

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA AGRONOMIJO

Tomaž STERNIŠA

**ANALIZA FENOFAZE CVETENJA
ZA SADNE RASTLINE V SLOVENIJI
ZA OBDOBJE 1961–2010**

DIPLOMSKO DELO

Univerzitetni študij

Ljubljana, 2013

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA AGRONOMIJO

Tomaž STERNIŠA

**ANALIZA FENOFAZE CVETENJA ZA SADNE RASTLINE
V SLOVENIJI ZA OBDOBJE 1961–2010**

DIPLOMSKO DELO
Univerzitetni študij

**FLOWERING PHENOPHASE ANALYSIS OF FRUIT PLANTS
IN SLOVENIA FOR THE PERIOD 1961–2010**

GRADUATION THESIS
University studies

Ljubljana, 2013

Diplomsko delo je zaključek Univerzitetnega študija agronomije. Opravljeno je bilo na Katedri za agrometeorologijo, urejanje kmetijskega prostora ter ekonomiko in razvoj podeželja Oddelka za agronomijo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani.

Študijska komisija Oddelka za agronomijo je za mentorico diplomskega dela imenovala doc. dr. Zaliko ČREPINŠEK.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik: prof. dr. BATIČ Franc
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo

Član: doc. dr. USENIK Valentina
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo

Član: doc. dr. ČREPINŠEK Zalika
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo

Datum zagovora:

Diplomska naloga je rezultat lastnega dela. Podpisani se strinjam z objavo svojega diplomskega dela na spletni strani Digitalne knjižnice Biotehniške fakultete. Izjavljam, da je delo, ki sem ga oddal v elektronski obliki, identično tiskani verziji.

Tomaž STERNIŠA

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Dn
DK	UDK 634.1:631.547.4 (497.4) (043.2)
KG	fenologija / olistanje / cvetenje / trendi / korelacija / sadne rastline
KK	AGRIS P40
AV	STERNIŠA, Tomaž
SA	ČREPINŠEK, Zalika (mentorica)
KZ	SI-1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo
LI	2013
IN	ANALIZA FENOFAZE CVETENJA ZA SADNE RASTLINE V SLOVENIJI ZA OBDOBJE 1961–2010
TD	Diplomsko delo (univerzitetni študij)
OP	XI, 42, [4] str., 7 pregl., 19 sl., 2 pril., 40 vir.
IJ	sl
JJ	sl/en
AI	Proučevali smo vpliv povprečnih temperatur zraka na nastop fenofaz L_1, C_{zac}, C_{vrh} in C_{kon} pri jablani (sorte 'Bobovec', 'Idared' in 'Beličnik'), hruške (sorti 'Viljamovka' in 'Pastorjevka') ter slive (sorta 'Domača češplja') na petih fenoloških postajah (Celje, Ljubljana, Maribor, Novo mesto in Veliki Dolenci) v Sloveniji za obdobje 1961–2010. Analizirali smo najzgodnejši in najpoznejši datum pojavljanja fenofaze, izračunali povprečne vrednosti, variacijski razmik in standardni odklon. Povprečni variacijski razmik vseh obravnavanih fenofaz sadnih rastlin je bil 34 dni. Pri analizi statistično značilnih trendov smo ugotovili zgodnejše nastopanje obravnavanih fenofaz v zadnjih letih. Vrednosti statistično značilnih trendov so bile pri fenofazi pojav prvih listov od -3,1 dni/10 let do -5,2 dni/10 let, pri fenofazi začetek cvetenja od -2,3 dni/10 let do -4,2 dni/10 let, pri fenofazi vrh cvetenja od -2,2 dni/10 let do -5,2 dni/10 let, pri fenofazi konec cvetenja pa od -1,6 dni/10 let do -5,7 dni/10 let. S pomočjo korelacijske analize smo ugotavljali povezavo med povprečnimi temperaturami zraka posameznih mesecev, dvomesečij in tromesečij ter pojavljanjem obravnavanih fenofaz na izbranih fenoloških postajah. Vsi največji izračunani koeficienti korelacije so bili negativni in v večini primerov močno statistično značilni, vrednosti so se gibale med -0,41 in -0,89. Fenofaze so imele najtesnejšo povezavo s povprečnimi temperaturami dvomesečja februar–marec, sledita tromesečje februar–marec–april in dvomesečje marec–april. Fenofaze cvetenja so na temperaturne spremembe bolj občutljive kot fenofaze olistanja.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Dn
DC UDC 634.1:631.547.4 (497.4) (043.2)
CX phenology / leafing / flowering / trends / correlations / fruit plants
CC AGRIS P40
AU STERNIŠA, Tomaž
AA ČREPINŠEK, Zalika (supervisor)
PP SI-1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101
PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Agronomy
PY 2013
TI FLOWERING PHENOPHASE ANALYSIS OF FRUIT PLANTS IN SLOVENIA
FOR THE PERIOD 1961–2010
DT Graduation Thesis (University studies)
NO XI, 42, [4] p., 7 tab., 19 fig., 2 ann., 40 ref.
LA sl
AL sl/en
AB The effect of average air temperatures on the occurrence of phenophases L_1 , C_{zac} , C_{vth} in C_{kon} of the apple tree (cvs. 'Bobovec', 'Idared' and 'Beličnik'), pear tree (cvs. 'Viljamovka' and 'Pastorjevka'), and plum tree (cv. 'Domača češplja') was studied at five phenological stations (Celje, Ljubljana, Maribor, Novo mesto and Veliki Dolenci) in Slovenia for the period 1961–2010. The analyses of the earliest and the latest dates the phenophase occurred were done, and the average value, variation interval and standard deviation were calculated. The average variation interval of all studied phenophases of fruit plants lasted 34 days. The analyses of the statistically significant trends identified earlier occurrence of the phenophases in last years. The values of statistically significant trends for the first leaf phenophase were -3.1 day/10 years to -5.2 days/10 years; -2.3 days/10 years to -4.2 days/10 years for the phenophase first flowers; -2.2 days/10 years to -5.2 days/10 years for the phenophase full flowering; and -1.6 days/10 years to -5.7 days/10 years for the phenophase end of flowering. Through the correlation analysis, the correlation between average air temperatures of individual months, two-month and three-month periods, and the occurrence time of the studied phenophases at studied phenological stations were examined. All the highest correlation coefficients were negative and, in most cases, statistically highly significant; the values varied between -0.41 and -0.89. The phenophases show the closest correlation with the average temperatures within the two-month period of February–March, followed by the three-month period of February–March–April and two-month period of March–April. The phenophases of flowering are more sensitive to the temperature changes than the leafing phenophase.

KAZALO VSEBINE

	str.
KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA	III
KEY WORDS DOCUMENTATION	IV
KAZALO PREGLEDNIC	VII
KAZALO SLIK	VIII
KAZALO PRILOG	IX
OKRAJŠAVE IN SIMBOLI	X
1 UVOD	1
1.1 OPIS PROBLEMATIKE	2
1.2 NAMEN DELA	2
1.3 DELOVNE HIPOTEZE	3
2 PREGLED OBJAV	4
2.1 ZGODOVINA FENOLOGIJE	4
2.2 POMEN FENOLOGIJE	4
2.3 FENOLOŠKE RAZISKAVE V SLOVENIJI	5
2.4 FENOLOŠKE RAZISKAVE PO SVETU	7
3 MATERIAL IN METODE	10
3.1 METEOROLOŠKI PODATKI	11
3.2 FENOLOŠKI PODATKI	12
3.3 STATISTIČNE METODE OBDELAVE PODATKOV	14
3.3.1 Okvir z ročaji	14
3.3.2 Enostavna linearna regresija	14
3.3.3 Korelacija	16

4	REZULTATI	17
4.1	OPISNE STATISTIKE	17
4.1.1	Variabilnost fenofaz pri sortah jablane	19
4.1.2	Variabilnost fenofaz pri sortah hruške	20
4.1.3	Variabilnost fenofaz pri slivi	22
4.2	TRENDI – ČASOVNA ANALIZA PODATKOV	23
4.2.1	Temperatura zraka	23
4.2.2	Trendi pojavljanja fenofaz pri sadnih rastlinah	25
4.3	KORELACIJSKA ANALIZA	28
5	RAZPRAVA IN SKLEPI	34
5.1	VARIABILNOST FENOLOŠKIH FAZ	34
5.2	ČASOVNA ANALIZA FENOLOŠKIH PODATKOV	35
5.3	KORELACIJSKA ANALIZA	37
5.4	SKLEPI	37
6	POVZETEK	39
7	VIRI	40
	ZAHVALA	
	PRILOGE	

KAZALO PREGLEDNIC

	str.
Preglednica 1: Geografske koordinate in nadmorske višine obravnavanih postaj (Spletna stran ARSO, 2013)	11
Preglednica 2: Povprečne temperature za posamezne mesece, dvomesečja in tromesečja v izbranem obdobju (1961-2010) (Arhiv fenoloških ..., 2013)	11
Preglednica 3: Dolžine nizov fenoloških podatkov za sorte sadnih rastlin na izbranih fenoloških postajah (nizi za posamezno obdobje pri nekaterih sortah niso popolni) (Arhiv fenoloških ..., 2012)	12
Preglednica 4: Povprečne vrednosti nastopa posameznih fenofaz, najzgodnejši in najpoznejši datum nastopa posamezne fenofaze (J_d), variacijski razmik in standardni odklon	18
Preglednica 5: Trendi povprečnih mesečnih temperatur ($^{\circ}\text{C}/10$ let), dvomesečij in tromesečij za obdobje 1961-2010	24
Preglednica 6: Trendi pojavljanja fenofaz (število dni/10 let) pri sadnih rastlinah v časovnem obdobju 1961-2010	25
Preglednica 7: Največji statistično značilni koeficienti korelacije (r) in temperaturni nizi, ki jim pripadajo	29

KAZALO SLIK

	str.
Slika 1: Lokacije fenoloških vrtov v mreži IPG leta 2012 (IPG, 2010)	8
Slika 2: Mreža fenoloških postaj v Sloveniji. Obravnavane postaje so dodatno označene (Arhiv fenoloških ..., 2012)	10
Slika 3: Povprečno pojavljanje fenofaz sadnih rastlin na izbranih fenoloških postajah	17
Slika 4: Okvir z ročaji za nastop fenofaz izbranih sort jablane	19
Slika 5: Pojavljanje fenofaz C_{zac} (levo) in C_{vrh} (desno) pri jablani 'Bobovec' v izbranem obdobju na postaji CE	20
Slika 6: Okvir z ročaji za nastop fenofaz izbranih sort hruške	21
Slika 7: Pojavljanje fenofaze C_{zac} pri sorti 'Viljamovka' na postaji MB (levo) in 'Pastorjevka' na postaji NM (desno) (z rdečo barvo je označen osamelec)	21
Slika 8: Okvir z ročaji za nastop fenofaz slive 'Domača češplja'	22
Slika 9: Povprečno pojavljanje fenofaze L_1 na postaji NM (levo) in na postaji VD (desno) pri slivi 'Domača češplja' v izbranem obdobju	23
Slika 10: Primera statistično značilnih pozitivnih trendov temperatur zraka, $p = 0,05$	24
Slika 11: Primeri statistično značilnih negativnih trendov fenofaz sort jablane na izbranih lokacijah, C_{vrh} za sorto 'Bobovec' v CE (zgoraj levo), C_{zac} za sorto 'Beličnik' v NM (spodaj levo) ter C_{vrh} in C_{kon} za sorto 'Beličnik' v VD (zgoraj desno in spodaj desno) $p = 0,05$	26
Slika 12: Primeri statistično značilnih trendov fenofaz sort hruške na izbranih lokacijah, C_{vrh} za sorto 'Viljamovka' v CE (levo zgoraj) in v LJ (desno zgoraj) ter L_1 in C_{kon} za sorto 'Pastorjevka' v NM (spodaj), $p = 0,05$	27
Slika 13: Primeri statistično značilnih negativnih trendov fenofaz slive sorte 'Domača češplja' v CE, $p = 0,05$	27
Slika 14: Odvisnost termina nastopa fenofaz sorte 'Beličnik' od povprečnih temperatur T_{3-4} (°C) na postaji VD	30
Slika 15: Grafični prikaz vpliva povprečnih temperatur zraka (°C) na fenofazi C_{zac} (levo) in C_{vrh} (desno) sorte 'Beličnik' na postaji VD	31
Slika 16: Odvisnost termina nastopa fenofaz sorte 'Viljamovka' od povprečnih temperatur T_{2-3} (°C) na postaji MB	31
Slika 17: Grafični prikaz vpliva povprečnih temperatur zraka (°C) na fenofazi C_{zac} (levo) in C_{kon} (desno) sorte 'Viljamovka' na postaji MB	32
Slika 18: Odvisnost termina nastopa fenofaz sorte 'Domača češplja' od povprečnih temperatur T_{2-4} (°C) na postaji NM	33
Slika 19: Grafični prikaz vpliva povprečnih temperatur zraka (°C) na fenofazi C_{vrh} na postaji MB (levo) in C_{kon} (desno) na postaji CE, oboje za sorto 'Domača češplja'	33

KAZALO PRILOG

Priloga A: Meteorološke postaje

Priloga B: Pretvorba datuma v julijanski dan

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

Okrajšave obravnavanih fenoloških/meteoroloških postaj

CE	Celje
LJ	Ljubljana
MB	Maribor
NM	Novo mesto
VD	Veliki Dolenci

Okrajšave fenofaz

L ₁	fenofaza prvi listi
C _{zac}	fenofaza začetek cvetenja
C _{vrh}	fenofaza vrh cvetenja
C _{kon}	fenofaza konec cvetenja

Povprečne mesečne temperature

T ₁	povprečna januarska temperatura
T ₂	povprečna februarjska temperatura
T ₃	povprečna marčevska temperatura
T ₄	povprečna apriljska temperatura
T ₅	povprečna majska temperatura
T ₁₋₂	povprečna temperatura dvomesečja: januarja in februarja
T ₂₋₃	povprečna temperatura dvomesečja: februarja in marca
T ₃₋₄	povprečna temperatura dvomesečja: marca in aprila
T ₁₋₃	povprečna temperatura tromesečja: januarja, februarja in marca
T ₂₋₄	povprečna temperatura tromesečja: februarja, marca in aprila
T ₃₋₅	povprečna temperatura tromesečja: marca, aprila in maja

Ostale okrajšave in simboli

ARSO	Agencija Republike Slovenije za okolje
J _d	julijanski dan
max	maksimum
min	minimum

Q ₁	prvi kvartil
Q ₂	drugi kvartil (mediana)
Q ₃	tretji kvartil
Q	kvartilni razmik
VR	variacijski razmik
r	koeficient korelacije
*	statistično značilen trend (p = 0,05)
-ns (+ns)	negativen (pozitiven) trend, ki ni statistično značilen

1 UVOD

Fenologija se ukvarja s proučevanjem zakonitosti pri periodičnih pojavih (fazah) v razvojnem krogu rastlin in živali ter ugotavlja, kako so odvisni od dejavnikov okolja (Fenologija, 2008). Fenologija je del agrometeorologije, saj pri fenoloških opazovanjih in raziskavah spremljamo, kako se s spreminjanjem dejavnikov okolja spreminja pojavljanje določenih faz v razvoju rastlin in živali.

Kot sodobno znanstveno disciplino je fenologijo definirala Mednarodna fenološka komisija US/IBP Phenology Committee: Fenologija je proučevanje pojavljanja periodičnih bioloških faz in vzrokov njihovega pojava, ob upoštevanju biotičnih in abiotičnih dejavnikov ter proučevanje medsebojnega odnosa faz znotraj ene ali več vrst (Fenologija, 2008). Izraz fenologija je sestavljen iz grških besed za “pojaviti se” (phainesthai) in “razlog” (logos) (Črepinšek, 2007).

Z zbiranjem in vrednotenjem klimatskih in fenoloških podatkov se agrometeorologija aktivno vključuje v raziskovalno dejavnost na področju pridelave hrane. Poleg meteoroloških podatkov, fenološki podatki predstavljajo podlago za raziskovanje vpliva sprememb vremena in klimatskih razmer na spremembe v razvoju rastlin in pojavljanju rastlinskih bolezni ter škodljivcev. Z upoštevanjem dolgoročnega vpliva sprememb v rasti in razvoju kmetijskih rastlin, njihovih bolezni in škodljivcev, lahko kmetijsko proizvodnjo načrtujemo v skladu s pričakovanim vremenom in podnebnimi razmerami in na ta način zagotovimo optimalen in kakovosten pridelek.

Fenološke podatke v kmetijstvu uporabimo pri izdelavi agrometeoroloških analiz, napovedi in modelov, z njihovo pomočjo ugotavljamo ustreznost obravnavanih območij za pridelavo določenih kmetijskih rastlin in načrtujemo agrotehnične ukrepe (setev, rez, namakanje, varstvo rastlin, spravilo) za optimalno pridelavo (Črepinšek in Kajfež-Bogataj, 2005).

Fenološka opazovanja vsebujejo podatke o datumu nastopa fenofaze, ki je naveden kot zaporedni dan v letu (julijanski dan), dolžini fenofaze in časovnem intervalu med zaporednimi fenofazami iste rastlinske (ali živalske) vrste. Na naši geografski širini je pojavljanje fenofaz v veliki meri odvisno od temperatur zraka, zato je poznavanje te odvisnosti zelo pomembno pri izdelavi agrometeoroloških analiz in napovedovanju možnih sprememb zaradi spremenjenih podnebnih razmer v prihodnosti.

1.1 OPIS PROBLEMATIKE

Proučevanje fenoloških faz v dolgem časovnem nizu je vse pomembnejše orodje za ugotavljanje vpliva podnebnih sprememb na rastlinski in živalski svet. Rezultati mnogih raziskav v zadnjih letih so pokazali, da je zaradi višjih temperatur v spomladanskem obdobju na območjih zmernih geografskih širin fenološki razvoj rastlin zgodnejši. Pri jesenskih fenofazah so spremembe manjše, podaljšanje rastne sezone pa je predvsem posledica zgodnejše pomladi. Analiza podatkov evropskih mednarodnih fenoloških vrtov je pokazala trend podaljšanja rastne sezone v več kot polovici naravnih regij Evrope.

Analize dolgoletnih fenoloških podatkov so zato zelo pomembne pri primerjavah trenutnega fenološkega razvoja z razvojem v daljšem časovnem obdobju. Uporabimo jih lahko pri vrednotenju nihanj med leti in ugotavljanju možnih trendov, rezultati pa so uporabni tudi pri agrometeoroloških raziskavah. Strokovnjaki predvidevajo, da bo ob predvidenih scenarijih klimatskih sprememb variabilnost v terminu pojavljanja fenofaz večja. Za Slovenijo je bilo za obdobje do leta 1999 narejenih nekaj analiz fenoloških trendov, v zadnjem desetletju pa je bilo nekaj let z izrazito toplimi spomladanskimi obdobji, kar se je odražalo tudi na zgodnejšem fenološkem razvoju.

1.2 NAMEN DELA

Za izbrane sadne rastline bomo analizirali časovni pojav fenofaze pojava prvih listov in cvetenja (povprečja, najzgodnejši in najkasnejši pojav fenofaze, trajanje medfaznih obdobj). Opredelili bomo odvisnost termina pojavljanja fenofaz za izbrane sorte sadnih rastlin od povprečnih temperatur zraka.

V ta namen bomo:

- analizirali dolgoletne nize fenoloških podatkov in njihovo variabilnost za 5 fenoloških (meteoroloških) postaj v Sloveniji,
- izračunali povprečne vrednosti nastopa posameznih fenofaz, najzgodnejši in najpoznejši datum nastopa posamezne fenofaze, variacijski razmik in standardni odklon,
- z modelom enostavne linearne regresije izračunali časovne trende pojavljanja fenofaz pojava prvih listov in cvetenja za obdobje 1961–2010 ter povprečnih mesečnih temperatur zraka,
- naredili korelacijsko analizo med terminom nastopa fenofaz ter povprečnimi mesečnimi, dvomesečnimi in tromesečnimi temperaturami zraka za mesece od januarja do maja,
- ovrednotili vpliv morebitnih sprememb v terminu pojava fenofaz za kmetijsko pridelavo.

Predvidevamo, da se podnebne spremembe odražajo na zgodnejšem fenološkem razvoju, ki je izrazitejši v zadnji dekadi (2001–2010), v kateri je bilo nekaj izrazito toplih pomladi (2000, 2003, 2007, 2009).

1.3 DELOVNE HIPOTEZE

1. Predvidevamo, da obstaja velika variabilnost v terminu nastopa fenofaz med leti in med posameznimi kraji za izbrane sorte sadnih rastlin.
2. Predvidevamo, da spomladanske temperature zraka na izbranih meteoroloških postajah v zadnjih letih naraščajo.
3. Predvidevamo, da je pojavljanje fenofaz pojava prvih listov in cvetenja pri izbranih sadnih rastlinah v zadnjih letih zgodnejše zaradi višjih temperatur zraka.
4. Predvidevamo, da obstajajo statistično značilne korelacije med nastopom fenofaz ter povprečnimi temperaturami zraka.

2 PREGLED OBJAV

2.1 ZGODOVINA FENOLOGIJE

Najstarejši zapisi fenoloških opazovanj izvirajo iz Kitajske in so stari približno 2500 let. Tudi Rimljani so uporabljali fenološke koledarje. Na Japonskem obstaja najdaljši časovni niz fenoloških podatkov. Zaradi tradicionalnega japonskega praznika cvetenja češenj so zapisovali podatke o začetku cvetenja od leta 812 (Črepinšek, 2002).

Prvi zapisi fenoloških podatkov v Evropi izvirajo iz obdobja okoli leta 1500. Leta 1751 je izšla "*Philosophia Botanica*", ki velja za prvo delo moderne, sistematične fenologije. Napisal jo je švedski botanik Carl von Linne. Opisal je metode sestavljanja fenoloških koledarjev rasti na osnovi olistanja, cvetenja, zorenja plodov in odpadanja listja, pojasniti pa jih je skušal z vremenskimi vplivi. Tudi Stelligfleet v Angliji leta 1755 ("*Floral Calender*") in Haenke v Pragi leta 1786 sta ugotovila, da so rastline lahko pokazatelji podnebnih značilnosti (Fenologija, 2008). Na takratnem Kranjskem je leta 1761 nastalo Scopolijevo delo "*Calendarium Florae Carniolicae*", ki predstavlja monografijo z več kot tisoč rastlinskimi vrstami z območja Kranjske in je prvi znani fenološki zapis z našega ozemlja (Črepinšek, 2007). V letih 1841–1872 je belgijski botanik A. Quetelet v Evropi organiziral mrežo fenoloških opazovanj. Za srednjo Evropo sta prve fenološke karte izdelala Hoffmann leta 1881 in Ihne leta 1885. V obdobju 1940–1960 je z ustanovitvijo fenoloških parkov in raziskav na področju fenologije velik prispevek pri razvoju fenologije naredil Schnelle. Večina agrometeoroloških služb v Evropi v novejšem obdobju opravlja fenološka opazovanja kot del rednih opazovanj (Fenologija, 2008).

2.2 POMEN FENOLOGIJE

Pojavljanje fenofaz je posledica biokemičnih procesov v rastlini. Ti procesi potekajo po genetsko določenih zakonitostih, so pa pod zelo močnim vplivom vseh dejavnikov okolja (Vilhar in Kajfež-Bogataj, 2003). Večinoma so fenofaze med seboj povezane, en fenološki dogodek je običajno dober pokazatelj naslednjega dogodka. Zato lahko za napoved fenofaz drugih rastlin uporabimo indikatorske rastline ali indikatorske faze (Chmielewski in sod., 2004). Na osnovi opazovanja življenjskih ciklusov rastlin so pridobivali izkušnje, na podlagi katerih se je kot del agrometeorologije razvila fenološka dejavnost, ki raziskuje vpliv dejavnikov okolja na razvoj rastlin in živali. Fenologija se deli na fitofenologijo (fenologija rastlin), ki vključuje opazovanja določenih faz v razvoju rastlin od začetka do konca rastne sezone, in zoofenologijo (fenologija živali), ki raziskuje predvsem razvojne faze škodljivih žuželk, spremembe vzorcev selitev ptic in podobno (Črepinšek, 2007).

Pomemben del fenoloških raziskav je ugotavljanje, kako se rastline prilagajajo na različna okolja. Fenološke lastnosti sadnih rastlin lahko pomembno vplivajo na pravilen izbor sort na nekem območju (Vilhar in Kajfež-Bogataj, 2003). Fenološka opazovanja so lahko v veliko pomoč pri določanju primernih (ugodnih oz. neugodnih) območij za kmetijsko proizvodnjo (Chmielewski in sod., 2004).

Pri kmetijski proizvodnji lahko fenološke podatke uporabljamo za izdelavo agrometeoroloških analiz, napovedi in modelov, ko ugotavljamo, ali je neko območje primerno za pridelavo določene kmetijske rastline (npr. z vidika toplotnih zahtev rastlin), pri načrtovanju agrotehničnih ukrepov kot so setev, rez, namakanje, varstvo rastlin, spravilo (Črepinšek, 2002).

Fenološki podatki so uporabni tudi za spremljanje letnega razvoja opazovanih rastlin, primerjavo z dolgoletnimi povprečji, pri oceni odstopanj, ki so posledica vremenskih razmer, za ugotavljanje trendov pojavljanja fenoloških faz v daljšem časovnem obdobju, pri pripravi fenoloških kart za izbrane rastline in fenološke faze ter pri izdelavi fenoloških koledarjev rastlin, ki povzročajo alergije. Fenološke podatke lahko uporabimo tudi pri pripravi agrometeoroloških biltenov in poročil (Fenologija, 2008), pri biomonitoringu in merjenju ter vrednotenju satelitskih informacij (Chmielewski in sod., 2004).

Vedno bolj se uveljavlja tudi uporaba fenoloških podatkov v medicini, pri proučevanju pojavljanja fenofaz rastlin, ki povzročajo alergije, na primer cvetenje leske, breze, trav (Vilhar in Kajfež-Bogataj, 2003).

Dolgoletni fenološki podatki sodijo med najbolj občutljive indikatorje vplivov podnebja na rastline. Z njihovo pomočjo lahko boljše razumemo medsebojne vplive med atmosfero in biosfero (Chmielewski in sod., 2004). Na osnovi dolgoletnih kontinuiranih fenoloških podatkov lahko proučujemo trende pojavljanja fenoloških faz, ki so posledica podnebnih sprememb. Na podlagi teh trendov je mogoče ocenjevati ali napovedovati spremembe v razvoju rastlin ob napovedanih podnebnih spremembah (Črepinšek, 2002).

2.3 FENOLOŠKE RAZISKAVE V SLOVENIJI

S sistematičnimi fenološkimi opazovanji v Sloveniji so začeli v rastni sezoni 1950/1951. Na takratnem Hidrometeorološkem inštitutu (zdaj Agencija Republike Slovenije za okolje – ARSO) so začeli vzpostavljati mrežo fenoloških postaj. Teh je bilo vsako leto več in v 60-ih letih prejšnjega stoletja jih je delovalo več kot 120. Število fenoloških postaj se je po letu 1990, zaradi različnih vzrokov, ustalilo pri številu 61, ki so po regionalnem klimatskem ključu razporejene po celem ozemlju Slovenije. Večina fenoloških postaj se nahaja v bližini meteoroloških postaj (Črepinšek in sod., 2008a). Na fenoloških postajah

spremljajo fenološke podatke za samonikle zelnate rastline, gozdna drevesa in grmovje, trave in metuljnice ter za izbrane gojene kmetijske rastlinske vrste (poljščine, sadne rastline, vinska trta). Podatki o opravljenih fenoloških opazovanjih so shranjeni v arhivu Urada za meteorologijo na ARSO, v obdobju 1950–1980 kot klasični fenološki dnevniki, kasneje pa kot elektronski arhiv (Črepinšek in Zrnec, 2005).

V letih 1958/1959 so na agrometeorološkem oddeleku Hidrometeorološkega zavoda Republike Slovenije osnovali mednarodni fenološki vrt v parku Tivoli pod Rožnikom v Ljubljani. S tem se je Slovenija pridružila številnim evropskim mestom s tovrstnimi vrtovi. Pri Svetovni meteorološki organizaciji (WMO) so leta 1953 v Parizu sklenili pri vseh članicah WMO-ja vzpostaviti mednarodne fenološke vrtove, katerih glavni cilj je bil zagotoviti poenotena merila za fenološka opazovanja, fenometrične meritve ter ugotavljanje fenoloških značilnosti in njihove odvisnosti od dejavnikov okolja. V parkih so zastopane le klonsko razmnožene rastline, saj se rastline zelo različno odzivajo na spremembe v okolju, na to pa seveda vplivajo tudi genetske lastnosti rastlin. Mednarodni fenološki vrtovi tako omogočajo primerjavo razvoja rastlin z enako gensko osnovo v širšem evropskem prostoru. Rastline, ki rastejo v ljubljanskem parku, so vzgojili v drevesnici za vzgojo klonskih sadik v Mündnu v Nemčiji (Fenologija, 2008).

Največ fenoloških raziskav je bilo opravljenih za sadne rastline. Že leta 1964 je Hočevar proučeval povezavo med fenološkim razvojem jablane in češnje ter meteorološkimi parametri (relativno zračno vlago, osončenjem ter spremembo povprečne dnevne temperature glede na prejšnji dan) (Hočevar, 1964). S fenološkimi fazami češnje se je ukvarjala tudi Smoletova (1979). V raziskavi je primerjala termine pojavljanja fenofaz začetka brstenja, cvetenja, zorenja in konca rasti pri 49 kultivarjih.

Na podlagi dolgoletnih fenoloških podatkov sta Kajfež-Bogatajeva in Bergant (1998) ocenjevala, kakšne so možnosti napovedovanja pojava fenofaze vrh cvetenja jablane. Ugotovila sta, da lahko nastop fenofaze vrh cvetenja pri jablani napovedujemo z uporabo fenoloških podatkov samoniklih rastlin (breze in lipe) in predhodne fenofaze jablane. Kajfež-Bogatajeva in Bergant (1999) ter Bergant in sod. (2001) so tudi primerjali napovedovanje vrh cvetenja jablane, hruške in češplje. Črepinšek in sod. (2009) so raziskovali spremembe fenoloških faz pri navadnem orehu glede na naraščanje temperatur v Sloveniji. V raziskavi so primerjali obdobji 1984–1990 in 2000–2006.

Scenariji podnebnih sprememb za Evropo predvidevajo do konca stoletja ogrevanje za 2,5 – 5,5 °C. Zime bodo toplejše na severu Evrope, poletja pa se bodo ogrela v južni in srednji Evropi. Letna količina padavin na severu se bo povečala, na jugu pa se bo zmanjšala. Tveganja, pogojena s spremembami podnebja, se bodo različno povečala na različnih zemljepisnih širinah. Pogostejše in daljše suše bodo posledica toplejšega podnebja z manj padavinami. Do leta 2070 se bodo suše, ki se zdaj pojavljajo povprečno enkrat na

100 let, pojavljale v krajšem obdobju od 50 let. Zaradi podnebnih sprememb se bodo povečale regionalne razlike v dostopnosti naravnih in vodnih virov med severom in jugom Evrope (Kajfež-Bogataj, 2008).

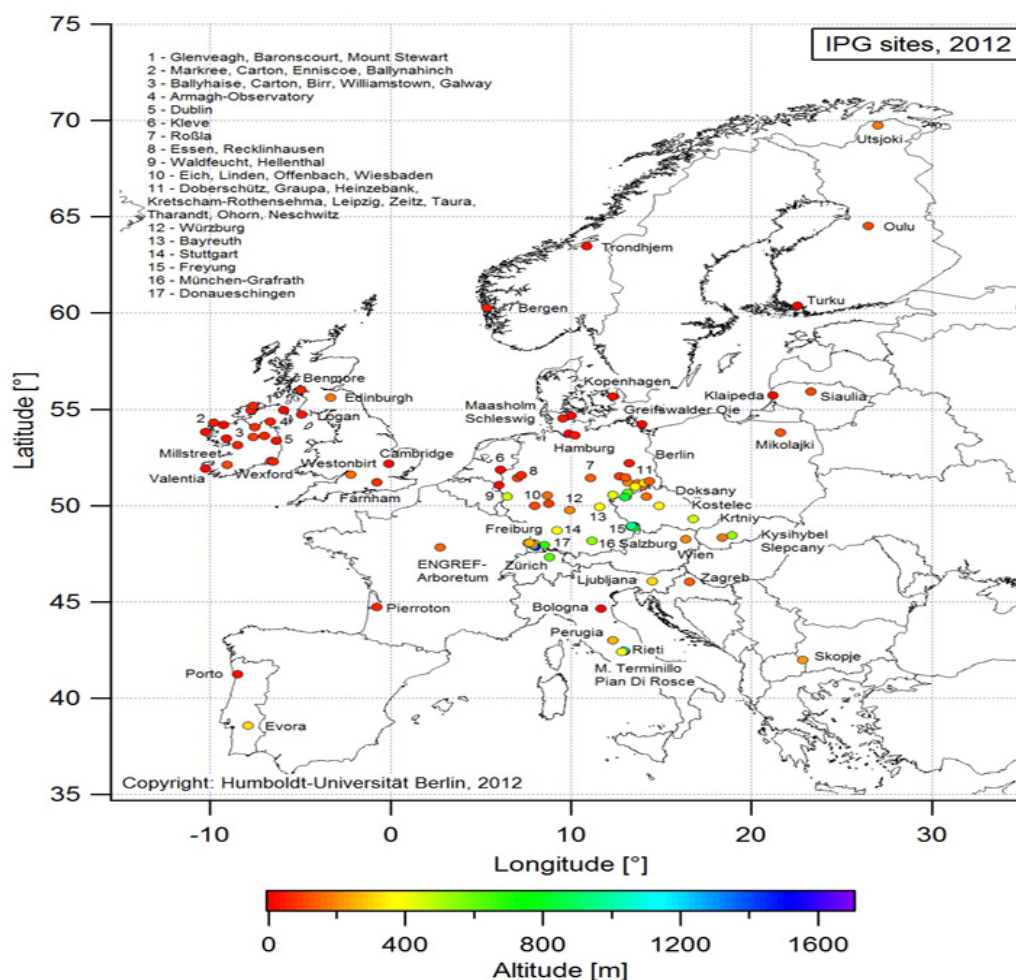
Spremembe ključnih agrometeoroloških spremenljivk na območju Slovenije so ovrednotili Kajfež-Bogataj in sod. (2010). Raziskovali so spremembe temperature, število hladnih, toplih ter vročih dni, količino padavin, evapotranspiracijo in druge spremenljivke. Rezultati so pokazali, da se je v primerjavi z obdobjem 1961–1990 vrednost povprečne letne temperature zraka v obdobju 1991–2007 povečala za 0,7 – 1,4 °C. Izrazito se je povečala tudi povprečna maksimalna temperatura zraka. Število vročih dni se je povečalo, število hladnih dni pa se je zmanjšalo. Spremembe, ki so jih opazili pri padavinah, so se pojavljale izrazito sezonsko in regionalno, pozimi je bilo padavin več, jeseni pa manj. Izrazito pozitiven trend je bil izražen pri poletni evapotranspiraciji, največji julija v Goriški in Obalno-kraški regiji (30 mm/10 let). Kmetijstvo ima pomembno vlogo pri blaženju vse bolj izrazitih podnebnih sprememb, hkrati pa se jim mora čimbolj prilagajati.

Prednostne naloge pri fenoloških opazovanjih v bodoče v Sloveniji so (Črepinšek in sod., 2008b):

- izdaja navodil za opazovanje na fenoloških postajah, ki bodo vključevala fotografije in skice fenofaz ter izdelavo fenološkega atlasa;
- povečanje števila opazovanih gojenih rastlin in opazovanje dodatnih fenoloških faz na nekaterih gojenih rastlinah za uporabo v agrometeoroloških analizah in prognozah;
- razširitev opazovanja fenofaze cvetenje pri alergenih rastlinah;
- osnovanje državnega internetnega "Feno Portala", kjer bodo fenološki podatki prikazani sproti in na način, prijazen uporabniku.

2.4 FENOLOŠKE RAZISKAVE PO SVETU

Mednarodni fenološki vrtovi (International Phenological Gardens) predstavljajo mrežo fenoloških vrtov v Evropi, ki sta jo leta 1957 osnovala F. Schnelle in E. Volkert in jo zdaj koordinira Univerza Humboldt v Berlinu. Namen vzpostavitve mreže fenoloških vrtov je pridobivanje obsežnih fenoloških podatkov na osnovi standardiziranih opazovanj. Fenološki vrtovi se nahajajo na podobnih lokacijah (običajno ravne površine travnikov z nekaj drevesi), pripravljena so podrobna navodila za opazovanje, ki jih nadzira osebje inštitutov ali botaničnih vrtov. Da bi odpravili genetsko variabilnost, so v fenoloških vrtovih posajena klonirana drevesa in grmi. V bližini fenoloških vrtov morajo biti tudi uradne meteorološke postaje. Leta 2010 je delovalo 89 fenoloških vrtov v 19 evropskih državah, od leta 2000 pa zbirajo podatke za 21 rastlinskih vrst (Slika 1) (IPG, 2010).



Slika 1: Lokacije fenoloških vrtov v mreži IPG leta 2012 (IPG, 2010)

Menzel in sod. (2006) so proučevali, kako podnebne spremembe vplivajo na spremembe v ekosistemih ter na pojavljanje fenofaz. Za obdobje 1971–2000 so analizirali 542 rastlinskih ter 19 živalskih vrst v 21 evropskih državah. Ugotovili so, da se 78 % fenofaz olistanja, cvetenja in zorenja pojavlja bolj zgodaj. Vpliv podnebnih sprememb na fenološki razvoj rastlin so analizirali tudi Cleland in sod. (2007). Poleg analize obstoječih fenoloških podatkov so uporabili tudi podatke satelitskih opazovanj in meritve koncentracij CO_2 v atmosferi. Ugotovili so korelacijo med temperaturo zraka in pomladanskimi fenofazami in da se koncentracija CO_2 v atmosferi povečuje.

S številnimi raziskavami so potrdili obstoj močnih korelacij med temperaturo zraka in nastopom fenofaz, dolžino medfaznih obdobj in koncem fenofaz. Ugotovili so tudi, da je dolžina razvojnih obdobj bolj povezana z dnevnimi maksimumi kot z dnevnimi minimumi in povprečnimi temperaturami zraka (Ruml in sod., 2010). Predvsem na začetku rastne sezone je poleg temperature zraka zelo pomembna tudi temperatura tal, ki lahko vpliva tudi na vernalizacijo pri ozimnih žitih (Hoogenboom, 2000).

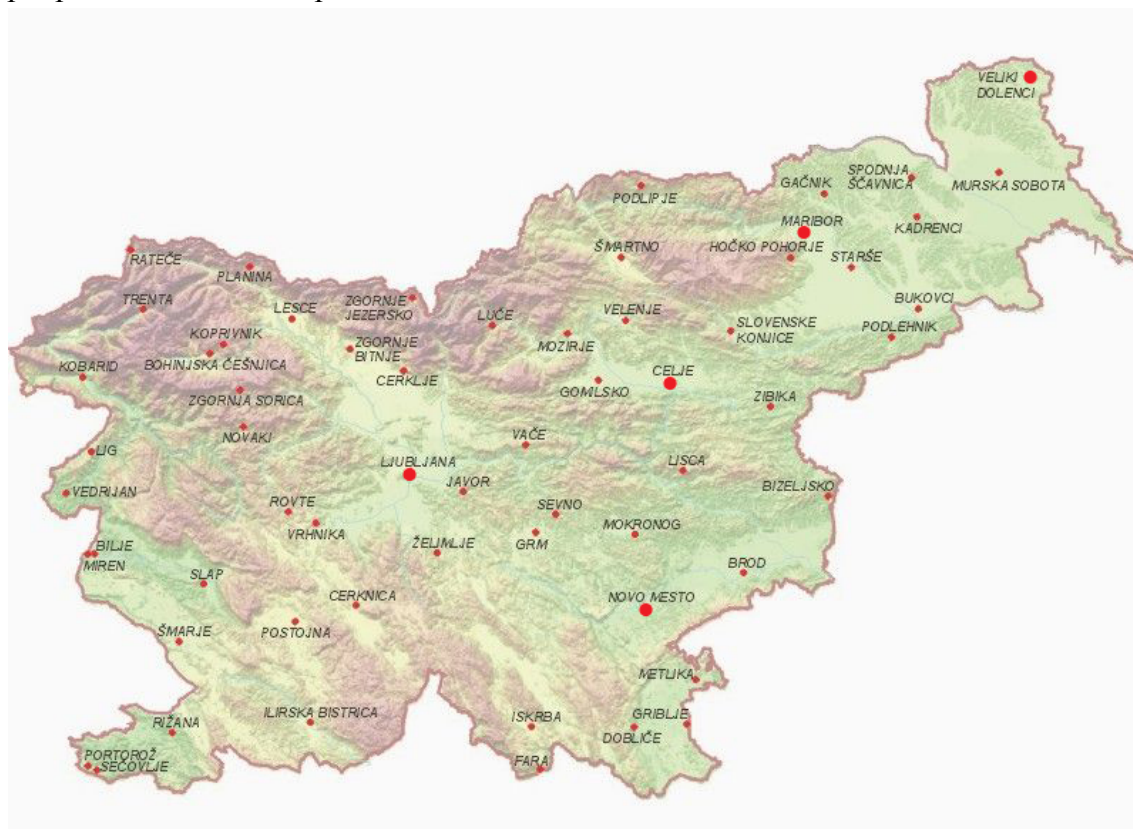
Zelo pomembna je možnost napovedovanja cvetenja alergenih rastlin, kar omogoča zdravnikom in pacientom, da se pravočasno pripravijo na povečan pojav težav z alergijo, ko alergene rastline cvetijo (Podolsky, 1984; Sušnik in Kofol-Seliger, 1999). Cvetni prah rastlin je povzročitelj približno polovice vseh alergij pri ljudeh. Fenološke podatke in modele lahko uporabimo pri napovedovanju cvetenja alergenih rastlin kot so leska, breza, različne trave in podobno. Laaidi (2001) je pripravil fenološke modele, ki jih lahko uporabimo takrat, ko meritve koncentracij cvetnega prahu v zraku niso na voljo. Sušnik in Kofol-Seliger (1999) sta proučevali povezave med pojavom fenofaze cvetenja pri leski, jelši in brezi ter začetkom sezone pojava peloda, ki je lahko povzročitelj alergije. V raziskavi se je pokazalo, da lahko tudi za območja, kjer še ne poteka monitoring peloda, s spremljanjem fenofaze cvetenja ocenimo, kdaj se bo začela sezona pojavljanja peloda v zraku.

Slovenija je podpisnica COST 725 akcije, “Vzpostavitev baze fenoloških podatkov za klimatološke aplikacije” pri Evropski skupnosti, v okviru katere je bil ustanovljen “The European Phenology Network” (EPN). Njen glavni namen je bila priprava enotne referenčne datoteke fenoloških opazovanj, posebno uporabne pri spremljanju podnebja in odkrivanju sprememb (EPN, 2004).

“The Nature’s Calendar Survey” je spletna stran iz Velike Britanije, kjer lahko od leta 2000 neprofesionalni opazovalci pojavov v naravi neposredno prispevajo rezultate svojih opazovanj. Trenutno pri zbiranju fenoloških podatkov sodeluje skoraj 50.000 opazovalcev, katerih lokacije so razporejene po celi Veliki Britaniji (NCS, 2013).

3 MATERIAL IN METODE

Fenološke in meteorološke podatke smo črpali iz arhiva Agencije Republike Slovenije za okolje (ARSO) za obdobje 1961–2010. Obravnavali smo pet lokacij: Celje, Ljubljana, Maribor, Novo mesto in Veliki Dolenci (Slika 2 in Preglednica 1). Analizirali smo fenofazo pojav prvih listov in fenofaze cvetenja (začetek, vrh in konec) za tri sadne vrste: jablana (*Malus domestica* Borkh), sorta 'Bohnapfel', v nadaljevanju 'Bobovec' (Celje, Ljubljana – nadomestna postaja Vrhnika), sorta 'Beličnik' (Novo mesto, Veliki Dolenci), sorta 'Idared' (Maribor – nadomestna postaja Starše), hruška (*Pyrus communis* L.), sorta 'Viljamovka' (Celje, Maribor, Ljubljana), sorta 'Pastorjevka' (Novo mesto) in sliva (*Prunus domestica* L.), sorta 'Domača češplja' (vse lokacije). Za postajo Veliki Dolenci fenoloških podatkov za hruško ni na voljo. Poleg fenoloških podatkov smo analizirali tudi povprečne mesečne temperature zraka.



Slika 2: Mreža fenoloških postaj v Sloveniji. Obravnavane postaje so dodatno označene
(Arhiv fenoloških ..., 2012)

Preglednica 1: Geografske koordinate in nadmorske višine obravnavanih postaj (ARSO, 2013)

Postaja	Oznaka postaje	Nadmorska višina [m]	Zemljepisna širina [φ]	Zemljepisna dolžina [λ]
Celje	CE	244	46° 15'	15° 15'
Ljubljana	LJ	299	46° 04'	14° 31'
Maribor	MB	275	46° 32'	15° 39'
Novo mesto	NM	220	45° 48'	15° 11'
Veliki Dolenci	VD	308	46° 50'	16° 17'

3.1 METEOROLOŠKI PODATKI

Uporabili smo podatke v elektronski obliki o vrednostih povprečnih mesečnih temperatur zraka na omenjenih fenoloških (meteoroloških) postajah za obdobje 1961–2010. Za povprečne temperature zraka v obdobju 1961–1974 za postajo Veliki Dolenci smo uporabili podatke postaje Murska Sobota, ki ima praktično enake povprečne temperature zraka kot Veliki Dolenci.

Pri ugotavljanju korelacije med povprečnimi temperaturami zraka in fenofazo cvetenja (začetek cvetenja, vrh cvetenja, konec cvetenja), smo vključili podatke o povprečnih mesečnih temperaturah zraka za mesece od januarja do maja (T_1 – T_5). Izračunali smo tudi povprečja temperature zraka za dvomesečja (januar–februar (T_{1-2}), februar–marec (T_{2-3}), marec–april (T_{3-4})) in za tromesečja (januar–februar–marec (T_{1-3}), februar–marec–april (T_{2-4}), marec–april–maj (T_{3-5})).

Povprečne mesečne temperature, povprečja dvomesečij in tromesečij za izbrano obdobje se med posameznimi fenološkimi postajami zelo malo razlikujejo (Preglednica 2).

Preglednica 2: Povprečne temperature za posamezne mesece, dvomesečja in tromesečja v izbranem obdobju (1961–2010) (Arhiv fenoloških ..., 2013)

	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_{1-2}	T_{2-3}	T_{3-4}	T_{1-3}	T_{2-4}	T_{3-5}
	[°C]										
Celje	-1,0	1,0	5,0	9,7	14,7	0,0	3,0	7,3	1,7	5,2	9,8
Ljubljana	0,1	2,0	6,3	10,3	15,4	1,1	4,2	8,3	2,8	6,2	10,7
Maribor	-0,7	1,6	5,6	10,4	15,2	0,5	3,6	8,0	2,2	5,9	10,4
Novo mesto	-0,7	1,5	5,6	10,1	14,9	0,4	3,5	7,8	2,1	5,7	10,2
Veliki Dolenci	-1,2	1,2	5,3	10,1	14,8	0,0	3,2	7,7	1,7	5,5	10,1
Razpon (max–min)	1,3	1,0	1,3	0,7	0,7	1,1	1,2	1,0	1,1	1,0	0,9

3.2 FENOLOŠKI PODATKI

Iz arhiva fenoloških podatkov ARSO smo dobili tudi podatke o fenofazah (prvi listi, začetek cvetenja, vrh cvetenja, konec cvetenja) za sorte jablane, hruške in slive na izbranih lokacijah. Podatki o fenofazah so podani kot zaporedni dan v letu – julijanski dan (J_d). Fenološke podatke smo skupaj z meteorološkimi podatki o vrednostih povprečnih mesečnih temperatur združili v korelacijske tabele za posamezne postaje. Pri tem smo upoštevali, da pri nekaterih nizih manjkajo posamezni podatki znotraj obdobja, za katero je niz podan. Kjer je bilo mogoče, smo uporabili podatke za časovni niz 1961–2010. Kjer to ni bilo mogoče, smo pri analizah uporabili časovne nize, za katere so bili podatki na voljo. Ti časovni nizi niso bili nikoli krajši od 20 let (Preglednica 3).

Preglednica 3: Dolžine nizov fenoloških podatkov za sorte sadnih rastlin na izbranih fenoloških postajah (nizi za posamezno obdobje pri nekaterih sortah niso popolni) (Arhiv fenoloških ..., 2012)

	Celje	Ljubljana (nadomestna postaja Vrhnika)	Maribor (nadomestna postaja Starše)	Novo mesto	Veliki Dolenci
Jablana	‘Bobovec’	‘Bobovec’	‘Idared’	‘Beličnik’	‘Beličnik’
pojav prvih listov	1980–2002	1972–2007	1989–2010	1980–2010	1980–2010
začetek cvetenja	1961–2002	1972–2007	1989–2010	1980–2010	1980–2010
vrh cvetenja	1961–2002	1972–2007	1989–2010	1980–2010	1980–2010
konec cvetenja	1961–2002	1972–2007	1989–2010	1980–2010	1980–2010
Hruška	‘Viljamovka’	‘Viljamovka’	‘Viljamovka’	‘Pastorjevka’	
pojav prvih listov	1989–2009	1977–2009	1981–2007	1980–2010	
začetek cvetenja	1989–2009	1977–2009	1981–2007	1980–2010	
vrh cvetenja	1989–2009	1977–2009	1981–2007	1980–2010	
konec cvetenja	1989–2009	1977–2009	1981–2007	1980–2010	
Sliva	‘Domača češplja’	‘Domača češplja’	‘Domača češplja’	‘Domača češplja’	‘Domača češplja’
pojav prvih listov	1980–2008	1990–2007	1972–2006	1980–2010	1990–2010
začetek cvetenja	1961–2008	1990–2007	1961–2006	1961–2010	1961–2010
vrh cvetenja	1961–2008	1990–2007	1961–2006	1961–2010	1961–2010
konec cvetenja	1961–2008	1990–2007	1961–2006	1961–2010	1961–2010

Sorte sadnih rastlin, ki smo jih obravnavali:

Jablana (*Malus domestica* Borkh)

- Sorta ‘Bohnapfel’ (‘Bobovec’): cveti pozno. Plodovi so drobni do srednje debeli, po velikosti precej neizenačeni. Osnovna zelena barva z dozorevanjem prehaja v zelenorumen, do polovice prekrito s kratkimi prižami rjavo rdeče barve. Kratek pecelj

je na koncu zadebeljen, pecljeva jamica je plitva, pokrita s sivo rjavo rjo. Meso je sprva trdo in kislo, pozneje se zmehča. Plodovi so zelo odporni proti odtiskom (Marn in Stopar, 1998).

- Sorta 'Idared': izvira iz Združenih držav Amerike (Idaho) in je križanec med sortama 'Jonatan' in 'Wagner'. Cveti srednje zgodaj. Plodovi so srednje debeli do debeli, precej izenačeni in rahlo rebrasti. Osnovno rumenozeleno barvo na manj obarvanih plodovih prekriva sprano svetlordeča pokrovna barva, na bolj obarvanih pa temnordeča. Meso je belo in trdno, okus je kiselkast in osvežujoč (Marn in Stopar, 1998).
- Sorta 'Beličnik' je najverjetneje naključni sejanec ruskega porekla: cveti srednje zgodaj. Plod je droben do srednje debel, blede rumenkaste barve, pokrit s poprhom, koža je tanka in nežna, meso je belo z zelenkastim odtenkom, okus je kiselkast. Plodovi so občutljivi za odtiske (Marn in Stopar, 1998).

Hruška (*Pyrus communis* L.)

- Sorta 'Viljamovka': je angleška sorta neznanega izvora. Cveti srednje pozno, zori pa od druge polovice avgusta do začetka septembra. Rast je srednje bujna, zgodaj vstopa v rodnost in daje redne in velike pridelke. Plod je srednje velik, hruškaste oblike, pecelj je kratek do srednje dolg. Kožica je tanka, gladka z zeleno osnovno barvo, ki se pri zorenju spreminja v rumeno, na sončni strani je lahko plod rdeče obarvan. Meso je belo, sočno, sladko, z rahlo izraženo kislino, aromatično z značilno muškatno aromo (Štampar in sod., 2009).
- Sorta 'Pastorjevka': cveti srednje zgodaj, zori v prvi polovici oktobra. Rast je srednje bujna do bujna, rodi zgodaj in obilno. Plod je zeleno rumene barve, srednje debel do debel, meso je rumeno bele barve, sočno, kiselkasto sladko (Godec in sod., 2011).

Sliva (*Prunus domestica* L.)

- Sorta 'Domača češplja': cveti pozno. Je srednje bujne rasti, rodnost je odlična. Plod je droben, podolgovate oblike, modro vijoličaste barve s poprhom, meso je zlato rumene barve, dobrega okusa, zelo aromatično; je cepka; dokaj pozno zarodi, nekateri tipi so nagnjeni k izmenični rodnosti; primerna za predelavo (Štampar in sod., 2009).

3.3 STATISTIČNE METODE OBDELAVE PODATKOV

Za obdelavo statističnih podatkov smo uporabili program Microsoft Excel 2010.

Povprečno pojavljanje posamezne fenofaze smo podali z aritmetično sredino vseh datumov pojavljanja fenofaze. Vsi datumi so podani kot julijanski dan (J_d , zaporedni dan v letu). Z dolgoletnim povprečjem in standardnim odklonom (SD) lahko ocenimo, ali je posamezna fenofaza nastopila zelo zgodaj, zgodaj, normalno, pozno ali zelo pozno, oziroma, če datum pojava posamezne fenofaze odstopa od pojava fenofaze v večini primerov. Za grafični prikaz povprečnih vrednosti nastopa fenofaz in povprečnih mesečnih temperatur zraka na izbranih fenoloških (meteoroloških) postajah smo uporabili črtne grafe.

3.3.1 Okvir z ročaji

Variacijske razmike (VR), kvartile, minimume, maksimume, osamelce smo predstavili z grafi "okvir z ročaji" (box and whiskers plot).

Z okvirjem z ročaji zelo nazorno grafično prikažemo pojavljanja fenofaz, kjer okvir v grafu predstavlja srednjih 50 % vrednosti. Okvir z ročaji določa 5 točk: min, Q_1 , Q_2 , Q_3 ter max. Kvartil Q_2 je mediana in predstavlja vrednost, od katere je polovica vrednosti v ranžirni vrsti večja, polovica vrednosti pa manjša. Kvartila Q_1 in Q_3 predstavljata zunanje meje okvirja. Razlika med njima je kvartilni razmik (Q) in predstavlja 50 % vseh vrednosti. Minimum je najmanjša vrednost, ki ni spodnji osamelec, maksimum pa največja vrednost, ki ni zgornji osamelec. Osamelec je vrednost, ki je izven intervala ($Q_1 - 1,5 \cdot Q$, $Q_3 + 1,5 \cdot Q$, pri čemer je Q kvartilni razmik). Običajno jih označimo s krožcem ($^{\circ}$). Razlika med maksimumom in minimumom je variacijski razmik (VR) (Košmelj, 2007).

3.3.2 Enostavna linearna regresija

Regresija je prilagajanje ustrezne matematične funkcije empiričnim podatkom. To funkcijo imenujemo tudi regresijska funkcija. Pri enostavni linearni regresijski funkciji analiziramo vpliv spremenljivke X (časovna komponenta) na odvisno spremenljivko Y (nastop fenofaze), vrednost ene spremenljivke vpliva na vrednost druge spremenljivke, ne pa tudi obratno.

Podatke grafično prikažemo z razsevnim grafikonom, neodvisna spremenljivka je na abscisi, odvisna pa na ordinati. Če se premica dovolj dobro prilega točkam v grafu, uporabimo model enostavne linearne regresije, ki ga zapišemo tako, da je v opazovani

populaciji vrednost odvisne spremenljivke vsota treh členov: konstante α , večkratnika neodvisne spremenljivke βX ter slučajnih (neznanih, nepojasnjenih) vplivov ε :

$$Y = \alpha + \beta X + \varepsilon \quad \dots(1)$$

Količini α in β sta parametra enostavnega linearnega modela.

Populacijo pa lahko predstavlja vzorec velikosti n , na osnovi katerega izračunamo oceno za α in β ter ju označimo z a in b . To nam poda oceno regresijske premice:

$$\hat{Y} = a + bX \quad \dots(2)$$

Regresijski model je veljaven le na območju, ki ga določajo vrednosti neodvisne spremenljivke. Zato lahko napovedi izračunamo le na območju, na katerem je definirana neodvisna spremenljivka, izven tega območja je zveza lahko drugačna. Namen regresijske analize je proučevanje odvisnosti ene spremenljivke od druge ter napoved vrednosti odvisne spremenljivke na osnovi znane vrednosti neodvisne spremenljivke (Košmelj, 2007).

Kakovost regresijskega modela ovrednotimo s koeficientom determinacije R^2 , ki nam pokaže, kakšen odstotek variabilnosti odvisne spremenljivke lahko pojasnimo z neodvisno spremenljivko (Košmelj, 2007).

Enostavno linearno regresijo smo uporabili pri analizi trendov nastopa fenofaz v odvisnosti od časa. V okviru Svetovne meteorološke organizacije velja dogovor, da pri prikazovanju podnebnih razmer uporabljamo 30-letno obdobje. Tako se izognemo nepravilni razlagi podnebnih razmer zaradi vpliva cikličnih sprememb. Pri opisovanju podnebnih značilnosti v tako dolgem obdobju zajamemo značilna nihanja, ki nastanejo zaradi zunanjih dejavnikov (Podnebne razmere v Sloveniji (obdobje 1971–2000), 2006). Za obdobje 1961–2010 smo izračunali trende za vse fenofaze na izbranih lokacijah in jih opredelili z linearno funkcijo, ki se je najbolje prilegala našim podatkom. Za fenofaze, pri katerih nismo imeli podatkov za celo obravnavano obdobje (Preglednica 3), smo časovne intervale ustrezno prilagodili. Tako smo dobili podatke o tem, kako so izbrane sorte sadnih rastlin reagirale na podnebne spremembe v obdobju, ki smo ga obravnavali. Naredili smo tudi časovno analizo za povprečne mesečne temperature za mesece, dvomesečja in tromesečja, ki smo jih uporabili v nalogi. V Preglednicah 5 in 6 smo statistično značilne trende pri $p = 0,05$ označili z znakom *.

V nalogi smo pri ugotavljanju dolgoročnih trendov obdelovali podatke v časovnem obdobju 1961–2010, to je 50 let. Vsi statistično značilni izračunani trendi so prikazani kot število dni/10 let. Kjer podatki o fenofazah niso bili na voljo za celo obdobje, so časovna obdobja ustrezno krajša.

3.3.3 Korelacija

Kadar sta spremenljivki povezani oziroma soodvisni in se vrednosti obeh spremenljivk spreminjajo istočasno, govorimo o korelaciji, spremenljivki sta povezani, soodvisni. Obe spremenljivki sta številske in enakovredni. Spremenljivki običajno označimo z X in Y , je pa vseeno, katero spremenljivko označimo z X in katero z Y . Tudi pri korelaciji podatke grafično prikažemo z razsevnim grafikonom, od grafičnega prikaza regresije se razlikuje po tem, da sta spremenljivki enakovredni in je vseeno, katero prikažemo na abscisi in katero na ordinati. Če je povezava med spremenljivkama linearna, lahko zanju prevzamemo dvorazsežno normalno porazdelitev (Košmelj, 2007).

Pri spremenljivkah, ki sta povezani in je ta povezava linearna, izračunamo koeficient korelacije (r), s katerim ocenimo tesnost povezave med dvema spremenljivkama.

Lastnosti koeficienta korelacije so (Košmelj, 2007):

- vrednosti koeficienta so na intervalu od -1 do $+1$;
- koeficient korelacije je simetričen; spremenljivki sta enakovredni;
- korelacija spremenljivke same s seboj je 1 .

Ko se spremenljivki X in Y spreminjata v isto smer (vrednosti istočasno naraščata ali padata), govorimo o pozitivni korelaciji, če pa ob povečevanju vrednosti ene spremenljivke vrednost druge pada (ali obratno), pa je korelacija negativna. Če korelacije ni, je vrednost koeficienta 0 .

Korelacijo lahko uporabimo pri prikazovanju povezanosti pojava fenofaz dveh različnih rastlin, ki sta močno povezani, lahko sta odvisni od tretje spremenljivke, na primer temperature (Črepinšek, 2002). V nalogi bomo korelacijo uporabili za prikaz povezanosti pojavljanja fenofaz sadnih rastlin s povprečnimi temperaturami zraka.

4 REZULTATI

4.1 OPISNE STATISTIKE

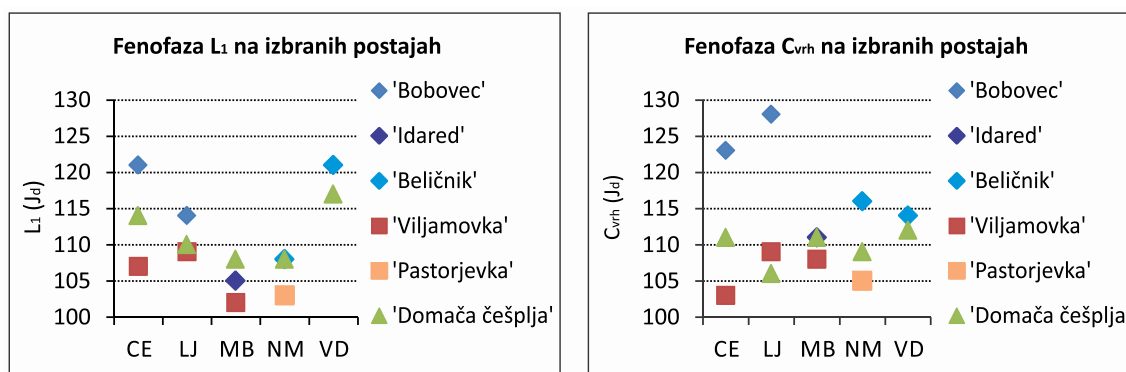
Analizirali smo povprečne vrednosti nastopa posameznih fenofaz, najzgodnejši in najpoznejši datum nastopa posamezne fenofaze, variacijski razmik in standardni odklon. Vrednosti so podane v Preglednici 4.

Fenofaza pojav prvih listov (L_1) pri jablanah poznih sort ('Bobovec' in 'Idared' na postajah CE, LJ in MB) povprečno nastopi v obdobju med 105. in 121. J_d , pri zgodnji sorti 'Beličnik' na postajah NM in VD pa med 108. in 121. zaporednim dnem v letu (J_d). V CE in VD se prvi listi pojavijo najkasneje, povprečno na 121. J_d , že po začetku cvetenja. Na ostalih postajah je pojav prvih listov zgodnejši, pred začetkom cvetenja. Pri hruškah 'Viljamovka' in 'Pastorjevka' se prvi listi povprečno pojavijo med 102. in 109. J_d . Med sortama ni velikih razlik v terminu nastopa fenofaze, VR pa je v primerjavi z jablano manjši. Pri slivi sorte 'Domača češplja' fenofaza L_1 povprečno nastopi med 108. in 117. J_d .

Fenofaza začetek cvetenja (C_{zac}) se pri jablani povprečno pojavi med 107. in 123. J_d , kar predstavlja enak VR kot pri fenofazi pojav prvih listov. Začetek cvetenja se pri hruški povprečno pojavi med 100. in 106. J_d , pri slivi pa med 103. in 108. J_d .

Fenofaza vrh cvetenja (C_{vrh}) pri jablani nastopi med 102. in 128. J_d , pri hruški med 103. in 109. J_d , pri slivi pa med 106. in 112. J_d .

Fenofaza konec cvetenja (C_{kon}) se pri jablani pojavi med 121. in 135. J_d , pri hruški med 115. in 118. J_d , pri slivi pa med 114. in 121. J_d .



Slika 3: Povprečno pojavljanje fenofaz sadnih rastlin na izbranih fenoloških postajah

Povprečni termin pojava fenofaz na izbranih postajah pri jablani se zelo razlikuje (16 dni pri C_{spl}), kar lahko pojasnimo z razliko med zgodnjimi ('Beličnik') in poznimi ('Bobovec', 'Idared') sortami jablane, pri posameznih sortah pa je razlika bistveno manjša. Fenofaza C_{vrh} se na primer pri sorti 'Bobovec' v CE pojavi povprečno 5 dni prej kot v LJ, pri sorti 'Beličnik' pa fenofaza C_{vrh} v NM povprečno nastopi le 2 dni prej kot v VD (Slika 3). Pri nastopu fenofaz pri sortah hruške 'Viljamovka' in 'Pastorjevka' na izbranih postajah, kot smo že omenili, ni velikih razlik. Tudi pri slivi so razlike pri pojavljanju fenofaz med postajami zelo majhne, saj smo obravnavali le eno sorto ('Domača češplja').

Preglednica 4: Povprečne vrednosti nastopa posameznih fenofaz, najzgodnejši in najpoznejši datum nastopa posamezne fenofaze (J_d), variacijski razmik in standardni odklon

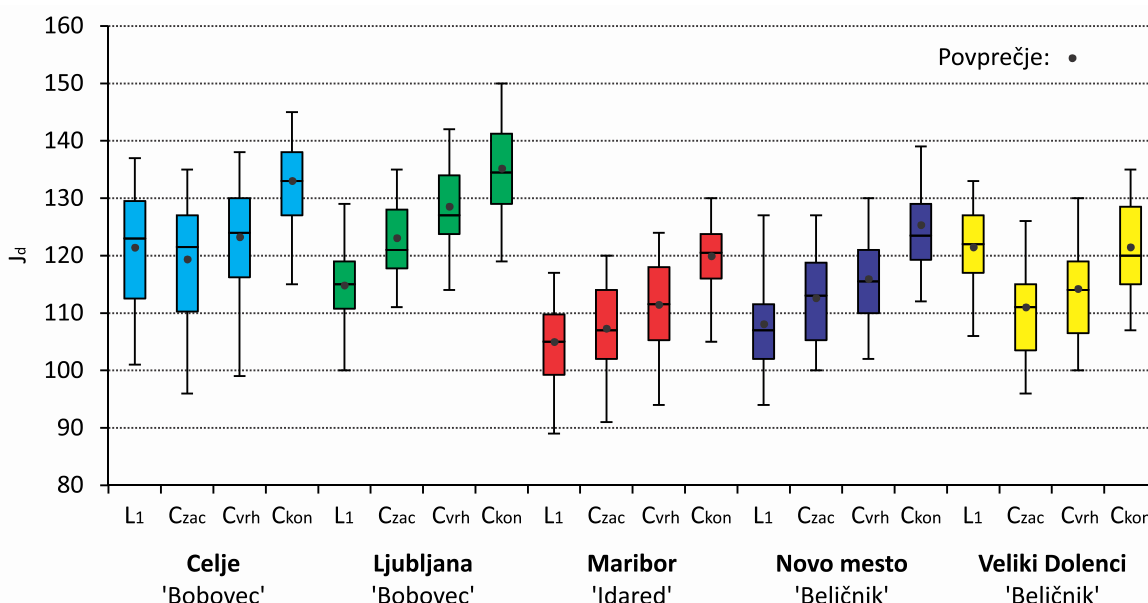
	L_1	C_{zac}	C_{vrh}	C_{kon}	L_1	C_{zac}	C_{vrh}	C_{kon}	L_1	C_{zac}	C_{vrh}	C_{kon}
Celje	jablana, 'Bobovec'				hruška, 'Viljamovka'				sliva, 'Domača češplja'			
pov	121	119	123	133	107	100	103	117	114	108	111	121
min	101	96	99	115	82	82	86	104	97	84	88	102
max	137	135	138	145	124	114	116	136	130	128	132	140
VR	36	39	39	30	42	32	30	32	33	44	44	38
SD	10,1	9,6	9,0	7,1	9,2	8,6	8,3	8,5	8,4	10,8	10,8	9,4
Ljubljana	jablana, 'Bobovec'				hruška, 'Viljamovka'				sliva, 'Domača češplja'			
pov	114	123	128	135	109	106	109	118	110	103	106	114
min	100	111	114	119	92	85	87	98	80	83	87	99
max	129	135	142	150	123	122	128	136	120	118	118	122
VR	29	24	28	31	31	37	41	38	40	35	31	23
SD	7,5	6,9	7,2	7,9	8,9	10,4	10,4	9,1	10,2	10,2	9,7	6,2
Maribor	jablana, 'Idared'				hruška, 'Viljamovka'				sliva, 'Domača češplja'			
pov	105	107	111	120	102	104	108	115	108	108	111	119
min	89	91	94	105	81	85	90	98	88	84	89	100
max	117	120	124	130	120	117	121	130	122	121	124	132
VR	28	29	30	25	39	32	31	32	34	37	35	32
SD	6,7	7,8	8,0	6,3	10,6	9,3	8,8	8,6	8,7	9,6	9,1	7,7
Novo mesto	jablana, 'Beličnik'				hruška, 'Pastorjevka'				sliva, 'Domača češplja'			
pov	108	112	116	125	103	101	105	116	108	106	109	117
min	94	100	102	112	84	67	83	104	99	79	87	99
max	127	127	130	139	123	120	122	132	126	125	126	134
VR	33	27	28	27	39	53	39	28	27	46	39	35
SD	8,1	7,9	7,3	7,2	9,8	12,2	10,0	7,7	6,6	10,1	9,0	7,5
Veliki Dolenci	jablana, 'Beličnik'								sliva, 'Domača češplja'			
pov	121	111	114	121					117	108	112	118
min	106	96	100	107					104	83	87	100
max	133	126	130	135					125	125	127	133
VR	27	30	30	28					21	42	40	33
SD	7,1	8,7	9,0	8,4					5,1	9,1	9,0	8,0

Vrednosti za standardni odklon se gibljejo med 5,1 dni in 12,2 dni, povprečna vrednost standardnega odklona pa je 8,4 dni, kar pomeni, da se večina (68,3 %) fenofaz povprečno pojavlja v intervalu 8,4 dni pred dolgoletnim povprečjem in 8,4 dni po njem.

4.1.1 Variabilnost fenofaz pri sortah jabolane

S kvartilnimi razmiki, ki smo jih prikazali z grafom “okvir z ročaji”, pri VR pokažemo, kako so vrednosti pojavljanja posameznih fenofaz razporejene. V območju okvirja se nahaja 50 % vseh pojavljanj fenofaze. Vsak od ročajev, ki segata nad in pod okvir, pa predstavlja po 25 % vseh pojavljanj fenofaze.

Na Sliki 4 so prikazani VR pojavljanja fenoloških faz pri sortah jabolane za izbrane fenološke postaje. Najprej opazimo, da fenofaze sorte ‘Bobovec’ na postajah CE in LJ nastopajo pozneje kot pri sortah ‘Idared’ in ‘Beličnik’ na postajah MB, NM in VD, kar je posledica razlik med sortami. Sorta ‘Idared’ cveti najprej, sledi ji sorta ‘Beličnik’, sorta ‘Bobovec’ pa cveti kasneje od obeh ostalih. VR pri sorti ‘Bobovec’ na postaji CE so tudi nekoliko večji kot na ostalih postajah.

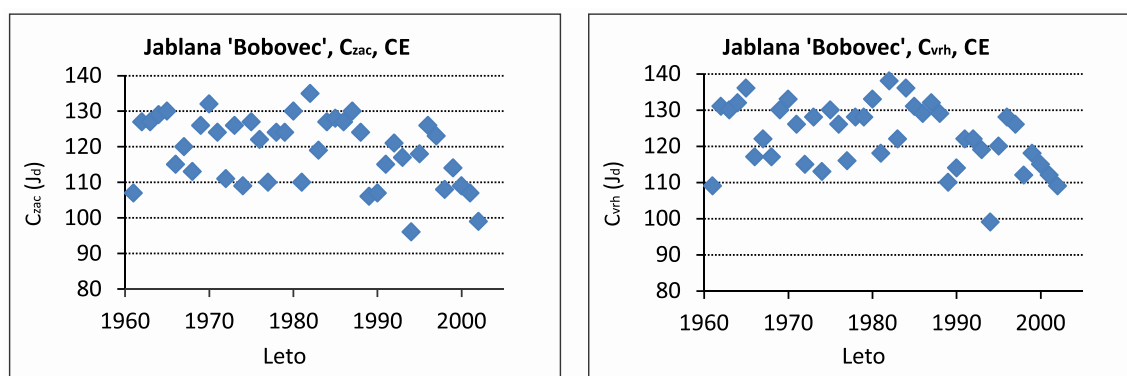


Slika 4: Okvir z ročaji za nastop fenofaz izbranih sort jabolane

Največji VR (36 dni) za fenofazo L₁ pri jablani ima sorta ‘Bobovec’ na postaji CE, najmanjši VR (27 dni) pa ima sorta ‘Beličnik’ s postaje VD. Razlika med največjim in najmanjšim VR je 11 dni, se pa postaje precej razlikujejo po časovni razporeditvi

pojavljanja fenofaz. Na postaji CE se 50 % fenofaz L_1 pojavlja v intervalu 17 dni, na postaji LJ pa je ta interval za več kot polovico manjši (8 dni). Pri fenofazi L_1 na postaji NM je VR 33 dni, 75 % pojavljanj fenofaze L_1 je v prvi polovici VR, v drugi polovici VR pa le 25 %. Fenofaza C_{zac} ima največji VR (39 dni) na postaji CE ('Bobovec'), najmanjši VR (24 dni) pa na postaji LJ ('Bobovec'). Pri fenofazi C_{vrh} je največji VR (39 dni) na postaji CE ('Bobovec'), najmanjši pa na postajah LJ ('Bobovec') in NM ('Beličnik'), kjer je VR 28 dni. Pri fenofazi C_{kon} je največji VR (31 dni) na postaji LJ ('Beličnik'), najmanjši VR (25 dni) pa na postaji MB ('Idared').

Na Sliki 5 sta za sorto 'Bobovec' prikazana primera pojavljanja fenofaz C_{zac} in C_{vrh} v CE.



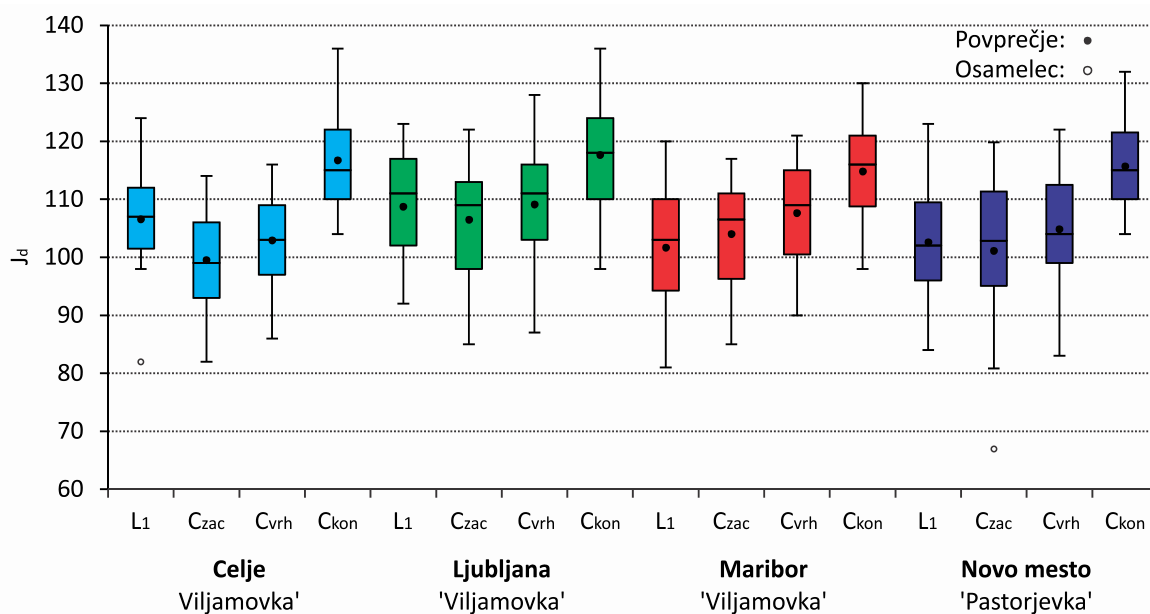
Slika 5: Pojavljanje fenofaz C_{zac} (levo) in C_{vrh} (desno) pri jablani 'Bobovec' v izbranem obdobju na postaji CE

4.1.2 Variabilnost fenofaz pri sortah hruške

Slika 6 prikazuje VR pri pojavljanju fenofaz pri sortah hruške na izbranih fenoloških postajah. Na grafu vidimo, da (razen dveh osamelcev) med postajami in sortami ni velikih razlik v pojavljanju fenofaz.

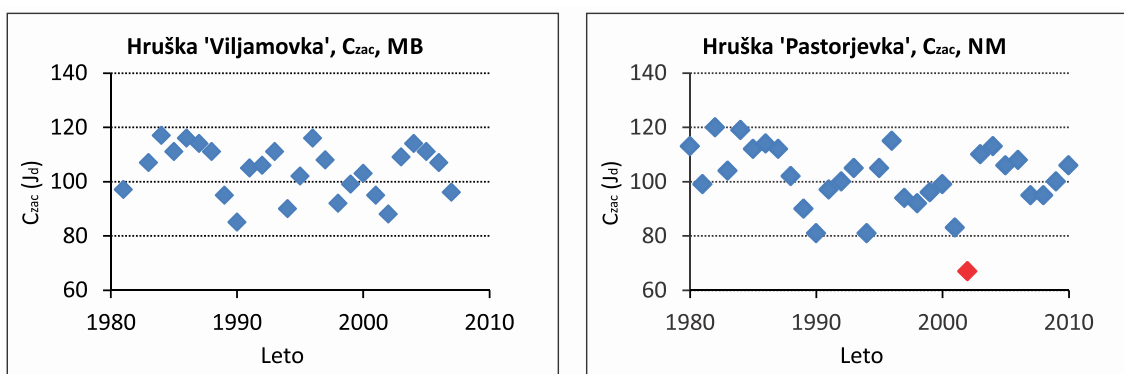
Pri fenofazi L_1 imata največji VR (39 dni) sorti 'Viljamovka' na postaji MB in sorta 'Pastorjevka' na postaji NM, najmanjši VR (26 dni) pa ima postaja CE. Pri VR fenofaze L_1 na postaji CE smo izločili osamelec, katerega vrednost se je bistveno razlikovala od večine ostalih vrednosti. Pri tem opazimo, da se 25 % zgodnjih pojavljanj fenofaze zgodi v intervalu 3,5 dni. Fenofaza C_{zac} ima največji VR (39 dni) na postaji NM ('Pastorjevka') (če ne bi upoštevali osamelca na postaji NM, bi bil VR 53 dni), najmanjši VR (32 dni) pa na postajah CE in MB ('Viljamovka'). Pri fenofazi C_{vrh} je največji VR (41 dni) na postaji LJ ('Viljamovka'), najmanjši VR (30 dni) pa na postaji CE ('Viljamovka'). Fenofaza C_{kon} ima

največji VR (38 dni) na postaji LJ ('Viljamovka'), najmanjši VR (28 dni) pa na postaji NM ('Pastorjevka').



Slika 6: Okvir z ročaji za nastop fenofaz izbranih sort hruške

Na Sliki 7 sta za hruško prikazana primera fenofaze C_{zac} na postajah MB in NM.

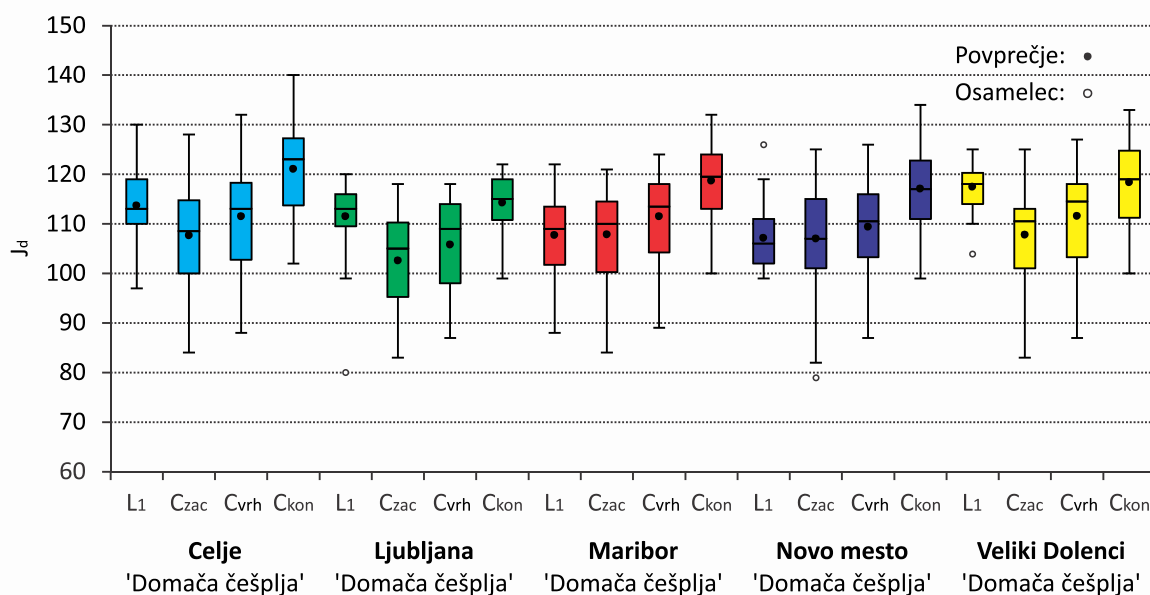


Slika 7: Pojavljanje fenofaze C_{zac} pri sorti 'Viljamovka' na postaji MB (levo) in 'Pastorjevka' na postaji NM (desno) (z rdečo barvo je označen osamelec)

4.1.3 Variabilnost fenofaz pri slivi

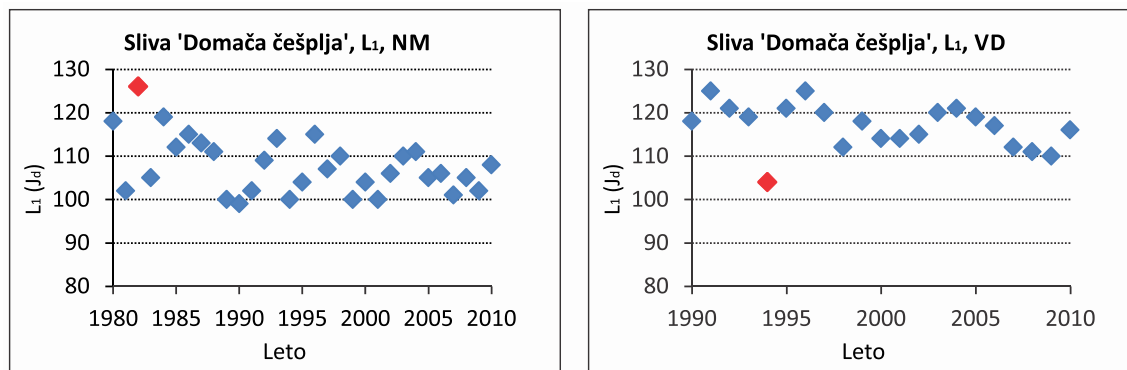
Slika 8 prikazuje VR pri pojavljanju fenofaz pri slivi sorte 'Domača češplja' na izbranih fenoloških postajah. Tudi tu na grafu vidimo, da se na izbranih postajah fenofaze pojavljajo v zelo podobnih časovnih intervalih, le pri fenofazi pojav prvih listov so odstopanja zaradi osamelcev.

Največji VR (34 dni) pri pojavljanju fenofaze L_1 ('Domača češplja') je na postaji MB, najmanjši VR (15 dni, če upoštevamo osamelec, pa 21 dni) pa na postaji VD. Osamelci se pojavljajo tudi pri fenofazi L_1 na postajah LJ in NM in pri fenofazi C_{zac} na postaji NM. Pri fenofazi C_{zac} je največji VR (44 dni) na postaji CE (če bi upoštevali osamelec, bi bil največji VR (46 dni) na postaji NM), najmanjši VR (37 dni) pa je na postaji Ljubljana. Pri fenofazi C_{vrh} ima največji VR (44 dni) postaja CE, najmanjši VR (31 dni) pa postaja LJ. Fenofaza C_{kon} ima največji VR (38 dni) na postaji CE, najmanjši VR (23 dni) pa ima postaja LJ.



Slika 8: Okvir z ročaji za nastop fenofaz slive 'Domača češplja'

Na Sliki 9 sta za 'Domača češplja' prikazana primera pojavljanja fenofaze L_1 v NM in VD.



Slika 9: Povprečno pojavljanje fenofaze L_1 na postaji NM (levo) in na postaji VD (desno) pri slivi 'Domača češplja' v izbranem obdobju

4.2 TRENDI – ČASOVNA ANALIZA PODATKOV

Za obdobje 1961–2010 smo izračunali trende za vse fenofaze na izbranih lokacijah in jih opredelili z linearno funkcijo, ki se je najbolj prilegala našim podatkom. Za fenofaze, pri katerih nimamo podatkov za celo obravnavano obdobje (Preglednica 3), smo časovne intervale ustrezno prilagodili.

4.2.1 Temperatura zraka

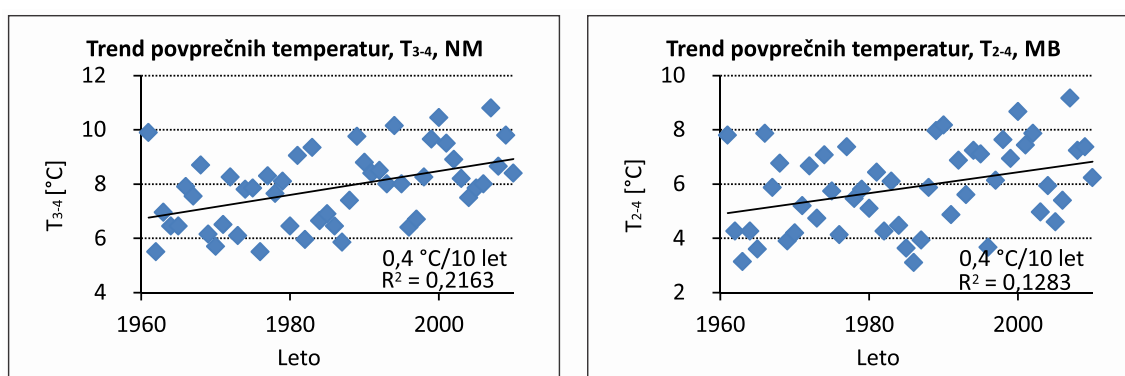
Pojavljanje fenoloških faz je na naši geografski širini najbolj odvisno od temperatur zraka. Želeli smo preveriti temperaturne spremembe v proučevanem obdobju, zato smo za obdobje 1961–2010 izračunali trende povprečnih mesečnih temperatur od januarja do maja (T_{1-5}), dvomesečij (januar–februar (T_{1-2}), februar–marec (T_{2-3}), marec–april (T_{3-4})) in tromesečij (januar–februar–marec (T_{1-3}), februar–marec–april (T_{2-4}), marec–april–maj (T_{3-5})). Rezultati so prikazani v Preglednici 5.

Preglednica 5: Trendi povprečnih mesečnih temperatur ($^{\circ}\text{C}/10$ let), dvomesečij in tromesečij za obdobje 1961–2010 (+ pozitiven trend, ns trend ni statistično značilen, * statistično značilen trend pri $p = 0,05$)

	Celje	Ljubljana	Maribor	Novo mesto	Veliki Dolenci
T_1	+0,7*	+0,6*	+0,6*	+0,7*	+0,8*
T_2	+ns	+ns	+ns	+ns	+ns
T_3	+0,4*	+0,5*	+0,4*	+0,5*	+ns
T_4	+0,4*	+0,4*	+0,4*	+0,4*	+0,3*
T_5	+0,6*	+0,6*	+0,6*	+0,6*	+0,4*
T_{1-2}	+0,4*	+0,5*	+0,5*	+0,5*	+0,6*
T_{2-3}	+ns	+0,4*	+ns	+0,4*	+ns
T_{3-4}	+0,4*	+0,4*	+0,4*	+0,4*	+0,3*
T_{1-3}	+0,4*	+0,5*	+0,5*	+0,5*	+0,5*
T_{2-4}	+0,3*	+0,4*	+0,4*	+0,4*	+0,4*
T_{3-5}	+0,5*	+0,5*	+0,5*	+0,5*	+0,4*

Vsi izračunani trendi so pozitivni. Večina jih je tudi statistično značilno pozitivnih. Statistično neznačilni so trendi povprečnih mesečnih temperatur za mesec februar na vseh postajah, trend T_3 na postaji VD in trendi T_{2-3} na postajah LJ, MB in VD.

Na Sliki 10 sta prikazana primera trendov povprečnih temperatur za dvomesečje in tromesečje. Pri opravljanju izračunov se je pokazalo, da povprečne temperature tromesečja februar–marec–april in dvomesečij februar–marec in marec–april najbolj vplivajo na pojavljanje fenofaz sadnih rastlin, ki smo jih obravnavali. Rezultati kažejo, da so se v obdobju 1961–2010 povprečne temperature zvišale približno za $+0,5$ $^{\circ}\text{C}$ v desetih letih, najbolj v mesecu januarju in maju ($+0,6$ – $+0,7$ $^{\circ}\text{C}$ v desetih letih).



Slika 10: Primera statistično značilnih pozitivnih trendov temperatur zraka, $p = 0,05$

4.2.2 Trendi pojavljanja fenofaz pri sadnih rastlinah

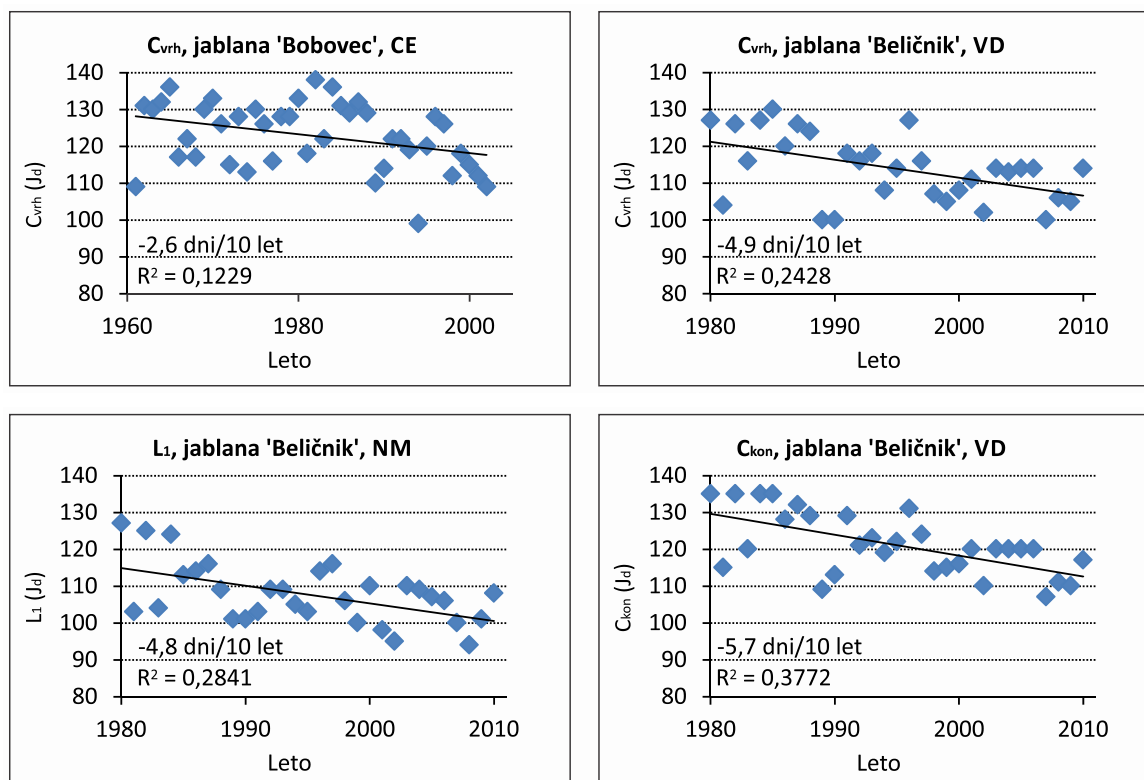
Izračunali smo trende za vse fenofaze na izbranih postajah. Razen treh izjem so vsi trendi negativni, kar kaže na trend zgodnejšega pojavljanja fenofaz v zadnjih letih (Preglednica 6). Podatki o pojavljanju fenofaz za obravnavano časovno obdobje od leta 1961 naprej so bili na voljo samo pri sorti 'Domača češplja' za fenofaze C_{zac} , C_{vrh} in C_{kon} na postajah CE do 2008, MB do 2006, NM do 2010, VD do 2010 in za fenofaze C_{zac} , C_{vrh} in C_{kon} pri sorti 'Bobovec' na postaji CE. Časovni nizi za vse ostale postaje so kasnejši, nobeden pa ni krajši od 20 let. Izjema so le podatki za vse fenofaze pri sorti 'Domača češplja' na postaji LJ, kjer je zaradi manjkajočih podatkov niz dolg le 16 let. Vsi trendi, kjer so bili časovni nizi krajši od 30 let, so v Preglednici 6 označeni. Manjkajoči podatki znotraj niza se pojavljajo tudi pri podatkih za vse fenofaze jablane in hruške na postaji LJ, pri vseh fenofazah hruške in fenofazi L_1 slive na postaji MB, pri fenofazah C_{zac} , C_{vrh} in C_{kon} jablane na postaji NM in pri fenofazi L_1 hruške na postaji CE. Leta z manjkajočimi podatki smo pri računanju trendov izločili iz analize. Vsi statistično značilni izračunani trendi so prikazani kot število dni/10 let.

Preglednica 6: Trendi pojavljanja fenofaz (število dni/10 let) pri sadnih rastlinah v časovnem obdobju 1961–2010 (+ pozitiven trend, - negativen trend, ns trend ni statistično značilen, * statistično značilen trend pri $p = 0,05$, <30 časovni niz krajši od 30 let (21, 28, 29 – število let v časovnih nizih, krajših od 30 let)

	Celje	Ljubljana	Maribor	Novo mesto	Veliki Dolenci
jablana	'Bobovec'	'Bobovec'	'Idared'	'Beličnik'	'Beličnik'
L_1	-ns ^{<30}	+ns	-ns ^{<30}	-4,8*	-ns
C_{zac}	-3,0*	-ns	-ns ^{<30}	-ns	-4,2*
C_{vrh}	-2,6*	-3,5*	-ns ^{<30}	-ns	-4,9*
C_{kon}	-ns	-2,9*	-ns ^{<30}	-3,8*	-5,7*
hruška	'Viljamovka'	'Viljamovka'	'Viljamovka'	'Pastorjevka'	
L_1	-ns ^{<30}	-ns ²⁸	-ns ^{<30}	-4,4*	
C_{zac}	+ns ^{<30}	-ns ²⁸	-ns ^{<30}	-ns	
C_{vrh}	+6,0* ²¹	-5,2* ²⁸	-ns ^{<30}	-ns	
C_{kon}	-ns ^{<30}	-4,5* ²⁸	-ns ^{<30}	-3,9*	
sliva	'Domača češplja'	'Domača češplja'	'Domača češplja'	'Domača češplja'	'Domača češplja'
L_1	-5,2* ²⁹	+ns ^{<30}	-ns	-3,1*	-ns ^{<30}
C_{zac}	-2,3*	-ns ^{<30}	-ns	-2,6*	-ns
C_{vrh}	-3,1*	-ns ^{<30}	-ns	-2,2*	-ns
C_{kon}	-2,3*	-ns ^{<30}	-ns	-ns	-1,6*

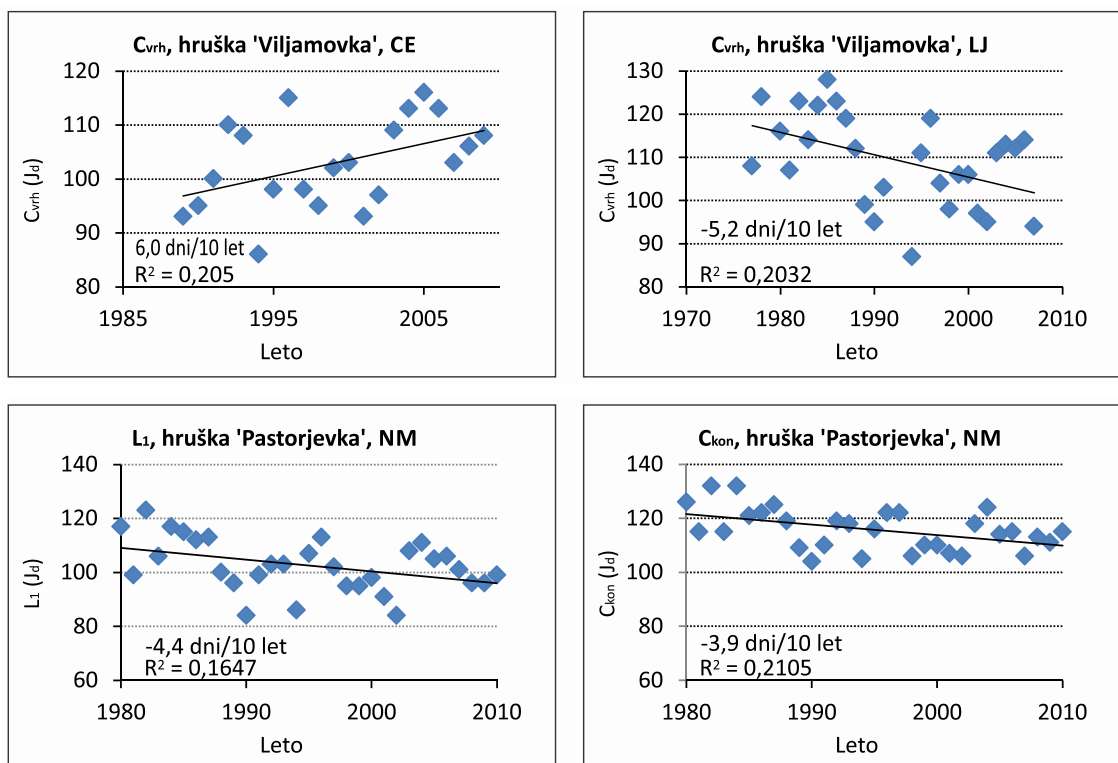
Pri jablani so vsi trendi razen enega negativni (Slika 11). Statistično značilnih je devet trendov, kar pomeni, da se fenofaze sort jablane v zadnjih letih pojavlja statistično značilno bolj zgodaj. Velikost teh trendov je od -2,6 dni/10 let za fenofazo C_{vrh} sorte 'Bobovec' na postaji CE do -5,7 dni/10 let za fenofazo C_{kon} sorte 'Beličnik' na postaji VD. Fenofaza C_{vrh}

sorte 'Bobovec' s postaje CE ima precej manjši negativni trend (-2,6 dni/10 let), kot ga ima ista fenofaza sorte 'Beličnik' na postaji VD (-4,9 dni/10 let). Nobena od fenofaz sorte 'Idared' na postaji MB nima statistično značilnega trenda. Če primerjamo trenda za fenofazi C_{vrh} in C_{kon} sorte 'Beličnik' na postaji VD, opazimo, da je razporeditev posameznih fenofaz po letih zelo podobna. Trend fenofaze L_1 sorte 'Beličnik' na postaji NM (-4,8 dni/10 let) je bil edini statistično značilen za to fenofazo.

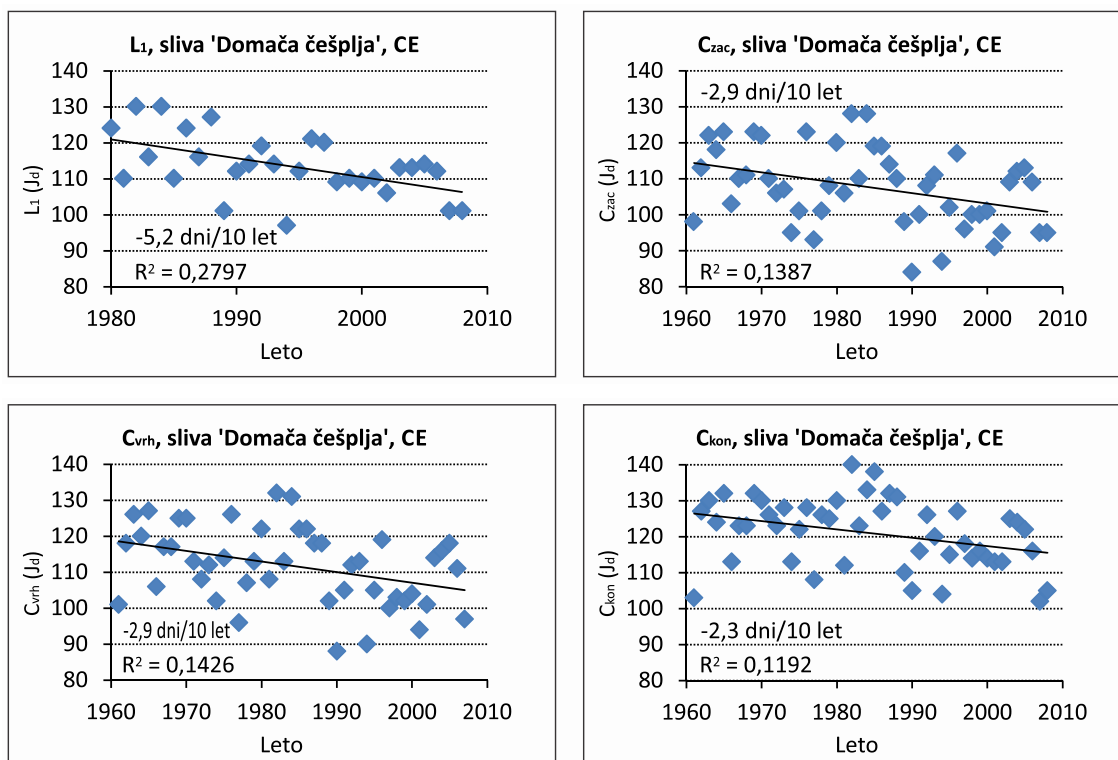


Slika 11: Primeri statistično značilnih negativnih trendov fenofaz sort jabolane na izbranih lokacijah, C_{vrh} za sorto 'Bobovec' v CE (zgoraj levo), C_{zac} za sorto 'Beličnik' v NM (spodaj levo) ter C_{vrh} in C_{kon} za sorto 'Beličnik' v VD (zgoraj desno in spodaj desno), $p = 0,05$

Primeri trendov fenofaz hruške so prikazani na Sliki 12. Pri hruški sta dva od šestnajstih obravnavanih trendov pozitivna, od teh je le trend fenofaze C_{vrh} sorte 'Viljamovka' na postaji CE statistično značilen. Njegova vrednost je +6,0 dni/10 let, kar je največ od vseh statistično značilnih trendov in odstopa od ostalih podatkov. Drugo največjo vrednost ima trend fenofaze C_{vrh} sorte 'Viljamovka' na postaji LJ, ki je statistično značilno negativen (-5,2 dni/10 let). Najnižjo vrednost (-3,9 dni/10 let) pri hruški ima fenofaza C_{kon} sorte 'Pastorjevka' na postaji NM. Nobena od fenofaz sorte 'Viljamovka' na postaji MB nima statistično značilnega trenda.



Slika 12: Primeri statistično značilnih trendov fenofaz sort hruške na izbranih lokacijah, C_{vrh} za sorto 'Viljamovka' v CE (levo zgoraj) in v LJ (desno zgoraj) ter L₁ in C_{kon} za sorto 'Pastorjevka' v NM (spodaj), p = 0,05



Slika 13: Primeri statistično značilnih negativnih trendov fenofaz slive sorta 'Domača češplja' v CE, p = 0,05

Na Sliki 13 so prikazani primeri trendov fenofaz slive (sorta 'Domača češplja'). Izračunanih je bilo dvajset trendov, vsi so bili negativni. Osem izračunanih trendov je bilo statistično značilno negativnih. Vrednosti posameznih trendov se zelo razlikujejo med seboj. Najmanjšo vrednost ima trend fenofaze C_{kon} na postaji VD (-1,6 dni/10 let), najvišjo pa trend fenofaze L_1 na postaji CE. Na Sliki 13 so prikazani primeri trendov vseh štirih fenofaz (L_1 , C_{zac} , C_{vrh} , C_{kon}) sorte 'Domača češplja' na postaji CE. To je tudi edini primer, kjer so vsi trendi obravnavanih fenofaz za eno sorto statistično značilni (negativni). Trendi vseh fenofaz slive na postajah LJ in MB so bili statistično neznačilni.

4.3 KORELACIJSKA ANALIZA

S korelacijo opredelimo, kako sta dve enakovredni številski spremenljivki med seboj povezani in odvisni ena od druge. S pomočjo korelacijskih matrik smo ugotavljali, kako je pojavljanje fenofaz na izbranih fenoloških postajah povezano s povprečnimi mesečnimi, povprečnimi dvomesečnimi in povprečnimi tromesečnimi temperaturami.

V Preglednici 7 so prikazani tisti rezultati korelacijske analize, ki kažejo največjo povezavo med pojavljanjem fenofaz in povprečnimi temperaturami ter imajo največji koeficient korelacije (r).

Korelacija med pojavljanjem fenofaz in povprečnimi temperaturami zraka pri sadnih rastlinah je v večini primerov močno statistično značilna ($0,75 \leq r < 1$ ali $-1 < r < -0,75$), le nekaj (7 od 56) jih je srednje močno statistično značilnih ($0,4 \leq r < 0,75$ ali $-0,75 < r < -0,4$). Po pričakovanju so vse izračunane vrednosti negativne. Najmanjši koeficient korelacije (-0,41) smo izračunali pri korelaciji pojavljanja fenofaze L_1 pri jablani ('Bobovec') na postaji MB in povprečjem temperatur tromesečja marec–april–maj. Največji korelacijski koeficient (-0,89) ima korelacija med C_{zac} in T_{1-3} pri slivi ('Domača češplja') na postaji LJ.

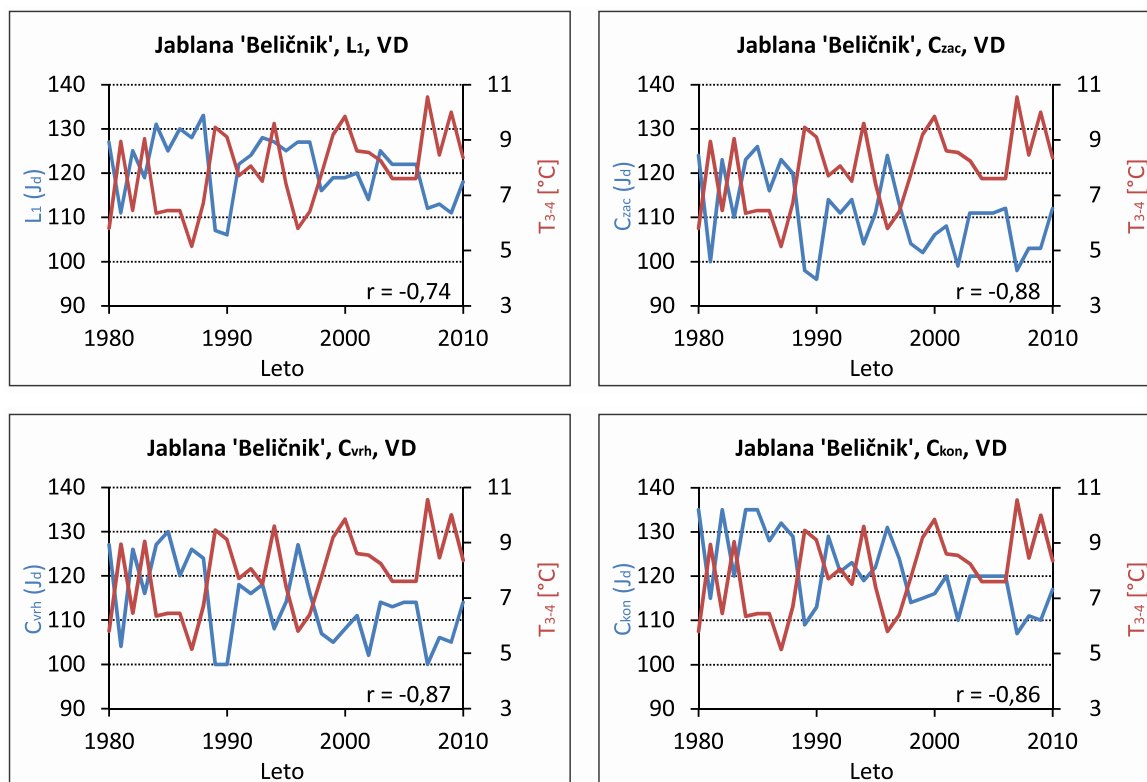
Največje število fenofaz ima najtesnejšo povezavo (največji koeficient korelacije) s povprečnimi temperaturami dvomesečja februar–marec (19), sledita tromesečje februar–marec–april (16) in dvomesečje marec–april (13). Tromesečji januar–februar–marec in marec–april–maj imata največji r v povezavi s po 4. fenofazami.

Preglednica 7: Največji statistično značilni koeficienti korelacije (r) in temperaturni nizi, ki jim pripadajo

	CE	LJ	MB	NM	VD
jablana	‘Bobovec’	‘Bobovec’	‘Idared’	‘Beličnik’	‘Beličnik’
L_1	T_{2-4} -0,61	T_{2-3} -0,58	T_{3-5} -0,41	T_{3-5} -0,74	T_{3-4} -0,74
C_{zac}	T_{3-4} -0,82	T_{2-4} -0,85	T_{2-3} -0,77	T_{3-4} -0,83	T_{3-4} -0,88
C_{vrh}	T_{2-4} -0,84	T_{3-5} -0,87	T_{2-3} -0,78	T_{3-4} -0,83	T_{2-4} -0,88
C_{kon}	T_{3-4} -0,77	T_{3-5} -0,80	T_{2-4} -0,79	T_{3-4} -0,86	T_{3-4} -0,86
hruška	‘Viljamovka’	‘Viljamovka’	‘Viljamovka’	‘Pastorjevka’	
L_1	T_{2-3} -0,52	T_{2-3} -0,83	T_{2-3} -0,87	T_{2-3} -0,78	
C_{zac}	T_{2-3} -0,83	T_{2-3} -0,88	T_{2-3} -0,85	T_{2-3} -0,83	
C_{vrh}	T_{2-3} -0,78	T_{2-4} -0,87	T_{2-3} -0,82	T_{2-3} -0,81	
C_{kon}	T_{2-4} -0,76	T_{2-4} -0,85	T_{2-3} -0,86	T_{3-4} -0,84	
sliva	‘Domača češplja’	‘Domača češplja’	‘Domača češplja’	‘Domača češplja’	‘Domača češplja’
L_1	T_{3-4} -0,75	T_{2-3} -0,57	T_{1-3} -0,70	T_{2-3} -0,83	T_{3-4} -0,70
C_{zac}	T_{2-3} -0,83	T_{1-3} -0,89	T_{2-4} -0,82	T_{2-4} -0,84	T_{2-4} -0,82
C_{vrh}	T_{2-4} -0,83	T_{1-3} -0,86	T_{2-4} -0,84	T_{3-4} -0,83	T_{2-4} -0,82
C_{kon}	T_{2-4} -0,83	T_{1-3} -0,78	T_{2-4} -0,81	T_{2-3} -0,80	T_{3-4} -0,80

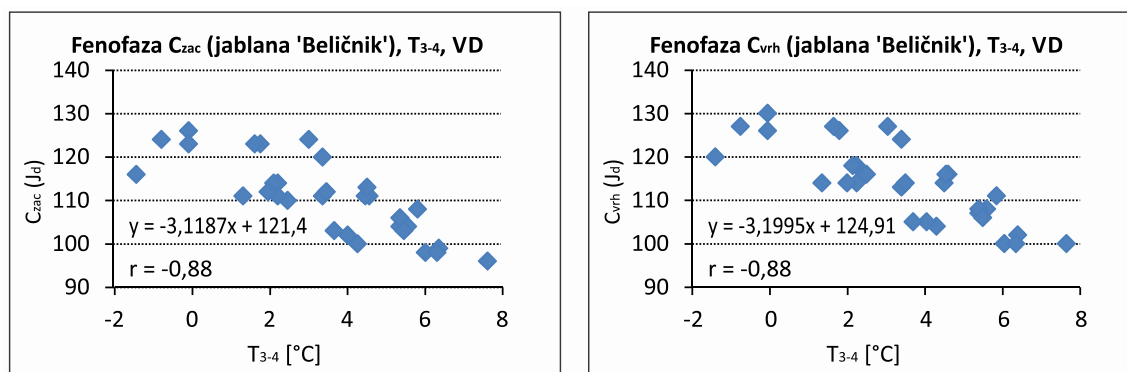
Pri jablani ima najmanjši koeficient korelacije (-0,41) povezava med L_1 in T_{3-5} pri sorti ‘Bobovec’ na postaji MB. Ta korelacija je na meji statistične značilnosti pri $p = 0,05$ in ni smiselna glede na to, da je maksimum L_1 za jabloano 117. J_d, kar je še v aprilu. Največji korelacijski koeficient (-0,88) pri jablani ‘Beličnik’ smo izračunali na postaji VD za korelaciji med C_{zac} in T_{3-4} ter med C_{vrh} in T_{2-3} . Zanimivo je, da je fenofaza C_{zac} v največji korelaciji s T_{3-4} , fenofaza C_{vrh} , ki se povprečno pojavlja le tri do štiri dni kasneje, pa s T_{2-4} .

Na Sliki 14 so prikazani primeri odvisnosti terminov pojavljanja fenofaz sorte 'Beličnik' od povprečnih temperatur zraka T_{3-4} na postaji VD. Za vse fenofaze so bili na voljo podatki za časovni niz 1980–2010 (31 let).



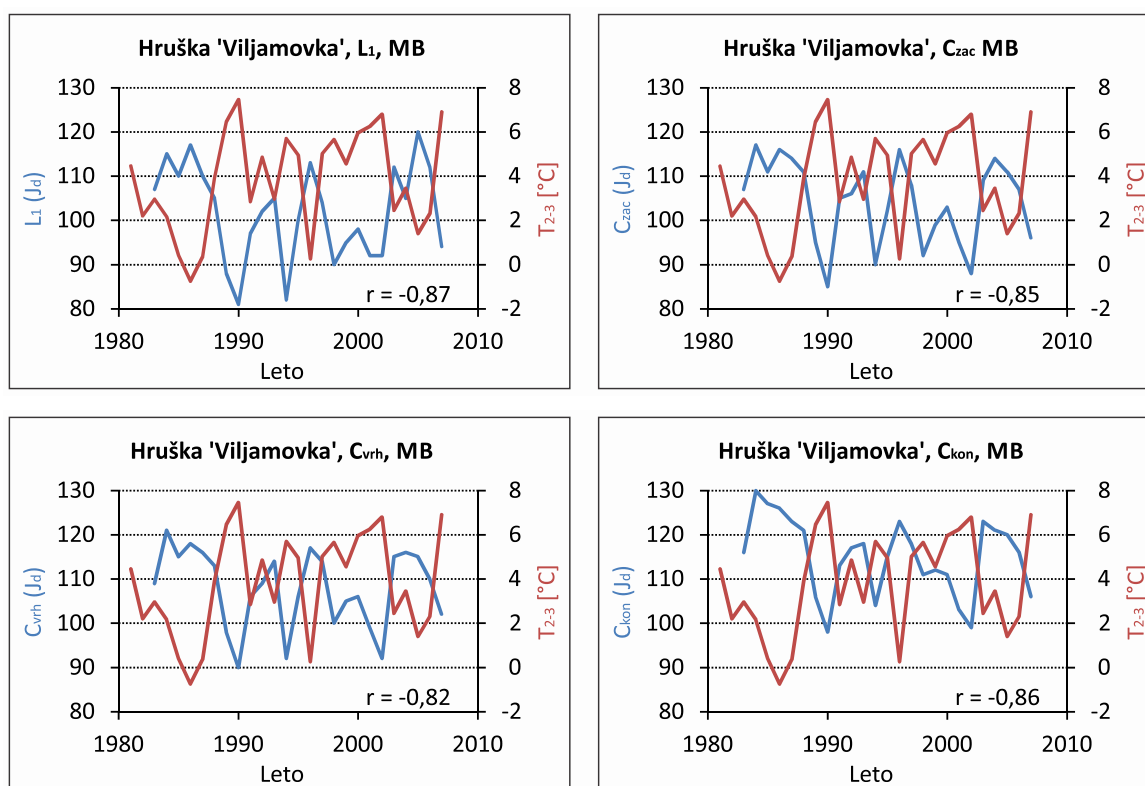
Slika 14: Odvisnost termina nastopa fenofaz sorte 'Beličnik' od povprečnih temperatur T_{3-4} (°C) na postaji VD

Grafični prikaz primerov odvisnosti pojavljanja fenofaz C_{zac} in C_{vrh} jablane sorte 'Beličnik' od T_{3-4} na postaji VD vidimo na Sliki 15. Povezavi sta močno statistično značilno negativni. Očitno je, da sta se fenofazi pojavili bolj zgodaj takrat, ko je bila povprečna temperatura dvomesečja T_{3-4} višja. Pri temperaturah, ki so za 1 °C višje (nižje), se obe prikazani fenofazi pojavita 3 dni bolj zgodaj (kasneje).



Slika 15: Grafični prikaz vpliva povprečnih temperatur zraka (°C) na fenofazi C_{zac} (levo) in C_{vrh} (desno) sorte 'Beličnik' na postaji VD

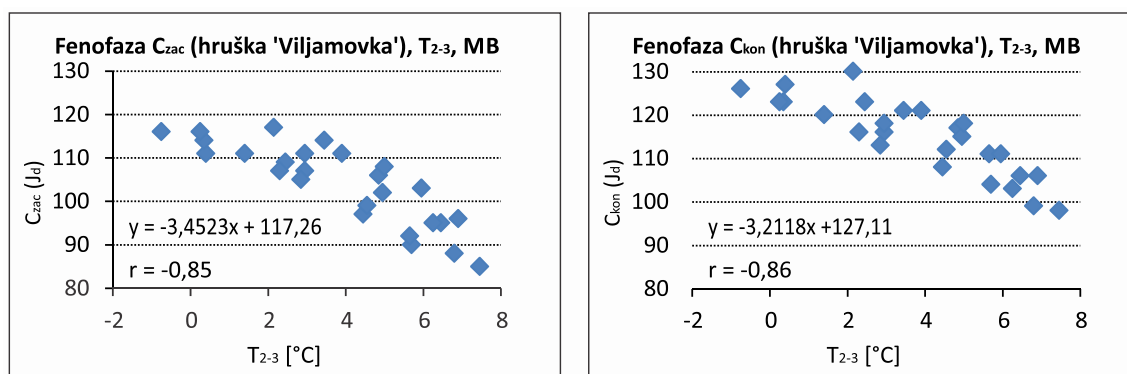
Povezave med pojavom fenofaz pri hruški in povprečnimi temperaturami zraka so, razen v enem primeru, močno statistično značilne. Najmanjši koeficient korelacije pri hruški (-0,51) smo izračunali pri povezavi fenofaze L₁ za sorto 'Viljamovka' na postaji CE in T₂₋₃, največji koeficient korelacije (-0,88) pa ima korelacija med fenofazo C_{zac} za sorto 'Viljamovka' na postaji LJ in T₂₋₃. Obravnavane fenofaze hruške so najpogostejše v korelaciji s T₂₋₃, saj se pojavlja kar v 12. primerih od skupno 16. izračunov korelacije.



Slika 16: Odvisnost termina nastopa fenofaz sorte 'Viljamovka' od povprečnih temperatur T₂₋₃ (°C) na postaji MB

Na Sliki 16 so prikazani primeri odvisnosti terminov pojavljanja fenofaz sorte 'Viljamovka' od povprečnih temperatur zraka T_{2-3} na postaji MB. Tudi tu so bili za vse fenofaze na voljo podatki za časovni niz 1980–2010 (31 let).

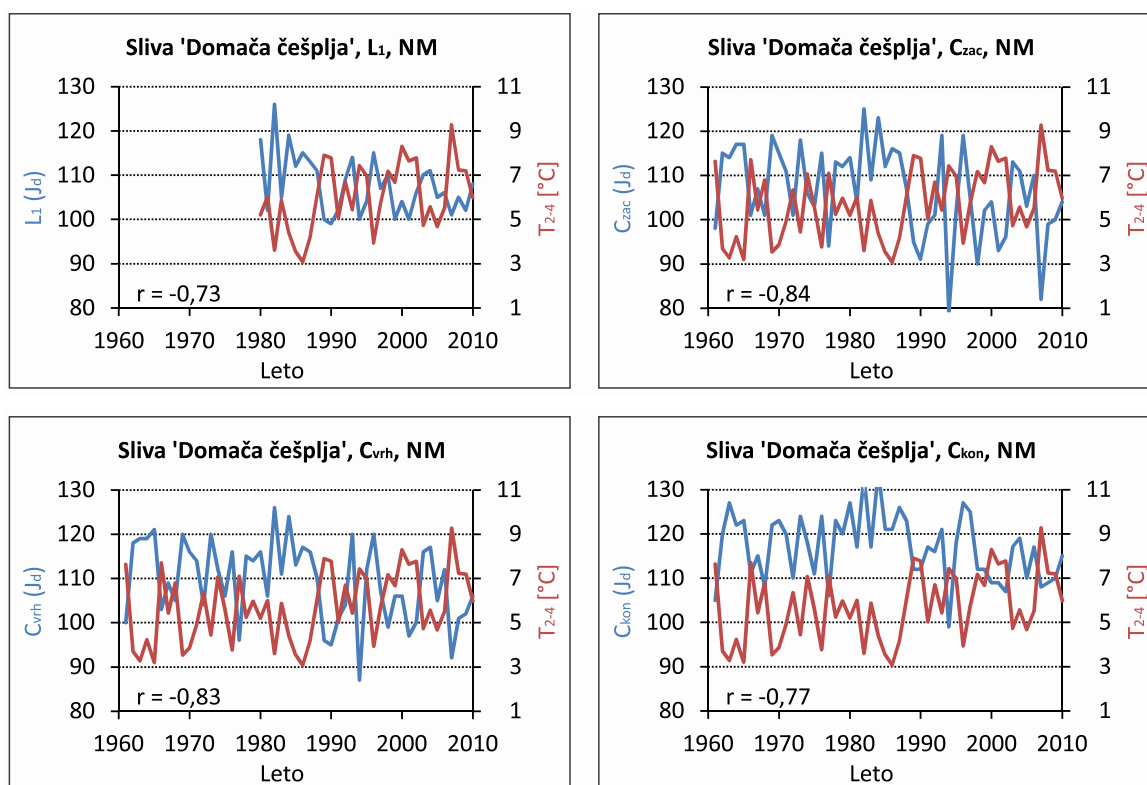
Na grafičnem prikazu primerov odvisnosti pojavljanja fenofaz C_{zac} in C_{kon} hruške sorte 'Viljamovka' od T_{2-3} (Slika 17) sta povezavi močno statistično značilno negativni. Podobno kot pri jablani se tudi pri hruški fenofaze pojavijo nekaj več kot 3 dni bolj zgodaj ali kasneje, če se temperatura poviša ali zniža za 1 °C.



Slika 17: Grafični prikaz vpliva povprečnih temperatur zraka (°C) na fenofazi C_{zac} (levo) in C_{kon} (desno) sorte 'Viljamovka' na postaji MB

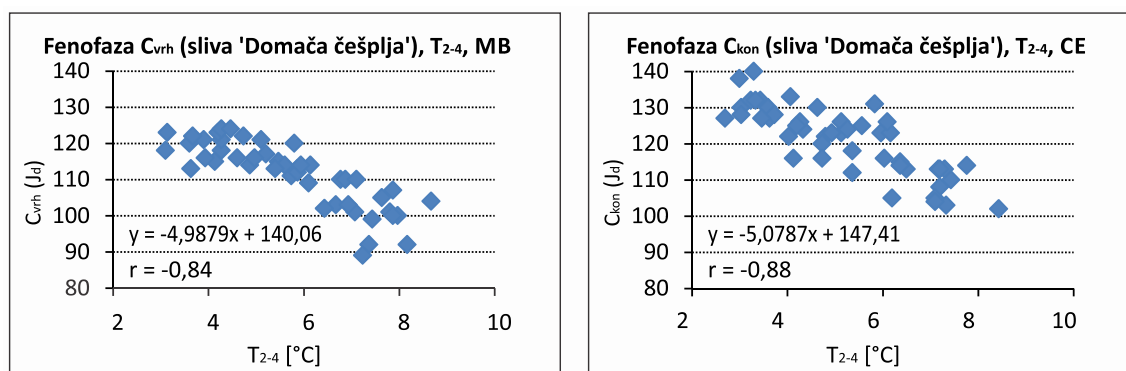
Najmanjši koeficient korelacije pri sorti 'Domača češplja' na postaji LJ ima korelacija med L_1 in T_{2-3} (-0,57), največjega (-0,89) pa korelacija med C_{zac} in T_{1-3} . Ta primer korelacije ni vključen v grafični prikaz, ker zaradi manjkajočih podatkov znotraj obravnavanega obdobja časovni niz vsebuje podatke za samo 16 let.

Na Sliki 18 je prikazanih nekaj primerov korelacije med povprečnimi temperaturami zraka in pojavljanjem fenofaz slive 'Domača češplja' na izbranih lokacijah. Za fenofaze cvetenja slive imamo, razen na omenjeni postaji LJ, podatke za najdaljše časovne nize, zato so podatki lahko prikazani za vseh 50 let obravnavanega obdobja 1961–2010.



Slika 18: Odvisnost termina nastopa fenofaz sorte 'Domača češplja' od povprečnih temperatur T_{2-4} (°C) na postaji NM

Pri slivi sorte 'Domača češplja' so najmočnejše statistično značilno negativne korelacije med fenofazami cvetenja in T_{2-4} (Slika 19). Rezultati kažejo, da je sliva 'Domača češplja' bolj občutljiva na spremembe temperature kot obravnavane sorte jabolane in hruške, saj se pri spremembi temperature za 1 °C fenofaze cvetenja sorte 'Domača češplja' pojavijo 5 dni bolj zgodaj ali kasneje.



Slika 19: Grafični prikaz vpliva povprečnih temperatur zraka (°C) na fenofazi C_{vrh} na postaji MB (levo) in C_{kon} (desno) na postaji CE, oboje za sorto 'Domača češplja'

5 RAZPRAVA IN SKLEPI

Rezultati časovne analize pojavljanja fenofaz so pomembni pri študiju vpliva podnebnih sprememb na kmetijstvo in prilagajanju nanje, saj spremenjen termin fenoloških faz vpliva na številne dejavnike rastlinske proizvodnje (čas setve in spravila pridelka, potrebe uvajanja namakanja, gnojenje, zaščita pred boleznimi in škodljivci, nevarnost spomladanskih pozeh, oprasevalne odnose ...). Na osnovi scenarijev bodočega podnebja lahko načrtujemo prilagajanje na spremenjene razmere v smislu uvajanja novih sort, agrotehničnih ukrepov, možnosti gojenja toplotno zahtevnejših rastlin ter premikov obdelovalnih površin v večje geografske širine oziroma kraje z večjo nadmorsko višino. Fenološki podatki o pojavljanju fenofaz cvetenja so zelo uporabni tudi v medicinski meteorologiji pri napovedovanju vsebnosti alergenov v zraku (cvetni prah leske, breze ...) in pri načrtovanju paše za čebele (cvetenje lipe, robinije).

Za časovno obdobje 1961–2010 smo analizirali fenološke podatke treh sadnih vrst: jablana (sorte 'Bobovec', 'Idared' in 'Beličnik'), hruška (sorti 'Viljamovka' in 'Pastorjevka') in sliva (sorta 'Domača češplja') na petih meteoroloških postajah, ki so istočasno tudi meteorološke postaje. Analizirali smo najzgodnejši in najpoznejši datum pojavljanja fenofaze, izračunali povprečne vrednosti, variacijski razmik in standardni odklon. Z modelom enostavne linearne regresije smo izračunali časovne trende pojavljanja fenofaz pojava prvih listov in cvetenja ter povprečnih mesečnih temperatur zraka. Naredili smo korelacijsko analizo med terminom nastopa fenofaz ter povprečnimi mesečnimi, dvomesečnimi in tromesečnimi temperaturami zraka za mesece od januarja do maja.

V povprečju se fenofaze na izbranih postajah pri jablani pojavljajo v večjem časovnem intervalu (16 dni pri C_{vth}). Razlog je sortna značilnost, saj sorti 'Idared' in 'Beličnik' cvetita srednje zgodaj, 'Bobovec' pa pozno. Pri posameznih sortah je razlika med postajami manjša. Fenofaza C_{vth} se na primer pri sorti 'Bobovec' v CE pojavi povprečno 5 dni prej kot v LJ, pri sorti 'Beličnik' pa fenofaza C_{vth} v NM povprečno nastopi le 2 dni prej kot v VD. Tudi pri hruški in slivi ni velikih razlik v pojavljanju fenofaz med postajami.

5.1 VARIABILNOST FENOLOŠKIH FAZ

Povprečni variacijski razmik vseh obravnavanih fenofaz sadnih rastlin je bil 34 dni. Pri fenofazah jablane je povprečni VR 33 dni (24–39 dni), pri fenofazah hruške 32 dni (28–39 dni), pri fenofazah slive pa 35 dni (15–44 dni). Rezultati naše raziskave se ujemajo z izsledki predhodnih raziskav, v katerih so ugotovili, da odstopanja od povprečnih vrednosti nastopov fenofaz v večini primerov niso večja od ± 15 dni (Črepinšek, 2002; Jelen, 2011).

Variacijski razmiki med postajami se razmeroma malo razlikujejo, razen nekaterih izjem. Na primer, VR fenofaze L_1 pri slivi 'Domača češplja' na postaji VD traja le 15 dni (če upoštevamo še osamelec, je VR 21 dni), kar je precej manj od ostalih. Nekoliko večje razlike med postajami se pokažejo pri razporeditvi posameznih pojavljanj fenofaz znotraj VR. Pri jablani sorte 'Beličnik', na primer, se na postaji VD, za razliko od ostalih postaj, v več kot 75 % fenofaza C_{zac} pojavi pred fenofazo L_1 . Enako velja tudi za isti fenofazi pri 'Domači češplji' na postaji VD, kjer je VR fenofaze L_1 (15 dni, z upoštevanjem osamelca 21 dni) bistveno krajši od VR fenofaze C_{zac} (42 dni). Glede na to, da se obe opisani izjemi pojavljata na postaji VD, je verjetno, da gre za napako pri ocenjevanju, saj je tako odstopanje od zaporedja pojavljanja fenofaz malo verjetno.

Glede na majhne razlike v povprečnih mesečnih temperaturah med izbranimi postajami (Preglednica 2) lahko predvidevamo, da do odmikov od povprečnega pojavljanja fenofaz med postajami lahko pride tudi zaradi različnih reakcij sort sadnih rastlin na okoljske razmere (vlažnost tal, lokacija (severna ali južna lega, pobočje ali kotlina)). Razlike so lahko tudi zaradi bioloških razlik med sadnimi rastlinami (starost drevesa, prizadetost zaradi bolezni in škodljivcev, agrotehnični ukrepi). Tudi globalno obsevanje, temperatura tal, veter, nadmorska višina in ultravijolično sevanje lahko vplivajo na odziv sadnih rastlin na posamezni postaji. Ista vrsta in sorta se lahko, v skladu z njenim genetskim potencialom, različno odzove glede na lokacijo in zato ne smemo posplošiti ugotovitev agrometeoroloških raziskav o vplivu dejavnikov na rast in razvoj rastlin (Willits in Peet, 1998).

5.2 ČASOVNA ANALIZA FENOLOŠKIH PODATKOV

Za časovno obdobje 1961–2010 smo analizirali trende 56 fenofaz sadnih rastlin na petih fenoloških postajah, po 14 za vsako obravnavano fenofazo. Od skupnega števila izračunanih trendov je bilo 22 trendov (39 %) statistično značilnih, 21 negativnih in le 1 pozitiven. Velikost statistično značilnih negativnih trendov je bila od -1,6 dni/10 let (C_{kon} , 'Domača češplja', VD) do -5,7 dni/10 let (C_{kon} , 'Beličnik', VD), pozitiven trend pa znaša +6,0 dni/10 let (C_{vrh} , 'Viljamovka', CE). Ta pozitiven trend je izračunan na osnovi časovnega niza samo 21 let in se ne ujema s pozitivnimi temperaturnimi trendi na postaji CE, saj bi zato fenofaza morala nastopati bolj zgodaj. V predhodnih raziskavah (Črepinšek, 2002; Jelen, 2011) so bile vse spomladanske fenofaze za samonikle rastline ter jablano in slivo v CE zgodnejše. Zato bi lahko med vzroki za to odstopanje bila sprememba lokacije opazovanja (lega sever – jug lahko vpliva na nekaj dni spremembe), starost drevesa oziroma novo (drugo) opazovano drevo, na zgodnejše ali kasnejše cvetenje lahko vplivajo tudi bolezni, škodljivci, onesnažen zrak ...). Zelo pomembno je, da imamo pri raziskavah na voljo tudi metapodatke (podatke o podatkih: spremembe postaj, lokacij, izkušnjah in zamenjavah popisovalcev fenofaz, itd.).

Pri fenofazi pojav prvih listov so bili 4 trendi statistično značilno negativni, vrednosti so bile od -3,1 dni/10 let ('Domača češplja', NM) do -5,2 dni/10 let ('Domača češplja', CE, dolžina časovnega niza je 29 let). 10 od izračunanih trendov fenofaze L_1 je bilo statistično neznačilnih, 9 negativnih in 1 pozitiven trend.

Tudi pri fenofazi začetek cvetenja so bili 4 trendi statistično značilno negativni, od -2,3 dni/10 let ('Domača češplja', CE) do -4,2 dni/10 let ('Beličnik', VD). Od 10. statistično neznačilnih trendov pri C_{zac} je bilo 9 negativnih in 1 pozitiven.

Pri fenofazi vrh cvetenja smo izračunali 7 statistično značilnih trendov, 6 negativnih, 1 pa je bil pozitiven. Vrednost negativnih trendov se je gibala od -2,2 dni/10 let ('Domača češplja', NM) do -5,2 dni/10 let ('Viljamovka', LJ). Vrednost pozitivnega trenda je bila +6,0 dni/10 let ('Viljamovka', CE), kar pomeni odstopanje, ki smo ga že opisali. 7 trendov pri C_{vrh} je bilo negativnih in statistično neznačilnih.

Pri fenofazi konec cvetenja je bilo 7 trendov statistično značilno negativnih, pri 7. pa nismo ugotovili statistične značilnosti. Vrednosti statistično značilnih trendov so se gibale od -1,6 dni/10 let ('Domača češplja', VD) do -5,7 dni/10 let ('Beličnik', VD).

Rezultati analiziranih trendov se ujemajo z rezultati trendov fenoloških faz sadnih rastlin, opisanih v magistrski nalogi (Jelen, 2011). Prav tako so rezultati primerljivi z rezultati analiz iz tujine. Povprečne vrednosti trendov -2,1 dni/10 let je za nastop fenofaz pojava prvih listov in cvetenja v Evropi opisala Menzel (2000). Pri pojavljanju pomladanskih fenofaz v Estoniji so Ahas in sod. (2000) ugotovili, da se v zadnjih letih fenofaze pojavijo v desetih letih 8 dni bolj zgodaj.

Pri fenoloških raziskavah potrebujemo podatke v časovnem intervalu vsaj 30 let, če želimo dobiti kvalitetne rezultate. Iz Preglednic 3 in 6 vidimo, da je približno dve petini časovnih nizov krajših od 30 let, k sreči nekateri samo za leto ali dve. Tudi podatki znotraj časovnih nizov niso popolni, zaradi manjkajočih podatkov so nizi še krajši. Za opravljanje kvalitetnih fenoloških raziskav bi bilo potrebno zagotoviti dolgoletno spremljanje istih sort sadnih rastlin (po možnosti z istim genetskim potencialom) na primerljivih fenoloških postajah. Opuščanje fenoloških postaj (od več kot 120 delujočih fenoloških postaj v 60-tih letih jih zdaj deluje le še 61) predstavlja nepopravljivo škodo. Na primer, v fenološkem vrtu pri ARSO so sadne rastline posekali in naredili parkirišče. Od leta 2012 opazovanja sadnih rastlin (jablane, hruške, slive in češnje) potekajo na Biotehniški fakulteti v Ljubljani.

Arhiv fenoloških podatkov na ARSO, ki nudi številne možnosti za opravljanje fenoloških raziskav, je premalo uporabljen in ne dovolj dostopen širšemu krogu potencialnih uporabnikov. Pri načrtovanju proizvodnje in agrotehničnih ukrepov v kmetijstvu bi bilo smiselno bolj dosledno upoštevati tudi fenološke napovedi (Črepinšek, 2002).

5.3 KORELACIJSKA ANALIZA

S pomočjo korelacijske analize smo ugotavljali povezavo med povprečnimi temperaturami posameznih mesecev, dvomesečij, tromesečij in pojavljanjem obravnavanih fenofaz na izbranih fenoloških postajah. Povezanost fenofaz in temperature bolje opišemo, če namesto povprečnih mesečnih temperatur uporabimo dvomesečna ali tromesečna povprečja temperatur. Podobne ugotovitve so opisali tudi drugi raziskovalci (Ahas in sod., 2000; Črepinšek in Kajfež-Bogataj, 2005; Sparks in sod., 2000).

Pri analizi korelacij med pojavljanjem fenofaz in povprečnimi temperaturami zraka smo izračunali vse koeficiente korelacije, obravnavali pa smo tiste povezave, kjer so bili izračunani koeficienti korelacije največji. Vsi največji izračunani koeficienti korelacije so bili negativni in v večini primerov močno statistično negativni. Pri izbranih sortah sadnih rastlin so bili ti koeficienti med -0,41 (L_1 , T_{3-5} , 'Bobovec', MB (edina vrednost manjša od -0,50)) in -0,89 (C_{zac} , T_{1-3} , 'Domača češplja', LJ).

Pri jablani so fenofaze najtesneje povezane z dvomesečjem T_{3-4} . Sledijo korelacije s tromesečji T_{2-4} . Pri hruški se kaže izrazita korelacija med fenofazami L_1 , C_{zac} , C_{vrh} in povprečnimi temperaturami dvomesečja T_{2-3} (11 od 12 primerov). Tudi pri fenofazi C_{kon} je v dveh od štirih primerov korelacija najmočnejša z dvomesečjem T_{2-3} . Pri slivi so najmočnejše statistično značilno negativne korelacije med fenofazami C_{zac} , C_{vrh} , C_{kon} in tromesečjem T_{2-4} (v 8. primerih). Z dvomesečji T_{2-3} in T_{3-4} ter tromesečjem T_{1-3} so najbolje povezani po 4 primeri korelacij. Zanimivo je, da se korelacija s tromesečjem T_{2-4} , ki je najpogostejša pri povezavah s fenofazami cvetenja, pri fenofazi L_1 sploh ne pojavi. Cvetenje je temperaturno bolj občutljivo kot olistanje.

5.4 SKLEPI

1. Povprečen nastop posameznih fenofaz različnih sadnih vrst se med postajami in leti močno razlikuje.
2. Povprečen nastop posameznih fenofaz iste sorte se med postajami in leti malo razlikuje.
3. Povprečna vrednost standardnega odklona je bila 8,4 dni, povprečen VR pa 34 dni, kar pomeni, da se fenofaze pojavijo najpogosteje okoli srednjega datuma, pri čemer odstopanja od povprečja v večini primerov niso večja od ± 17 dni.
4. Trendi povprečnih temperatur zraka so statistično značilno pozitivni, kar pomeni, da so spomladanske temperature v zadnjih letih višje.

5. Variabilnost nastopa fenofaz je močno odvisna od temperature zraka. Korelacije med temperaturami zraka in pojavljanjem fenofaz so negativne. Koeficient korelacije za olistanje je znašal od -0,41 do -0,87, za fenofaze cvetenja pa od -0,77 do -0,89, kar kaže, da je cvetenje temperaturno bolj občutljiva fenofaza kot olistanje.
6. Pri fenofazah L_1 , C_{zac} , C_{vrh} in C_{kon} pri sadnih rastlinah je korelacija s povprečnimi temperaturami zraka močno statistično značilno negativna, pri višjih povprečnih temperaturah se fenofaze pojavljajo bolj zgodaj. Pri temperaturah, višjih za 1 °C, obravnavane fenofaze pri izbranih sortah jablane in hruške nastopijo 3 dni bolj zgodaj, pri slivi sorte 'Domača češplja' pa 5 dni bolj zgodaj.
7. Poznavanje korelacij med pojavljanjem fenofaz in povprečnimi temperaturami zraka je pomembno pri predvidevanju reakcije rastlin na spremembe temperature. Če so korelacije močne, bodo rastline tudi močno reagirale (zgodnje cvetenje, če je topla pomlad, pozno cvetenje v mrazu).
8. Zagotavljanje dolgoletnih neprekinjenih fenoloških opazovanj (podatkov) je bistvenega pomena za opravljanje kvalitetnih raziskav. Nabor vrst rastlin in sort na fenoloških postajah bi moral biti čim bolj enak, po možnosti z enakim genetskim materialom.

6 POVZETEK

Proučevali smo vpliv povprečnih temperatur zraka na pojav fenofaz olistanja in cvetenja izbranih sort sadnih rastlin v Sloveniji v obdobju 1961–2010. Obravnavali smo fenofazo pojav prvih listov in fenofaze cvetenja (začetek, vrh in konec) za tri sadne vrste, jablano (*Malus domestica* Borkh) (sorte 'Bobovec', 'Idared', 'Beličnik'), hruško (*Pyrus communis* L.) (sorti 'Viljamovka' in 'Pastorjevka') ter slivo (*Prunus domestica* L.) sorte 'Domača češplja'. Fenološke in meteorološke podatke smo črpali iz arhiva ARSO za pet fenoloških (meteoroloških) postaj: Celje, Ljubljana, Maribor, Novo mesto in Veliki Dolenci.

Povprečni nastop fenofaz smo prikazali z aritmetično sredino, izraženo kot julijanski dan (zaporedni dan v letu), odstopanja od povprečja smo prikazali s standardnim odklonom, variacijski razmik pa smo izračunali iz razlike med maksimumom in minimumom. Zaradi velike odvisnosti nastopa pomladanskih fenofaz od temperatur zraka je pojavljanje fenofaz dober pokazatelj toplotnih razmer v okolju. Povprečni variacijski razmik vseh obravnavanih fenofaz sadnih rastlin je bil 34 dni, povprečni standardni odklon pa 8,4 dni.

Za uspešno analizo pojava v času potrebujemo dovolj dolg, neprekinjen časovni niz podatkov (vsaj 30 let). Analizirane trende smo izrazili s številom dni na 10 let. Trend povprečnih mesečnih, dvomesečnih in tromesečnih temperatur je na vseh postajah statistično značilno pozitiven, kar kaže na to, da zaradi naraščanja povprečnih temperatur zraka obravnavane fenofaze nastopajo bolj zgodaj. Velikost statistično značilno negativnih trendov je bila od -1,6 dni/10 let do -5,7 dni/10 let. Pri opravljanju izračunov se je pokazalo, da povprečne temperature tromesečja februar–marec–april in dvomesečij februar–marec in marec–april najbolj vplivajo na pojavljanje fenofaz sadnih rastlin, ki smo jih obravnavali.

S pomočjo korelacijske analize smo ugotavljali povezavo med povprečnimi temperaturami posameznih mesecev, dvomesečij, tromesečij in pojavljanjem obravnavanih fenofaz na izbranih fenoloških postajah. Odvisnost nastopa fenofaz od temperatur zraka lahko bolj natančno opišemo, če namesto povprečnih mesečnih temperatur zraka uporabimo dvomesečna ali tromesečna povprečja. Vsi največji izračunani koeficienti korelacije so bili negativni in v večini primerov močno statistično značilni, kar pomeni, da se zaradi povečanja povprečnih temperatur v zadnjih letih fenofaze pojavljajo bolj zgodaj. Pri izbranih sortah sadnih rastlin so bili ti koeficienti med -0,41 in -0,89. Fenofaze cvetenja so temperaturno bolj odvisne kot fenofaze olistanja.

7 VIRI

- Ahas R., Jaagus J., Aasa A. 2000. The phenological calendar of Estonia and its correlation with mean air temperature. *International Journal of Biometeorology*, 44, 4: 159–166
- Arhiv fenoloških podatkov, Agencija Republike Slovenije za okolje. 2012. Ljubljana, ARSO (izpis iz baze podatkov)
- Arhiv urada za meteorologijo pri Agenciji Republike Slovenije za okolje. 2012. Ljubljana, ARSO (izpis iz baze podatkov)
- ARSO. Agencija Republike Slovenije za okolje in prostor. 2013.
<http://www.arso.gov.si/> (22. februar 2013)
- Bergant K., Črepinšek Z., Kajfež-Bogataj L. 2001. Flowering prediction of pear tree (*Pyrus communis* L.), apple tree (*Malus domestica* Borkh) and plum tree (*Prunus domestica* L.) – similarities and differences. *Zbornik Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani, Kmetijstvo*, 77-1: 3–10
- Chmielewski F.M., Müller A., Bruns E. 2004. Climate changes and trends in phenology of fruit trees and field crops in Germany, 1961–2000. *Agricultural and Forest Meteorology*, 121, 1-2: 69–78.
- Cleland E., Chuine I., Menzel A., Mooney H.A., Schwartz M.D. 2007. Shifting plant phenology in response to global change. *Trends in Ecology and Evolution*, 22, 7: 357–365
- Črepinšek Z. 2002. Napovedovanje fenološkega razvoja rastlin na osnovi agrometeoroloških spremenljivk v Sloveniji. Doktorska disertacija. Biotehniška fakulteta. Oddelek za agronomijo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani: 135 str.
- Črepinšek Z. 2007. Fenologija – kazalec podnebja in posledic njegovega spreminjanja.
<http://web.bf.uni-lj.si/agromet/fenologijaPDF.pdf> (22. februar 2013)
- Črepinšek Z., Kajfež-Bogataj L. 2005. Modeliranje fenološkega razvoja pri rastlinah. *Acta agriculturae Slovenica*, 85: 263–281
- Črepinšek Z., Kajfež-Bogataj L., Ceglar A. 2008a. Pomen fenoloških opazovanj v sadjarstvu. V: *Zbornik referatov 2. slovenskega sadjarskega kongresa z mednarodno udeležbo*, Krško, 31. januar–2. februar 2008: 437–444
- Črepinšek Z., Zrnec C., Sušnik A., Žust A. 2008b. Slovenian phenological observations. V: *The history and current status of plant phenology in Europe*. Nekovář J. (ur.). Brussels: 151–155
- Črepinšek Z., Solar M., Štampar F., Solar A. 2009. Shifts in walnut (*Juglans regia* L.) phenology due to increasing temperatures in Slovenia. *The Journal of Horticultural Science & Biotechnology*, 84, 1: 59–64
- Črepinšek Z., Zrnec C. 2005. Petinpetdeset let fenoloških opazovanj v Sloveniji 1951–2005. *Acta agriculturae Slovenica*, 85: 283–297
- EPN. European Phenology Network. 2004.
<http://web.archive.org/web/20071222031041/http://www.dow.wau.nl/msa/epn/index.asp>
<http://web.archive.org/web/20070311231241/http://www.pik-potsdam.de/~rachimow/epn/html/frameok.html> (24. februar 2013)

Fenologija. 2008. ARSO.

<http://www.arso.gov.si/vreme/napovedi%20in%20podatki/fenologija.pdf>

(22. februar 2013)

Godec B., Hudina M., Usenik V., Fajt N., Koron D., Solar A., Vesel V., Ambrožič Turk B., Vrhovnik I., Kodrič I. 2011. Sadni izbor za Slovenijo 2011. Ljubljana, Orbis: 215 str.

Hočevar A. 1964. Fenološke faze v odvisnosti od vremena. Doktorska disertacija. Ljubljana, Univerza v Ljubljani: 241 str.

Hoogenboom G. 2000. Contribution of agrometeorology to the simulation of crop production and its applications. *Agricultural and Forest Meteorology*, 103, 1–2: 137–157

IPG. International Phenological Gardens of Europe. Humboldt-Universität Berlin. 2010. <http://ipg.hu-berlin.de/> (23. februar 2013)

Jelen L. G. 2011. Fenološki razvoj izbranih rastlinskih vrst in škodljivih metuljev (Lepidoptera) kot kazalec temperaturnih razmer in njihove spremenljivosti v Sloveniji. Magistrsko delo. Biotehniška fakulteta. Oddelek za agronomijo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani: 103 str.

Kajfež-Bogataj L., Bergant K. 1998. Prediction of blossoming of apple tree (*Malus domestica* Borkh) by phenological models. Zbornik Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani. *Kmetijstvo*, 71: 83–89

Kajfež-Bogataj L., Bergant K. 1999. Comparison of predicting full flowering dates of apple tree (*Malus domestica* Borkh) and plum tree (*Prunus domestica* L.) in Ljubljana. Razprave-Papers, posebna številka: 32–39

Kajfež-Bogataj L. 2008. Kaj nam prinašajo podnebne spremembe. 1. izd., 1. natis. Ljubljana, Pedagoški inštitut: 134 str.

Kajfež-Bogataj L., Pogačar T., Ceglar A., Črepinšek Z. 2010. Spremembe agro-klimatskih spremenljivk v Sloveniji v zadnjih desetletjih. *Acta agriculturae Slovenica*, 95, 1: 97–109

Košmelj K. 2007. Uporabna statistika [Elektronski vir]. 2. izdaja. Ljubljana, Biotehniška fakulteta: 239 str.

http://kt.ijs.si/marko_debeljak/Lectures/Statistika/Uporabna_statistika_01.pdf

(17. marec 2013)

Laaidi M. 2001. Forecasting the start of the pollen season of *Poaceae*: evaluation of some methods based on meteorological factors. *International Journal of Biometeorology*, 45, 3: 1–7

Menzel A. 2000. Trends in phenological phases in Europe between 1951 and 1996. *International Journal of Biometeorology*, 44, 2: 76–81

Menzel A., Sparks T.H., Estrella N., Koch E., Aasa A., Ahas R., Alm-Kübler K., Brissolli P., Braslavská O., Briede A., Chmielewski F.M., Črepinšek Z., Curnel Y., Dahl Å., Defila C., Donnelly A., Filella Y., Jatzczak K., Måge F., Mestre A., Nordli Ø., Peñuelas J., Pirinen P., Remišová V., Scheifinger H., Striz M., Sušnik A., van Vliet A.J.H., Wielgolaski F.-E., Zach S., Žust A. 2006. European phenological response to climate change matches the warming pattern. *Global Change Biology*, 12, 10: 1969–1976

- NCS. The Nature's Calendar Survey. 2013. <http://www.naturescalendar.org.uk/> (11. marec 2013)
- Podnebne razmere v Sloveniji (obdobje 1971–2000). 2006. Agencija Republike Slovenije za okolje.
http://www.arso.gov.si/vreme/podnebje/podnebn_razmere_Slo71_00.pdf (10. april 2013)
- Podolsky A.S. 1984. New phenology: Elements of Mathematical Forecasting in Ecology. New York, John Wiley&Sons: 504 str.
- Ruml M., Milatović D., Vulić T., Vuković A. 2010. Predicting apricot phenology using meteorological data. International Journal of Biometeorology.
<http://link.springer.com/article/10.1007/s00484-010-0387-0#page-1> (28. marec 2013)
- Smole J. 1979. Primerjave terminov nastopa fenofaz pri češnjah (*Prunus avium* L.) v obdobjih 1965–1970 in od 1970–1977 na Goriškem. Zbornik Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani, Kmetijstvo, 33: 117–131
- Sparks T.H., Jeffree E.P., Jeffree C.E. 2000. An examination of the relationship between flowering times and temperature at the national scale using long-term phenological records from the UK. International Journal of Biometeorology, 44, 2: 82–87
- Sušnik A., Kofol-Seliger A. 1999. Uporaba fenoloških podatkov pri določanju prašenja alergenih rastlin. Razprave-Papers, posebna številka: 41–56
- Štampar F., Lešnik M., Veberič R., Solar A., Koron D., Usenik V., Hudina M., Osterc G. 2009. Sadjarstvo. 2. dopolnjena izdaja. Ljubljana, Kmečki glas: 416 str.
- Vilhar U., Kajfež-Bogataj L. 2003. Odvisnost med nastopom fenofaz pri bukvi in navadnem kostanju v Kočevju ter povprečnimi mesečnimi temperaturami zraka v obdobju od leta 1961 do 1990. Zbornik gozdarstva in lesarstva, 72: 63–81
- Willits D.H., Peet M.M. 1998. The effect of night temperature on greenhouse grown tomato yields in warm climates. Agricultural and Forest Meteorology, 92, 3: 191–202
- Viršček Marn M., Stopar M. 1998. Sorte jabolk. Ljubljana, Kmečki glas: 211 str.

ZAHVALA

Zahvaljujem se vsem, ki ste mi pomagali pri izdelavi diplomske naloge in vsem, ki ste mi pri tem stali ob strani.

PRILOGA A

Meteorološke postaje

(Arhiv meteoroloških podatkov Agencije Republike Slovenije za okolje, 2010;
spletna stran ARSO, 2013)

CELJE

nadmorska višina: 244 m
zemljepisna širina: $46^{\circ} 15'$
zemljepisna dolžina: $15^{\circ} 15'$
GaussK: y-5519469, x-5122286



LJUBLJANA

nadmorska višina: 299 m
zemljepisna širina: $46^{\circ} 04'$
zemljepisna dolžina: $14^{\circ} 31'$
GaussK: y-5462655, x-5102457



MARIBOR

nadmorska višina: 275 m
zemljepisna širina: $46^{\circ} 32'$
zemljepisna dolžina: $15^{\circ} 39'$
GaussK: y-5549167, x-5155240



NOVO MESTO

nadmorska višina: 220 m
zemljepisna širina: $45^{\circ} 48'$
zemljepisna dolžina: $15^{\circ} 11'$
GaussK: y-5514175, x-5072525



VELIKI DOLENCI

nadmorska višina: 308 m
zemljepisna širina: $46^{\circ} 50'$
zemljepisna dolžina: $16^{\circ} 17'$
GaussK: y-5598579, x-5188854



PRILOGA B

Pretvorba datuma v julijanski dan

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	32	60	91	121	152	182	213	244	274	305	335
2	33	61	92	122	153	183	214	245	275	306	336
3	34	62	93	123	154	184	215	246	276	307	337
4	35	63	94	124	155	185	216	247	277	308	338
5	36	64	95	125	156	186	217	248	278	309	339
6	37	65	96	126	157	187	218	249	279	310	340
7	38	66	97	127	158	188	219	250	280	311	341
8	39	67	98	128	159	189	220	251	281	312	342
9	40	68	99	129	160	190	221	252	282	313	343
10	41	69	100	130	161	191	222	253	283	314	344
11	42	70	101	131	162	192	223	254	284	315	345
12	43	71	102	132	163	193	224	255	285	316	346
13	44	72	103	133	164	194	225	256	286	317	347
14	45	73	104	134	165	195	226	257	287	318	348
15	46	74	105	135	166	196	227	258	288	319	349
16	47	75	106	136	167	197	228	259	289	320	350
17	48	76	107	137	168	198	229	260	290	321	351
18	49	77	108	138	169	199	230	261	291	322	352
19	50	78	109	139	170	200	231	262	292	323	353
20	51	79	110	140	171	201	232	263	293	324	354
21	52	80	111	141	172	202	233	264	294	325	355
22	53	81	112	142	173	203	234	265	295	326	356
23	54	82	113	143	174	204	235	266	296	327	357
24	55	83	114	144	175	205	236	267	297	328	358
25	56	84	115	145	176	206	237	268	298	329	359
26	57	85	116	146	177	207	238	269	299	330	360
27	58	86	117	147	178	208	239	270	300	331	361
28	59	87	118	148	179	209	240	271	301	332	362
29		88	119	149	180	210	241	272	302	333	363
30		89	120	150	181	211	242	273	303	334	364
31		90		151		212	243		304		365