

GOZDARSKI INŠTITUT SLOVENIJE
SLOVENIAN FORESTRY INSTITUTE

Bolezni, škodljivci in sušni stres pri navadni bukvi v različnih scenarijih podnebnih sprememb (V4-2026)

Aktivnost 3.1: Vpliv suše na hiranje bukve

Nikica Ogris

Ljubljana 2023

Kazalo vsebine

1	Uvod	3
2	Metode	3
2.1	Osutost bukove krošnje	3
2.2	Meteorološki kazalniki suše	4
2.3	Tla	6
2.4	Razvoj modelov	6
2.5	Validacija modelov	7
2.6	Napoved osutost krošnje navadne bukve v Sloveniji zaradi vpliva suše do leta 2100 glede na različne scenarije podnebnih sprememb	7
3	Rezultati in razprava	7
3.1	Modeli	7
3.2	Napoved osutosti krošnje navadne bukve v Sloveniji zaradi vpliva suše do leta 2100 glede na različne scenarije podnebnih sprememb	10
4	Zaključki	12
5	Priloge	13
5.1	Priloga 1. Seznam meteoroloških spremenljivk	13
6	Viri	19

1 Uvod

Stanje gozdov spremljamo vsako leto na sistematični mreži 16×16 km, tj. na 44 traktih. Poškodovanost dreves se ocenjuje na M6 ploskvah. Vsak trakt ima štiri M6 ploskev. Na vsaki M6 ploskvi je 6 dreves (M6 = metoda 6 dreves). Tako se na vsakem traktu oceni osutost in poškodovanost 24 dreves, na ravni države skupaj 1.056 dreves.

Osutost drevesnih krošenj je eden izmed ključnih mednarodno uveljavljenih kazalnikov za ocenjevanje življenjske moči dreves oz. njihove vitalnosti. Kazalnik so razvili znotraj delovne skupine International Cooperative Programme of Forests (ICP Forest) in je mednarodno primerljiv ter ga kot pokazatelja za ohranjanje zdravja in vitalnosti gozdnih ekosistemov navajajo številna mednarodna (Europe, 2020; OECD, 2021) in tudi domača poročila (MKGP, 2016; Skudnik in Planinšek, 2020). V Sloveniji spremljamo vitalnost gozdnih ekosistemov od leta 1986 in leta 2000 je bilo spremljanje sistemsko urejeno s Pravilnikom o varstvu gozdov (RS, 2009).

Osutost je okularno ocenjen delež (%) manjkajočih asimilacijskih organov (listov, iglic) v primerjavi z namišljenim normalnim drevesom istega socialnega položaja, iste drevesne vrste in z enakega rastišča. Ocenjuje se na 5 % natančno (Kovač, 2014).

Povprečna osutost bukove krošnje od leta 1993 do 2020 povečala iz 13,9 % na 32,2 %. Dolgoročen linearen trend je pokazal, da se je povprečna osutost bukove krošnje povečala za 0,63 % na leto. Za trend povprečne osutosti bukve je bilo prelomno izjemno sušno leto 2003, ko se je trend osutosti povečal iz 0,61 % na 0,94 % na leto (Ogris in Skudnik, 2021).

Cilj aktivnosti 3.1 je bil: (1) ugotoviti vpliv suše na zdravstveno stanje navadne bukve (*Fagus sylvatica*) na podlagi obstoječih meteoroloških podatkov in podatkov iz stalnih vzorčnih ploskev Gozdarskega inštituta Slovenije; (2) napovedati osutost navadne bukve v Sloveniji zaradi vpliva suše do leta 2100 glede na tri scenarije podnebnih sprememb. Iskali smo korelacijo med različnimi kazalniki sušnega stresa in osutostjo krošnje navadne bukve. Razvili smo več modelov in naredili napoved osutosti krošnje bukve za različne scenarije podnebnih sprememb z najboljšim modelom.

2 Metode

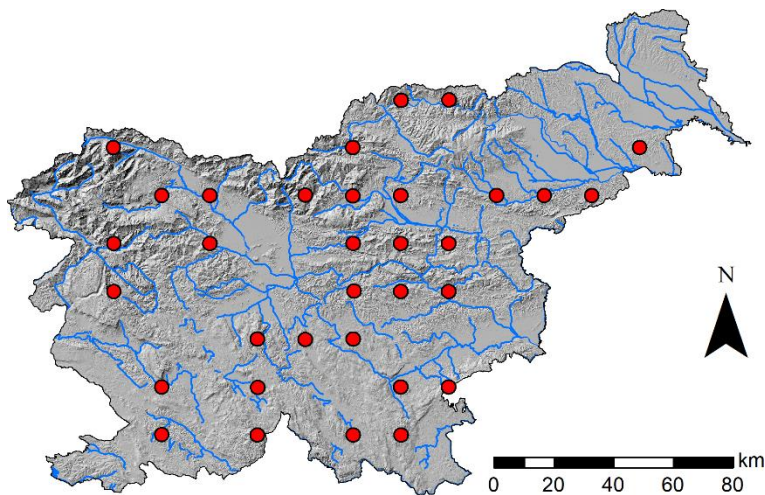
2.1 Osutost bukove krošnje

Uporabili smo podatkovno zbirko Popisa razvrednotenja in poškodovanosti gozdov v Sloveniji, ki jo vzdržuje Gozdarski inštitut Slovenije. Podatke o osutosti zbiramo letno na sistematični vzorčni mreži traktov (16×16 km; Nivo I ploskve), ki so sestavljeni iz štirih ploskev M6 (metoda šestih najbližjih dreves), kjer vsakemu drevesu na podlagi kazalnika osutosti in popisa poškodb ocenimo vitalnost (Kovač in sod., 2014). Na sistematičen in primerljiv način podatke zbiramo od leta 1991. Podatki, uporabljeni v analizi, se nanašajo na obdobje 1993–2021 (GIS, 2022). Statistični koncept popisa temelji na naključnem sistematičnem vzorčenju v grozdih (angl. cluster sampling), kjer je vsak grozd sestavljen iz štirih ploskev po šest dreves. Drevesa ostajajo v vzorcu, dokler ne odmrejo ali pa jih posekamo. V takem primeru jih nadomestimo z novimi. Postopek ocenjevanja osutosti tako poteka v dveh delovnih fazah. V prvi v skladu s protokolom statističnega izbora določimo

vzorčna drevesa, v drugi pa se vsakemu izbranemu drevesu ocenimo osutost vsako leto od junija do avgusta. Da je kazalnik osutosti mednarodno primerljiv, vsako drugo leto poteka vseevropsko umerjanje terenskih popisovalcev na primeru okoli 200 fotografij dreves. Pri vseh sodelujočih državah je metodologija enotna in tako med seboj primerljiva.

Upoštevali smo samo drevesa, ki so bila nadvladujoča, vladujoča in sovladujoča, tj. drevesa, ki tvorijo streho gozdnega sestoja in zato tekmovanje ali zasenčenost bistveno nista vplivala na oceno osutosti.

V obdobju 1993–2021 se je bukev pojavljala na 21 do 31 traktih od skupaj 44-ih, skupaj na 33 različnih traktih (**Slika 1**). Med leti se je število dreves v vzorcu spreminjalo, in sicer se je gibalo od 271 do 394, povprečno 338 na leto. Skupno število dreves, ki jim vsako leto ocenimo osutost, je 1.056. Zaradi prej navedenega pogoja o socialnem položaju dreves je bilo v končno analizo vključenih manj dreves bukve, in sicer od 195 do 357, povprečno 295 dreves bukve na leto.



Slika 1. Razporeditev traktov na sistematični mreži 16 × 16 km, kjer se je pojavljala bukev na M6 ploskvah 1993–2021

Čeprav popis razvrednotenja in poškodovanosti gozdov poteka na sistematičen in primerljiv način že od leta 1991, smo v analizo vključili samo podatke od leta 1993 naprej, ker je bila v letu 1991 osutost bukve popisana na značilno manjšem vzorcu (133), leta 1992 pa je potekala nacionalna inventura na sistematični mreži 4 × 4 km.

2.2 Meteorološki kazalniki suše

Za kazalnike suše smo izbrali: vodni primanjkljaj, standardizirani padavinski indeks (SPI) in standardizirani padavinsko-evapotranspiracijski indeks (SPEI).

Vodni primanjkljaj je opredeljen kot razlika med 60-dnevno drsečo referenčno evapotranspiracijo in višino padavin v tem obdobju (Bertalanič in sod., 2018). Vodni primanjkljaj običajno uporabljamo za negativno meteorološko oziroma površinsko vodno bilanco, torej takrat, ko je referenčna evapotranspiracija večja od višine padavin v nekem obdobju. Vodna bilanca (oziroma v sušnih obdobjih vodni primanjkljaj) je koristen kazalnik, s katerim na dokaj enostaven način, pa vendar objektivno, določamo trajanje in intenzivnost suhega obdobja in je primerna osnova za prvo oceno pojava kmetijske suše.

Standardizirani padavinski indeks (SPI- n) je statistični indikator, ki primerja skupno količino padavin, prejetih na določeni lokaciji v obdobju n mesecev, z dolgoročno porazdelitvijo padavin za isto časovno obdobje na tej lokaciji. SPI se izračuna na mesečni osnovi za premikajoče se okno n mesecev, kjer n označuje obdobje vsote padavin, ki je običajno 1, 3, 6, 9, 12, 24 ali 48 mesecev. Ustrezni SPI so označeni kot SPI-1, SPI-3, SPI-6 itd. Da bi omogočili statistično primerjavo bolj vlažnih in bolj suhih podnebij, SPI temelji na transformaciji akumuliranih padavin v standardizirano/normalno spremenljivko s povprečjem nič in varianco enako ena. Rezultati SPI so podani v enotah standardnega odklona od dolgoročne sredine standardizirane porazdelitve. V našem primeru smo za referenčno obdobje izbrali obdobje 1981–2010. Za parameter n smo vzeli tri vrednosti: 1, 3 in 6 mesecev. SPI smo izračunali za obdobje 1981–2100 s pomočjo knjižnice SPEI (Beguería in Vicente-Serrano, 2017; Vicente-Serrano in sod., 2010) v statističnem programu R (R Core Team, 2022). Mesečno količino padavin smo črpali iz podatkovne zbirke OPS21 (Bertalanič in sod., 2018). Podatki so bili v rasterskem formatu netCDF. Za branje tega formata smo uporabili knjižnico "ncdf4" (Pierce, 2021).

SPEI uporablja mesečno razliko med padavinami in potencialno evapotranspiracijo. To predstavlja preprosto vodno bilanco, ki se izračuna v različnih časovnih skalah. Postopek izračuna SPEI je identičen izračunu SPI; razlika je le v vhodnih podatkih: SPI uporablja mesečne padavine, SPEI pa mesečno razliko med padavinami in potencialno evapotranspiracijo.

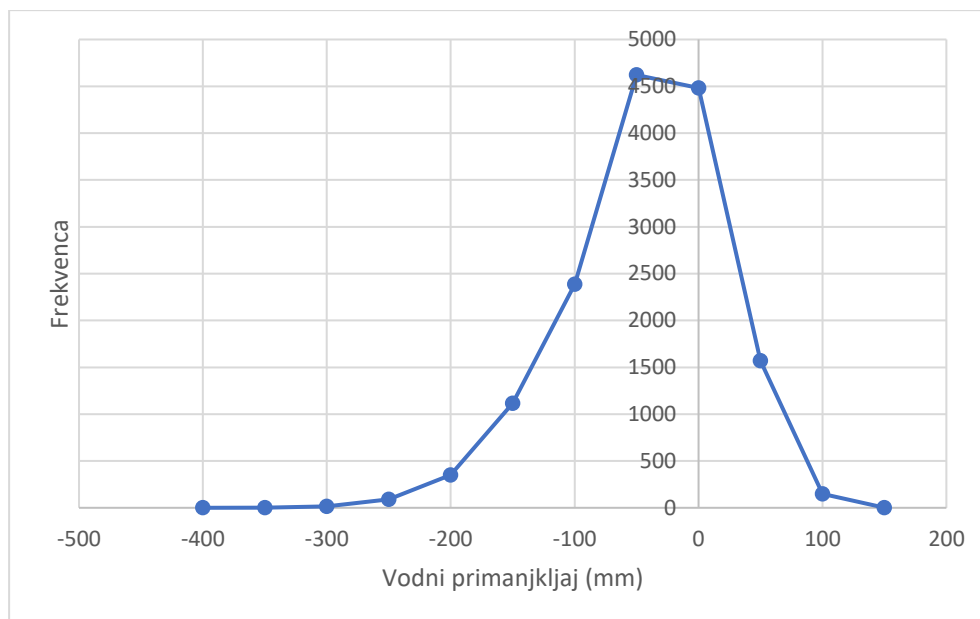
Ker so vrednosti SPI in SPEI podane v enotah standardnega odklona od standardiziranega povprečja, negativne vrednosti ustrezajo bolj sušnim obdobjem kot običajno, pozitivne vrednosti pa ustrezajo bolj vlažnim obdobjem kot običajno. Po klasifikaciji McKee in sod. (1993) vrednosti SPI izražajo naslednje stopnje sušnega stresa:

- $-1,0 < \text{SPI} \leq +1,0$: območje normalnosti
- $-1,5 < \text{SPI} \leq -1,0$: srednje suho
- $-2,0 < \text{SPI} \leq -1,5$: zelo suho
- $\text{SPI} \leq -2,0$: izjemno suho

SPEI-3 in SPEI-6 vrednosti 1981–2100 smo pridobili iz projekta "Ocena podnebnih sprememb v Sloveniji do konca 21. stoletja" (Bertalanič in sod., 2018). Vrednosti smo iz rastrov prebrali s pomočjo knjižnice "raster" (Hijmans, 2022).

Preskusili smo različne kombinacije kazalnikov suše v smislu različnih obravnavanj, kot so povprečje, kumulativna vsota, število dogodkov z različnimi mejnimi pragovi in izračun samo za vegetacijsko obdobje. Na takšen način smo pridobili 241 spremenljivk na osnovi vodnega primanjkljaja, SPI in SPEI. Celoten seznam meteoroloških kazalnikov suše, ki smo jih preskusili, je na voljo v Prilogi 1.

Pri izbiri pragov vodnega primanjkljaja smo upoštevali frekvenčno porazdelitev (**Slika 2**).



Slika 2. Histogram vodnega primanjkljaja za 33 traktov v obdobju 1990–2021

2.3 Tla

V analizo smo vključili sedem talnih spremenljivk, ki lahko imajo velik potencialni vpliv na nastanek sušnega stresa pri rastlinah (**Preglednica 1**).

Preglednica 1. Talne spremenljivke

Spremenljivka	Opis	Vir
LITOL	vrsta matične kamnine oz. sedimenta (po šifrantu litološke karte)	Novak in sod. (2014)
FC	vodna kapaciteta tal [cm/cm]	podatki iz PEDKRS (1999);
BR15	točka venenja [pri 1500 kPa cm/cm]	izračun po (Knisel in Davis, 2000; Ogris, 2007)
GLOBINA	povprečna globina tal [cm]	PEDKRS (1999)
MAT_PODLAGA	matična podlaga (po šifrantu ZGS), ki je površinsko najboljšežnejša v celici modela	ZGS (2021)
HWSD_DRAINAGE	prepustnost tal [razred]	FAO in sod. (2009)
HWSD_AWC	Razpoložljiva vodna kapaciteta tal [razred]	

2.4 Razvoj modelov

Za razvoj modelov smo uporabili posplošene linearne mešane modele (GLMM) s knjižnico "lme4" (Bates in sod., 2015).

Odvisna spremenljivka je bila povprečna ocenjena osutost dreves bukve v določenem letu na določenem traktu.

Trakt in leto smo vključili v model kot naključen učinek (ang. random effect).

Neodvisne spremenljivke smo vključili tako posamezno, kot v kombinaciji interakcij med njimi, vse do tretjega nivoja.

Ker so bili izvorni meteorološki podatki izračunani za različne globalne modele splošne cirkulacije (GCM), regionalne modele (RCM) in scenarije izpustov toplogrednih plinov (RCP) (**Preglednica 2**), smo razvili več modelov za vsako kombinacijo GCM-RCM in RCP.

Preglednica 2. Seznam simulacij, katerih izračune smo uporabili v analizi. Podana so imena globalnega (GCM) in regionalnega (RCM) modela. Če smo simulacijo za določeni scenarij RCP uporabili pri analizi, je v ustreznem polju križec (Bertalančič in sod., 2018).

GCM	RCM	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5
CNRM-CM5-LR	CCLM4-8-17		x	x
MPI-ESM-LR	CCLM4-8-17		x	x
EC-EARTH	HIRHAM5	x	x	x
IPSL-CM5A-MR	WRF331F		x	x
HadGEM2-ES	RACMO22E	x	x	x
MPI-ESM-LR	RCA4		x	x

2.5 Validacija modelov

Učinkovitost modelov smo preverjali z naslednjimi kazalniki: REML (ang. restricted maximum likelihood), AIC (ang. Akaike information criterion), MAE (srednja absolutna napaka), RMSE (koren srednje kvadratne napake).

2.6 Napoved osutost krošnje navadne buke v Sloveniji zaradi vpliva suše do leta 2100 glede na različne scenarije podnebnih sprememb

Izbrali smo najboljše modele in na njihovi osnovi napovedali osutost navadne buke v Sloveniji zaradi vpliva suše do leta 2100 glede na tri scenarije RCP in šest GCM (**Preglednica 2**).

3 Rezultati in razprava

3.1 Modeli

Najboljša skupina modelov je bila na osnovi vodnega primanjkljaja, ki so imeli v povprečju najmanjši REML in AIC. Ostale skupine modelov na osnovi SPI in SPEI so imele podobno učinkovitost; med njimi je bila najboljša skupina na osnovi SPI-1 (**Preglednica 3**).

Preglednica 3. Kakovost modelov glede na skupino meteorološkega kazalnika suše

Skupina	REML		AIC		MAE		RMSE		Št. modelov
	Povp.	St. odkl.	Povp.	St. odkl.	Povp.	St. odkl.	Povp.	St. odkl.	
DEFICIT	5.829,7	49,9	5.837,8	52,4	5,38	0,08	7,54	0,13	490
SPI-1	5.841,8	19,8	5.855,1	21,0	5,41	0,04	7,59	0,06	480
SPEI-3	5.843,3	22,1	5.856,9	22,9	5,41	0,03	7,59	0,08	480
SPI-3	5.844,4	18,5	5.857,6	19,3	5,41	0,03	7,59	0,06	480
SPEI-6	5.845,6	13,8	5.858,9	14,5	5,41	0,03	7,59	0,06	480
SPI-6	5.846,5	13,4	5.859,5	14,1	5,41	0,03	7,60	0,06	480
DEFICITO	5.847,7	10,5	5.856,1	11,7	5,36	0,07	7,52	0,11	84

Glede na število vključenih interakcij v model, so se boljše odrezali modeli z višjim številom interakcij med spremenljivkami (**Preglednica 4**).

Preglednica 4. Kakovost modelov glede na število vključenih interakcij

Št. interakcij	REML		AIC		MAE		RMSE		Št. modelov
	Povp.	St. odkl.	Povp.	St. odkl.	Povp.	St. odkl.	Povp.	St. odkl.	
3	5.789,6	59,9	5.856,0	42,2	5,35	0,10	7,50	0,14	123.908
2	5.812,9	48,5	5.853,6	36,8	5,37	0,08	7,54	0,11	20.818
1	5.842,0	26,5	5.854,3	28,1	5,41	0,05	7,58	0,08	2.974

Če upoštevamo interakcije med spremenljivkami, so bili najboljši modeli, ki so vključevali interakcijo med vodnim primanjkljajem s pragom pod -200 mm skupaj kumulativno do tekočega leta (število dogodkov) in talnimi spremenljivkami, tj. matično podlago in razpoložljivo vodno kapaciteto tal (**Preglednica 5**).

Modele smo razvili samo za 33 traktov. Zato kategorične talne spremenljivke niso pokrile vseh možnih vrednosti, kjer se lahko bukev pojavlja. Zato so modeli, ki vključujejo kategorične spremenljivke, uporabni samo za napovedovanje na nivoju trakta in jih ni mogoče uporabiti za ekstrapolacijo na območje cele Slovenije. Spremenljivki FC in BR15 temeljita na tabelaričnih vrednostih (Knisel in Davis, 2000), zato sta verjetno precej nezanesljivi.

Preglednica 5. Kakovost modelov glede na interakcijo med spremenljivkami. Prikazanih je 10 najboljših modelov.

Interakcija	REML		AIC		MAE		RMSE		Št. modelov
	Povp.	St. odkl.	Povp.	St. odkl.	Povp.	St. odkl.	Povp.	St. odkl.	
DEFICIT_ST200_KUM × TLA_MAT_PODLAGA × HWSD_AWC	5.558,2	17,1	5.647,2	20,9	4,72	0,04	6,67	0,04	14
DEFICIT_ST200_KUM × TLA_MAT_PODLAGA × LITOL	5.577,0	19,9	5.664,7	23,4	4,89	0,05	6,84	0,06	14
DEFICIT_ST150_KUM × TLA_MAT_PODLAGA × HWSD_AWC	5.578,2	12,7	5.647,0	13,2	4,81	0,05	6,74	0,05	14
SPI1_AVG_KUM × TLA_MAT_PODLAGA × HWSD_AWC	5.596,5	42,1	5.812,9	48,5	5,15	0,09	7,25	0,13	12
SPI1_AVG_KUM × TLA_BR15 × TLA_MAT_PODLAGA	5.597,6	46,8	5.810,8	52,0	5,17	0,10	7,26	0,16	12
DEFICIT_ST200_KUM × TLA_MAT_PODLAGA × HWSD_AWC	5.558,2	17,1	5.647,2	20,9	4,72	0,04	6,67	0,04	14
DEFICIT_ST200_KUM × TLA_MAT_PODLAGA × TLA_FC	5.597,8	21,0	5.692,3	24,1	4,94	0,04	6,86	0,06	14
SPI1_AVG_KUM × TLA_MAT_PODLAGA × LITOL	5.599,0	39,4	5.816,7	46,3	5,14	0,10	7,26	0,12	12
SPI1_AVG_KUM × TLA_MAT_PODLAGA × HWSD_DRAINAGE	5.600,2	40,2	5.819,0	46,2	5,16	0,09	7,27	0,13	12
DEFICIT_ST150_KUM × TLA_MAT_PODLAGA × HWSD_DRAINAGE	5.601,9	11,3	5.673,5	12,5	4,90	0,02	6,89	0,04	14

Pri modelih z eno neodvisno spremenljivko je povprečno osutost krošnje buke najboljše pojasnjevalo kumulativno število dogodkov vodnega primanjkljaja pod pragom -150 , -100 in -200 mm (**Preglednica 6**). Prednost modelov, ki vključujejo samo eno spremenljivko, tj. meteorološki kazalnik suše, je možnost aplikacije na območje celotne Slovenije.

Preglednica 6. Kakovost modelov z eno pojasnjevalno spremenljivko, tj. meteorološkim kazalnikom suše. Prikazanih je 10 najboljših modelov.

Interakcija	REML		AIC		MAE		RMSE		Št. modelov
	Povp.	St. odkl.	Povp.	St. odkl.	Povp.	St. odkl.	Povp.	St. odkl.	
DEFICIT_ST150_KUM	5.707,1	10,1	5.712,5	10,3	5,17	0,02	7,20	0,03	14
DEFICIT_ST100_KUM	5.708,9	5,7	5.713,4	5,9	5,17	0,02	7,24	0,03	14
DEFICIT_ST200_KUM	5.715,9	15,0	5.722,2	15,3	5,19	0,03	7,18	0,03	14
DEFICIT_KUM	5.721,8	9,0	5.715,6	9,3	5,15	0,02	7,18	0,02	14
DEFICIT_ST50_KUM	5.734,6	6,5	5.738,5	6,5	5,24	0,03	7,36	0,04	14
DEFICIT_ST0_KUM	5.763,7	5,3	5.767,0	5,2	5,32	0,02	7,50	0,03	14
DEFICIT_ST50P_KUM	5.785,0	4,2	5.788,1	4,2	5,38	0,01	7,60	0,02	14
SPI1_VEG_1_ST_KUM	5.792,6	28,6	5.800,7	29,5	5,41	0,07	7,62	0,14	12
SPI1_1_ST_KUM	5.798,6	25,5	5.805,1	25,7	5,43	0,05	7,69	0,09	12
SPI1_2_ST_KUM	5.800,8	38,2	5.810,4	38,8	5,45	0,10	7,66	0,16	12

V povprečju je bila korelacija med povprečno letno osutostjo bukove krošnje po traktih in meteorološkimi kazalniki suše pozitivna, razen za kumulativno vsoto vodnega primanjkljaja, ki je bila negativna (**Preglednica 7**). Vendar korelacija ni bila statistično značilna.

Preglednica 7. Povprečni regresijski koeficienti za 10 najboljših modelov z eno spremenljivko

Spremenljivka	d	Koeficient	Standardna napaka	t vrednost	Št. modelov
DEFICIT_ST150_KUM	konstanta	11,454	1,391	8,245	14
	spremenljivka	0,209	0,012	17,379	14
DEFICIT_ST100_KUM	konstanta	9,730	1,359	7,173	14
	spremenljivka	0,148	0,008	17,525	14
DEFICIT_ST200_KUM	konstanta	13,427	1,423	9,440	14
	spremenljivka	0,284	0,019	15,553	14
DEFICIT_KUM	konstanta	11,895	1,417	8,402	14
	spremenljivka	-0,001	0,000	-16,517	14
DEFICIT_ST50_KUM	konstanta	8,950	1,372	6,533	14
	spremenljivka	0,103	0,006	16,463	14
DEFICIT_ST0_KUM	konstanta	8,984	1,413	6,363	14
	spremenljivka	0,076	0,005	15,550	14
DEFICIT_ST50P_KUM	konstanta	9,425	1,443	6,534	14
	spremenljivka	0,062	0,004	15,042	14
SPI1_VEG_1_ST_KUM	konstanta	13,594	1,660	7,950	14
	spremenljivka	0,501	0,053	13,684	12
SPI1_1_ST_KUM	konstanta	11,682	1,508	7,730	14
	spremenljivka	0,328	0,023	14,910	12
SPI1_2_ST_KUM	konstanta	14,892	1,541	9,607	14
	spremenljivka	1,024	0,099	13,026	12

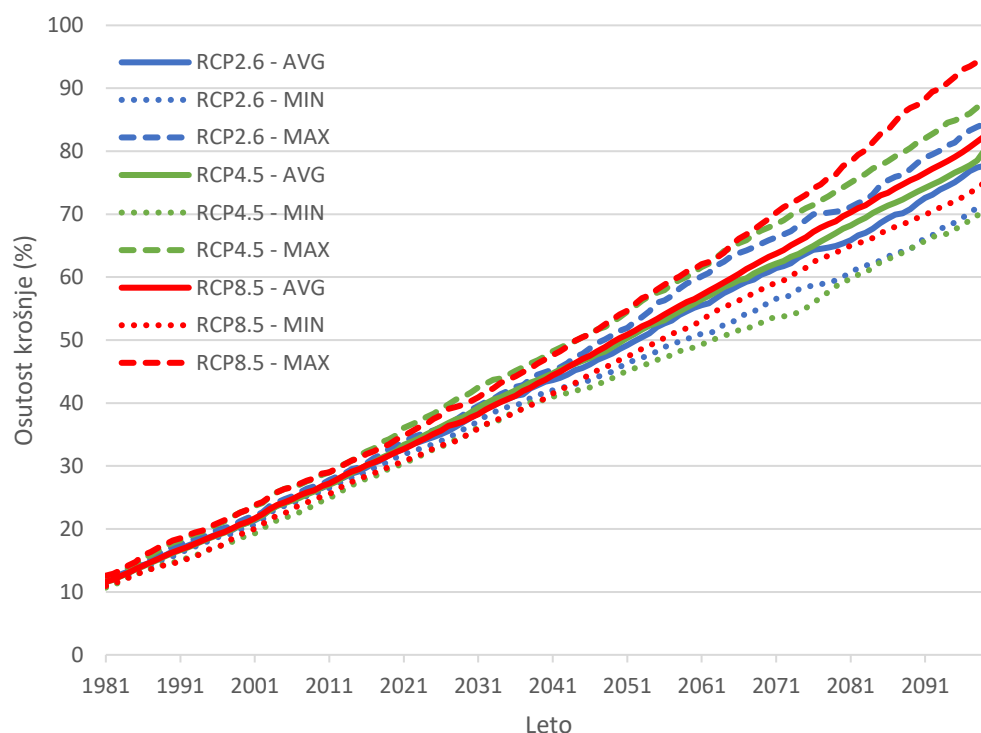
3.2 Napoved osutosti krošnje navadne bukve v Sloveniji zaradi vpliva suše do leta 2100 glede na različne scenarije podnebnih sprememb

Oceno osutosti navadne bukve v Sloveniji zaradi vpliva suše do konca 21. stoletja glede na tri RCP in šest GCM smo naredili z najboljšimi modeli, tj. s spremenljivko DEFICIT_ST150_KUM (**Preglednica 8**).

Preglednica 8. Modeli za vpliv suše (DEFICIT_ST150_KUM) na osutost bukve za tri scenarije izpustov toplogrednih plinov (RCP) in šest GCM-RCM

GCM-RCM	RCP2.6		RCP4.5		RCP8.5	
	Konstanta	Spr.	Konstanta	Spr.	Konstanta	Spr.
CNRM-CERFACS-CNRM-CM5_CLMcom-CCLM4			11,64798	0,19116	11,23305	0,20669
ICHEC-EC-EARTH_DMI-HIRHAM5	12,10890	0,20972	11,43825	0,23111	11,70272	0,23180
IPSL-IPSL-CM5A-MR_IPSL-INNERIS			11,89349	0,21954	12,22109	0,21863
MOHC-HadGEM2-ES_KNMI-RACMO22E	11,07950	0,20891	11,72970	0,17867	11,34316	0,19458
MPI-M-MPI-ESM-LR_CLMcom-CCLM4			10,64897	0,21539	10,92397	0,20831
MPI-M-MPI-ESM-LR_SMHI-RCA4			11,17542	0,20554	11,21424	0,20728

Napoved povprečne osutosti bukove krošnje glede na šest GCM in tri RCP za leto 2020 je znašala 32,2 % (**Slika 3**), kakor je bila tudi dejanska povprečna osutost bukve v Sloveniji v tem letu (Ogris in Skudnik, 2021). Zato domnevamo, da povprečna napoved daje zanesljivo oceno povprečne osutosti krošnje navadne bukve za območje cele Slovenije.



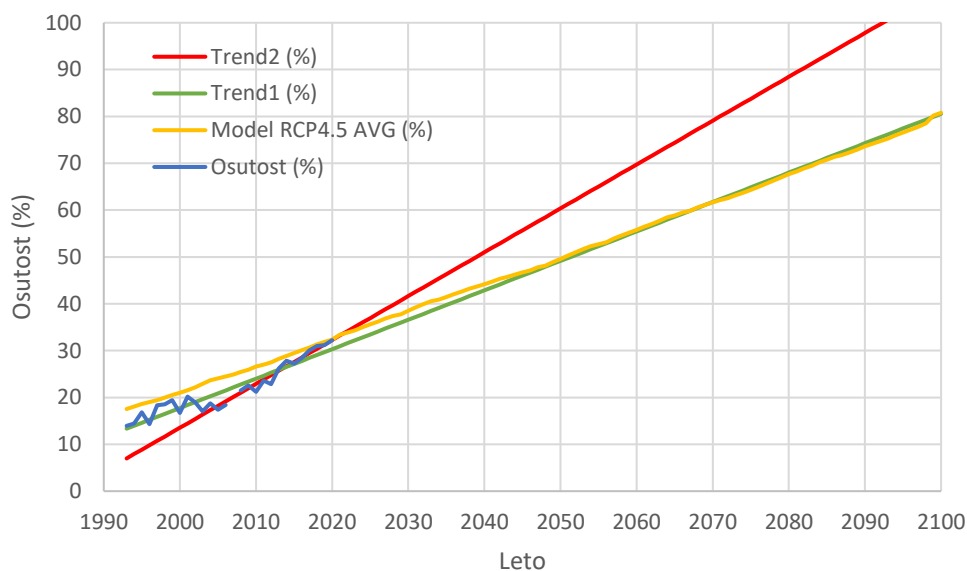
Slika 3. Napoved povprečne osutosti bukove krošnje glede na šest GCM in tri RCP za obdobje 1981–2100

Napoved povprečne osutosti bukove krošnje glede na šest GCM za leto 2050 je znašala 48,6–50,3 %, pri čemer je bila razlika med RCP relativno majhna (**Slika 3**). Razlike med GCM so bile

nekoliko večje, kar se odraža v večjem razponu napovedanih vrednosti. Tako je bil za leto 2050 razpon povprečnih napovedi osutosti 44,6–54,1 %.

Na koncu 21. stoletja so modeli predvideli povprečno osutost bukove krošnje 77,7–82,4 % glede na različne RCP2.6, kjer je RCP8.5 napovedal višjo osutost, RCP2.6 pa nižjo. Povprečna maksimalna osutost za leto 2100 je znašala 84,4–96,1 % glede na različne RCP. Povprečna minimalna osutost za leto 2100 je znašala 71,5–76,6 % glede na različne RCP. Trend povečevanja osutosti bukove krošnje je linearen, kar je posledica linearnega modela (**Slika 3**).

Primerjava trendov na podlagi dejanskih podatkov o povprečni osutosti bukove krošnje (Ogris in Skudnik, 2021; Trend 1) in modelske napovedi RCP4.5 je pokazala, da sta trenda zelo podobna (**Slika 4**). Linearni trend izračunan na podlagi časovne vrste 2003–2020 pa daje višje vrednosti (Trend 2). Če bo trend nelinearen, npr. bo ekspotencialen ali bo sledil kvadratni funkciji, potem bo verjetno povprečna osutost bukve bolj podobna Trendu 2.



Slika 4. Primerjava trendov na podlagi dejanskih podatkov o povprečni osutosti bukove krošnje in modelske napovedi RCP4.5. Modra črta (Osutost) prikazuje dejansko povprečno osutost bukove krošnje; zelena črta (Trend 1) je linearni trend izračunan na podlagi celotne časovne vrste 1993–2020 s formulo $0,6281 * x + 13,351$; rdeča črta (Trend 2) je linearni trend izračunan na podlagi časovne vrste 2003–2020 s formulo $0,9364 * x + 6,9852$. Vir podatkov Ogris in Skudnik (2021).

Po vseh napovedih bo povprečna osutost bukove krošnje leta 2100 znašala več kot 70 % na območju celotne Slovenije. Zato domnevamo, da bo do konca 21. stoletja v povprečju prišlo do močnega poškodovanja bukove krošnje in zelo verjetno do množičnega sušenja bukve. Zavedati se moramo, da so te napovedi narejene zgolj na podlagi ene spremenljivke, tj. kazalnika sušnega stresa (DEFICIT_ST150_KUM). V realnosti na osutost bukove krošnje vpliva množica dejavnikov, ki se med seboj prepletajo. Zato bo dejanska osutost bukove krošnje verjetno drugačna od napovedane. Jasen pa je trend: kumulativno število dogodkov vodnega primanjkljaja pod 150 mm je v pozitivni korelaciji s povprečno osutostjo bukove krošnje.

Modele ne moremo uporabiti za izračun napovedi za določeno točko oz. trakt, kajti razviti so bili za območje cele Slovenije. Če bi želeli narediti napovedi za določeno točko oz. trakt, bi morali razviti samostojne modele za vsako točko posebej. To pa je bilo izven ciljev te študije.

4 Zaključki

Povprečno osutost bukve na traktih skozi časovno vrsto je najbolje pojasnjevalo kumulativno število dogodkov vodnega primanjkljaja na traktu. Pri modelih z eno spremenljivko, je bil najboljši model s pragom -150 mm. Pri modelih z interakcijami je bil najboljši model s pragom -200 mm. Med talnimi spremenljivkami je izstopala vrsta matične podlage in razpoložljiva vodna kapaciteta tal. Zato predlagamo, da se v razvoj modela naravne razširjenosti bukve v Sloveniji vključijo spremenljivke DEFICIT_ST200_KUM, MAT_PODLAGA in HWSD_AWC.

Napoved povprečne osutosti bukove krošnje glede na šest GCM za leto 2050 je znašala 48,6–50,3 %, pri čemer je bila razlika med RCP relativno majhna. Na koncu 21. stoletja so modeli predvideli povprečno osutost bukove krošnje 77,7–82,4 % glede na različne RCP, kjer je RCP8.5 napovedal višjo osutost, RCP2.6 pa nižjo.

Trend je jasen: kumulativno število dogodkov vodnega primanjkljaja pod 150 mm je v pozitivni korelaciji s povprečno osutostjo bukove krošnje.

Po vseh napovedih bo povprečna osutost bukove krošnje leta 2100 znašala več kot 70 % na območju celotne Slovenije. Zato domnevamo, da bo do konca 21. stoletja v povprečju prišlo do močnega poškodovanja bukove krošnje in zelo verjetno do množičnega sušenja bukve. Zavedati se moramo, da so napovedi narejene zgolj na podlagi ene spremenljivke. Zato bo dejanska povprečna osutost bukove krošnje verjetno drugačna od napovedane.

5 Priloge

5.1 Priloga 1. Seznam meteoroloških spremenljivk

Spremenljivka	Opis
DEFICIT	vodni primanjkljaj v tekočem letu
DEFICIT1	vodni primanjkljaj v zadnjih dveh letih
DEFICIT2	vodni primanjkljaj v zadnjih treh letih
DEFICIT3	vodni primanjkljaj v zadnjih štirih letih
DEFICIT_KUM	vodni primanjkljaj skupaj kumulativno do tekočega leta
DEFICIT_ST50P	vodni primanjkljaj s pragom pod +50 mm v tekočem letu: število dogodkov
DEFICIT_ST50P_1	vodni primanjkljaj s pragom pod +50 mm v zadnjih dveh letih: število dogodkov
DEFICIT_ST50P_2	vodni primanjkljaj s pragom pod +50 mm v zadnjih treh letih: število dogodkov
DEFICIT_ST50P_3	vodni primanjkljaj s pragom pod +50 mm v zadnjih štirih letih: število dogodkov
DEFICIT_ST50P_KUM	vodni primanjkljaj s pragom pod +50 mm skupaj kumulativno do tekočega leta: število dogodkov
DEFICIT_ST0	vodni primanjkljaj s pragom pod 0 mm v tekočem letu: število dogodkov
DEFICIT_ST0_1	vodni primanjkljaj s pragom pod 0 mm v zadnjih dveh letih: število dogodkov
DEFICIT_ST0_2	vodni primanjkljaj s pragom pod 0 mm v zadnjih treh letih: število dogodkov
DEFICIT_ST0_3	vodni primanjkljaj s pragom pod 0 mm v zadnjih štirih letih: število dogodkov
DEFICIT_ST0_KUM	vodni primanjkljaj s pragom pod 0 mm skupaj kumulativno do tekočega leta: število dogodkov
DEFICIT_ST50	vodni primanjkljaj s pragom pod –50 mm v tekočem letu: število dogodkov
DEFICIT_ST50_1	vodni primanjkljaj s pragom pod –50 mm v zadnjih dveh letih: število dogodkov
DEFICIT_ST50_2	vodni primanjkljaj s pragom pod –50 mm v zadnjih treh letih: število dogodkov
DEFICIT_ST50_3	vodni primanjkljaj s pragom pod –50 mm v zadnjih štirih letih: število dogodkov
DEFICIT_ST50_KUM	vodni primanjkljaj s pragom pod –50 mm skupaj kumulativno do tekočega leta: število dogodkov
DEFICIT_ST100	vodni primanjkljaj s pragom pod –100 mm v tekočem letu: število dogodkov
DEFICIT_ST100_1	vodni primanjkljaj s pragom pod –100 mm v zadnjih dveh letih: število dogodkov
DEFICIT_ST100_2	vodni primanjkljaj s pragom pod –100 mm v zadnjih treh letih: število dogodkov
DEFICIT_ST100_3	vodni primanjkljaj s pragom pod –100 mm v zadnjih štirih letih: število dogodkov
DEFICIT_ST100_KUM	vodni primanjkljaj s pragom pod –100 mm skupaj kumulativno do tekočega leta: število dogodkov
DEFICIT_ST150	vodni primanjkljaj s pragom pod –150 mm v tekočem letu: število dogodkov
DEFICIT_ST150_1	vodni primanjkljaj s pragom pod –150 mm v zadnjih dveh letih: število dogodkov
DEFICIT_ST150_2	vodni primanjkljaj s pragom pod –150 mm v zadnjih treh letih: število dogodkov
DEFICIT_ST150_3	vodni primanjkljaj s pragom pod –150 mm v zadnjih štirih letih: število dogodkov
DEFICIT_ST150_KUM	vodni primanjkljaj s pragom pod –150 mm skupaj kumulativno do tekočega leta: število dogodkov
DEFICIT_ST200	vodni primanjkljaj s pragom pod –200 mm v tekočem letu: število dogodkov
DEFICIT_ST200_1	vodni primanjkljaj s pragom pod –200 mm v zadnjih dveh letih: število dogodkov
DEFICIT_ST200_2	vodni primanjkljaj s pragom pod –200 mm v zadnjih treh letih: število dogodkov
DEFICIT_ST200_3	vodni primanjkljaj s pragom pod –200 mm v zadnjih štirih letih: število dogodkov
DEFICIT_ST200_KUM	vodni primanjkljaj s pragom pod –200 mm skupaj kumulativno do tekočega leta: število dogodkov
DEFICITO_KUM	vsota vodnega primanjkljaja s pragom nad 0 mm
DEFICITO_ST0	vodni primanjkljaj s pragom nad 0 mm v tekočem letu: število dogodkov
DEFICITO_ST0_1	vodni primanjkljaj s pragom nad 0 mm v zadnjih dveh letih: število dogodkov
DEFICITO_ST0_2	vodni primanjkljaj s pragom nad 0 mm v zadnjih treh letih: število dogodkov
DEFICITO_ST0_3	vodni primanjkljaj s pragom nad 0 mm v zadnjih štirih letih: število dogodkov
DEFICITO_ST0_KUM	vodni primanjkljaj s pragom nad 0 mm skupaj kumulativno do tekočega leta: število dogodkov
SPEI3_1_ST	SPEI-3 s pragom –1: število dogodkov v tekočem letu
SPEI3_1_ST1	SPEI-3 s pragom –1: število dogodkov v zadnjih dveh letih
SPEI3_1_ST2	SPEI-3 s pragom –1: število dogodkov v zadnjih treh letih

Spremenljivka	Opis
SPEI3_1_ST3	SPEI-3 s pragom –1: število dogodkov v zadnjih štirih letih
SPEI3_1_ST_KUM	SPEI-3 s pragom –1: število dogodkov kumulativno do tekočega leta
SPEI3_2_ST	SPEI-3 s pragom –2: število dogodkov v tekočem letu
SPEI3_2_ST1	SPEI-3 s pragom –2: število dogodkov v zadnjih dveh letih
SPEI3_2_ST2	SPEI-3 s pragom –2: število dogodkov v zadnjih treh letih
SPEI3_2_ST3	SPEI-3 s pragom –2: število dogodkov v zadnjih štirih letih
SPEI3_2_ST_KUM	SPEI-3 s pragom –2: število dogodkov kumulativno do tekočega leta
SPEI3_AVG	povprečen SPEI-3 v tekočem letu
SPEI3_AVG1	najmanjši povprečen SPEI-3 v zadnjih dveh letih
SPEI3_AVG2	najmanjši povprečen SPEI-3 v zadnjih treh letih
SPEI3_AVG3	najmanjši povprečen SPEI-3 v zadnjih štirih letih
SPEI3_AVG_KUM	najmanjši povprečen SPEI-3 do tekočega leta
SPEI3_MIN	minimalni SPEI-3 v tekočem letu
SPEI3_MIN1	najmanjši minimalni SPEI-3 v zadnjih dveh letih
SPEI3_MIN2	najmanjši minimalni SPEI-3 v zadnjih treh letih
SPEI3_MIN3	najmanjši minimalni SPEI-3 v zadnjih štirih letih
SPEI3_MIN_KUM	najmanjši minimalni SPEI-3 do tekočega leta
SPEI3_VEG_1_ST	SPEI-3 med aprilom in septembrom s pragom –1: število dogodkov v tekočem letu
SPEI3_VEG_1_ST1	SPEI-3 med aprilom in septembrom s pragom –1: število dogodkov v zadnjih dveh letih
SPEI3_VEG_1_ST2	SPEI-3 med aprilom in septembrom s pragom –1: število dogodkov v zadnjih treh letih
SPEI3_VEG_1_ST3	SPEI-3 med aprilom in septembrom s pragom –1: število dogodkov v zadnjih štirih letih
SPEI3_VEG_1_ST_KUM	SPEI-3 med aprilom in septembrom s pragom –1: število dogodkov kumulativno do tekočega leta
SPEI3_VEG_2_ST	SPEI-3 med aprilom in septembrom s pragom –2: število dogodkov v tekočem letu
SPEI3_VEG_2_ST1	SPEI-3 med aprilom in septembrom s pragom –2: število dogodkov v zadnjih dveh letih
SPEI3_VEG_2_ST2	SPEI-3 med aprilom in septembrom s pragom –2: število dogodkov v zadnjih treh letih
SPEI3_VEG_2_ST3	SPEI-3 med aprilom in septembrom s pragom –2: število dogodkov v zadnjih štirih letih
SPEI3_VEG_2_ST_KUM	SPEI-3 med aprilom in septembrom s pragom –2: število dogodkov kumulativno do tekočega leta
SPEI3_VEG_AVG	povprečen SPEI-3 med aprilom in septembrom v tekočem letu
SPEI3_VEG_AVG1	najmanjši povprečen SPEI-3 med aprilom in septembrom v zadnjih dveh letih
SPEI3_VEG_AVG2	najmanjši povprečen SPEI-3 med aprilom in septembrom v zadnjih treh letih
SPEI3_VEG_AVG3	najmanjši povprečen SPEI-3 med aprilom in septembrom v zadnjih štirih letih
SPEI3_VEG_AVG_KUM	najmanjši povprečen SPEI-3 med aprilom in septembrom do tekočega leta
SPEI3_VEG_MIN	minimalen SPEI-3 med aprilom in septembrom v tekočem letu
SPEI3_VEG_MIN1	najmanjši minimalen SPEI-3 med aprilom in septembrom v zadnjih dveh letih
SPEI3_VEG_MIN2	najmanjši minimalen SPEI-3 med aprilom in septembrom v zadnjih treh letih
SPEI3_VEG_MIN3	najmanjši minimalen SPEI-3 med aprilom in septembrom v zadnjih štirih letih
SPEI3_VEG_MIN_KUM	najmanjši minimalen SPEI-3 med aprilom in septembrom do tekočega leta
SPEI6_1_ST	SPEI-6 s pragom –1: število dogodkov v tekočem letu
SPEI6_1_ST1	SPEI-6 s pragom –1: število dogodkov v zadnjih dveh letih letu
SPEI6_1_ST2	SPEI-6 s pragom –1: število dogodkov v zadnjih treh letih letu
SPEI6_1_ST3	SPEI-6 s pragom –1: število dogodkov v zadnjih štirih letih letu
SPEI6_1_ST_KUM	SPEI-6 s pragom –1: število dogodkov kumulativno do tekočega leta
SPEI6_2_ST	SPEI-6 s pragom –2: število dogodkov v tekočem letu
SPEI6_2_ST1	SPEI-6 s pragom –2: število dogodkov v zadnjih dveh letih letu
SPEI6_2_ST2	SPEI-6 s pragom –2: število dogodkov v zadnjih treh letih letu
SPEI6_2_ST3	SPEI-6 s pragom –2: število dogodkov v zadnjih štirih letih letu

Spremenljivka	Opis
SPEI6_2_ST_KUM	SPEI-6 s pragom –2: število dogodkov kumulativno do tekočega leta
SPEI6_AVG	povprečen SPEI-6 v tekočem letu
SPEI6_AVG1	najmanjši povprečen SPEI-6 v zadnjih dveh letih
SPEI6_AVG2	najmanjši povprečen SPEI-6 v zadnjih treh letih
SPEI6_AVG3	najmanjši povprečen SPEI-6 v zadnjih štirih letih
SPEI6_AVG_KUM	najmanjši povprečen SPEI-6 do tekočega leta
SPEI6_MIN	minimalni SPEI-6 v tekočem letu
SPEI6_MIN1	najmanjši minimalni SPEI-6 v zadnjih dveh letih
SPEI6_MIN2	najmanjši minimalni SPEI-6 v zadnjih treh letih
SPEI6_MIN3	najmanjši minimalni SPEI-6 v zadnjih štirih letih
SPEI6_MIN_KUM	najmanjši minimalni SPEI-6 do tekočega leta
SPEI6_VEG_1_ST	SPEI-6 med aprilom in septembrom s pragom –1: število dogodkov v tekočem letu
SPEI6_VEG_1_ST1	SPEI-6 med aprilom in septembrom s pragom –1: število dogodkov v zadnjih dveh letih
SPEI6_VEG_1_ST2	SPEI-6 med aprilom in septembrom s pragom –1: število dogodkov v zadnjih treh letih
SPEI6_VEG_1_ST3	SPEI-6 med aprilom in septembrom s pragom –1: število dogodkov v zadnjih štirih letih
SPEI6_VEG_1_ST_KUM	SPEI-6 med aprilom in septembrom s pragom –1: število dogodkov kumulativno do tekočega leta
SPEI6_VEG_2_ST	SPEI-6 med aprilom in septembrom s pragom –2: število dogodkov v tekočem letu
SPEI6_VEG_2_ST1	SPEI-6 med aprilom in septembrom s pragom –2: število dogodkov v zadnjih dveh letih
SPEI6_VEG_2_ST2	SPEI-6 med aprilom in septembrom s pragom –2: število dogodkov v zadnjih treh letih
SPEI6_VEG_2_ST3	SPEI-6 med aprilom in septembrom s pragom –2: število dogodkov v zadnjih štirih letih
SPEI6_VEG_2_ST_KUM	SPEI-6 med aprilom in septembrom s pragom –2: število dogodkov kumulativno do tekočega leta
SPEI6_VEG_AVG	povprečen SPEI-6 med aprilom in septembrom v tekočem letu
SPEI6_VEG_AVG1	najmanjši povprečen SPEI-6 med aprilom in septembrom v zadnjih dveh letih
SPEI6_VEG_AVG2	najmanjši povprečen SPEI-6 med aprilom in septembrom v zadnjih treh letih
SPEI6_VEG_AVG3	najmanjši povprečen SPEI-6 med aprilom in septembrom v zadnjih štirih letih
SPEI6_VEG_AVG_KUM	najmanjši povprečen SPEI-6 med aprilom in septembrom do tekočega leta
SPEI6_VEG_MIN	minimalen SPEI-6 med aprilom in septembrom v tekočem letu
SPEI6_VEG_MIN1	najmanjši minimalen SPEI-6 med aprilom in septembrom v zadnjih dveh letih
SPEI6_VEG_MIN2	najmanjši minimalen SPEI-6 med aprilom in septembrom v zadnjih treh letih
SPEI6_VEG_MIN3	najmanjši minimalen SPEI-6 med aprilom in septembrom v zadnjih štirih letih
SPEI6_VEG_MIN_KUM	najmanjši minimalen SPEI-6 med aprilom in septembrom do tekočega leta
SPI1_1_ST	SPI-1 s pragom –1: število dogodkov v tekočem letu
SPI1_1_ST1	SPI-1 s pragom –1: število dogodkov v zadnjih dveh letih
SPI1_1_ST2	SPI-1 s pragom –1: število dogodkov v zadnjih treh letih
SPI1_1_ST3	SPI-1 s pragom –1: število dogodkov v zadnjih štirih letih
SPI1_1_ST_KUM	SPI-1 s pragom –1: število dogodkov kumulativno do tekočega leta
SPI1_2_ST	SPI-1 s pragom –2: število dogodkov v tekočem letu
SPI1_2_ST1	SPI-1 s pragom –2: število dogodkov v zadnjih dveh letih
SPI1_2_ST2	SPI-1 s pragom –2: število dogodkov v zadnjih treh letih
SPI1_2_ST3	SPI-1 s pragom –2: število dogodkov v zadnjih štirih letih
SPI1_2_ST_KUM	SPI-1 s pragom –2: število dogodkov kumulativno do tekočega leta
SPI1_AVG	povprečen SPI-1 v tekočem letu
SPI1_AVG1	najmanjši povprečen SPI-1 v zadnjih dveh letih
SPI1_AVG2	najmanjši povprečen SPI-1 v zadnjih treh letih
SPI1_AVG3	najmanjši povprečen SPI-1 v zadnjih štirih letih
SPI1_AVG_KUM	najmanjši povprečen SPI-1 do tekočega leta

Spremenljivka	Opis
SPI1_MIN	minimalni SPI-1 v tekočem letu
SPI1_MIN1	najmanjši minimalni SPI-1 v zadnjih dveh letih
SPI1_MIN2	najmanjši minimalni SPI-1 v zadnjih treh letih
SPI1_MIN3	najmanjši minimalni SPI-1 v zadnjih štirih letih
SPI1_MIN_KUM	najmanjši minimalni SPI-1 do tekočega leta
SPI1_VEG_1_ST	SPI-1 med aprilom in septembrom s pragom -1: število dogodkov v tekočem letu
SPI1_VEG_1_ST1	SPI-1 med aprilom in septembrom s pragom -1: število dogodkov v zadnjih dveh letih
SPI1_VEG_1_ST2	SPI-1 med aprilom in septembrom s pragom -1: število dogodkov v zadnjih treh letih
SPI1_VEG_1_ST3	SPI-1 med aprilom in septembrom s pragom -1: število dogodkov v zadnjih štirih letih
SPI1_VEG_1_ST_KUM	SPI-1 med aprilom in septembrom s pragom -1: število dogodkov kumulativno do tekočega leta
SPI1_VEG_2_ST	SPI-1 med aprilom in septembrom s pragom -2: število dogodkov v tekočem letu
SPI1_VEG_2_ST1	SPI-1 med aprilom in septembrom s pragom -2: število dogodkov v zadnjih dveh letih
SPI1_VEG_2_ST2	SPI-1 med aprilom in septembrom s pragom -2: število dogodkov v zadnjih treh letih
SPI1_VEG_2_ST3	SPI-1 med aprilom in septembrom s pragom -2: število dogodkov v zadnjih štirih letih
SPI1_VEG_2_ST_KUM	SPI-1 med aprilom in septembrom s pragom -2: število dogodkov kumulativno do tekočega leta
SPI1_VEG_AVG	povprečen SPI-1 med aprilom in septembrom v tekočem letu
SPI1_VEG_AVG1	najmanjši povprečen SPI-1 med aprilom in septembrom v zadnjih dveh letih
SPI1_VEG_AVG2	najmanjši povprečen SPI-1 med aprilom in septembrom v zadnjih treh letih
SPI1_VEG_AVG3	najmanjši povprečen SPI-1 med aprilom in septembrom v zadnjih štirih letih
SPI1_VEG_AVG_KUM	najmanjši povprečen SPI-1 med aprilom in septembrom do tekočega leta
SPI1_VEG_MIN	minimalen SPI-1 med aprilom in septembrom v tekočem letu
SPI1_VEG_MIN1	najmanjši minimalen SPI-1 med aprilom in septembrom v zadnjih dveh letih
SPI1_VEG_MIN2	najmanjši minimalen SPI-1 med aprilom in septembrom v zadnjih treh letih
SPI1_VEG_MIN3	najmanjši minimalen SPI-1 med aprilom in septembrom v zadnjih štirih letih
SPI1_VEG_MIN_KUM	najmanjši minimalen SPI-1 med aprilom in septembrom do tekočega leta
SPI3_1_ST	SPI-3 s pragom -1: število dogodkov v tekočem letu
SPI3_1_ST1	SPI-3 s pragom -1: število dogodkov v zadnjih dveh letih
SPI3_1_ST2	SPI-3 s pragom -1: število dogodkov v zadnjih treh letih
SPI3_1_ST3	SPI-3 s pragom -1: število dogodkov v zadnjih štirih letih
SPI3_1_ST_KUM	SPI-3 s pragom -1: število dogodkov kumulativno do tekočega leta
SPI3_2_ST	SPI-3 s pragom -2: število dogodkov v tekočem letu
SPI3_2_ST1	SPI-3 s pragom -2: število dogodkov v zadnjih dveh letih
SPI3_2_ST2	SPI-3 s pragom -2: število dogodkov v zadnjih treh letih
SPI3_2_ST3	SPI-3 s pragom -2: število dogodkov v zadnjih štirih letih
SPI3_2_ST_KUM	SPI-3 s pragom -2: število dogodkov kumulativno do tekočega leta
SPI3_AVG	povprečen SPI-3 v tekočem letu
SPI3_AVG1	najmanjši povprečen SPI-3 v zadnjih dveh letih
SPI3_AVG2	najmanjši povprečen SPI-3 v zadnjih treh letih
SPI3_AVG3	najmanjši povprečen SPI-3 v zadnjih štirih letih
SPI3_AVG_KUM	najmanjši povprečen SPI-3 do tekočega leta
SPI3_MIN	minimalni SPI-3 v tekočem letu
SPI3_MIN1	najmanjši minimalni SPI-3 v zadnjih dveh letih
SPI3_MIN2	najmanjši minimalni SPI-3 v zadnjih treh letih
SPI3_MIN3	najmanjši minimalni SPI-3 v zadnjih štirih letih
SPI3_MIN_KUM	najmanjši minimalni SPI-3 do tekočega leta
SPI3_VEG_1_ST	SPI-3 med aprilom in septembrom s pragom -1: število dogodkov v tekočem letu

Spremenljivka	Opis
SPI3_VEG_1_ST1	SPI-3 med aprilom in septembrom s pragom -1: število dogodkov v zadnjih dveh letih
SPI3_VEG_1_ST2	SPI-3 med aprilom in septembrom s pragom -1: število dogodkov v zadnjih treh letih
SPI3_VEG_1_ST3	SPI-3 med aprilom in septembrom s pragom -1: število dogodkov v zadnjih štirih letih
SPI3_VEG_1_ST_KUM	SPI-3 med aprilom in septembrom s pragom -1: število dogodkov kumulativno do tekočega leta
SPI3_VEG_2_ST	SPI-3 med aprilom in septembrom s pragom -2: število dogodkov v tekočem letu
SPI3_VEG_2_ST1	SPI-3 med aprilom in septembrom s pragom -2: število dogodkov v zadnjih dveh letih
SPI3_VEG_2_ST2	SPI-3 med aprilom in septembrom s pragom -2: število dogodkov v zadnjih treh letih
SPI3_VEG_2_ST3	SPI-3 med aprilom in septembrom s pragom -2: število dogodkov v zadnjih štirih letih
SPI3_VEG_2_ST_KUM	SPI-3 med aprilom in septembrom s pragom -2: število dogodkov kumulativno do tekočega leta
SPI3_VEG_AVG	povprečen SPI-3 med aprilom in septembrom v tekočem letu
SPI3_VEG_AVG1	najmanjši povprečen SPI-3 med aprilom in septembrom v zadnjih dveh letih
SPI3_VEG_AVG2	najmanjši povprečen SPI-3 med aprilom in septembrom v zadnjih treh letih
SPI3_VEG_AVG3	najmanjši povprečen SPI-3 med aprilom in septembrom v zadnjih štirih letih
SPI3_VEG_AVG_KUM	najmanjši povprečen SPI-3 med aprilom in septembrom do tekočega leta
SPI3_VEG_MIN	minimalen SPI-3 med aprilom in septembrom v tekočem letu
SPI3_VEG_MIN1	najmanjši minimalen SPI-3 med aprilom in septembrom v zadnjih dveh letih
SPI3_VEG_MIN2	najmanjši minimalen SPI-3 med aprilom in septembrom v zadnjih treh letih
SPI3_VEG_MIN3	najmanjši minimalen SPI-3 med aprilom in septembrom v zadnjih štirih letih
SPI3_VEG_MIN_KUM	najmanjši minimalen SPI-3 med aprilom in septembrom do tekočega leta
SPI6_1_ST	SPI-6 s pragom -1: število dogodkov v tekočem letu
SPI6_1_ST1	SPI-6 s pragom -1: število dogodkov v zadnjih dveh letih
SPI6_1_ST2	SPI-6 s pragom -1: število dogodkov v zadnjih treh letih
SPI6_1_ST3	SPI-6 s pragom -1: število dogodkov v zadnjih štirih letih
SPI6_1_ST_KUM	SPI-6 s pragom -1: število dogodkov kumulativno do tekočega leta
SPI6_2_ST	SPI-6 s pragom -2: število dogodkov v tekočem letu
SPI6_2_ST1	SPI-6 s pragom -2: število dogodkov v zadnjih dveh letih
SPI6_2_ST2	SPI-6 s pragom -2: število dogodkov v zadnjih treh letih
SPI6_2_ST3	SPI-6 s pragom -2: število dogodkov v zadnjih štirih letih
SPI6_2_ST_KUM	SPI-6 s pragom -2: število dogodkov kumulativno do tekočega leta
SPI6_AVG	povprečen SPI-6 v tekočem letu
SPI6_AVG1	najmanjši povprečen SPI-6 v zadnjih dveh letih
SPI6_AVG2	najmanjši povprečen SPI-6 v zadnjih treh letih
SPI6_AVG3	najmanjši povprečen SPI-6 v zadnjih štirih letih
SPI6_AVG_KUM	najmanjši povprečen SPI-6 do tekočega leta
SPI6_MIN	minimalni SPI-6 v tekočem letu
SPI6_MIN1	najmanjši minimalni SPI-6 v zadnjih dveh letih
SPI6_MIN2	najmanjši minimalni SPI-6 v zadnjih treh letih
SPI6_MIN3	najmanjši minimalni SPI-6 v zadnjih štirih letih
SPI6_MIN_KUM	najmanjši minimalni SPI-6 do tekočega leta
SPI6_VEG_1_ST	SPI-6 med aprilom in septembrom s pragom -1: število dogodkov v tekočem letu
SPI6_VEG_1_ST1	SPI-6 med aprilom in septembrom s pragom -1: število dogodkov v zadnjih dveh letih
SPI6_VEG_1_ST2	SPI-6 med aprilom in septembrom s pragom -1: število dogodkov v zadnjih treh letih
SPI6_VEG_1_ST3	SPI-6 med aprilom in septembrom s pragom -1: število dogodkov v zadnjih štirih letih

Spremenljivka	Opis
SPI6_VEG_1_ST_KUM	SPI-6 med aprilom in septembrom s pragom -1: število dogodkov kumulativno do tekočega leta
SPI6_VEG_2_ST	SPI-6 med aprilom in septembrom s pragom -2: število dogodkov v tekočem letu
SPI6_VEG_2_ST1	SPI-6 med aprilom in septembrom s pragom -2: število dogodkov v zadnjih dveh letih
SPI6_VEG_2_ST2	SPI-6 med aprilom in septembrom s pragom -2: število dogodkov v zadnjih treh letih
SPI6_VEG_2_ST3	SPI-6 med aprilom in septembrom s pragom -2: število dogodkov v zadnjih štirih letih
SPI6_VEG_2_ST_KUM	SPI-6 med aprilom in septembrom s pragom -2: število dogodkov kumulativno do tekočega leta
SPI6_VEG_AVG	povprečen SPI-6 med aprilom in septembrom v tekočem letu
SPI6_VEG_AVG1	najmanjši povprečen SPI-6 med aprilom in septembrom v zadnjih dveh letih
SPI6_VEG_AVG2	najmanjši povprečen SPI-6 med aprilom in septembrom v zadnjih treh letih
SPI6_VEG_AVG3	najmanjši povprečen SPI-6 med aprilom in septembrom v zadnjih štirih letih
SPI6_VEG_AVG_KUM	najmanjši povprečen SPI-6 med aprilom in septembrom do tekočega leta
SPI6_VEG_MIN	minimalen SPI-6 med aprilom in septembrom v tekočem letu
SPI6_VEG_MIN1	najmanjši minimalen SPI-6 med aprilom in septembrom v zadnjih dveh letih
SPI6_VEG_MIN2	najmanjši minimalen SPI-6 med aprilom in septembrom v zadnjih treh letih
SPI6_VEG_MIN3	najmanjši minimalen SPI-6 med aprilom in septembrom v zadnjih štirih letih
SPI6_VEG_MIN_KUM	najmanjši minimalen SPI-6 med aprilom in septembrom do tekočega leta

6 Viri

- Bates D., Mächler M., Bolker B., Walker S. 2015. Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. *Journal of Statistical Software*, 67, 1: 1 - 48. [10.18637/jss.v067.i01](https://doi.org/10.18637/jss.v067.i01)
- Beguería S., Vicente-Serrano S.M. 2017. SPEI: Calculation of the Standardised Precipitation-Evapotranspiration Index, R package version 1.7. <https://CRAN.R-project.org/package=SPEI>
- Bertalančič R., Dolinar M., Draksler A., Honzak L., Kobold M., Kozjek K., Lokošek N., Medved A., Vertačnik G., Vlahović Ž., Žust A. 2018. Ocena podnebnih sprememb v Sloveniji do konca 21. stoletja: sintezno poročilo. Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija Republike Slovenije za okolje: 156 str.
- Europe F. 2020. State of Europe's Forests 2020. Ministerial Conference on the Protection of Forests in Europe: 394 str. <https://foresteurope.org/>
- FAO, IIASA, ISRIC, ISS-CAS, JRC. 2009. Harmonized world soil database (version 1.2). FAO, Rome, Italy and IIASA, Laxenburg, Austria. <https://www.fao.org/soils-portal/data-hub/soil-maps-and-databases/harmonized-world-soil-database-v12/en/> (15.8.2022)
- GIS. 2022. Podatkovna zbirka o spremljanju stanja gozdov v Sloveniji na sistematični mreži 16 × 16 km. Ljubljana, Gozdarski inštitut Slovenije
- Hijmans R.J. 2022. raster: Geographic Data Analysis and Modeling. R package version 3.5-21. <https://CRAN.R-project.org/package=raster>.
- Knisel W.G., Davis F.M. 2000. GLEAMS: ground loading effects of agricultural management systems. Version 3.0. User manual. Southeast Watershed Research Laboratory, SEWRL-WGK/FMD-050199: 194 str.
- Kovač M. (ed.) 2014. Monitoring gozdov in gozdnih ekosistemov: Priročnik za terensko snemanje podatkov. Studia Forestalia Slovenica. Ljubljana, Gozdarski inštitut Slovenije, Založba Silva Slovenica: 228 str.
- Kovač M., Skudnik M., Japelj A., Planinšek Š., Vochl S. 2014. Gozdna inventura. V: Monitoring gozdov in gozdnih ekosistemov: Priročnik za terensko snemanje podatkov. Kovač M. (ed.). Ljubljana, Gozdarski inštitut Slovenije, Založba Silva Slovenica: 7-111
- McKee T.B., Doesken N.J., Kleist J. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. Eighth Conference on Applied Climatology, 17-22 January 1993, Anaheim, California. American Meteorological Society: 179-184 str.
- MKGP. 2016. Poročilo o izvajanju Nacionalnega gozdnega programa do 2014. Ljubljana, Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano: 97 str.
- Novak M., Bavec M., Trajanova M. 2014. Litološka karta Slovenije. Geološki zavod Slovenije. <https://egeologija.si/geonetwork/srv/slv/catalog.search#/metadata/8c21f080-854a-4df5-8d1a-86abb01af919> (23.1.2023)
- OECD. 2021. Forest resources (indicator). Organisation for Economic Co-operation and Development. <http://doi.org/10.1787/2546ca0a-en> (23.5.2021)
- Ogris N. 2007. Model zdravja gozdov v Sloveniji: doktorska disertacija. Ljubljana, [N. Ogris]: 138 str.
- Ogris N., Skudnik M. 2021. V Sloveniji se povečuje osutost bukove krošnje. *Gozdarski vestnik*, 79, 5-6: 226-237
- PEDKRS. 1999. Pedološko rekartiranje in digitalizacija pedoloških kart Republike Slovenije v merilu 1:25.000 kot osnove za določitev talnega potenciala: digitalna pedološka karta, pedološki profili. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo, Center za pedologijo in varstvo okolja: 20 str.

- Pierce D. 2021. ncd4: Interface to Unidata netCDF (Version 4 or Earlier) Format Data Files.
<https://CRAN.R-project.org/package=ncdf4>
- RS. 2009. Pravilnik o varstvu gozdov. Uradni list RS, 114/2009, 31/2016 in 52/2022
- Skudnik M., Planinšek Š. 2020. Spremljanje gozdov v letu 2019, Raven I. V: Poročilo o spremljanju stanja gozdov za leto 2019. Planinšek Š., Žlindra D. (eds.). Ljubljana, Gozdarski inštitut Slovenije: 9-18
- Team R.C. 2022. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.
- Vicente-Serrano S.M., Beguería S., López-Moreno J.I. 2010. A multiscalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of Climate*, 23, 7: 1696-1718. 10.1175/2009jcli2909.1
- ZGS. 2021. Gozdni fondi. Podatkovna zbirka. Zavod za gozdove Slovenije