0	40.5	76.37	1
(3,4)	30.19	0	30.19	19.09	48.67	1
(1,3)	27.0	30.19	0	48.67	60.37	1
(4,5)	40.5	19.09	48.67	0	55.66	1
(5,1)	76.37	48.67	60.37	55.66	0	1
	1	1	1	1	1	0

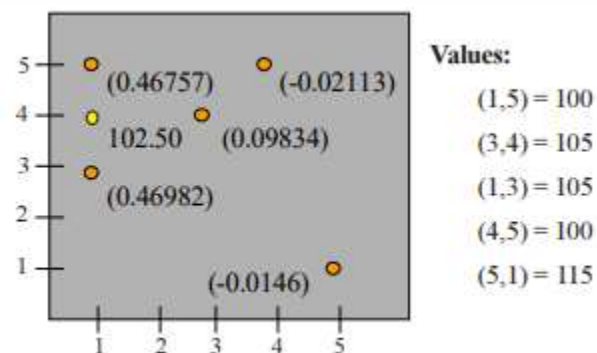
Inverse of Γ Matrix (Gamma)					
-0.02575	0.00704	0.0151	0.00664	-0.00303	0.3424
0.00704	-0.04584	0.01085	0.02275	0.0052	-0.22768
0.0151	0.01085	-0.02646	-0.00471	0.00522	0.17869
0.00664	0.02275	-0.00471	-0.02902	0.00433	0.28471
-0.00303	0.0052	0.00522	0.00433	-0.01173	0.42189
0.3424	-0.22768	0.17869	0.28471	0.42189	-41.701

4 Pravljenje predviđanja



- Iz težina kriginga za izmerene vrednosti, mogu se izračunati predviđanja za lokaciju čija vrednost je nepoznata.
- Sada kada su težine (ponderi) poznate, množi se težina za svaku izmerenu vrednost puta vrednost, ovi proizvodi se saberu i dobije se finalna predikcija za lokaciju (1,4).
- Kao što je i očekivano, težine opadaju sa udaljenošću, ali je ovo preciznije nego izravno ponderisanje razdaljina, jer se uzima u obzir i prostorni raspored tačaka, i samim tim je i predikcija pouzdanija i tačnija.

Weights	Values	Product	
0.46757	100	46.757	
0.09834	105	10.3257	
0.46982	105	49.3311	
-0.02113	100	-2.113	
-0.0146	115	-1.679	
-0.18281		102.6218	Kriging Predictor



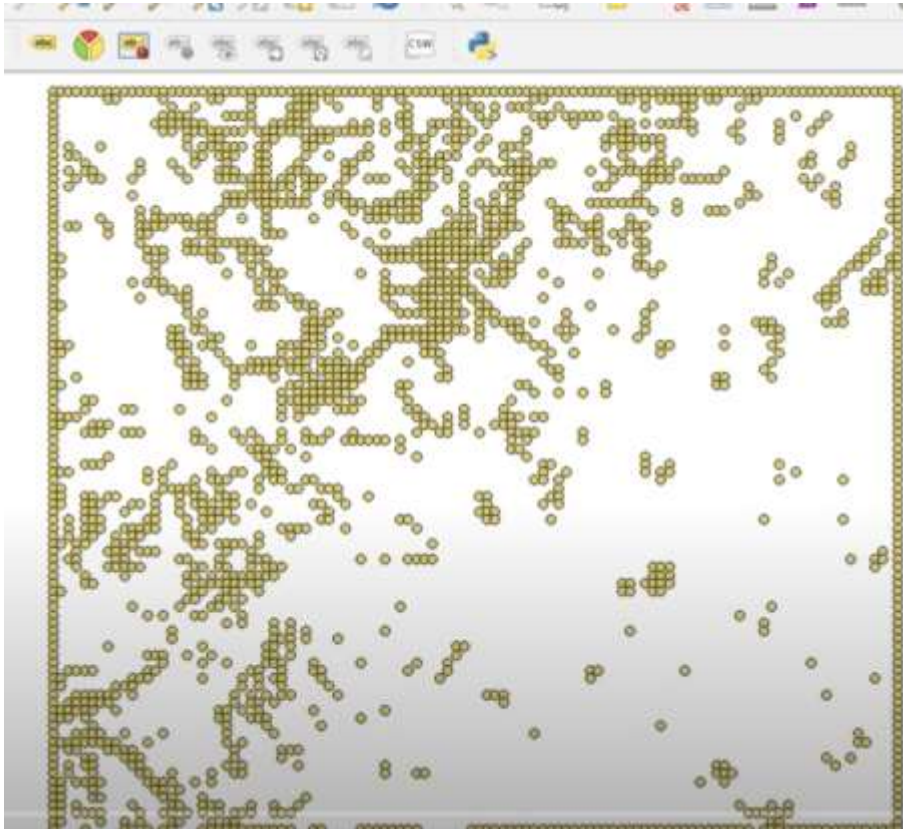
Kriging varijansa



- Glavna prednost upotrebe statističkih metoda je mogućnost i da se izračuna statistička mera nesigurnosti za predikciju.
- Kvadratni koren kriging varijanse se naziva standardna greška kriginga.
 - U ovom primeru je 3.6386
- Ako se pretpostavi da su greške normalno distribuirane, 95% predikcionih intervala se može dobiti na sledeći način:
 - Kriging Predictor + $1.96 \cdot \sqrt{\text{kriging variance}}$
 - Vrednost 1.96 dolazi iz standardne normalne distribucije gde 95% verovatnoće se sadrži od -1.96 do 1.96
 - Predikcioni interval se može interpretirati na sledeći način:
 - Ako se predikcije prave ponovo i ponovo iz istog modela, na duže staze 95% vremena predikcioni interval će sadržati vrednost na lokaciji predviđanja
 - U ovom primeru interval je od 95.49 do 109.75 ($102.62 + 1.96 \cdot 3.64$)

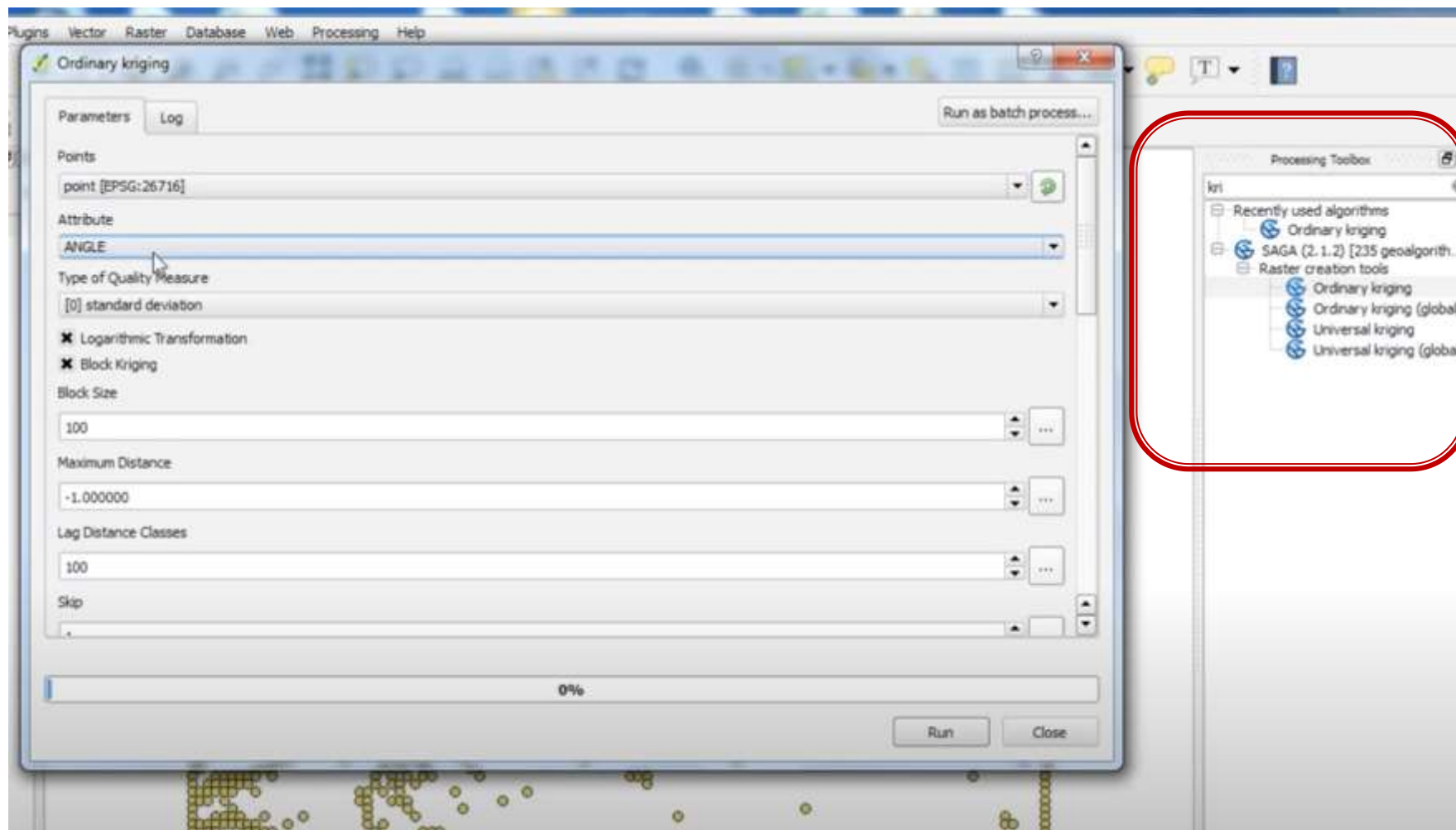
G Vector	Weights (λ)	g Vector Times Weights
13.5	0.46757	6.312195
27.0	0.09834	2.65518
13.5	0.46982	6.34257
42.69	-0.02113	-0.90204
67.5	-0.0146	-0.9855
1	-0.18281	-0.18281
Kriging Variance		13.2396
Kriging Std Error		3.6386

PRIMER: Kreiranje DEM-a upotrebom Kriginga u QGISu



Na osnovu izmerenih visina tačaka na terenu kreira se DEM za celo područje!

Primer Kriginga u QGISu



PRIMER: Mapiranje kvaliteta vazduha upotrebom Kriginga u QGIS alatu



- Kriging je metod interpolacije bazirana na regresiji Gausovog procesa koji pravi estimaciju vrednosti na neuzorkovanim lokacijama, na bazi vrednosti preuzetih sa uzorkovanih lokacija.
- Rezultat je kontinualna površina.
- Koristi se za izradu digitalnih modela terena, mapa zemljišta, kvalitet vazduha, itd.
- Da bi metod mogao da se koristi potrebno je imati bar 20-30 uzoraka na manjem geografskom području, kao što je njiva ili deo grada.

Mapiranje kvaliteta vazduha



- Mreža stanica za merenje kvaliteta vazduha daje vremenske serije u vidu podataka o kvalitetu vazduha na svakih sat vremena:

- SO₂ – sumpor dioksid
- NO₂ – azot dioksid
- PM_{2.5} – suspendovane čestice
- PM₁₀ – suspendovane čestice
- O₃ – ozon
- CO – ugljen monoksid
- Olovo – Pb
- Benzen – C₆H₆

Podaci su preuzeti sa [sepa.gov](http://sepa.gov.rs)

<http://www.amskv.sepa.gov.rs/index.php>

Zag. materija	Period usr.	ODLIČAN	DOBAR	PRIHVATLJIV	ZAGAĐEN	JAKO ZAGAĐEN
SO ₂	1h	0ug.m-3 - 50ug.m-3	50.01ug.m-3 - 100ug.m-3	100.01ug.m-3 - 350ug.m-3	350.01ug.m-3 - 500ug.m-3	Iznad 500.01ug.m-3
O ₃	1h	0ug.m-3 - 60ug.m-3	60.1ug.m-3 - 120ug.m-3	120.1ug.m-3 - 180ug.m-3	180.1ug.m-3 - 240ug.m-3	Iznad 240.1ug.m-3
CO	1h	0mg.m-3 - 5mg.m-3	5.00001mg.m-3 - 10mg.m-3	10.00001mg.m-3 - 25mg.m-3	25.00001mg.m-3 - 50mg.m-3	Iznad 50.00001mg.m-3
PM _{2.5}	1h	0ug.m-3 - 15ug.m-3	15.01ug.m-3 - 30ug.m-3	30.01ug.m-3 - 55ug.m-3	55.01ug.m-3 - 110ug.m-3	Iznad 110.01ug.m-3
PM ₁₀	1h	0ug.m-3 - 25ug.m-3	25.01ug.m-3 - 50ug.m-3	50.01ug.m-3 - 90ug.m-3	90.01ug.m-3 - 180ug.m-3	Iznad 180.01ug.m-3
NO ₂	1h	0ug.m-3 - 50ug.m-3	50.01ug.m-3 - 100ug.m-3	100.01ug.m-3 - 150ug.m-3	150.01ug.m-3 - 400ug.m-3	Iznad 400.01ug.m-3

Primer - Stanice/Satni podaci 27.06.2022. 11:00 - 11:59



Stanica	Mreža	SO2	NO2	O3	CO	PM10	PM2.5
Kikinda Centar	SEPA	10.7	X	122	0.19	X	X
Novi Sad Rumenačka	SEPA	N/A	N/A	X	N/A	4.84	2.74
Novi Sad Liman	SEPA	5.29	5.91	120	0.27	X	X
Beočin Centar	SEPA	21.5	6.81	X	X	0.57	0.31
Sremska Mitrovica	SEPA	11.9	17.1	X	0.29	X	X
Pančevo Sodara	SEPA	N/A	X	X	N/A	X	X
Beograd Stari grad	SEPA	X	13.4	N/A	0.2	20.4	7.65
Beograd Novi Beograd	SEPA	11.3	18	136	0.25	15	7.83
Beograd Mostar	SEPA	15.5	22.7	X	0.27	5.9	4.47
Beograd Vračar	SEPA	42.1	N/A	95.3	X	21.1	8.26
Beograd Zeleno brdo	SEPA	10.4	27.1	91.4	0.15	17.1	8.22
Šabac	SEPA	25.5	23.6	X	0.46	X	X
Kostolac	SEPA	240	24.8	X	0.15	X	X
Smederevo Centar	SEPA	28.9	43.8	X	X	14.7	7.2
Obrenovac Centar	SEPA	12.3	37.9	X	0.13	12.9	4.01
Smederevo Carina	SEPA	X	7.28	X	0.08	X	X
Loznica	SEPA	17.3	15.2	93.4	X	X	X
Valjevo	SEPA	54.2	11.2	X	0.29	12	4.89

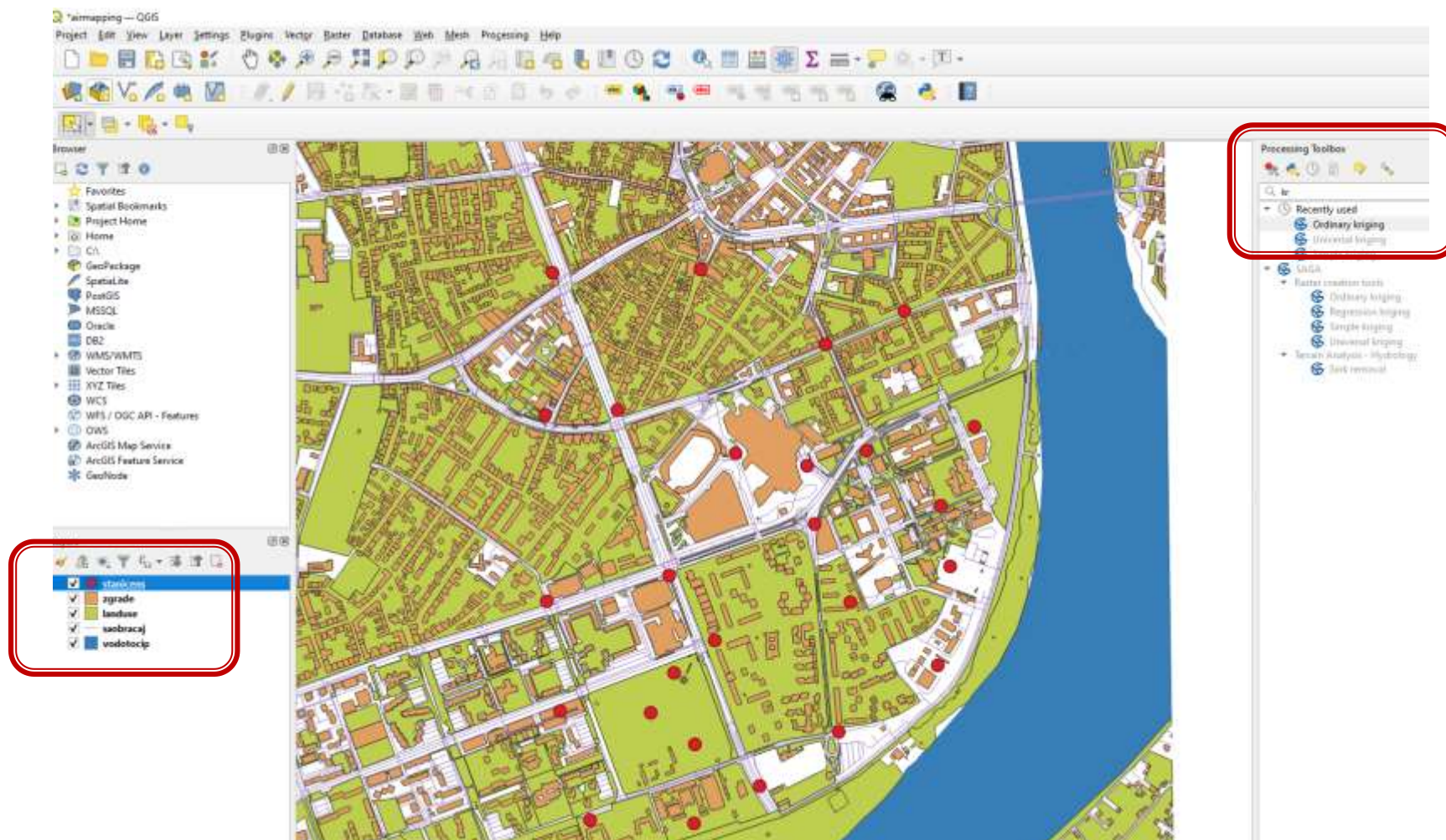
<http://www.amskv.sepa.gov.rs/stanicepodaci.php>

Koraci



1. Učitavanje satnih podataka i potrebnih slojeva
2. Podešavanje parametara i pokretanje Kriginga
3. Manjanje stila prikaza dobijenog rezultata

Učitani slojevi



Satni podaci vezani za kvalitet vazduha



stanicens — Features Total: 26, Filtered: 26, Selected: 0

	id	naziv	PM2.5	PM10	SO2	NO2	O3	CO
1	1	Bulevar	15.42	19.88	12.66	40.03	78.80	0.28
2	3	Stadion	16.81	24.15	11.70	37.14	108.00	0.44
3	4	Merkator	17.03	26.43	11.49	35.60	119.00	0.49
4	5	Most	16.43	20.11	10.17	28.80	70.30	0.34
5	6	NTP	15.36	23.10	9.28	35.12	77.00	0.25
6	7	Štrand	6.89	12.45	5.98	12.37	52.04	0.14
7	8	Indeks	7.01	14.10	6.24	15.07	54.70	0.15
8	9	Rektorat	6.12	10.50	5.25	13.80	40.22	0.11
9	10	PMF	6.47	9.25	5.45	15.06	52.00	0.15
10	12	Pupinova palata	16.78	19.70	12.53	39.40	105.00	0.52
11	13	Futoška raskrsn...	17.59	28.20	11.00	26.20	117.31	0.55
12	14	Gradska kuća	11.25	19.80	12.70	28.90	70.88	0.15
13	17	Limanski park	6.61	10.20	4.69	14.79	51.99	0.1
14	18	Park city	13.32	20.86	10.80	26.67	70.30	0.37
15	19	Limanska pijaca	14.62	21.70	11.50	40.03	74.10	0.37
16	20	Domovi	7.10	10.30	8.75	21.34	43.17	0.21

Show All Features

Podešavanje para

inginga



Ordinary Kriging

Parameters Log

Coordinate System: stanicens (EPSG:32634)

Quality Measure: 1..7 PWZ, 5

Type of Quality Measure: [0] standard deviation

☒ Logarithmic Transformation

☒ Block Kriging

Block Size: 100.000000

Maximum Distance: -1.000000

Lag Distance Classes: 100

Skip: 1

Variogram Model: $a + b * x$

Output extent [optional]: Not set

Cellsize: 1.000000

Fit: [0] nodes

Search Range: [1] global

Maximum Search Distance: 1000.000000

Number of Points: [0] maximum number of nearest points

Minimum: 15

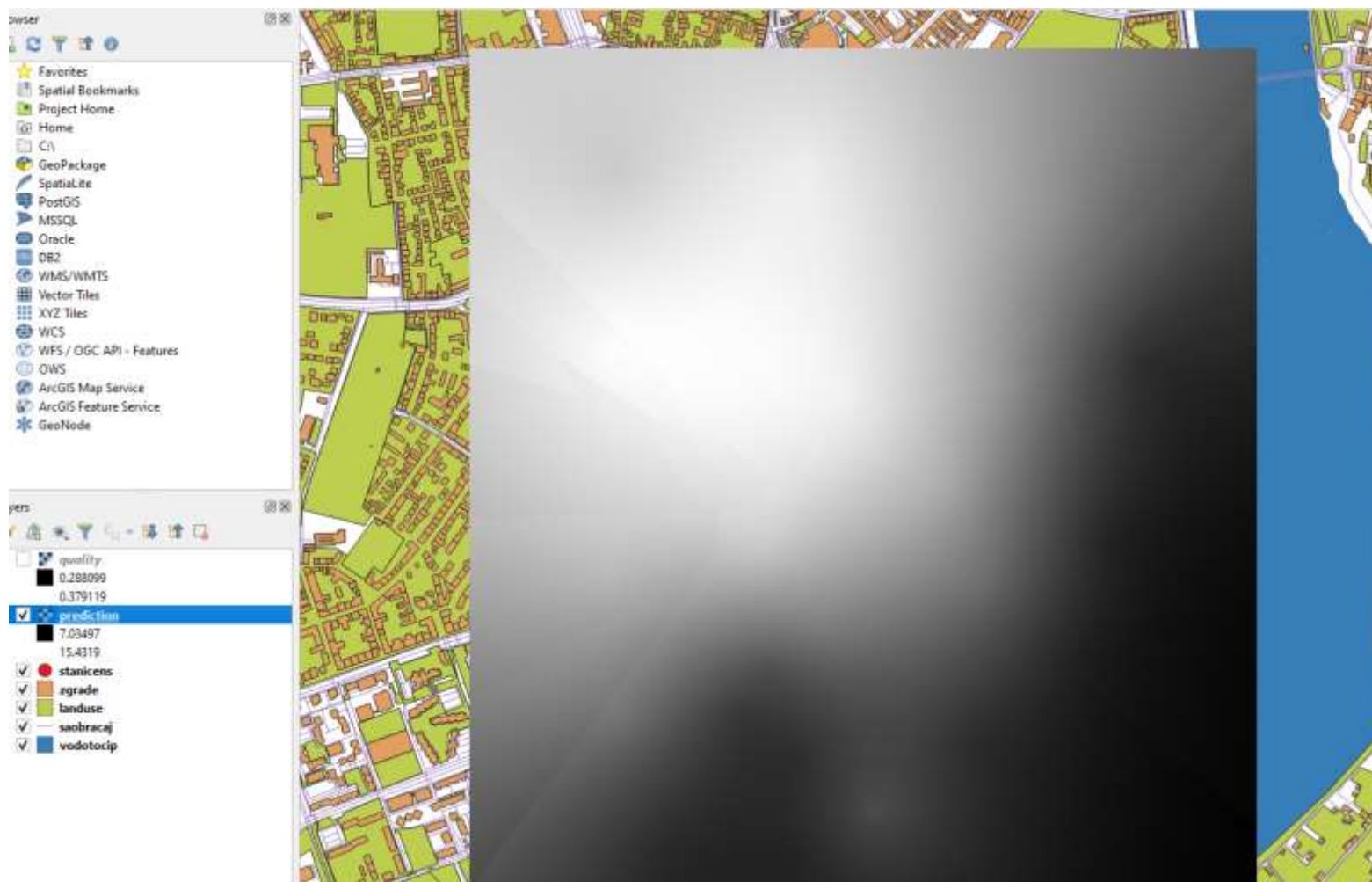
Maximum: 20

Search Direction: [0] all directions

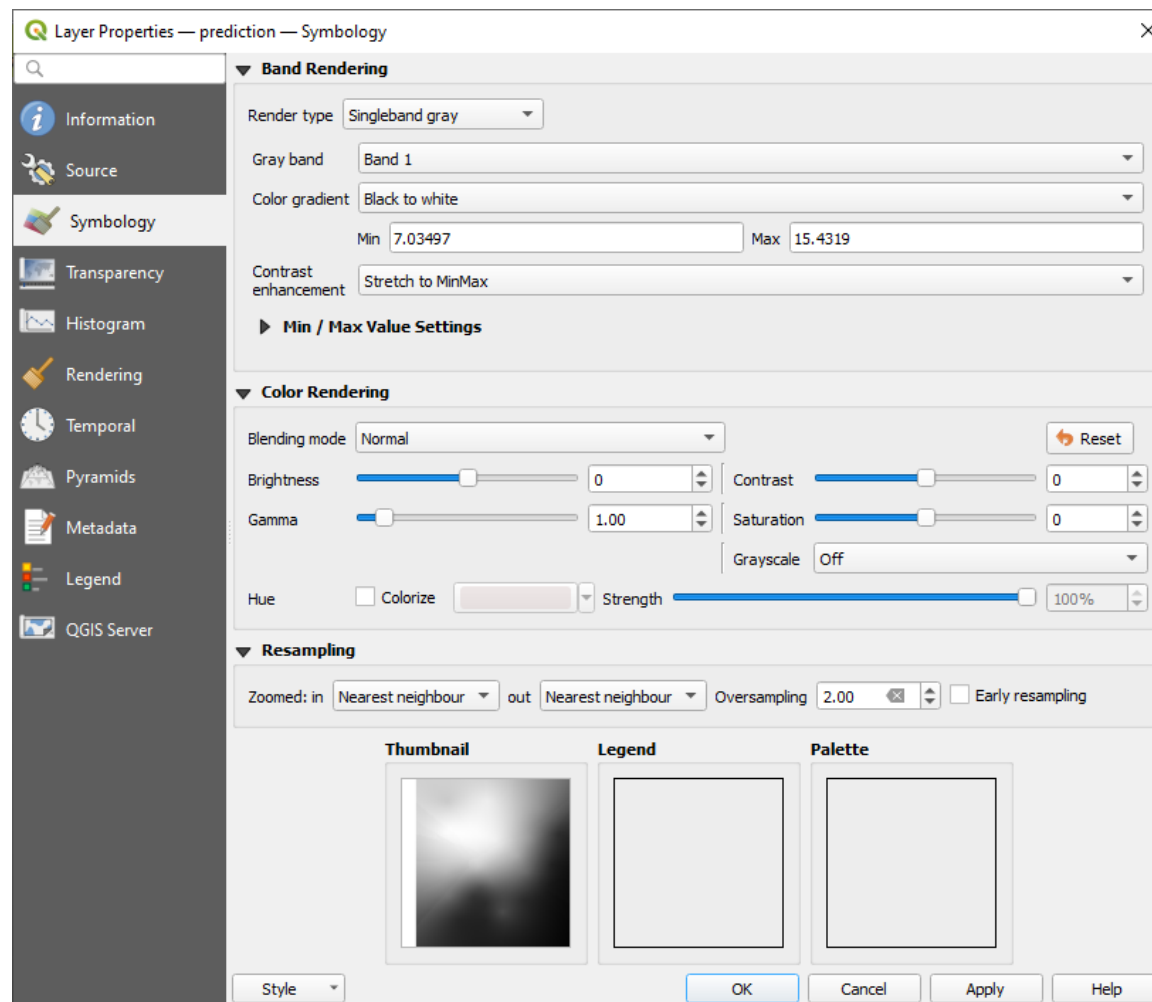
0%

Run as Batch Process... Run Close

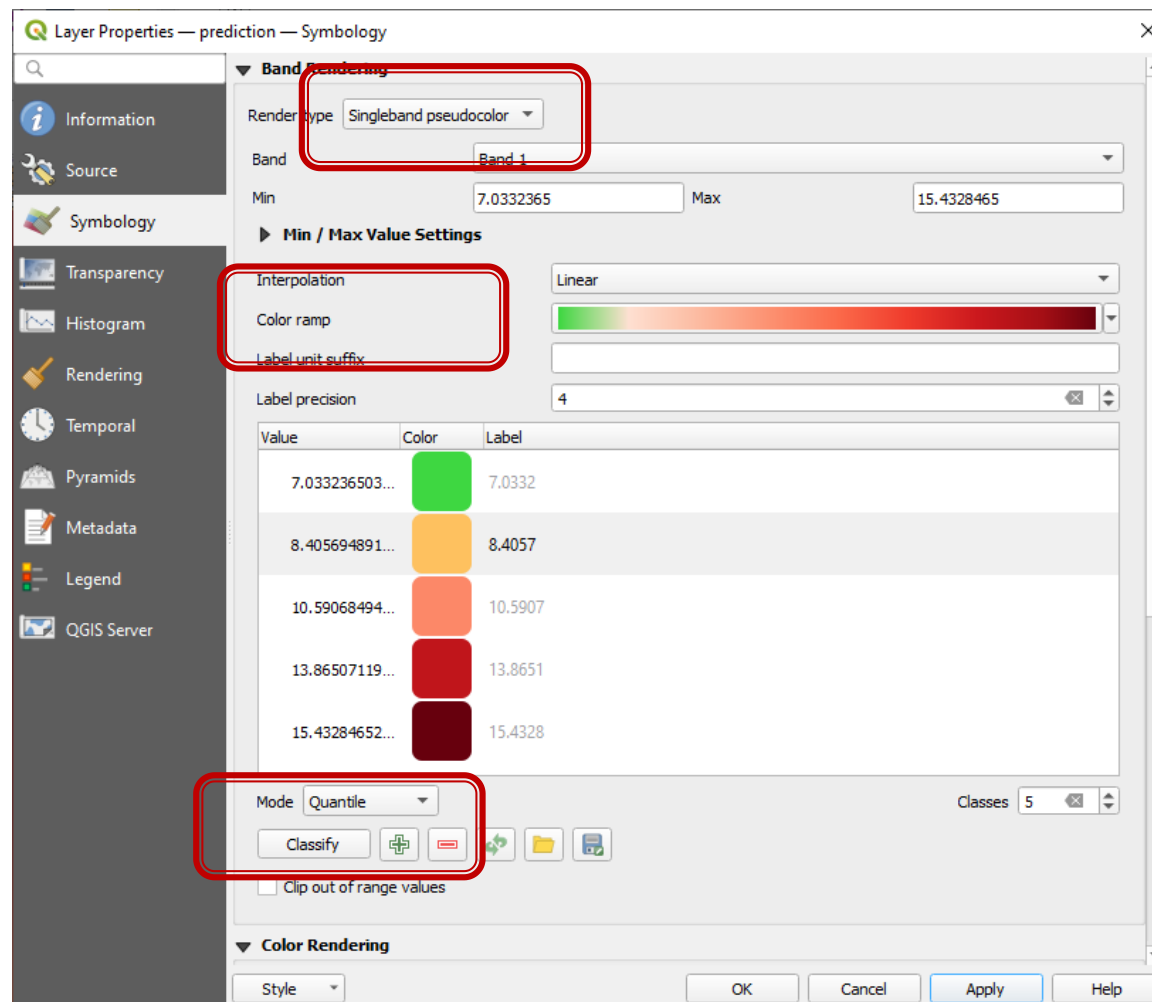
Rezultat Kriginga



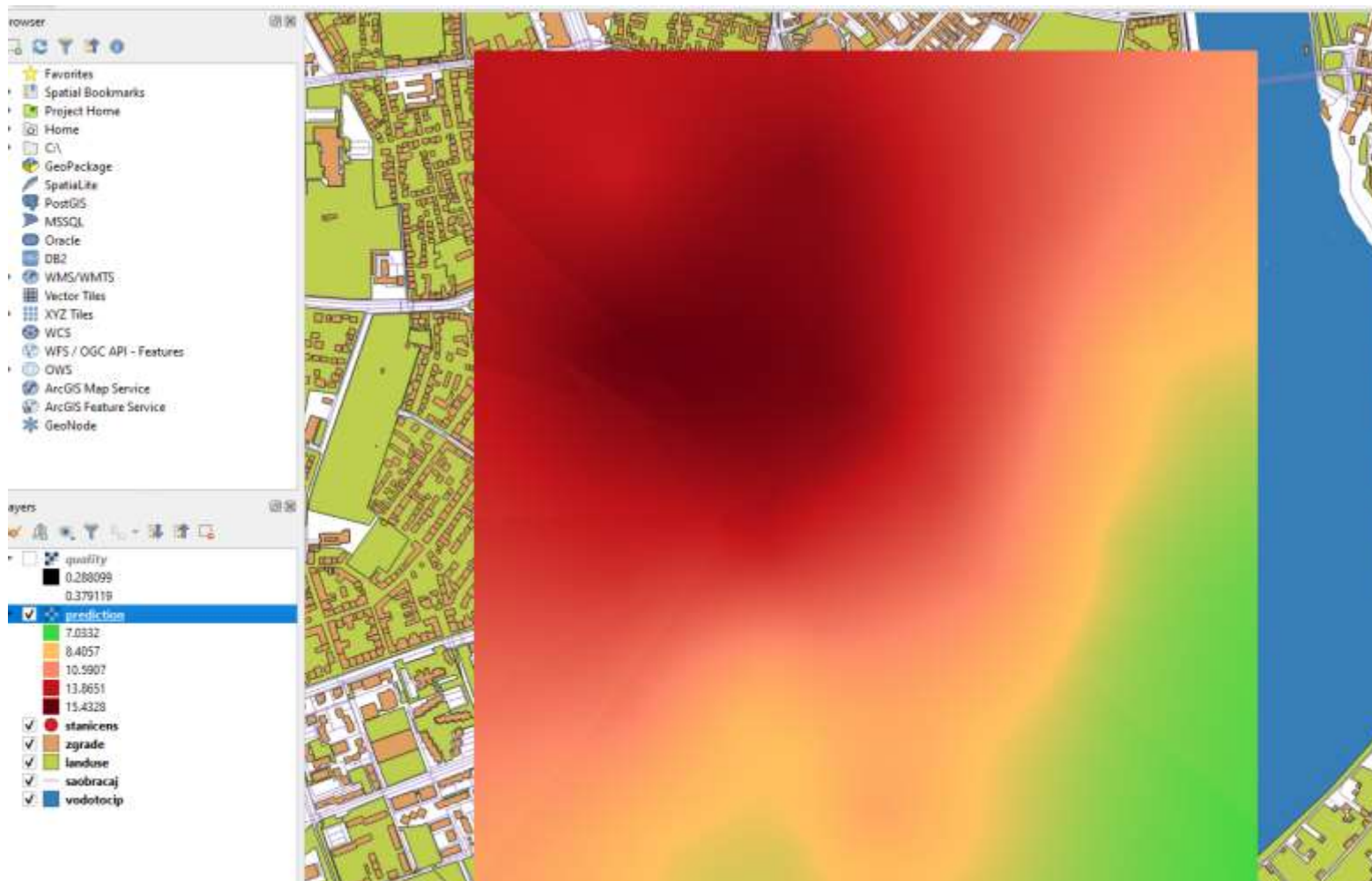
Stil – po defaultu je singleband gray



Pravljenje stila



Pravljenje stila koji daje bolji pregled zona boljeg kvaliteta vazduha



ESRI ArcGIS Geostatistical Analyst



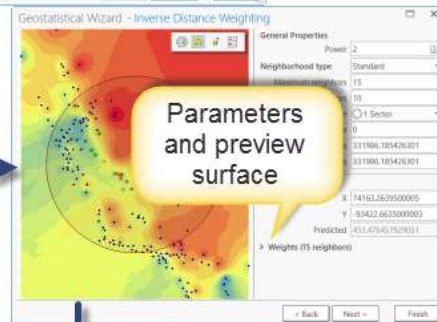
- ESRI ArcGIS Geostatistical Analyst je alat koji pruža mogućnost modelovanja površine upotrebom determinističkih i geostatističkih metoda u ESRI ArcGIS okruženju.
- Deo je skupa alata za prostorne analize i obradu u ArcGIS okruženju (zajedno sa ModelBuilderom, npr.)
- Omogućava generisanje interpolacionih modela i procenu njihovog kvaliteta.
- Dobijene površine se dalje mogu korsititi u modelima (u ModelBuilderu ili Python okruženju), mogu se vizualizovati, analizirati upotrebom ArcGIS Spatial Analyst i ArcGIS 3D Analyst i slično.

Primer toka rada za IDW interpolaciju u ArcGIS Geostatistical Analystu



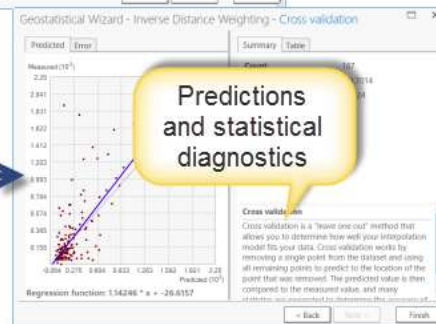
Izbor interpolacionog metoda
i ulaznih podataka

Korišćena Inverse distance weighted interpolacija



Podešavanje parametara
i pregled dobijene površine

Fitovanje modela - pokretanje interpolacije i
konfigurisanje parametara da odgovaraju
statističkim karakteristikama podataka



Izvršavanje dijagnostike – koliko dobro model
predviđa vrednosti na neuzorkovanim lokacijama

Interpolacioni metodi dostupni u ArcGIS Geostatistical Analyst



■ Deterministički metodi

- Global polynomial interpolation
- Local polynomial interpolation
- Inverse distance weighted
- Radial basis functions
- Interpolation with barriers (upotrebom propusnih i nepropusnih barijera u interpolacionom procesu):
 - Diffusion interpolation with barriers
 - Kernel interpolation with barriers

■ Geostatističke metode

- **Empirical Bayesian kriging** je dostupan kao alat za geoprocesiranje. On automatizuje većinu teških aspekata da se izgradi validan kriging model (drugi kriging metodi zahtevaju ručno podešavanje parametara). Alat se može koristiti da proizvede sledeće površine:
 - Mape predikcije vrednosti upotrebom kriginga
 - Mape standardnih grešaka kriginga povezanih sa predviđenim vrednostima
 - Mape verovatnoće, koje pokazuju da li je predefinisani kritični nivo pređen
 - Kvantilne mape za preodređeni nivo verovatnoće

Lista dostupnih interpolacionih modela u ArcGIS Geostatistical Analyst alatu



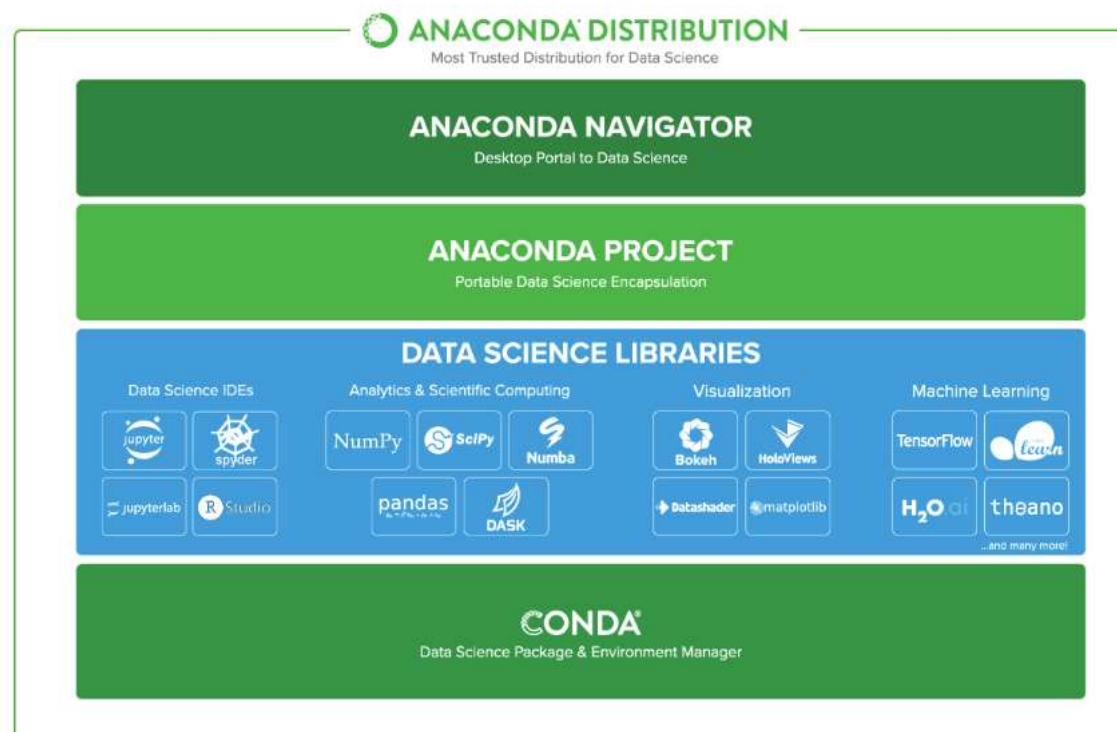
- Global polynomial
- Local polynomial
- Inverse distance weighted
- Radial basis functions
- Diffusion interpolation with barriers
- Kernel interpolation with barriers
- Ordinary kriging
- Simple kriging
- Universal kriging
- Indicator kriging
- Probability kriging
- Disjunctive kriging
- Gaussian geostatistical simulations
- Empirical Bayesian kriging
- EBK Regression Prediction



Geostatistika i python



- Pored QGISa i ArcGISa, geostatistika je podržana i kroz python module koji sadrže gotove implementirane metode, koje samo treba pozvati sa ulaznim parametrima.

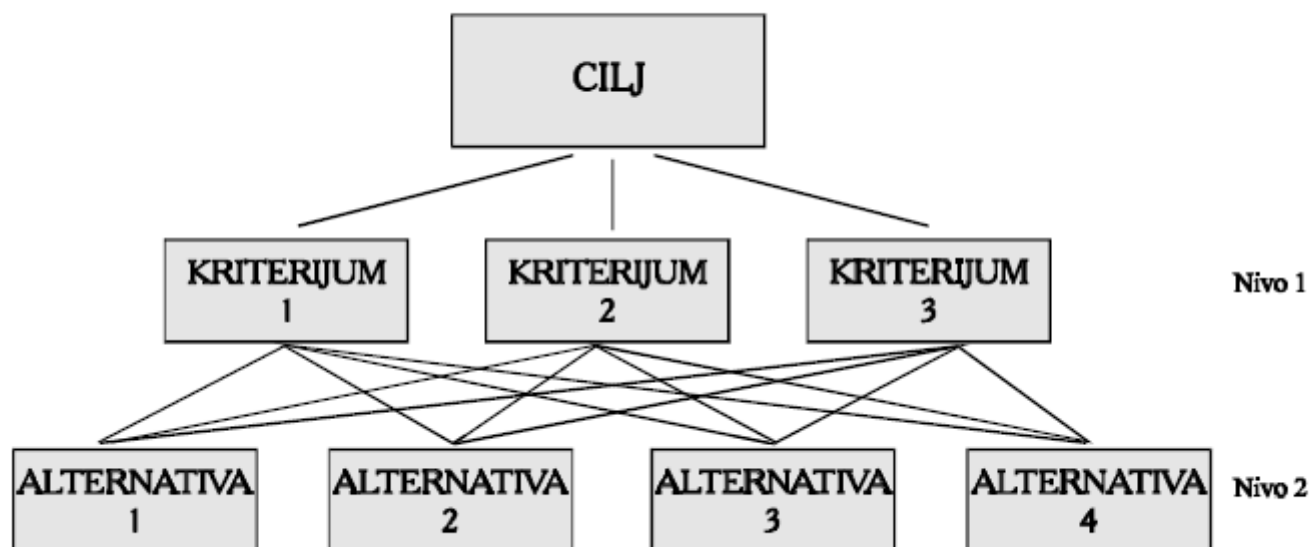


2.2.3 Analitički Hijerarhijski Proces (AHP)



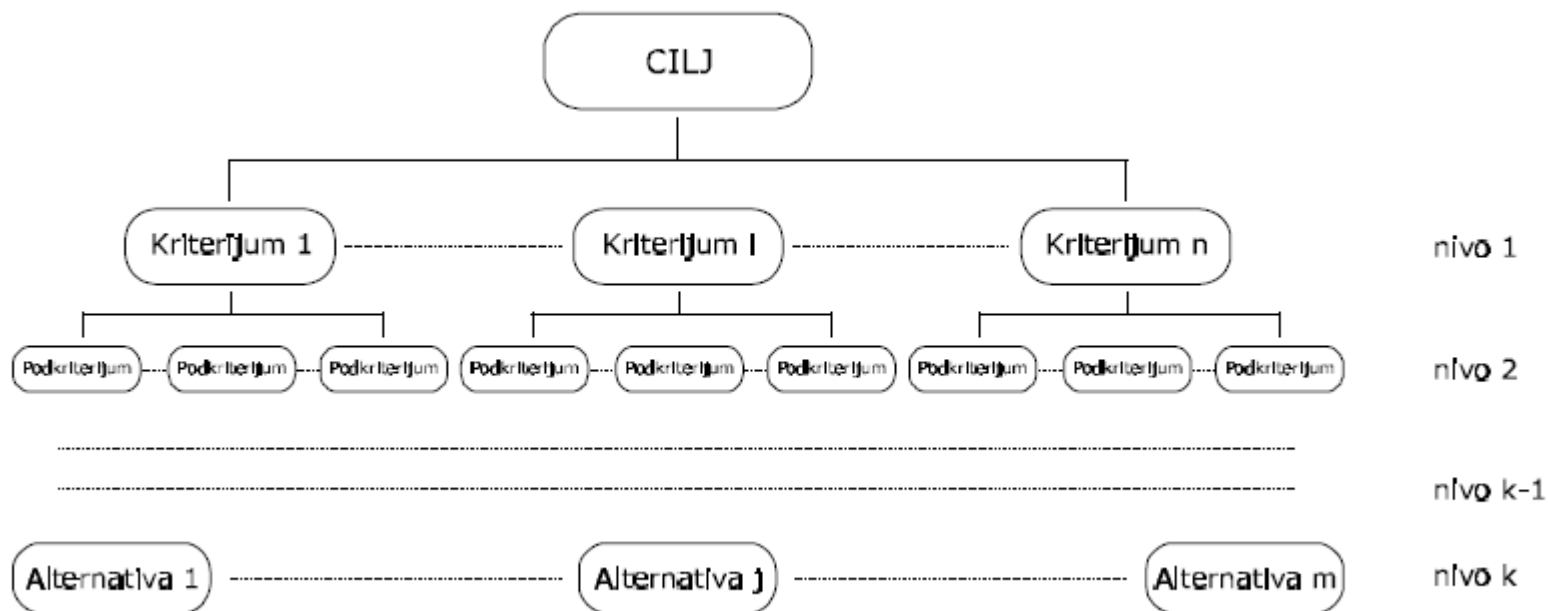
- Analitički hijerarhijski proces spada u klasu metoda za meku optimizaciju.
- U osnovi se radi o specifičnom alatu za formiranje i analizu hijerarhija odlučivanja.
- AHP najpre omogućava interaktivno kreiranje hijerarhije problema kao pripremu scenarija odlučivanja, a zatim vrednovanje u parovima elemenata hijerarhije (ciljeva, kriterijuma i alternativa) u top-down smeru.
- Na kraju se vrši sinteza svih vrednovanja i po strogo utvrđenom matematičkom modelu određuju težinski koeficijenti svih elemenata hijerarhije.
- Zbir težinskih koeficijenata elemenata na svakom nivou hijerarhije jednak je 1 što omogućava donosiocu odluka da rangira sve elemente u horizontalnom i vertikalnom smislu.

Primer hijerarhije u AHP –u



AHP metod bira najbolju od ponuđenih alternativa na bazi ponderisanih kriterijuma. Kriterijumima su dodeljeni težinski faktori (ponderi) u skladu sa njihovom važnošću. Ponderisanje se radi prema Satijevoj skali.

Opsti hijerarhijski model u AHP-u



Satijeva skala vrednovanja



$$S = \left\{ \frac{1}{9}, \frac{1}{8}, \frac{1}{7}, \frac{1}{6}, \frac{1}{5}, \frac{1}{4}, \frac{1}{3}, \frac{1}{2}, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 \right\}.$$

Znacaj	Definicija	Objasnjenje
1	Istog znacaja	Dva elementa su identicnog znacaja u odnosu na cilj
3	Slaba dominantnost	Iskustvo ili rasudjivanje neznatno favorizuju jedan element u odnosu na drugi
5	Jaka dominantnost	Iskustvo ili rasudjivanje znatno favorizuju jedan element u odnosu na drugi
7	Demonstrirana dominantnost	Dominantnost jednog elementa potvrđena u praksi
9	Apsolutna dominantnost	Dominantnost najviseg stepena
2,4,6,8	Medjuvrednosti	Potreban kompromis ili dalja podela

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdot & \cdot & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdot & \cdot & a_{2n} \\ \cdot & & & & \cdot \\ \cdot & & & & \cdot \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdot & \cdot & a_{nn} \end{bmatrix}.$$

$$X = \begin{bmatrix} \frac{w_1}{w_1} & \frac{w_1}{w_2} & \dots & \frac{w_1}{w_n} \\ \frac{w_2}{w_1} & \frac{w_2}{w_2} & \dots & \frac{w_2}{w_n} \\ \frac{w_3}{w_1} & \frac{w_3}{w_2} & \dots & \frac{w_3}{w_n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \frac{w_n}{w_1} & \frac{w_n}{w_2} & \dots & \frac{w_n}{w_n} \end{bmatrix}$$

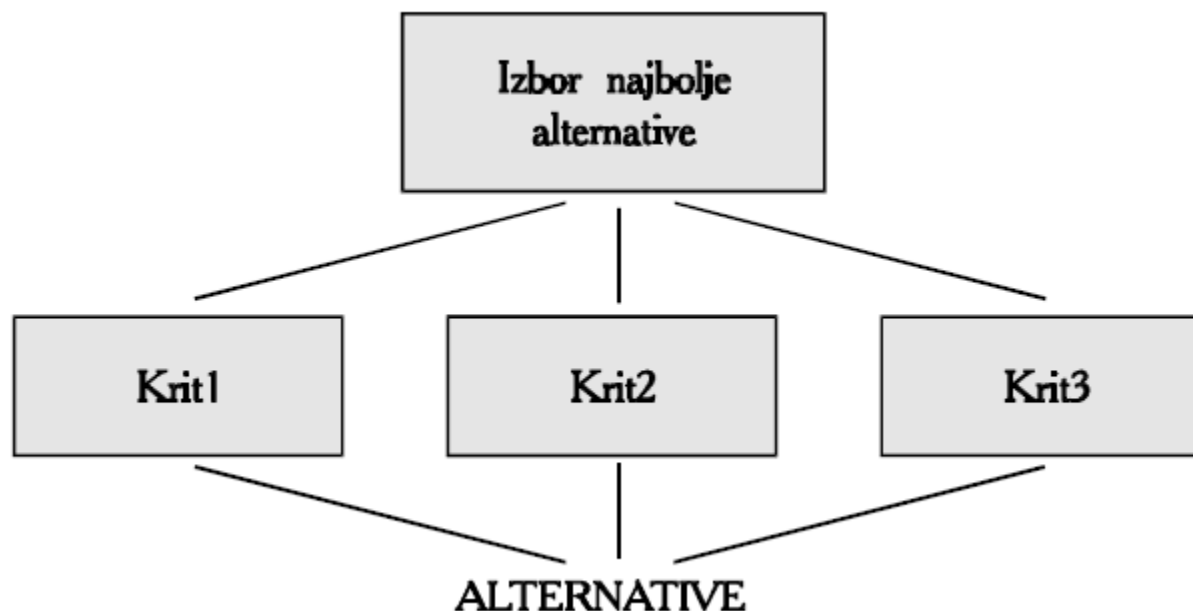
Satijeva skala vrednovanja



SKALA PROCENE ODNOSA VAŽNOSTI POJEDINIH ATRIBUTA			
$V(x_i / x_j) = g_i / g_j = a_{ij}; a_{ij} = 1/a_{ji}$			
Odnos važnosti		OPIS	OBJAŠNJENJE
g_i / g_j	g_j / g_i		
1	(1)	Jednaka važnost	Oba atributa imaju jednak doprinos u odnosu na postavljeni cilj
2	(1/2)	Veoma mala prednost x_i u odnosu na x_j	Atribut x_i ima jedva приметnu prednost u odnosu na x_j , pri čemu se oni ipak ne mogu tretirati kao jednako važni
3	(1/3)	Mala prednost x_i u odnosu na x_j	Iskustvo i rasuđivanje upućuju na davanje jasno uočljive male prednosti jednog atributa nad drugim
5	(1/5)	Velika prednost x_i u odnosu na x_j	Iskustvo i rasuđivanje upućuju na davanje znatne prednosti jednog atributa u odnosu na drugi
7	(1/7)	Vrlo velika prednost x_i u odnosu na x_j	Atribut x_i jako dominira nad atributom x_j za šta postoje i potvrde iz prakse
9	(1/9)	Ekstremno velika prednost x_i u odnosu na x_j	Evidentna, neosporna i dokazana izrazita dominacija atributa x_i nad atributom x_j
4, (1/4)	6, (1/6)	8, (1/8)	Međuvrednosti koje pripadaju kontinumu predložene skale i koje se koriste kada je striktan izbor vrednosti otežan

Tabela 4 Saaty-jeva skala relativne važnosti

Primer



	Krit1	Krit2	Krit3
Krit1	1	2	5
Krit2	1/2	1	3
Krit3	1/5	1/3	1

	Krit1	Krit2	Krit3	Suma
Krit1	0,59	0,60	0,56	1,75
Krit2	0,29	0,30	0,33	0,92
Krit3	0,12	0,10	0,11	0,33

Faze



- Kvalitetno provođenje višekriterijumske optimizacije vrši se u nekoliko faza:
 - identifikacija svih alternative;
 - definisanje ključnih kriterijuma po kojima će se alternative vrednovati;
 - provođenje analize međusobne zavisnosti kriterijuma;
 - dodeljivanje određenih težinskih vrednosti svakom kriterijumu, na osnovu stručne procene pojedinca ili grupe donosioca odluka;
 - utvrđivanje vrednosti svakog kriterijuma za svako alternativno rešenje;
 - odabir postupka višekriterijumske optimizacije;
 - provođenje višekriterijumske optimizacije;
 - analiza rezultata;
 - donošenje konačne odluke.

Primer: Kriterijumi za rangiranje katastarskih opština



- f1 : Aktivno poljoprivredno stanovništvo;
- f2 : Migracija poljoprivrednog stanovništva;
- f3 : Udeo obradivog zemljišta u ukupnoj površini poljoprivrednog zemljišta;
- f4 : Prosečna površina parcele u privatnoj svojini;
- f5 : Procenat individualnih poljoprivrednih proizvođača sa vlasništvom većim od 5 ha;
- f6 : Udeo državne svojine u ukupnoj površini poljoprivrednog zemljišta;
- f7 : Veličina zemljišta u državnoj svojini koja se daje u zakup;
- f8 : Prosečna površina parcele u državnoj svojini;
- f9 : Stanje zaštite životne sredine;
- f10 : Prosečna katastarska klasa zemljišta;
- f11 : Površina pod nekatégorisanim-atarskim putevima;
- f12 : Površina pod kanalskom mrežom;
- f13 : Stanje uređenosti seoskih naselja;
- f14 : Stanje premera i katastra nepokretnosti.

Definisanje težina pojedinih kriterijuma



- Kada pri donošenju odluke postoji više različitih kriterijuma, oni gotovo po pravilu nemaju istu važnost, pa im se zbog toga dodeljuju težine (težinski faktori odnosno vrednosti), koje odražavaju njihove relativne važnosti.
- Određivanje važnosti kriterijuma je subjektivna radnja u kojoj se interpretira sistem vrednosti u konkretnom zadatku višekriterijumske analize. Svakom kriterijumu K pridružuje se relativna težina W .
- U najjednostavnijem slučaju svako K je nenegativan broj, a ako je pri tome suma težina jednaka 1 kaže se da su relativne težine kriterijuma normalizovane. Ako to nije slučaj, lako je moguće izvršiti normalizaciju.

Definisanje težina pojedinih kriterijuma



- Relativne težine kriterijuma nekada se izražavaju lingvistički. Na primer, za neki kriterijum se kaže vrlo važan, ili srednje važan, ili malo važan, itd.
- Subjektivni stav prema važnosti kriterijuma, moguće je simultano iskazati i rečenicama tipa: svi kriterijumi su podjednako važni, izuzev kriterijuma $K' \in K$ koji ima dva puta veću važnost.
- Odnos prema važnosti kriterijuma moguće je lingvistički iskazati i poređenjem važnosti parova kriterijuma. Na primer: kriterijumi K' i K'' su podjednako važni, ili kriterijum K' je apsolutno važniji od kriterijuma K'' .
- U određivanju relativnih težina kriterijuma subjektivizam ima značajnu ulogu.

Definisanje matrice odlučivanja za rangiranje opština



- Nakon dodeljivanja težinskih koeficijenata kriterijumima, potrebno je formirati matricu odlučivanja. S obzirom na kompleksnost same problematike, matrica odlučivanja je formirana na osnovu velikog broja prikupljenih realnih podataka o opštinama od niza relevantnih institucija i ustanova.
- Matrica odlučivanja sadrži:
 - alternative (katastarske opštine);
 - kriterijume relevantne za rangiranje;
 - normalizovane težine pojedinih kriterijuma i
 - koji cilj imaju date funkcije (min ili max).

Kriterijumi su podeljeni u dve grupe: kvantitativne i kvalitativne kriterijume



Ozn.	Kriterijum	Skala
f_9	Stanje zaštite životne sredine	1-5
f_{13}	Stanje uređenosti seoskih naselja	1-5
f_{14}	Stanje premera i katastra nepokretnosti	1-5

Tabela 1 Kvalitativni kriterijumi

Ozn.	Kriterijum	mera jedinica
f_1	Aktivno poljoprivredno stanovništvo	%
f_2	Migracija poljoprivrednog stanovništva	%
f_3	Udeo obradivog zemljišta u ukupnoj površini poljoprivrednog zemljišta	%
f_4	Prosečna površina parcele u privatnoj svojini	ha
f_5	Procenat individualnih poljoprivrednih proizvođača sa vlasništvom većim od 5 ha	%
f_6	Udeo državne svojine u ukupnoj površini poljoprivrednog zemljišta	%
f_7	Veličina zemljišta u državnoj svojini, koja se daje u zakup	%
f_8	Prosečna površina parcele u državnoj svojini	ha
f_{10}	Prosečna katastarska klasa zemljišta	kat. klasa
f_{11}	Površina pod nekategorisanim-atarskim putevima	%
f_{12}	Površina pod kanalskom mrežom	%

Tabela 2 Kvalitativni kriterijumi

Matrica odlučivanja



Kriterijum	f1	f2	f3	f4	f5	f6	f7	f8	f9	f10	f11	f12	f13	f14
Jedinica	%	%	%	ha	%	%	%	ha	Nbr	k. kl.	%	%	Nbr	Nbr
Cilj	max	max	max	min	max	max	max	min	min	min	min	min	min	min
Alternativa														
Apatin	7.87	7.41	56.58	0.44	5.04	59.60	54	3.06	3	3.46	0.89	1.68	5	4
Kupusina	78.76	12.86	69.32	0.28	2.87	26.06	69	0.42	1	4.14	0.66	5.20	1	1
Prigrevica	23.55	12.00	78.32	0.44	1.35	55.15	57	0.96	1	2.38	0.66	6.65	2	1
Svilojevo	51.75	7.97	62.44	0.57	4.28	49.11	49	0.95	2	2.65	0.66	4.59	2	1
Sonta	39.79	9.93	67.51	0.40	3.29	64.85	63	1.18	1	2.22	0.51	2.37	1	1

Tabela 3 Matrica odlučivanja

Primena AHP medela za rangiranje katastarskih opština



Kriterijum	Težina W_i
f_1	0.0702
f_2	0.0702
f_3	0.1630
f_4	0.1630
f_5	0.0702
f_6	0.0267
f_7	0.0267
f_8	0.1630
f_9	0.0702
f_{10}	0.0702
f_{11}	0.0267
f_{12}	0.0267
f_{13}	0.0267
f_{14}	0.0267

Tabela 6 Težine svakog kriterijuma

Interval	Vrednost
0,00-0,10	1
0,11-0,22	2
0,23-0,33	3
0,34-0,44	4
0,45-0,55	5
0,56-0,66	6
0,67-0,77	7
0,78-0,88	8
0,89-1,00	9

Tabela 7 Skala vrednosti za alternative

Primena AHP medela za rangiranje katastarskih opština



Alternativa	f1	f2	f3	f4	f5	f6	f7	f8	f9	f10	f11	f12	f13	f14
Apatin	0.00	0.00	0.00	0.45	1.00	0.86	0.25	0.00	0.00	0.35	0.00	1.00	0.00	0.00
Kupusina	1.00	1.00	0.59	1.00	0.41	0.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.60	0.29	1.00	1.00
Prigrevica	0.22	0.84	1.00	0.45	0.00	0.75	0.40	0.80	1.00	0.92	0.60	0.00	0.75	1.00
Svilojevo	0.62	0.10	0.27	0.00	0.80	0.59	0.00	0.80	0.50	0.78	0.60	0.41	0.75	1.00
Sonta	0.45	0.46	0.50	0.59	0.53	1.00	0.70	0.71	1.00	1.00	1.00	0.86	1.00	1.00

Tabela 8 Normalizovana matrica odlučivanja

Alternativa	f1	f2	f3	f4	f5	f6	f7	f8	f9	f10	f11	f12	f13	f14
Apatin	1	1	1	5	9	8	3	1	1	4	1	9	1	1
Kupusina	9	9	6	9	4	1	9	9	9	1	6	3	9	9
Prigrevica	2	8	9	5	1	7	4	8	9	9	6	1	7	9
Svilojevo	6	1	3	1	8	6	1	8	5	8	6	4	7	9
Sonta	5	5	5	6	5	9	7	7	9	9	9	8	9	9

Tabela 9 Transformisana normalizovana matrica odlučivanja

Primena AHP medela za rangiranje katastarskih opština



Alternativa	f1	f2	f3	f4	f5	f6	f7	f8	f9	f10	f11	f12	f13	f14	Σ
Apatin	0.003	0.003	0.007	0.031	0.023	0.007	0.003	0.005	0.002	0.009	0.001	0.010	0.001	0.001	0.106
Kupusina	0.027	0.026	0.041	0.056	0.010	0.001	0.010	0.044	0.019	0.002	0.006	0.003	0.007	0.006	0.261
Prigrevica	0.006	0.023	0.061	0.031	0.003	0.006	0.004	0.040	0.019	0.020	0.006	0.001	0.006	0.006	0.233
Svilojevo	0.018	0.003	0.020	0.006	0.021	0.005	0.001	0.040	0.011	0.018	0.006	0.004	0.006	0.006	0.165
Sonta	0.015	0.015	0.034	0.038	0.013	0.008	0.008	0.035	0.019	0.020	0.009	0.009	0.007	0.006	0.235

Tabela 10 Sveobuhvatna sinteza problema odlučivanja

Alternativa	Težinski udeo alternative	Rang
Kupusina	0.261	1
Sonta	0.235	2
Prigrevica	0.233	3
Svilojevo	0.165	4
Apatin	0.106	5

Tabela 11 Rang lista katastarskih opština