



GOZDARSKI INŠTITUT SLOVENIJE
SLOVENIAN FORESTRY INSTITUTE

Večna pot 2, SI-1000 Ljubljana

Zaključno poročilo - Mejniki 2

Nadgradnja podatkov o fenološkem razvoju rastlin v spremenjenem podnebju (pogodba št. 2551-21-700022)

Gozdarski inštitut Slovenije
Oddelek za gozdno ekologijo
Gal Oblišar in Urša Vilhar

Ljubljana, 31. avgust 2022

Naročnik:
Ministrstvo za okolje in prostor
Agencija Republike Slovenije
Vojkova 1b
SI – 1000 Ljubljana

tel.: +386 (0)1 200 78 00/ fax: +386 (0)1 257 35 89/ www.gozdis.si

identifikacijska številka za DDV: SI37808052/ matična številka: 5051673/ podračun pri UJO: 0100 0603 0347 734



Kazalo

Uvod.....	3
Naloga 1.....	3
Naloga 2.....	19
Naloga 3.....	21
Naloga 4.....	24
Pregled pomladanskih fenoloških indeksov.....	24
Švicarski pomladanski fenološki indeks.....	24
Ameriški pomladanski fenološki indeks.....	25
Kitajski pomladanski fenološki indeks.....	28
Kanadski pomladanski fenološki indeks začetka cvetenja.....	29
Naloga 5.....	30
Naloga 6.....	44
Naloga 7.....	46
Ostalo.....	47
Sestanki z naročnikom in spremljanje poteka dela na nalogi.....	47
Viri.....	48



Uvod

Za nalogo »Nadgradnja podatkov o fenološkem razvoju rastlin v spremenjenem podnebnju« smo pripravili končno poročilo v skladu s pogodbo št. 2551-21-700022 za Mejniki 1: Naloge 1, 2, 3 in 4 (datum izvedbe 29. 11. 2021) ter

Mejniki 2: Naloge 5, 6 in 7 (datum izvedbe 31. 8. 2022).

V skladu s prijavo sta delo na nalogi opravljala Gal Oblišar in Urša Vilhar z Gozdarskega inštituta Slovenije, v nadaljevanju »izvajalec«.

Delo poteka v skladu z načrtom. Podrobnejše poročilo o opravljenih nalogah sledi spodaj.

Naloga 1

Opis: Izbor primernih fenoloških postaj z dolgoletnim in homogenim nizom podatkov izbranih rastlin in faz iz nabora postaj monitoringa naročnika, ki bodo razširile že opravljene analize znotraj projekta. Priprava programa za obdelavo, interpolacijo manjkajočih obdobij in izračun fenoloških kazalcev z izbrano metodo, ki jo predlaga izvajalec in potrdi naročnik.

Poročilo: Naročnik je izvajalcu posredoval dolgoletne podatke 51 fenoloških postaj za 13 negojenih rastlinskih vrst:

- bukev, smreka, breza, leska, lipa, divji kostanj, črni bezeg, španski bezeg, mali zvonček, regrat, iva, pasja trava in ivanjščica,

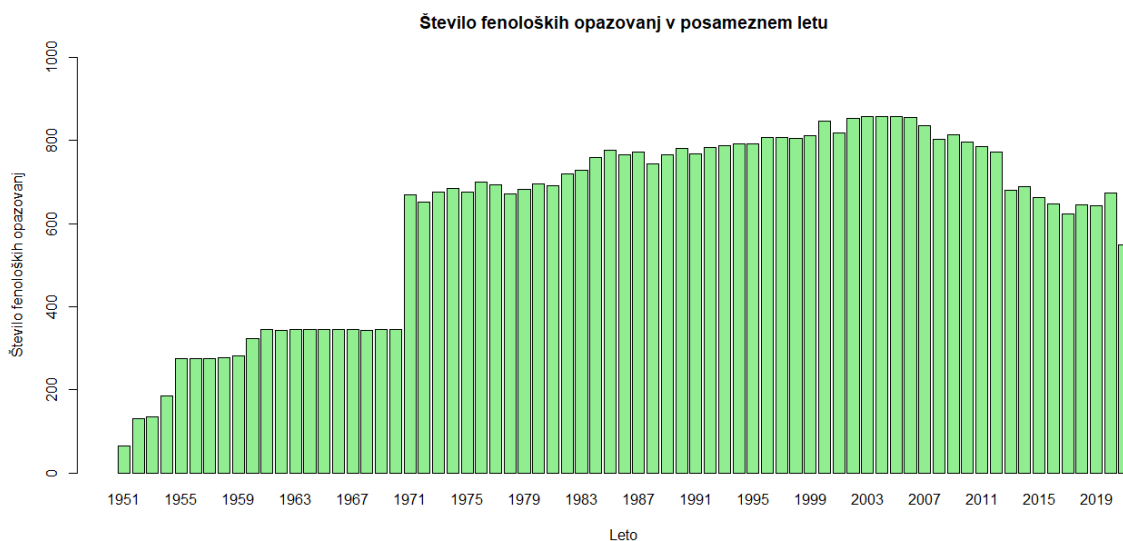
ter 8 fenoloških faz:

- mladi poganjki, prvi listi, prvi cvetovi, začetek cvetenja, splošno cvetenje, začetek latenja, splošno rumenenje listja, prašenje mačic. Fenološke faze so podrobneje



opisane v publikaciji »Fenologija v Sloveniji: Priročnik za fenološka opazovanja« (Žust, 2015).

Podatki so bili od leta 1951 do 2021, pri čemer so med fenološkimi postajami precejšnje razlike po zastopanosti rastlinskih vrst, časovni pokritosti oziroma dolžini opazovanj (Slika 1), številu manjkajočih let ter zanesljivosti podatkov (Preglednica 1).



Slika 1. Število fenoloških opazovanj za vse izbrane rastlinske vrste in fenološke faze na fenoloških postajah v posameznem letu

Pri prvem pregledu fenoloških podatkov v bazi, ki jo je posredoval naročnik, je izvajalec ugotovil, da podatkovni nizi niso homogenizirani ter je potrebno izvesti osnovno kontrolo podatkov. Izvajalec je pripravil pregled literature in predlagal metodologijo za kontrolo podatkov ter jo na več sestankih predstavil in usklajeval z naročnikom. Izvajalec je naročniku predlagal kot primer pristop Švicarske fenološke službe h kontroli podatkov in njihovi homogenizaciji (Auchmann in sod., 2018; Brugnara in sod., 2020). Ta pristop je preobsežen, zato ga je izvajalec v soglasju z naročnikom prilagodil za potrebe te naloge.



Za izbor niza fenoloških podatkov na izbranih fenoloških postajah smo uporabili naslednje kriterije v skladu iz »COS Climate Monitoring principles« (WMO 2016):

- Časovna pokritost oziroma dolžina opazovanj v letih,
- Začetno leto,
- Končno leto,
- Število manjkajočih let
- Zanesljivost / število podatkov v nizu, označenih z zastavico glede na izbrani kriterij.



Preglednica 1. Delež (%) fenoloških opazovanj po posameznih rastlinskih vrstah in fenoloških fazah na izbranih fenoloških postajah v letih od 1971 do 2020

Ras tlina	Fenofaza / Postaja	BIL	B IZ	B OC	B RO	B UK	B UZ	C ER	D OB	D RB	GO M	GR M	H OP	IV C	JA V	K PC	K OB	K OP	L ES	LJ B	L UC	M BT	M OK	M OZ	N EB	N OV	N OL	N ME	P PG	P OG	P OL	P OD	P RL	P OS	R AK	R AT	RI Z	R OV	SE V	SL K	S OR	ST A	SS G	TO M	T RE	V AC	V EL	VZ M	VR H	Z BI	ZJ E	ZI B																
BUK EV	prvi listi	0	9	10	0	46	10	98	0	0	0	80	10	9	9	96	92	82	9	1	1	0	96	88	80	0	10	10	0	92	9	0	92	10	0	0	0	98	0	98	9	8	10	6	0	0	10	0	84	9	10	10	0	8	0	1	0	0										
	splošno rumene nje listja	0	9	0	96	0	48	10	98	0	0	0	78	96	8	6	0	92	76	6	0	1	1	0	96	86	76	0	94	10	0	92	8	4	0	90	10	0	0	0	96	0	96	9	9	10	6	0	0	0	98	84	9	10	0	98	0	8	0	1	0	0						
ČRN I BEZ EG	začetek cvetenja	100	9	6	98	82	50	10	0	94	0	78	82	78	98	8	6	0	90	0	6	0	0	0	88	78	96	98	98	94	2	9	98	94	98	8	0	98	96	8	96	0	0	0	0	1	0	9	6	86	10	0	84	9	10	10	8	9	0	0	1	0	0					
	prvi listi	94	9	8	92	80	32	10	0	98	0	78	82	80	64	8	0	98	94	0	6	0	0	72	88	78	0	0	10	0	94	0	98	86	0	98	86	0	98	1	1	0	0	0	0	98	0	0	1	0	0	0	9	8	86	10	0	0	0	9	10	10	8	9	0	0	1	0
DIVJ I KOS TAN J	splošno cvetenje	84	9	2	10	0	82	38	10	0	98	0	78	82	80	0	8	0	92	0	4	0	0	72	86	80	0	0	10	0	94	0	98	88	0	98	1	1	0	0	0	0	98	0	0	1	0	0	0	9	8	84	10	0	0	0	9	10	10	8	9	0	0	1	0	0		
	začetek cvetenja	84	9	2	10	0	82	38	10	0	98	0	78	82	80	0	8	0	92	0	4	0	0	72	86	80	0	0	10	0	94	0	98	90	0	98	1	1	0	0	0	0	98	0	0	1	0	0	0	9	8	86	10	0	0	0	9	10	10	8	9	0	0	1	0	0		
IVA	začetek cvetenja	88	9	0	94	64	48	10	0	96	88	0	72	78	92	8	6	94	92	0	0	0	4	10	88	78	84	92	98	94	0	96	86	96	0	0	94	98	0	94	9	0	0	96	8	6	0	0	84	0	0	8	10	10	0	0	0	0	1	0	0							
	prvi cvetovi	96	9	0	96	78	50	10	0	96	10	0	78	66	80	84	9	9	10	0	90	0	6	0	74	86	78	88	88	90	94	7	8	98	90	98	0	0	90	92	4	96	8	8	9	10	0	0	0	9	6	86	10	0	84	9	10	10	8	9	0	0	1	0	0			
LIP A	prvi listi	80	9	4	90	80	50	10	0	98	10	0	76	0	0	0	0	9	10	0	88	0	6	0	6	0	2	68	88	80	0	98	98	94	0	98	90	10	0	0	8	98	98	7	8	92	0	0	0	0	2	2	86	0	84	9	10	10	0	0	9	0	0	1	0	0		
	splošno rumene nje listja	78	9	6	92	76	50	10	0	96	92	74	0	0	0	0	0	9	6	96	88	0	6	0	4	66	84	76	0	98	10	0	92	7	4	98	84	10	0	0	6	94	96	7	4	94	0	0	0	8	0	82	0	84	9	10	10	0	0	7	8	0	0	1	0	0		
MAL I ZVO NČE K	začetek cvetenja	0	9	0	92	78	50	10	0	94	10	0	78	0	0	0	0	9	4	98	84	0	6	0	0	6	0	2	68	88	76	0	96	96	94	7	6	98	86	10	0	0	8	98	96	7	6	92	0	0	9	9	0	98	0	84	9	10	10	0	0	7	9	0	0	1	0	0
	prvi cvetovi	94	9	2	92	76	44	10	0	94	90	0	74	80	94	0	6	98	88	0	4	0	6	10	88	76	98	88	98	94	8	4	96	84	10	0	0	0	98	60	0	7	4	96	0	0	0	9	9	0	98	0	84	8	10	10	0	0	7	6	0	0	1	0	0			
NAV ADN A	prvi listi	96	9	6	96	78	50	10	0	98	96	0	82	72	10	9	9	10	0	64	0	6	0	0	0	88	80	0	98	10	0	94	2	9	96	96	10	0	0	0	98	96	0	96	8	8	90	1	0	0	9	8	0	0	10	10	10	0	0	7	9	0	0	1	0	0		



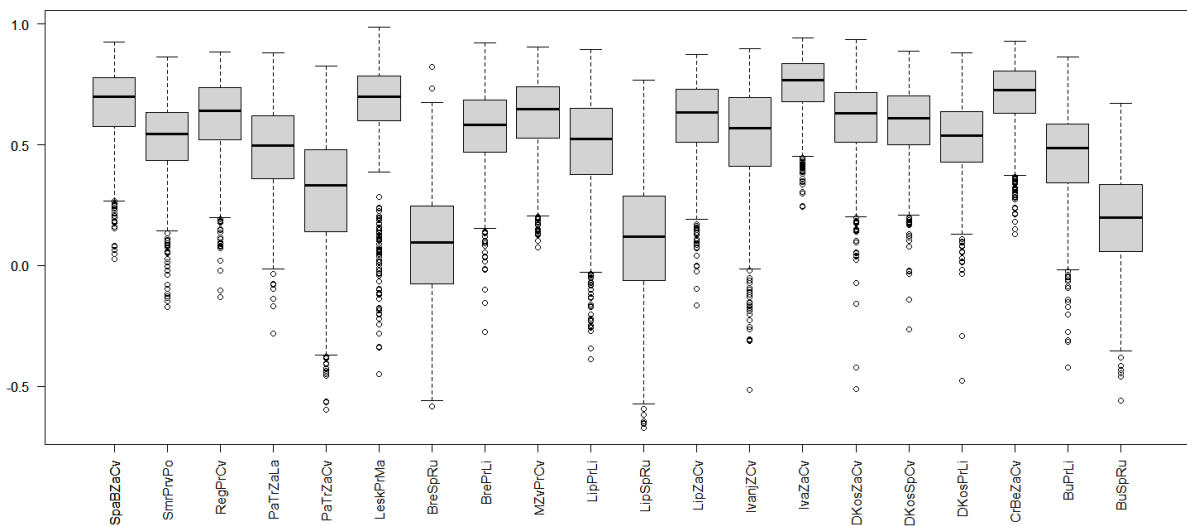
Preglednica 2. Kratice in imena fenoloških postaj

Kratice	Fenološka postaja
BIL	BILJE
BIZ	BIZELJSKO
BOC	BOHINJSKA ČEŠNJICA
BRO	BROD
BUK	BUKOVCI
BUZ	BUKOVŽLAK
CER	CERKNICA
DOB	DOBLIČE
DRB	DOBRAVLJE-BRJE
GOM	GOMILSKO
GRM	GRM
HOP	HOČKO POHORJE
IVC	IVANOVCI
JAV	JAVOR
KPC	KADRENCI PRI CERKVENJAKU
KOB	KOBARID
KOP	KOPRIVNIK
LES	LESCE
LJB	LJUBLJANA-BEŽIGRAD
LUC	LUČE
MBT	MARIBOR-TEZNO
MOK	MOKRONOG
MOZ	MOZIRJE
NEB	NEBLO
NOV	NOVAKI
NOL	NOVI LAZI
NME	NOVO MESTO
PPG	PLANINA POD GOLICO
POG	PODGRAD
POL	PODLEHNIK
POD	PODLIPJE
PRL	PORTOROŽ-LETALIŠČE
POS	POSTOJNA
RAK	RAKIČAN
RAT	RATEČE
RIZ	RIŽANA
ROV	ROVTE
SEV	SEVNO
SLK	SLOVENSKE KONJICE

tel.: +386 (0)1 200 78 00/ fax: +386 (0)1 257 35 89/ www.gozdis.si



SOR	SORICA
STA	STARŠE
SSG	ŠMARTNO PRI SLOVENJ GRADCU
TOM	TOMAJ
TRE	TRENTA
VAC	VAČE
VEL	VELENJE
VZM	VRH NAD ŽELIMLJAMI
VRH	VRHNIKA
ZBI	ZGORNJE BITNJE
ZJE	ZGORNJE JEZERSKO
ZIB	ZIBIKA



Slika 2. Korelacije posameznih fenoloških faz rastlin med različnimi fenološkimi postajami.



Preglednica 3. Razvrstitev fenoloških postaj v fenološke regije v Sloveniji (ARSO)

Šifra	Postaja	regija	nv	gkx	gky	datum	dogodek	leto_dogodka
76	DOBRAVLJE-BRJE	Obala in slovenska Istra, vipavsko-goriško primorje	169.2	408600	81191	01/02/2018	ZAČETEK	2018
94	BILJE	Obala in slovenska Istra, vipavsko-goriško primorje	55	393656.8	84488.42	01/01/1989	sprememba lokacije	1989
115	PORTOROŽ-LETALIŠČE	Obala in slovenska Istra, vipavsko-goriško primorje	2	391870	38570	01/01/1992	sprememba lokacije	1992
172	NEBLO	Obala in slovenska Istra, vipavsko-goriško primorje	92.6	384424	97088	01/02/2016	ZAČETEK	2016
192	RIŽANA	Obala in slovenska Istra, vipavsko-goriško primorje	80	410210	45690	01/01/1979	sprememba lokacije	1979
46	PODGRAD	Kras in Brkini	559	433176	42603	01/01/2020	ZAČETEK	2020
166	TOMAJ	Kras in Brkini	326	410604	68585	31/08/2020	KONEC	2020
56	KOBARID	Soška dolina do Kobarida	263	390780	123810	31/12/2017	KONEC	2017
51	ZGORNJE JEZERSKO	Julijsko-karavanško področje z obrobjem	879	463200	140540	01/01/2016	sprememba lokacije	2016
103	PLANINA POD GOLICO	Julijsko-karavanško področje z obrobjem	1050	428320	147340	31/12/2017	KONEC	2017
128	RATEČE	Julijsko-karavanško področje z obrobjem	864	401540	151140	01/01/1995	sprememba lokacije	1995
136	KOPRIVNIK	Julijsko-karavanško področje z obrobjem	971	421710	130750	21/08/2013	KONEC	2013
149	SORICA	Julijsko-karavanško področje z obrobjem	820	425420	119590	01/01/1988	sprememba lokacije	1988
153	BOHINJSKA ČEŠNJICA	Julijsko-karavanško področje z obrobjem	620	418900	128310	01/06/1989	sprememba lokacije	1989



171	TRENTA	Julijsko-karavanško področje z obrobjem	622	403860	138410	01/01/1987	sprememba lokacije	1987
186	ZGORNJE BITNJE	Julijsko-karavanško področje z obrobjem	378	449850	119340	31/12/2011	KONEC	2011
191	LESCE	Julijsko-karavanško področje z obrobjem	515	437150	134270	01/01/2015	sprememba lokacije	2015
55	VAČE	Ljubljanska kotlina	523	488400	108030	31/12/2012	KONEC	2012
78	LJUBLJANA-BEŽIGRAD	Ljubljanska kotlina	299	462610	102580	22/09/1956	ZAČETEK	1956
120	JAVOR	Ljubljanska kotlina	608	474340	98010	01/02/2001	sprememba lokacije	2001
184	VRHNIKA	Ljubljanska kotlina	293	445750	91590	01/01/1991	sprememba lokacije	1991
190	VRH NAD ŽELIMLJAMI	Ljubljanska kotlina	516	468660	84585	10/02/2020	sprememba imena	2020
16	CERKNICA	Notranjsko-kočevsko področje	583.6	451366	71947	10/02/2018	sprememba lokacije	2018
57	NOVI LAZI	Notranjsko-kočevsko področje	540	489280	46320	01/04/2002	sprememba lokacije	2002
116	POSTOJNA	Notranjsko-kočevsko področje	533	437780	69440	01/01/1955	sprememba imena	1955
135	ROVTE	Notranjsko-kočevsko področje	705	436730	93530	01/01/1991	sprememba lokacije	1991
95	NOVAKI	Škofjeloško-cerkljanski del	650	426620	112160	01/01/1978	sprememba lokacije	1978
15	BUKOVŽLAK	Savinjska dolina s Celjem	266	519460	122280	31/01/2002	sprememba lokacije	2002
92	MOZIRJE	Savinjska dolina s Celjem	347	497430	132100	01/05/2010	KONEC	2010
144	SLOVENSKE KONJICE	Savinjska dolina s Celjem	332	533350	132190	31/12/2016	KONEC	2016



147	LUČE	Savinjska dolina s Celjem	520	480690	134540	01/01/1979	sprememba lokacije	1979
196	ZIBIKA	Savinjska dolina s Celjem	235	545020	115590	12/09/1989	sprememba lokacije	1989
197	GOMILSKO	Savinjska dolina s Celjem	294	503910	122530	01/01/1980	ZAČETEK	1980
109	PODLIPJE	Dravska dolina s Koroško in obrobjem Pohorja	810	512760	165450	01/01/1986	sprememba lokacije	1986
167	HOČKO POHORJE	Dravska dolina s Koroško in obrobjem Pohorja	650	546060	148940	01/04/1987	sprememba lokacije	1987
168	ŠMARTNO PRI SLOVENJ GRADCU	Dravska dolina s Koroško in obrobjem Pohorja	438	508950	148780	01/01/1995	sprememba lokacije	1995
173	VELENJE	Dravska dolina s Koroško in obrobjem Pohorja	393.4	508407	135839	01/01/2018	ZAČETEK	2018
41	GRM	Dolenjska	330	490200	89070	31/03/2012	KONEC	2012
87	MOKRONOG	Dolenjska	251	511620	89510	05/09/2014	KONEC	2014
99	NOVO MESTO	Dolenjska	220	514160	72510	01/07/2017	KONEC	2017
141	SEVNO	Dolenjska	501	494477	92825	23/03/2019	ZAČETEK	2019
7	BIZELJSKO	Spodnji tok Krke in Posavje	176.1	553897	97123	01/08/2013	ZACETEK	2013
200	BROD	Spodnji tok Krke in Posavje	147	535710	80190	22/09/1980	ZAČETEK	1980
22	DOBLIČE	Bela Krajina	157	511770	46200	01/01/1989	sprememba lokacije	1989
83	MARIBOR-TEZNO	Podravje	275	549850	154530	01/01/2000	sprememba lokacije	2000
108	PODLEHNIK	Podravje	320	567970	134330	23/02/2002	sprememba lokacije	2002
156	STARŠE	Podravje	237	558870	147200	01/01/1989	sprememba lokacije	1989
204	BUKOVCI	Podravje	216	573910	138200	01/01/1996	ZAČETEK	1996



GOZDARSKI INŠTITUT SLOVENIJE
SLOVENIAN FORESTRY INSTITUTE

Večna pot 2, SI-1000 Ljubljana

52	KADRENCI PRI CERKVENJAKU	Slovenske Gorice	316	573600	158390	01/12/1956	ZAČETEK	1956
93	RAKIČAN	Pomurje z Goričkim	190	591840	167990	12/06/1985	sprememba lokacije	1985
175	IVANOVCI	Pomurje z Goričkim	347.5	594515	179259	01/02/2020	ZAČETEK	2020

tel.: +386 (0)1 200 78 00/ fax: +386 (0)1 257 35 89/ www.gozdis.si

identifikacijska številka za DDV: SI37808052/ matična številka: 5051673/ podračun pri UJO: 0100 0603 0347 734



V prvem koraku smo izvedli analizo deleža fenoloških opazovanj po posameznih rastlinskih vrstah in fenoloških fazah na izbranih fenoloških postajah v letih od 1971 do 2020 (Preglednica 2). Največ fenoloških podatkov med vsemi zajetimi postajami je bilo za naslednje nize fenoloških faz in rastlin:

- regrat - prvi cvetovi,
- črni bezeg - začetek cvetenja,
- španski bezeg - začetek cvetenja,
- navadna leska - prašenje mačic in
- smreka - mladi poganjki.

V drugem koraku smo ugotavljali zanesljivost podatkov in posamezna fenološka opazovanja označili z zastavicami. Kot prvi kriterij smo upoštevali 2σ oz. $2x$ standardni odklon v normalni porazdelitvi posamezne fenološke faze za izbrano rastlino na izbrani fenološki postaji. Ker je bilo število z zastavico označenih fenoloških opazovanj preveliko za ročno preverjanje strokovnjakov za fenologijo pri naročniku, smo uporabili drug kriterij: ujemanje povprečne mesečne temperature dveh mesecev pred nastopom fenološke faze ter izbrane fenološke faze na posamezni postaji s standardiziranimi ostanki regresijske analize v intervalu -2 do $-2,5$ in 2 do $2,5$ kot napako in v intervalu pod $-2,5$ in nad $2,5$ kot večjo napako v opazovanem fenološkem podatku, ki je sledila metodologiji (Brugnara in sod., 2020).

Podatke o mesečnih temperaturah zraka smo izračunali iz dnevni temperatur zraka, ki jih je posredoval naročnik, preračunanih na lokacije fenoloških postaj na podlagi rastrov iz baze EOBS po prilagojeni metodologiji Huld in Pascua (2015).

Fenološka postaja Koprivnik je bila izpuščena, ker ima premalo podatkov, postaje Hočko Pohorje, Neblo in Sevno pa niso imele temperaturnih nizov.

Za analizo so bile v dogovoru z naročnikom uporabljene fenološke faze za rastline, za katere smo ugotovili najvišji koeficient korelacije med fenološkimi postajami in sicer:

- navadna leska - prašenje mačic,
- regrat - prvi cvetovi in
- španski bezeg - začetek cvetenja.

Nato je bila izvedena interpolacija manjkajočih obdobj., ki je bazirala na metodologiji (Brugnara in sod., 2020). Najprej so bile izbrane skupine postaj (Slika 4. in Preglednica 4.), ki so imele najvišjo korelacijo med uporabljenimi fenološkimi fazami. Manjkajoči podatki



so bili dopolnjeni glede na odklon posamezne skupine postaj v posameznem letu in povprečjem same postaje z manjkajočim podatkom. Pregled števila analiziranih in dopoljenih fenoloških podatkov je predstavljen v Preglednici 5.



Slika 4: Skupine postaj z najvišjo korelacijo preučevanih fenoloških faz in rastlin



Preglednica 4. Skupine postaj z najvišjo korelacijo preučevanih fenoloških faz in rastlin z navedeno nadmorsko višino fenološke postaje

SKUPINA 1 (KORELACIJA 0,66)

POSTAJE: BILJE (55M); PORTOROŽ-LETALIŠČE (2M); RIŽANA (80M)

SKUPINA 2 (KORELACIJA 0,78)

POSTAJE: DOBRAVLJE-BRIJE (169M); TOMAJ (326M); KOBARID (263M)

SKUPINA 3 (KORELACIJA 0,70)

POSTAJE: NOVAKI (650M); ROVTE (705M); CERKNICA (584M); POSTOJNA (533M); JAVOR (608M);
PODGRAD (559M)

SKUPINA 4 (KORELACIJA 0,72)

POSTAJE: NOVI LAZI (540M); GRM (330M); DOBLIČE (157M); MOKRONOG (251M); NOVO MESTO
(220M); BROD (147M)

SKUPINA 5 (KORELACIJA 0,82)

POSTAJE: LJ-BEŽIGRAD (299M); VRH NAD ŽELIMLJAMI (516M); VAČE (523M); VRHNIKA (293M);
ZGORNJE BITNJE (378M); LESCE (515M)

SKUPINA 6 (KORELACIJA 0,68)

POSTAJE: TRENTA (622M); BOHINJSKA ČEŠNJICA (620M); SORICA (820M); PLANINA POD GOLICO
(1050M); RATEČE (864M); ZG. JEZERSKO (879M)

SKUPINA 7 (KORELACIJA 0,73)

POSTAJE: LUČE (520M); ŠMARTNO PRI SLOVENJ GRADCU (438M); PODLIPJE (810M)

SKUPINA 8 (KORELACIJA 0,80)

POSTAJE: MOZIRJE (347M); VELENJE (393M); GOMILSKO (294M); BUKOVŽLAK (266M)

SKUPINA 9 (KORELACIJA 0,75)

POSTAJE: SLOVENSKE KONJICE (332M); BIZELJSKO (176M); STARŠE (237M); PODLEHNIK (320M);
ZIBIKA (235M)

SKUPINA 10 (KORELACIJA 0,74)

POSTAJE: BUKOVCI (216M); IVANOVCI (348M); RAKIČAN (190M); KADRENCI PRI CERKVENJAKU
(316M); MARIBOR-TEZNO (275M)



Preglednica 5. Pregled podatkov za izbrane fenološke faze

	Izbrisani podatki	Sprejeti podatki	Dopolnjeni podatki	Manjkajoči podatki	Manjkajoči celi nizi
Regrat	73	128	193	25	0
Španski bezeg	22	144	158	48	0
Leska	48	144	188	79	1 (50)

Naloga 2

Opis: Izračun podnebnih trendov (trendi sprememb za obdobje 1971-2020) po metodologiji projekta OPS21 (opis v prvem Sinteznem poročilu projekta) za vse izbrane postaje.

Poročilo: Za analizo so bile izbrane fenološke faze začetka prašenja mačic navadne leske, začetek cvetenja regrata in začetek cvetenja španskega bezga. V Preglednici 6 so predstavljeni linearni trendi po metodologiji OPS21 za obdobje 1971 – 2020 izbranih fenoloških faz rastlin v dnevih na desetletje za vse izbrane fenološke postaje.

Preglednica 6. Trend spremembe v dnevih na desetletje posameznih fenoloških faz v obdobju 1971- 2020 (dan desetletje¹)

Postaja	Leska (začetek prašenja mačic)	Regrat (začetek cvetenja)	Španski bezeg (začetek cvetenja)
BIZELJSKO	-5.30	-5.70	-2.83
BUKOVŽLAK	-8.99	-3.33	-3.85
CERKNICA	-6.07	-2.78	-5.60
DOBLIČE	-2.34	1.97	0.86
GRM	-1.44	-1.07	-4.37
PODGRAD	0.16	-4.74	-0.21
ZGORNJE JEZERSKO	NA	-2.44	-3.25
KADR. PRI CERKVENJAKU	-7.13	-2.71	-3.58
VAČE	-1.78	-1.60	-2.60
KOBARID	-1.18	-2.78	-3.91
NOVI LAZI	-5.03	-0.98	-3.68
DOBRAVLJE-BRJE	-0.31	-3.62	-1.81
LJUBLJANA-BEŽIGRAD	-4.73	-1.02	-3.78
MARIBOR-TEZNO	-3.25	-1.22	-3.33
MOKRONOG	-3.29	-0.35	-3.38
MOZIRJE	-1.42	-1.16	-3.97
RAKIČAN	-2.40	-2.19	-3.37
BILJE	-0.07	0.21	-0.82
NOVAKI	-4.87	-1.24	-4.29
NOVO MESTO	-3.12	-1.56	-3.32
PLANINA POD GOLICO	-2.74	-3.38	-2.62

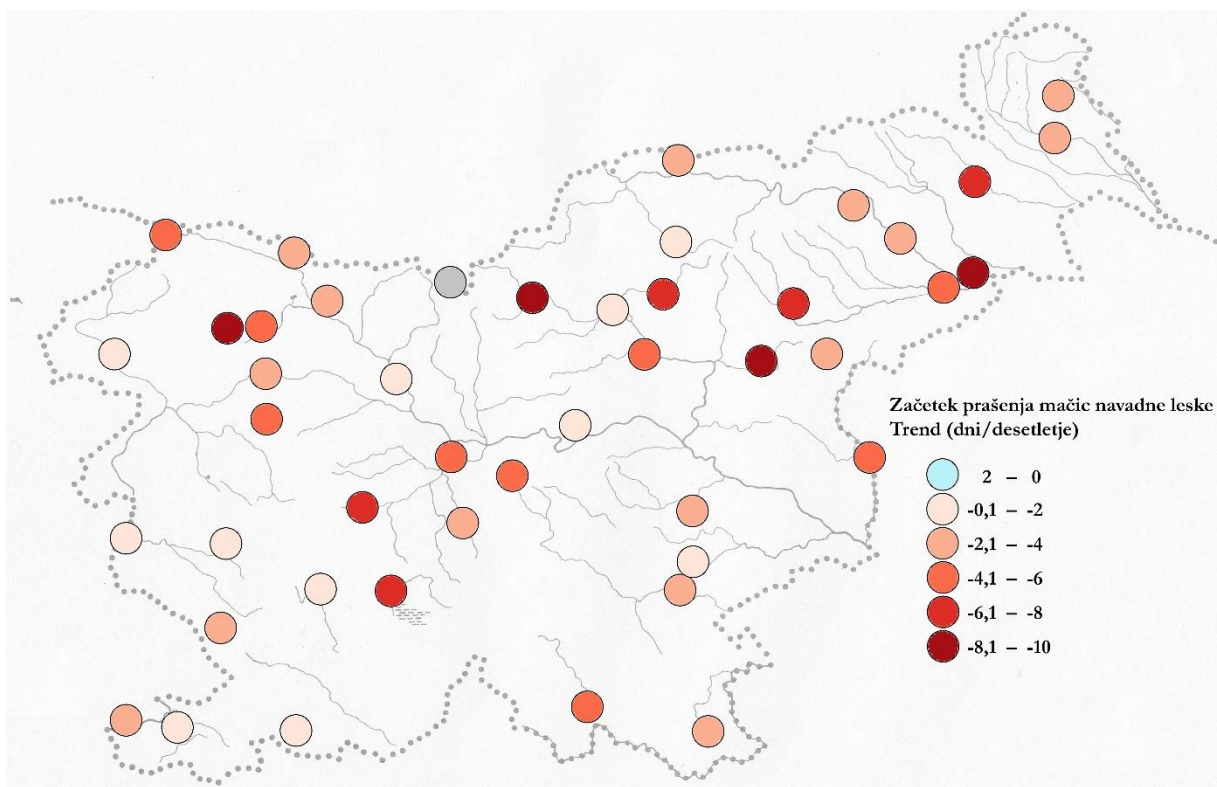


PODLEHNIK	-4.91	-3.24	-2.32
PODLIPJE	-2.72	-0.82	-6.60
PORTOROŽ-LETALIŠČE	-2.43	1.46	-1.22
POSTOJNA	-0.22	-2.41	-5.34
JAVOR	-5.09	-2.33	-5.13
RATEČE	-4.68	-0.56	-3.78
ROVTE	-3.44	-3.55	-4.67
SLOVENSKE KONJICE	-7.22	-3.98	-2.61
LUČE	-8.70	-4.75	-6.55
SORICA	-3.76	-2.70	-5.34
BOHINJSKA ČEŠNJICA	-4.50	-3.91	-5.38
STARŠE	-2.86	-2.04	-3.87
TOMAJ	-2.14	-0.90	-2.68
ŠMA. PRI SLO.GRADCU	-1.78	-1.02	-6.54
VELENJE	-6.55	-1.32	-2.80
IVANOVCI	-3.19	-1.81	-6.33
VRHNIKA	-6.87	-0.42	-2.38
ZGORNJE BITNJE	-1.35	-0.31	-3.08
VRH NAD ŽELIMLJAMI	-2.83	-1.42	-4.42
LESCE	-2.31	-1.94	-2.33
RIŽANA	-2.02	-5.63	-1.65
ZIBIKA	-3.31	-3.48	-3.02
GOMILSKO	-4.67	-3.55	-4.43
BROD	-8.76	-1.49	-4.69
BUKOVCI	-8.44	-6.42	-5.36

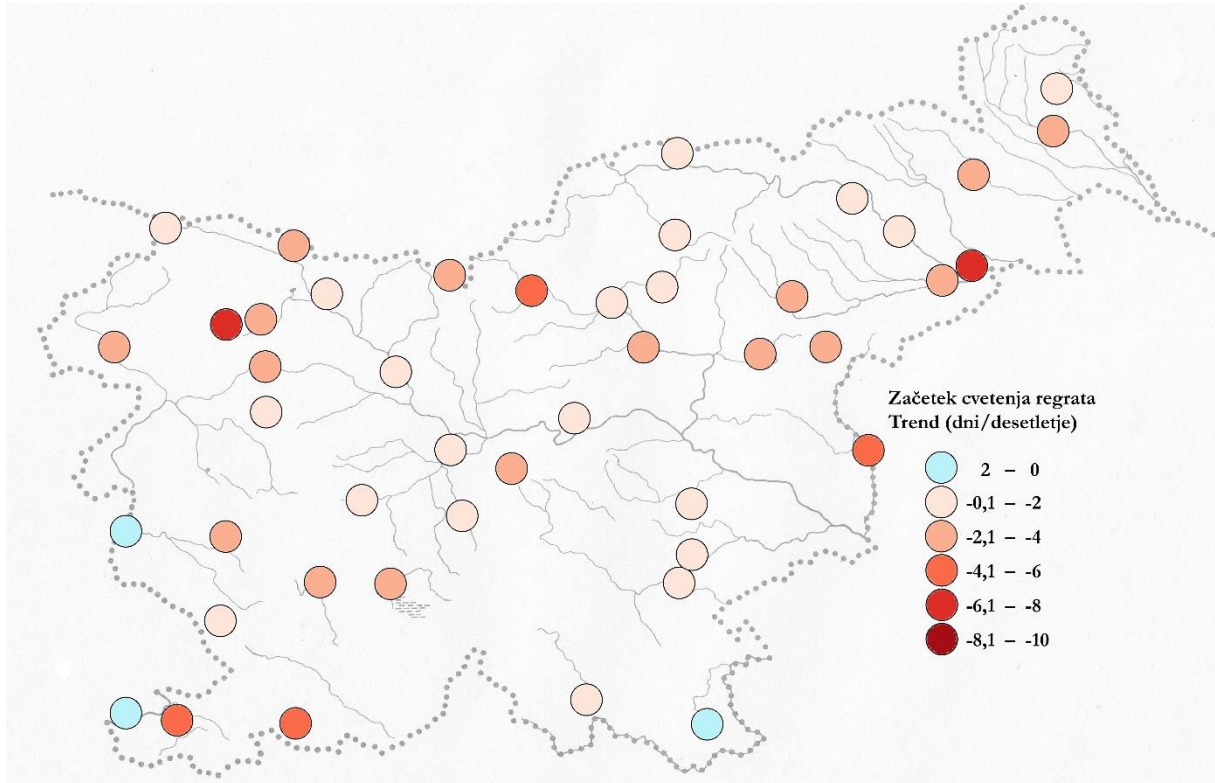
Naloga 3

Opis: Priprava prostorske interpolacije – digitalnih georeferenciranih fenoloških kart (v prostorski ločljivosti 1 km) za slovenski prostor za izbrano klimatološko obdobje za zbran nabor rastlin in faz, ki jih predhodno pripravi naročnik. Opravil je tudi prvi pregled literature in metodološka izhodišča za to nalogo.

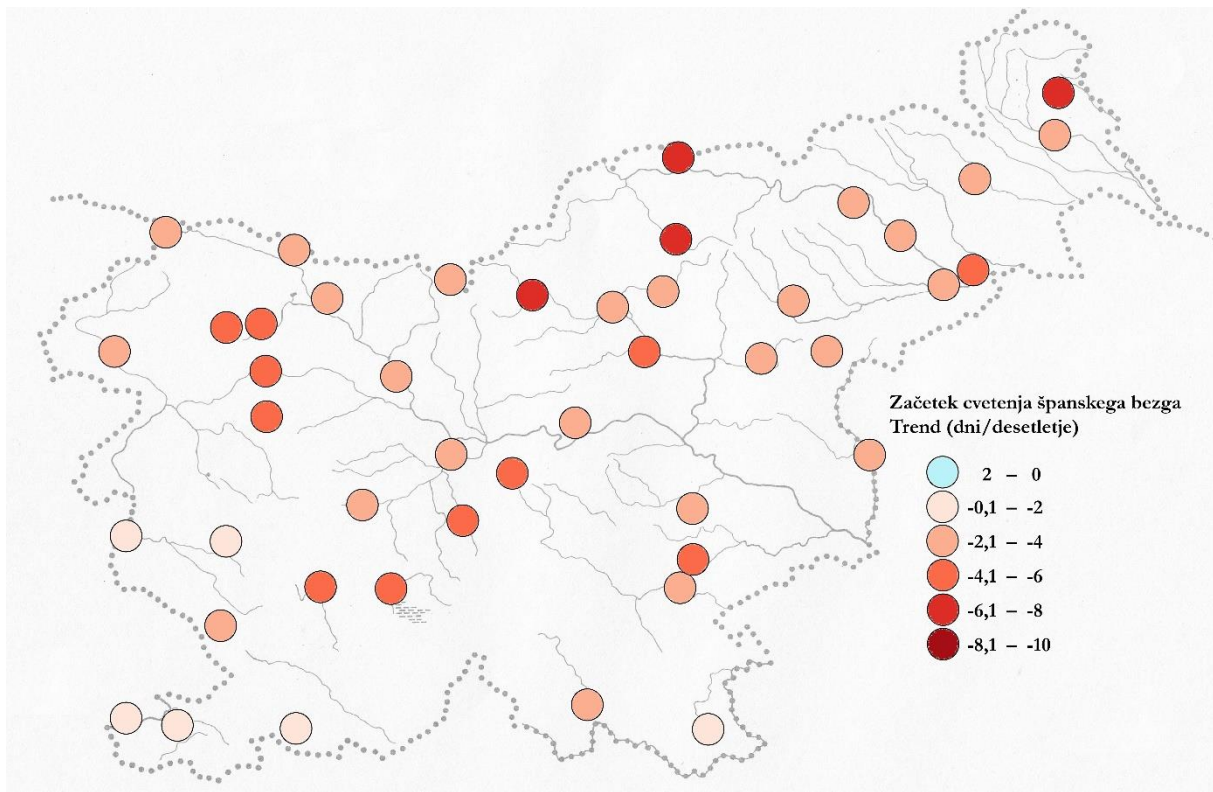
Poročilo: Za izbrane fenološke faze rastlin izbrane v nalogi 2. smo pripravili digitalne georeferencirane karte linearni trendov izračunanih po metodologiji OPS21 za obdobje 1971 – 2020. Prikazane so kot spremembe v dnevih na desetletje za vse izbrane fenološke postaje. Prostorska interpolacija v prostorski ločljivosti 1 km ni mogoča zaradi majhnega števila fenoloških postaj.



Slika 5. Linearni trend začetka prašenja mačic navadne leske (dnevi desetletje⁻¹) v obdobju 1971 – 2020.



Slika 6. Linearni trend začetka cvetenja regrata (dnevi desetletje⁻¹) v obdobju 1971 – 2020.



Slika 7. Linearni trend začetka cvetenja španskega bezga (dnevi desetletje⁻¹) v obdobju 1971 – 2020.



Naloga 4

Opis: Pregled literature in dopolnitev metodologije za izračun fenoloških trendov s kompleksnejšimi kazalci (npr. spomladanski indeks, ki je v uporabi zlasti v ZDA) in preverjanje uporabnosti metod za vključevanje v podnebne projekcije.

Poročilo: Izvajalec je opravil pregled literature ter oceno primernosti različnih kompleksnejših kazalcev. Naročniku je predstavil tudi uporabnost različnih metod za slovenski prostor ter možnost vključevanja v podnebne projekcije.

Pregled pomladanskih fenoloških indeksov

Švicarski pomladanski fenološki indeks

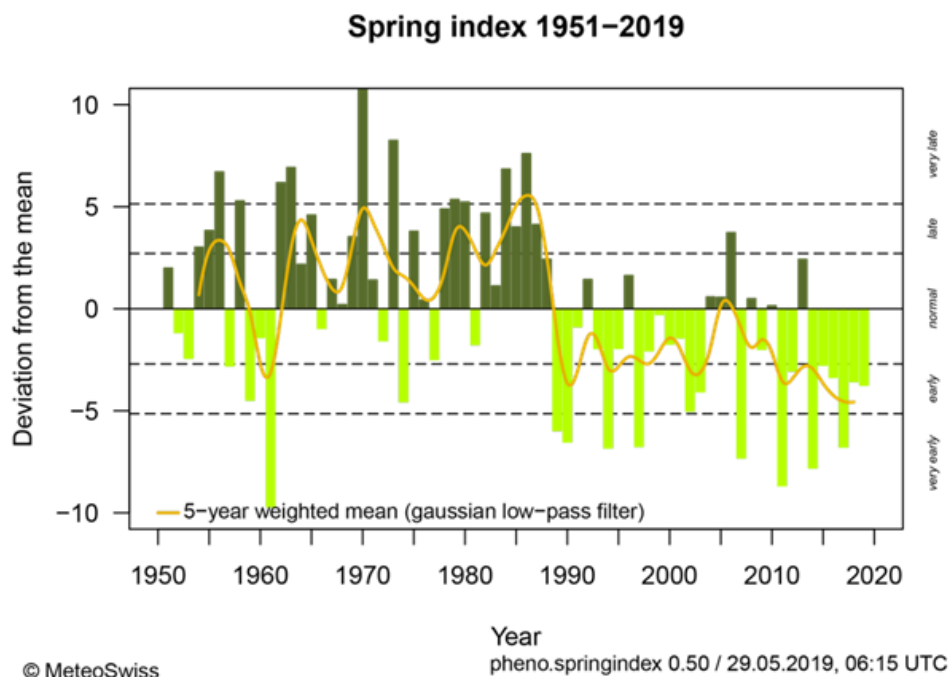
Švicarski pomladanski fenološki indeks kaže čas razvoja vegetacije spomladi kot odklon v dneh od dolgoročnega povprečja 1981 – 2010. Indeks je določen s prvimi desetimi pomladanskimi fenološkimi fazami in je posodobljen konec maja vsako leto. V izračun so vključene fenološke postaje z dovolj dolgimi nizi podatkov, ki pa jih je v Švici okoli 80.

Za izračun indeksa se uporabljajo naslednje rastline in fenološke faze:

- Začetek cvetenja leske - '*Corylus avellana*'
- Začetek cvetenja navadnega lapuha - '*Tussilago farfara*'
- Začetek cvetenja podlesne vetrnice - '*Anemone nemorosa*'
- Začetek cvetenja češnje - '*Prunus avium*'
- Olistanje divjega kostanja - '*Aesculus hippocastanum*'
- Olistanje leske - '*Corylus avellana*'
- Olistanje Macesna - '*Larix spp.*'
- Začetek cvetenja regrata - '*Taraxacum officinale*'
- Začetek cvetenja travniške penuše - '*Cardamine pratensis*'
- Olistanje bukve - '*Fagus sylvatica*'



Odstopanje od povprečnega datuma pojava se določi z analizo PCA – Principal component analysis. Ta metoda je praktična za strukturiranje, poenostavitev in vizualizacijo kompleksnih podatkovnih naborov. Poleg tega se lahko uporablja za filtriranje prostorskih in kronoloških odvisnosti. Pomladanski indeks je rezultat 1. glavne komponente PCA analize izbranih rastlin in se na koncu spremeni v odklon števila dni od povprečja 1981 – 2010 (Metodologija po Marianne et.al., 2009).



Slika 8. Primer Švicarskega pomladanskega fenološkega indeksa.

Ameriški pomladanski fenološki indeks

Model Ameriškega pomladanskega fenološkega indeksa (SI) je zbirka dveh modelov, ki predstavljata povprečje treh posameznih vrst, ki napovedujejo "začetek pomladi" – bodisi fenološko fazo prvih listov, bodisi fenološko fazo prvih cvetov na določeni lokaciji. Ti modeli so bili izdelani s pomočjo opazovanj fenoloških faz prvih listov in začetka cvetenja na kultivarju Španskega bezga *Syringa × chinensis* "Red Rothomagensis" in dveh klonov Kosteničevja *Lonicera tatarica* "Arnold Red" in *Lonicera korolkowii* Stapf. Fenološki objekti so bili izbrani na osnovi razpoložljivosti zgodovinskih podatkov in splošne geografske razširjenosti v Ameriki. Pomladanski fenološki indeks je vrednost iz posameznih modelov za vsako od treh komponentnih vrst. Osnovni vhodni podatki za model so temperature zraka in vremenski dogodki, ki se začnejo s 1. januarjem v posameznem letu (Schwartz in sod., 2006; Schwartz in sod., 2013; Ault in sod., 2015; Rosemartin in sod., 2015).



Summary of how the Spring Indices first leaf date is calculated.

Step 1: Calculate the day-of-the-year (DOY) dates (after 1 October) when 1375, 1250, and 1250 (for the clone lilac *Syringa chinensis* 'Red Rothomagensis', clone honeysuckle *Lonicera tatarica* 'Arnold Red' (HS 'AR'), and clone honeysuckle *L. korolkowii* 'Zabeli' (HS 'ZB'), sub-models respectively) chilling hours (base temperature 7.2°C) are reached. Average the three DOY dates to produce **Spring Indices Composite Chill Date**.

Step 2: Determine the DOY dates when the following equations are valid (for each sub-model):

Lilac: $1000 = (3.306 \times \text{MDSO}) + (\text{SYNOP} \times 13.878) + (0.201 \times \text{DDE2}) + (0.153 \times \text{DD57})$

HS 'AR': $1000 = (4.266 \times \text{MDSO}) + (\text{SYNOP} \times 20.899) + (0.248 \times \text{DD57})$

HS 'ZB': $1000 = (2.802 \times \text{MDSO}) + (\text{SYNOP} \times 21.433) + (0.266 \times \text{DDE2})$

Where:

MDSO = number of days since sub-model chilling satisfaction date

SYNOP = number of high-energy synoptic events that have occurred since sub-model chilling satisfaction date (three-day cumulative degree-hour accumulations higher than 637 degree-hours (base temp. = 0.6°C))

DD57 = growing degree-hour accumulation (base temp. = 0.6°C) over the 3 days that were 5–7 days prior to the current date

DDE2 = growing degree-hour accumulation (base temp. = 0.6°C) over the 3 days that were 0–2 days prior to the current date

Step 3: Adjust the raw DOY dates determined in Step 2 to account for geographical and temporal bias in the number of high-energy synoptic events, using the following equations:

Lilac: Adjusted date = $0.358 - 0.234 \times \text{RAW}$

HS 'AR': Adjusted date = $1.579 - 0.225 \times \text{RAW}$

HS 'ZB': Adjusted date = $-0.204 - 0.109 \times \text{RAW}$

Where:

RAW = raw DOY dates for each sub-model

Step 4: Average the DOY dates from the three sub-models to produce **Spring Indices First Leaf Date**

Slika 9. Povzetek izračuna Ameriškega pomladanskega fenološkega indeksa SI (McCabe in sod., 2012)

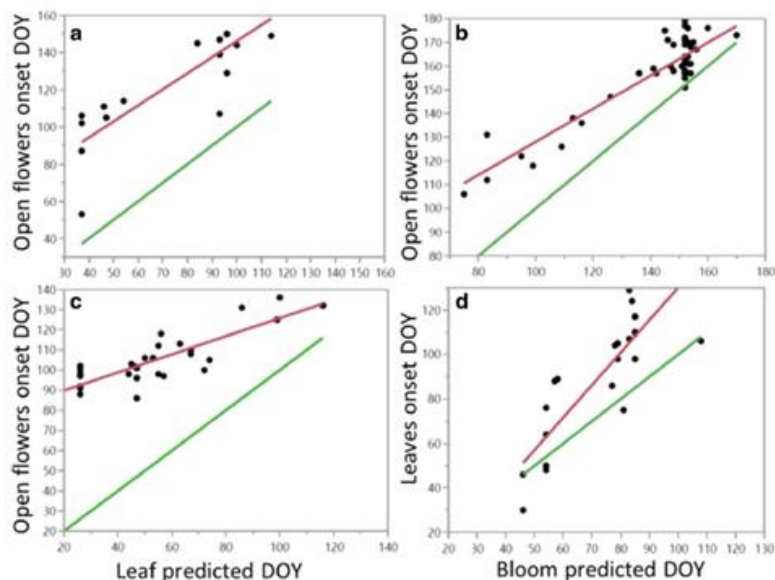


Fig. 2 Linear regressions of Spring Leaf and Bloom indices and reported phenophase onset dates (2009–2017) for a Amur honeysuckle (*Lonicera maackii*) $R^2 = 0.75$; b flowering dogwood (*Cornus canadensis*) $R^2 = 0.79$; c Appalachian Spring dogwood (*Cornus florida-*

appalachianspring) $R^2 = 0.72$, and d Oregon white oak (*Quercus garryana*) $R^2 = 0.69$. Red lines represent the relationships between predicted and observed dates and green lines represent the 1:1 line

Slika 10. Primerjava Ameriškega pomladanskega fenološkega indeksa z opazovanji na vrstah *Lonicera maackii*, *Cornus Canedensis*, *Cornus florida-appalachianspring*, *Quercus garryana* (Gerst in sod., 2020)

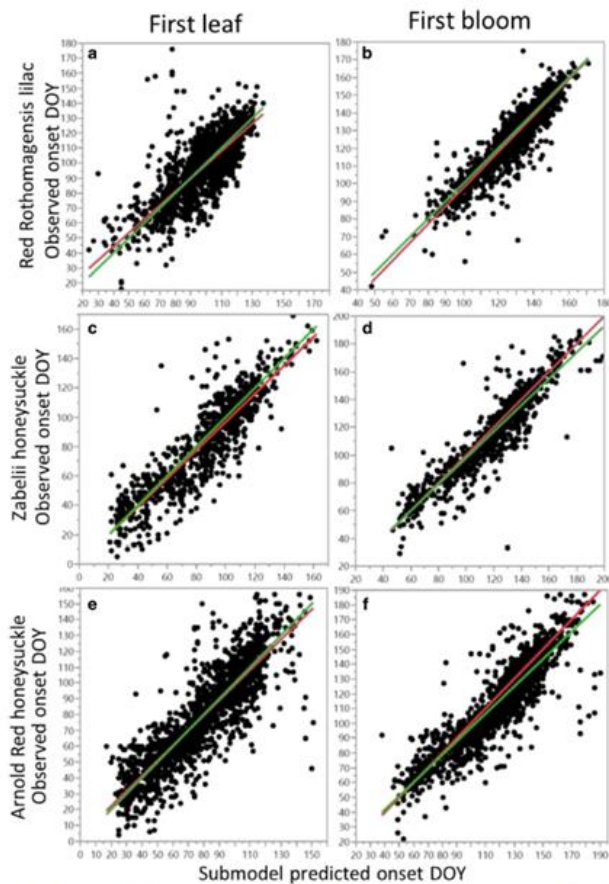
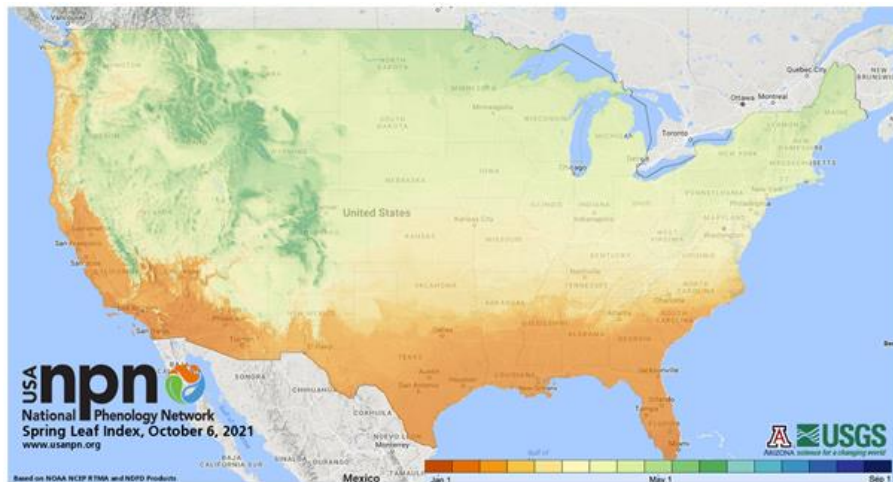


Fig. 3 Linear regressions of submodel predictions and corresponding observed onset dates for 1981–2017 for Red Rothomagensis lilac (*Syringa chinensis*) (a $R^2 = 0.65$, b $R^2 = 0.85$); Zabelii honeysuckle (*Lonicera korolkowii-zabelii*) (c $R^2 = 0.80$, d $R^2 = 0.84$); and Arnold Red honeysuckle (*Lonicera tatarica-arnoldred*) (e $R^2 = 0.76$ and f $R^2 = 0.80$). Red lines represent the relationships between predicted and observed dates, and green lines represent the 1:1 line

Slika 11. Primerjava Ameriškega pomladanskega fenološkega indeksa z opazovanji na vrstah *Syringa chinensis*, *Lonicera korolkowii-zabelii*, *Lonicera tatarica-arnoldred* (Gerst in sod., 2020)

Ameriška nacionalna fenološka mreža (USA-NPN) ponuja rastrske karte razširjenih pomladnih indeksov ("SI-x" modeli), pripravljene na podlagi rastrskih podatkov temperatur zraka. Razširjeni pomladanski indeksi so izpustili spremenljivko o zimskih potrebah rastlin po mrazu, tako da so ti indeksi primerni za celotno ozemlje ZDA.



Slika 12. Primer prikaza Ameriškega pomladanskega indeksa SI-x za leto 2021.

Kitajski pomladanski fenološki indeks

Kitajski pomladanski fenološki indeks je definiran kot odklon od povprečja treh fenoloških faz rastlin v letih od 1963 do 2009 in sicer: začetek cvetenja *Amygdalus davidiana* (sin. *Prunus davidiana*, vrsta breskve), začetek cvetenja *Cercis chinensis* (Kitajski judeževca) in polnega cvetenja *Paeonia suffruticosa* (Grmasta potonika) (Ge in sod., 2014; Wang in sod., 2014).

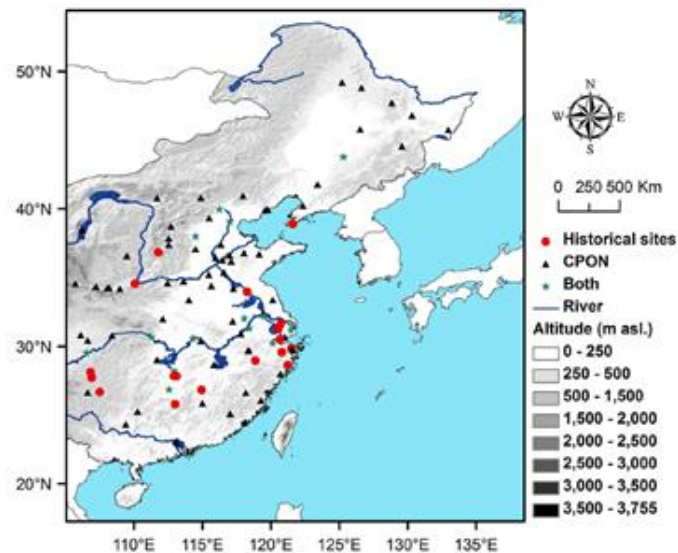


Figure 1. Locations of phenological observation sites: Chinese Phenological Observation Network (1963–2009) and historical documents.

Slika 13. Lokacije postaj Kitajske fenološke mreže CPON in lokacij zgodovinskih fenoloških opazovanj od leta 1843 dalje (Ge in sod., 2014)

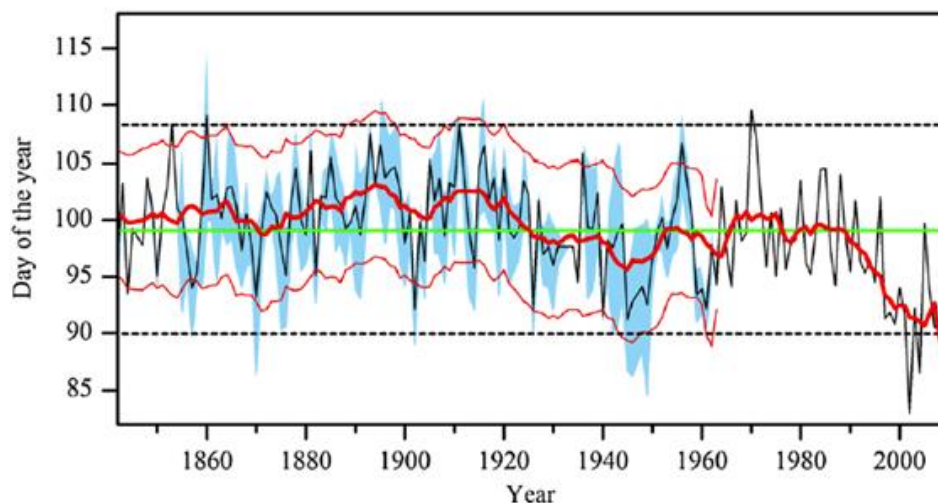


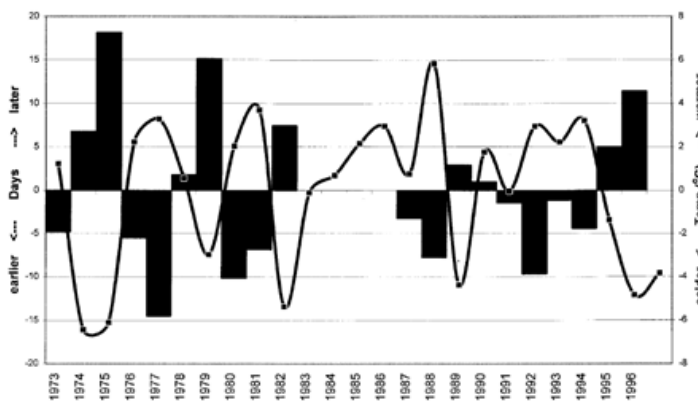
Figure 3. The spring phenology index for eastern China from 1834 to 2009. The 10 year moving window average shows decadal changes (bold red line) with associated uncertainties (2 RMSE, thin red line) due to the regression between the observed and reconstructed SPI (1963–2009). Confidence intervals due to different observations (standard deviation) are shaded in blue. The green horizontal line shows the long-term mean (9 April, day of year: 99) in the period 1843–2009 (note that this value is equal to the 1961–1990 mean). The dotted lines indicate the 2 standard deviation range of 9.3 days of the entire period (1843–2009). There are no observations in 1846, 1932, and 1947.

Slika 14. Primer Kitajskega pomladanskega fenološkega indeksa (Ge in sod., 2014)

Kanadski pomladanski fenološki indeks začetka cvetenja

Kanadski pomladanski fenološki indeks začetka cvetenja je definiran kot povprečen odklon začetka cvetenja treh dreves: *Populus tremuloides* (Ameriška trepetlika), *Amelanchier alnifolia* (Hrušica) in *Prunus virginiana* (Virginska sliva) v dveh zaporednih 20 letnih obdobjih 1973-1996 (leta 1983-1986 manjkajo) (Beaubien in Freeland, 2000).

Fig. 2 Spring flowering index and temperatures with deviations from the means (1973–1996), for Edmonton, Alberta. Vertical bars represent the annual spring flowering indices expressed as deviations from the mean 20-year value. The spring flowering index is the mean of the first-flowering dates for *P. tremuloides*, *A. alnifolia*, and *P. virginiana*. The line represents the annual deviation in °C from the 20-year spring mean temperatures. Annual mean temperatures were calculated from March, April, and May mean monthly temperatures. Note that years with El Niño events are marked as follows: * medium El Niño event; ** strong El Niño event



Slika 15. Primer Kanadskega pomladanskega fenološkega indeksa začetka cvetenja, ki je predstavljen v dveh zaporednih 20 letnih obdobjih 1973-1996 (leta 1983-1986 manjkajo) (Beaubien in Freeland, 2000).



Naloga 5

Opis: Izračun fenoloških kazalcev - tako kazalcev iz novega izbora (Naloga 4) kot že uveljavljenih, predvsem dolžina rastne dobe - na modelskih podatkih za tri podnebne scenarije do konca 21. stoletja. Oceniti je treba spremembe za vsakega od 6 podnebnih modelov za tri obdobja (2011–2040, 2041–2070 in 2071–2100) in za dva scenarije poteka izpustov toplogrednih plinov (RCP 4.5 in RCP 8.5). Vse rezultate je potrebno prikazati na predpisan način, ki je opisani v prvem delu poročila OPS21 (časovna spremenljivost, različni prikazi prostorskih spremembe po tridesetletjih). Na podlagi razlik med rezultati posameznih podnebnih modelov je potrebno oceniti negotovost sprememb. Negotovost sprememb mora biti ocenjena po metodologiji, opisani v prvem delu poročila OPS21 in prikazana na predpisan način, enako kot v prvem delu poročila.

Poročilo: Za izračun fenoloških kazalcev je bila izbrana metodologija Ameriškega spomladanskega indeksa, ki iz podatkov o temperaturi zraka in lokaciji izračuna nastop posamezne fenološke faze izbranega fenološkega objekta. Slovenski model je bil izdelan na podlagi fenoloških opazovanj naročnika. Zajema začetek prašenja mačic navadne leske (*Corylus avellana*), začetek cvetenja regata (*Taraxacum officinale*) in začetek cvetenja španskega bezga (*Syringa vulgaris*). Fenološki objekti so bili izbrani na osnovi razpoložljivosti opazovanih podatkov s pogojem da je zajemal čim daljše neprekinjene nize fenoloških opazovanj, ki so geografsko razprostrti po celotni državi. Osnovni vhodni podatki modela so lokacija fenološke postaje ter minimalne in maksimalne temperature zraka (T_{\min} in T_{\max}) v preučevanem časovnem obdobju 1971 – 2020, ki so bile pridobljene iz rastrskih podatkov naročnika in so sledile metodologiji (Huld in Pinedo Pascua, 2015).

Nihanje temperatur zraka je v spomladanskem času podvrženo večjim fluktuacijam, kar pa se odraža tudi na medletni spremenljivosti nastopa pomladanskih fenoloških faz rastlin. Za interpretacijo nastopa posamezne fenološke faze s pomočjo meteoroloških podatkov (T_{\min} in T_{\max}) in podatkov o posamezni lokaciji morajo veljati naslednje predpostavke:

- Fenološki podatki morajo biti preverjeni in zajemati čim daljše nize neprekinjenih opazovanj,
- Razpoložljivost vlage ne sme biti omejujoči dejavnik, le tako lahko fenološki odziv rastlin odraža akumulirane učinke temperaturnih nihanj v povezavi s podaljšanjem dneva,
- Za posamezno lokacijo fenoloških opazovanj morajo biti dostopni dnevni temperaturni podatki (T_{\min} , T_{\max}).



Ameriški model pomladanskega indeksa je bil prvič razvit leta 2000 (Schwartz in Reiter, 2000) in v kasnejših letih nadgrajen tako, da je omogočal izračune SI indeksa na različnih klimatskih območjih (Schwartz, 2006).

Model zajema več korakov, ki si sledijo v smiselnem zaporedju. Prvi korak zajema izračun potreb rastlin po mrazu, ki zagotavljajo uspešno olistanje in cvetenje opazovanih rastlin v prihajajoči rastni sezoni. Temperatura praga za izračun je 7.2°C, mejne vrednosti za posamezne rastline pa prikazane v matriki 1.

$$\begin{array}{l} \text{Navadna leska}_{FZP} \\ \text{Regrat}_{FZC} \\ \text{Španski bezeg}_{FZC} \end{array} \begin{bmatrix} 600 \\ 600 \\ 1375 \end{bmatrix} \quad \dots(1)$$

V drugem koraku model poišče zaporedni dan v letu ko so izpolnjene enačbe za posamezne rastline prikazane v matriki 2.

$$\begin{array}{l} \text{Navadna leska}_{FZP} \\ \text{Regrat}_{FZC} \\ \text{Španski bezeg}_{FZC} \end{array} \begin{matrix} GDH & SYNOP & DDE2 & DDE57 \\ \left[\begin{array}{cccc} 2.734 & 28.657 & 0.638 & 0.253 \\ 0.414 & 18.755 & 0.095 & 0.099 \\ 3.388 & 6.656 & 0.138 & 0.018 \end{array} \right] \end{matrix} \quad \dots(2)$$

$$GDH - \text{število ur nad temperaturo praga} \quad GDH = \sum_{h=h'}^{h''} D_{temp}(h) \quad \dots(3)$$

h', h'' – prva in zadnja ura nad temperaturo praga -0.5556 °C

GDH (growing degree hours) je vektor števila ur nad temperaturnim pragom definiran z urami in izračunan po naslednji formuli (4) iz dnevnih minimalnih in maksimalnih temperatur zraka.

$$D_{temp}(h) = \left\{ \begin{array}{l} T_{max} - T_{min} \sin\left(\frac{\pi}{L+4} h\right) + T_{min} \quad \text{for } h = 1, 2, \dots, n', \\ D_s - \frac{(D_s - T_{min})}{(\log(24-n)) \times \log h} \quad \text{za } h = n' + 1, \dots, 24. \end{array} \right\} \quad \dots(4)$$



SYNOP – Število toplih dogodkov

$$SYNOP_{(t)} = \begin{cases} 0 & \text{if } t = 1 \\ SYNOP(t - 1) + 1 & \text{if } DDE2 \geq 637 \\ SYNOP(t - 1) & \text{otherwise} \end{cases} \quad \dots(5)$$

t – zaporedni dan v letu z začetkom 1. januarja (t= 1,2,3,..., n), prestopno leto ima tako 366 dni.

DDE2 – 0-2 dnevna akumulacija število ur nad temperaturo praga

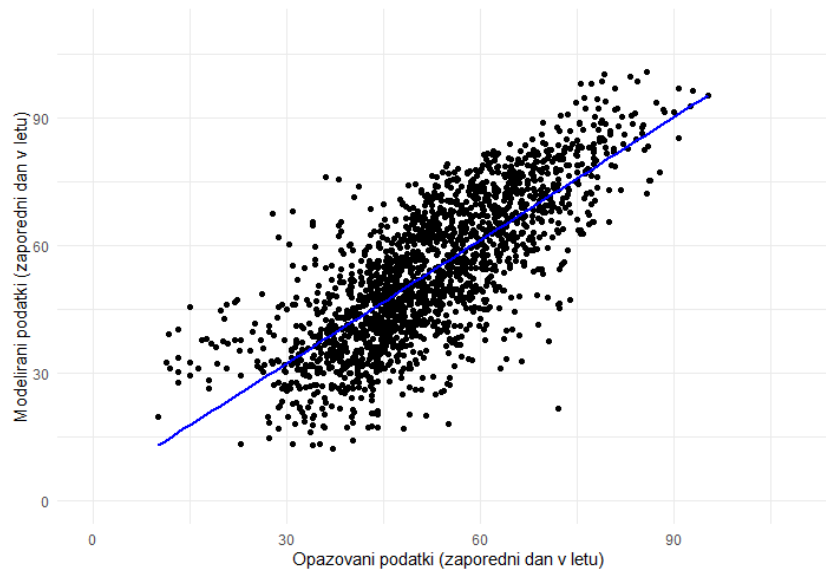
$$DDE57_{(t)} = \sum_{l=5}^7 GDH(t - 1) \quad \dots(6)$$

DD57 – 5-7 dnevna akumulacija število ur nad temperaturo praga

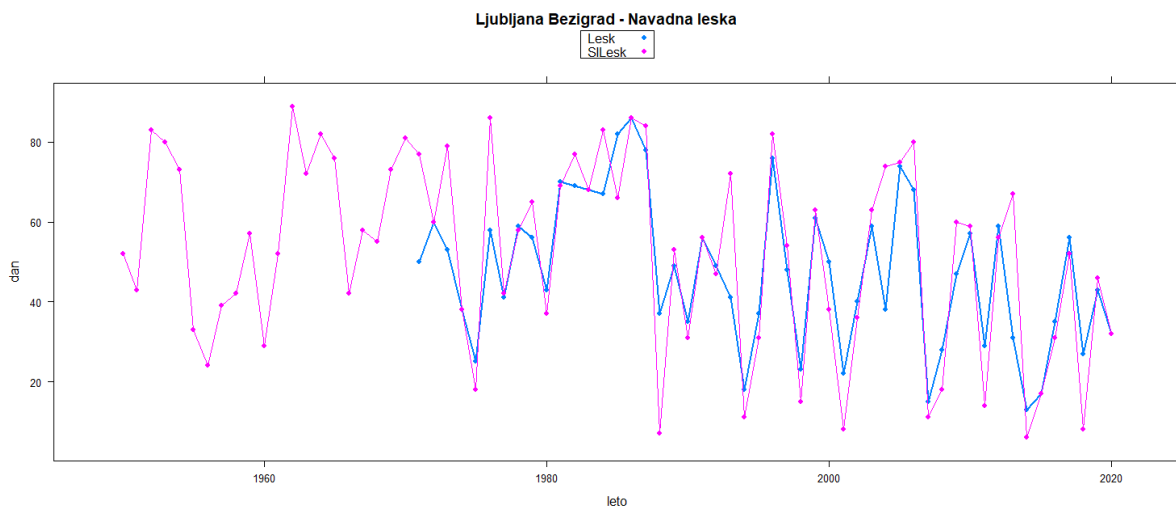
$$DDE2_{(t)} = \sum_{l=0}^2 GDH(t - 1) \quad \dots (7)$$

Podatki, prikazani v matriki 2, so bili izračunani na podlagi najboljše korelacije vhodnih meteoroloških in fenoloških podatkov. Na izbranih fenoloških postajah, ki so enakomerno razporejene po Sloveniji: Bizeljsko, Bukovžlak, Cerknica, Doblje, Grm, Podgrad, Zgornje Jezersko, Kadrenci pri Cerkevniku, Vače, Kobarid, Novi Lazi, Dobravljje-Brje, Ljubljana-Bežigrad, Maribor-Tezno, Mokronog, Mozirje, Rakičan, Bilje, Novaki, Novo Mesto, Planina Pod Golico, Podlehnik, Podlipje, Portorož-Letališče, Postojna, Javor, Rateče, Rovte, Slovenske Konjice, Luče, Sorica, Bohinjska Češnjica, Starše, Tomaj, Šmartno pri Slovenj Gradcu, Velenje, Ivanovci, Vrhnika, Zgornje Bitnje, Vrh nad Želimljami, Lesce, Rižana, Zibika, Gomilsko, Brod in Bukovci.

Fenološka faza začetka prašenja navadne leske je med podatki modela in opazovanimi podatki 1971 – 2020 na vseh zajetih fenoloških postajah pokazala 0.69 korelacijo med podatki. Najvišjo korelacijo med opazovanimi in modeliranimi podatki so imeli podatki postaj Bukovci 0.89, Ljubljana-Bežigrad 0.85 in Maribor 0.83.

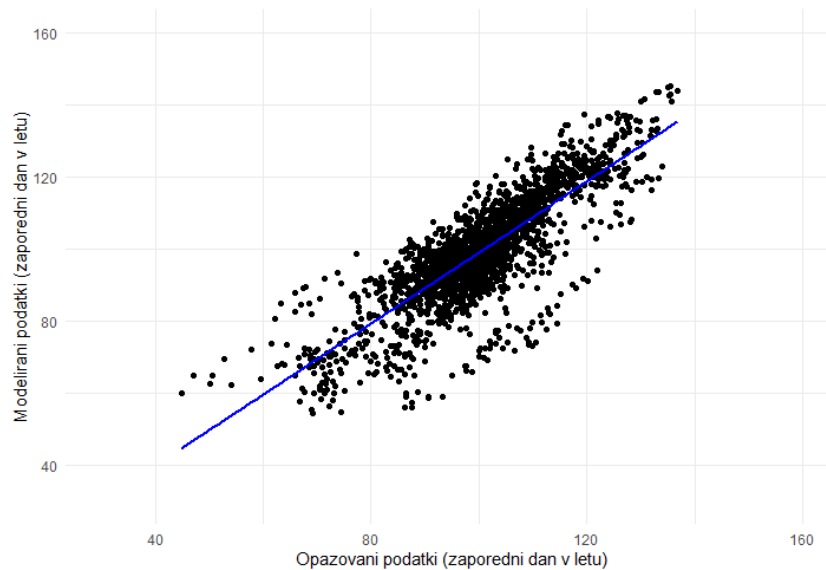


Slika 16. Primerjava modeliranih podatkov začetka prašenja mačic navadne leske in opazovanih podatkov v letih 1971 – 2020 na vseh fenoloških podajah, ki so bile zajete v analizo.

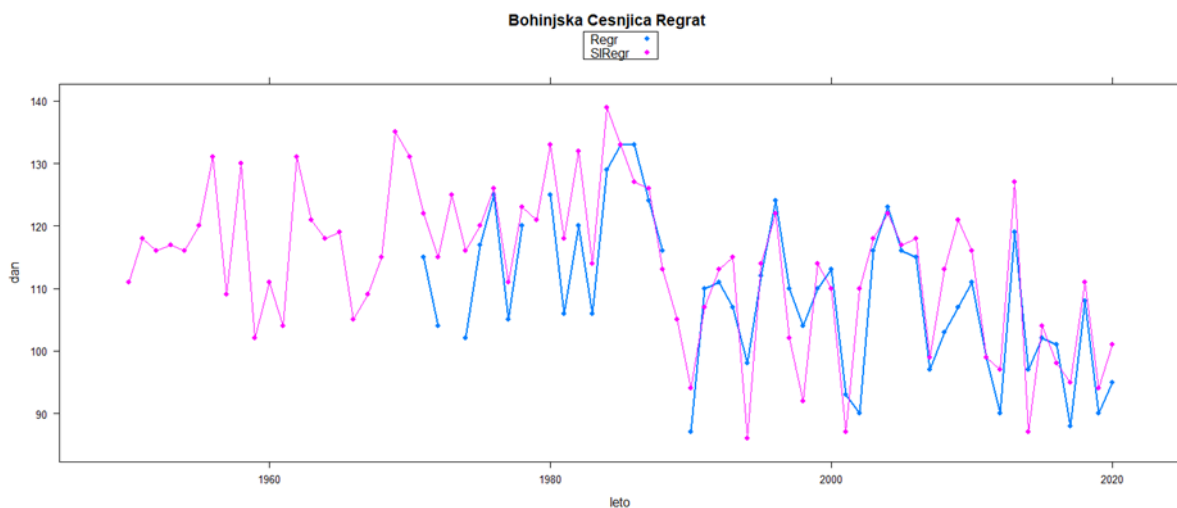


Slika 17. Primerjava modeliranih podatkov začetka prašenja mačic navadne leske in opazovanih podatkov na fenološki postaji Ljubljana-Bežigrad v obdobju 1971 – 2020: modelirani podatki (modra črta) in opazovani podatki 1951 – 2020 (svetlo vijolična črta).

Fenološka faza začetka cvetenja regrata je med podatki modela in opazovanimi podatki na vseh zajetih fenoloških postajah pokazala 0.74 korelacijo med podatki. Najbolje so korelirali podatki postaj Cerknica 0.88, Novo mesto 0.87 in Ivanovci 0.86.



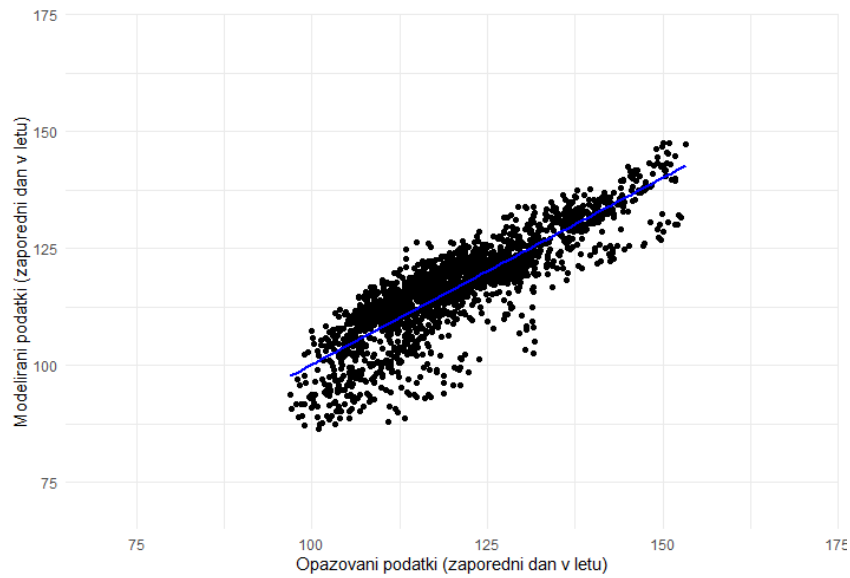
Slika 18. Primerjava modeliranih podatkov začetka cvetenja regrata in opazovanih podatkov v letih 1971 – 2020 na vseh fenoloških podajah, ki so bile zajete v analizo.



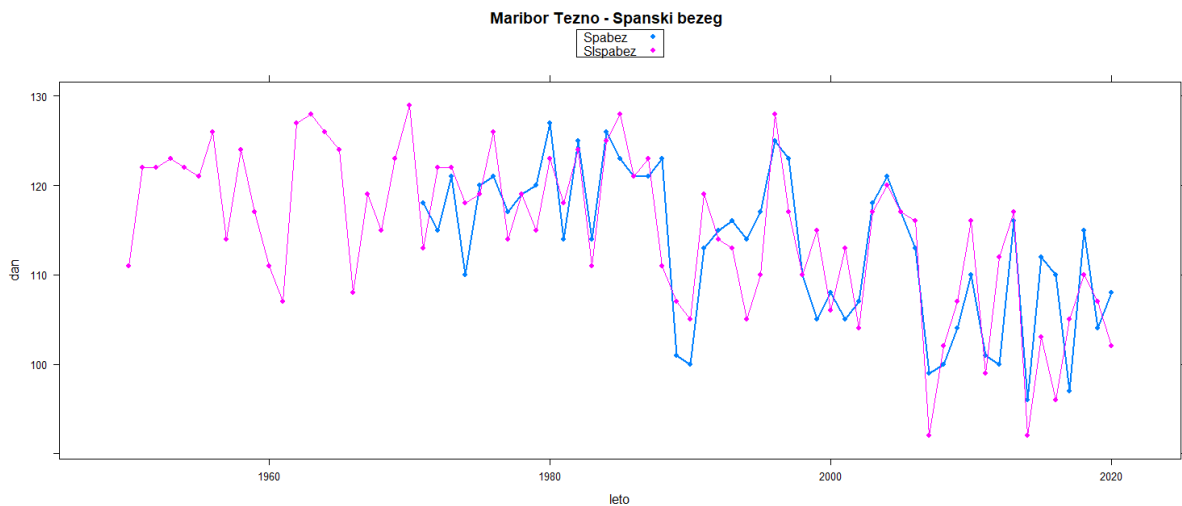
Slika 19. Primerjava modeliranih podatkov začetka cvetenja regrata in opazovanih podatkov na fenološki postaji Ljubljana-Bežigrad v obdobju 1971 – 2020 modelirani podatki (modra črta) in opazovani podatki 1951 – 2020 (svetlo vijolična črta).



Fenološka faza začetka cvetenja španskega bezga je med podatki modela in opazovanimi podatki na vseh zajetih fenoloških postajah pokazala 0.73 korelacijo med podatki. Najbolje so korelirali podatki postaj Ivanovci 0.88, Bohinjska Češnjica 0.88 in Podlipje 0.88.



Slika 20. Primerjava modeliranih podatkov začetka cvetenja španskega bezga in opazovanih podatkov v letih 1971 – 2020 na vseh fenoloških postajah, ki so bile zajete v analizo.



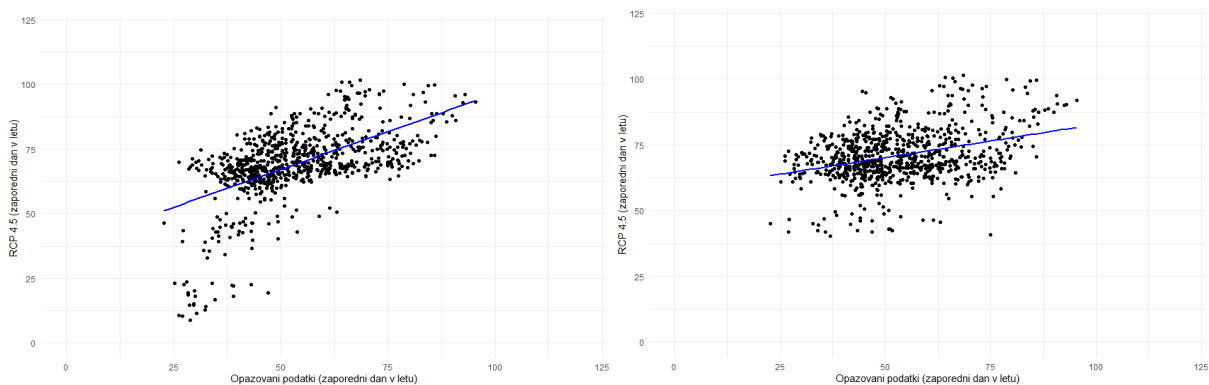
Slika 21. Primerjava modeliranih podatkov začetka cvetenja španskega bezga in opazovanih podatkov na fenološki postaji Ljubljana-Bežigrad v obdobju 1971 – 2020 modelirani podatki (modra črta) in opazovani podatki 1951 –2020 (svetlo vijolična črta).



Podnebne projekcije za 21. stoletje

Na podlagi opisanega modela in podnebnih projekcij smo izračunali projekcije fenoloških faz začetka prašenja navadne leske, začetka cvetenja regrata in začetka cvetenja španskega bezga za dva scenarija podnebnih sprememb RCP4.5 (zmerno optimističen) in RCP 8.5 (pesimističen). Naročnik je pripravil preračune za minimalne in maksimalne dnevne temperature zraka za lokacije upoštevanih fenoloških postaj do leta 2100 za oba scenarija podnebnih sprememb s pomočjo šestih kvazi ansambelskih napovedi. Časovni nizi se začnejo v letu 1981 in do leta 2005 predstavljajo "historično simulacijo", oziroma asimilacijski cikel z meritvami oz. reanalizami, po letu 2005 pa so simulacije prepuščene nihanjem okoli podnebnih trendov. Izračuni so bili pripravljene na podatkih fenoloških postaj izbranih pri opisu fenološkega modela.

Primerjava obdobja 1981 – 2005 med simuliranimi podnebnimi projekcijami in opazovanimi podatki fenoloških postaj začetka prašenja mačic navadne leske v 6 letnih tekočih povprečjih ima 0.56 korelacijo med simuliranimi podatki RCP4.5 in opazovanimi podatki ter 0.34 korelacijo med simuliranimi podatki RCP8.5 in opazovanimi podatki. Slabše korelacije so pričakovane, ker je fenološki model zelo občutljiv na spomladanska topla obdobja, ki jih podnebne simulacije v našem primeru ne opišejo dobro.

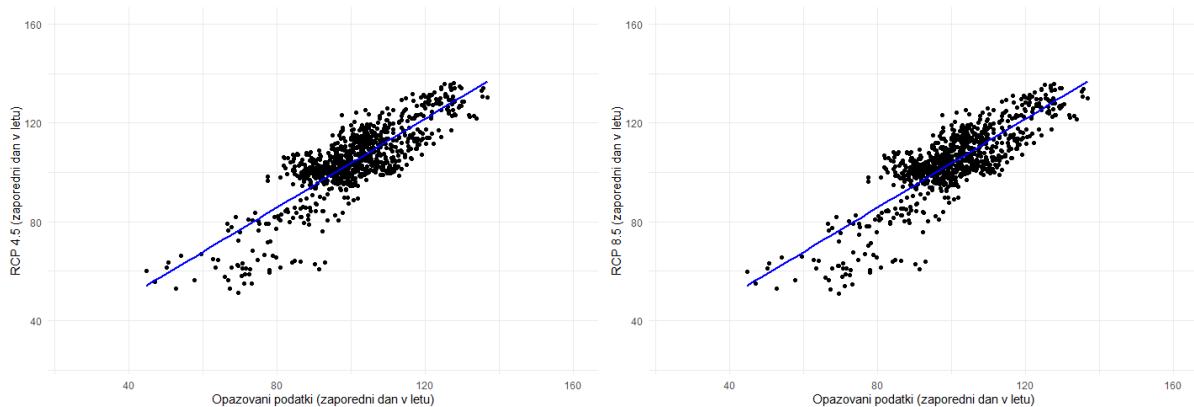


Slika 22. Primerjava simuliranih podnebnih projekcij in opazovanih podatkov začetka prašenja mačic navadne leske v 6 letnih tekočih povprečjih v letih 1981 – 2005 za zmerno optimističen scenarij RCP4.5 (levo) in pesimističen scenarij RCP 8.5 (desno) na vseh fenoloških podajah, ki so bile zajete v analizo.

Primerjava obdobja 1981 – 2005 med simuliranimi podnebnimi projekcijami in opazovanimi podatki fenoloških postaj začetka cvetenja regrata v 6 letnih tekočih povprečjih ima 0.82 korelacijo med simuliranimi podatki RCP4.5 in opazovanimi podatki

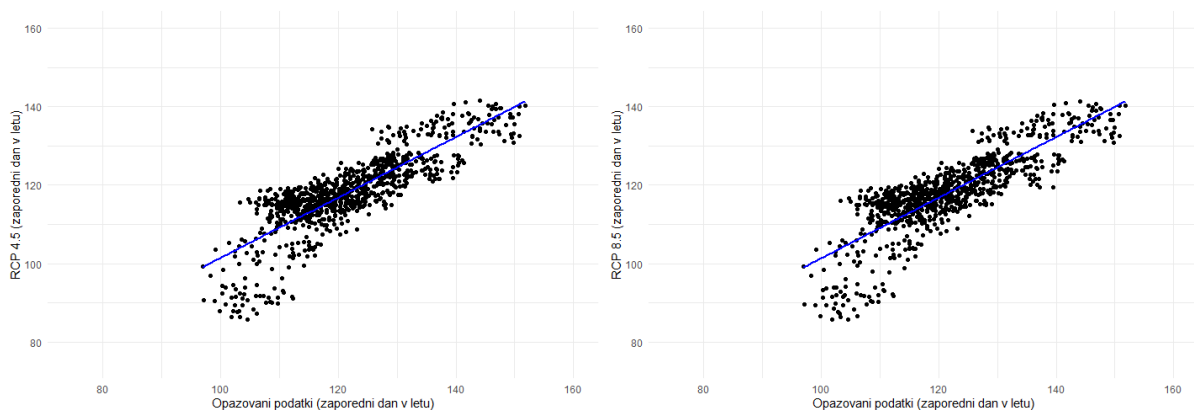


ter 0.83 korelacijo med simuliranimi podatki RCP8.5 in opazovanimi podatki. Podnebne projekcije dobro opišejo začetek cvetenja regrata.



Slika 23. Primerjava simuliranih podnebnih projekcij in opazovanih podatkov začetka cvetenja regrata v 6 letnih tekočih povprečjih v letih 1981 – 2005 za zmerno optimističen scenarij (levo) in pesimističen scenarij (desno) na vseh fenoloških podajah, ki so bile zajete v analizo.

Primerjava obdobja 1981 – 2005 med simuliranimi podnebnimi projekcijami in opazovanimi podatki fenoloških postaj začetka cvetenja španskega bezga v 6 letnih tekočih povprečjih kaže na 0.84 korelacijo med simuliranimi podatki RCP4.5 in opazovanimi podatki ter 0.83 korelacijo med simuliranimi podatki RCP8.5 in opazovanimi podatki. Podnebne projekcije dobro opišejo začetek cvetenja španskega bezga.

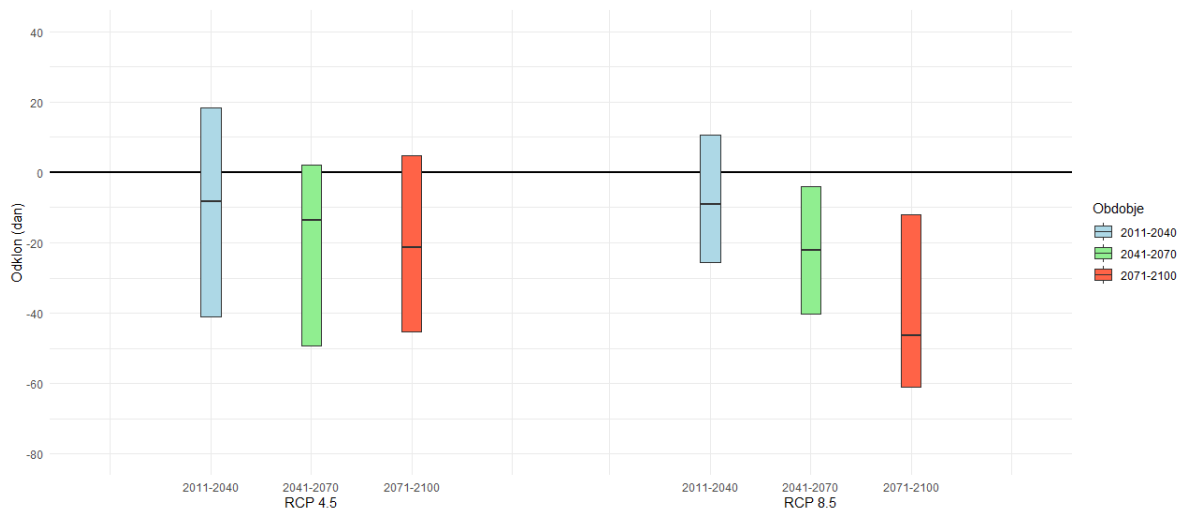


Slika 24. Primerjava simuliranih podnebnih projekcij in opazovanih podatkov začetka cvetenja španskega bezga v 6 letnih tekočih povprečjih v letih 1981 – 2005 za zmerno optimističen scenarij (levo) in pesimističen scenarij (desno) na vseh fenoloških podajah, ki so bile zajete v analizo.

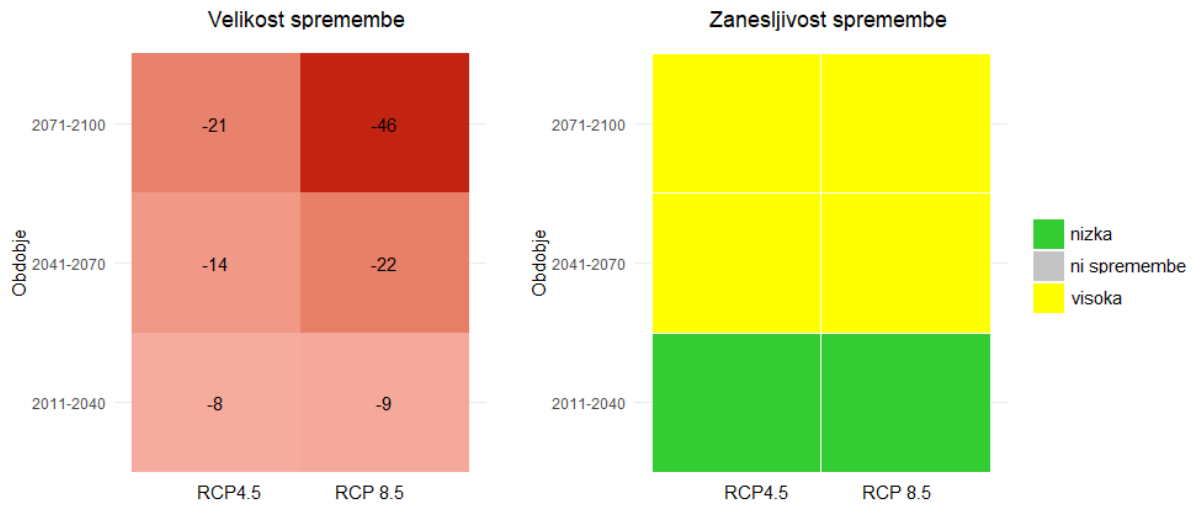


Fenološke faze začetka cvetenja izbranih rastlin do konca 21. stoletja

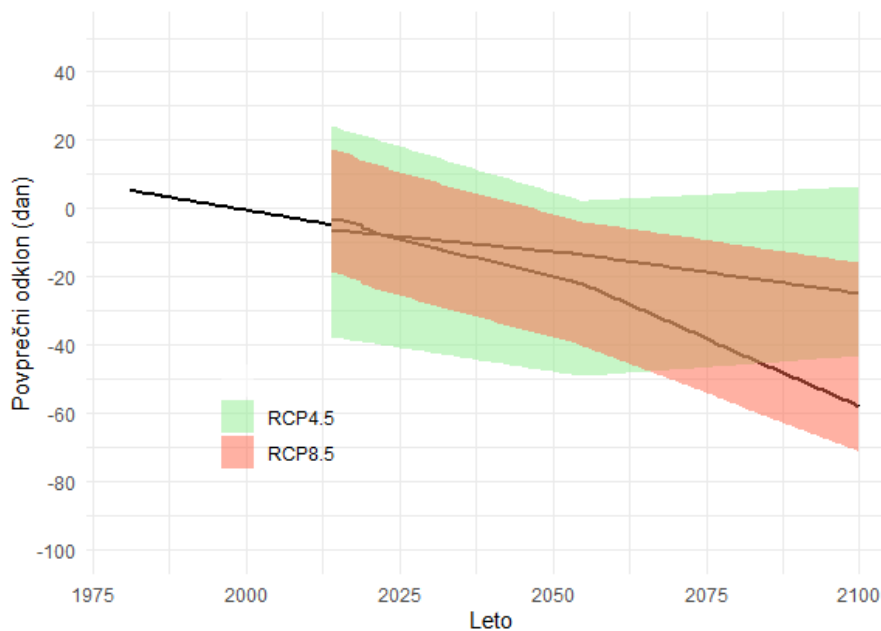
Pri začetku prašenja mačic navadne leske pričakujemo da se bo fenološka faza do konca 21. stoletja pojavljala čedalje zgodnejše, kar je glede na dvig temperatur zraka pričakovano. Po zmerno optimističnem scenariju RCP4.5 bo navadna leska začela prašiti povprečno v Sloveniji 21 dni prej. Po pesimističnem scenariju RCP 8.5 pa povprečno 46 dni prej, kar se približno ujema z začetkom novega leta, takšne odklone začetka cvetenja smo kot najzgodnejše na nekaterih fenoloških postajah po Sloveniji opazili že v zadnjih letih. Razpon negotovosti sprememb pri zmerno optimističnem scenariju do konca 21. stoletja je pri prašenju mačic navadne leske med 5 dnevi poznejšega in 45 dnevi zgodnejšega nastopa fenofaze glede na obdobje 1981 – 2010. Pri pesimističnem scenariju je razpon negotovosti do konca 21. stoletja med 12 in 61 dnevi zgodnejšega nastopa fenofaze glede na obdobje 1981 – 2010. Zanesljivost spremembe je v vseh obdobjih pri obeh scenarijih razen v obdobju 2011 – 2040 visoka.



Slika 25. Povprečni razponi sprememb odklonov začetka prašenja mačic leske glede na obdobje 1981- 2010 za tri podnebna obdobja povprečno glede na 46 preučevanih fenoloških postaj, ki so enakomerno razporejene po Sloveniji.



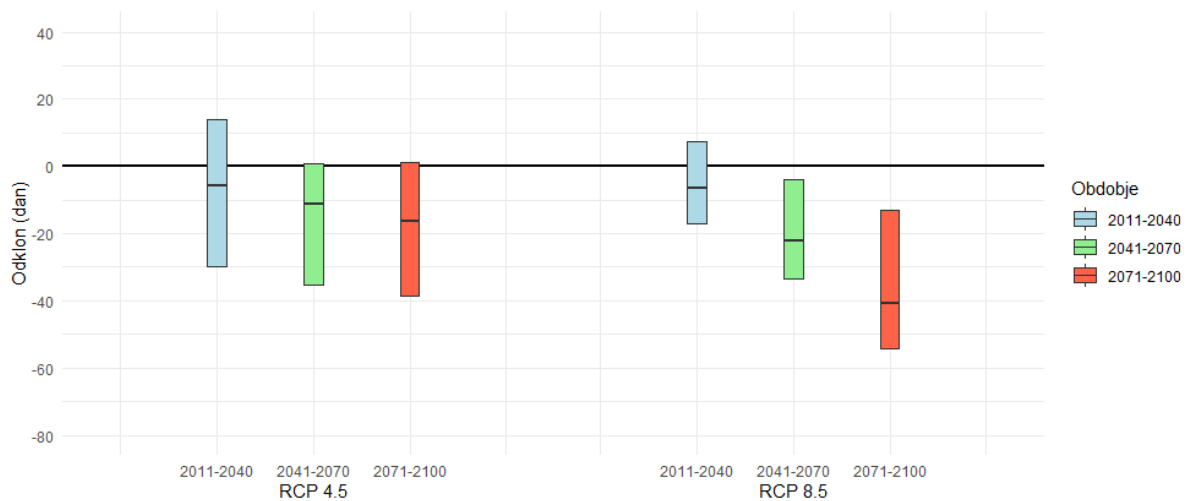
Slika 26. Srednja sprememba (levo) in pripadajoča zanesljivost (desno) začetka prašenja navadne leske do konca 21. stoletja za dva scenarija izpustov in tri podnebna obdobja, glede na 46 preučevanih fenoloških postaj, ki so enakomerno razporejene po Sloveniji.



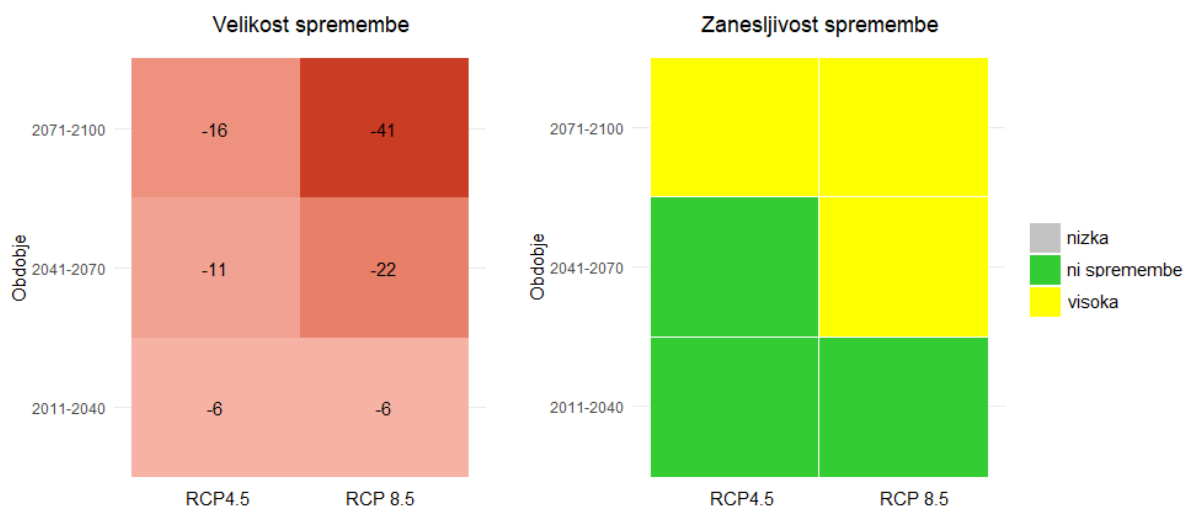
Slika 27. Časovni potek spremembe začetka prašenja navadne leske do konca 21. stoletja za dva scenarija izpustov, vključno z razponi odstopanj glede na 46 preučevanih fenoloških postaj, ki so enakomerno razporejene po Sloveniji.



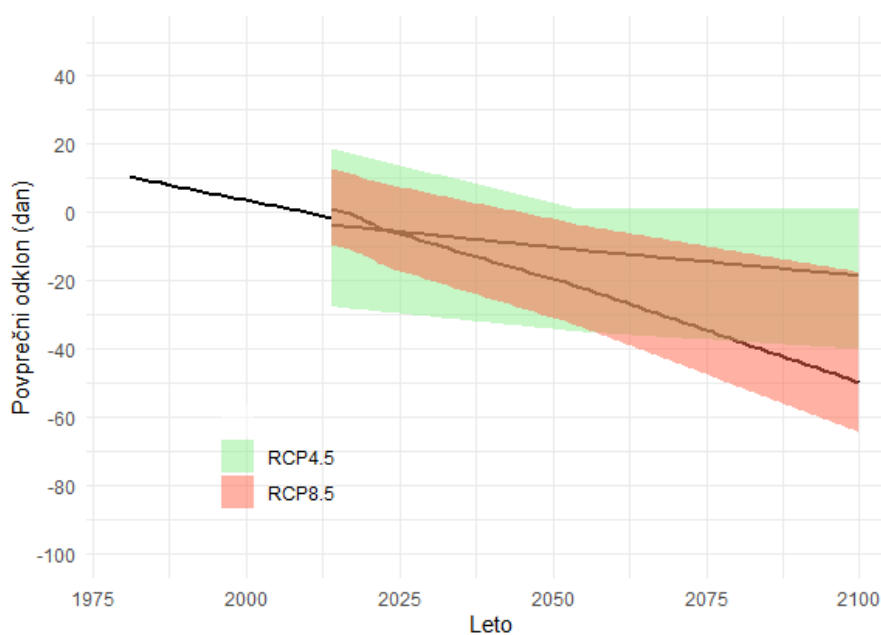
Za začetek cvetenja regrata pričakujemo, da se bo fenološka faza do konca 21. stoletja pojavljala čedalje zgodnejše, zaradi dviga temperatur zraka. Po zmerno optimističnem scenariju RCP4.5 bo regrat začel cveteti povprečno v Sloveniji 16 dni prej glede na obdobje, o pesimističnem scenariju RCP 8.5 pa povprečno 41 dni prej glede na obdobje 1981 – 2010. Razpon negotovosti sprememb pri zmerno optimističnem scenariju do konca 21. stoletja je pri začetku cvetenja regrata med 1 dnevom kasnejšega in 39 dnevi zgodnejšega nastopa fenološke faze glede na obdobje 1981 – 2010. Pri pesimističnem scenariju pa je razpon negotovosti do konca 21. stoletja med 13 in 54 dnevi zgodnejšega nastopa fenološke faze glede na obdobje 1981 – 2010. Zanesljivost spremembe je visoka pri obeh scenarijih za obdobje 2071 – 2100 in pri pesimističnem scenariju RCP8.5 v obdobju 2041 – 2070.



Slika 28. Povprečni razponi sprememb odklonov začetka cvetenja regrata glede na obdobje 1981- 2010 za tri podnebna obdobja povprečno glede na 46 fenoloških postaj, ki so enakomerno razporejene po Sloveniji.



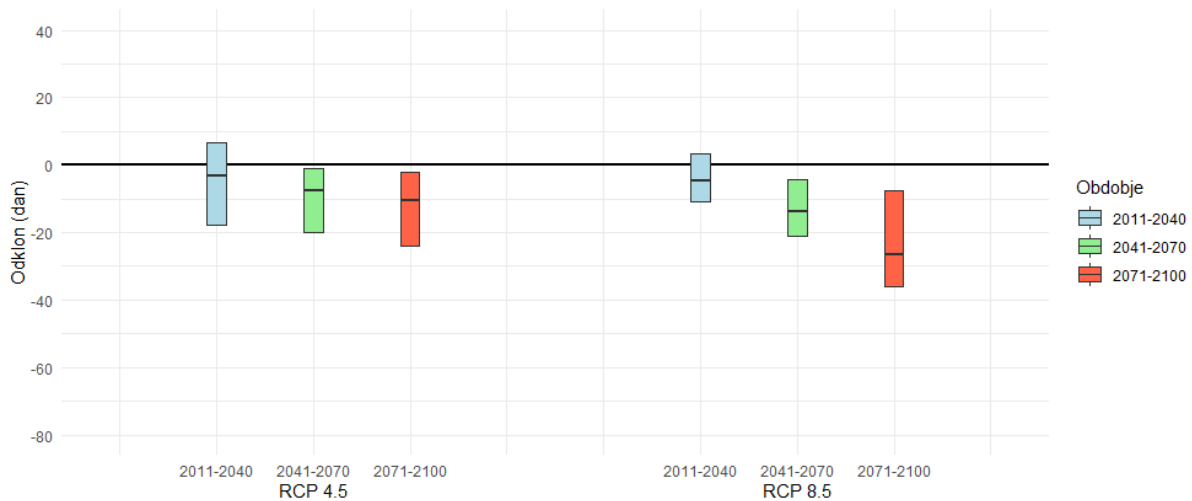
Slika 29. Srednja sprememba (levo) in pripadajoča zanesljivost (desno) začetka cvetenja regrata do konca 21. stoletja za dva scenarija izpustov in tri podnebna obdobja, glede na 46 preučevanih fenoloških postaj, ki so enakomerno razporejene po Sloveniji.



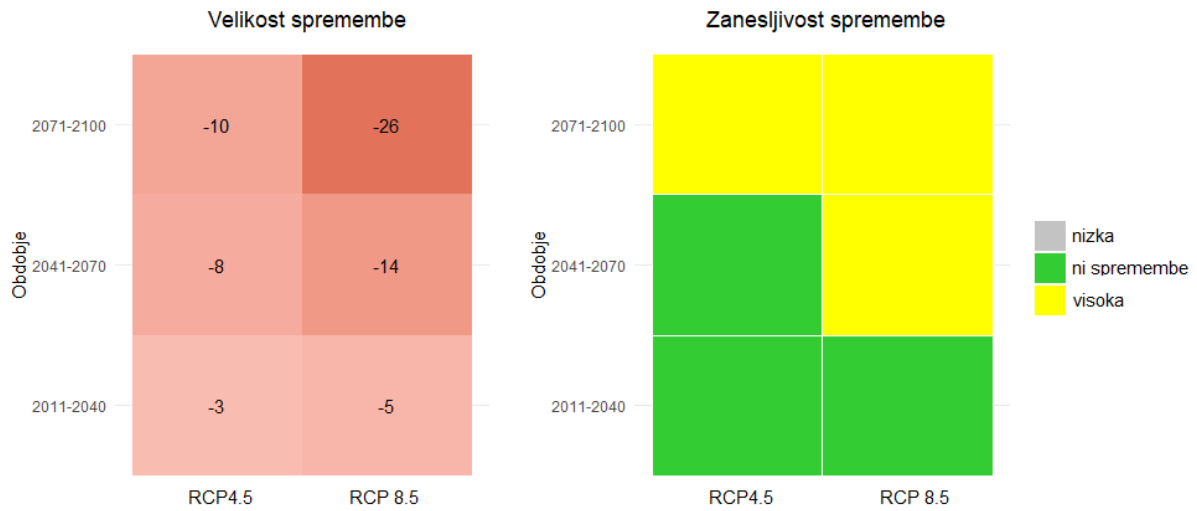
Slika 30. Časovni potek spremembe začetka cvetenja regrata do konca 21. stoletja za dva scenarija izpustov, vključno z razponi odstopanj glede na 46 fenoloških postaj, ki so enakomerno razporejene po Sloveniji.



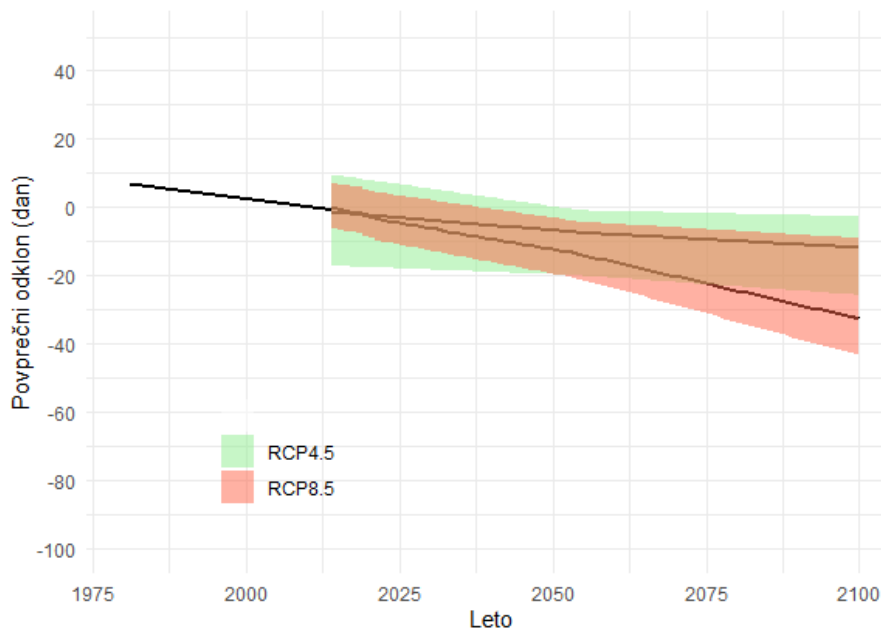
Za začetek cvetenja španskega bezga pričakujemo, da se bo fenološka faza do konca 21. stoletja pojavljala čedalje zgodnejše, kar je posledica pričakovanega dviga temperatur zraka. Po zmerno optimističnem scenariju RCP4.5 bo španski bezeg začel cveteti povprečno v Sloveniji 10 dni prej glede na obdobje, po pesimističnem scenariju RCP 8.5 pa povprečno 26 dni prej glede na obdobje 1981 – 2010. Razpon negotovosti sprememb pri zmerno optimističnem scenariju do konca 21. stoletja je pri začetku cvetenja španskega bezga med 3 in 24 dnevi zgodnejšega nastopa fenološke faze glede na obdobje 1981 – 2010. Pri pesimističnem scenariju pa je razpon negotovosti do konca 21. stoletja med 8 in 36 dnevi zgodnejšega nastopa fenološke faze glede na obdobje 1981 – 2010. Zanesljivost spremembe je visoka pri obeh scenarijih za obdobje 2071 – 2100 in pri pesimističnem scenariju RCP8.5 v obdobju 2041 – 2070.



Slika 31. Povprečni razponi sprememb odklonov začetka cvetenja španskega bezga glede na obdobje 1981- 2010 za tri podnebna obdobja povprečno glede na 46 preučevanih fenoloških postaj, ki so enakomerno razporejene po Sloveniji.



Slika 32. Srednja sprememba (levo) in pripadajoča zanesljivost (desno) začetka cvetenja španskega bezga do konca 21. stoletja za dva scenarija izpustov in tri podnebna obdobja, glede na 46 preučevanih fenoloških postaj, ki so enakomerno razporejene po Sloveniji.



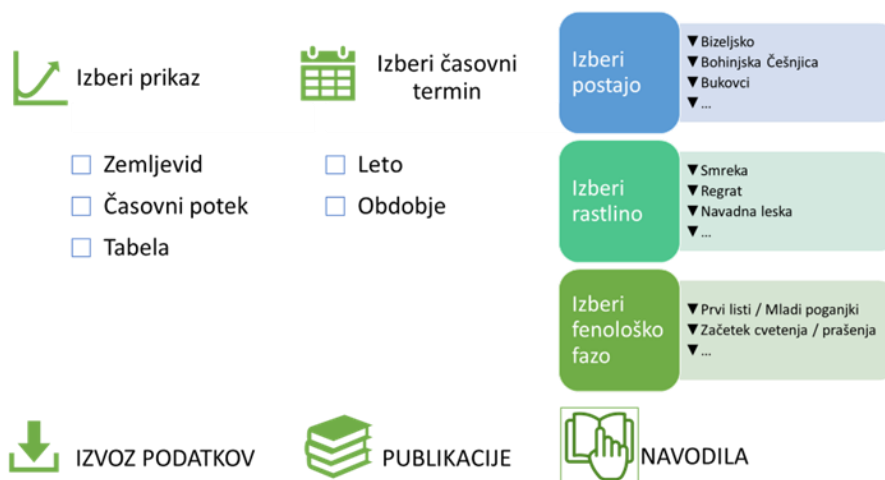
Slika 33. Časovni potek spremembe začetka cvetenja španskega bezga do konca 21. stoletja za dva scenarija izpustov, vključno z razponi odstopanj glede na 46 fenoloških postaj, ki so enakomerno razporejene po Sloveniji.

Naloga 6

Opis: Izdelava zasnove spletnega pregledovalnika - orodja za vizualizacijo podatkov (z izvedenimi statističnimi parametri). Priprava zasnove spletnega orodja za prikaz podatkov (animiran prikaz točkovnih fenoloških podatkov - »fenološka risanka«) ter vnos fenoloških podatkov in izračunanih podnebnih trendov v obliki, ki bo razumljiva širši zainteresirani javnosti. Zasnova mora biti pripravljena v skladu z naročnikovo digitalno prenovo.

Poročilo: Pripravili smo idejno zasnovo spletnega pregledovalnika – orodja za vizualizacijo podatkov s predlogom izvedenih parametrov. Pregledovalnik vključuje možnost izbora različnih prikazov fenoloških podatkov: zemljevid, graf s časovnim potekom ali tabelarni prikaz. Omogoča tudi izbor časovnega obdobja fenoloških opazovanj (leto ali časovni termin po izboru uporabnika). Omogoča izbor prikazanih fenoloških podatkov po fenoloških postajah, opazovanih rastlinah ter fenoloških fazah (Slika 34).


PREGLEDOVALNIK FENOLOŠKIH PODATKOV



Slika 34: Vstopna stran za spletni pregledovalnik fenoloških podatkov – idejna zasnova

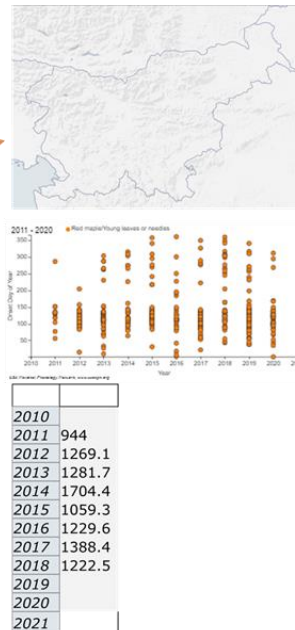


PREGLEDOVALNIK FENOLOŠKIH PODATKOV

 Izberi prikaz

- Zemljevid
- Časovni potek
- Tabela

 IZVOZ PODATKOV



Slika 35: Predlog za uporabnikom prijazen izbor načina prikaza fenoloških podatkov v spletnem pregledovalniku fenoloških podatkov – idejna zasnova

Pregledovalnik omogoča tudi izvoz podatkov, podstran s podrobnejšimi navodili za uporabo pregledovalnika ter podstran z relevantnimi publikacijami.



Naloga 7

Opis: Promocijski materiali in dogodki. Ob izvajanju naloge priprava dveh dogodkov in promocijske brošure ter video prezentacije s ciljem ozaveščanja javnosti.

Poročilo: Zaradi zamika pri izvedbi Naloga 1 ter posledično vseh nanjo vezanih nalog bi izvajalec načrtovane promocijske dogodki izvedel ravno v času poletnih dopustov, ki bi bili zato manj obiskani in odmevni. Zato je izvajalec v dogovoru z naročnikom prestavil izvedbo dveh promocijskih dogodkov, objave promocijske brošure ter video prezentacije na obdobje od 1. septembra do 31. decembra 2023.



Ostalo

Sestanki z naročnikom in spremljanje poteka dela na nalogi

Izvajalec je v rednih stikih z naročnikom ter je na video sestankih sproti poročal o opravljenem delu na posameznih nalogah. Video sestanki so potekali:

- 24. 8. 2021
- 31. 8. 2021
- 2. 9. 2021
- 14. 9. 2021
- 28. 9. 2021
- 12. 10. 2021
- 11. 11. 2021
- 23. 11. 2021
- 18. 1. 2022
- 15. 2. 2022
- 12. 4. 2022
- 23. 6. 2022
- 12. 8. 2022
- 25. 8. 2022



Viri

- Auchmann, R., Brugnara, Y., Rutishauser, T., Brönnimann, S., Gehrig, R., Pietragalla, B., Begert, M., Sigg, C., Knechtl, V., Calpini, B., Konzelmann, T., (2018)., H. B. U. C. F. P. F. T. P. 2018. Quality Analysis and Classification of Data Series from the Swiss Phenology Network. Zürich-Flughafen, Federal Office of Meteorology and Climatology MeteoSwiss: str. 77.
- Ault, T. R., Schwartz, M. D., Zurita-Milla, R., Weltzin, J. F., Betancourt, J. L. 2015. Trends and Natural Variability of Spring Onset in the Coterminous United States as Evaluated by a New Gridded Dataset of Spring Indices. *Journal of Climate*, 28, 21: 8363-8378.
- Beaubien, E. G., Freeland, H. J. 2000. Spring phenology trends in Alberta, Canada: links to ocean temperature. *International Journal of Biometeorology*, 44, 2: 53-59.
- Brugnara, Y., Auchmann, R., Rutishauser, T., Gehrig, R., Pietragalla, B., Begert, M., Sigg, C., Knechtl, V., Konzelmann, T., Calpini, B., Brönnimann, S. 2020. Homogeneity assessment of phenological records from the Swiss Phenology Network. *Int J Biometeorol*, 64, 1: 71-81.
- Ge, Q., Wang, H., Zheng, J., This, R., Dai, J. 2014. A 170 year spring phenology index of plants in eastern China. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 119, 3: 301-311.
- Gerst, K. L., Crimmins, T. M., Posthumus, E. E., Rosemartin, A. H., Schwartz, M. D. 2020. How well do the spring indices predict phenological activity across plant species? *International Journal of Biometeorology*, 64, 5: 889-901.
- Huld, T., Pascua, I. P. 2015. Spatial Downscaling of 2-Meter Air Temperature Using Operational Forecast Data. *Energies*, 8, 4: 2381-2411.
- Mccabe, G. J., Ault, T. R., Cook, B. I., Betancourt, J. L., Schwartz, M. D. 2012. Influences of the El Niño Southern Oscillation and the Pacific Decadal Oscillation on the timing of the North American spring. *International Journal of Climatology*, 32, 15: 2301-2310.
- Rosemartin, A. H., Denny, E. G., Weltzin, J. F., Lee Marsh, R., Wilson, B. E., Mehdipoor, H., Zurita-Milla, R., Schwartz, M. D. 2015. Lilac and honeysuckle phenology data 1956–2014. *Scientific Data*, 2, 1: 150038.
- Schwartz, M. D., Ahas, R., Aasa, A. 2006. Onset of spring starting earlier across the Northern Hemisphere. *Global Change Biology*, 12, 2: 343-351.
- Schwartz, M. D., Ault, T. R., Betancourt, J. L. 2013. Spring onset variations and trends in the continental United States: past and regional assessment using temperature-based indices. *International Journal of Climatology*, 33, 13: 2917-2922.
- Wang, H., Dai, J., Ge, Q. 2014. Comparison of Satellite and Ground-Based Phenology in China's Temperate Monsoon Area. *Advances in Meteorology*, 2014, 474876.
- Žust, A. 2015. Fenologija v Sloveniji: Priročnik za fenološka opazovanja. Phenology in Slovenia: Manual for phenological observations. Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija RS za okolje. Ministry of Environment, Slovene Environmental Agency.: str.
- COS Climate Monitoring principles, WMO 2016, <https://gcos.wmo.int/en/essential-climate-variables/about/gcos-monitoring-principles>