

Ivetić V., Isajev V., Krstić M. 2010. *Interpolation of meteorological data by kriging method for use in forestry*. Bulletin of the Faculty of Forestry 101: 49-66.

Владан Иветић  
Василије Исајев  
Милун Крстић

UDK 630\*111.0:519.2  
Оригинални научни рад  
DOI 10.2298/GSF1001049I

## ИНТЕРПОЛАЦИЈА МЕТЕОРОЛОШКИХ ПОДАТАКА МЕТОДОМ КРИГИНГА ЗА УПОТРЕБУ У ШУМАРСТВУ

**Извод:** Интерполација представља погодан начин за добијање вредности неке просторне променљиве на локацији на којој не можемо вршити мерења, на основу података добијених мерењем исте променљиве на унапред одређеним локацијама (нпр. метеоролошке станице). У овом раду, за потребе истраживања у шумарству, извршена је интерполација вредности температура и висине падавина са 39 метеоролошких станица из Србије и околине. Добијени резултати су представљени у виду интерактивне карте Србије, која омогућује брзо и лако одређивање посматране променљиве на било којој тачки унутар њене територије, што је показано на примеру 27 шумских станишта.

**Кључне речи:** кригинг, интерполација, шумарство

### INTERPOLATION OF METEOROLOGICAL DATA BY KRIGING METHOD FOR USE IN FORESTRY

**Abstract:** Interpolation is a suitable method of computing the values of a spatial variable at the location which is impossible for measurement, based on the data obtained by the measurement of the same variable at the predetermined locations (e.g. weather stations). In this paper, temperature and rainfall values at 39 weather stations in Serbia and neighbouring countries were interpolated aiming at the research in forestry. The study results are presented in the form of an interactive map of Serbia, which allows a fast and simple determination of the analysed variable at any point within its territory, which is presented by the example of 27 forest sites.

**Key words:** kriging, interpolation, forestry

*др Владан Иветић, асистент, Универзитет у Београду - Шумарски факултет, Београд (vladan.ivetic@sfb.rs)*

*др Василије Исајев, редовни професор, Универзитет у Београду - Шумарски факултет, Београд*

*др Милун Крстић, редовни професор, Универзитет у Београду - Шумарски факултет, Београд*

## 1. УВОД

Мерење метеоролошких или било којих других података на целој површини неког подручја или државе је практично немогуће. У шумарству је често потребно утврдити однос између испитиваних особина и климатских карактеристика на одређеним локацијама, због чега су нам потребни подаци о клими на тим конкретним локацијама, а не из околних метеоролошких станица. Да би се добиле потребне информације, најбоље је користити интерполацију доступних података. Методе интерполације омогућују прављење површине која се заснива на подацима са мерних тачака и предвиђеним вредностима исте променљиве на свим осталим тачкама неке територије.

Постоји више метода интерполације метеоролошких података, као што су DayMet (Lehner *et al.*, 2006), ANN - Artificial Neural Networks (Wong *et al.*, 2001, Rigol, 2003), Neural Fuzzy Technique (Wong *et al.*, 2001), Thiessen polygons, Regression on Coordinates, Environmental Correlation, Bayesian-based Models, Regression-kriging (Hengl, 2007), Inverse Distance Interpolation или Inverse Distance Weighting (Nikolova, Vassilev, 2006, Hengl, 2007, Bakkali, Amrani, 2008, Lanciani, Salvati, 2008), Splines (Hengl, 2007, Lanciani, Salvati, 2008), Kriging (Nikolova, Vassilev, 2006, Hengl, 2007, Bakkali, Amrani, 2008, Lanciani, Salvati, 2008), Minimum Curvature (Nikolova, Vassilev, 2006, Bakkali, Amrani, 2008), Nearest neighbor Interpolation (Nikolova, Vassilev, 2006), Polynomial Interpolation, Gaussian Process Regression, Kolmogorov Wiener Prediction, Best Linear Unbiased Prediction, Barnes Technique, Kalman Filter (Lanciani, Salvati, 2008), Polynomial Regression (Nikolova, Vassilev, 2006), Radial Base Functions (Nikolova, Vassilev, 2006, Bakkali, Amrani, 2008, Attorre *et al.*, 2008), Shepard's Method (Cozac, 2003, Nikolova, Vassilev, 2006), Optimal Interpolation (Lanciani, Salvati, 2008, Persson *et al.*, 2008), 2D-Var Techniques (Persson *et al.*, 2008), 4D-Var Techniques (Lanciani and Salvati 2008), Triangulation with Linear Interpolation (Nikolova, Vassilev, 2006, Bakkali, Amrani, 2008) и др.

Модел (алгоритми) просторног предвиђања могу се груписати са више аспеката. Најважнија је подела према количини статистичких анализа које обухватају (Hengl, 2007). Тако се могу поделити на:

1. механичке (емпиријске) моделе - користе произвољне или емпиријске параметре. Код ових техника не постоји процена грешке модела и обично не постоји строга претпоставка о варијабилности испитиване особине. Најпознатији емпиријски модели су Thiessen polygons, Inverse Distance Interpolation, Regression on coordinates, Splines, и др.;
2. статистичке моделе (моделе вероватноће) - где су параметри модела процењени на објективан начин, у складу са теоријом вероватноће. У овим техникама, предвиђања су праћена проценом грешке предвиђања. Због овога, улазни подаци морају да задовоље строге статистичке претпоставке. Овде се могу сврстати најмање четири групе статистичких модела:

Kriging, EnvironmentalCorrelation, Bayesian-basedModel, комбиновани модели (Regression-krigging) и др.

Такође, методи интерполације се могу поделити на:

1. регуларне - који праве блиске иницијалне тачке и образују мрежу идентичних правоугаоника дефинисаних од стране корисника, а могу се даље поделити на:
  - а) детерминистичке - користе математичке моделе (односе);
  - б) геостатистичке - користе математичке и статистичке функције за образовање површина и процену предвиђања;
2. нерегуларне - тачке се повезују троугловима, а сваки троугао детерминисе површину која се користи за предвиђање вредности на свакој тачки, па је потребан велики број тачака са познатим подацима, због чега овај метод није погодан за интерполацију климатских података.

## 2. МАТЕРИЈАЛ И МЕТОД

### 2.1. Локације испитиваних станишта

У оквиру ширег истраживања, наметнула се потреба за сазнањем о клими одређених шумских станишта на подручју Србије. У том смислу, извршена је интерполација метеоролошких података за 27 локација (табела 1) у оквиру ареала букве.

**Табела 1.** Локације истраживаних шумских станишта  
**Table 1.** Location of investigated forest sites

№	Локалитет Locality	<i>X</i>	<i>Y</i>	<i>H</i>
		<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>
1	Цер 1	381.506	4.939.240	644
2	Цер 2	380.965	4.939.670	645
3	Источна Борања 2	364.735	4.909.790	870
4	Рудник	460.073	4.888.475	637
5	Велики Јастребац 2	530.548	4.807.902	561
6	Радан	534.459	4.765.121	635
7	Кукавица 1	579.310	4.729.560	731
8	Кукавица 2	579.917	4.730.770	985
9	Кукавица 3	580.032	4.731.459	1.041
10	Кукавица 5	579.128	4.731.578	1.122
11	Бесна Кобила 2	593.073	4.714.355	1.132
12	Бесна Кобила 3	596.375	4.713.339	1.220

**Табела 1.** Локације истраживаних шумских станшта  
**Table 1.** Location of investigated forest sites

№	Локалитет Locality	<i>X</i>	<i>Y</i>	<i>H</i>
		<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>
13	Бесна Кобила 4	596.332	4.712.968	1.250
14	Жагубица	569.673	4.896.900	774
15	Мироч	594.123	4.923.968	286
16	Букови	413.983	4.885.454	768
17	Тара	373.111	4.864.294	1.089
18	Муртеница	403.225	4.825.801	1.348
19	Јадовник	396.291	4.802.298	646
20	Јавор	425.408	4.809.939	1.534
21	Голија	440.379	4.811.762	860
22	Гоч	480.413	4.823.148	834
23	Копаоник 1	487.561	4.796.468	1.580
24	Копаоник 2	488.711	4.794.821	1.097
25	Стара Планина	649.909	4.786.947	917
26	Ртањ	575.766	4.840.057	728
27	Рогозна	468.330	4.759.644	865

\* координате су дате у формату UTM, зона 34

\* coordinates were given in UTM format, zone 34

## 2.2. Метеоролошки подаци

За стандардизовање вредности које репрезентују климатску историју неке области, узете су нормалне вредности температуре и средње месечне суме падавина забележене на 29 сталних метеоролошких станица у Србији, у периоду од 1961-1990. год. (нормале). Овај период је одређен од Светске метеоролошке организације као важећа клима. Ради боље интерполације вредности за области које нису окружене метеоролошким станицама у Србији, за анализу су узети и резултати из 10 метеоролошких станица у окружењу.

**Табела 2.** Положај 29 метеоролошких станица у Србији и 10 станица у окружењу  
**Table 2.** Location of 29 meteorological stations in Serbia and 10 in neighboring countries

№	Станица Station	<i>X</i>	<i>Y</i>	<i>H</i>
		<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>
1	Палић	404.673	5.105.898	102
2	Сомбор	356.150	5.069.787	88
3	Римски Шанчеви	409.890	5.020.624	84

**Табела 2.** Положај 29 метеоролошких станица у Србији и 10 станица у окружењу  
**Table 2.** Location of 29 meteorological stations in Serbia and 10 in neighboring countries

№	Станица Station	<i>X</i>	<i>Y</i>	<i>H</i>
		<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>
4	Кикинда	458.591	5.077.520	81
5	Зрењанин	454.319	5.023.849	80
6	Сремска Митровица	385.917	4.995.082	82
7	Београд	457.819	4.960.872	132
8	Лозница	359.674	4.934.481	121
9	Ваљево	413.608	4.907.616	176
10	Смедеревска Паланка	496.016	4.912.600	121
11	Велико Градиште	540.898	4.955.309	82
12	Црни Врх	576.016	4.885.270	1.037
13	Неготин	623.782	4.898.957	42
14	Крагујевац	494.658	4.875.577	185
15	Ђуприја	530.768	4.864.540	123
16	Пожега	422.303	4.855.667	310
17	Златибор	396.650	4.843.056	1.028
18	Зајечар	604.431	4.859.735	144
19	Краљево	475.827	4.838.597	215
20	Крушевац	528.264	4.823.805	166
21	Сјеница	418.867	4.792.765	1.038
22	Копаник	483.773	4.792.299	1.710
23	Ниш	572.960	4.798.225	202
24	Димитровград	642.603	4.764.152	450
25	Лесковац	577.454	4.759.402	230
26	Врање	575.259	4.711.252	432
27	Приштина	512.295	4.721.960	573
28	Пећ	442.637	4.724.037	498
29	Призрен	476.609	4.672.021	402
30	Тимишоара	519.439	5.068.153	86
31	Лом	680.948	4.853.971	33
32	Софија	695.365	4.724.703	586
33	Скопље	553.860	4.646.280	238
34	Лазареполе	474.974	4.598.008	1.321
35	Подгорица	355.902	4.691.971	33

**Табела 2.** Положај 29 метеоролошких станица у Србији и 10 станица у окружењу  
**Table 2.** Location of 29 meteorological stations in Serbia and 10 in neighboring countries

№	Станица Station	<i>X</i>	<i>Y</i>	<i>H</i>
		<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>
36	Сарајево	293.757	4.860.266	638
37	Pécs	286.160	5.108.880	201
38	Szeged	430.626	5.122.218	82
39	Осијек	318.181	5.047.833	90

\* координате су дате у формату UTM, зона 34  
 \* coordinates were given in UTM format, zone 34

### 2.3. Кригинг

Кригинг представља групу геостатистичких техника за интерполацију вредности посматране особине на непосредним локацијама, на основу вредности исте особине на суседним посматраним локацијама. Припада групи алгоритма линеарне процене најмањих квадрата. Математички је блиско повезан са регресионом анализом. Обе теорије изводе најбољи непристрасни линеарни естиматор базиран на претпоставкама коваријанси, користе Gauss-Markov теорему за доказивање независности процене и грешке, и користе веома сличне формуле. Међутим, примењују се у различитим областима (кригинг за разумевање појединачних података на насумичном пољу, док су регресиони модели базирани на вишеструким посматрањима већег броја података).

Појам кригинг је деценијама коришћен као синоним за геостатистичку интерполацију. Потиче из рударске индустрије из 50-их година 20. века као средство процене резерви руда\*. Метод кригинга за интерполацију података најчешће се употребљава у рударству и обради климатских података (Crisci *et al.*, 2006). Ова техника има велики потенцијал и у биолошким наукама. Тако, Hamann и сар. (2002) предлажу кригинг као успешну замену за ANOVA анализу у експериментима оплемењивања дрвећа и другим шумарским пољским огледима. Zas (2006) користи кригинг за отклањање утицаја просторне аутокорељације у анализама пољских огледа из генетике шумског дрвећа. У генетичким истраживањима популација букве, ову методу је успешно примењивао Degen и Scholz (1998), Gömöry (2000), Gömöry и сар. (2003), Doktor и сар. (2005), Seynave и сар. (2008) и други.

Стандардна верзија кригинга се назива обични кригинг (Ordinary kriging - ОК). Овде се предвиђања базирају на моделу:

$$Z(s)=\mu+\varepsilon^{\circ}(s), \dots \dots \dots (1)$$

\* Оригиналну идеју су дали јужноафрички рударски инжењер D.G. Krige и статистичар H.S. Sichel. Технику је први објавио Криге, у свом магистарском раду, али је прошло скоро 10 година док француски математичар G. Matheron није извео формуле и установио ново поље линеарне геостатистике.

где је  $\mu$  константна стална функција (глобална средња вредност), а  $\varepsilon'(s)$  је просторно корелиран стохастички део варијације. Процене (естиматор) се праве као:

$$\hat{z}_{OK}(S_0) = \sum_{i=1}^n w_i(S_0) \cdot z(S_i) = \lambda_0^T \cdot z, \dots \dots \dots (2)$$

где је  $\lambda_0$  вектор тежине кригинга ( $w_i$ ),  $z$  је вектор  $n$  опажања на примарним локацијама. На неки начин, кригинг се може сматрати префињенијом верзијом интерполације обрнутих дистанци (енг. inverse distance interpolation).

Новина коју је увео Матерон у анализу тачкастих података је извођење и цртање тзв. полуваријанси (енг. semivariance) разлика између суседних вредности:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} \cdot E[(z(S_i) - z(S_i+h))^2], \dots \dots \dots (3)$$

где је  $z(S_i)$  вредност циљне променљиве на некој узоркованој локацији, а  $z(S_i+h)$  је вредност суседа на удаљености  $S_i+h$ . Ако претпоставимо да постоји  $n$  посматраних тачака, тада постоји  $n \cdot (n-1)/2$  парова за које се могу израчунати полуваријансе. Затим се могу цртати све полуваријансе насупротив њиховим удаљеностима, што производи „облак“ вариограма. Такав „облак“ није лако описати, тако да се вредности обично сравњују за стандардну удаљеност која се назива заостатак (енг. lag). Када се овако сравњени подаци прикажу, добија се експериментални вариограм. Оно што се обично очекује да се види је да су полуваријансе мање на мањим удаљеностима и да се после неке удаљености стабилизују. Ово се може објаснити тиме да су вредности циљне променљиве сличније на мањим удаљеностима, до одређене дистанце, где су разлике између парова више-мање једнаке глобалној варијанси. Ово је познато као ефекат просторне аутокорелације.

Једном када се израчуна експериментални вариограм, може се прилагодити коришћењем неког од ауторизованих модела вариограма, као што су линеарни, сферични, експоненцијални, кружни, Gaussian, Bessel, „power” и сл. Прилагођавање вариограма се најчешће врши учесталом проценом најмањих квадрата са поново одређеном тежином, где су тежине детерминисане на основу броја парова тачака или на основу удаљености. Најчешће се тежине одређују на основу  $\frac{N_j}{h_j}$ , где је  $N_j$  број парова на одређеном заостатку, а  $h_j$  је



Карта 1. Положај 39 метеоролошких станица чије су нормале анализиране

Chart 1. Location of 39 meteorological stations which data sets were analyzed

удаљеност. Ово значи да алгоритам даје много већу важност полуваријансама са великим бројем парова тачака и на мањим удаљеностима.

Када је, на основу параметара (nugget - облик -  $C_0$ , sill - праг -  $C_1$  и опсег -  $R$ ) одређен модел вариограма, може се користити за извођење полуваријанси на свим локацијама и решавање тежина кригинга. Тежине ОК кригинга се решавају умножавањем коваријанси:

$$\lambda_0 = C^{-1} \cdot c_0; C(|h|=0) = C_0 + C_1, \dots \dots \dots (4)$$

где је  $C$  матрица коваријансе изведена из  $n \times n$  посматрања, а  $c_0$  је вектор коваријанси на новој локацији. Треба обратити пажњу да је  $C$  у ствари  $(n+1) \cdot (n+1)$  матрица ако се користи за извођење тежина кригинга. Да би се осигурало да је збир тежина једнак јединици, користе се један додатни ред и једна додатна колона:

$$\begin{bmatrix} C_{(s_1, s_1)} & \dots & C_{(s_1, s_n)} & 1 \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ C_{(s_n, s_1)} & \dots & C_{(s_n, s_n)} & 1 \\ 1 & \dots & 1 & 0 \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} C_{(s_0, s_1)} \\ \vdots \\ C_{(s_0, s_n)} \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w_{1(s_0)} \\ \vdots \\ w_{n(s_0)} \\ \phi \end{bmatrix}, \dots \dots \dots (5)$$

где је  $\phi$  тзв. Лангранжов множилац.

Као додатак процени вредности на новим локацијама, техника статистичког просторног предвиђања нуди и меру придружене несигурности оваквих процена коришћењем датог модела. У геостатистици, ово се често назива варијанса процене, тј. процењена варијанса грешке процене. ОК варијанса је дефинисана као тежина просечних вредности коваријанси од нове тачке ( $S_0$ ) до свих тачака калибрације ( $S_1, \dots, S_n$ ), плус Лагранжов множилац:

$$\sigma_{OK}^2(S_0) = (C_0 + C_1) - c_0^T \lambda_0 = C_0 + C_1 - \sum_{i=1}^n w_i(S_0) \cdot C((S_0, S_i)) + \phi, \dots \dots \dots (6)$$

где је  $C(S_0, S_i)$  коваријанса између нових локација и пара узоркованих тачака.

Као што се може приметити, резултат сваког статистичког модела предвиђања увек су две карте: 1) процена и 2) варијанса процене. Средња вредност варијансе предвиђања на свим локацијама може се назвати глобална варијанса процене и може служити за процену тачности добијене карте: ако се глобална варијанса процене приближава глобалној варијанси, онда је карта 100% непрецизна, и ако се глобална варијанса процене приближава нули, онда је карта 100% прецизна.

Интерполација метеоролошких података за локације са којих су сакупљани узорци, извршена је методом кригинга, коришћењем компјутерског програма SA-GA (2008).

### 3. РЕЗУЛТАТИ

Као што је напред наведено, добијени резултати су представљени у виду површине састављене од измерених и интерполираних вредности посматране



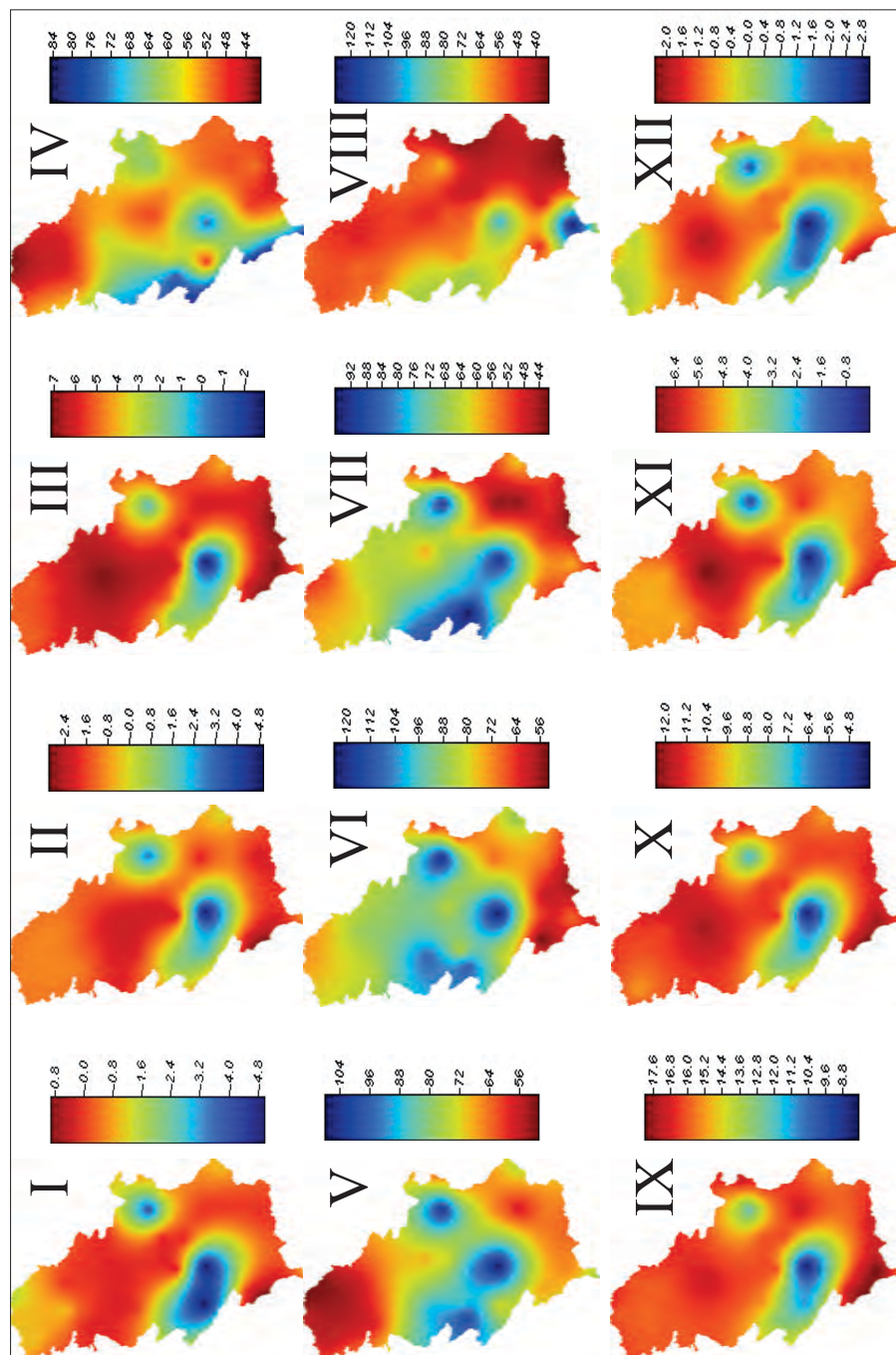
ИНТЕРПОЛАЦИЈА МЕТЕОРОЛОШКИХ ПОДАТАКА МЕТОДОМ КРИГИНГА ЗА...

променљиве. У овом раду, резултати интерполације су сведени на територију Србије, чиме је добијена геореференцирана интерактивна карта, помоћу које се брзо и лако може добити вредност посматране променљиве на било којој тачки унутар њене територије.

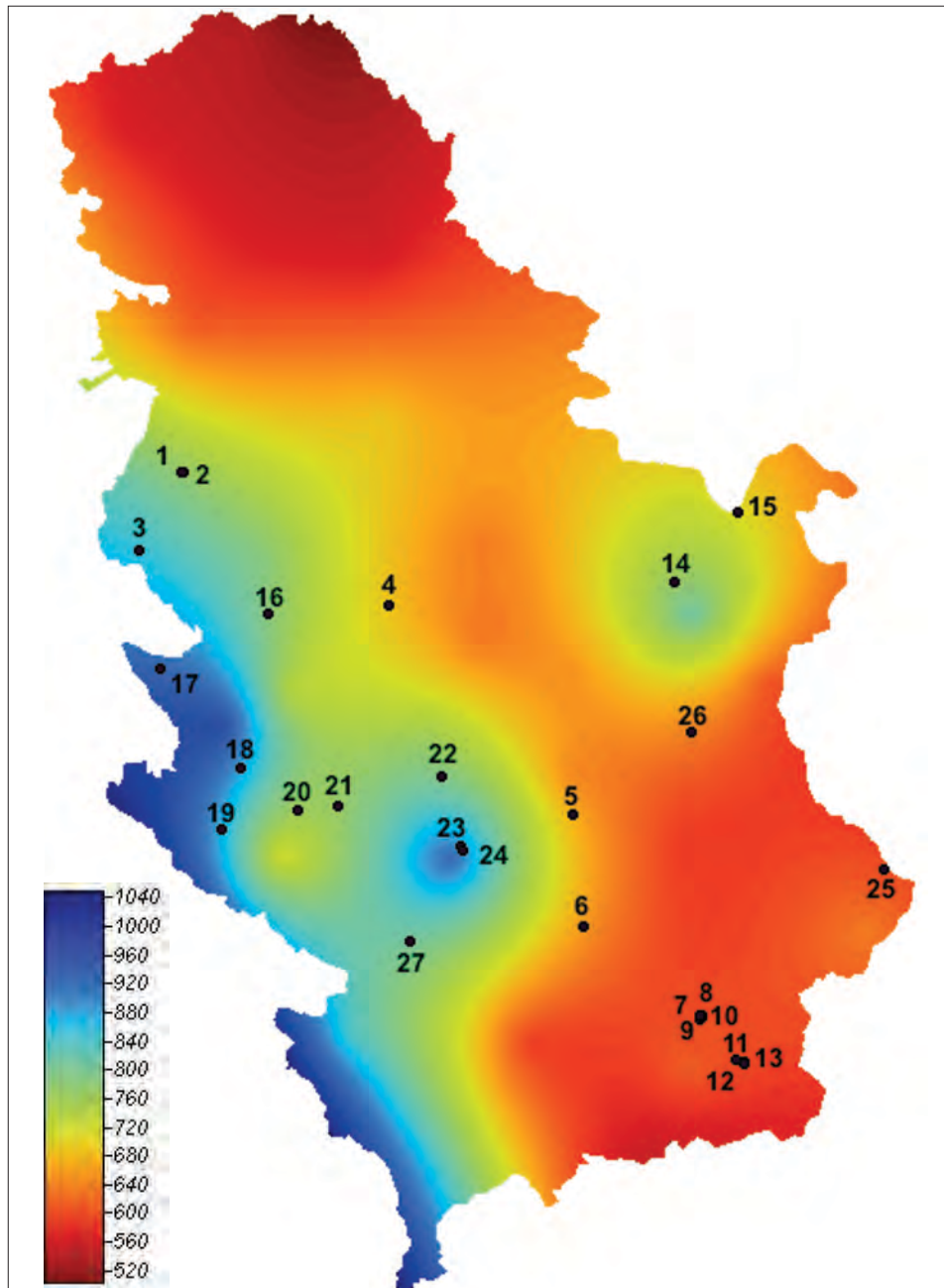
**Табела 3.** Интерполисане вредности падавина методом кригинга за локалитете изабраних станишта (1961-1990. год.)

**Table 3.** Interpolated values of precipitation by kriging, for the selected sites (1961-1990)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	ГП
CER1	48,73	46,10	53,35	65,09	79,38	99,28	78,71	69,66	57,57	48,48	63,47	59,43	773,96
CER2	48,69	46,08	53,33	65,09	79,24	99,13	78,71	69,70	57,52	48,48	63,53	59,42	773,71
IBO2	54,94	51,68	59,02	70,45	86,62	102,39	85,03	75,28	64,96	56,38	72,2	65,95	849,21
RUD	46,01	40,67	47,78	53,97	78,55	90,94	69,79	54,77	50,84	41,65	53,08	51,60	684,56
VEJ2	44,54	41,49	46,75	57,26	79,28	87,35	59,18	51,16	46,76	37,89	58,67	54,64	669,89
RAD	42,64	41,99	46,90	54,34	72,95	79,99	55,53	51,72	47,29	38,85	63,09	52,91	652,98
KUK1	39,71	41,95	46,54	50,05	62,82	72,44	48,42	39,90	44,45	41,18	62,46	50,68	605,58
KUK2	39,66	41,92	46,62	49,99	62,65	72,62	48,28	40,00	44,42	40,84	62,49	50,59	605,08
KUK3	39,63	41,90	46,67	49,97	62,55	72,70	48,2	40,06	44,41	40,67	62,52	50,56	604,83
KUK5	39,62	41,89	46,65	49,97	62,51	72,61	48,16	40,13	44,45	40,67	62,56	50,60	604,83
BKO2	39,19	41,48	45,03	49,57	65,23	71,46	49,47	37,97	43,42	42,78	60,76	49,77	600,6
BKO3	38,88	41,19	44,71	49,33	65,56	71,49	49,52	37,90	43,11	42,50	60,46	49,42	598,32
BKO4	38,87	41,18	44,67	49,31	65,58	71,41	49,50	37,85	43,1	42,53	60,44	49,41	598,13
ZAG	42,92	45,68	50,85	61,06	96,23	111,94	82,75	60,30	59,22	50,16	56,34	50,67	773,6
MIR	44,86	47,36	51,39	60,48	80,46	89,06	66,46	52,19	49,8	47,60	57,07	53,71	704,19
BUK	52,27	46,10	53,67	62,87	88,68	100,2	79,94	65,74	61,34	49,93	62,33	59,50	786,41
TAR	64,89	58,67	63,79	74,11	93,68	104,94	89,64	75,85	75,52	65,09	82,68	74,15	926,1
MUR	62,69	53,35	56,13	66,85	90,72	99,37	85,75	72,86	74,48	63,39	80,89	68,54	878,01
JAD	66,21	55,76	55,82	64,48	82,06	90,78	75,06	69,90	71,68	69,73	89,92	73,34	869,27
JAV	52,06	42,42	44,57	54,77	82,74	92,39	76,61	69,25	62,6	54,62	69,00	55,46	761,48
GOL	52,44	43,99	47,07	56,86	87,05	95,97	78,56	70,26	61,11	50,95	65,99	54,72	769,96
GOC	54,26	49,94	54,54	63,13	94,79	103,52	78,87	67,18	58,6	44,51	61,50	58,2	794,3
KOP1	59,60	55,73	61,62	71,59	104,59	119,27	88,18	87,79	63,61	44,91	66,29	57,57	887,16
KOP2	59,54	55,73	61,59	71,59	104,32	119,00	87,89	87,78	63,39	44,83	66,46	57,54	885,83
STP	40,10	40,14	45,05	50,38	69,98	80,25	54,30	41,29	36,51	37,32	57,93	48,29	604,64
RTA	40,74	41,75	46,16	54,36	76,51	81,82	57,55	43,03	43,98	39,00	56,07	52,02	637,65
ROG	61,17	53,38	54,30	62,54	84,47	87,16	71,30	69,31	55,62	53,97	81,13	63,75	803,15



Карта 2. Интерполација вредности падавина по месецима методом кригинга (1961-1990. год.)  
 Chart 2. Interpolation of monthly precipitation by kriging (1961-1990)



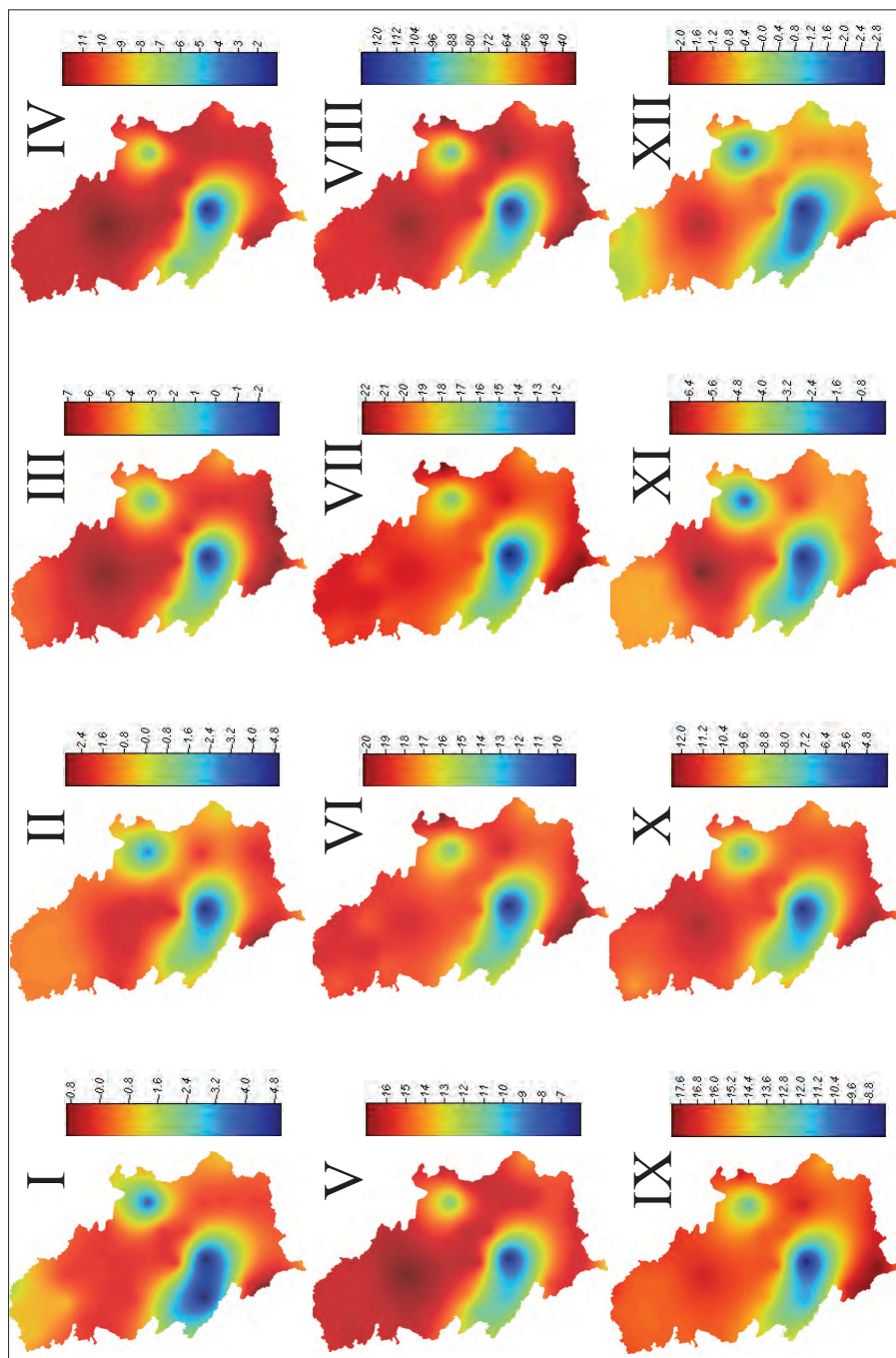
Карта 3. Интерполација сума падавина методом кригинга (1961-1990. год.)  
Chart 3. Interpolation of precipitation sum by kriging (1961-1990)

**Табела 4.** Интерполисане вредности температура методом кригинга за локалитете изабраних станишта (1961-1990. год.)**Table 4.** Interpolated values of temperatures by kriging, for the selected sites (1961-1990)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	TP
CER1	0,05	1,89	6,10	11,09	16,13	19,11	20,06	20,11	16,08	11,08	5,59	1,10	10,65
CER2	0,05	1,89	6,10	11,10	16,13	19,11	20,07	20,11	16,08	11,08	5,59	1,10	10,66
IBO2	-0,47	1,54	5,42	10,19	15,08	18,19	19,40	19,28	15,53	10,61	5,53	0,63	10,11
RUD	-0,15	1,98	6,30	11,32	16,12	19,11	20,23	20,04	16,18	10,93	6,02	1,06	10,84
VEJ2	-0,69	0,32	4,73	9,51	14,54	17,53	18,82	18,85	14,98	9,98	4,45	0,41	8,99
RAD	-1,20	0,01	3,97	8,44	13,43	16,41	18,03	18,08	14,24	9,31	4,09	-0,04	8,25
KUK1	-0,09	1,50	5,82	10,86	15,19	18,18	19,83	19,83	15,85	10,89	4,95	0,89	9,85
KUK2	-0,09	1,47	5,82	10,86	15,22	18,21	19,83	19,83	15,85	10,87	4,96	0,89	9,85
KUK3	-0,09	1,45	5,81	10,86	15,23	18,22	19,82	19,83	15,85	10,87	4,95	0,89	9,85
KUK5	-0,09	1,45	5,81	10,85	15,23	18,22	19,82	19,83	15,84	10,87	4,95	0,89	9,85
BKO2	-0,10	1,66	5,90	10,93	15,09	18,08	19,95	19,89	16,02	10,92	5,04	0,86	9,91
BKO3	-0,13	1,62	5,88	10,90	15,08	18,06	19,94	19,87	16,04	10,91	5,05	0,82	9,89
BKO4	-0,12	1,63	5,89	10,90	15,08	18,07	19,94	19,88	16,04	10,91	5,06	0,82	9,89
ZAG	-3,05	-1,95	2,11	7,23	12,23	15,32	17,12	16,30	13,05	8,01	2,12	-1,24	7,09
MIR	-1,76	-0,28	3,97	9,38	14,39	17,86	19,67	18,83	15,20	9,79	3,98	0,08	9,15
BUK	-0,83	1,19	5,44	10,32	15,02	18,02	19,42	19,08	15,52	10,16	5,18	0,54	9,57
TAR	-1,80	0,24	3,73	8,01	12,78	15,96	17,72	17,51	14,25	9,38	4,21	-0,23	8,38
MUR	-3,48	-1,16	2,04	6,42	10,97	14,00	16,05	15,93	12,62	7,86	2,84	-1,15	6,95
JAD	-3,61	-0,94	2,09	6,67	10,91	14,06	16,23	16,16	12,47	8,17	3,00	-1,03	7,07
JAV	-4,22	-1,74	1,48	6,29	10,54	13,52	15,45	15,32	11,67	7,22	2,34	-1,63	6,39
GOL	-3,81	-1,71	1,55	6,32	10,71	13,69	15,50	15,34	11,77	7,22	2,47	-1,50	6,44
GOC	-1,65	-0,30	3,17	7,89	12,88	15,87	17,13	17,15	13,45	8,80	3,98	-0,29	8,08
KOP1	-4,30	-4,10	-1,75	2,36	7,39	10,35	12,23	12,22	9,09	4,96	0,76	-2,44	3,17
KOP2	-4,32	-4,16	-1,80	2,28	7,29	10,31	12,15	12,20	9,06	4,92	0,71	-2,48	3,08
STP	-0,90	0,36	4,64	10,60	14,89	17,88	19,79	19,76	15,66	10,45	5,32	0,43	9,62
RTA	-0,89	0,32	4,85	10,38	15,37	18,32	19,71	19,61	15,74	10,10	4,68	0,21	9,70
ROG	-3,13	-1,82	1,19	5,63	10,18	13,47	15,46	15,14	11,89	7,14	2,28	-1,43	6,04

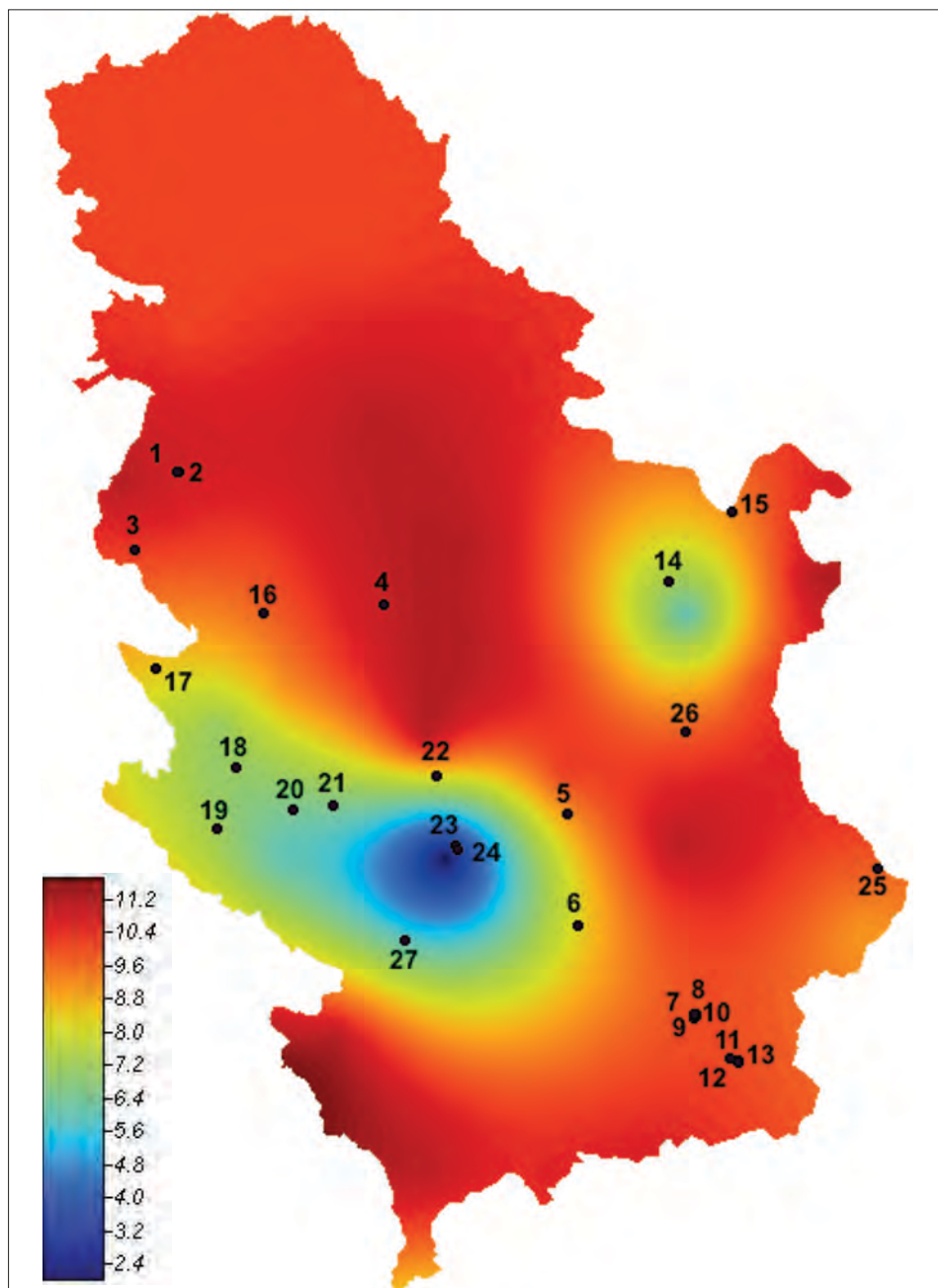
#### 4. ДИСКУСИЈА

Метод кригинга се може користити за интерполацију различитих врста података, у зависности од потреба. Прецизност и поузданост резултата у великој мери зависе од начина припреме изворних података и избора модела вариограма и



Карта 4. Интерполација просечних температура по месецима методом кригинга (1961-1990. год.)  
 Chart 4. Interpolation of monthly temperature average by kriging (1961-1990)





**Карта 5.** Интерполација просечних год. температура методом кригинга (1961-1990. год.)  
**Chart 5.** Interpolation of yearly averages of temperature by kriging (1961-1990)

осталих параметара. На основу добијених резултата, приликом тестирања различитих модела вариограма, може се препоручити модел линеарне регресије, ослођен на надморске висине метеоролошких станица као на циљну мрежу. Овде треба поменути да је на примеру просторно блиских узорака, али са различитих надморских висина, као што су узорци са Кукавице, Бесне кобиле и Копаоника, уочено да се интерполисане вредности не разликују значајно и не прате промене надморске висине. Ово је последица употребе параметара (пре свега еквидистанце) приликом интерполације који су изабрани на основу површине целог посматраног подручја, односно површине Републике Србије. У случају просторно блиских локалитета, ове параметре треба прилагодити величини посматраног подручја. Добијене вредности су резултат примене математичког модела и као такве их треба и посматрати и проверавати мерењима на конкретним стаништима, када је год то могуће. Број, односно густина тачака на којима се врше мерења посматране променљиве и на основу којих се врши интерполација, позитивно утичу на прецизност метода, нарочито у условима израженог рељефа.

Процењене вредности температура и висине падавина на 27 примерних шумских станишта, могу се користити за стварање представе о клими датих подручја, рачунање климатских дистанци и сл.

## 5. ЗАКЉУЧЦИ

Интерполација климатских података методом кригинга показала се као моћан алат за добијање представе о клими подручја са кога немамо податке. Поред изузетне визуализације, могућност прегледа интерполираних вредности на било којој тачки испитиваног подручја и једноставност примене, препоручују овај метод за употребу у шумарству. Добијена интерактивна мапа омогућује брзо и једноставно одређивање тражених интерполираних података за било коју локацију у Србији. При томе треба имати у виду да су параметри интерполације у овом истраживању прилагођени броју метеоролошких станица и површини истраживаног подручја. Када имамо потребу за интерполираним метеоролошким подацима са просторно блиских локалитета, параметре интерполације треба прилагодити конкретним условима.

## ЛИТЕРАТУРА

- Attorre F., Francesconi F., Valenti R., Collati A., Bruno F. (2008): *Produzione di mappe climatiche e bioclimatiche mediante universal kriging con deriva esterna: teoria ed esempi per l'italia*, Forest@ 5 (<http://www.sisef.it/forest@/show.php?id=507>, посећено: март, 2008. год.) (8-19)
- Bakkali S., Amrani M. (2008): *About the use of spatial interpolation methods to denoising moroccan resistivity data phosphate "disturbances" map*, Acta Montanistica Slovaca 13-2, Kosice (216-222)

- Wong K.W., Gedeon T.D., Fung C.C., Wong P.M. (2001): *Spatial interpolation using neural fuzzy technique*, The 8<sup>th</sup> International Conference on Neural Information Processing, Shanghai (5)
- Gömöry D., Paule L., Shvadchak I.M., Popescu F., Sulkowska M., Hynek V., Longauer R. (2003): *Spatial patterns of the genetic differentiation in european beech (Fagus sylvatica L.) at allozyme loci in the carpathians and adjacent regions*, *Silvae Genetica* 52(2), Frankfurt am Main (78-83)
- Gömöry D. (2000): *Vymedzenie geneticky homogénnych oblastí v areáli buka lesného (Fagus sylvatica) na slovensku v nadväznosti na zachovanie jeho genofondu*, *Lesnícky časopis* 46(4), Zvolen (421-429)
- Degen B., Scholz F. (1998): *Spatial genetic differentiation among populations of European beech (Fagus sylvatica L.) in western Germany as identified by geostatistical analysis*, *Forest Genetics* 5-3 (191-199)
- Doktor D., Badeck F.W., Hattermann F., Schaber J., McAllister M. (2005): *Analysis and modeling of spatially and temporally varying phenological phases*, TiGrESS/WP2/ICL/Yr2, 22/03/2005 (12)
- Zas R. (2006): *Iterative kriging for removing spatial autocorrelation in analysis of forest genetic trials*, *Tree genetics & genomes* 2, Heidelberg (177-185)
- Lanciani A., Salvati M. (2008): *Spatial interpolation of surface weather observations in alpine meteorological services*, FORALPS Technical Report, 2. Università degli Studi di Trento, Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, Trento (40)
- Lehner B., Umlauf G., Namman B., Ustin S. (2006): *Topographic distance functions for interpolation of meteorological data*, „Vizualization of Large and Unstructured Data Sets”, eds. H. Hagen, A. Kerren, P. Dannenmann, GI Lecture Notes in Informatics (119-131)
- Nikolova N., Vassilev S. (2006): *Mapping precipitation variability using different interpolation methods*, 2006 BALWOIS Conference proceedings - International Conference on „Water Observation and Information System for Decision Support” Ohrid (11-22)
- Persson C., Jansson A., Kahnert M. (2008): *Spatial interpolation of meteorological and environmental variables over europe testing optimum interpolation and 2d-var techniques - Demo Datasets in Showcase EUROGRID*, EMS8ECAC7 Abstracts, Vol. 5, 8<sup>th</sup> Annual Meeting of the European Meteorological Society (EMS) / 7<sup>th</sup> European Conference on Applied Climatology (ECAC), Amsterdam (324)
- Rigol J.P. (2003): *Neural networks for spatial interpolation of meteorological data*, 3<sup>rd</sup> Conference on Artificial Intelligence Applications to the Environmental Science, American Meteorological Society, Washington (18)
- (2008): *System for automated geoscientific analyses*, SAGA GUI - SAGA Graphical User Interface - Version: 2.0.3 Copyrights (c) 2005-2008 by Olaf Conrad, GNU General Public License (GPL)
- Seynave I., Gégout J.C., Hervé J.C., Dhôte J.F. (2008): *Is the spatial distribution of european beech (Fagus sylvatica L.) limited by its potential height growth?*, *Journal of Biogeography* 35-10 (1851-1862)
- Hamann A., Namkoong G., Koshy M. P. (2002): *Improving precision of breeding values by removing spatially autocorrelated variation in forestry field experiments*, *Silvae Genetica* 51/5-6 (210-215)



- Hengl T. (2007): *A practical guide to geostatistical mapping of environmental variables*, JRC Scientific and Technical Reports, JRC European Commission (10-20)
- Cozac I. (2003): *Shepard method - from approximation to interpolation*, Studia Univ. "Babeş-Bolyai", Mathematica XLVIII-2 (49-52)
- Crisci A., Magno R., Genesio L., Maracchi G. (2006): *Meteorological ground based data interpolation*, Mediterranean Training Programme for the harmonization of Early Warning Systems and operational instruments for Monitoring Climate Change and Desertification ([http://www.case.ibimet.cnr.it/MTPprogramme/data/doc/FirstSession/MeteorologicalGroundBasedDataInterpolation\\_AlfonsoCrisci.pdf](http://www.case.ibimet.cnr.it/MTPprogramme/data/doc/FirstSession/MeteorologicalGroundBasedDataInterpolation_AlfonsoCrisci.pdf), посећено: фебруар, 2009. год.)

Vladan Ivetić  
Vasilije Isajev  
Milun Krstić

#### INTERPOLATION OF METEOROLOGICAL DATA BY KRIGING METHOD FOR USE IN FORESTRY

##### Summary

Research sites in forestry are often far away from meteorological stations and installing of temporarily research stations or data loggers are rarely justified. However, these solutions can only provide meteorological data during research period. When picture about long term climate of research site is needed, in most cases in forestry, we need to rely on interpolation of available meteorological data. Proper use of most suitable interpolation method can be essential for research success. In this paper, ordinary kriging was used for interpolation of meteorological data (temperature and precipitation) from 29 meteorological stations in Serbia and 10 meteorological stations from neighboring countries. For interpolation were used meteorological data series from years 1961-1990, which is period accepted from World Meteorological Organization as actual climate. Both, yearly and monthly values were analyzed. Based on these results, estimations of temperature and precipitation values were given for 27 forest sites. Results of interpolation are presented as interactive map of Serbia with interpolated values of analyzed variables, which allows fast and simple way for providing of necessary data from any location within analyzed area. Kriging is proved as powerful tool for estimation of variable values at sites with no measured data. Because of its excellent visualization, possibility of achieving interpolated values from any point inside tested area and its simplicity, method of ordinary kriging could be recommended for widespread use in forestry.