

GDK 181.1 + 111.24 . *Fagus sylvatica* L. : *Aesculus hippocastanum* L. (497.12 * 06) "1961-1990"

Prispelo / Received: 01.10.2003

Izvorni znanstveni članek

Sprejeto / Accepted: 09.12.2003

Original scientific paper

ODVISNOST MED NASTOPOM FENOFAZ PRI BUKVI IN NAVADNEM DIVJEM KOSTANJU V KOČEVJU TER POVPREČNIMI MESEČNIMI TEMPERATURAMI ZRAKA V OBDOBJU OD LETA 1961 DO 1990Urša VILHAR^{*}, Lučka KAJFEŽ-BOGATAJ^{**}

Izvleček

Analiza nastopa fenoloških faz gozdnega drevja in grmovja v dolgem časovnem nizu nam pojasnjuje odvisnost med časom pojavljanja določene fenofaze ter meteorološkimi razmerami. Na lokaciji Kočevje smo ugotavljali korelacijo med nastopom fenofaz za bukev (*Fagus sylvatica* L.) ter navadni divji kostanj (*Aesculus hippocastanum* L.) ter povprečnimi eno-, dvo- in tromesečnimi temperaturami zraka za obdobje od leta 1961 do 1990. Korelacije so tesnejše, če uporabimo povprečja temperatur dveh ali treh zaporednih mesecev. Največji delež pojasnjene variabilnosti pri bukvi smo dosegli z modelom za napoved začetka rumenenja listja (58 %). Kot prva pojasnjevalna spremenljivka se pojavlja povprečna temperatura v mesecih februarju, marcu in aprilu, kot druga pa povprečna temperatura mesecev julija, avgusta in septembra. Pri navadnem divjem kostanju smo največji delež pojasnjene variabilnosti dosegli z modelom za napoved začetka splošnega cvetenja (65 %), na katero najbolj vplivajo povprečne temperature mesecev aprila in maja ter mesecev januarja, februarja in marca. Na splošno je začetek rumenenja listja pri bukvi dober kazalec temperaturnih razmer rastišča.

Ključne besede: fenologija, bukev, navadni divji kostanj, fenološka postaja Kočevje, povprečne mesečne temperature zraka

PHENOLOGICAL DEVELOPMENT OF FAGUS SYLVATICA L. AND AESCULUS HIPPOCASTANUM L. IN RELATION TO MEAN MONTHLY TEMPERATURES FOR THE KOČEVJE LOCALITY DURING 1961-1990

Abstract

Long-term phenological development of forest trees and shrubs is an important indicator of changes in the onset of specific phenological phase at different sites in relation to meteorological conditions. Correlation analysis and linear multiple regression were used to establish relationship between phenological phases for *Fagus sylvatica* and *Aesculus hippocastanum* and mean monthly air temperatures for the Kočevje locality in the period 1961-1990. Correlation coefficients between the onset of phenological phases with air temperature of the previous 2-3 months were relatively high. For *Fagus sylvatica*, the highest variability was explained with phenological model for the beginning of leaf colouring (58 %) with first independent variable mean monthly temperature for the months of February, April and May and as second independent variable mean monthly temperature for the months of July, August and September. For *Aesculus hippocastanum*, the highest variability was explained with phenological model for the beginning of flowering (65 %) with first independent variable mean monthly temperature for the months of April and May and as second independent variable mean monthly temperature for the months of January, February and March. In general, the beginning of leaf colouring in *Fagus sylvatica* is a good indicator of temperature characteristics of the site.

Key words: phenology, *Fagus sylvatica* L., *Aesculus hippocastanum* L., phenological station Kočevje, average mean monthly air temperatures

* Gozdarski inštitut Slovenije, Večna pot 2, 1000 Ljubljana, SVN

** Biotehniška fakulteta, Katedra za aplikativno meteorologijo, Jamnikarjeva 101, Si-1000, Ljubljana, SVN

**VSEBINA
CONTENTS**

1	UVOD	65
	INTRODUCTION	
2	METODE	66
	METHODS	
3	REZULTATI	69
	RESULTS	
4	RAZPRAVA IN ZAKLJUČKI	78
	DISCUSSION AND CONCLUSIONS	
5	SUMMARY	79
6	VIRI	80
	REFERENCES	

1 UVOD

INTRODUCTION

Fenologija je veda, ki se ukvarja s preučevanjem časa pojavljanja periodičnih bioloških faz in vzrokov njihovega pojava ob upoštevanju biotičnih in abiotičnih dejavnikov ter medsebojnih odnosov zaporednih razvojnih faz znotraj ene ali več vrst (HOČEVAR / KAJFEŽ-BOGATAJ 1991). Fenologijo delimo na zoofenologijo ali fenologijo živali, ki spremlja pojave v razvoju živali, in bolj razvito fitofenologijo ali fenologijo rastlin, ki obravnava razvojne faze rastlin od začetka do konca rastne dobe (ČREPINŠEK 2002). Danes fitofenologija zajema opazovanje avtohtone vegetacije, nekaterih poljskih posevkov, sadnega drevja, vinske trte in drugih gospodarsko pomembnih kmetijskih rastlin (KAJFEŽ-BOGATAJ 1995).

Fenofaze se pojavljajo kot posledica biokemičnih procesov v rastlini, ki potekajo po genetsko določenih zakonitostih, a pod izredno močnim vplivom vseh ekoloških dejavnikov (SMOLE 1979).

Fenološki podatki so v kmetijstvu pomembni pri izdelavi agrometeoroloških analiz (primerjava povprečnih in ekstremnih vrednosti v določenem letu), ki nam rabijo predvsem pri pripravi agrometeoroloških napovedi, pri načrtovanju kmetijske proizvodnje, primernosti posameznih področij za gojenje določenih kmetijskih rastlin, načrtovanju agrotehničnih ukrepov (varstvo rastlin, setev, spravilo pridelka, namakanje, zaščita pred pozebo,...) (ČREPINŠEK 2002). Vse širša je tudi uporaba fenoloških podatkov v medicini na področju alergij, ki jih povzročajo rastline (npr. cvetenje leske, breze, trav...). Fenologija je tudi pomembno orodje pri ugotavljanju prilagoditev rastlin na različna okolja. Fenološke značilnosti pri sadnih rastlinah so zelo pomembne za ustrezen izbor kultivarjev (SMOLE 1979).

Preučevanje fenoloških faz v dolgem časovnem nizu je vse pomembnejše orodje za ugotavljanje vpliva klimatskih sprememb tako na rastlinski kot živalski svet (ČREPINŠEK 2002). Robinija, na primer, sodi med rastlinske vrste, ki se na spremenjene klimatske spremembe še posebej močno odzivajo in so zato zelo primerne za preučevanje klimatskih sprememb. Cvetenje robinije je namreč močno korelirano s povprečno spomladansko temperaturo zraka (BERGANT / KAJFEŽ-BOGATAJ 1999).

Dolgoletna fenološka opazovanja izbranih drevesnih in grmovnih vrst v Sloveniji, predvsem njihovega olistanja in cvetenja, so bila kot sekundarni dejavnik (rezultat delovanja več različnih dejavnikov) v pomoč pri razmejitvi provenienčnih območij

gozdnih drevesnih vrst na osnovi ekoloških regij in podregij v Sloveniji (KUTNAR *et al.* 2002).

Fenološki podatki so lahko uporabni tudi pri določanju trajanja rastne dobe, preučevanje le-te pa je vse bolj pomembno tudi z vidika klimatskih sprememb. Chen (1996) je v svoji raziskavi ugotovil, da lahko dolžino rastne dobe za gozdno drevje opišemo boljše na osnovi nastopa fenofaz (rastna doba je obdobje od faze olistanja do faze rumenjenja listja) kot na osnovi števila dni nad izbranim temperaturnim pragom oziroma obdobjem med zadnjo spomladansko in prvo jesensko slano.

Med abiotskimi dejavniki okolja sta temperatura in dolžina dneva dva izmed najpomembnejših dejavnikov okolja, ki odločujoče vplivata na fenološki razvoj rastlin (ČREPINŠEK 2002), saj rastline potrebujejo za prehod iz ene v drugo razvojno stopnjo določeno količino toplote. Odvisnost fenološkega razvoja od padavin prihaja do izraza predvsem na območjih, kjer rastlinam med vegetacijsko dobo vode primanjkuje in je voda omejujoč dejavnik rasti. Na razvoj rastlin vplivajo tudi temperature tal, veter, relativna zračna vlažnost in druge meteorološke spremenljivke.

Namen našega dela je bil ugotoviti matematične zveze med nastopom fenofaz olistanja, rumenjenja in odpadanja listov za bukev ter fenofaz olistanja, začetek cvetenja, splošnega cvetenja, prvih plodov, rumenjenja in odpadanja listov za navadni divji kostanj za fenološko postajo Kočevje ter povprečnimi mesečnimi temperaturami zraka za obdobje od leta 1961 do 1990.

2 METODE **METHODS**

2.1 FENOLOŠKI PODATKI **PHENOLOGICAL DATA**

Fenološke podatke smo pridobili iz arhiva Agencije RS za okolje za obdobje 1961-1990. Ti temeljijo na vizualnih ocenah posameznikov, zato kljub zelo natančnim navodilom za opazovanje in beleženje fenofaz obstaja možnost napak. Kako velika bo subjektivna napaka opazovalca, je odvisno predvsem od njegove izkušnosti in vestnosti. Za gozdno drevje in grmičevje opazujemo naslednje fenofaze (ČREPINŠEK 2002, ZRNEC 2002):

- faza prvih listov – zabeležimo jo takoj, ko se na rastlini pojavijo prvi listi

- faza začetek cvetenja – nastopi, ko se na rastlini pojavijo prvi cvetovi
- faza splošnega cvetenja – je takrat, ko se je na opazovani rastlini že razcvetela več kot polovica cvetov
- faza prvih zrelih plodov – nastopi takrat, ko opazimo prve zrele plodove
- faza splošnega rumenenja listja – nastopi jeseni, in sicer takrat, ko je jesensko porumenela več kot polovica listja na izbrani rastlini. Paziti moramo, da te faze ne zamenjamo z rumenenjem listja zaradi drugih vzrokov, na primer poletne suše ali bolezni. Faza splošnega rumenenja listja v jeseni označuje konec vegetacijske dobe za posamezne vrste gozdnega drevja.
- faza splošnega odpadanja listja – nastopi jeseni, ko odpade več kot polovica listja na rastlini.

2.1.1 Fenofaze pri bukvi

Phenological phases for *Fagus sylvatica*

Za drevesno vrsto bukev so najvažnejše naslednje fenofaze:

- faza prvih listov – na rastlini se pojavijo prvi listi in povsem zlezejo iz listnega ovoja
- faza splošnega rumenenja listja
- faza splošnega odpadanja listja

Posamično drevo ne cveti vsako leto, morda vsaka 4 leta ali še redkeje. Zato fenofaz prvega in splošnega cvetenja ter plodov nismo vključili v analizo.

2.1.2 Fenofaze pri navadnem divjem kostanju

Phenological phases for *Aesculus hippocastanum*

Navadni divji kostanj je zelo pomemben mednarodni fenološki objekt. Pri njem opazujemo vse faze:

- faza prvih listov – pojavi se nekaj povsem razprtih in zravnanih listov, vsi lističi na posameznih listih so ločeni drug od drugega
- faza začetka cvetenja – na nekaj cvetnih grozdih se razcvetijo prvi cvetovi, in sicer na spodnjem koncu cvetnega grozda
- faza splošnega cvetenja – razcvete se večina na več kot polovici cvetnih grozdov
- faza prvih zrelih plodov

- faza splošnega rumenenja listja - te faze ne smemo zamenjati z rumenenjem listja zaradi drugih vzrokov, na primer poletne suše ali bolezni
- faza splošnega odpadanja listja

Na listih navadnega divjega kostanja se v Sloveniji od leta 1997 sočasno pojavljata bolezen listne sušice (*Guignardia aesculi* /Peck./Stev.) in žuželka listni zavrtač divjega kostanja (*Cameraria ohridella* Deschka et Dimić) (JURC 1997) Simptomi listne sušice se pokažejo v juliju in avgustu in so podobni poškodbam listja zaradi suše ali vpliva soli. Taki pojavi lahko moteče vplivajo na zbiranje fenoloških podatkov, predvsem za nastop fenofaze rumenenja listja in odpadanja listja pri navadnem divjem kostanju. Podatki o pojavu posameznih fenofaz za določeno rastlinsko vrsto v določenem letu so podani z dnevom v letu, ki ga štejemo od 1. januarja dalje in ga imenujemo julijanski dan (HOČEVAR / KAJFEŽ-BOGATAJ 1991). Tovrstni nizi podatkov za daljša obdobja omogočajo obdelavo z različnimi statističnimi orodji.

2.2 STATISTIČNE METODE STATISTICS

Vse v nalogi uporabljene statistične metode smo opravili s programom STATISTICA.

2.2.1 Opisne statistike Descriptive statistics

Za prikaz povprečnih vrednosti nastopa fenofaz smo uporabili deskriptivne statistike. Aritmetična sredina nam podaja povprečen nastop fenofaze (F_x) na izbrani lokaciji (Kočevje), izražen kot zaporedni dan v letu (julijanski dan). Iz razlike med najzgodnejšim in najpoznejšim pojavom F_x smo izračunali variacijski razpon (VR) nastopa fenofaze.

2.2.2 Regresija Regression

Regresija je statistična metoda, s katero skušamo ugotoviti, katera matematična funkcija najboljše opiše odvisnost ene spremenljivke od drugih spremenljivk. Odvisno spremenljivko označimo z Y (npr. nastop fenofaze olistanja), neodvisne ali pojasnjevalne

spremenljivke pa X_1, X_2, X_3, \dots (temperatura zraka, količina padavin...). Linearno multiplo regresijsko odvisnost zapišemo z matematičnim modelom:

$$Y = a + \beta_1 * X_1 + \beta_2 * X_2 + \dots + \beta_n * X_n + \varepsilon \quad \dots (1)$$

pri čemer so:

$\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$ parametri regresijskega modela, ki podajajo parcialno odvisnost Y od X_n pri upoštevanju soodvisnosti drugih neodvisnih spremenljivk v modelu;
 ε naključni medsebojno neodvisni vplivi.

Koeficient determinacije (r^2) izraža odstotek z modelom pojasnjene variabilnosti odvisne spremenljivke, preostali del variabilnosti z modelom ni pojasnjen.

Ker so nekatere neodvisne spremenljivke, ki smo jih vključili v regresijski model, močno interkorelirane (povprečne mesečne temperature ter povprečja mesečnih temperatur za več mesecev), smo za oblikovanje modela uporabili tako imenovano »forward selection« (nekakšno progresivno selekcijo, pri kateri začnemo z najenostavnejšim modelom, vsakokrat dodamo nov linearni člen in analiziramo nov model glede na predhodnega). Ta omogoča vključevanje posamezne spremenljivke korakoma, s čimer lahko opazujemo prispevek posamezne spremenljivke k natančnosti modela.

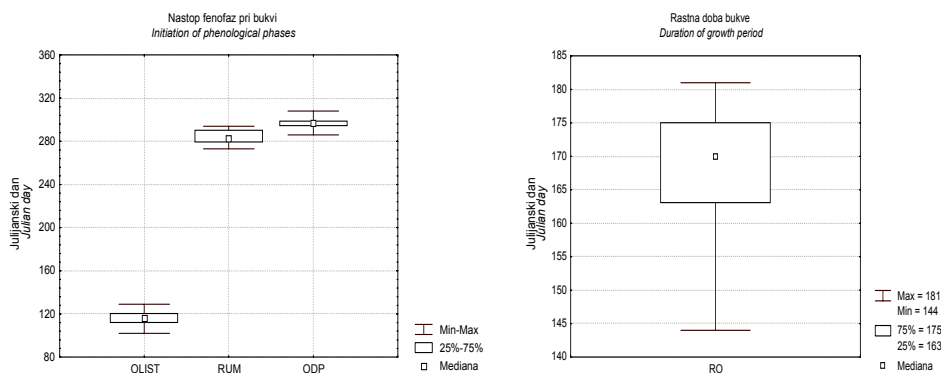
3 REZULTATI **RESULTS**

3.1 ANALIZA FENOLOŠKIH PODATKOV **PHENOLOGICAL DATA ANALYSIS**

3.1.1 Opisne statistike Descriptive statistics

Z logično kontrolo smo najprej izločili grobe, laže opazne napake v podatkih, ki so nastale pri prepisovanju v obrazce. Srednje večletne vrednosti nastopa fenofaz nam dajo predstav o spremembi časa pojava določene fenofaze na različnih lokacijah v odvisnosti od meteoroloških razmer. Sliki 1 in 2 prikazujeta nastop fenofaze olistanje za bukev in navadni divji kostanj v obdobju od 1961 do 1990.

Fenofaza olistanja bukve je v obravnavanem obdobju v povprečju nastopila 116. dan v letu, najzgodnejše 102. dan in najpozneje 129. dan z variacijskim razponom (VR) 27 dni. Rumenenje listja pri bukvi se je v obravnavanem obdobju v povprečju pojavilo 284. dan v letu, najzgodnejše 273. dan in najpozneje 294. dan. VR za to fazo znaša 21 dni. Fenofaza odpadanja listja za bukev se je v povprečju pojavila 297. dan v letu, najzgodnejše 286. dan in najpozneje 308. dan, pri čemer znaša VR 22 dni. To se ujema z ugotovitvijo, da nastopi fenofaza najpogosteje okoli srednjega datuma in da odstopanja od te vrednosti v večini primerov niso večja od 15 dni (OTOREPEC, 1980, cit. po ČREPINŠEK, 2002).



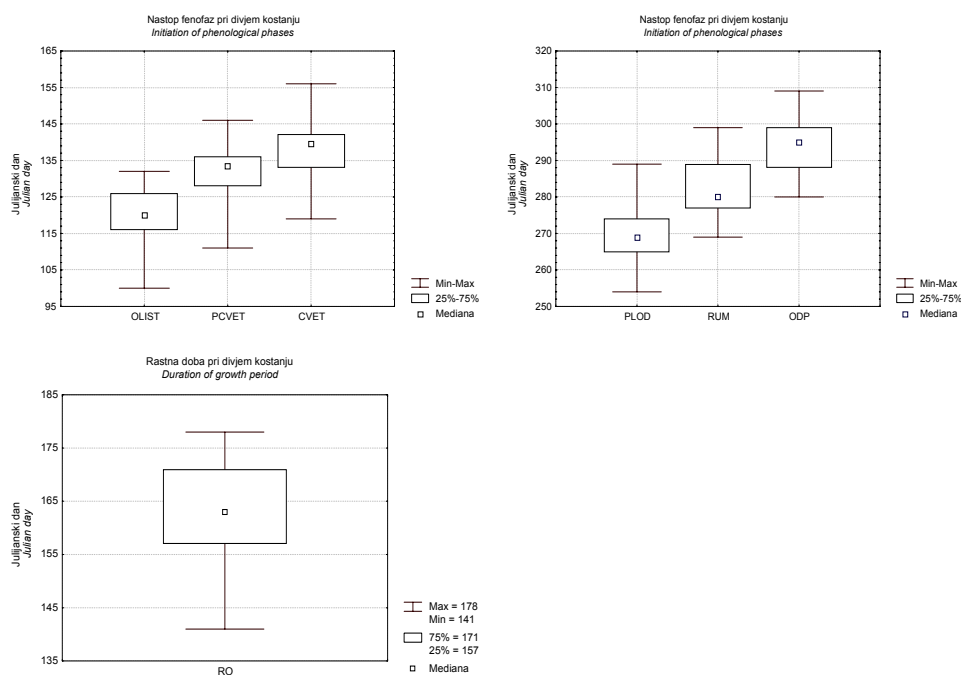
Slika 1: Okvir z ročaji za nastop fenofaz (OLIST – first leaf unfolding, RUM - rumenenje, ODP - odpadanje listja) ter trajanje rastne dobe (RO) pri bukvi

Figure 1: Box-whisker plot for initiation of phenological phases (OLIST – first leaf unfolding, RUM – colouring of leaves, ODP – fall of leaf) and duration of growth period (RO) for *Fagus sylvatica*

Fenofaza olistanja navadnega divjega kostanja se je v obravnavanem obdobju v povprečju pojavila 120. dan v letu, najzgodnejše 100. dan in najpozneje 132. dan. VR za omenjeno fazo znaša 32 dni. Pojav prvih cvetov se v povprečju zgodi 132. dan v letu, najzgodnejše 111. dan in najpozneje 146. dan. VR znaša 35 dni. Splošno cvetenje v povprečju nastopi 138. dan v letu, najzgodnejše 119. dan in najpozneje 156. dan. VR znaša 37 dni. Prvi plodovi so se v povprečju pojavili 270. dan v letu, najzgodnejše 254. dan in najpozneje 289. dan. VR za to fazo je 35 dni. Fenofaza rumenjenja listja pri navadnem divjem kostanju je v obravnavanem obdobju v povprečju nastopila 283. dan v letu, najzgodnejše 269. in najpozneje 299. dan, VR pa znaša 30 dni. Fenofaza odpadanja

listja za navadni divjji kostanj je v povprečju nastopila 295. dan v letu, najzgodneje 280. in najpozneje 309. dan z vrednostjo VR 29 dni.

Izračunali smo tudi trajanje rastne dobe za navadni divjji kostanj. Dolžina tega obdobja se precej razlikuje, najkrajša rastna doba znaša 141 dni, najdaljša 178, v povprečju pa 163 dni v letu. VR znaša 37 dni.



Slika 2: Okvir z ročaji za nastop fenofaz (OLIST – olistanje, PCVET – začetek cvetenja, CVET – splošno cvetenje, PLOD – prvi plodovi, RUM – rumenenje, ODP – odpadanje listja) ter trajanje rastne dobe (RO) pri navadnem divjem kostanju.

Figure 2: Box-whisker plot for initiation of phenological phases (OLIST – first leaf unfolding, PCVET – beginning of flowering, CVET – full flowering, PLOD – first nuts, RUM – colouring of leaves, ODP – fall of leaf) and duration of growth period (RO) for *Aesculus hippocastanum*.

3.2 KORELACIJE MED NASTOPI FENOFAZ IN POVPREČNIMI MESEČNIMI TEMPERATURAMI ZRAKA

CORRELATIONS BETWEEN PHENOLOGICAL PHASES AND AVERAGE MEAN MONTHLY AIR TEMPERATURES

Datumi pojava fenofaz odsevajo toplotne razmere v okolju (ČREPINŠEK 2002). Na osnovi korelacijskih matrik smo ugotavljali povezanost med dnevi nastopa fenoloških faz in povprečnimi mesečnimi, povprečnimi dvomesečnimi in povprečnimi tromesečnimi temperaturami zraka (T) za vse obravnavane fenofaze za bukev in navadni divji kostanj na postaji Kočevje.

V preglednici 1 lahko vidimo, da na olistanje bukve v Kočevju najbolj vplivajo povprečne T v februarju, marcu in aprilu (vrednost največjega koeficienta za posamezno fenofazo je označena s poševno pisavo), isto velja za rumenenje listja. Odpadanje listja ni statistično značilno povezano z mesečnimi T, na dolžino rastne dobe pa najbolj vplivajo povprečne T v avgustu, septembru in oktobru.

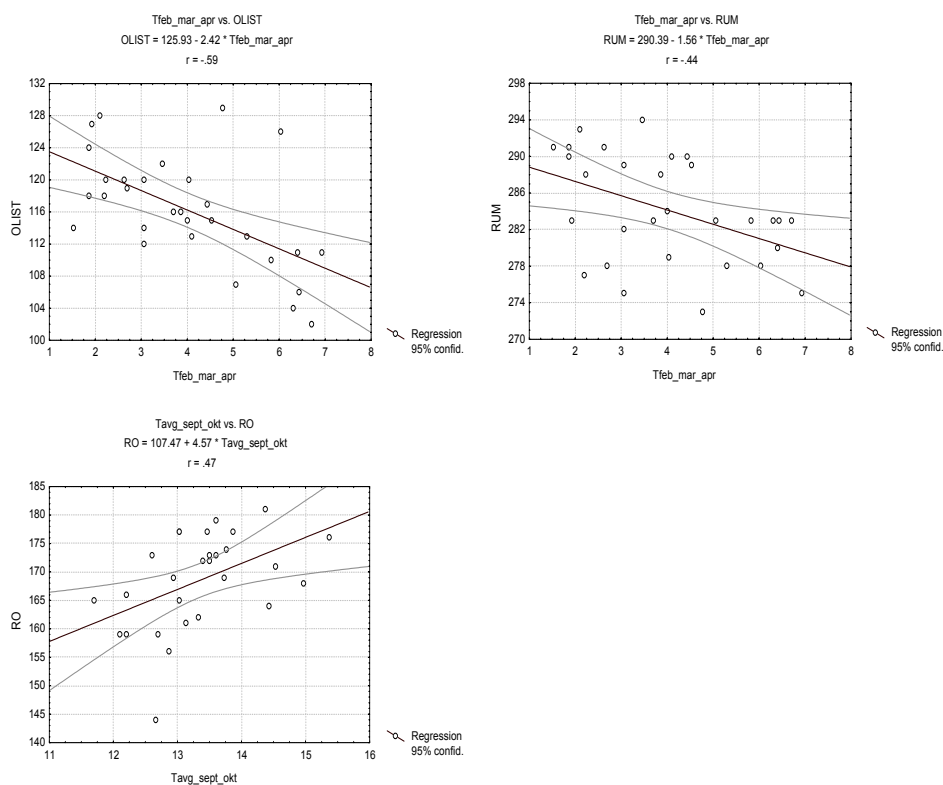
Preglednica 1: Korelacijski koeficienti med povprečnimi mesečnimi T in nastopom fenofaz pri bukvi, statistično značilni trendi so označeni s krepko pisavo, največji koeficient je označen s poševno pisavo.

Table 1: *Correlation coefficients between average mean monthly air temperatures and phenological phases for Fagus sylvatica. Statistically significant trends are in bold, the highest coefficient is in italics.*

	Tjan	Tfeb	Tmar	Tapr	Tmaj	Tjun	Tjul	Tavg	Tsep	Tokt	Tnov	Tdec	Tjan_ feb	Tfeb_ mar	Tmar_ apr	Tapr_ maj
OLIST	-0.08	-0.61	-0.55	-0.32	0.13	-0.05	0.06	-0.18	-0.12	-0.30	0.09	0.12	-0.46	-0.67	-0.59	-0.16
RUM	0.07	-0.37	-0.31	-0.22	-0.08	-0.35	0.36	0.19	0.27	0.07	-0.04	-0.06	-0.21	-0.40	-0.35	-0.20
ODP	0.14	0.19	0.03	0.13	-0.18	-0.08	-0.14	-0.11	0.03	0.36	-0.23	0.08	0.21	0.14	0.09	0.00
RO	0.11	0.23	0.23	0.10	-0.16	-0.20	0.21	0.28	0.29	0.30	-0.10	-0.14	0.23	0.27	0.23	-0.01

	Tjan_feb_mar	Tfeb_mar_apr	Tmar_apr_maj	Tjul_avg	Tavg_sep	Tsep_okt	Tokt_nov	Tjul_avg_ sep	Tavg_sep_ okt	Tsep_okt_ nov
OLIST	-0.58	-0.69	-0.47	-0.08	-0.21	-0.27	-0.14	-0.13	-0.34	-0.17
RUM	-0.29	-0.42	-0.33	0.35	0.33	0.20	0.02	0.40	0.27	0.13
ODP	0.18	0.16	0.02	-0.16	-0.05	0.27	0.08	-0.09	0.21	0.08
RO	0.27	0.27	0.14	0.31	0.40	0.36	0.13	0.39	0.47	0.23

Slika 3 prikazuje vpliv povprečne T v februarju, marcu in aprilu na olistanje in rumenenje bukve. Glede na izračunano regresijsko enačbo ($Y = 125,93 - 2,42 * X$) pomeni otoplitev za 1 °C 2,4 dni zgodnejše olistanje bukve ter ($Y = 290,39 - 1,56 * X$) 1,6 dni zgodnejše rumenenje listja bukve v Kočevju. Rastna doba pa se ob otoplitvi za 1 °C v avgustu, septembru in oktobru podaljša za 4,6 dni ($Y = 107,47 + 4,57 * X$).



Slika 3: Vpliv povprečne temperature v februarju, marcu in aprilu na olistanje in rumenenje bukve ter povprečne temperature v avgustu, septembru in oktobru na dolžino rastne dobe.

Figure 3: Influence of average mean monthly temperature in February, March and April on first leaf unfolding and leaf colouring for *Fagus sylvatica* and influence of average mean monthly temperature in August, September and October on duration of growth period.

Preglednica 2: Korelacijski koeficienti med povprečnimi mesečnimi temperaturami zraka in nastopom fenofaz pri navadnem divjem kostanju, statistično značilni trendi so označeni s krepko pisavo, največji koeficient je označen s poševno pisavo.

Table 2: Correlation coefficients between average mean monthly air temperatures and phenological phases for *Fagus sylvatica*. Statistically significant trends are in bold, the highest coefficient is in italics.

	Tjan	Tfeb	Tmar	Tapr	Tmaj	Tjun	Tjul	Tavg	Tsep	Tokt	Tnov	Tdec	Tjan_feb	Tfeb_mar	Tmar_apr	Tapr_maj
OLIST	-0.15	-0.47	-0.32	-0.69	-0.15	-0.15	-0.01	-0.09	0.13	-0.49	-0.06	0.17	-0.40	-0.46	-0.63	-0.57
PCVET	-0.10	-0.34	-0.41	-0.68	-0.48	-0.01	-0.04	-0.08	-0.05	-0.25	-0.09	0.00	-0.29	-0.42	-0.71	-0.74
CVET	-0.12	-0.19	-0.31	-0.66	-0.58	-0.01	-0.07	0.02	-0.09	-0.21	-0.08	-0.02	-0.20	-0.28	-0.62	-0.78
PLOD	0.31	-0.04	-0.18	-0.49	-0.34	-0.35	0.05	0.22	-0.04	-0.38	-0.08	0.06	0.15	-0.12	-0.41	-0.53
RUM	0.18	-0.07	-0.13	-0.23	0.02	-0.33	0.11	0.23	0.10	-0.18	-0.39	0.22	0.06	-0.11	-0.24	-0.16
ODP	0.35	-0.31	-0.34	-0.49	-0.04	-0.42	0.00	0.18	0.02	-0.40	-0.27	0.05	0.00	-0.37	-0.54	-0.37
RO	0.27	0.32	0.15	0.37	0.14	-0.14	0.09	0.26	-0.03	0.25	-0.27	0.04	0.37	0.28	0.33	0.34

	Tjan_feb_mar	Tfeb_mar_apr	Tmar_apr_maj	Tjul_avg	Tavg_sep	Tsep_okt	Tjul_avg_sep	Tokt_nov	Tavg_sep_okt	Tsep_okt_nov
OLIST	-0.43	-0.62	-0.61	-0.06	0.05	-0.25	0.04	-0.35	-0.28	-0.22
PCVET	-0.38	-0.59	-0.79	-0.08	-0.09	-0.20	-0.08	-0.22	-0.23	-0.20
CVET	-0.28	-0.46	-0.75	-0.02	-0.06	-0.20	-0.07	-0.20	-0.19	-0.20
PLOD	0.05	-0.25	-0.48	0.18	0.10	-0.28	0.10	-0.30	-0.18	-0.26
RUM	-0.01	-0.17	-0.20	0.21	0.22	-0.06	0.21	-0.42	0.04	-0.29
ODP	-0.13	-0.48	-0.48	0.12	0.12	-0.26	0.09	-0.47	-0.18	-0.36
RO	0.34	0.37	0.33	0.22	0.13	0.15	0.14	-0.05	0.27	-0.05

Slika 4 prikazuje vpliv povprečne T v aprilu na olistanje navadnega divjega kostanja, povprečne T v marcu, aprilu in maju na začetek cvetenja, povprečne T v aprilu in maju na splošno cvetenje in prve plodove, povprečne T v juliju, avgustu in septembru na rumenenje listja ter povprečne T v marcu in aprilu na odpadanje listja pri navadnem divjem kostanju. Glede na izračunane regresijske enačbe pomeni otoplitev za 1 °C v aprilu ($Y = 147,54 - 3,40 * X$) 3,4 dneva zgodnejše olistanje navadnega divjega kostanja. Otoplitev za 1 °C v marcu, aprilu in maju pomeni ($Y = 172,94 - 4,99 * X$) 5 dni zgodnejši začetek cvetenja. Otoplitev za 1 °C v aprilu in maju pomeni ($Y = 192,193 - 5,178 * X$) 5,2 dneva zgodnejše splošno cvetenje ter ($Y = 311,45 - 3,98 * X$) 4 dni zgodnejši pojav plodov. Otoplitev za 1 °C v oktobru in novembru ($Y = 192,19 - 5,18 * X$) pomeni 5,2 dneva zgodnejše rumenenje listja, otoplitev za 1 °C v marcu in aprilu ($Y = 310,51 - 2,68 * X$) pa 2,7 dneva zgodnejše odpadanje listja pri navadnem divjem kostanju v Kočevju. Za trajanje rastne dobe pri navadnem divjem kostanju nismo ugotovili statistično značilne odvisnosti od povprečnih mesečnih T.

3.3 REGRESIJSKI MODELI ZA NAPOVED NASTOPA FENOLOŠKIH FAZ REGRESSION MODELS FOR PREDICTING THE ONSET OF PHENOLOGICAL PHASES

Fenološki modeli omogočajo napoved nastopa fenofaz rastlin glede na datum nastopa predhodnih fenofaz iste rastline ali pa glede na datume predhodnih fenofaz drugih rastlin, v fenoklimatske modele pa poleg fenoloških podatkov vključimo tudi meteorološke spremenljivke (ČREPINŠEK 2002).

Za napoved nekaterih fenofaz smo s korelacijskimi koeficienti med fenofazami dveh izbranih drevesnih vrst ter povprečnimi mesečnimi T kot meteorološkimi spremenljivkami oblikovali multiple linearne regresijske enačbe. Na podlagi izračunanih determinacijskih koeficientov smo ugotovili delež z modelom pojasnjene variabilnosti v času nastopa fenofaz.

V modele smo vključili izbrane meteorološke spremenljivke, to so povprečne mesečne, dvomesečne in tromesečne T zraka. V preglednici 3 so podani multipli regresijski modeli za napovedovanje fenofaz olistanja, rumenenja listja in odpadanja listja pri bukvi ter olistanja, začetek cvetenja, splošnega cvetenja, prvih plodov, rumenenja listja ter odpadanje listja za navadni divji kostanj.

Preglednica 3: Pojasnjevalne spremenljivke, ki nastopajo v regresijskih modelih na napoved začetka faze prvih listov (OLIST), faze splošnega rumenjenja listja (RUM), faze splošnega odpadanja listja (ODP) ter rastne dobe (RO) pri bukvi ter faze prvih listov (OLIST), začetek cvetenja (PCVET), faze splošnega cvetenja (CVET), faze prvih zrelih plodov (PLOD), faze splošnega rumenjenja listja (RUM), faze splošnega odpadanja listja (ODP) ter rastne dobe (RO) pri navadnem divjem kostanju.

Table 3: Independent variables, included in regression models for predicting first leaf unfolding (OLIST), colouring of leaves (RUM), fall of leaf (ODP) and duration of growth period (RO) for *Fagus sylvatica* and first leaf unfolding (OLIST), beginning of flowering (PCVET), first nuts (PLOD), colouring of leaves (RUM), fall of leaf (ODP) and duration of growth period (RO) for *Aesculus hippocastanum*.

Regresijski model / Regression model	r ²	p
<i>Bukev / Fagus sylvatica</i>		
OLIST = 125,93 - 2,42 * Tfeb_mar_apr	0,51	p<0,0011
RUM = 272,83 - 1,65 * Tfeb_mar_apr + 3,22 * Tjul_avg_sept - 2,87 * Tjun + 1,30 * Tokt	0,58	p<0,0002
ODP = 301,70 + 1,30 * Tokt - 0,99 * Tjun + 0,35 * Tjan	0,23	p<0,0091
RO = 120,08 + 5,00 * Tavg_sept_okt - 2,67 * Tjun + 1,35 * Tjan_feb_mar - 1,26 * Tdec + 2,45 * Tjul - 1,61 * Tmaj	0,53	p<0,0091
<i>Navadni divji kostanj / Aesculus hippocastanum</i>		
OLIST = 147,43 - 3,25 * Tapr - 1,50 * Tjan_feb_mar	0,61	p<0,0000
PCVET = 185,59 - 2,99 * Tmar_apr_maj - 2,77 * Tapr_maj	0,63	p<0,0000
CVET = 191,79 - 5,08 * Tapr_maj - 0,87 * Tjan_feb_mar	0,65	p<0,0000
PLOD = 341,04 - 3,64 * Tapr_maj - 1,84 * Tjun + 0,81 * Tjan - 0,66 * Tmar	0,48	p<0,0022
RUM = 303,52 - 2,09 * Tjun - 1,76 * Tmar_apr_maj - 1,09 * Tokt_nov + 3,11 * Tavg_sept_okt	0,26	p<0,1124
ODP = 339,14 - 2,50 * Tmar_apr - 0,69 * Tokt_nov + 0,63 * Tjan - 0,15 * Tjun	0,58	p<0,0002
RO = 136,96 + 0,93 * Tjan_feb + 1,84 * Tapr + 7,54 * Tavg_sept_okt - 3,05 * Tjun - 2,83 * Tsept + 1,05 * Tdec	0,41	p<0,0538

4 RAZPRAVA IN ZAKLJUČKI DISCUSSION AND CONCLUSIONS

Iz opisnih statistik za nastop posamezne fenofaze lahko razberemo, da je variacijski razpon (VR) pri fenofazah bukve v povprečju manjši kot pri navadnem divjem kostanju. Za bukev znaša 23 dni, za navadni divji kostanj pa 33 dni. Pri bukvi se največji VR pojavlja pri fenofazi olistanja (27 dni) ter najmanjši pri fenofazi rumenenja (21 dni). Pri navadnem divjem kostanju je največji VR pri fenofazi cvetenja (35 dni), najmanjši pa pri fenofazi odpadanje listja (29 dni). Potrdimo lahko ugotovitev Roberta in Summerfielda (1987, cit. po ČREPINŠEK, 2002), da je variabilnost začetka cvetenja večja od variabilnosti olistanja.

Nastop pomladnih fenofaz je v veliki meri temperaturno določen, zato datumi pojava fenofaz odsevajo toplotne razmere v okolju (ČREPINŠEK 2002). S korelacijsko analizo smo ugotovili povezanost med dnevi nastopa fenoloških faz in povprečnimi mesečnimi, povprečnimi dvomesečnimi in povprečnimi tromesečnimi T za vse obravnavane fenofaze za bukev in navadni divji kostanj na postaji Kočevje. Na splošno so korelacijski koeficienti za mesece blizu povprečnega dneva olistanja in cvetenja negativni, kar nakazuje, da višje T pospešujejo zgodnejše olistanje oziroma cvetenje. Enako bi lahko trdili za pojavljanje prvih plodov in odpadanje listja pri navadnem divjem kostanju. Korelacijski koeficient med dolžino rastne dobe za bukev ter T jesenskih mesecev je pozitiven, kar pomeni, da višje T pomenijo podaljšanje obdobja rasti.

Primerjava korelacijskih koeficientov je pokazala, da so korelacije tesnejše, če uporabimo povprečja T dveh ali treh zaporednih mesecev pred cvetenjem, kar je ugotovila tudi Z. Črepinšek (2002). Pri fenofazi rumenenja listov so primerjave korelacij tudi pri drugih avtorjih pokazale, da so korelacije šibkejše pri jesenskih fenofazah v primerjavi s spomladanskimi. Rumenenje listja v jeseni je kompleksen proces, na katerega poleg T precej vpliva tudi dolžina dneva, prve jesenske slane, itd.

Regresijskih modelov, kjer je koeficient determinacije (r^2) manjši od 0,5, nismo upoštevali, saj ne pojasnjujejo niti polovice variabilnosti v času nastopa fenofaze. Z drugimi regresijskimi modeli za napoved posamezne fenofaze pri bukvi lahko pojasnimo od 51 % do 58 % variabilnosti, pri navadnem divjem kostanju pa od 48% do 65 %.

Največji delež pojasnjene variabilnosti pri bukvi smo dosegli z modelom za napoved začetka rumenenja listja (58 %), najmanjšega pa z modelom za napoved olistanja (51 %). Pri navadnem divjem kostanju smo največji delež pojasnjene variabilnosti dosegli z

modelom za napoved začetka splošnega cvetenja (65 %), najmanjšega pa z modelom za napoved pojava prvih plodov (48 %).

Kot pojasnjevalna spremenljivka se pri modelu za napoved začetka olistanja bukve pojavlja povprečna T za mesece februar, marec in april, pri navadnem divjem kostanju pa povprečna mesečna T v mesecu aprilu ter v mesecih januar, februar in marec. Tudi Veselič (1990) ugotavlja, da temperaturne razmere v predpomladanskem in spomladanskem obdobju pojasnjujejo 45 % variacije časa olistanja bukve.

Pri modelu za napoved začetka rumenenja bukve se kot prva pojasnjevalna spremenljivka pojavlja povprečna T v februarju, marcu in aprilu, kot druga spremenljivka povprečna T v juliju, avgustu in septembru, pri rumenjenju navadnega divjega kostanja pa je na prvem mestu spremenljivka povprečna junijska T, ki ji sledi povprečna T v marcu, aprilu in maju. Do podobnih zaključkov je prišla Z. Črepinšek (2002), ki ugotavlja, da je olistanje bukve in navadnega divjega kostanja v Ljubljani za obdobje od 1955 do 1999 najbolj povezano s T v marcu in aprilu, rumenenje bukve pa s T od julija do septembra.

Na rastno dobo bukve najbolj vplivajo T v avgustu, septembru in oktobru, pri navadnem divjem kostanju pa so pomembnejše T v januarju in februarju.

Na začetek cvetenja navadnega divjega kostanja vplivajo povprečne T v marcu, aprilu in maju, na splošno cvetenje pa povprečne T v aprilu in maju ter v januarju, februarju in marcu. Koefficient determinacije je pri obeh modelih visok ($r^2 > 0,60$), kar potrjuje ugotovitev Z. Črepinšek (2002), da je predvsem začetek cvetenja pri mnogih rastlinskih vrstah zelo tesno povezan s temperaturnimi razmerami. Za olistanje drevja pa je značilno, da lahko s temperaturnimi razmerami pojasnimo precej manjši delež variabilnosti v času nastopa fenofaz (VESELIČ 1990).

5 SUMMARY

Investigation of long-term phenological development for forest trees and shrubs is becoming an important tool for analysing the effects of climate change on vegetation and animals. Temperature and day length are two most important abiotic factors, determining phenological development of plants.

*Correlation analysis and linear multiple regression were used to establish relationship among the onset of phenological phases for *Fagus sylvatica* and *Aesculus hippocastanum* and mean monthly air temperatures for the Kočevje locality in the period 1961-1990.*

Correlation coefficients between the beginning of phenological phases with air temperature of the previous 2-3 months were relatively high. For Fagus sylvatica, air temperatures were most significantly correlated to leaf colouring, and for Aesculus hippocastanum to the beginning of flowering.

We could explain 51 % to 58 % of variability with phenological models for Fagus sylvatica and 48 % to 65 % for Aesculus hippocastanum. Included in the model for predicting the onset of leaf unfolding for Fagus sylvatica was independent variable mean monthly temperature for February, April and May and for Aesculus hippocastanum mean monthly temperature for April and mean monthly temperature for January, February and March.

For predicting the onset of leaf colouring for Fagus sylvatica we included, as the first independent variable in the model, mean monthly temperature for February, April and May, and as the second independent variable mean monthly temperature for July, August and September. In general, the beginning of leaf colouring in Fagus sylvatica is a good indicator of temperature characteristics of the site. For predicting the beginning of leaf colouring for Aesculus hippocastanum, mean monthly temperature for June was included as the first independent variable in the model, and mean monthly temperature for March, April and May as the second independent variable.

The strongest impact on duration of growth period in Fagus sylvatica is exerted by temperature in the months of August, September and October, and, as far as Aesculus hippocastanum is concerned, by January and February temperatures.

6 VIRI REFERENCES

- BERGANT, K. / KAJFEŽ-BOGATAJ, L., 1999. Spatial interpolation of phenological data - flowering of locust tree (*Robinia pseudoacacia* L.) in Slovenia = Prostorska interpolacija fenoloških podatkov - cvetenje robinije (*Robinia pseudoacacia* L.). - Razprave Pos. št.: 5-10.
- ČREPINŠEK, Z., 2002. Napovedovanje fenološkega razvoja rastlin na osnovi agrometeoroloških spremenljivk v Sloveniji. Doktorska disertacija. Biotehniška fakulteta, Odd. za agronomijo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani: 135. s.

- HOČEVAR, A. / KAJFEŽ-BOGATAJ, L., 1991. Pomen poznavanja fenoloških faz rastlin za uspešno simulacijo njihovega razvoja, rasti in pridelka. - Zbornik Biotehniške Fakultete Univerze v Ljubljani 57: 17-33.
- JURC, M., 1997. Listna sušica (*Guignardia aesculi* /Peck./Stev.) in listni zavrtač divjega kostanja (*Cameraria ohridella* Deschka et Dimić) ogrožata navadni divji kostanj v Sloveniji. - Gozdarski vestnik 55, 9: 428-434.
- KAJFEŽ-BOGATAJ, L., 1995. Fenologija in njen pomen za kmetijstvo. - Sodobno kmetijstvo 28, 3: 122-123.
- KUTNAR, L. / ZUPANČIČ, M. / ROBIČ, D. / ZUPANČIČ, N. / ŽITNIK, S. / KRALJ, T. / TAVČAR, I. / DOLINAR, M. / ZRNEC, C. / KRAIGHER, H., 2002. Razmejitev provenienčnih območij gozdnih drevesnih vrst v Sloveniji na osnovi ekoloških regij. - Zbornik gozdarstva in lesarstva 67: 73-117.
- SMOLE, J., 1979. Primerjava terminov nastopa fenofaz pri češnjah (*Prunus avium*) v obdobjih 1965 do 1970 in 1970 do 1977 na Goriškem. - Zbornik Biotehniške Fakultete Univerze v Ljubljani 33: 117-131.
- VESELIČ, I., 1990. Olistenje bukve na Snežniško-javorniškem masivu. Magistrska naloga. Oddelek za gozdarstvo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani: 67. s.
- ZRNEC, C., 2002. Kratka navodila za fenološka opazovanja. ARSO. Ljubljana.

