

ГАЗДОВАЊЕ У УСЛОВИМА КЛИМАТСКИХ ПРОМЕНА

ДИСТРИБУЦИЈА И РАСТ БУКВЕ И ЛУЖЊАКА

Радни
пакет
4



Др Марко Казимировић

✉ marko.kazimirovic@sfb.bg.ac.rs



Проф. др Бранко Стајић

✉ branko.stajic@sfb.bg.ac.rs

Development and implementation
of adaptation strategies
to climate change
in forest management

Razvoj i primena
strategija prilagodavanja
klimatskim promenama
u gazdovanju šumama

ANKLIWA-DS



Bundesanstalt für
Landwirtschaft und Ernährung

ptble

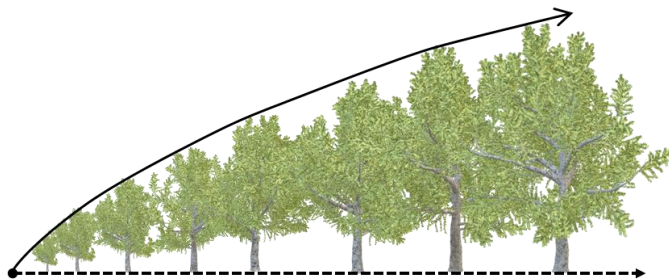
Projektträger Bundesanstalt
für Landwirtschaft und Ernährung



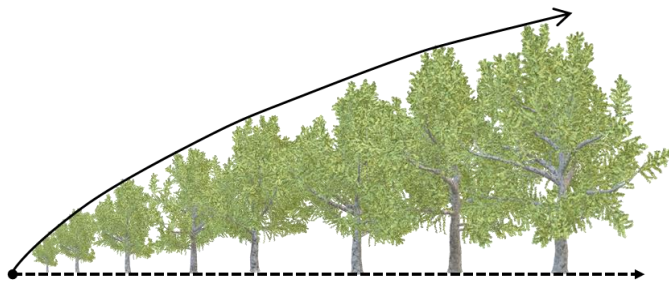
unique
land use



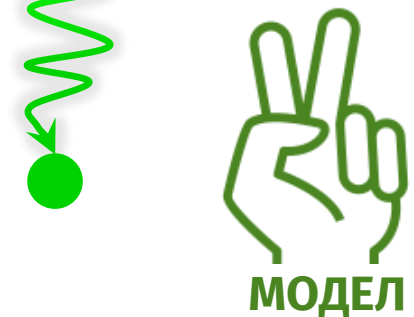
14.05.2024.



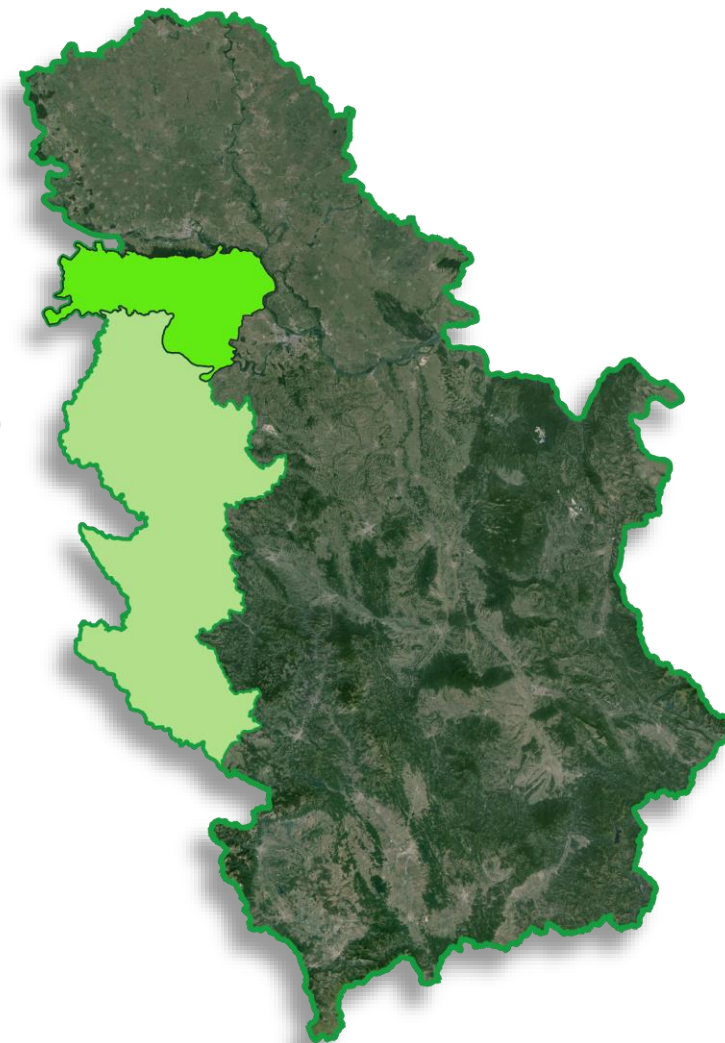
ДИСТРИБУЦИЈА И РАСТ БУКВЕ И ЛУЖЊАКА: ГАЗДОВАЊЕ У УСЛОВИМА КЛИМАТСКИХ ПРОМЕНА



**РАСТ У
ВИСИНУ**

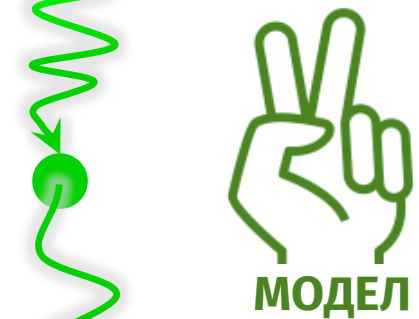


**РАСПРОСТРАЊЕЊЕ
(SDM)**

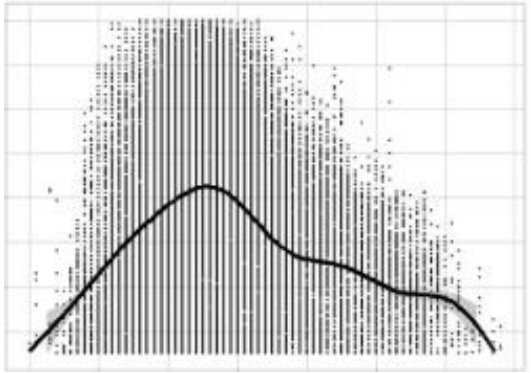




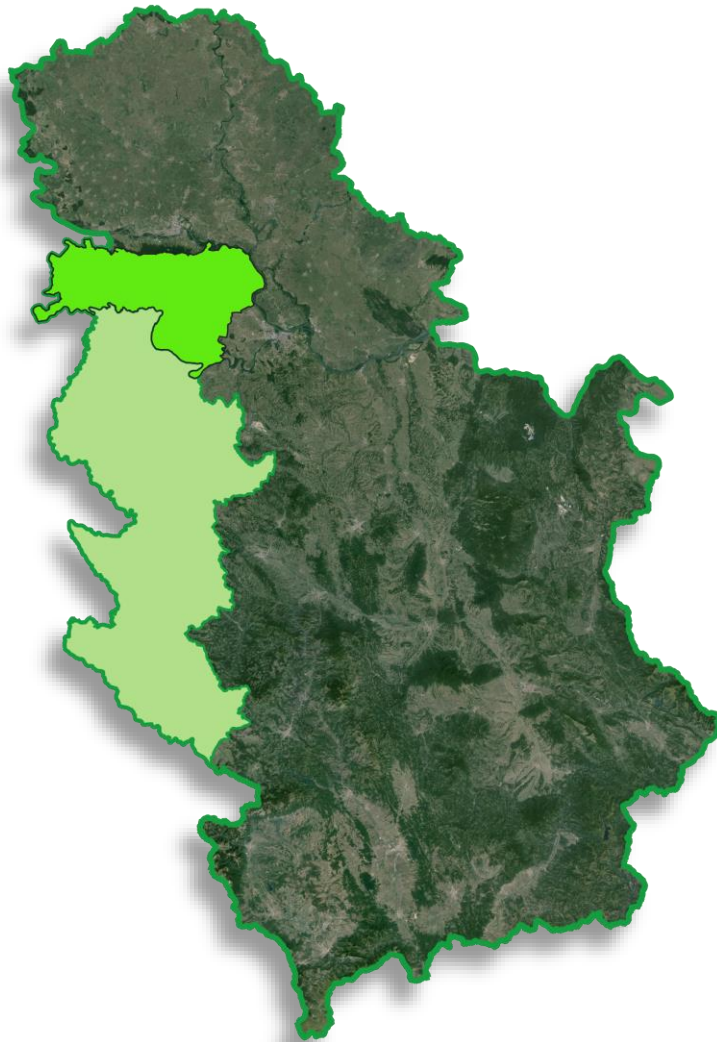
**РАСТ У
ВИСИНУ**



**РАСПРОСТРАЊЕЊЕ
(SDM)**



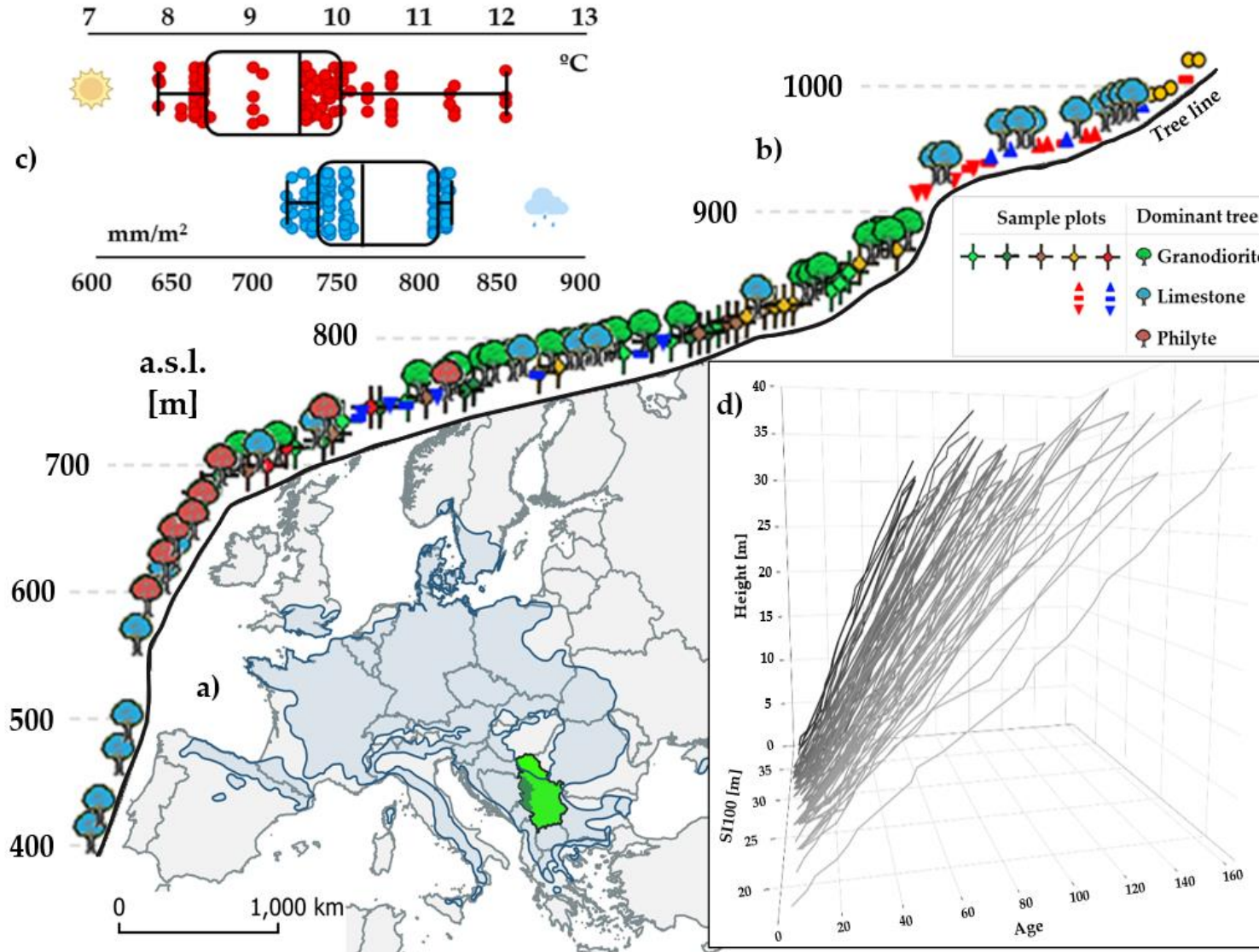
**РАСТ И
СТАНИШТЕ**



РАСТ

ДИСТРИБУЦИЈА И РАСТ БУКВЕ У ЗАПАДНОЈ СРБИЈИ: ГАЗДОВАЊЕ У УСЛОВИМА КЛИМАТСКИХ ПРОМЕНА

► ОБЈЕКАТ
МЕТОД
Калибрација
Евалуација
РЕЗУЛТАТИ
ДИСКУСИЈА



РАСТ

РАСПРОСТРАЊЕЊЕ

РАСТ~СТАНИШТЕ

-6-



ДИСТРИБУЦИЈА И РАСТ БУКВЕ У ЗАПАДНОЈ СРБИЈИ: ГАЗДОВАЊЕ У УСЛОВИМА КЛИМАТСКИХ ПРОМЕНА

ОБЈЕКАТ

$$H = f(T_0, T, H_0, \vec{\beta}) + e_{ij}$$

► МЕТОД

Калибрација
Евалуација

РЕЗУЛТАТИ

ДИСКУСИЈА

Base model	Site related parameters	Solution for X_0	Dynamic equation	ID
	$a = e^{X_0}$ $b = \beta_1 + \beta_2 X_0^{-1}$	$X_0 = \frac{(\ln H_0 - \beta_1 \ln(1 - e^{-cT_0})) + \sqrt{(\ln H_0 - \beta_1 \ln(1 - e^{-cT_0}))^2 - 4\beta_2 \ln(1 - e^{-cT_0})}}{2}$	$H = H_0 \cdot \left(\frac{1 - e^{-cT}}{1 - e^{-cT_0}} \right)^{\beta_1 + \frac{\beta_2}{X_0}}$	M1
Chapman-Richards: $H = a \cdot (1 - e^{-cT})^b$	$a = e^{X_0}$ $b = \beta_1 + \beta_2 X_0$	$X_0 = \frac{(\ln H_0 - \beta_1 \ln(1 - e^{-cT_0}))}{1 + \beta_2 \ln(1 - e^{-cT_0})}$	$H = H_0 \cdot \left(\frac{1 - e^{-cT}}{1 - e^{-cT_0}} \right)^{\beta_1 + \beta_2 X_0}$	M2
	$a = e^{X_0}$ $b = \beta_1 + X_0^{-1}$	$X_0 = \frac{(\ln H_0 - \beta_1 \ln(1 - e^{-cT_0})) + \sqrt{(\beta_1 \ln(1 - e^{-cT_0}) - \ln H_0)^2 - 4 \ln(1 - e^{-cT_0})}}{2}$	$H = e^{X_0} \cdot (1 - e^{-cT})^{\beta_1 + \frac{1}{X_0}}$	M3
Lundqvist: $H = a \cdot e^{-bT^{-c}}$	$a = e^{X_0}$ $b = \beta_1 + \beta_2 X_0^{-1}$	$X_0 = \frac{\beta_1 \cdot T^{-c} + \ln H_0 + \sqrt{(\beta_1 \cdot T_0^{-c} + \ln H_0)^2 + 4\beta_2 \cdot T_0^{-c}}}{2}$	$H = e^{X_0} \cdot e^{-(\beta_1 + \frac{\beta_2}{X_0})T^{-c}}$	M4
Weibull: $H = a \cdot (1 - e^{-bT^c})$	$a = X_0$ $b = \beta_1 + \beta_2 X_0$	$X_0 = \frac{\ln H_0 - \beta_1 \cdot \ln(1 - e^{-T_0^c})}{1 + \beta_2 \cdot \ln(1 - e^{-T_0^c})}$	$H = e^{X_0 + (\beta_1 + \beta_2 X_0) \ln(1 - e^{-T^c})}$	M5
$H = \frac{b \cdot T^c}{T^c + a}$	$a = \beta_1 R_0^{-1}$ $b = \beta_2 + R_0$	$R_0 = H_0 - \beta_1 + \sqrt{(H_0 - \beta_1)^2 + \frac{2H_0 e^{\beta_2}}{T_0^c}}$	$H = H_0 \cdot \frac{T^c (T_0^c R_0 + e^{\beta_2})}{T_0^c (T^c R_0 + e^{\beta_2})}$	M6
Hossfeld IV modifications	$a = \beta_1 + X_0$ $b = \beta_2 X_0^{-1}$	$X_0 = \frac{H_0 - \beta_1 + \sqrt{(H_0 - \beta_1)^2 + 4H_0 \beta_2 T_0^{-c}}}{2}$	$H = \frac{\beta_1 + X_0}{1 + \beta_2 X_0^{-1} \cdot T^{-c}}$	M7

РАСТ

РАСПРОСТРАЊЕЊЕ

РАСТ~СТАНИШТЕ

-7-



ОБЈЕКАТ

МЕТОД

► Калибрација
Евалуација

РЕЗУЛТАТИ

ДИСКУСИЈА

Аутокорелациона структура - ARMA(p, q):

$$e_{ij} = \sum_{k=1}^{k=p} \rho_k e_{ij-k} + \sum_{k=1}^{k=q} \theta_k a_{ij-k} + a_{ij} + \epsilon_{ij}$$

$$DW = \frac{\sum_{n=2}^N (e_n - e_{n-1})^2}{\sum_{n=1}^N e_n^2}$$

Варијанса резидуала:

$$Var(e_{ij}) = \sigma^2 |T_{ij}|^{2\delta}$$

Структура резидуала у односу на:

- 1) прогнозиране висине,
- 2) различите доцње,
- 3) старост и
- 4) прогнозиране станишне индексе.

ОБЈЕКАТ

МЕТОД

► Калибрација
Евалуација

РЕЗУЛТАТИ

ДИСКУСИЈА

Аутокорелациона структура - ARMA(p, q):

$$e_{ij} = \sum_{k=1}^{k=p} \rho_k e_{ij-k} + \sum_{k=1}^{k=q} \theta_k a_{ij-k} + a_{ij} + \epsilon_{ij} \quad DW = \frac{\sum_{n=2}^N (e_n - e_{n-1})^2}{\sum_{n=1}^N e_n^2}$$

Варијанса резидуала:

$$Var(e_{ij}) = \sigma^2 |T_{ij}|^{2\delta}$$

Структура резидуала у односу на:

- 1) прогнозиране висине,
- 2) различите доцње,
- 3) старост и
- 4) прогнозиране станишне индексе.

**Параметри
калибрационе:**

$$e = \frac{\sum_{n=1}^N (Y_n - \hat{Y}_n)}{N} \quad RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^N (Y_n - \hat{Y}_n)^2}{N - p}} \quad AIC = 2 \cdot n_{par} - 2 \cdot \log(Lik)$$

**и верификационе
статистике:**

$$MAD = \frac{\sum_{n=1}^N |(Y_n - \hat{Y}_n)|}{N} \quad MEF = 1 - \frac{\sum_{n=1}^N (Y_n - \hat{Y}_n)^2}{\sum_{n=1}^N (Y_n - \bar{Y})^2}$$

Референтна старост:

$$RE\% = \frac{\sqrt{\sum_{n=1}^N (Y_n - \hat{Y}_n)^2 / (N - p)}}{\bar{Y}} \cdot 100$$

Критична грешка:

$$E_{crit.} = \frac{\sqrt{\tau^2 \sum_{n=1}^N (Y_n - \hat{Y}_n)^2 / \chi^2_{crit.}}}{\bar{Y}} \cdot 100$$

ДИСТРИБУЦИЈА И РАСТ БУКВЕ У ЗАПАДНОЈ СРБИЈИ: ГАЗДОВАЊЕ У УСЛОВИМА КЛИМАТСКИХ ПРОМЕНА

ОБЈЕКАТ

МЕТОД

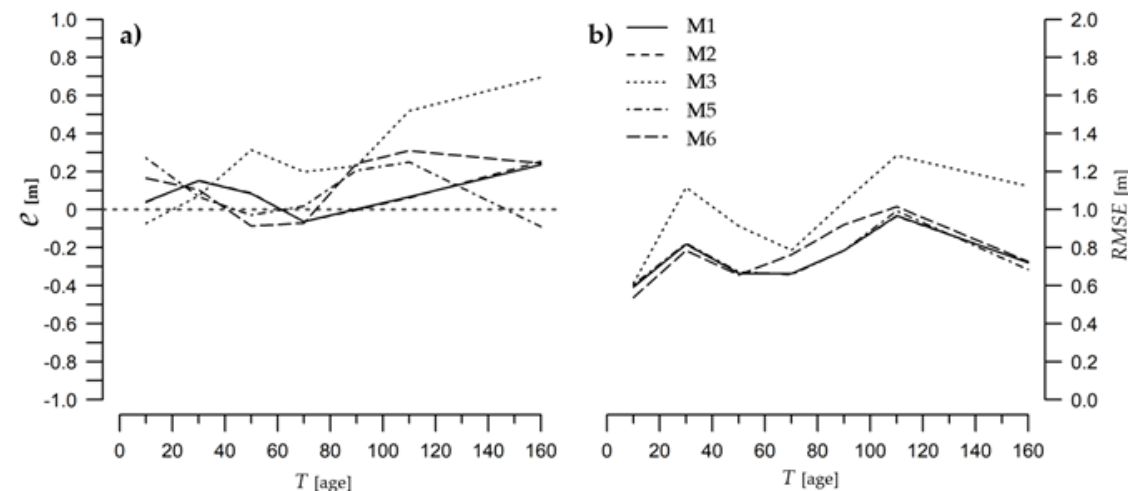
Калибрација
Евалуација

РЕЗУЛТАТИ

ДИСКУСИЈА

Candidate models		Coefficient			Autocorrelation structure				Variance	
		Estimates	Approx. SE	t- value	p	ρ_1	ρ_2	θ_1	DW	δ_1
M1	β_1	0.018118	0.000363	36.128657	***				0.76	
	β_2	-4.43407	0.423907	-10.46001	***					
	c	24.421565	1.674486	14.584511	***					
ARMA(2,1)	c	0.025406	0.00058	24.857033	***	1.44951	1.717345	1.3596	2.04	0.183108
	β_1	-5.774269	0.921	-6.269562	***				0.76	
	β_2	29.568244	3.594293	8.226442	***					
β_1	7.857189	0.449321	17.486813	***						
M2	β_2	-1.545017	0.113777	-13.57932	***				0.76	
	c	0.0171	0.000363	36.093248	***					
	β_1	9.345397	0.964662	9.687745	***	1.446191	1.718307	1.362262		2.04
M2	β_2	-1.931234	0.247214	-7.811982	***				0.74	
	c	0.023391	0.000579	24.84308	***					
	β_1	1.211551	0.017315	69.970996	***					
M3	c	0.008149	0.000401	20.320887	***				0.74	
	β_1	19.724026	0.248212	79.464453	***					
	β_1	1.248451	0.039719	31.431879	***	7.350241	-4.0166	-13.194		2.11
M3	c	0.009023	0.000801	11.265844	***				0.76	
	β_1	19.553045	0.229143	85.331206	***					
	β_2	-819.18394	1405.41492	-0.582877	ns					
M4	β_2	5025.3949	8486.5721	0.592158	ns				0.76	
	c	0.354114	0.013028	27.180031	***					
	β_1	-263.6999	1012.58667	-0.260422	ns	8.390751	-6.4066	-5.0982		2.10
M4	β_2	1626.2508	5937.69019	0.273886	ns				0.77	
	c	0.383876	0.03258	11.782443	***					
	β_1	227.720267	28.830037	7.898716	***					
M5	β_2	-44.121662	6.262473	-7.045405	***				0.77	
	c	0.234282	0.003344	70.062142	***					
	β_1	237.891274	51.288044	4.638338	***	1.540968	1.652382	1.279708		2.05
M5	β_2	-47.641801	11.480881	-4.149664	***				0.67	
	c	0.244925	0.004852	50.474388	***					
	β_1	1.529314	0.015765	97.008409	***					
M6	β_2	-17.176594	0.031091	-552.4674	***				0.67	
	c	70.423107	0.000118	598486.68	***					
	β_1	1.68247	0.033661	49.982709	***	3.08658	1.60597	0.96058		2.08
M6	β_2	-6.3805	1.563117	-4.081909	***				0.51	
	c	55.33935	1.857769	29.788063	***					
	β_1	62.236936	14.427167	4.313871	***					
M7	β_2	32334.610	17558.2714	1.84156	.				0.51	
	c	1.422119	0.021869	65.028177	***					
	β_1	61.163768	4.750277	12.875833	***	1.975584	-0.9782	-0.9999		1.98
M7	β_2	-6418.14	3429.835	-1.87127	.				0.51	
	c	1.648012	0.052135	31.61037	***					

Model candidates	Calibration statistics ¹				Verification statistics ¹		
	ϵ	RMSE	R^2	AIC	Bias ($\bar{\epsilon}$)	MAD	MEF
M1	0.0660	0.7303	0.9972	1411.41	0.0060	0.2483	0.9952
M2	0.0657	0.7301	0.9972	1411.23	-0.0204	0.2492	0.9952
M3	0.1504	0.9464	0.9956	1495.63	-0.0364	0.2559	0.9946
M5	0.1021	0.7552	0.9968	1416.33	0.0231	0.2507	0.9947
M6	0.0763	0.7413	0.9971	1485.37	-0.0253	0.2674	0.9945



РАСТ

РАСПРОСТРАЊЕЊЕ

РАСТ~СТАНИШТЕ

-10-



ДИСТРИБУЦИЈА И РАСТ БУКВЕ У ЗАПАДНОЈ СРБИЈИ: ГАЗДОВАЊЕ У УСЛОВИМА КЛИМАТСКИХ ПРОМЕНА

ОБЈЕКАТ

МЕТОД

Калибрација
Евалуација

► РЕЗУЛТАТИ

ДИСКУСИЈА

SI_{100} [m]	Candidate models														
	M1			M2			M3			M5			M6		
	A [m]	T [year]	i_{th} [m]	A [m]	T [year]	i_{th} [m]	A [m]	T [year]	i_{th} [m]	A [m]	T [year]	i_{th} [m]	A [m]	T [year]	i_{th} [m]
20	26.2	46	0.29	26.4	45	0.29	43.9	45	0.23	79.3	53	0.25	49.5	62	0.24
24	30.4	41	0.35	30.8	41	0.34	52.4	45	0.27	83.9	44	0.29	50.9	51	0.29
28	34.6	37	0.41	35.1	37	0.40	60.9	44	0.32	88.0	37	0.34	51.9	43	0.34
32	38.7	33	0.47	39.3	33	0.46	69.3	43	0.36	91.7	31	0.40	52.8	36	0.41
36	42.8	29	0.53	43.5	29	0.52	77.6	43	0.41	95.2	26	0.46	53.4	30	0.49
40	46.8	25	0.61	47.5	26	0.59	86.0	42	0.45	98.3	22	0.53	53.9	25	0.60

$$H = H_0 \cdot \left(\frac{1 - e^{-0,025406 \cdot T}}{1 - e^{-0,025406 \cdot T_0}} \right)^{-5,774269 + \frac{29,568244}{X_0}} \quad (12)$$

$$X_0 = \frac{(\ln H_0 + 5,774269 \cdot L_0) + \sqrt{(\ln H_0 + 5,774269 \cdot L_0)^2 - 4 \cdot 29,568244 \cdot L_0}}{2} \quad (13)$$

$$L_0 = \ln(1 - e^{-0,025406 \cdot T_0}) \quad (14)$$

РАСТ

РАСПРОСТРАЊЕЊЕ

РАСТ~СТАНИШТЕ

-11-



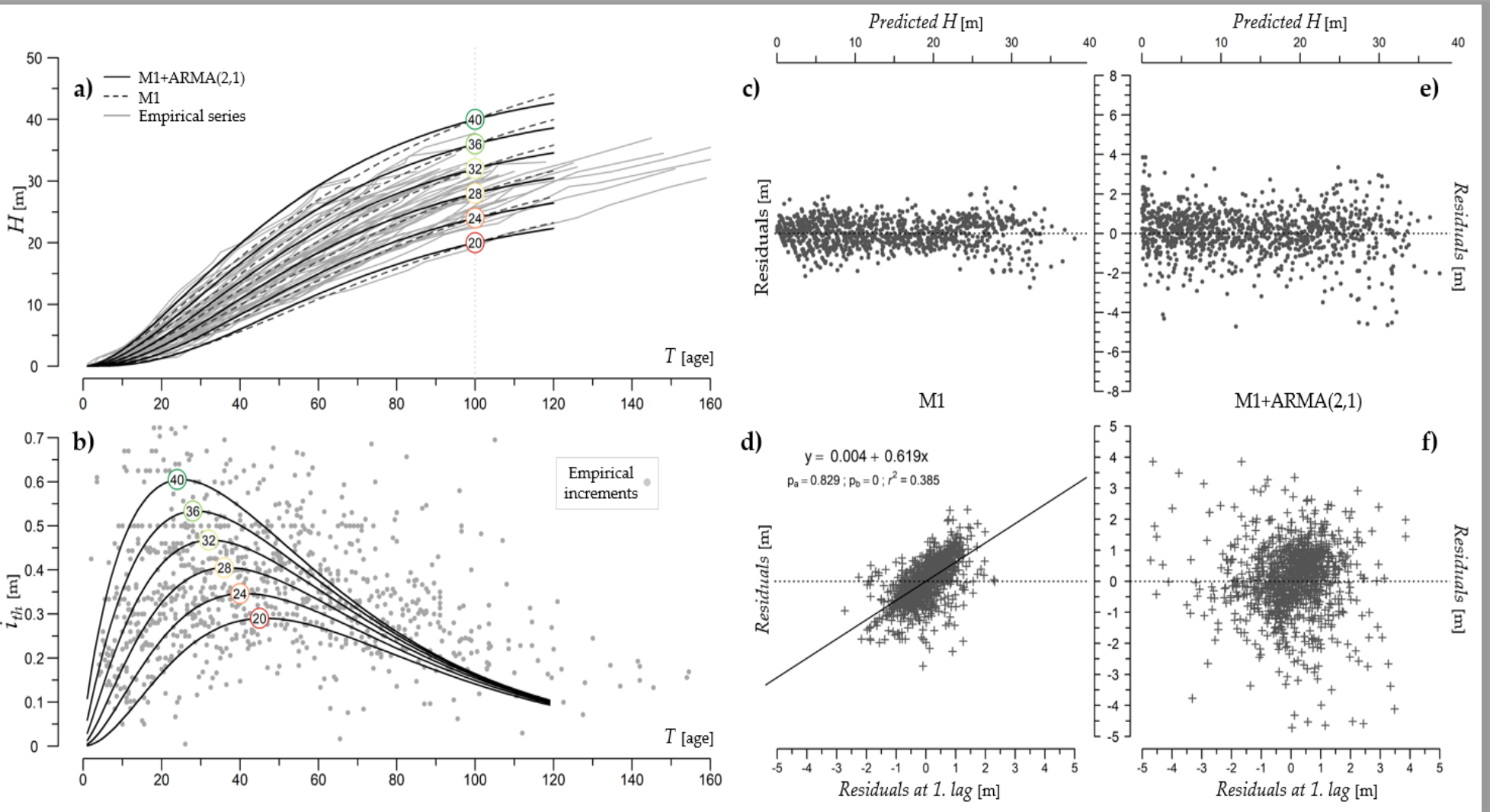
ДИСТРИБУЦИЈА И РАСТ БУКВЕ У ЗАПАДНОЈ СРБИЈИ: ГАЗДОВАЊЕ У УСЛОВИМА КЛИМАТСКИХ ПРОМЕНА

ОБЈЕКАТ

МЕТОД

Калибрација
Евалуација

РЕЗУЛТАТИ
ДИСКУСИЈА



РАСТ

РАСПРОСТРАЊЕЊЕ

РАСТ~СТАНИШТЕ

-12-



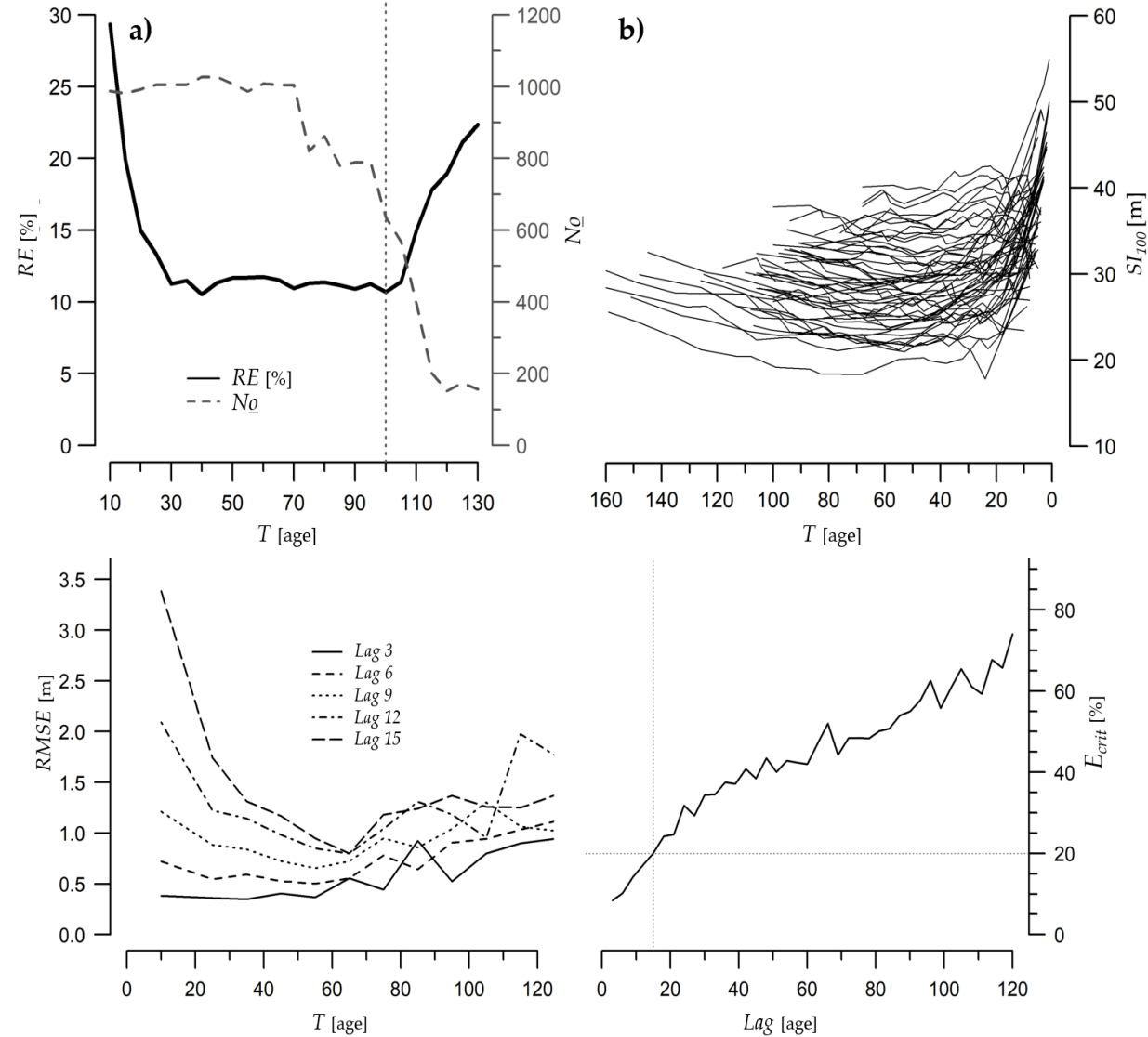
ДИСТРИБУЦИЈА И РАСТ БУКВЕ У ЗАПАДНОЈ СРБИЈИ: ГАЗДОВАЊЕ У УСЛОВИМА КЛИМАТСКИХ ПРОМЕНА

ОБЈЕКАТ

МЕТОД

Калибрација
Евалуација

РЕЗУЛТАТИ
ДИСКУСИЈА



РАСТ

РАСПРОСТРАЊЕЊЕ

РАСТ~СТАНИШТЕ

-13-



ДИСТРИБУЦИЈА И РАСТ БУКВЕ У ЗАПАДНОЈ СРБИЈИ: ГАЗДОВАЊЕ У УСЛОВИМА КЛИМАТСКИХ ПРОМЕНА

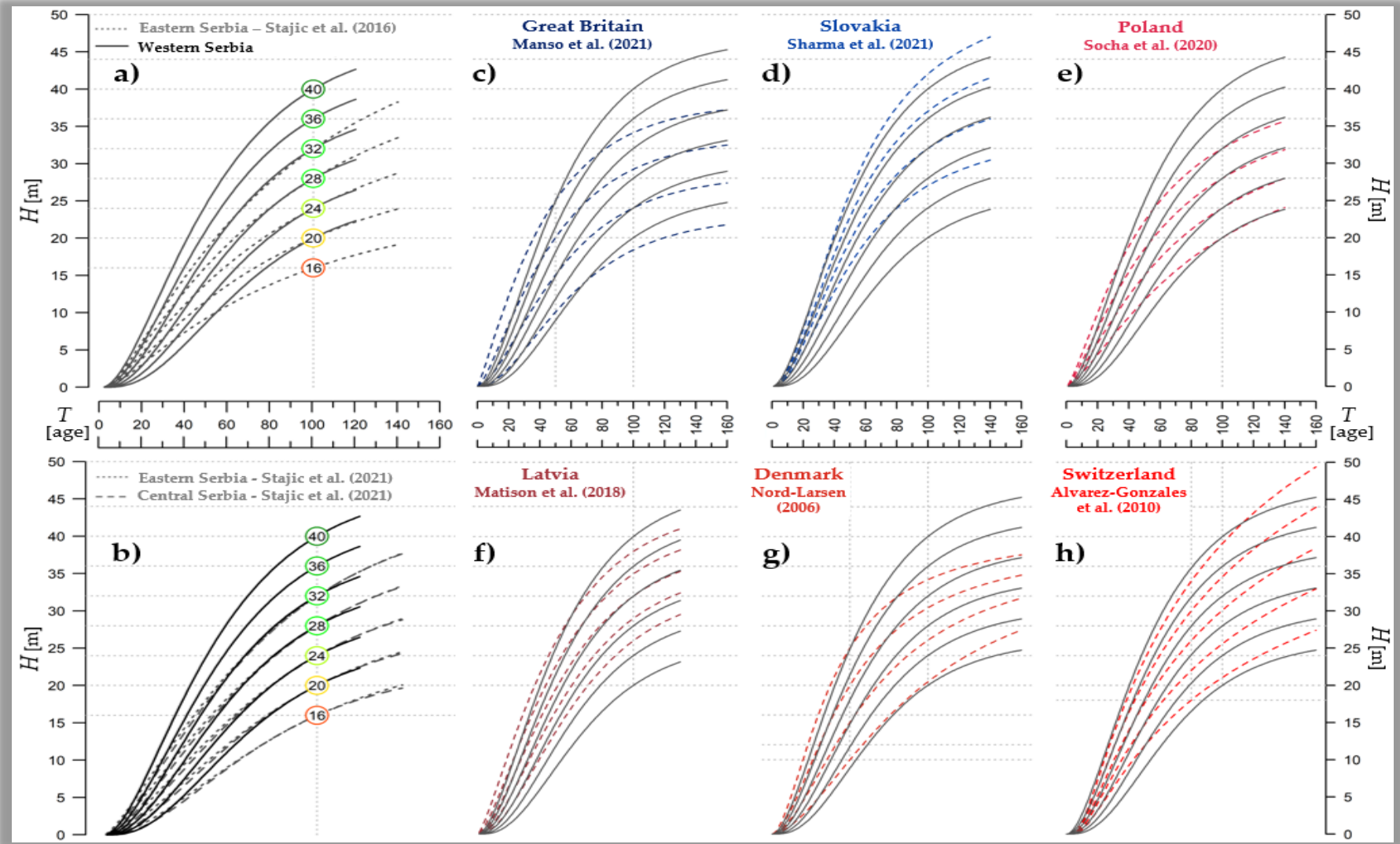
ОБЈЕКАТ

МЕТОД

Калибрација
Евалуација

РЕЗУЛТАТИ

▶ ДИСКУСИЈА



РАСТ

РАСПРОСТРАЊЕЊЕ

РАСТ~СТАНИШТЕ

-14 -



Kazimirović M. (2023): Simulator rasta šumskih stabala i sastojina 'RASTko': razvoj i parametrizacija za bukvu u zapadnoj Srbiji. Univerzitet u Beogradu, Šumarski fakultet.

Progress so far

[Show history](#)

- Submission received
- Initial technical check
- Peer review

Your submission

Title

Site index models for highly productive beech stands in western Serbia

Type

Research

Journal

European Journal of Forest Research

Submission ID

00ce7647-4c7d-4308-9891-5a28810c0e60

[Home](#) > European Journal of Forest Research

 Springer



European Journal of Forest Research

Publishing model

Hybrid

[Submit your manuscript](#)

РАСТ

РАСПРОСТРАЊЕЊЕ

РАСТ~СТАНИШТЕ

-15-



marko.kazimirovic@sfb.bg.ac.rs

- ▶ ОБЈЕКАТ
- МЕТОД
 - Калибрација
 - Евалуација
- РЕЗУЛТАТИ
- ДИСКУСИЈА

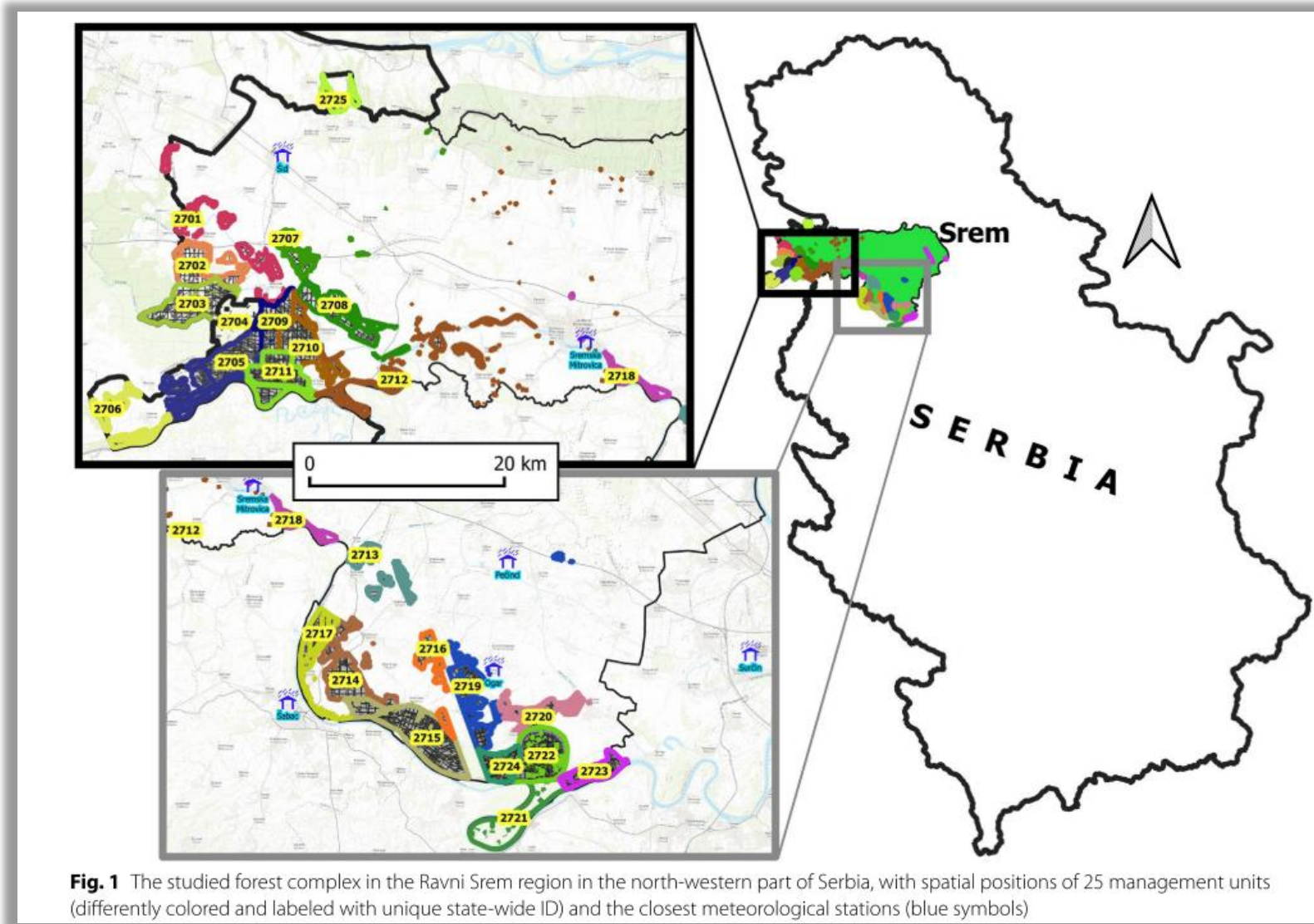


Fig. 1 The studied forest complex in the Ravni Srem region in the north-western part of Serbia, with spatial positions of 25 management units (differently colored and labeled with unique state-wide ID) and the closest meteorological stations (blue symbols)

ОБЈЕКАТ

► МЕТОД

Калибрација
Евалуација

РЕЗУЛТАТИ

ДИСКУСИЈА

Table 3 Base models and tested dynamic equations derived from the generalized algebraic difference approach (GADA) (M1–M5)

Base equation	Site-related parameters	Solution for X with initial conditions (H_0, T_0)	Dynamic form	
Hossfeld IV $H = \frac{b \cdot T^c}{T^c + a}$	$a = \beta_1 R_0^{-1}$ $b = \beta_2 + R_0$	$X_0 = H_0 - \beta_1 + \sqrt{(H_0 - \beta_1)^2 + \frac{2H_0 e^{\beta_2}}{T_0^c}}$	$H = H_0 \cdot \frac{T^c (T_0^c X_0 + e^{\beta_2})}{T_0^c (T^c X_0 + e^{\beta_2})}$	M1
Chapman-Richards: $H = a \cdot (1 - e^{-c \cdot T})^b$	$a = e^{X_0}$ $b = \beta_1 + \frac{\beta_2}{X_0}$	$X_0 = \frac{(\ln H_0 - \beta_1 L_0) + \sqrt{(\ln H_0 - \beta_1 L_0)^2 - 4\beta_2 L_0}}{2}$ $L_0 = \ln(1 - e^{-c T_0})$	$H = H_0 \cdot \left(\frac{1 - e^{-cT}}{1 - e^{-cT_0}} \right)^{\beta_1 + \frac{\beta_2}{X_0}}$	M2
	$a = e^{X_0}$ $b = \beta_1 + \frac{\beta_2}{X_0}$	$X_0 = \frac{(\ln H_0 - \beta_1 \ln(1 - e^{-c T_0}))}{1 + \beta_2 \ln(1 - e^{-c T_0})}$	$H = H_0 \cdot \left(\frac{1 - e^{-cT}}{1 - e^{-cT_0}} \right)^{\beta_1 + \beta_2 \cdot X_0}$	M3
Lundqvist-Korf: $H = a \cdot e^{-b \cdot T^{-c}}$	$a = e^{X_0}$ $b = \beta_1 + \frac{\beta_2}{X_0}$	$X_0 = \frac{\beta_1 \cdot T_0^{-c} + \ln H_0 + L_0}{\sqrt{(\beta_1 \cdot T_0^{-c} + \ln H_0)^2 + 4\beta_2 \cdot T_0^{-c}}}$	$H = e^{X_0} \cdot e^{-(\beta_1 + \frac{\beta_2}{X_0}) \cdot T^{-c}}$	M4
Weibull: $H = a \cdot (1 - e^{-b \cdot T^c})$	$a = X_0$ $b = \beta_1 + \beta_2 X_0$	$X_0 = \frac{\ln H_0 - \beta_1 \cdot \ln(1 - e^{-T_0^c})}{1 + \beta_2 \cdot \ln(1 - e^{-T_0^c})}$	$H = e^{X_0 + (\beta_1 + \beta_2 X_0) \cdot \ln(1 - e^{-T^c})}$	M5

ОБЈЕКАТ

МЕТОД

► Калибрација
Евалуација

РЕЗУЛТАТИ

ДИСКУСИЈА

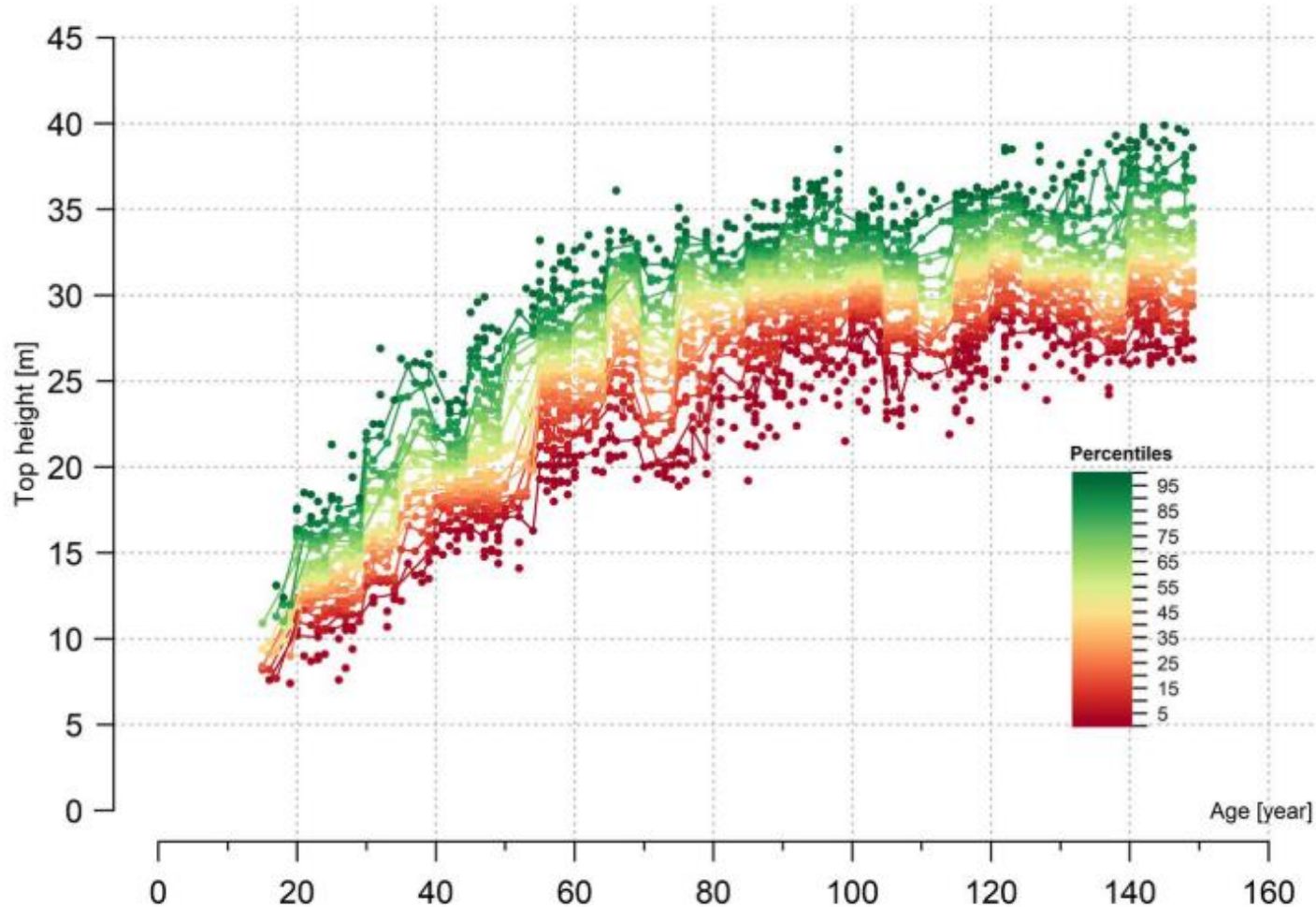


Fig. 2 Top heights over stand age calculated for temporary sample points (TSP) and 19 artificial heights growth trajectories (points + lines). Different percentile ranges are colored according to the given scale

ОБЈЕКАТ

МЕТОД

► Калибрација
Евалуација

РЕЗУЛТАТИ

ДИСКУСИЈА

Table 1 The number of observations (N), the mean age (\bar{X}), standard deviation (SD), minimal (min), and maximal (max) age in age classes of datasets used for calibration and verification of height growth models

Calibration					Verification				
Age class	N	\bar{X} (SD)	Min	Max	N	\bar{X} (SD)	Min	Max	
(± 10) 20	153	24 3.91	15	30	93	24.81 3.25	19	30	
40	251	41.2 5.68	31	50	155	43.77 4.68	31	50	
60	252	61.03 5.43	51	70	226	59.81 4.59	51	70	
80	257	81.18 5.77	71	90	244	83.35 5.20	71	90	
100	301	100.05 5.62	91	110	366	99.81 5.27	91	109	
120	258	121.11 5.28	111	130	262	120.81 4.78	112	130	
140	261	140.11 5.44	131	149	206	140.95 4.98	131	149	

ОБЈЕКАТ

МЕТОД

Калибрација
Евалуација

► РЕЗУЛТАТИ
ДИСКУСИЈА

Table 5 Indicators of the model's goodness-of-fit

Model	Fitting statistics					Validation statistics			Growth elements		
	\bar{e}	RMSE	R_{adj}^2	<i>d-w</i>	<i>AIC</i>	Bias	MAD	MEF	Asy	CAI	Age
M1	0.0631	1.1195	0.9676	1.98	3793.96	-0.0099	0.2439	0.9975	40.4	1.13	11
M2	0.0388	1.0973	0.9707	1.98	3898.04	0.0076	0.2457	0.9975	40.1	1.69	1
M3	0.0387	1.0972	0.9707	1.98	3897.97	0.0064	0.2460	0.9975	40.0	1.79	1
M4	0.0592	1.2588	0.9614	2.01	3970.89	0.0100	0.2440	0.9975	42.1	1.53	7
M5	0.0481	1.1879	0.9656	1.99	3942.91	0.0008	0.2474	0.9975	41.3	1.37	5

\bar{e} estimation bias, *RMSE* root mean square error, R_{adj}^2 adjusted coefficient of determination, *AIC* Akaike information criterion, (*d-w*) Durbin-Watson statistics; validation statistics: *MAD* mean absolute difference, *MEF* model estimation efficiency) and growth elements for assessment of biological realism of the models (*Asy* asymptotes, *CAI* current annual height increment, *Age* time of culmination)

ОБЈЕКАТ

МЕТОД

Калибрација
Евалуација

РЕЗУЛТАТИ

ДИСКУСИЈА

$$H = H_0 \cdot \frac{T^{1.690559} (T_0^{1.690559} X_0 + e^{9.105472})}{T_0^{1.690559} (T^{1.690559} X_0 + e^{9.105472})}$$

$$X_0 = H_0 - 22.21846 + \sqrt{(H_0 - 22.21846)^2 + \frac{2H_0 \cdot e^{9.105472}}{T_0^{1.690559}}}$$

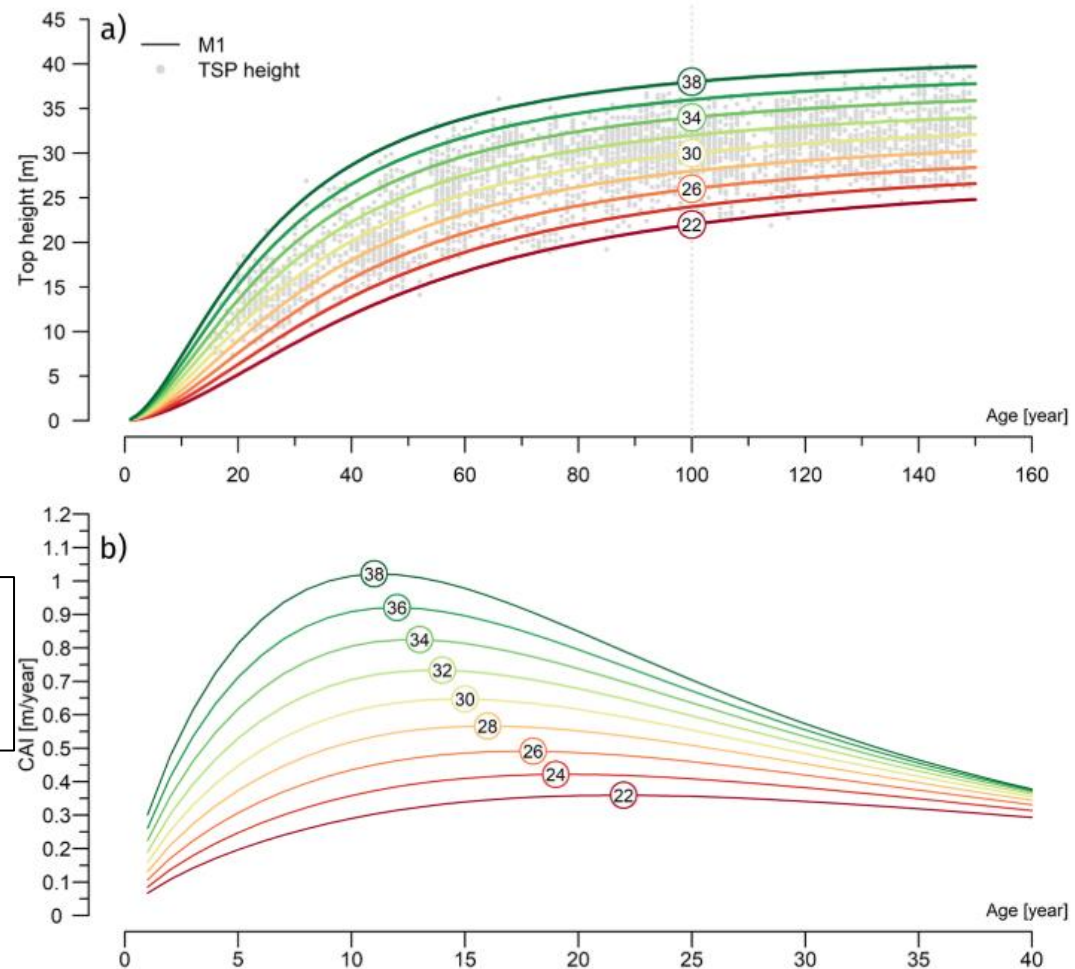


Fig. 3 Development of top height (a) and current annual increment (CAI) (b) over stand age with model M1 of the generalized algebraic difference approach (GADA) for 9 site index classes (SI₁₀₀) from red to green. Empirical height measurements from temporary sample points (TSP) for model fitting are displayed in grey points

ОБЈЕКАТ

МЕТОД

Калибрација
Евалуација

РЕЗУЛТАТИ
ДИСКУСИЈА

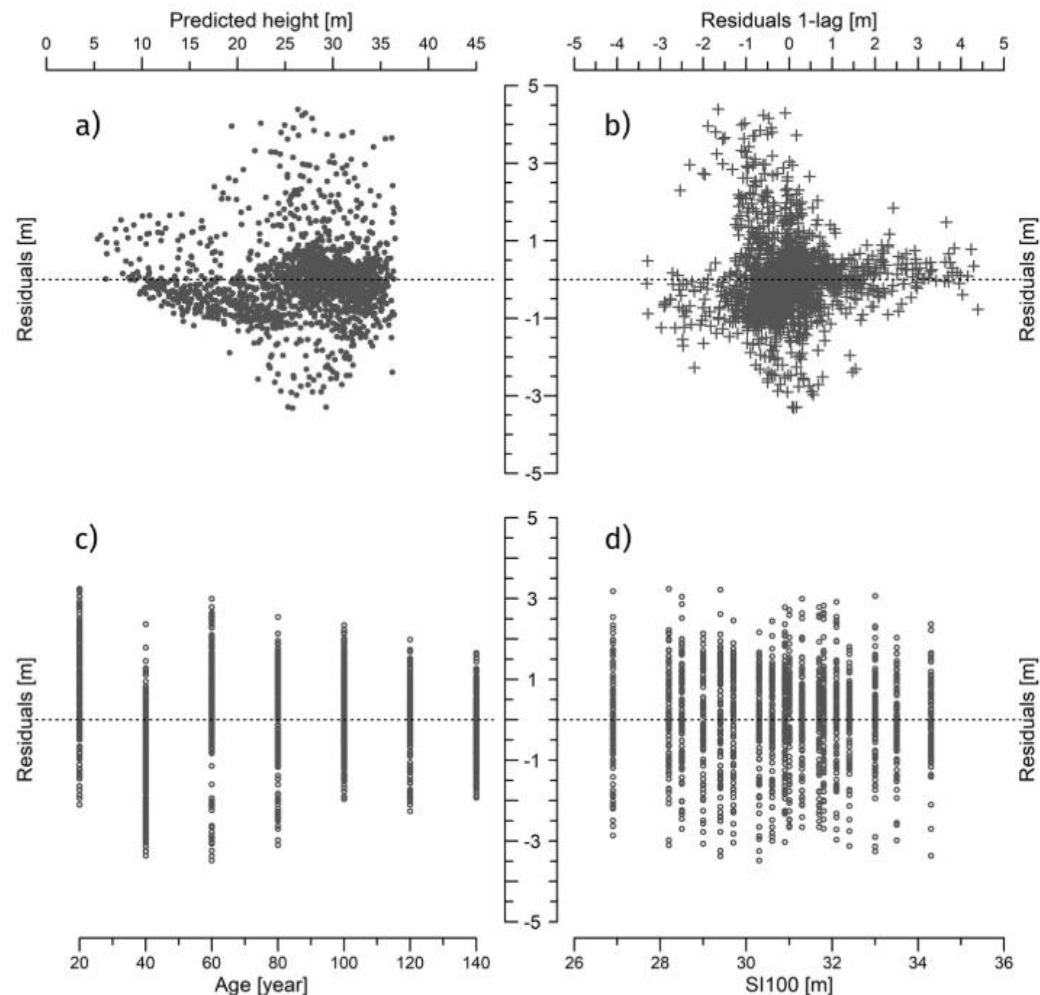


Fig. 4 Distribution of residuals for predicted heights (a), first lag residuals (b), temporary sample points (TSP) age classes (c), and site index classes (SI_{100}) (d)

ДИСТРИБУЦИЈА И РАСТ ЛУЖЊАКА У СРЕМУ: ГАЗДОВАЊЕ У УСЛОВИМА КЛИМАТСКИХ ПРОМЕНА

ОБЈЕКАТ

МЕТОД

Калибрација
Евалуација

РЕЗУЛТАТИ
ДИСКУСИЈА

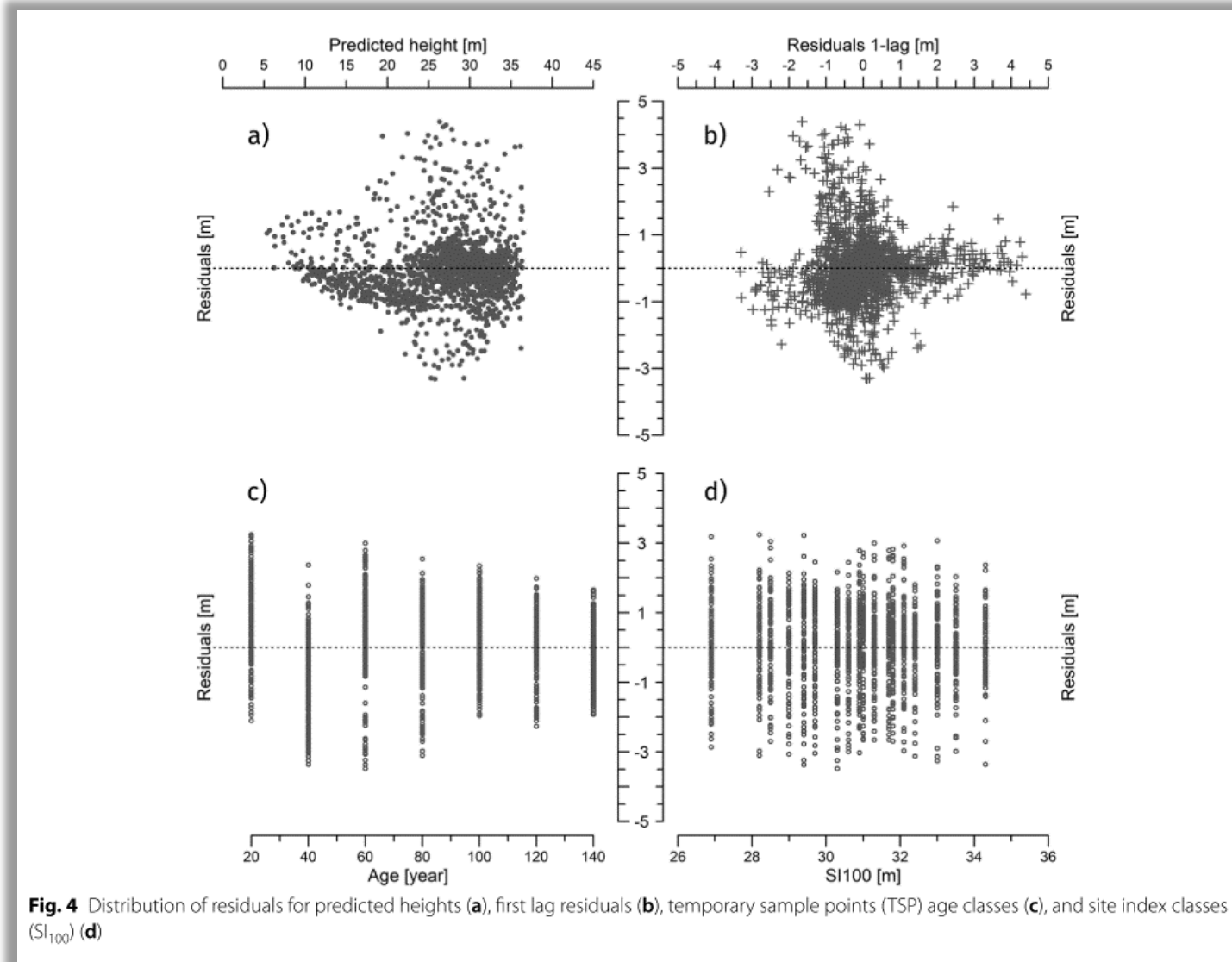
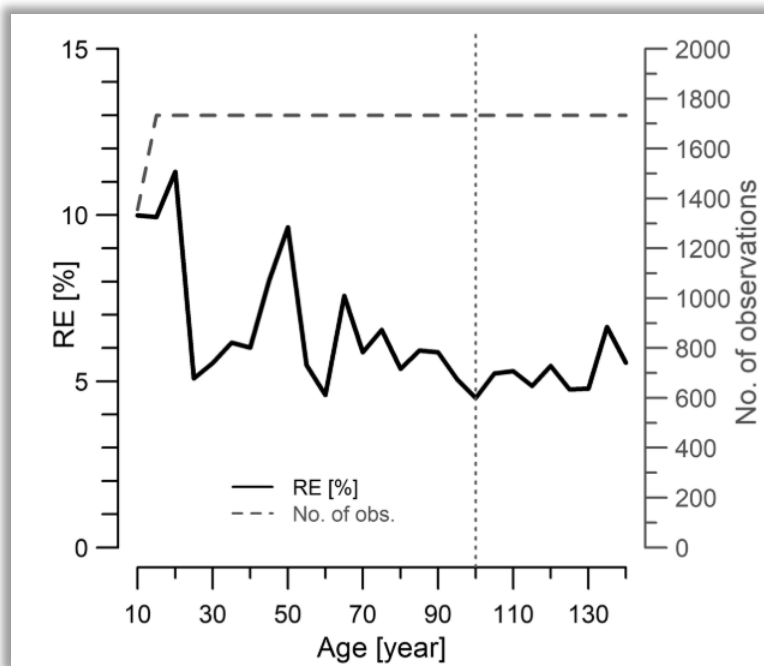


Fig. 4 Distribution of residuals for predicted heights (a), first lag residuals (b), temporary sample points (TSP) age classes (c), and site index classes (SI₁₀₀) (d)



ДИСТРИБУЦИЈА И РАСТ ЛУЖЊАКА У СРЕМУ: ГАЗДОВАЊЕ У УСЛОВИМА КЛИМАТСКИХ ПРОМЕНА

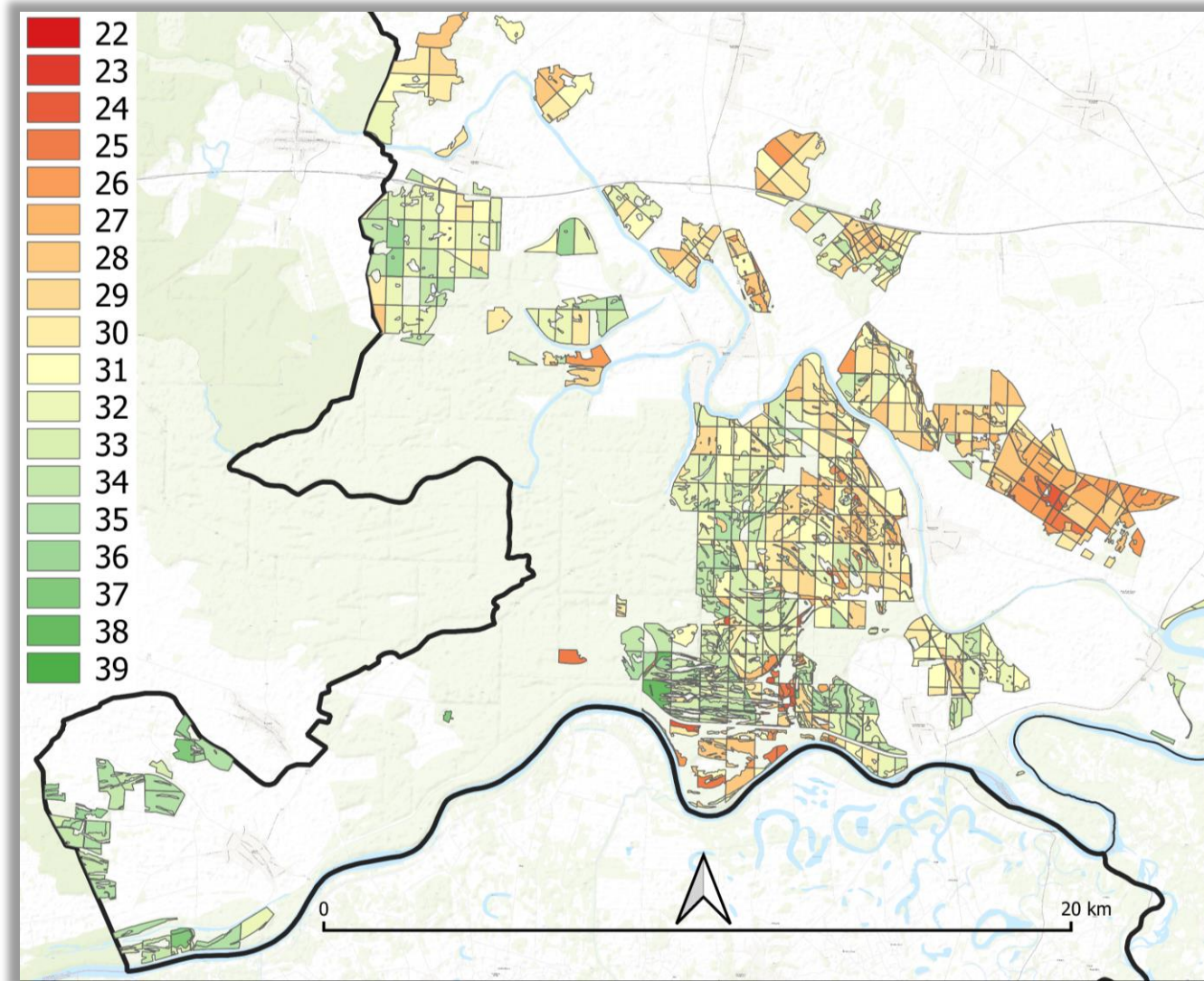
ОБЈЕКАТ

МЕТОД

Калибрација
Евалуација

► РЕЗУЛТАТИ

ДИСКУСИЈА



РАСТ

РАСПРОСТРАЊЕЊЕ

РАСТ~СТАНИШТЕ

-24-



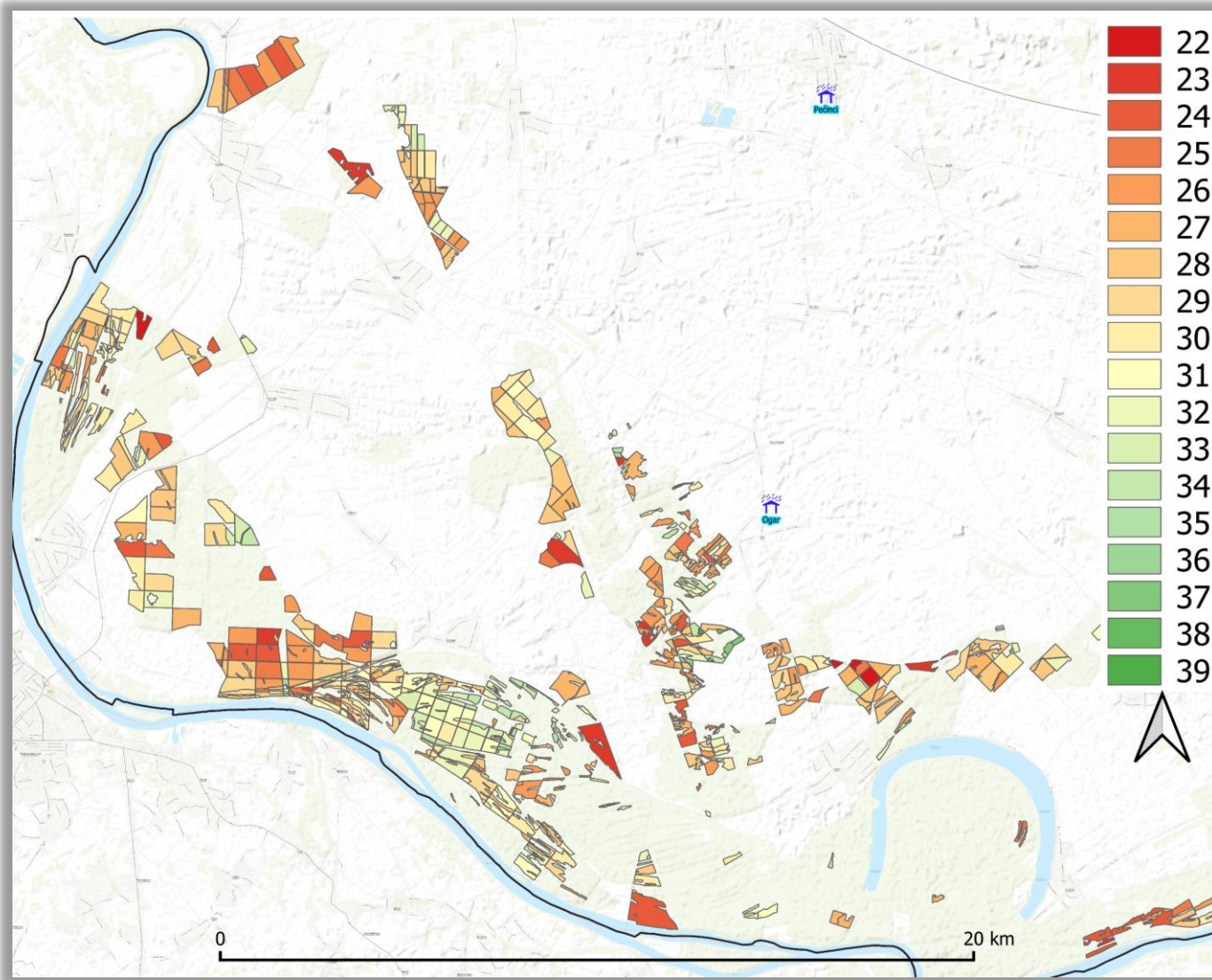
ДИСТРИБУЦИЈА И РАСТ ЛУЖЊАКА У СРЕМУ: ГАЗДОВАЊЕ У УСЛОВИМА КЛИМАТСКИХ ПРОМЕНА

ОБЈЕКАТ

МЕТОД

Калибрација
Евалуација

► РЕЗУЛТАТИ
ДИСКУСИЈА



РАСТ

РАСПРОСТРАЊЕЊЕ

РАСТ~СТАНИШТЕ

-25-



ОБЈЕКАТ

МЕТОД

Калибрација
Евалуација

РЕЗУЛТАТИ

▶ ДИСКУСИЈА

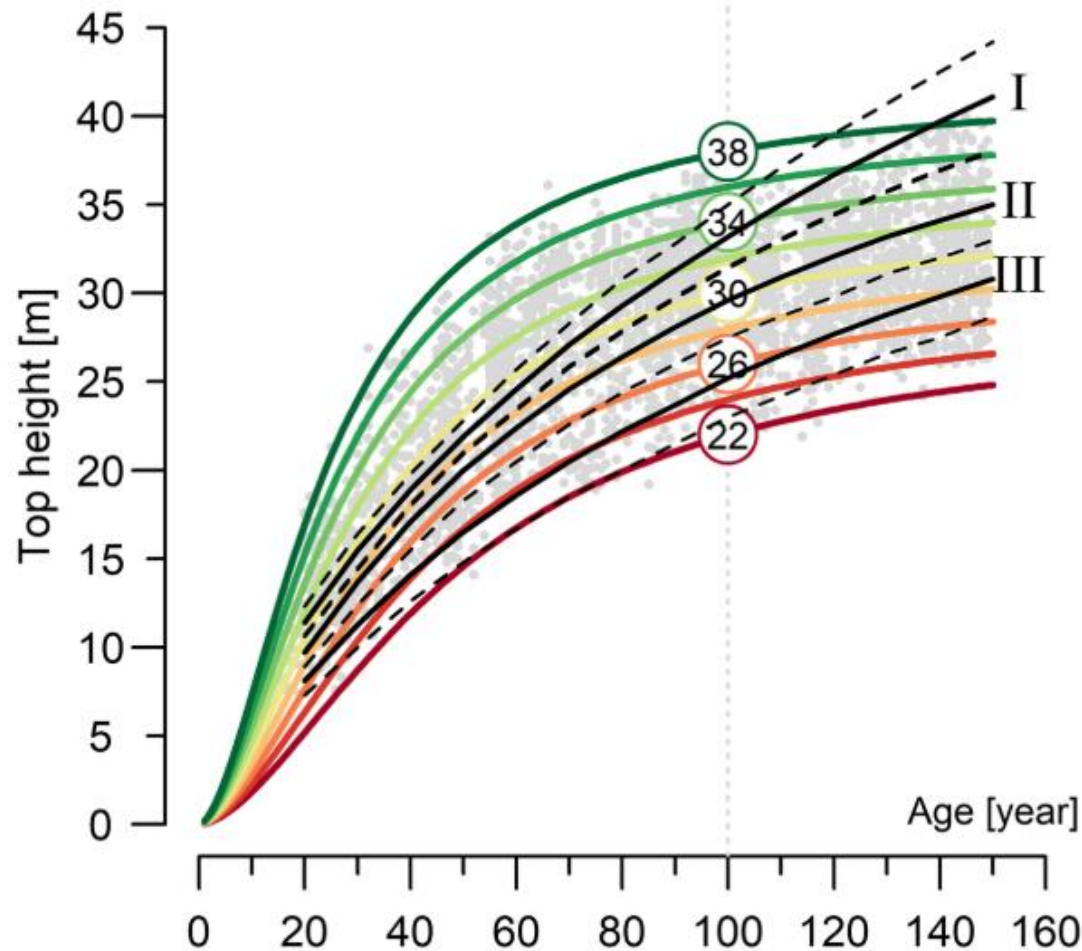


Fig. 6 Comparison of modeled top heights based on model M1 of the generalized algebraic difference approach (GADA) for 9 site index classes (SI_{100}) with Špiranec's (1975) height growth models for pedunculate oak in Croatia. The solid black line represents relative site index classes (I, II, III) of Špiranec's (1975), where dotted lines designate lower and upper thresholds of classes

Kazimirović et al. (2022)

Конференција:

Socio-ecological conflicts in forest management: risks of (not) adapting?

31 May - 2 June

Nancy, France

Site index curves for pedunculate oak (*Quercus robur* L.) in Srem region of Serbia: mapping the current site productivity as reference point for risk analysis

Marko Kazimirović¹, Branko Stajić¹, Dominik Sperlich², Janko Ljubičić¹, Nenad Petrović¹, Olivera Košanin¹, Axel Weinreich², Dejan Baković¹, Marc Hanewinkel³

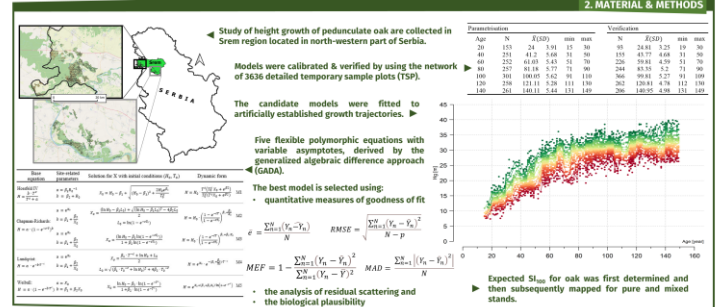
1- Faculty of Forestry University of Belgrade 2- ANR 3- unique

1. INTRODUCTION

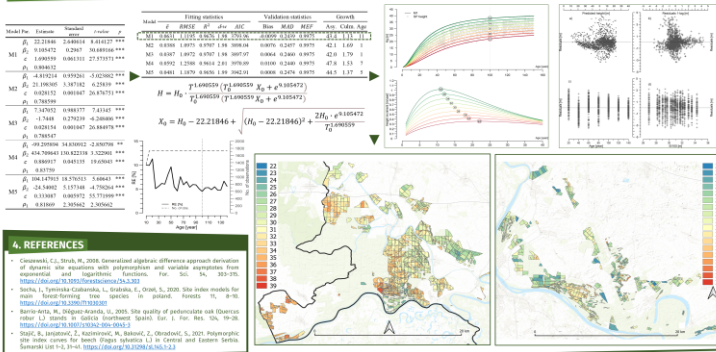
Predicting the possible environmental and socio-economic consequences of climate change depends on a reliable comparison of the current and future productivity. Although sustainable forest management should rely on forest site productivity figures, tools for the productivity stratification of highly valuable pedunculate oak stands in the Srem region of Serbia are currently lacking. The most commonly used scale for site quality classification is obtained by sectioning the height-age oscillation range with the desired number of the expected site index curves. The ideal data source for height growth modelling is forest inventory surveys since they contain the complete variation heights along a spatial and ecological gradient. Yet, the usage of those datasets in natural stands is usually restricted due to the unknown age structure. However, fact that light-demanding species are naturally preconditioned to even-aged structure, together with huge commercial interest for pedunculate oak wood, have affected the management plans to contain useful records of stand's age.

- Development of the first dynamic site index curves (Si) for the pedunculate oak in the Srem region of Serbia.
- Creating the spatially continuous productivity map covering a total of 22 management units

2. MATERIAL & METHODS



3. RESULTS & DISCUSSION



Kazimirović et al. *Annals of Forest Science* (2024) 81:15

<https://doi.org/10.1186/s13595-024-01231-0>

INRAE



Annals of
Forest Science

RESEARCH PAPER

Open Access



Dynamic height growth models for highly productive pedunculata oak (*Quercus robur* L.) stands: explicit mapping of site index classification in Serbia

Marko Kazimirović^{1*} , Branko Stajić¹ , Nenad Petrović¹ , Janko Ljubičić¹ , Olivera Košanin¹ ,
Marc Hanewinkel²  and Dominik Sperlich² 

РАСТ

РАСПРОСТРАЊЕЊЕ

РАСТ~СТАНИШТЕ

-28-



marko.kazimirovic@sfb.bg.ac.rs

РАСПРОСТРАНЕНИЕ



ДИСТРИБУЦИЈА И РАСТ БУКВЕ У ЗАПАДНОЈ СРБИЈИ: ГАЗДОВАЊЕ У УСЛОВИМА КЛИМАТСКИХ ПРОМЕНА

Станишни услови - предиктори:

Brandl S. et al. (2018), Castaño-Santamaría J. et al. (2019)

Климатски

O'Donnell M.S. & Ignizio D.A. (2012)

● Присуство

● Одсуство

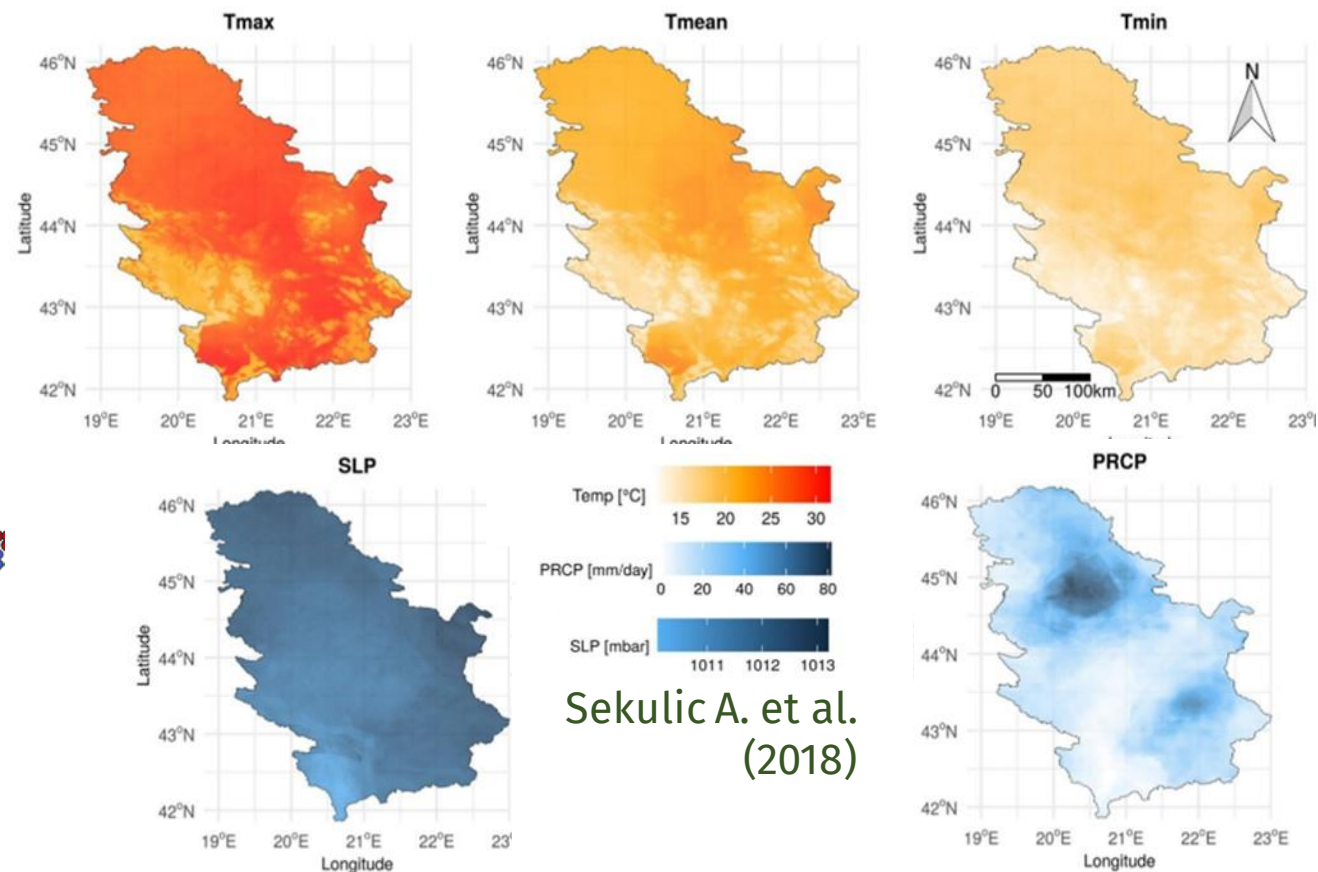


НИШ2

◎ Састојинска инв.

* Огледна поља

Σ 91 194



РАСТ

РАСПРОСТРАЊЕЊЕ

РАСТ~СТАНИШТЕ

-30-



marko.kazimirovic@sfb.bg.ac.rs

ДИСТРИБУЦИЈА И РАСТ БУКВЕ У ЗАПАДНОЈ СРБИЈИ: ГАЗДОВАЊЕ У УСЛОВИМА КЛИМАТСКИХ ПРОМЕНА

Станишни услови - предиктори:

Brandl S. et al. (2018), Castaño-Santamaría J. et al. (2019)

 **Климатски**

O'Donnell M.S. & Ignizio D.A. (2012)

 **Рељефни**

● **Присуство**

● **Одсуство**



НИШ2

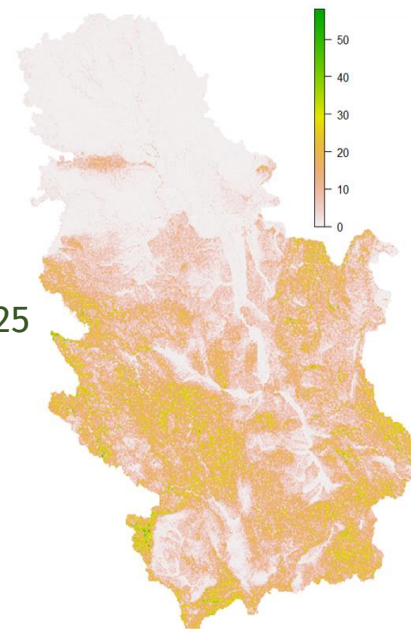
⊙ **Састојинска инв.**

* **Огледна поља**

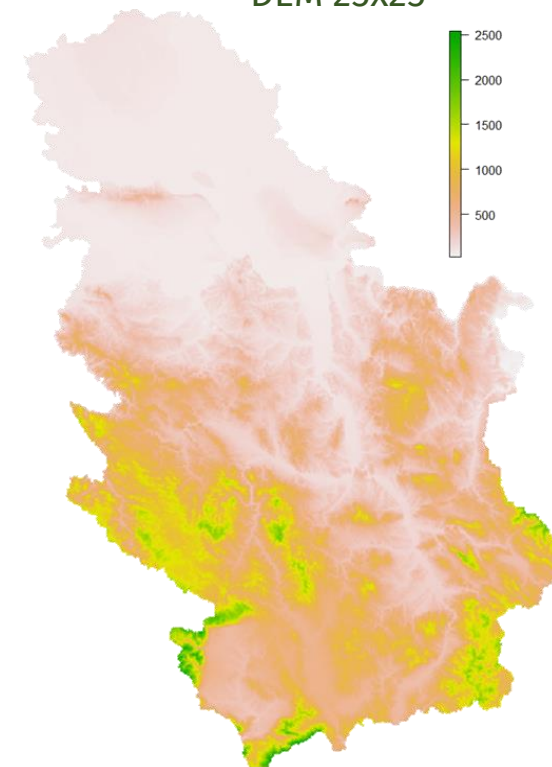
Σ 91 194

Code	Description	Unit
SLP	Slope based on a digital elevation model	%
ASP	Aspect based on a digital elevation model	°
CU	Curvature	
PLC	Plan curvature	
PRC	Profile curvature	
TSI	Terrain shape index	
WI	Wetness index	

SLP 25x25



DEM 25x25



РАСТ

РАСПРОСТРАЊЕЊЕ

РАСТ~СТАНИШТЕ



ДИСТРИБУЦИЈА И РАСТ БУКВЕ У ЗАПАДНОЈ СРБИЈИ: ГАЗДОВАЊЕ У УСЛОВИМА КЛИМАТСКИХ ПРОМЕНА

Станишни услови - предиктори:

Brandl S. et al. (2018), Castaño-Santamaría J. et al. (2019)



Климатски

O'Donnell M.S. & Ignizio D.A. (2012)



Рељефни



Земљиште

Tomislav H. et al. (2017)

● **Присуство**

● **Одсуство**



НИШ2

⊙ **Састојинска инв.**

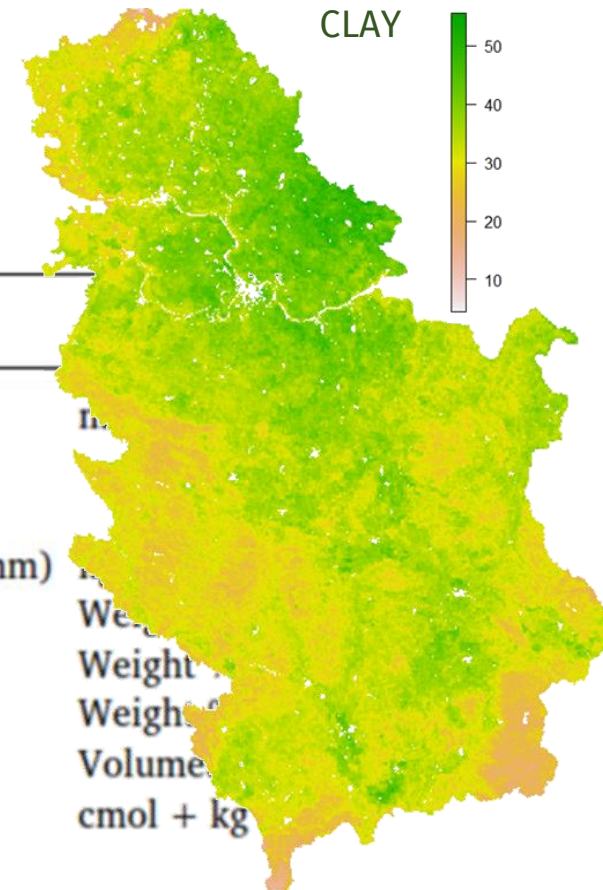
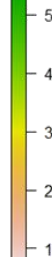
* **Огледна поља**

Σ 91 194

Code	Description
SC	Soil organic carbon content
Ph_H ₂ O	Soil Ph in H ₂ O solution
Ph_KCl	Soil Ph in KCl solution
BD	Bulk density of fine earth fraction (< 2mm)
CLAY	Percentage of clay in soil
SAND	Percentage of sand in soil
SILT	Percentage of silt in soil
CF	Coarse fragments
CEC	Cation-exchange capacity

SoilGrids250m

CLAY



РАСТ

РАСПРОСТРАЊЕЊЕ

РАСТ~СТАНИШТЕ

-32-

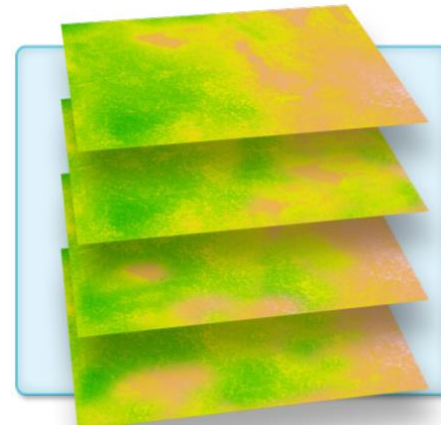
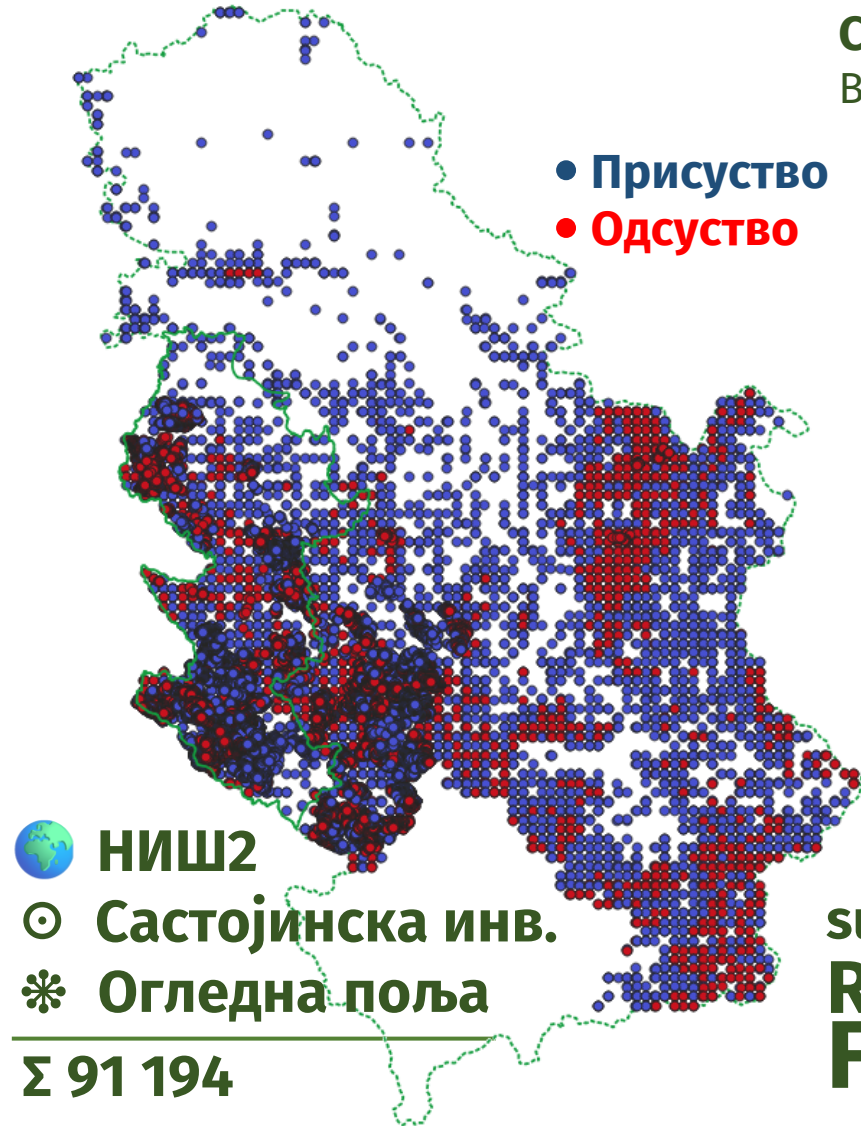


marko.kazimirovic@sfb.bg.ac.rs

ДИСТРИБУЦИЈА И РАСТ БУКВЕ У ЗАПАДНОЈ СРБИЈИ: ГАЗДОВАЊЕ У УСЛОВИМА КЛИМАТСКИХ ПРОМЕНА

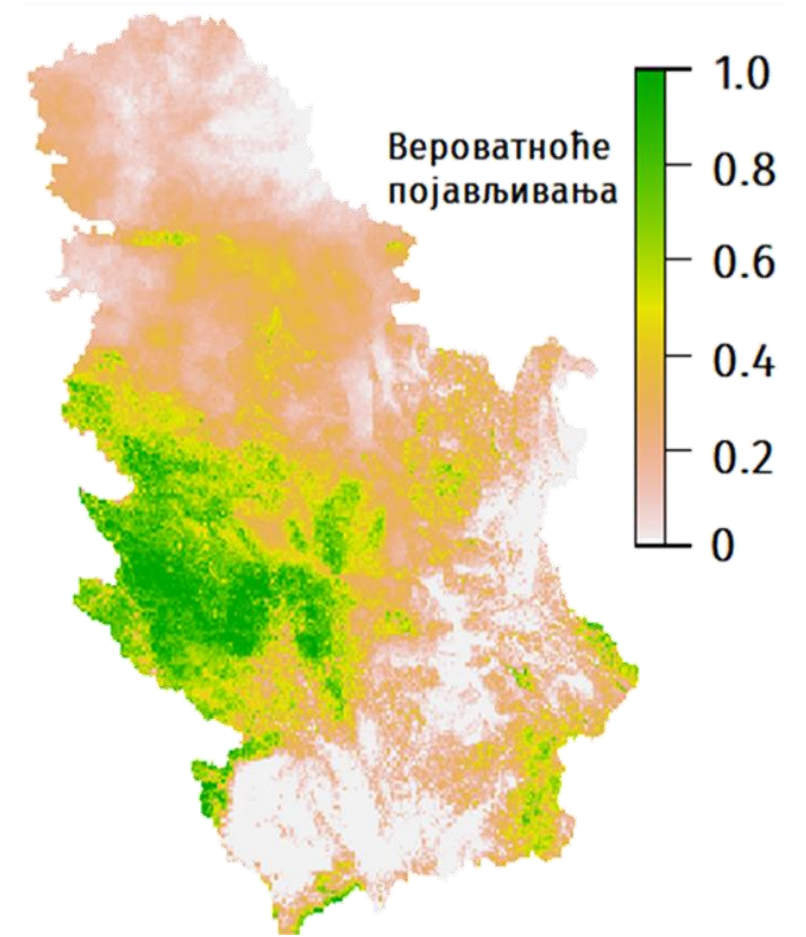
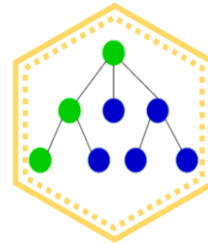
Станишни услови - предиктори:

Brandl S. et al. (2018), Castaño-Santamaría J. et al. (2019)



Σ 37 предиктора у
25x25 m резолуцији.

supervised
**Random
Forest**



РАСТ

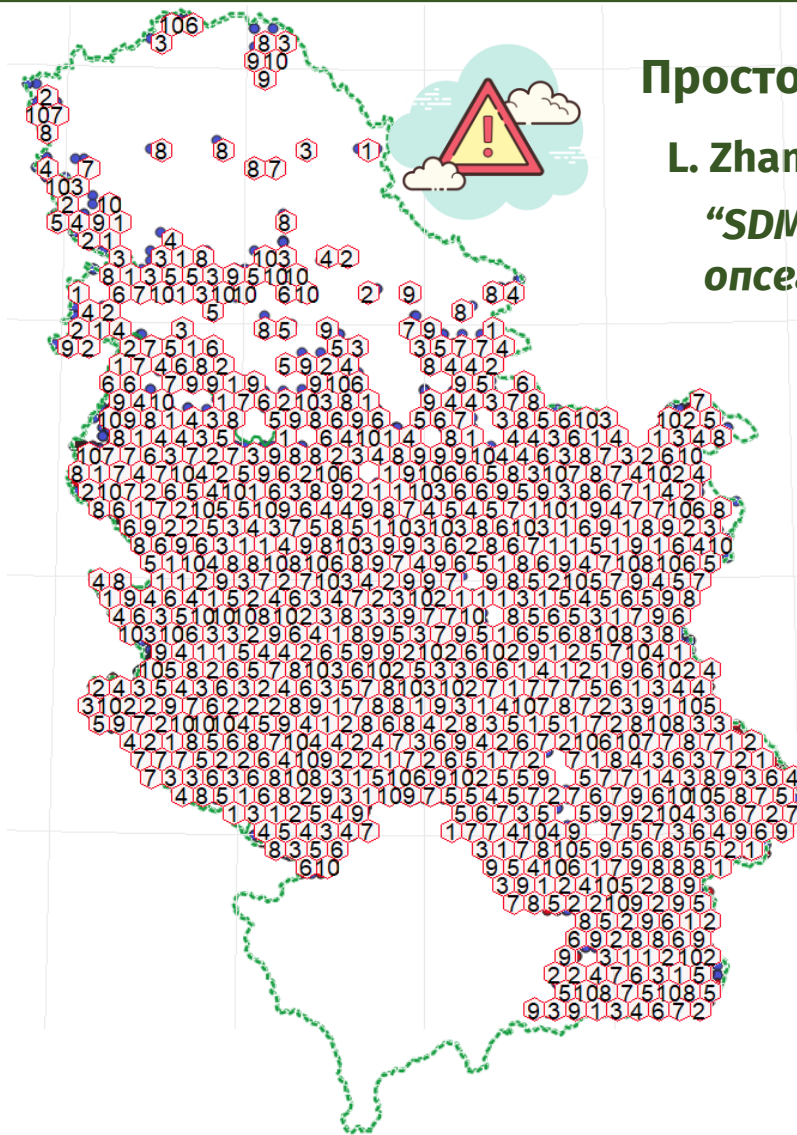
РАСПРОСТРАЊЕЊЕ

РАСТ~СТАНИШТЕ

-33-



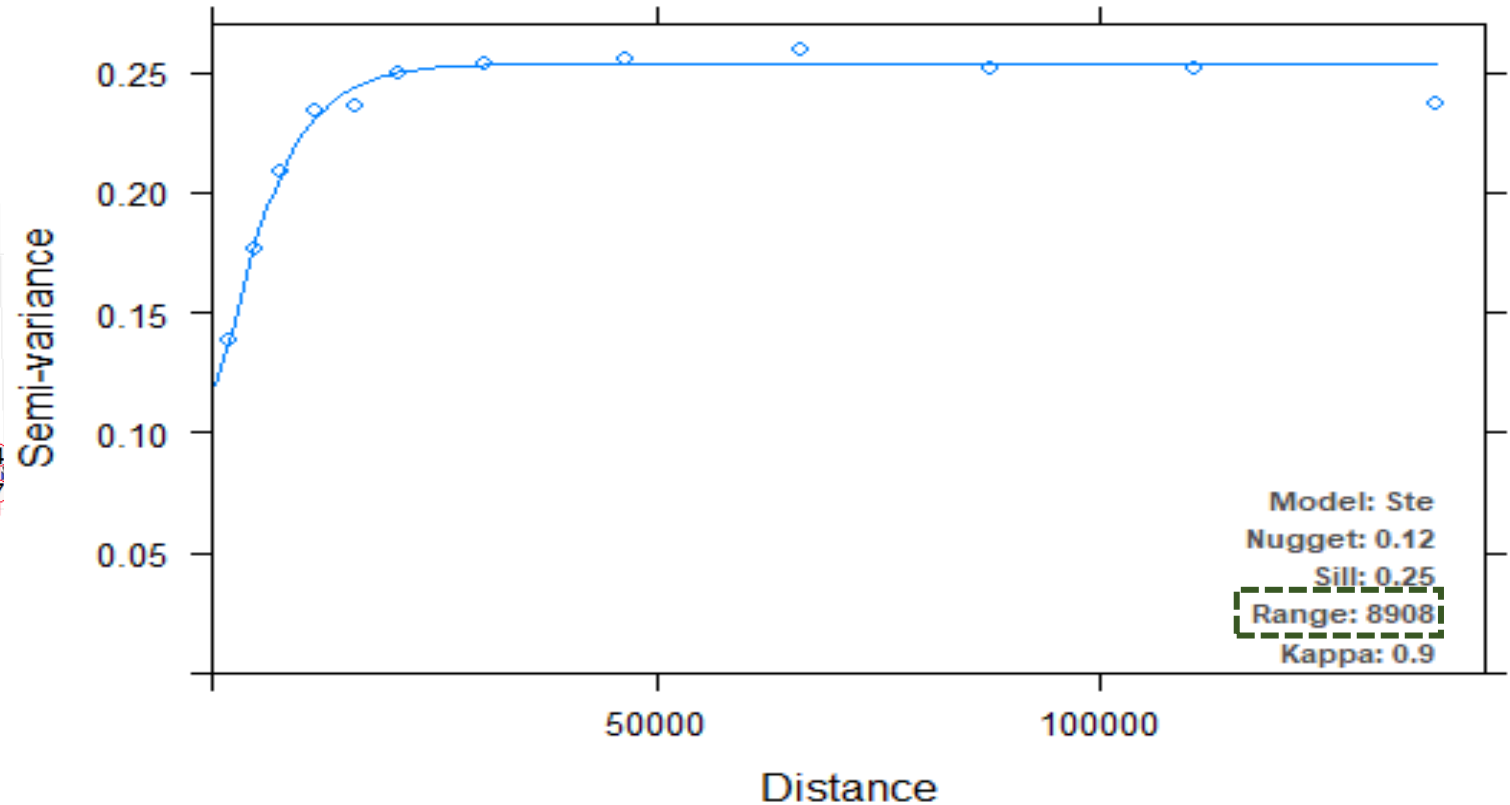
ДИСТРИБУЦИЈА И РАСТ БУКВЕ У ЗАПАДНОЈ СРБИЈИ: ГАЗДОВАЊЕ У УСЛОВИМА КЛИМАТСКИХ ПРОМЕНА



Просторна аутокорејација?

L. Zhang et al. (2019)

“SDM су често коришћени за предикцију распрострањења врсте изван опсега (простора или времену) у којем је модел калибрисан.”



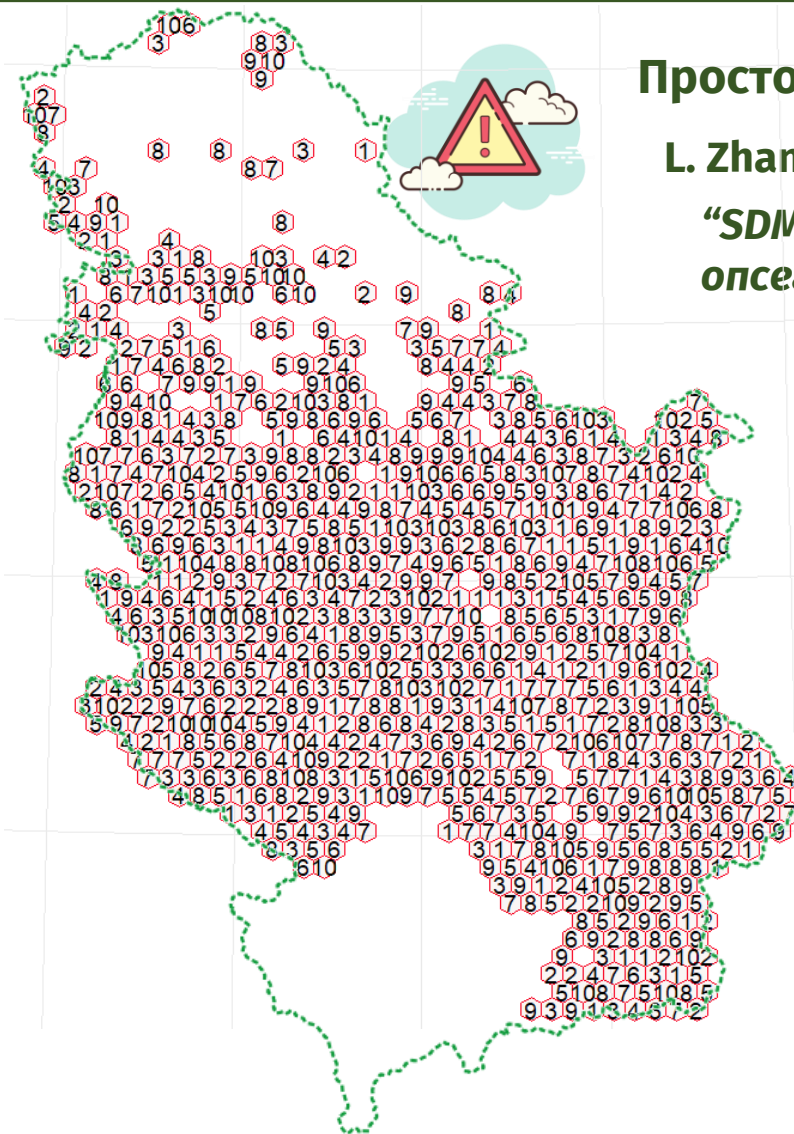
РАСТ

РАСПРОСТРАЊЕЊЕ

РАСТ~СТАНИШТЕ

-34 -





Просторна аутокорејација?

L. Zhang et al. (2019)

“SDM су често коришћени за предикцију распрострањења врсте изван опсега (простора или времену) у којем је модел калибрисан.”

1) Суседне тачке као предиктори;

2) Стратегија стратификоване унакрсне валидација;

R. Valavi et al. (2019)

Вариограм је фундаментални геостатистички алат за мерење просторне аутокорејације (O’Sullivan and Unwin, 2010).

Одабир алгорита?

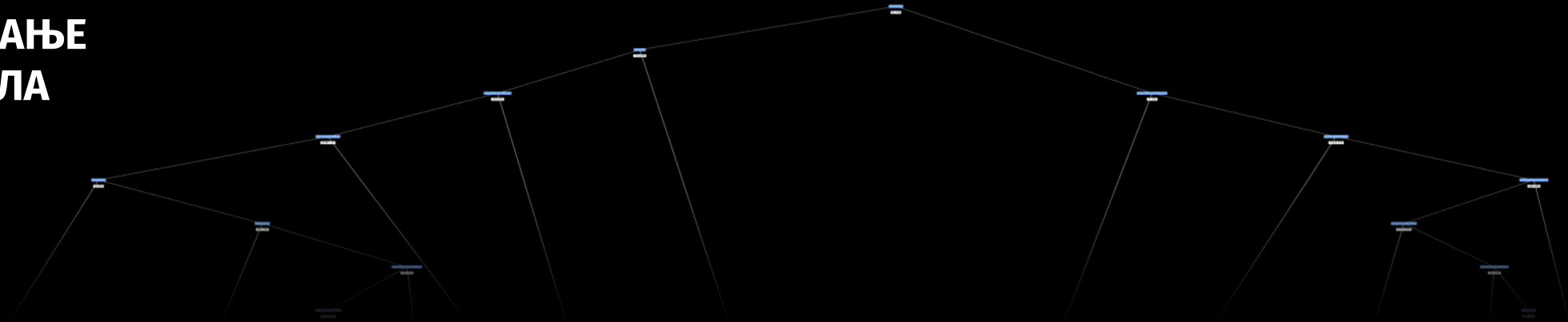
- Класификација може да обезбеди већу поузданост модела.
R.G. Mateo et al (2010), C. Liu et al. (2011).

Подешавање алгорита?

- mtry: Број варијабли случајно одабраних на раздвајању.
- ntree: Број стабала која ће чинити коначан модел.

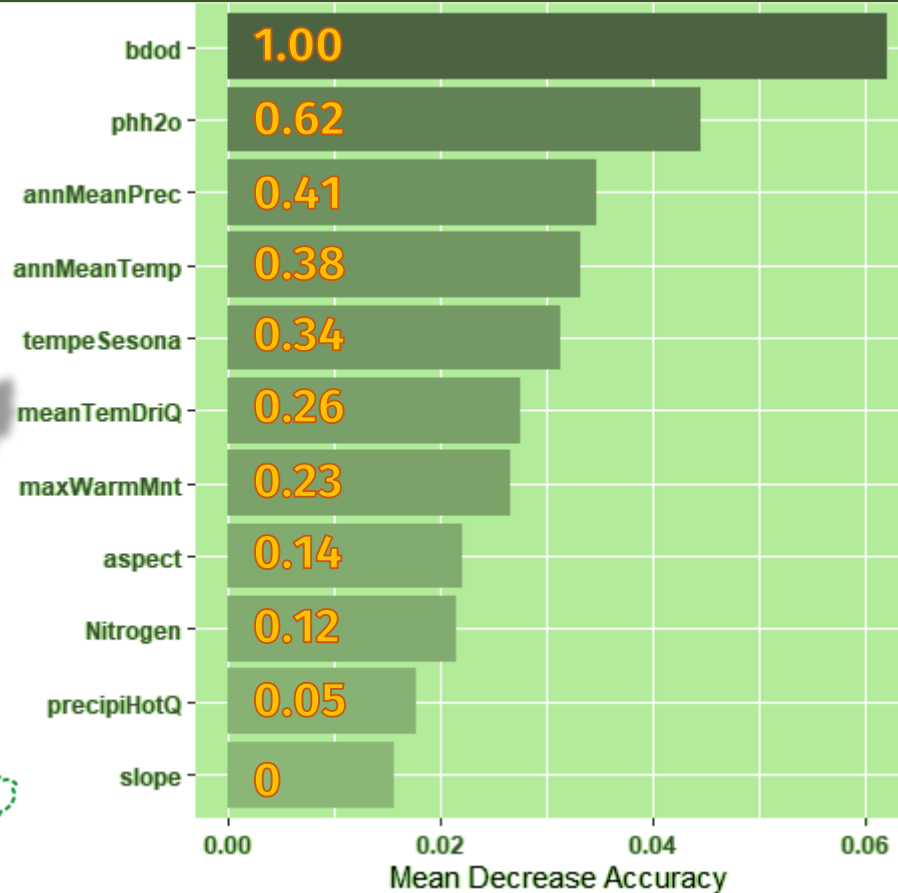
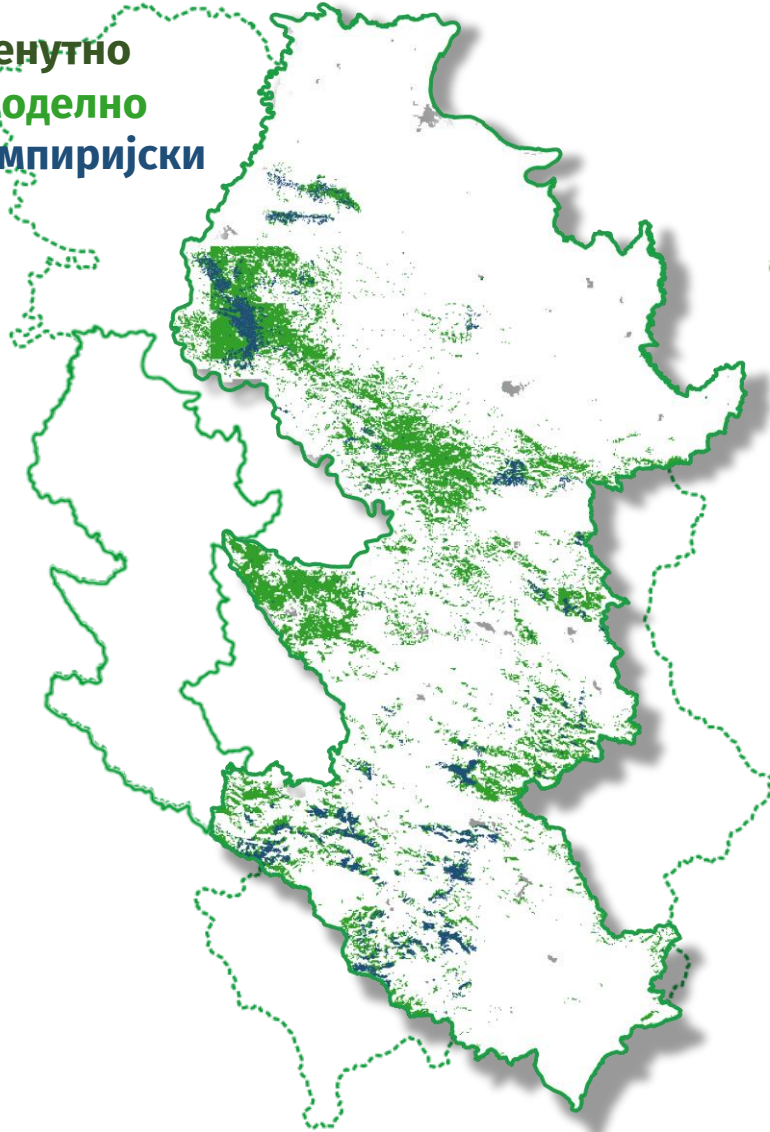
Критеријум одабира најважнијих предиктора?

ТРЕНИРАЊЕ МОДЕЛА



ДИСТРИБУЦИЈА И РАСТ БУКВЕ У ЗАПАДНОЈ СРБИЈИ: ГАЗДОВАЊЕ У УСЛОВИМА КЛИМАТСКИХ ПРОМЕНА

Тренутно
 ■ моделно
 ■ емпиријски



11 предиктора
задржано

Нормализована
и релативна

← значајност

Праг за бинарну
конверзију: MaxOA

Set	AUC	OA	TSS	Кappa	Sens	Spec	PoP
Test	0.8581	0.7668	0.5386	0.5347	0.7347	0.8039	0.59
Train	1	1	1	1	1	1	0.59

РАСТ

РАСПРОСТРАЊЕЊЕ

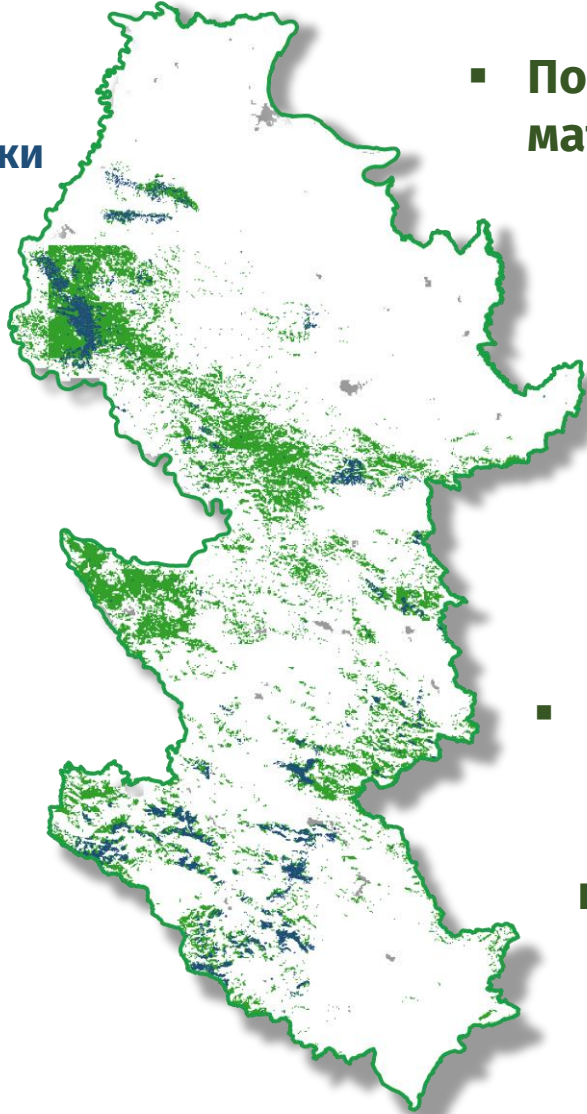
РАСТ~СТАНИШТЕ

-37-



ДИСТРИБУЦИЈА И РАСТ БУКВЕ У ЗАПАДНОЈ СРБИЈИ: ГАЗДОВАЊЕ У УСЛОВИМА КЛИМАТСКИХ ПРОМЕНА

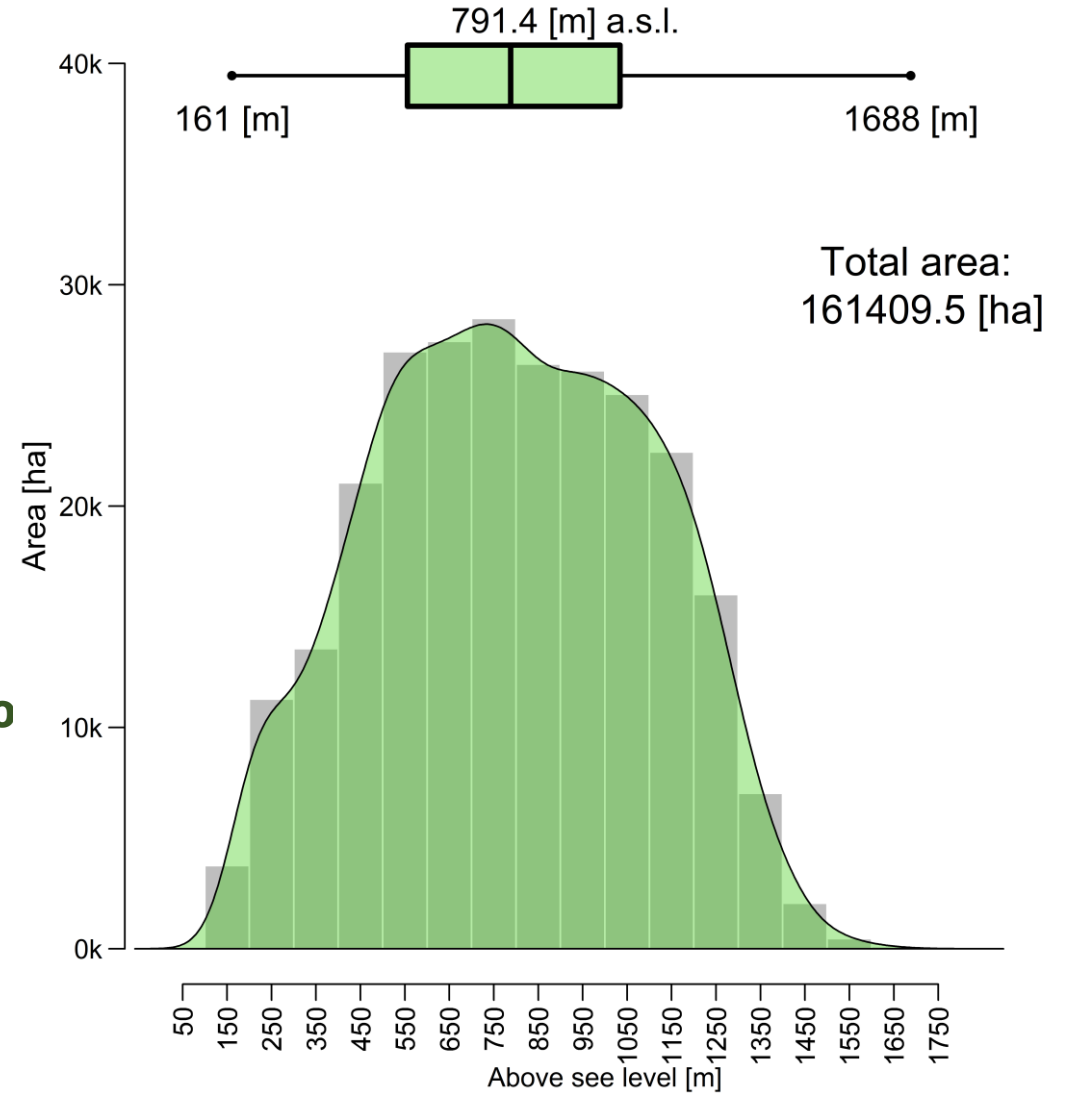
Тренутно
■ моделно
■ емпиријски



- Погрешно сортирани у матрици конфузије:
присуство: 155 поља
одсуство: 123 поља

- Тренутно је за букву повољно 13% површине западне Србије!

- Емпиријско вертикално распрострањење:
175 - 1675 [m] a.s.l.
најнижа-највиша тачка



РАСТ

РАСПРОСТРАЊЕЊЕ

РАСТ~СТАНИШТЕ

-38-



ДИСТРИБУЦИЈА И РАСТ БУКВЕ У ЗАПАДНОЈ СРБИЈИ: ГАЗДОВАЊЕ У УСЛОВИМА КЛИМАТСКИХ ПРОМЕНА



РАСТ

РАСПРОСТРАЊЕЊЕ

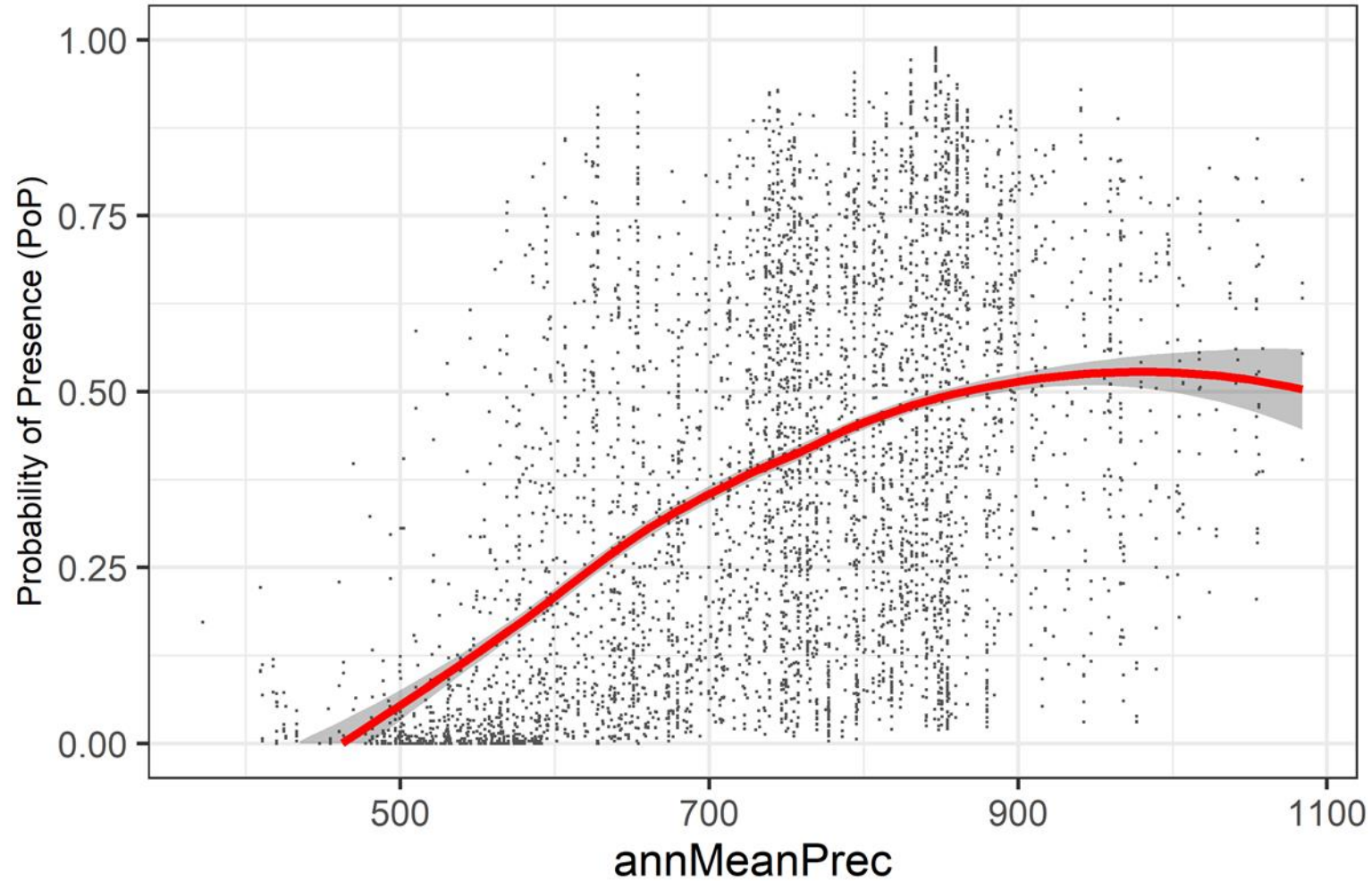
РАСТ~СТАНИШТЕ

-39-

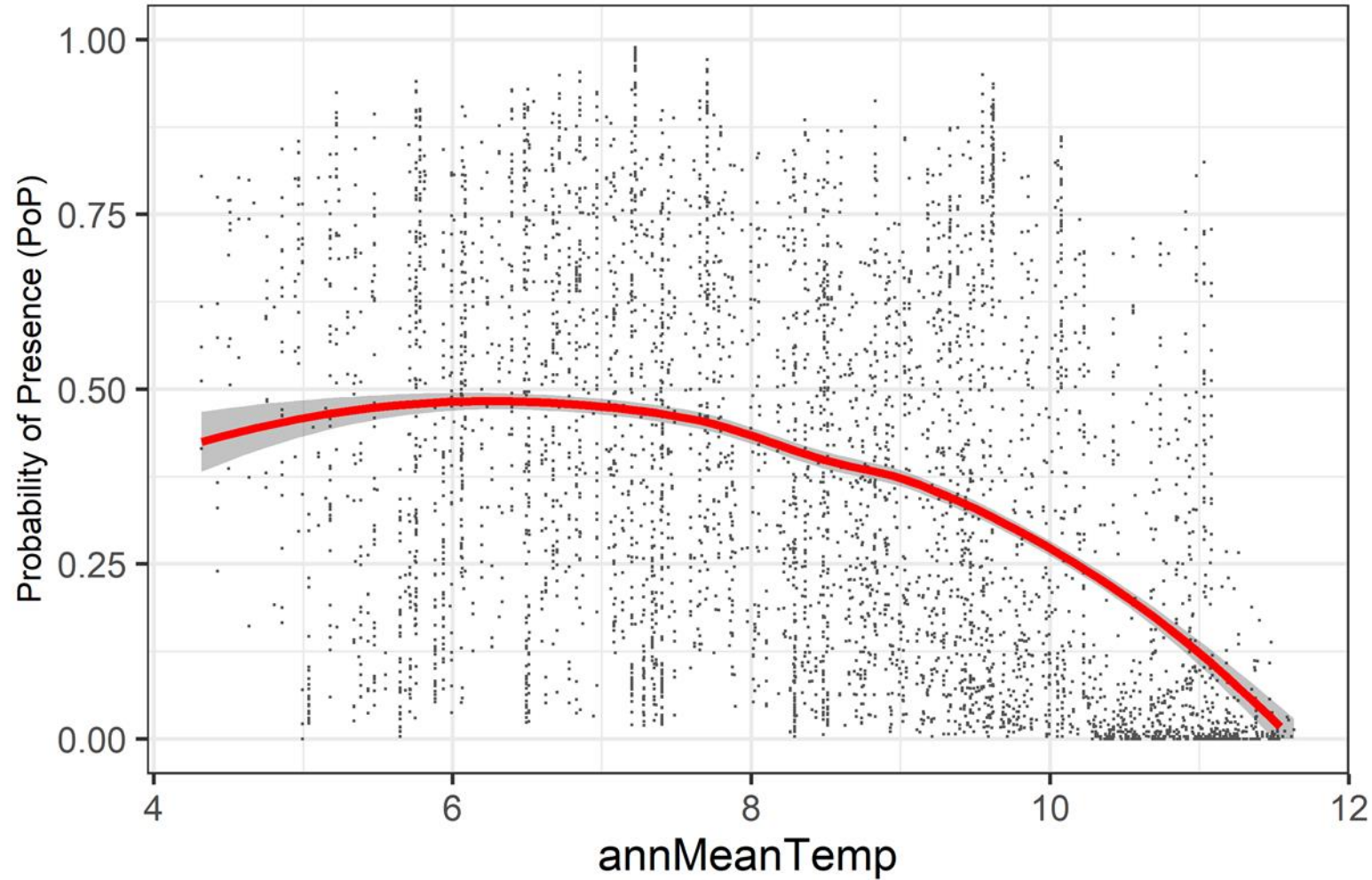


marko.kazimirovic@sfb.bg.ac.rs

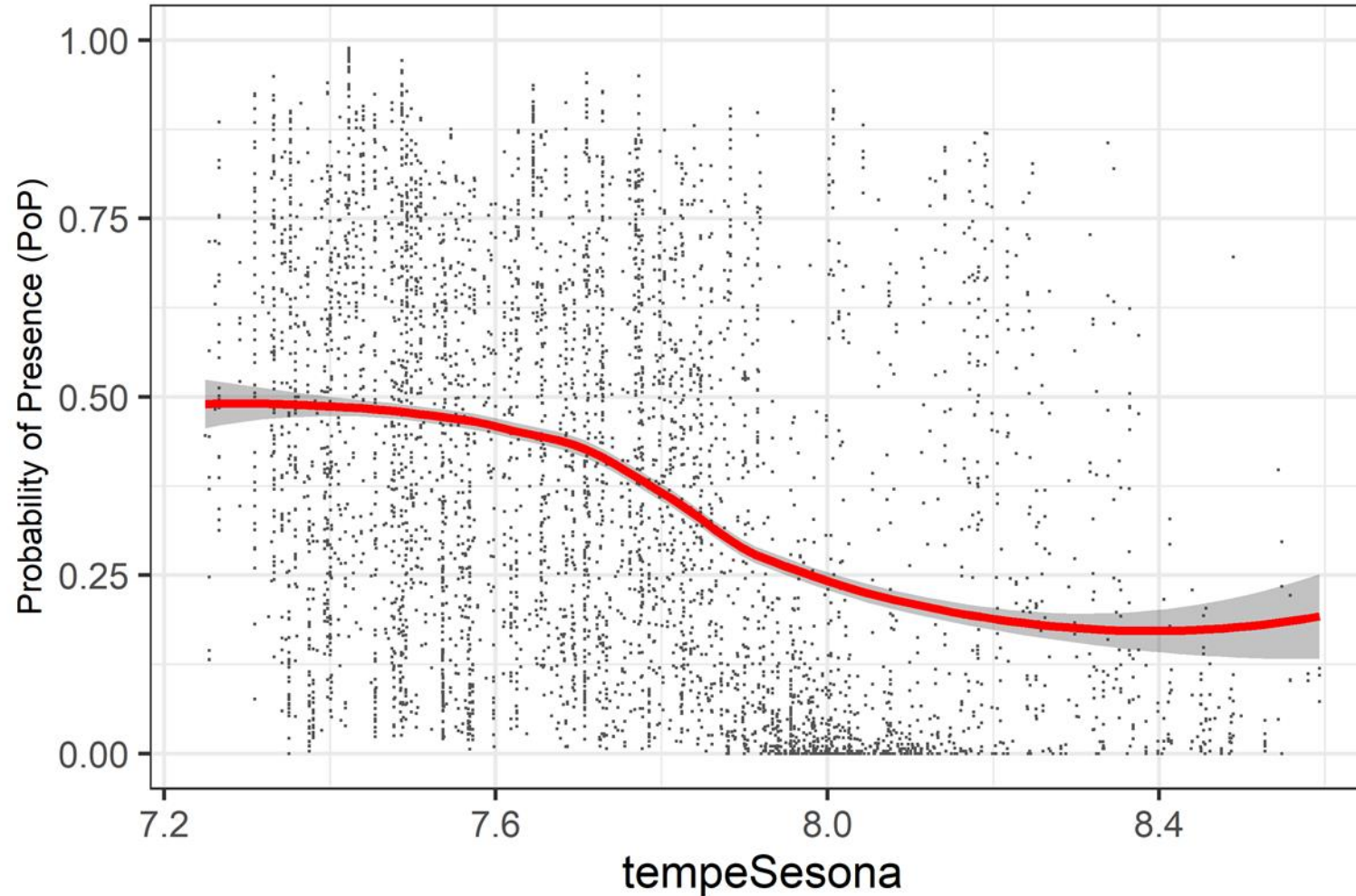
Маргинални одзив:



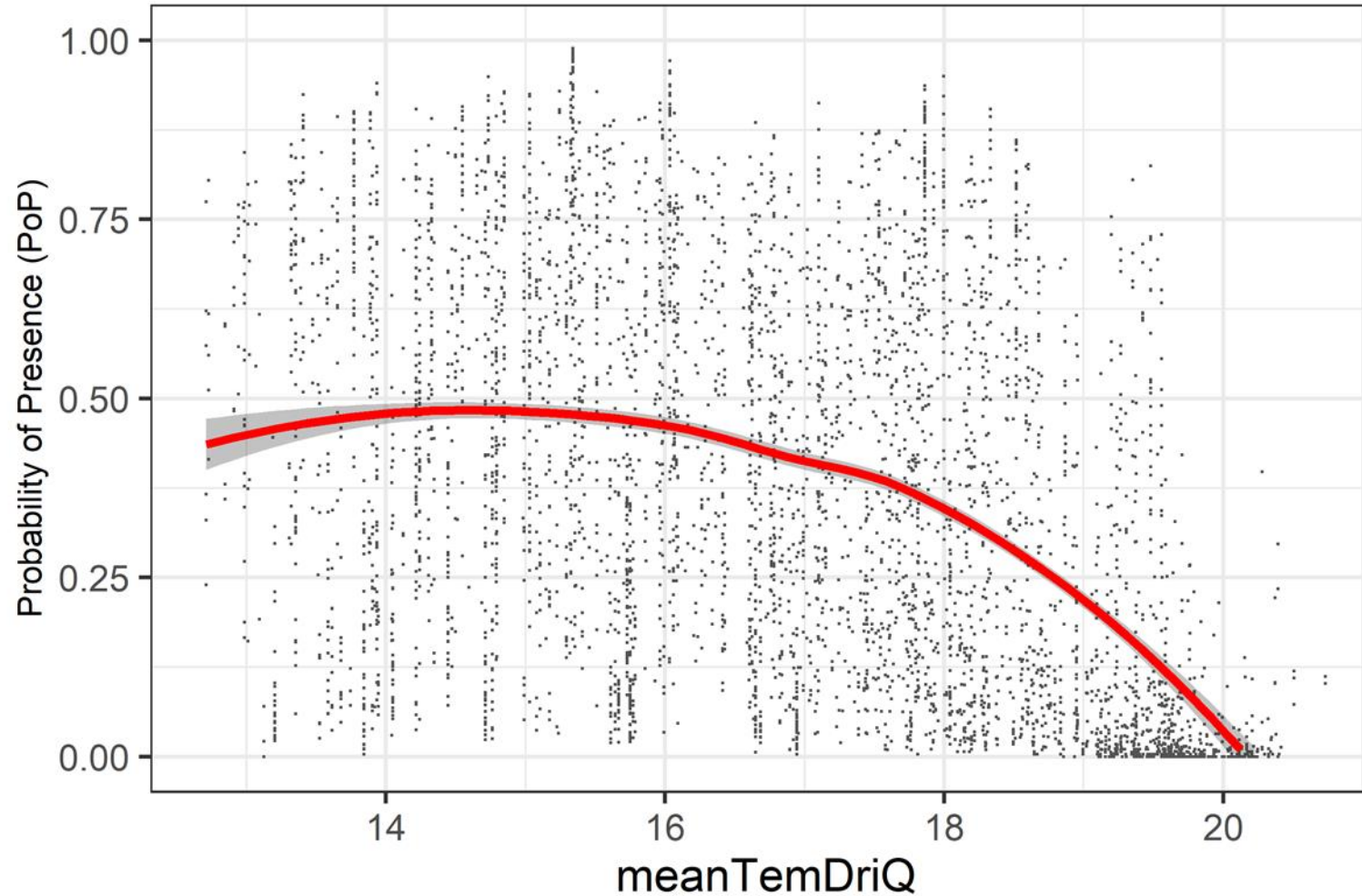
Маргинални одзив:



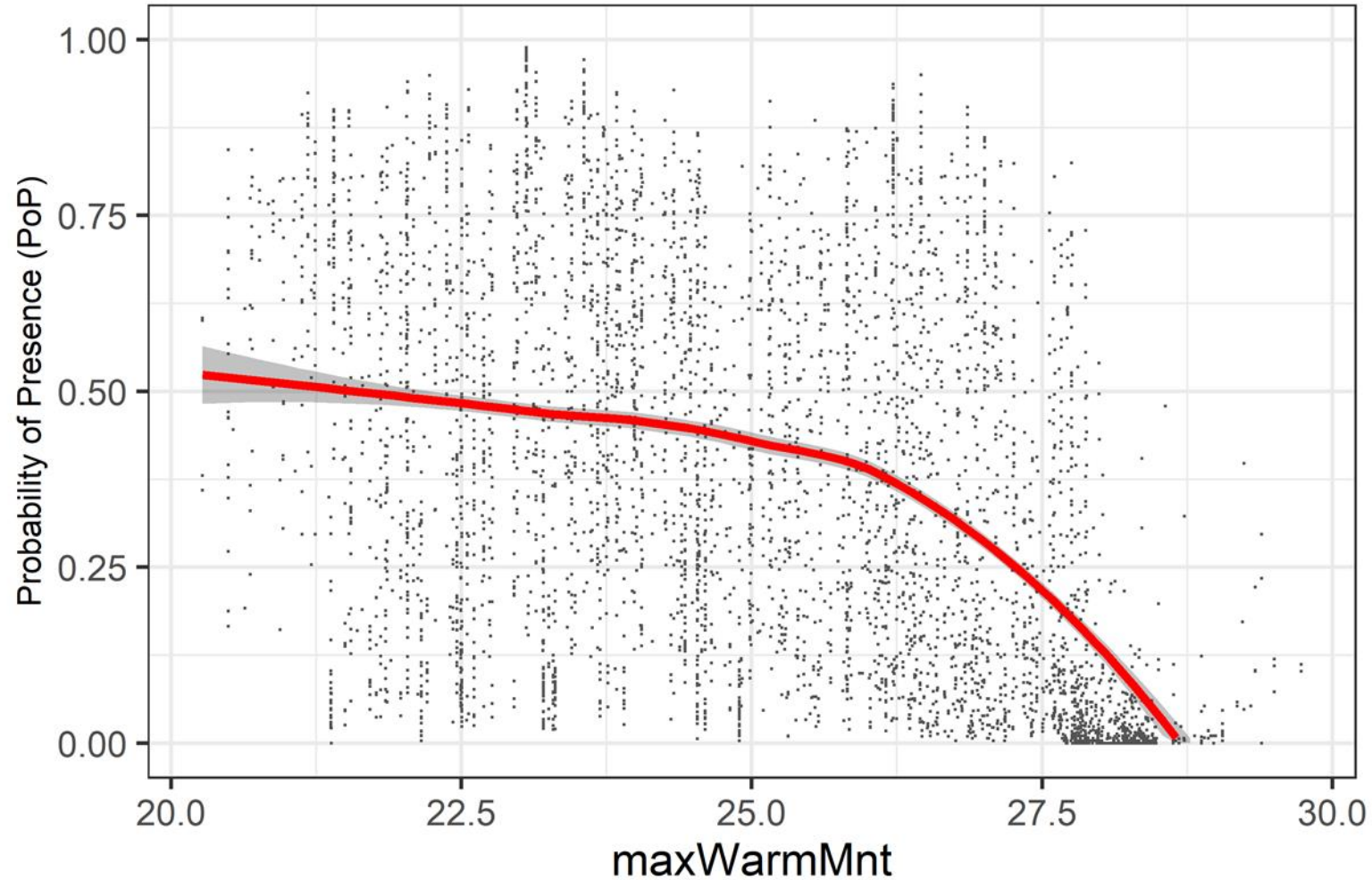
Маргинални одзив:



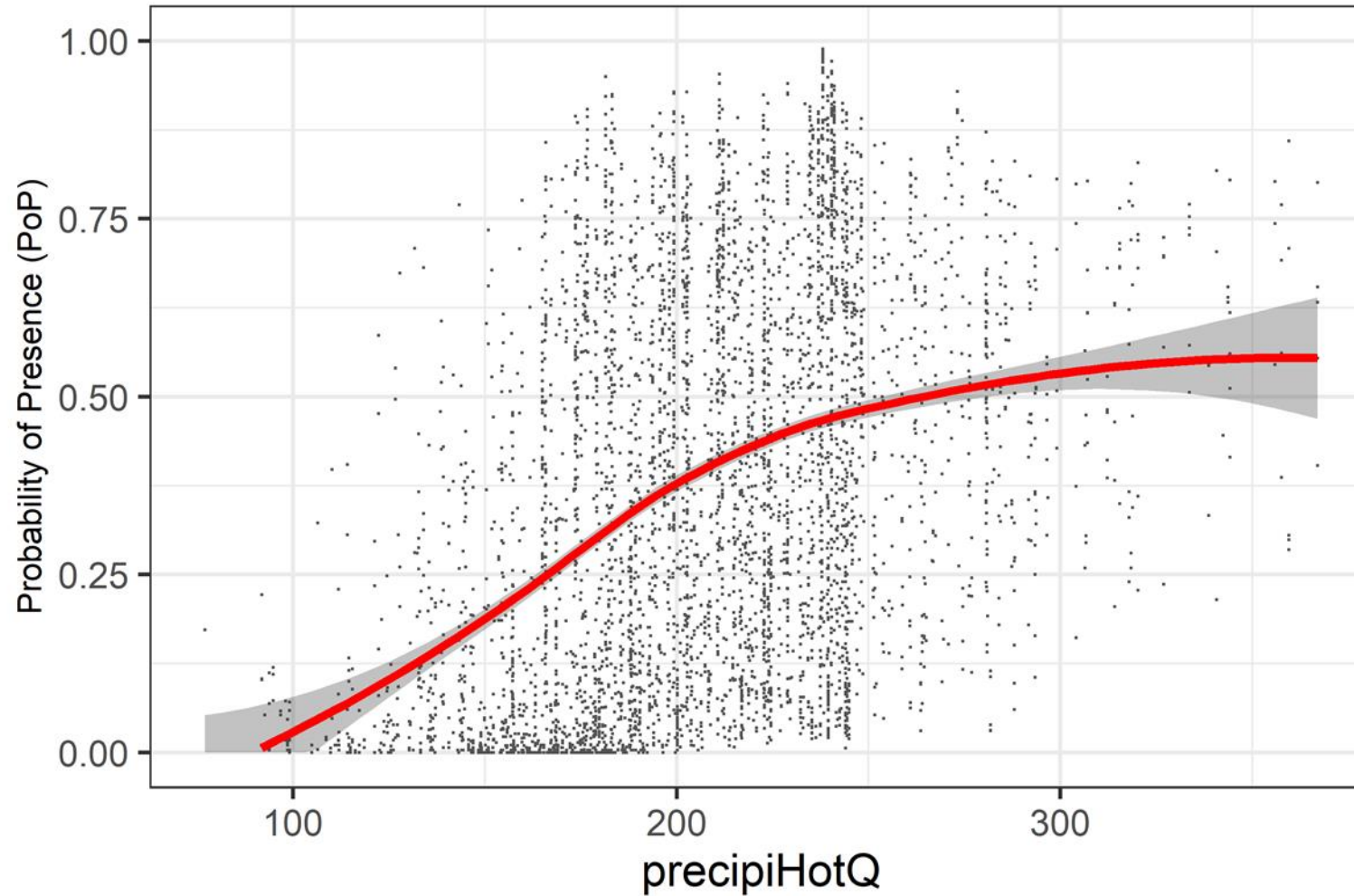
Маргинални одзив:



Маргинални одзив:



Маргинални одзив:



ДИСТРИБУЦИЈА И РАСТ БУКВЕ У ЗАПАДНОЈ СРБИЈИ: ГАЗДОВАЊЕ У УСЛОВИМА КЛИМАТСКИХ ПРОМЕНА

2024



Сценарији климатских промена?

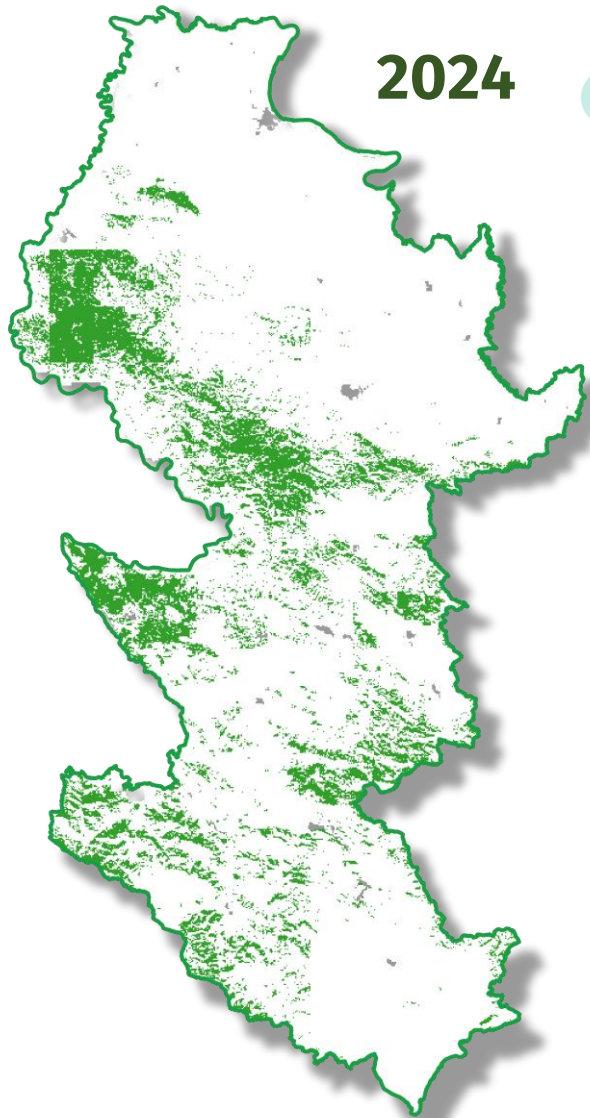
RCP4.5

и

RCP8.5



<https://atlas-klime.eko.gov.rs/>



Глобални модел (GCM)	Локални модел (LCM)
ICHEC-EC-EARTH	CLMcom-CCLM4-8-17
ICHEC-EC-EARTH	DMI-HIRHAM5
ICHEC-EC-EARTH	KNMI-RACMO22E
MOHC-HadGEM2-ES	CLMcom-CCLM4-8-17
MOHC-HadGEM2-ES	KNMI-RACMO22E
MPI-M-MPI-ESM-LR	CLMcom-CCLM4-8-17
MPI-M-MPI-ESM-LR (r1i1p1)	MPI-CSC-REMO2009
MPI-M-MPI-ESM-LR (r2i1p1)	MPI-CSC-REMO2009

РАСТ

РАСПРОСТРАЊЕЊЕ

РАСТ~СТАНИШТЕ

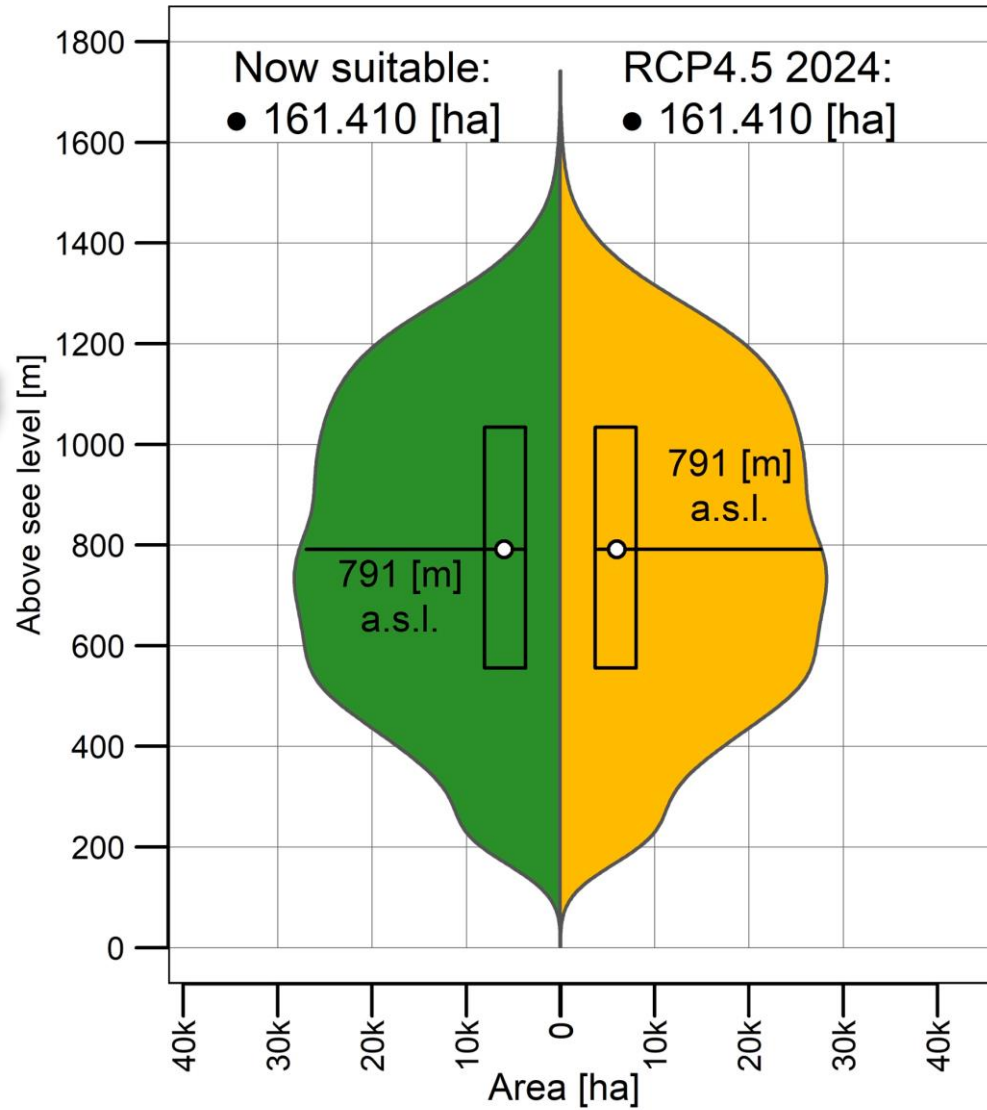
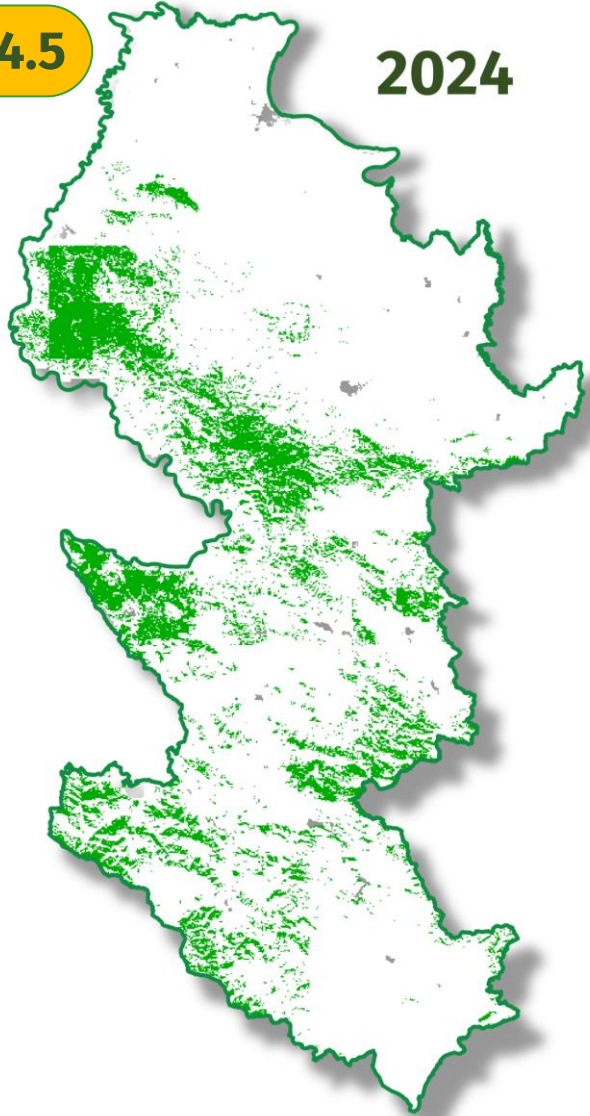
-46-



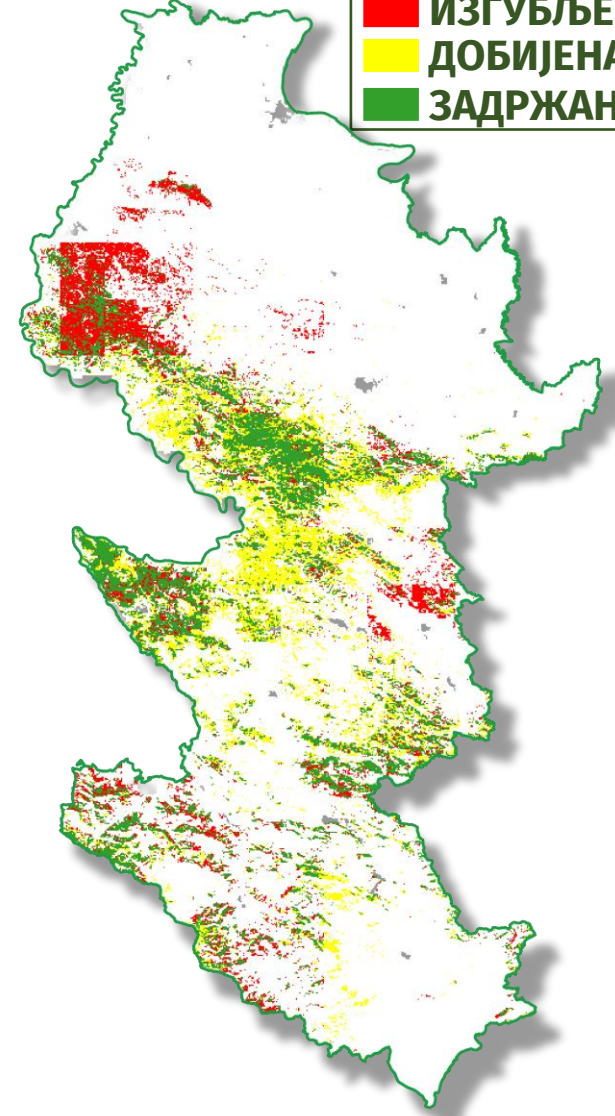
ДИСТРИБУЦИЈА И РАСТ БУКВЕ У ЗАПАДНОЈ СРБИЈИ: ГАЗДОВАЊЕ У УСЛОВИМА КЛИМАТСКИХ ПРОМЕНА

RCP4.5

2024



■ ИЗГУБЉЕНА
■ ДОБИЈЕНА
■ ЗАДРЖАНА



РАСТ

РАСПРОСТРАЊЕЊЕ

РАСТ~СТАНИШТЕ

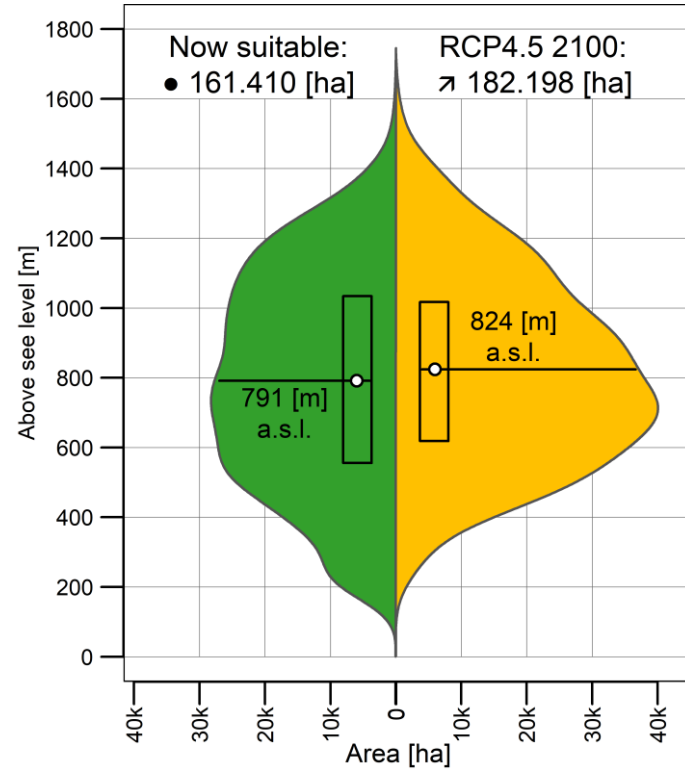
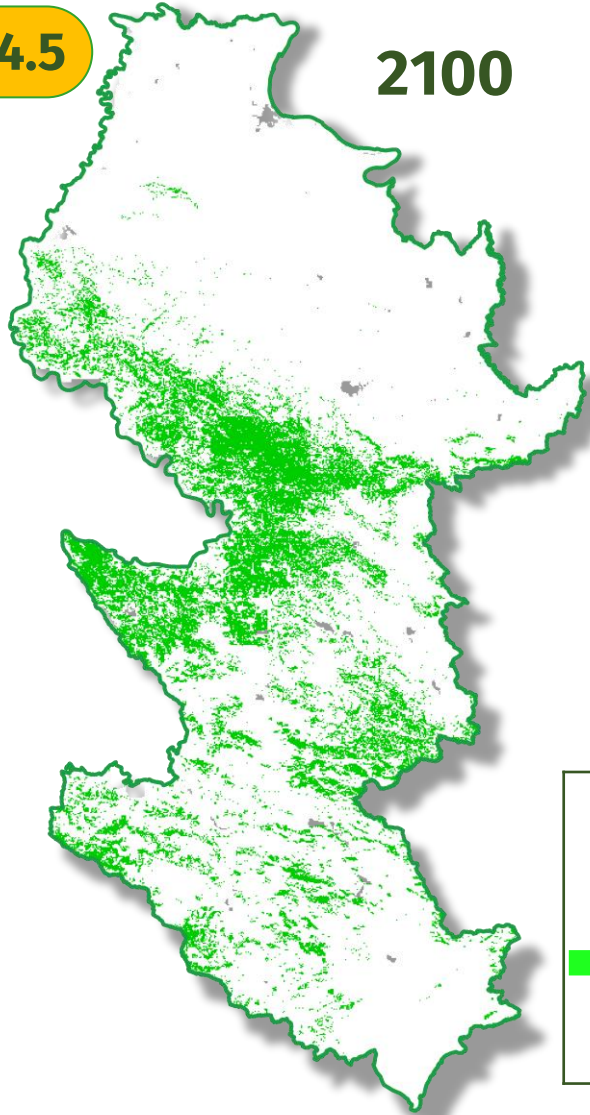
-47-



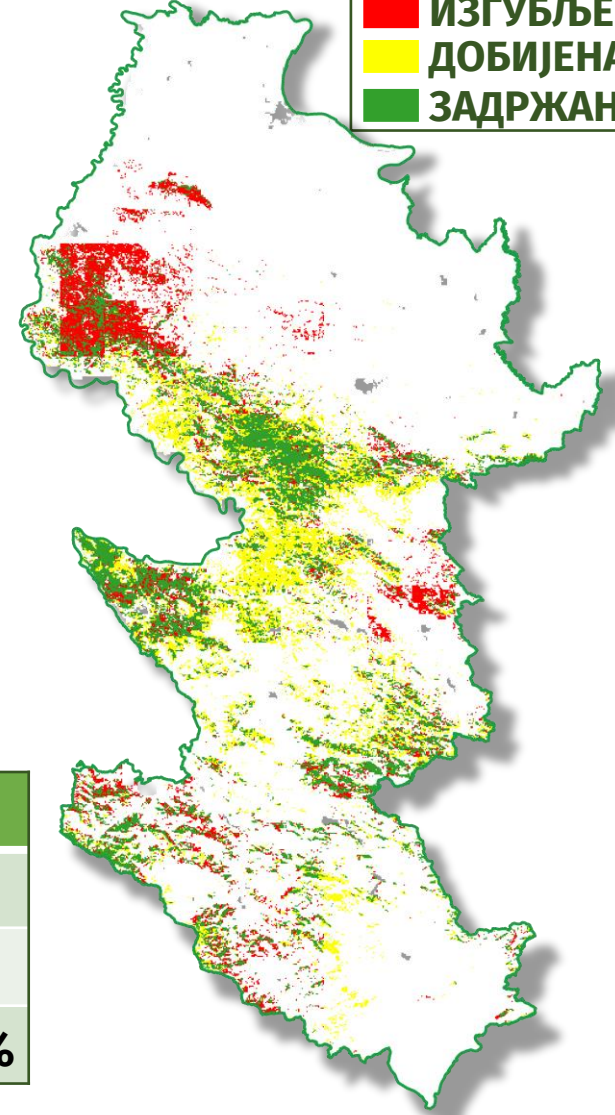
ДИСТРИБУЦИЈА И РАСТ БУКВЕ У ЗАПАДНОЈ СРБИЈИ: ГАЗДОВАЊЕ У УСЛОВИМА КЛИМАТСКИХ ПРОМЕНА

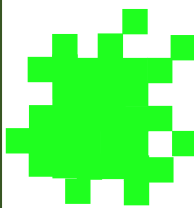
RCP4.5

2100



■ ИЗГУБЉЕНА
■ ДОБИЈЕНА
■ ЗАДРЖАНА



	LANDSCAPE METRICS	Тренутно	2100
	MEAN PATCH AREA [ha]:	●12,2	↘10,9
	LARGEST PATCH INDEX:	●2,8%	↘7,9%
	AGGREGATION INDEX:	●92,2%	↘90,9%

РАСТ

РАСПРОСТРАЊЕЊЕ

РАСТ~СТАНИШТЕ

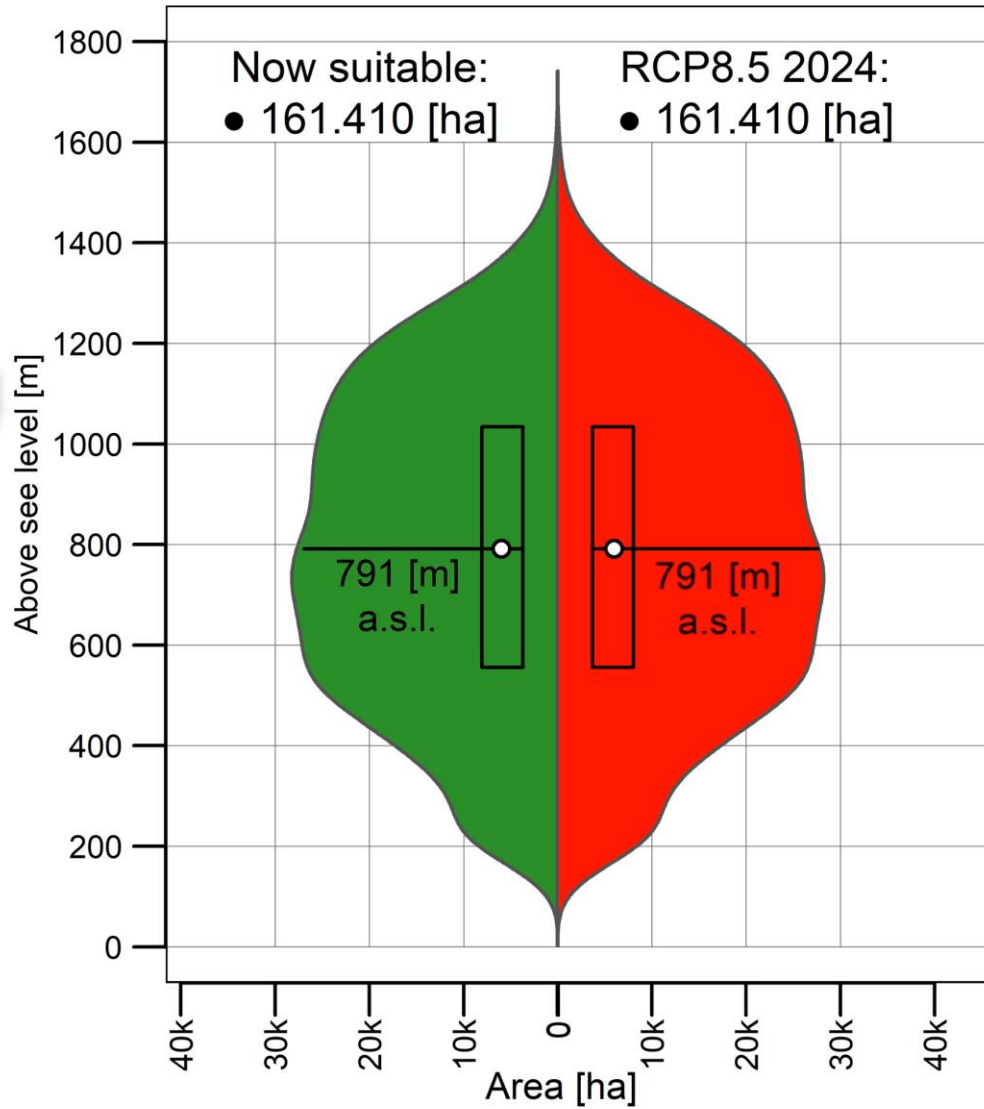
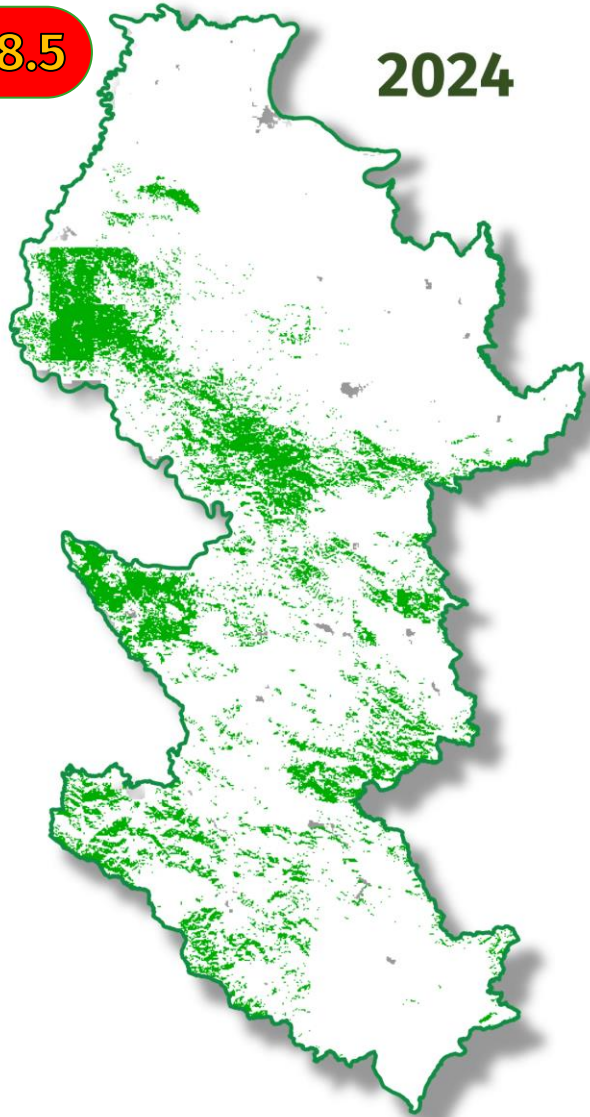
-48-



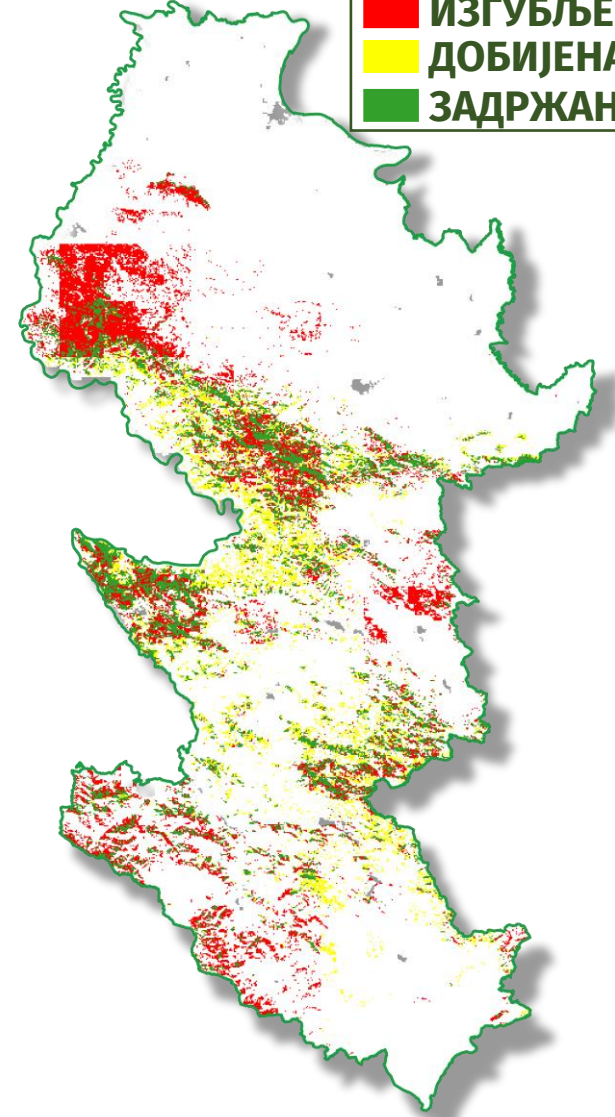
ДИСТРИБУЦИЈА И РАСТ БУКВЕ У ЗАПАДНОЈ СРБИЈИ: ГАЗДОВАЊЕ У УСЛОВИМА КЛИМАТСКИХ ПРОМЕНА

RCP8.5

2024



■ ИЗГУБЉЕНА
■ ДОБИЈЕНА
■ ЗАДРЖАНА



РАСТ

РАСПРОСТРАЊЕЊЕ

РАСТ~СТАНИШТЕ

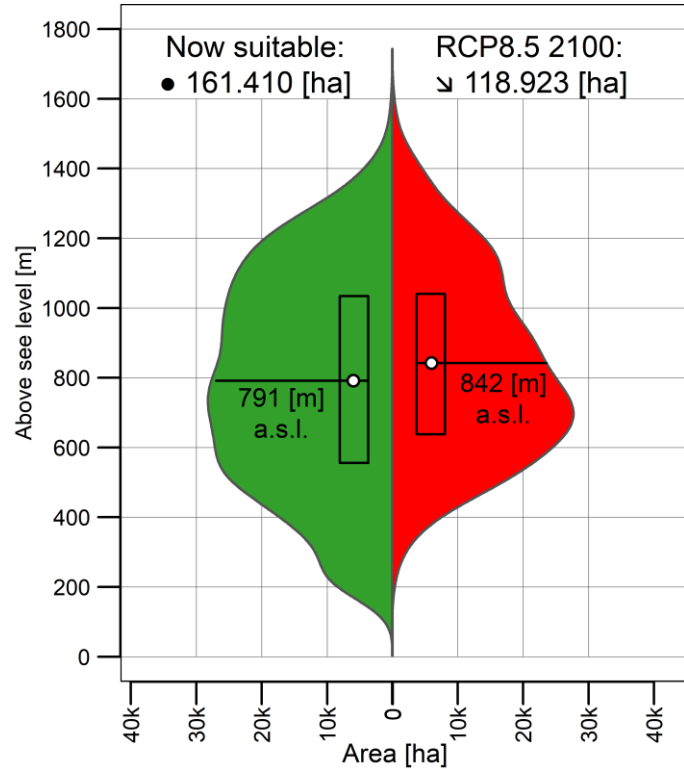
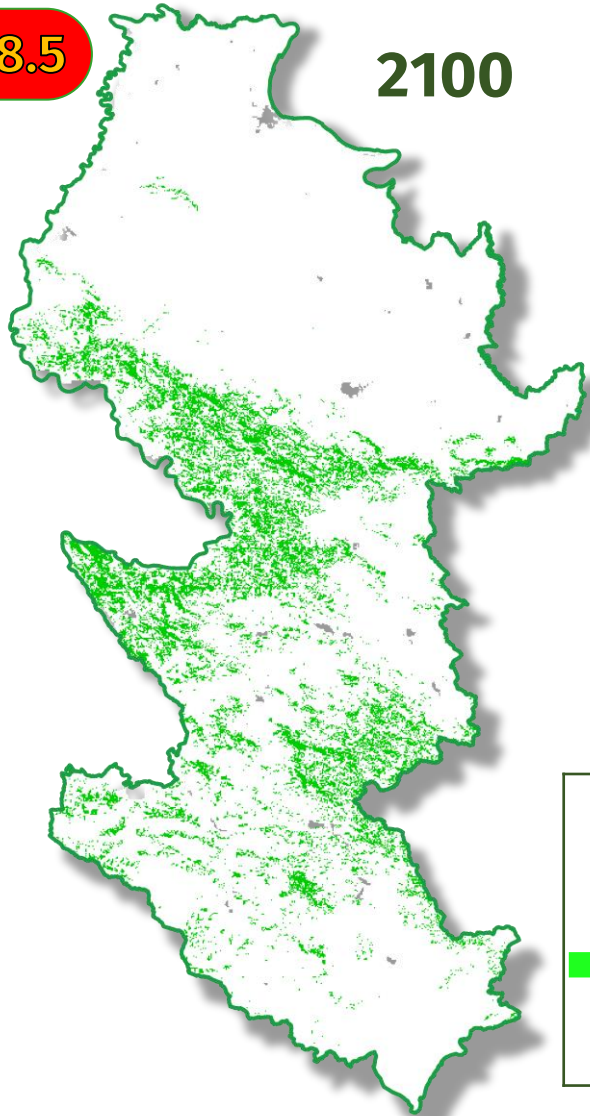
-49-



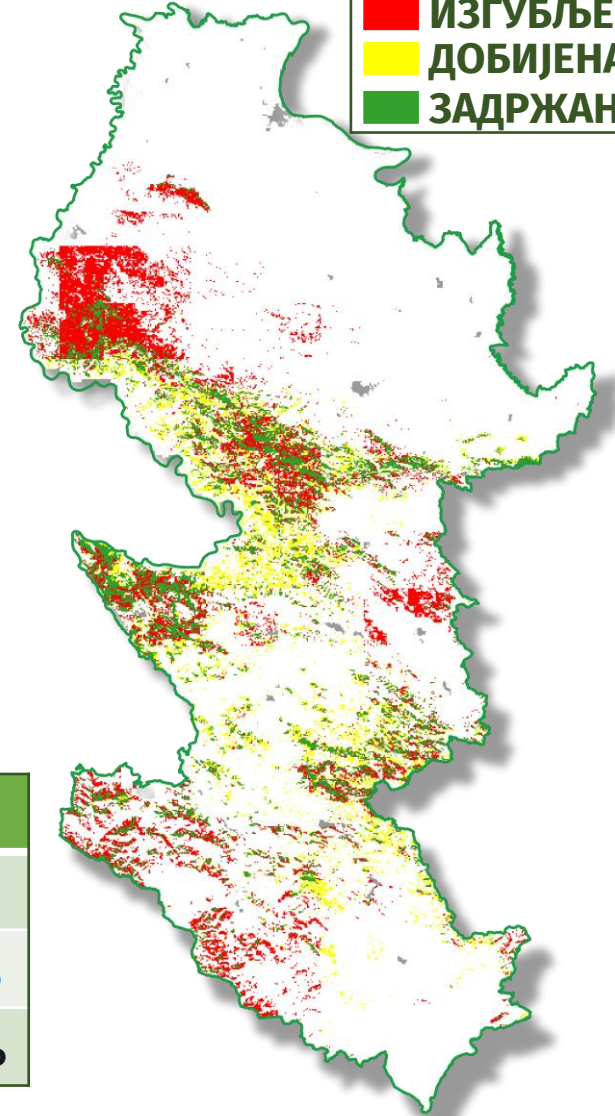
ДИСТРИБУЦИЈА И РАСТ БУКВЕ У ЗАПАДНОЈ СРБИЈИ: ГАЗДОВАЊЕ У УСЛОВИМА КЛИМАТСКИХ ПРОМЕНА

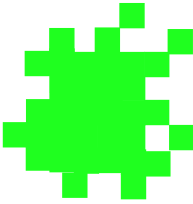
RCP8.5

2100



■ ИЗГУБЉЕНА
■ ДОБИЈЕНА
■ ЗАДРЖАНА



	LANDSCAPE METRICS	Тренутно	2100
	MEAN PATCH AREA [ha]:	●12,2	▾5,6
	LARGEST PATCH INDEX:	●2,8%	▾0,6%
	AGGREGATION INDEX:	●92,2%	▾87,1%

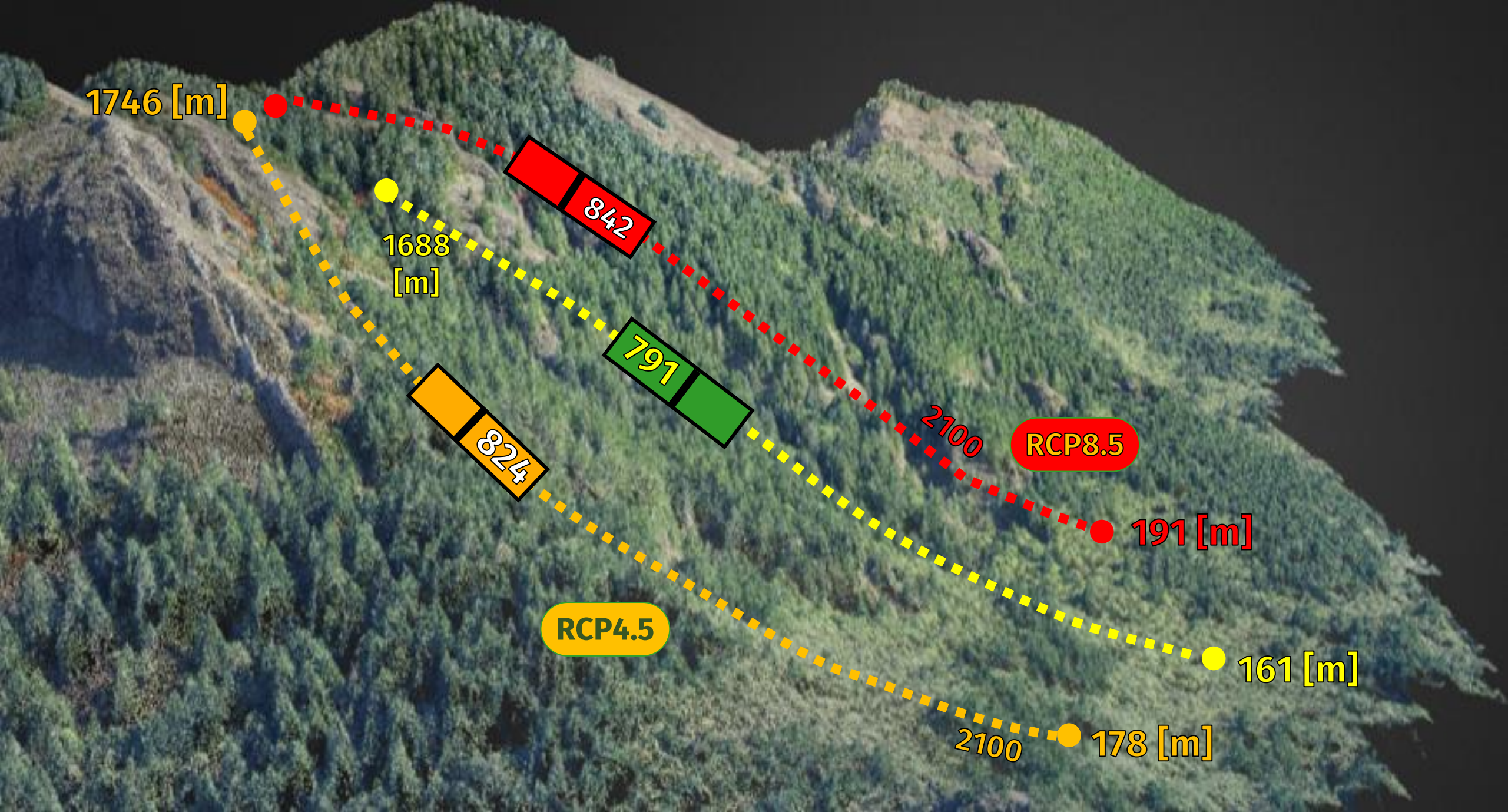
РАСТ

РАСПРОСТРАЊЕЊЕ

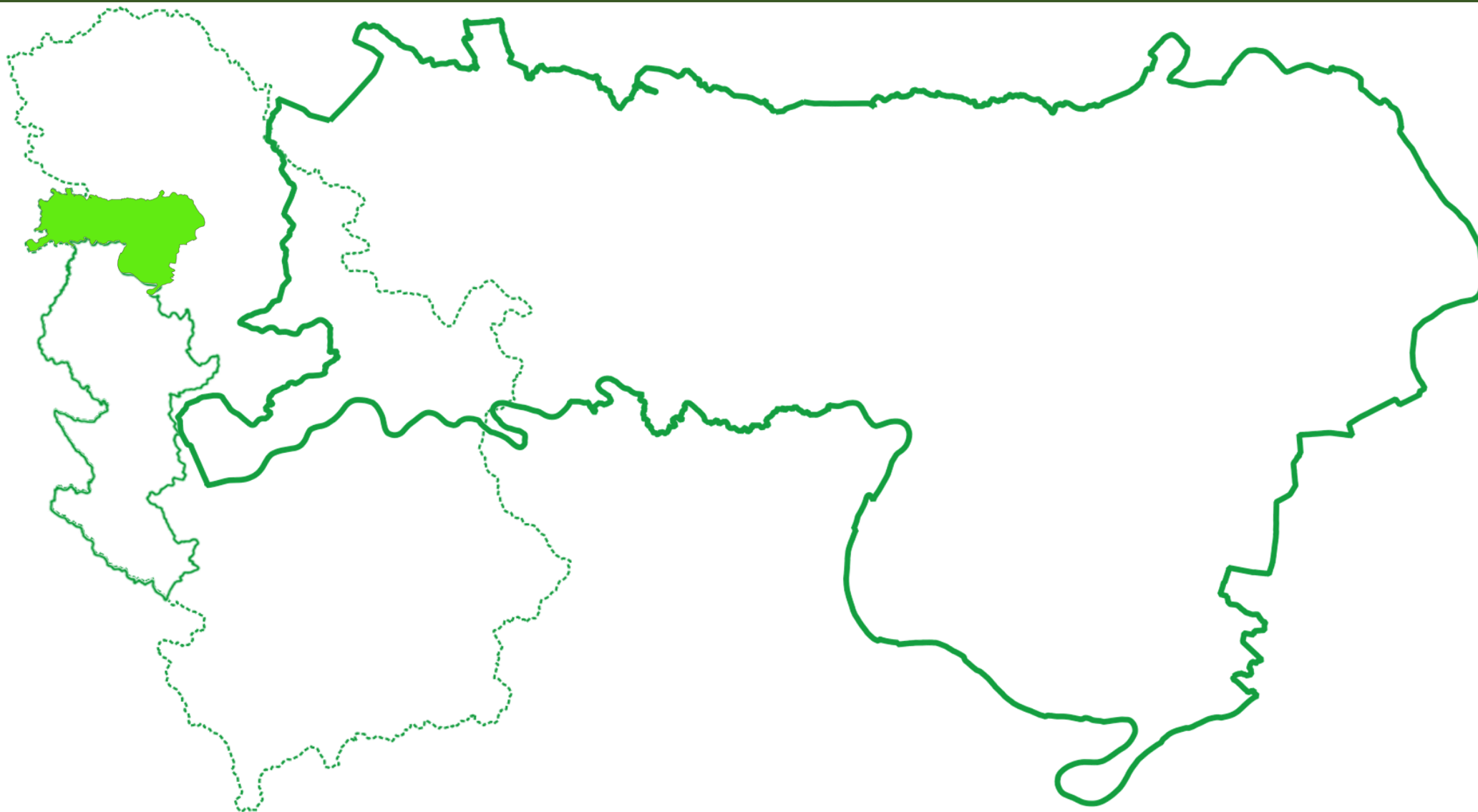
РАСТ~СТАНИШТЕ

-50-





ДИСТРИБУЦИЈА И РАСТ ЛУЖЊАКА У СРЕМУ: ГАЗДОВАЊЕ У УСЛОВИМА КЛИМАТСКИХ ПРОМЕНА



РАСТ

РАСПРОСТРАЊЕЊЕ

РАСТ~СТАНИШТЕ

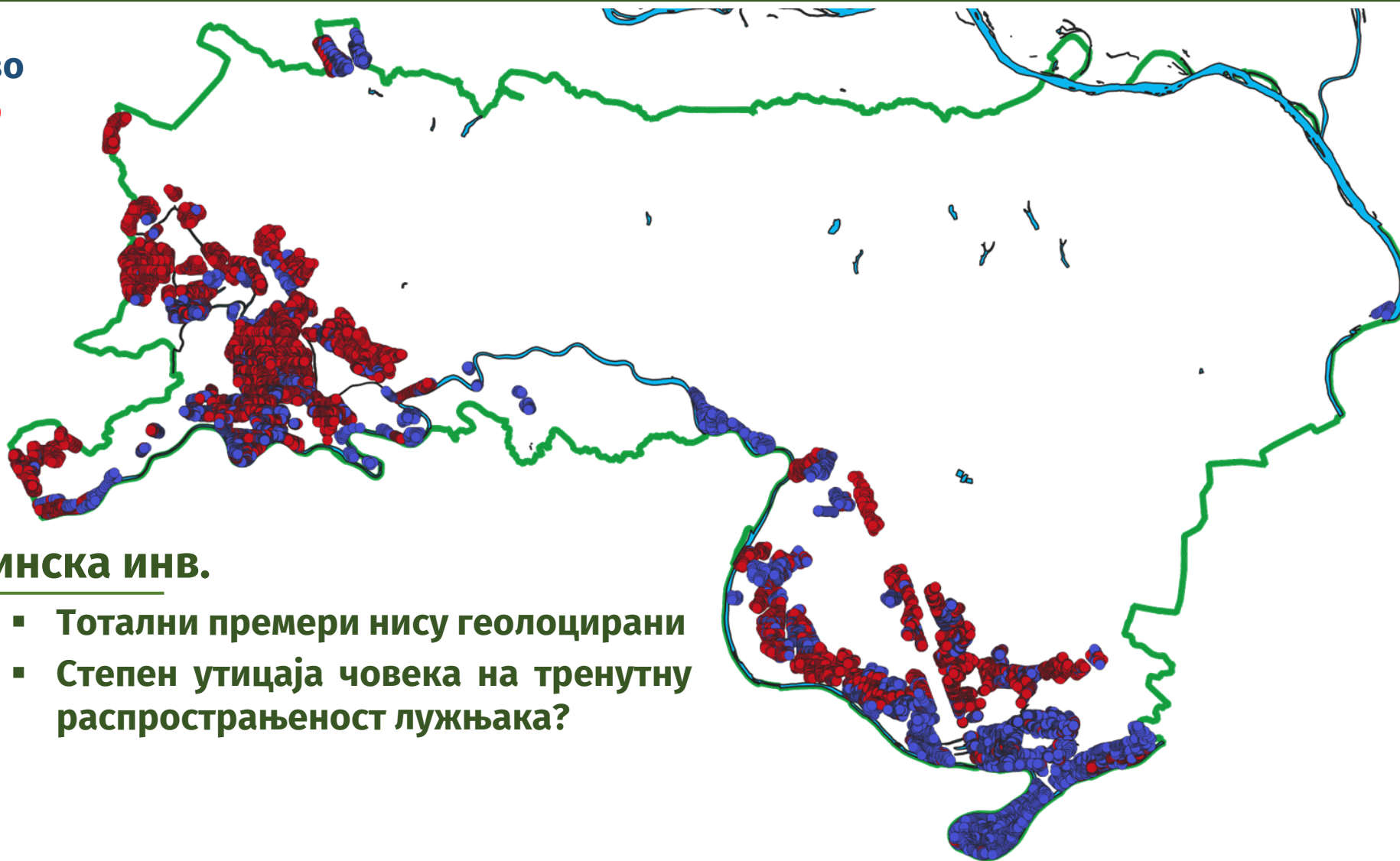
-52-



ДИСТРИБУЦИЈА И РАСТ ЛУЖЊАКА У СРЕМУ: ГАЗДОВАЊЕ У УСЛОВИМА КЛИМАТСКИХ ПРОМЕНА

● Присуство

● Одсуство



◎ Састојинска инв.

Σ 27 245

- Тотални премери нису геолоцирани
- Степен утицаја човека на тренутну распрострањеност лужњака?

РАСТ

РАСПРОСТРАЊЕЊЕ

РАСТ~СТАНИШТЕ

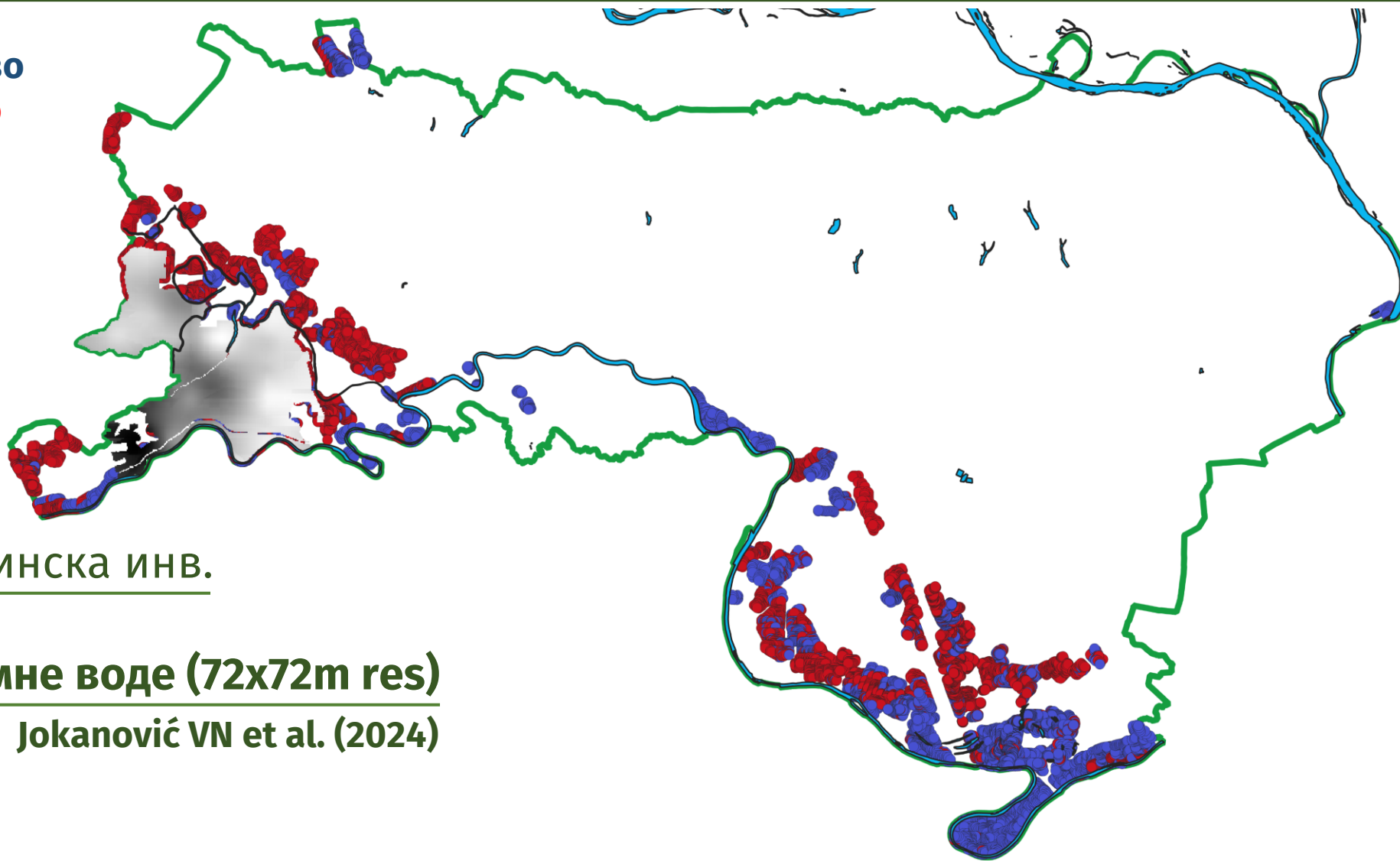
-53-



ДИСТРИБУЦИЈА И РАСТ ЛУЖЊАКА У СРЕМУ: ГАЗДОВАЊЕ У УСЛОВИМА КЛИМАТСКИХ ПРОМЕНА

• Присуство

• Одсуство



⊙ Састојинска инв.

Σ 27 245

⊙ Подземне воде (72x72m res)

Σ 7 595 Jokaović VN et al. (2024)

РАСТ

РАСПРОСТРАЊЕЊЕ

РАСТ~СТАНИШТЕ

-54 -



ДИСТРИБУЦИЈА И РАСТ ЛУЖЊАКА У СРЕМУ: ГАЗДОВАЊЕ У УСЛОВИМА КЛИМАТСКИХ ПРОМЕНА



РАСТ

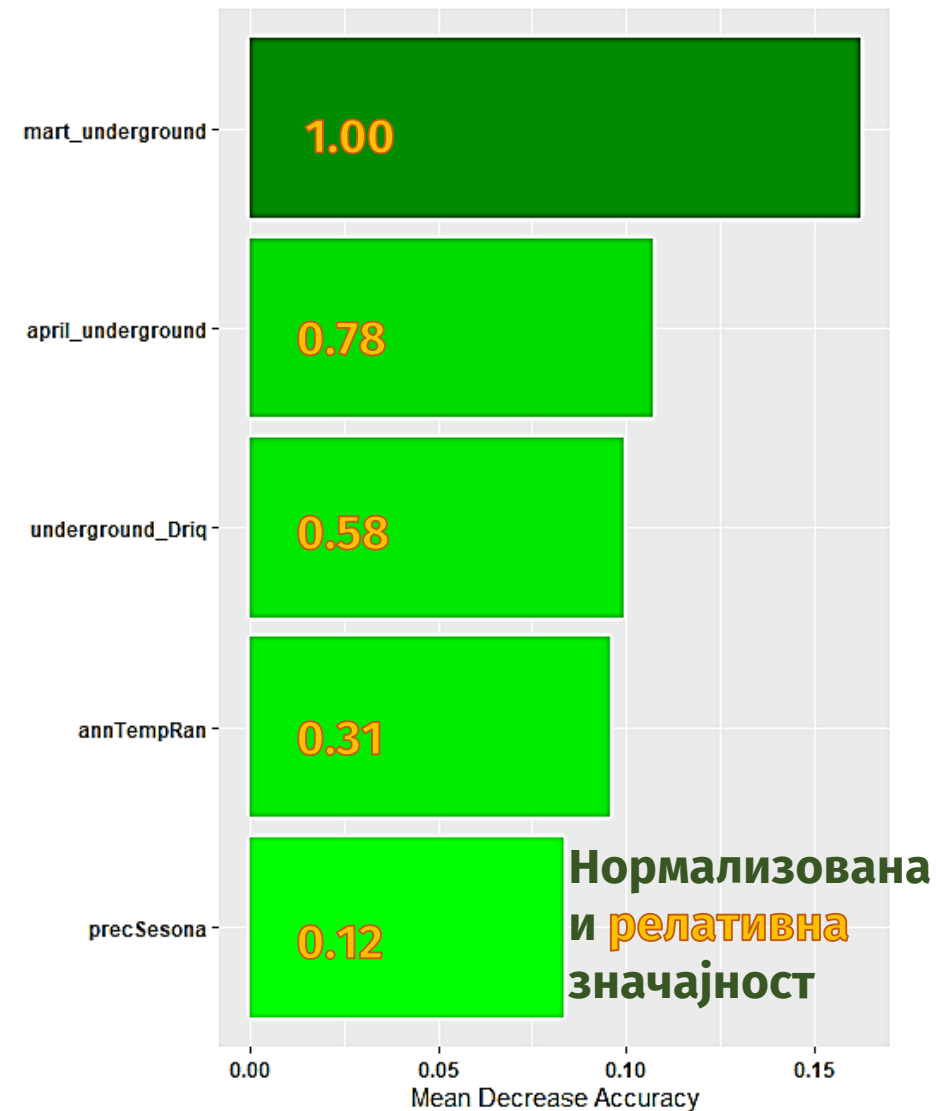
РАСПРОСТРАЊЕЊЕ

РАСТ~СТАНИШТЕ

-55-



ДИСТРИБУЦИЈА И РАСТ ЛУЖЊАКА У СРЕМУ: ГАЗДОВАЊЕ У УСЛОВИМА КЛИМАТСКИХ ПРОМЕНА



РАСТ

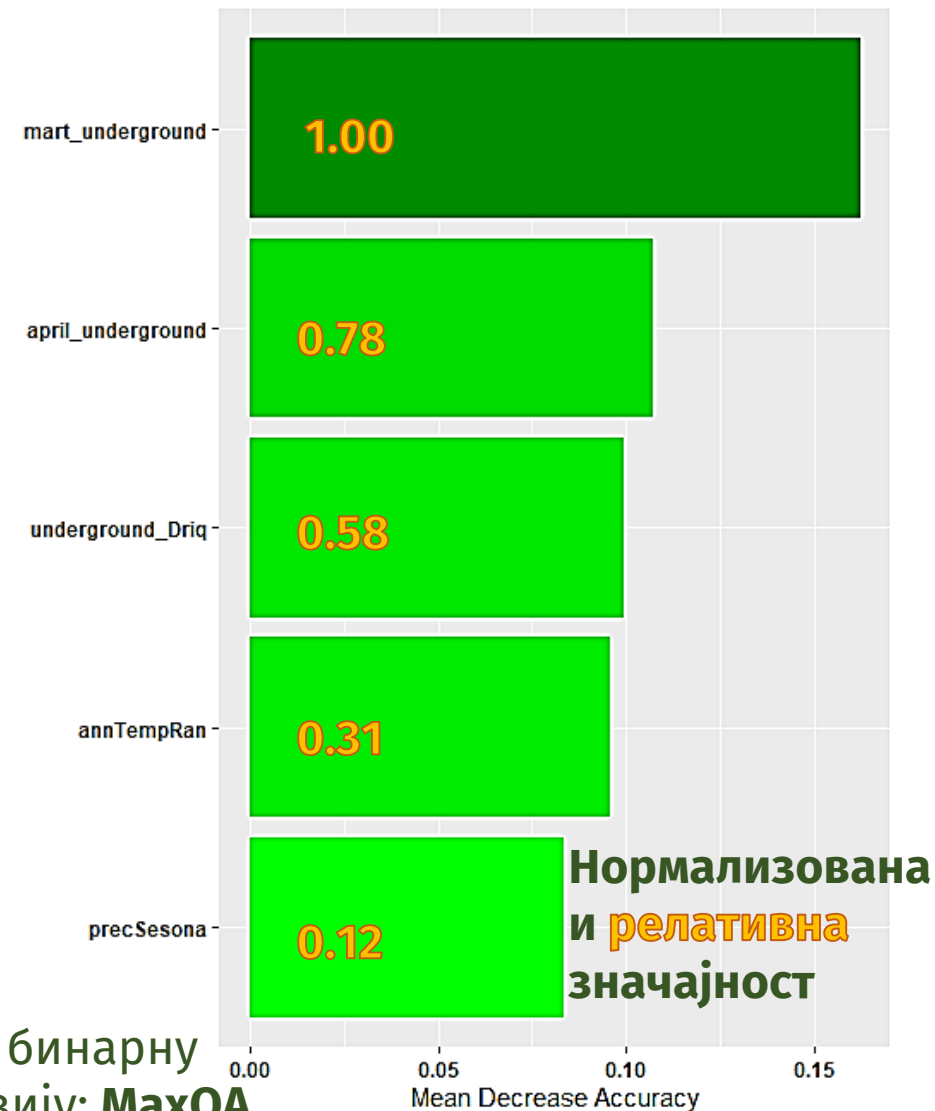
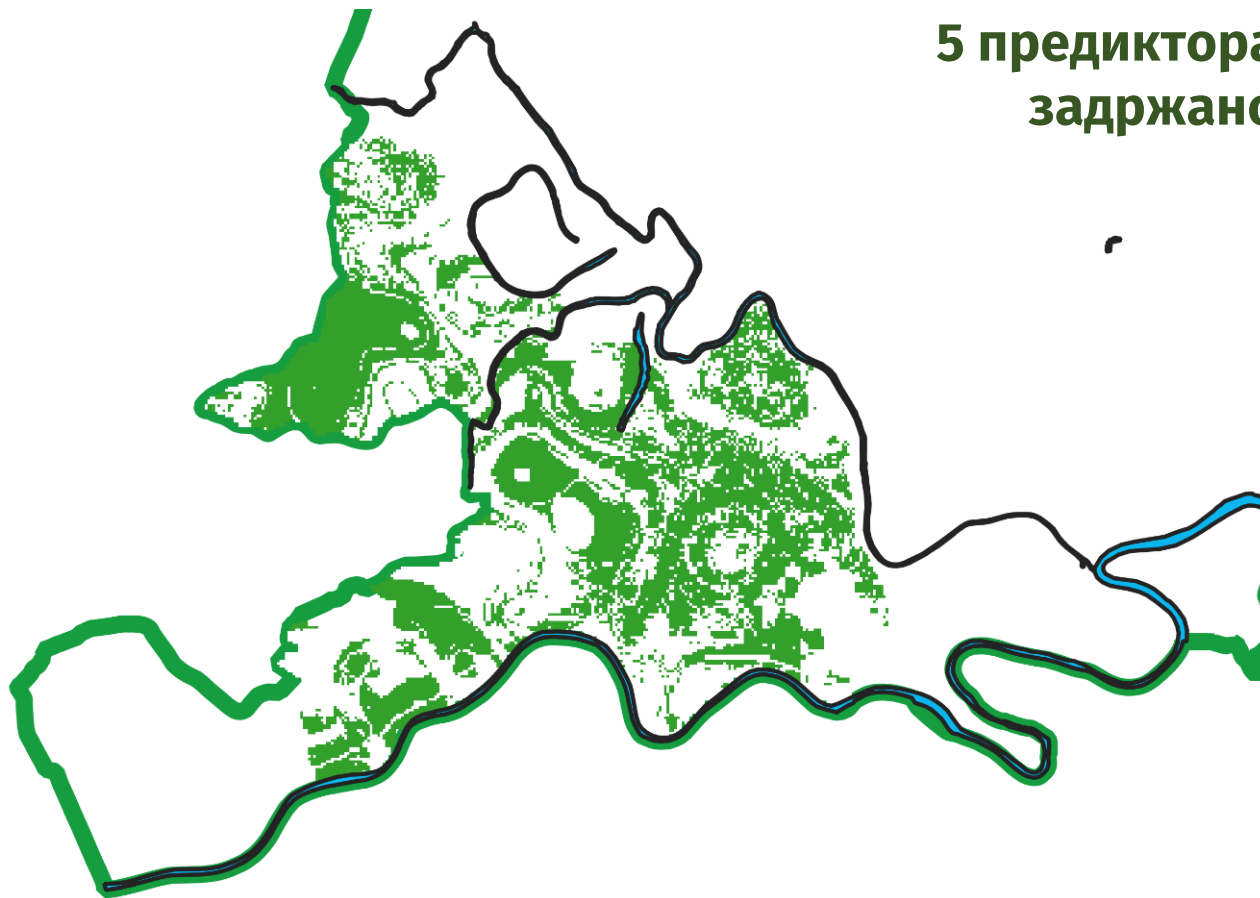
РАСПРОСТРАЊЕЊЕ

РАСТ~СТАНИШТЕ

-56-



ДИСТРИБУЦИЈА И РАСТ ЛУЖЊАКА У СРЕМУ: ГАЗДОВАЊЕ У УСЛОВИМА КЛИМАТСКИХ ПРОМЕНА



Set	AUC	OA	TSS	Kappa	Sens	Spec	PoP
Test	0.8961	0.8168	0.8418	0.8107	0.9377	0.9041	0.55
Train	1	1	1	1	1	1	0.55

Праг за бинарну конверзију: **MaxOA**

РАСТ

РАСПРОСТРАЊЕЊЕ

РАСТ~СТАНИШТЕ

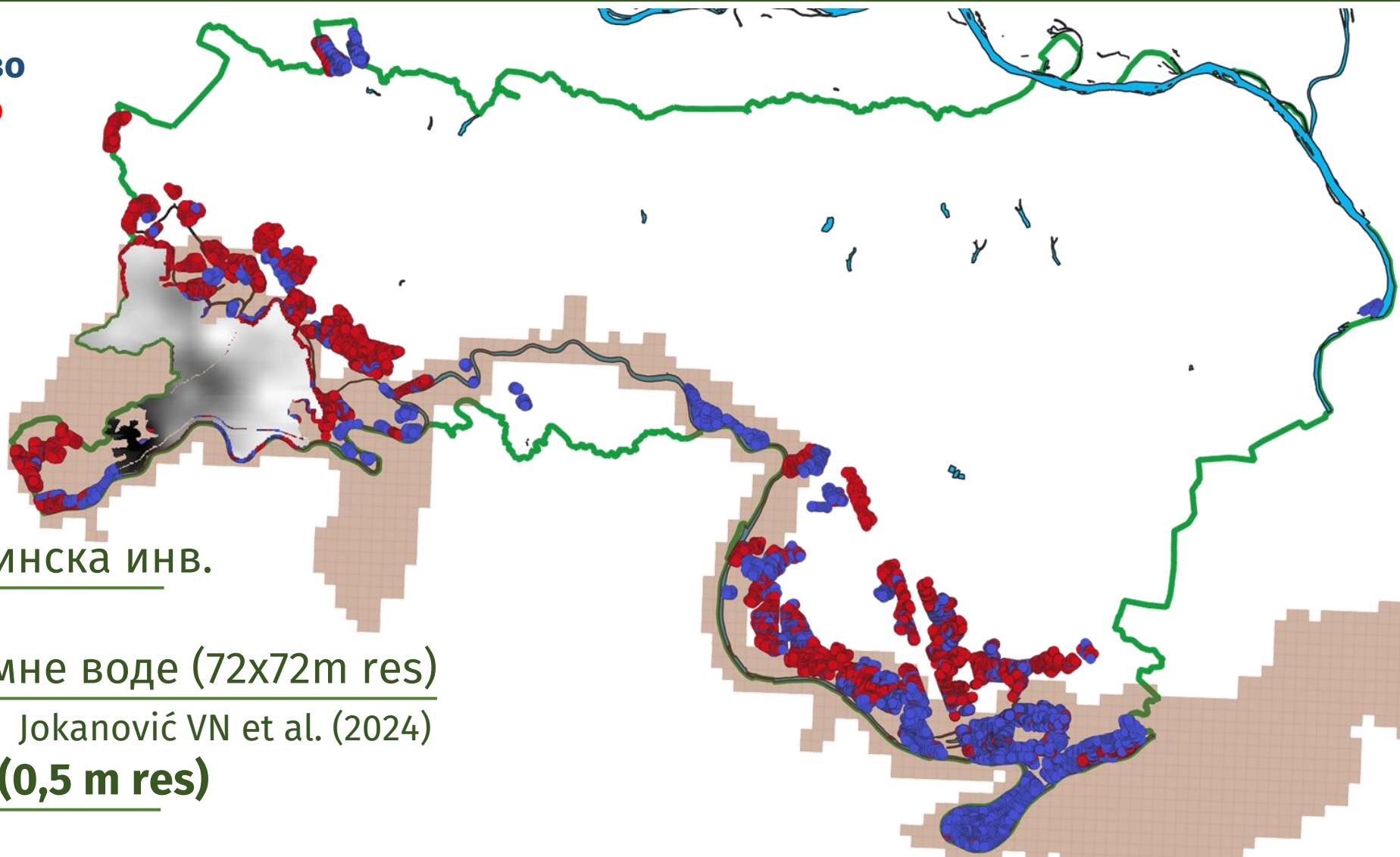
-57-



ДИСТРИБУЦИЈА И РАСТ ЛУЖЊАКА У СРЕМУ: ГАЗДОВАЊЕ У УСЛОВИМА КЛИМАТСКИХ ПРОМЕНА

• Присуство

• Одсуство



⊙ Састојинска инв.

Σ 27 245

⊙ Подземне воде (72x72m res)

Σ 7 595 Jokanović VN et al. (2024)

⊙ Лидар (0,5 m res)

Σ 16 238

РАСТ

РАСПРОСТРАЊЕЊЕ

РАСТ~СТАНИШТЕ

-58 -



РАСТ~СТАНИШТЕ



ДИСТРИБУЦИЈА И РАСТ БУКВЕ У ЗАПАДНОЈ СРБИЈИ: ГАЗДОВАЊЕ У УСЛОВИМА КЛИМАТСКИХ ПРОМЕНА

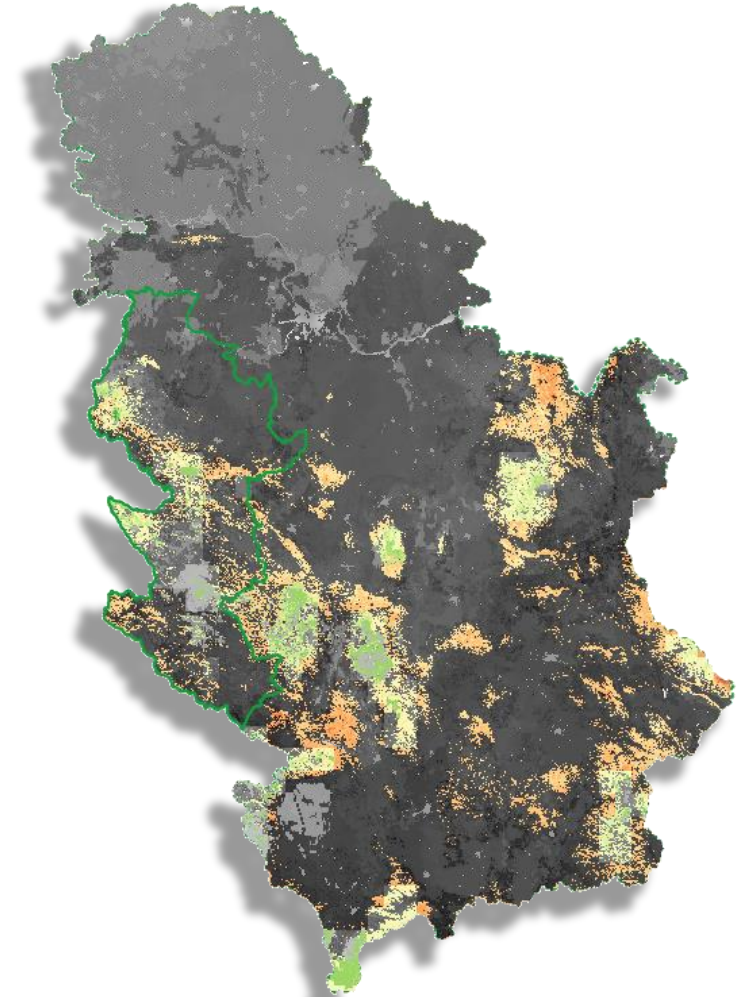
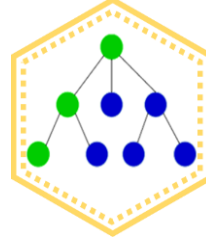
Станишни услови - предиктори:

Brandl S. et al. (2018), Castaño-Santamaría J. et al. (2019)



Σ 37 предиктора у
25x25 m резолуцији.

supervised
**Random
Forest**



РАСТ

РАСПРОСТРАЊЕЊЕ

РАСТ~СТАНИШТЕ

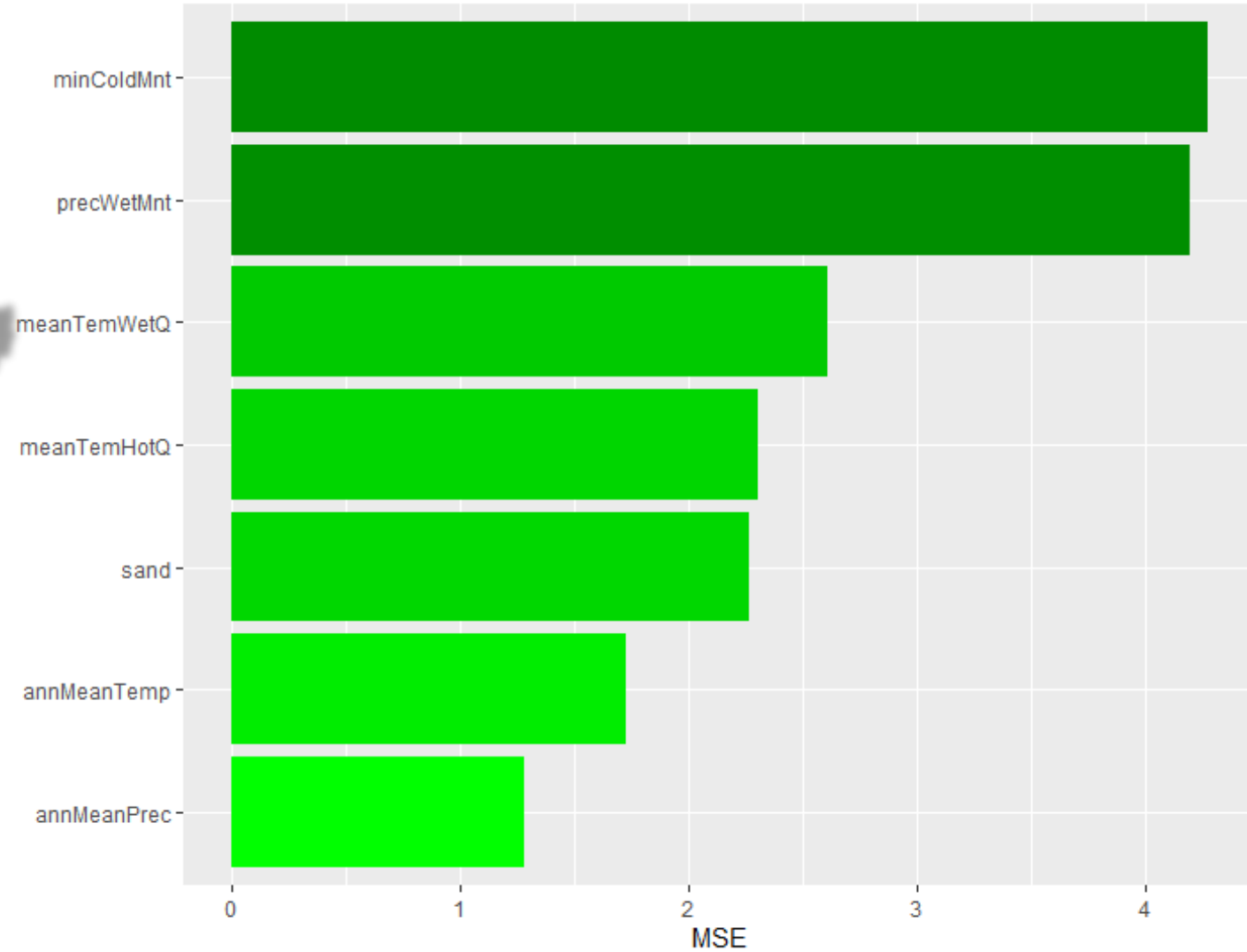
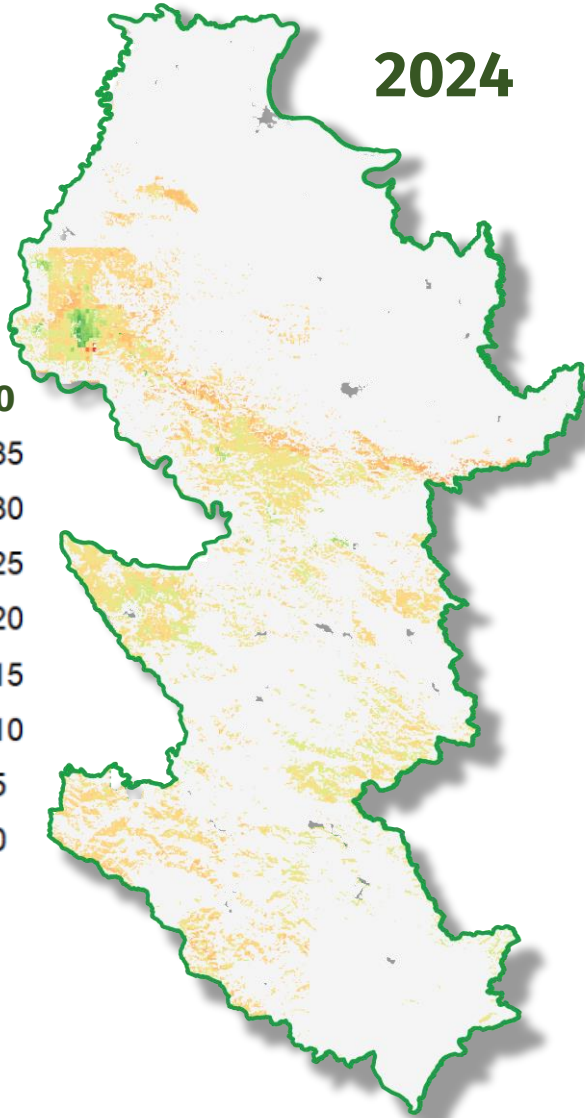
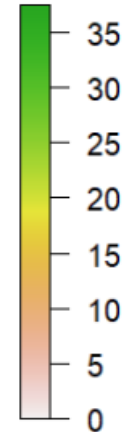
-60-



ДИСТРИБУЦИЈА И РАСТ БУКВЕ У ЗАПАДНОЈ СРБИЈИ: ГАЗДОВАЊЕ У УСЛОВИМА КЛИМАТСКИХ ПРОМЕНА

2024

SI100



РАСТ

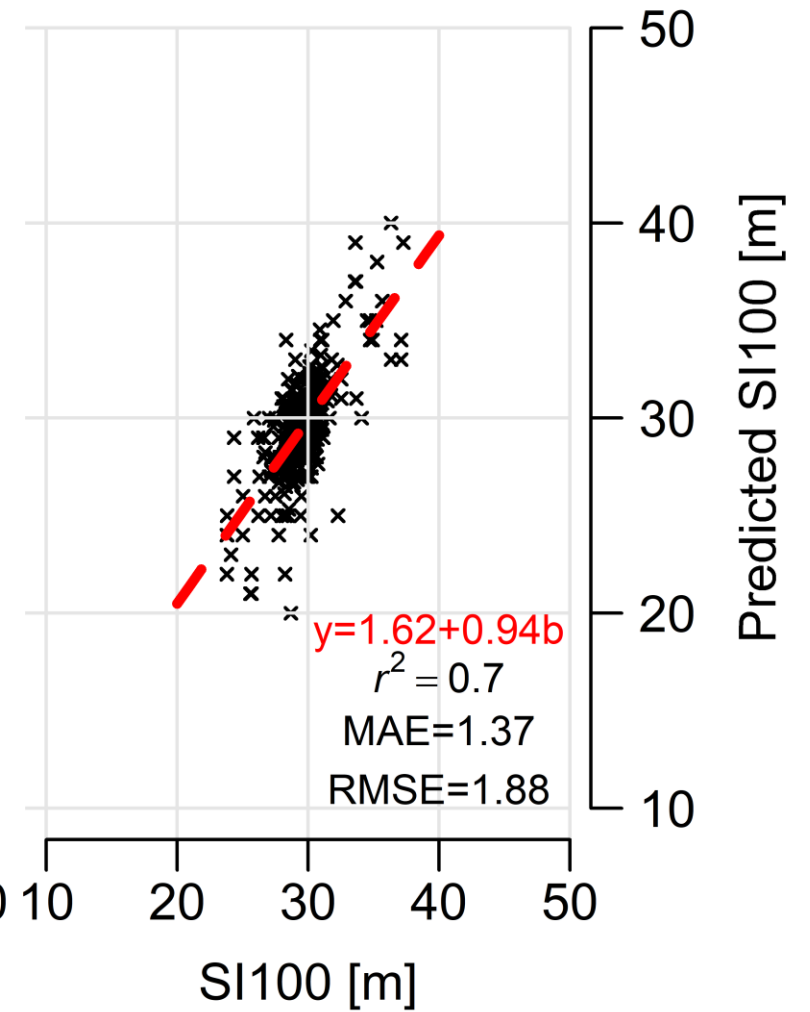
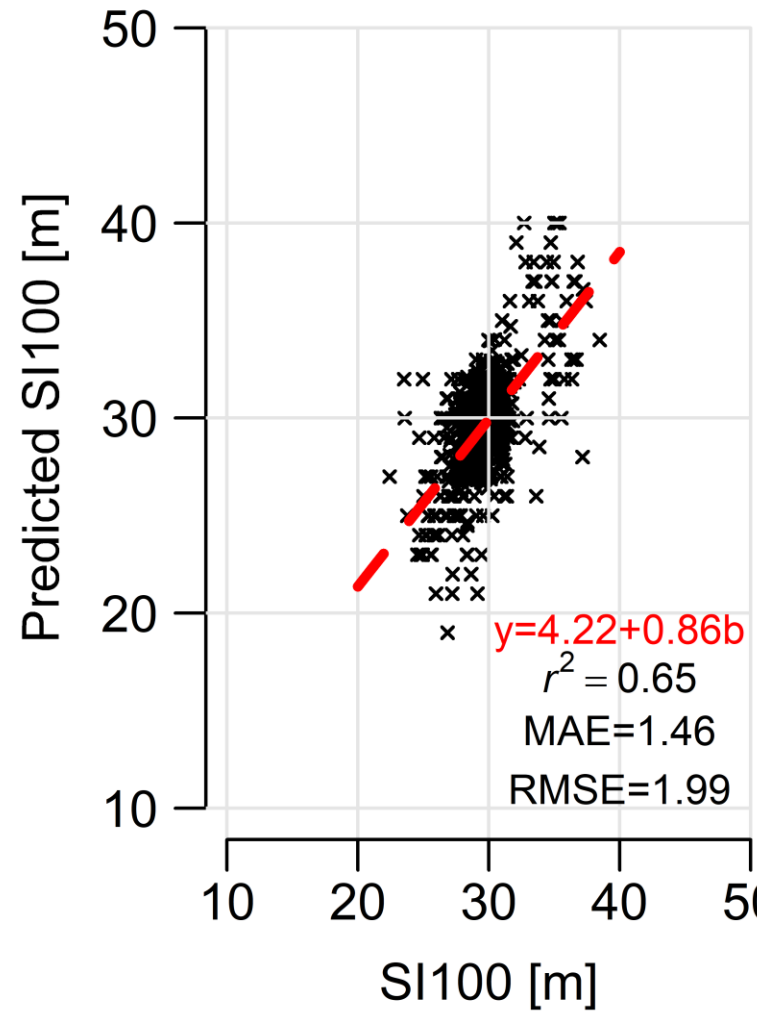
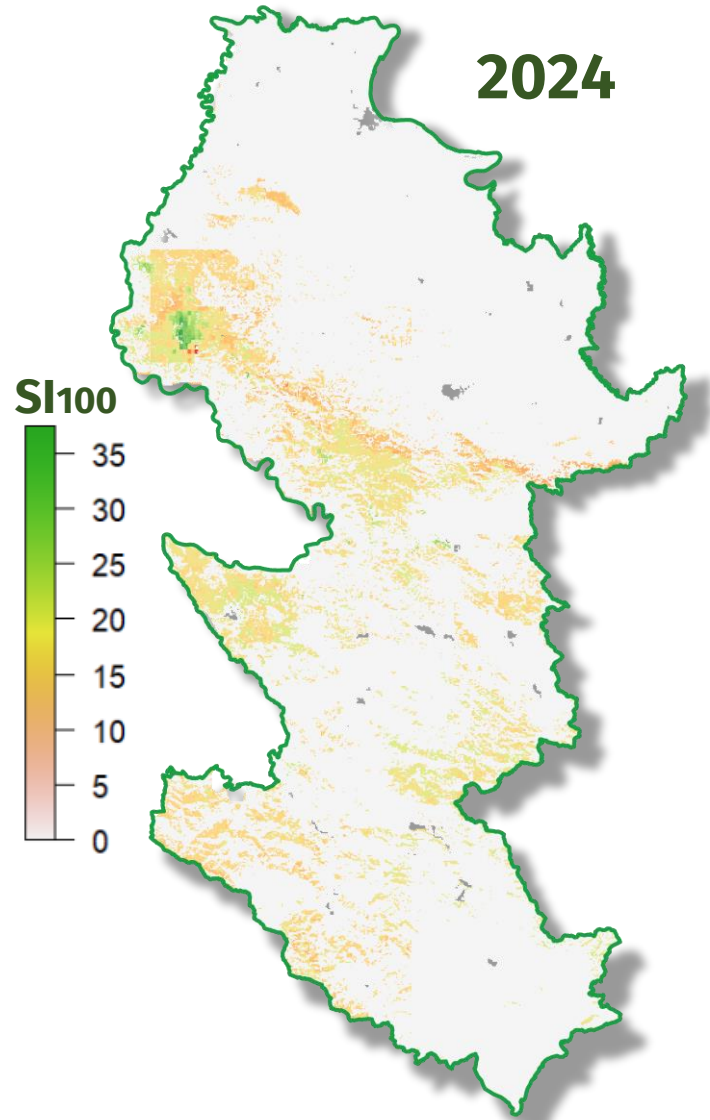
РАСПРОСТРАЊЕЊЕ

РАСТ~СТАНИШТЕ

-61-



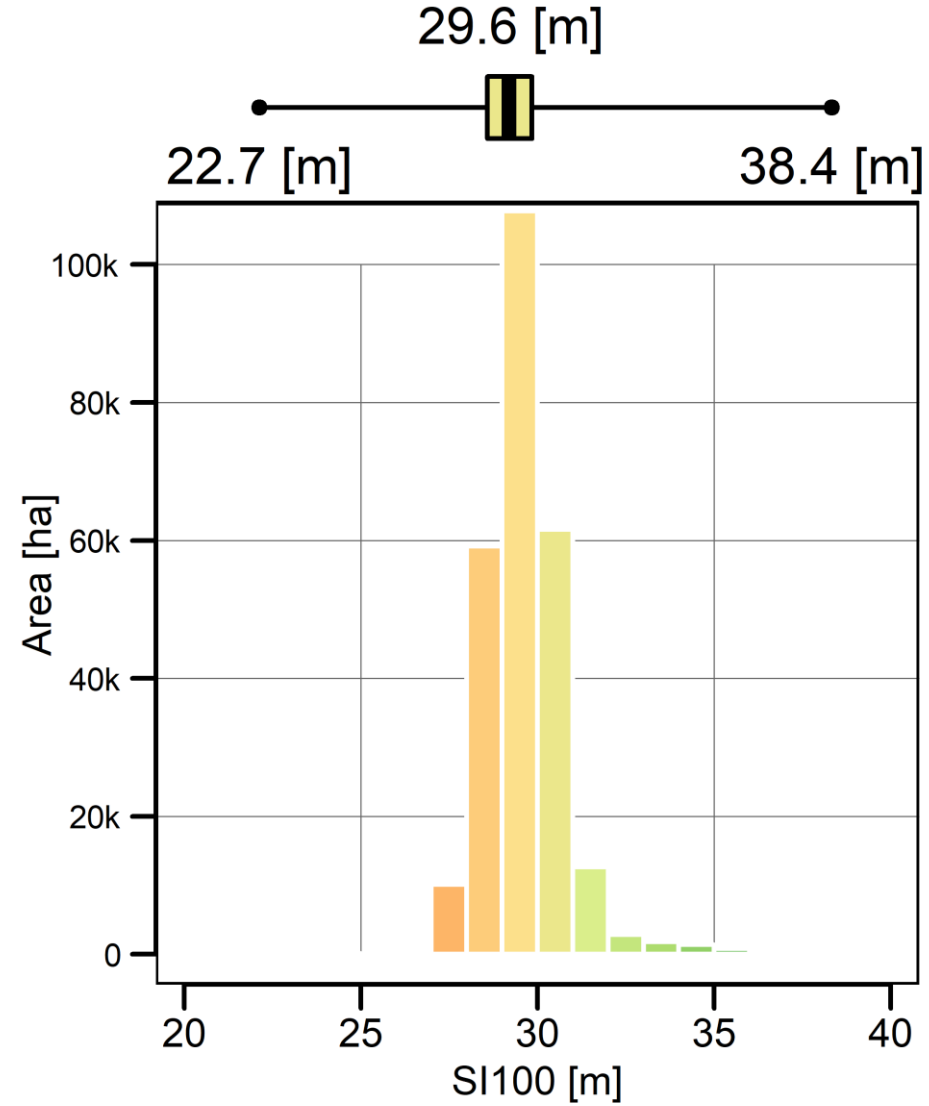
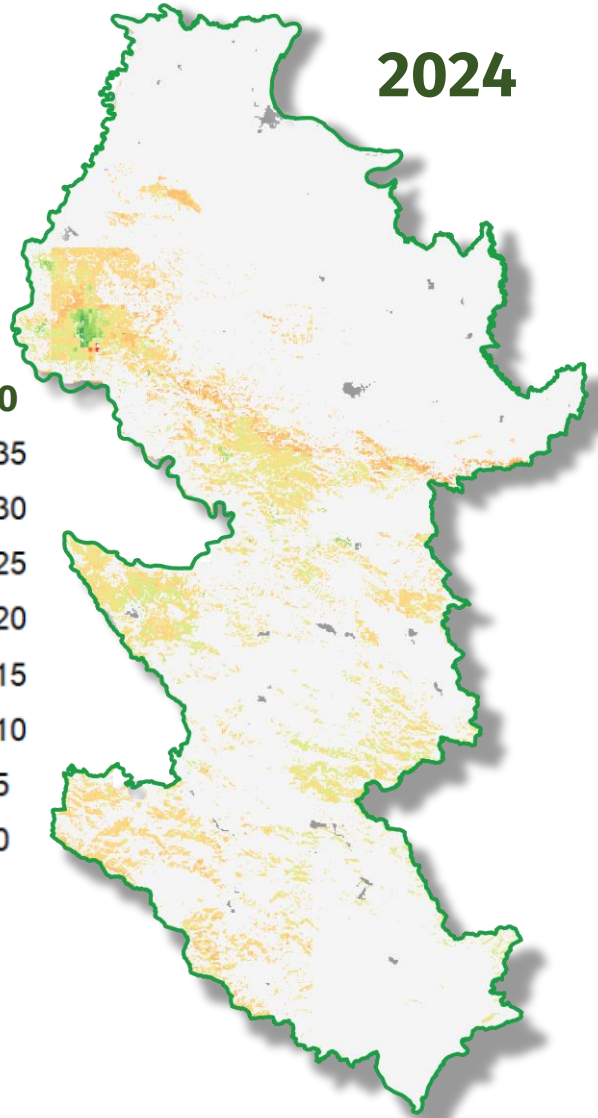
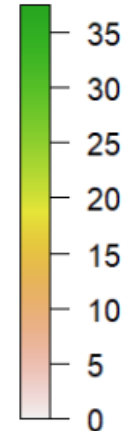
ДИСТРИБУЦИЈА И РАСТ БУКВЕ У ЗАПАДНОЈ СРБИЈИ: ГАЗДОВАЊЕ У УСЛОВИМА КЛИМАТСКИХ ПРОМЕНА



ДИСТРИБУЦИЈА И РАСТ БУКВЕ У ЗАПАДНОЈ СРБИЈИ: ГАЗДОВАЊЕ У УСЛОВИМА КЛИМАТСКИХ ПРОМЕНА

2024

SI100



РАСТ

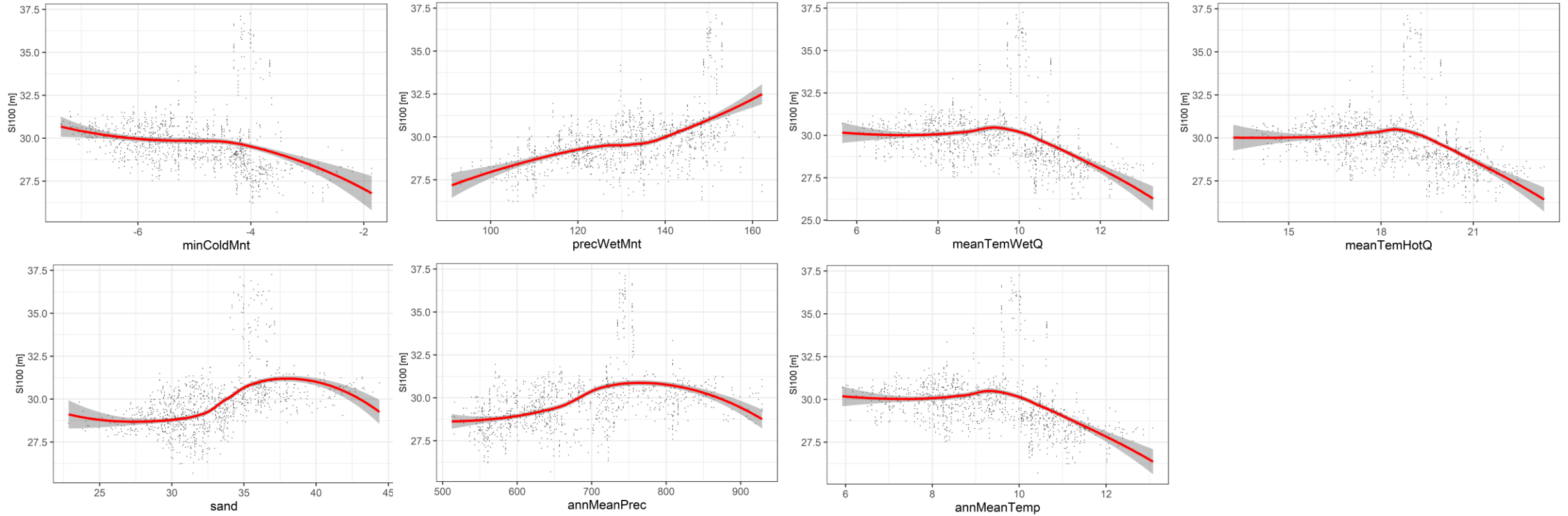
РАСПРОСТРАЊЕЊЕ

РАСТ-СТАНИШТЕ

-63-



Маргинални одзив:

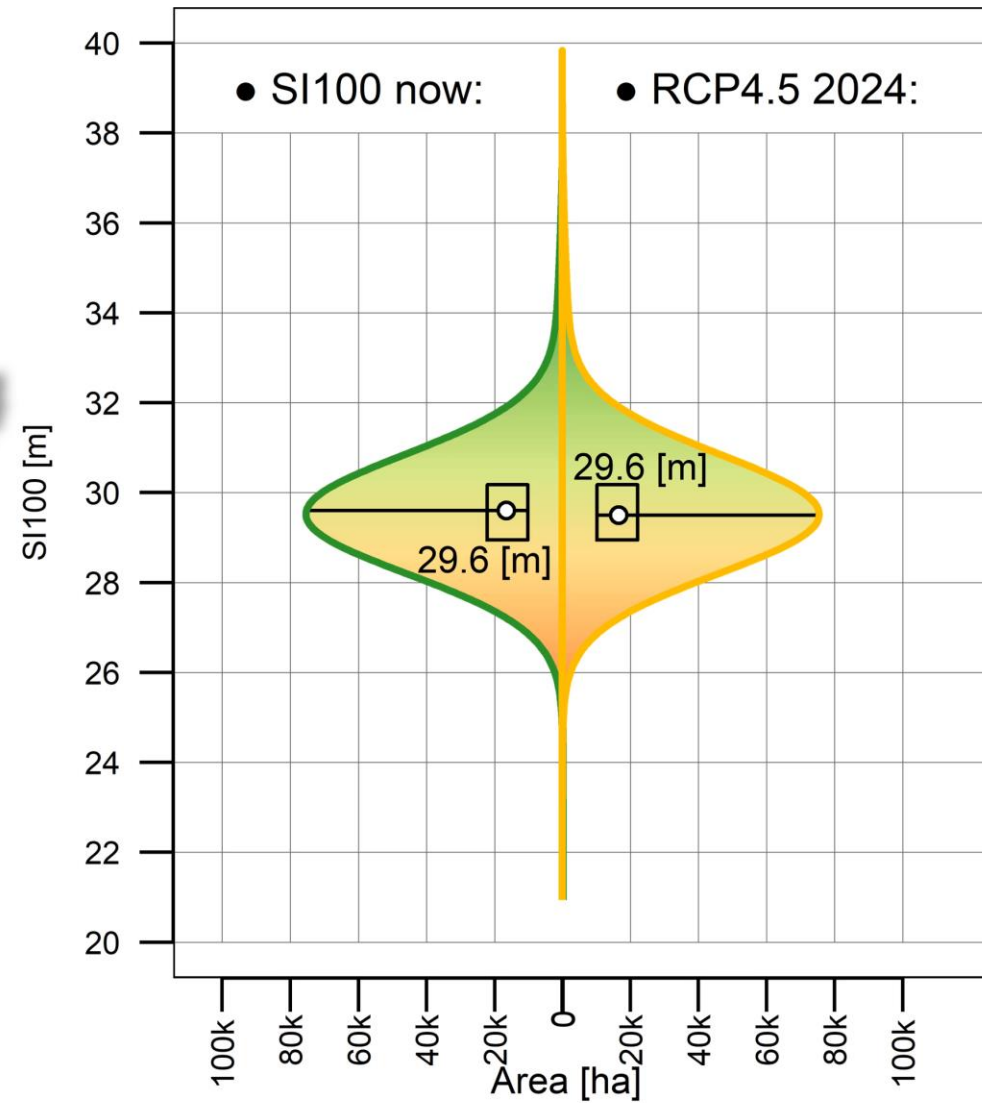
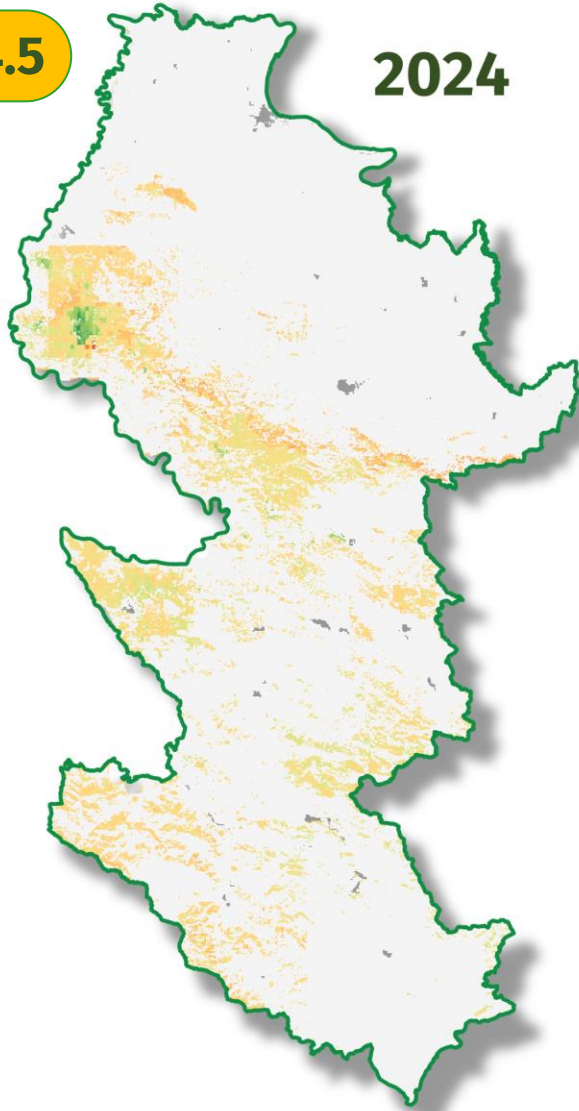
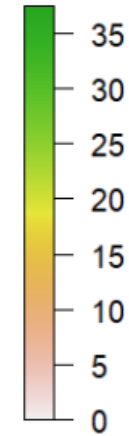


ДИСТРИБУЦИЈА И РАСТ БУКВЕ У ЗАПАДНОЈ СРБИЈИ: ГАЗДОВАЊЕ У УСЛОВИМА КЛИМАТСКИХ ПРОМЕНА

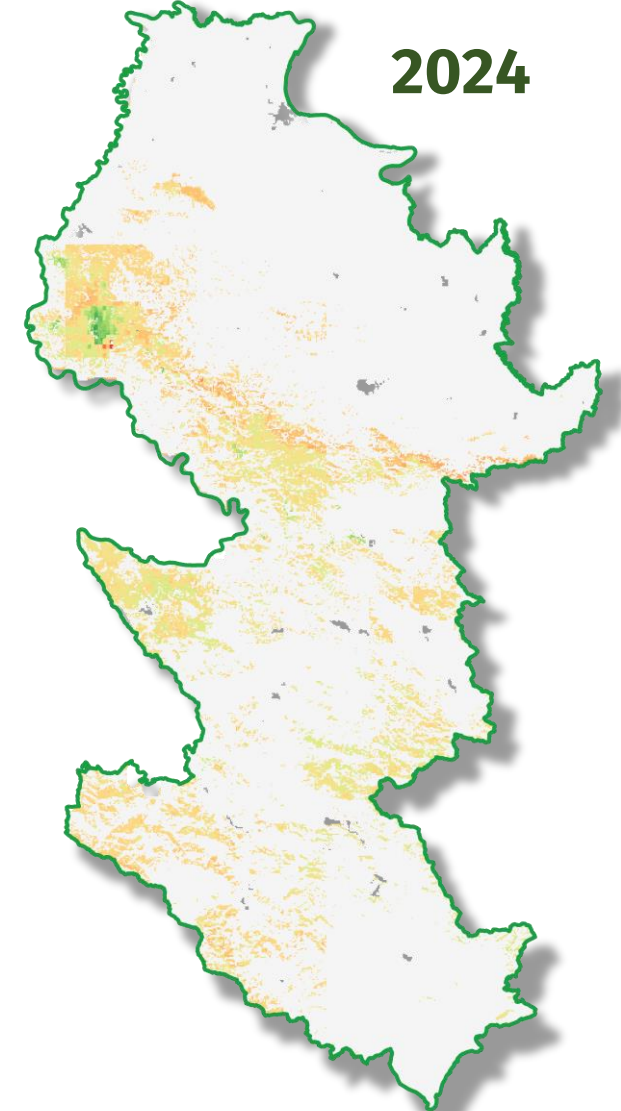
RCP4.5

2024

SI100



2024



РАСТ

РАСПРОСТРАЊЕЊЕ

РАСТ-СТАНИШТЕ

-65-

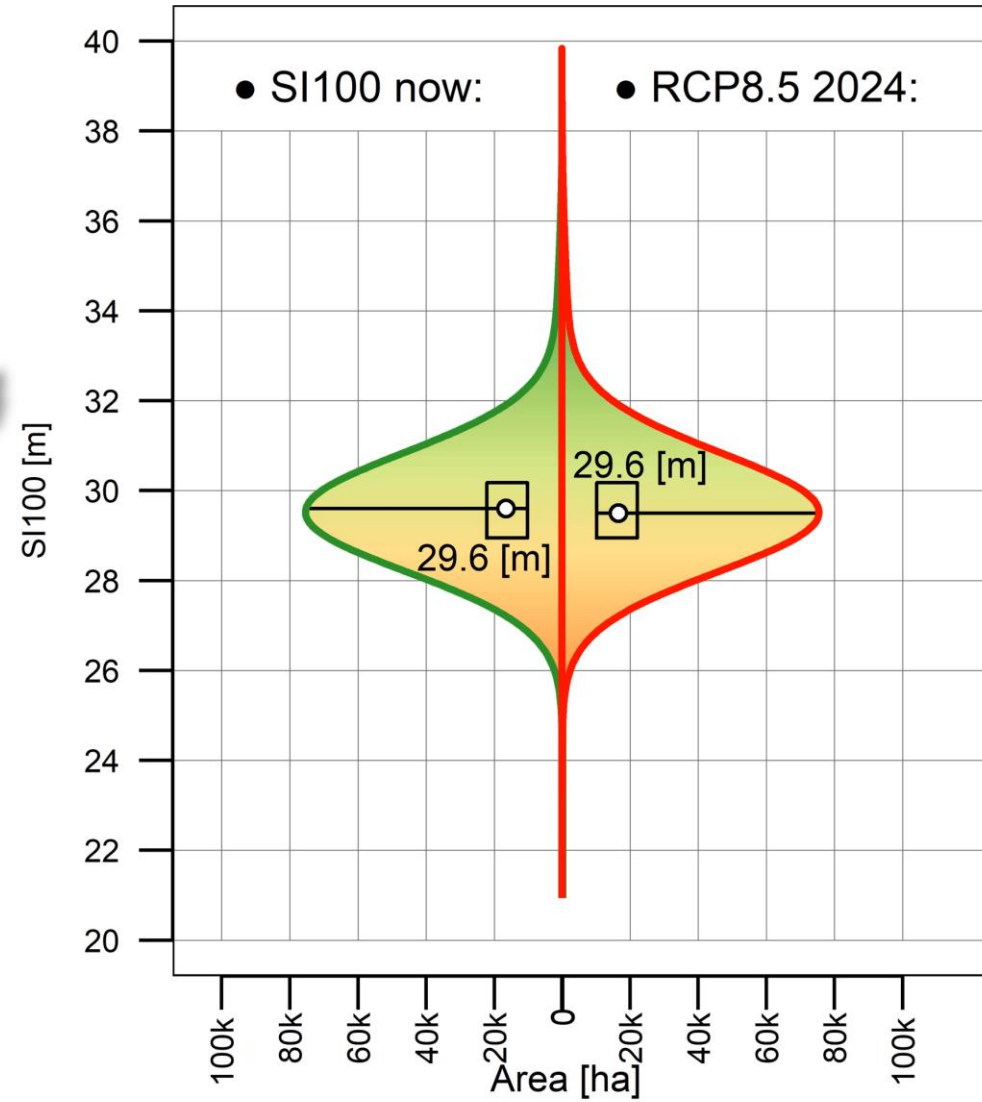
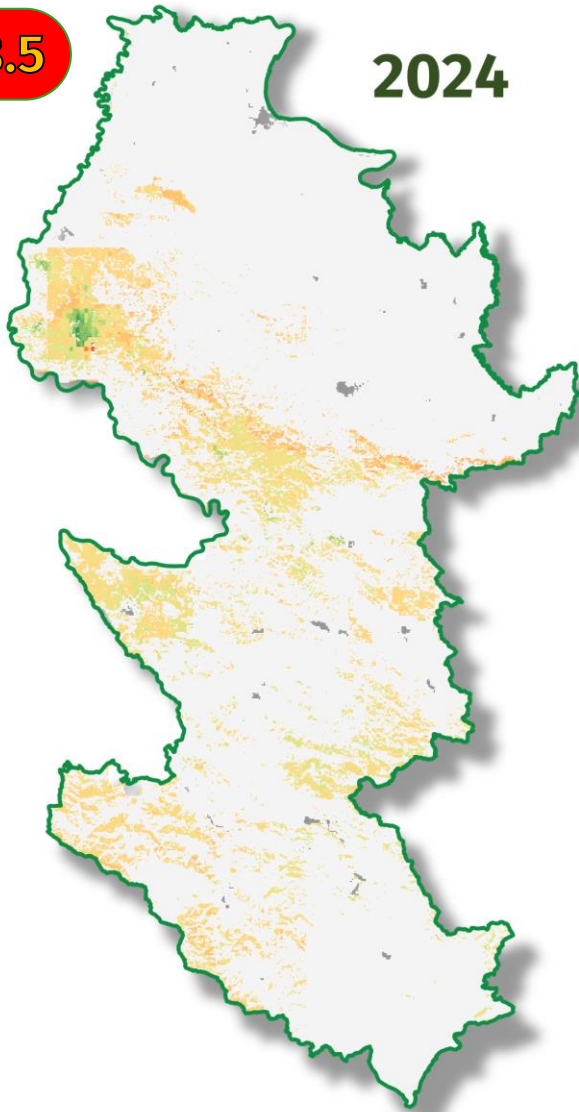
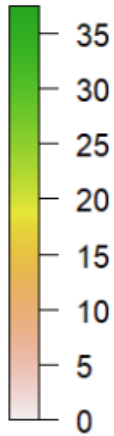


ДИСТРИБУЦИЈА И РАСТ БУКВЕ У ЗАПАДНОЈ СРБИЈИ: ГАЗДОВАЊЕ У УСЛОВИМА КЛИМАТСКИХ ПРОМЕНА

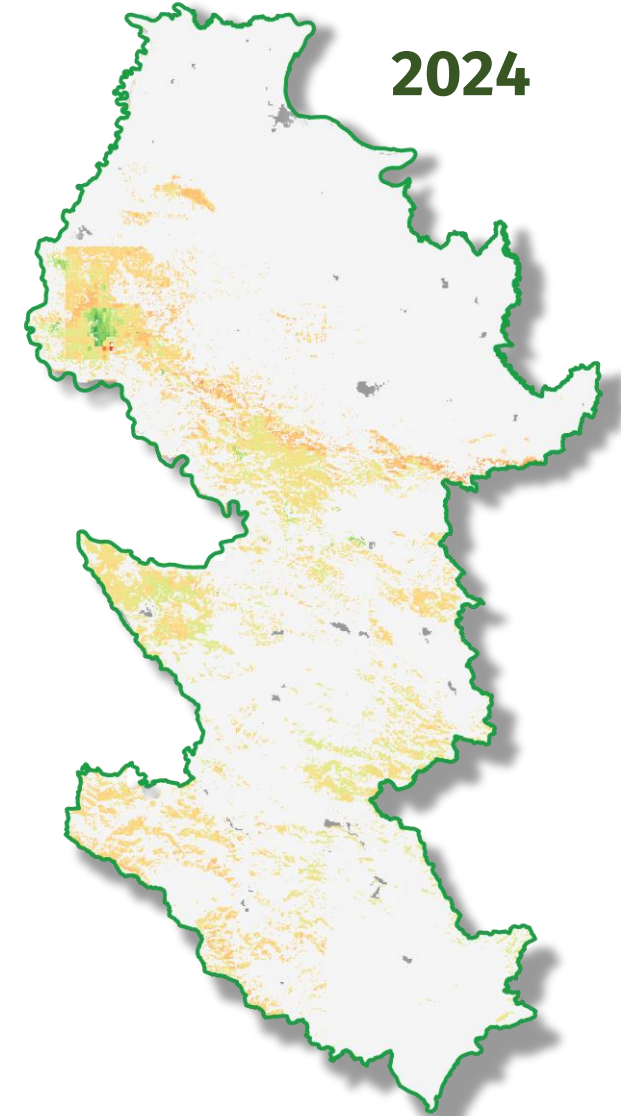
RCP8.5

2024

SI100



2024



РАСТ

РАСПРОСТРАЊЕЊЕ

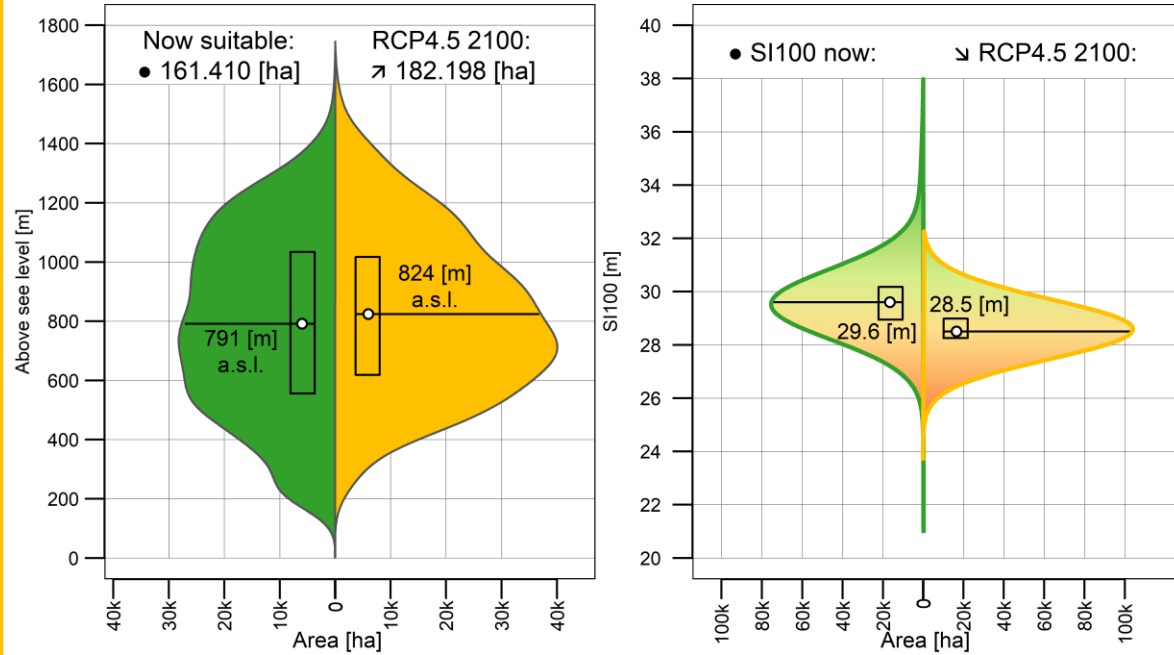
РАСТ-СТАНИШТЕ

-66-

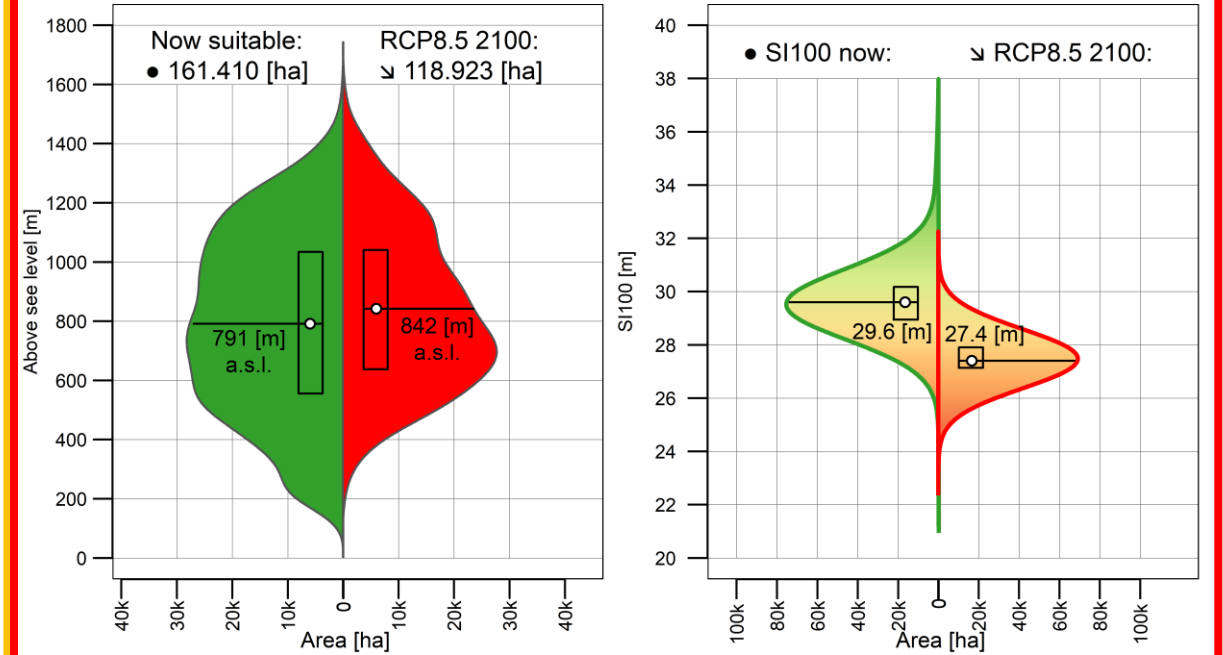


ДИСТРИБУЦИЈА И РАСТ БУКВЕ У ЗАПАДНОЈ СРБИЈИ: ГАЗДОВАЊЕ У УСЛОВИМА КЛИМАТСКИХ ПРОМЕНА

RCP4.5



RCP8.5



ЗАКЉУЧЦИ:



„Велики“ подаци су оптерећени просторном и временском неизвесношћу!



**ХВАЛА ВАМ
НА ПАЖЊИ!**



QUESTION!

peacock