

# FENOLOŠKE FAZE DREVES NA PLOSKVAH INTENZIVNEGA MONITORINGA GOZDNIH EKOSISTEMOV V SLOVENIJI

## PHENOLOGICAL PHASES OF TREES ON THE INTENSIVE FOREST MONITORING PLOTS IN SLOVENIA

Urša VILHAR<sup>1</sup>, Mitja SKUDNIK<sup>2</sup>, Primož SIMONČIČ<sup>3</sup>

(1) Gozdarski inštitut Slovenije, Večna pot 2, SI - 1000 Ljubljana, Slovenija, ursa.vilhar@gozdis.si

(2) Gozdarski inštitut Slovenije, Večna pot 2, SI - 1000 Ljubljana, Slovenija, mitja.skudnik@gozdis.si

(3) Gozdarski inštitut Slovenije, Večna pot 2, SI - 1000 Ljubljana, Slovenija, primoz.simoncic@gozdis.si

### IZVLEČEK

Preučevanje razvojnih faz gozdnega drevja v dolgem časovnem nizu je vse pomembnejše orodje za ugotavljanje medsebojne odvisnosti vremenskih spremenljivk in z njimi povezanih bioloških odzivov. V naši raziskavi smo analizirali nastop fenofaz prvih listov in iglic ter splošnega rumenenja listja za listavce na 11 ploskvah intenzivnega monitoringa gozdnih ekosistemov v Sloveniji v letih od 2004 do 2011. Obravnavali smo fenofaze za dob (*Quercus robur* L.) na ploskvah Krakovski gozd in Murska šuma; bukev (*Fagus sylvatica* L.) na ploskvah Lontovž pod Kumom, Temenjaki na Vinski gori, Borovec v Kočevski Reki, Fondek v Trnovskem gozdu, Gorica v Loškem Potoku; smreko (*Picea abies* (L.) Karst.) na ploskvah Kladje na Pohorju in Krucmanove Konte na Pokljuki; rdeči bor (*Pinus sylvestris* L.) na ploskvi Brdo pri Kranju; črni bor (*Pinus nigra* Arnold) na ploskvi Gropajski Bori pri Sežani.

V povprečju je fenofaza prvih iglic (BGS) smreke nastopila na 166 julijanski dan. Za rdeči bor je BGS nastopila na 128 julijanski dan, za črni bor pa 149. julijanski dan. Fenofaza prvih listov (BGS) je za bukev v povprečju nastopila na 128, za dob pa 117. julijanski dan. Splošno rumenenje listov (EGS) za bukev je v povprečju nastopilo na 297, za dob pa 308. julijanski dan. Dolžina vegetacijskega obdobja (LGS) doba je bila v povprečju 75 dni daljša kot za bukev.

Ugotavljamo, da se je v obdobju od leta 2004 do 2011 nakazoval zgodnejši nastop fenofaze prvih iglic (BGS) smreke, rdečega bora ter črnega bora na vseh obravnavanih ploskvah. Zgodnejši nastop prvih listov (BGS) bukve in doba smo zaznali le na posameznih ploskvah, ne pa vseh. Kasnejši nastop splošnega rumenenja listov (EGS) za bukev smo zaznali le na dveh ploskvah (Borovec in Gorica), za dob pa smo ugotovili kasnejše pojavljanje EGS le na ploskvi Murska šuma. Značilna je velika variabilnost dolžine vegetacijskega obdobja (LGS) za bukev in dob po letih. Daljšanje LGS za bukev je statistično značilno za tri ploskve (Fondek, Borovec in Gorica), za dob pa spremembe LGS v opazovanem obdobju niso bile statistično značilne.

**Ključne besede:** gozd, fenologija, drevesa, intenzivni monitoring gozdnih ekosistemov, Slovenija

### ABSTRACT

Study of developmental stages of forest trees in a long time series is of increasing importance for determination of interdependence between meteorological variables and the associated biological responses. In our study we analyzed the needle appearance and leaf unfolding of conifers and deciduous trees and the autumn colouring for broad-leaved tree species. We considered the phenological phases for oak (*Quercus robur* L.) in research plots Krakovski gozd and Murska šuma, beech (*Fagus sylvatica* L.) in research plots Lontovž, Temenjaki, Borovec, Fondek, Gorica; spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) in research plots Kladje and Krucmanove Konte; Scotch pine (*Pinus sylvestris* L.) in the research plot Brdo, black pine (*Pinus nigra* Arnold) in the research plot Gropajski bori.

On average, the needle appearance (BGS) of spruce started on the 166th Julian day. BGS of Scotch pine started on the 128th Julian Day, BGS of black pine on the 149th Julian day, respectively. The leaf unfolding (BGS) for beech started, on average, on the 128th Julian day and BGS for oak on the 117th Julian day, respectively. The autumn colouring (EGS) for beech, on average, started on the 297th Julian day, for oak on the 308th Julian day.

It was assessed that BGS possibly commenced earlier for spruce, Scotch pine and black pine in all research plots during the 2004 to 2011 period. However, earlier BGS for beech and oak was noticed only in limited number of plots. Later EGS for beech could be confirmed in only two plots (Borovec in Gorica), whereas changes in EGS for oak were later only in plot Murska šuma. There was a large variability of LGS for beech and oak over the years. Prolonged growing season (LGS) of beech was statistically significant for 3 plots (Fondek, Borovec in Gorica) during the 2004 to 2011 period. For oak prolonged LGS was not statistically significant during the observation period.

**Key words:** forest, phenology, trees, intensive monitoring of forest ecosystems, Slovenia

GDK 181.8(045)=163.6

Prispelo / Received: 20. 07. 2012

Sprejeto / Accepted: 18. 03. 2013

## 1 UVOD

### 1 INTRODUCTION

Fenologija se ukvarja s preučevanjem časa pojavljanja periodičnih bioloških faz (Hočevar in Kajfež-Bogataj, 1991; Koch in sod., 2007). Fenologija rastlin obravnava razvojne faze rastlin oziroma fenofaze od začetka do konca rastle dobe (Črepinšek, 2002; Davi in sod., 2011). Le te se pojavljajo kot posledica biokemičnih procesov v rastlini, ki potekajo po genetsko določenih zakonitostih, a pod izredno močnim vplivom ekoloških dejavnikov (*ibid.*). Podnebje je pomembna spremenljivka tako v prostorskem kot v časovnem smislu, ter pomembno vpliva na spremenljivost dolžine vegetacijskega obdobja dreves (Possen in Beuker, 2007). Evropska agencija za okolje in Medvladni Odbor za podnebne spremembe, IPCC (2007) sta fenologijo rastlin predlagali za enega izmed indikatorjev podnebne spremenljivosti in globalnih sprememb. Dolgoletna spremljanja razvojnih faz rastlin (fenofaz), vključno s spomladanskim pojavom prvih listov oziroma iglic ter jesenskim splošnim rumenenjem listov, nakazujejo splošno zgodnejše spomladansko odganjanje rastlin (Chen in Xu, 2012; Doi in Katano, 2008; Menzel in sod., 2006). Predvsem na višjih nadmorskih višinah lahko že manjše spremembe podnebja sprožijo znatnejše spremembe fenološkega razvoja kot v nižinah (Čufar in sod., 2012). Gozdno drevje, ki naravno uspeva na višjih nadmorskih višinah in severnejših legah, spomladi odžene kasneje kot gozdno drevje na nižjih nadmorskih višinah ali južnejših rastiščih pri nižjih temperaturnih vsotah (Čufar in sod., 2012; Possen in Beuker, 2007).

V Evropi se je za drevesne vrste podaljšalo vegetacijskega obdobja za približno 11 dni od zgodnjih 1960 do konca 20. stoletja (Vitasse in sod., 2011), predvsem zaradi zgodnejšega pojava prvih listov ter manj zaradi kasnejšega jesenskega rumenenja listov (Davi in sod., 2006). Trendi zgodnejšega pojavljanja fenofaze olistanja v zadnjih 30 letih so bolj izraziti v zmernem pasu ter na višjih nadmorskih višinah severnega pasu (Menzel in sod., 2007). Nastop fenofaze olistanja uravnavajo predvsem regionalne in lokalne temperaturne razmere (Davi in sod., 2011) ter dolžina dneva (Vitasse in Basler, 2012; Vitasse in sod., 2009). Jesenske spremembe fenofaz so bolj heterogene, manj izrazite v primerjavi s spomladanskimi (Menzel in sod., 2007) in niso neposredno povezane s podnebnimi dejavniki (Delpierre in sod., 2009; Dragoni in Rahman, 2012).

V Sloveniji je objavljenih rezultatov o spremembah nastopa fenofaz gozdnega drevja malo. Čufar s sod. (2012) je ugotavljala na 47 fenoloških postajah v zadnjih desetletjih zgodnejši nastop prvih listov bukve na višjih nadmorskih višinah, v nižinah pa trendi niso bili značilni. Prav tako niso bili značilni trendi kasnejšega pojavljanja jesenskega rumenenja listov bukve (*ibid.*)

Namen naše raziskave je predstaviti prve rezultate fenoloških opazovanj gozdnega drevja v sklenjenih gozdovih, ki poteka v okviru »Programa intenzivnega monitoringa gozdnih ekosistemov« (IMGE). V prispevku obravnavamo nastop fenofaz prvih listov in iglic (BGS) za iglavce in listavce ter splošnega rumenenja listja (EGS) za listavce na ploskvah IMGE v Sloveniji v letih od 2004 do 2011. Ugotavljamo tudi, ali se je dolži-



Slika 1: Ploskve intenzivnega monitoringa gozdnih ekosistemov v Sloveniji

Fig. 1: Intensive forest monitoring plots in Slovenia

na vegetacijskega obdobja (LGS) za bukev in dob med leti spreminjala.

## 2 MATERIALI IN METODE

### 2 MATERIALS AND METHODS

#### 2.1 Ploskve intenzivnega monitoringa gozdnih ekosistemov

##### 2.1 Intensive forest monitoring plots

Spremljanje fenofaz gozdnega drevja v Sloveniji poteka v okviru mednarodnega Programa sodelovanja za oceno in sledenje učinkov onesnaženega zraka na gozdove - »Program intenzivnega monitoringa gozdnih ekosistemov« (ICP Forests <http://www.icp-forests.org/>), ki poteka na Gozdarskem inštitutu Slovenije in Zavodu za gozdove Slovenije od leta 2004.

Spremljanje okoljskih dejavnikov poteka v Sloveniji v enajstih reprezentativnih gozdnih ekosistemih (slika 1, preglednica 1). Poleg fenoloških opazovanj gozdne-

ga drevja se na ploskvah intenzivnega monitoringa gozdnih ekosistemov (v nadaljevanju IMGE) popisuje stanje drevja, gozdnih tal, talne raztopine, mineralne prehrane drevja, sestave opada, prirastka, pritalne vegetacije, spremljajo se padavine in podnebne razmere (Ferretti in sod., 2010).

Namen fenološkega opazovanja je na evropski ravni pridobiti vedenje o poteku fenofaz različnih drevesnih vrst ter njihovi odvisnosti od lokalnih (meteoroloških in rastiščnih) razmer; primerjava časa pojavljanja fenofaz za posamezne drevesne vrste v določenih lokalnih razmerah ter beleženje in razlaga sprememb v času pojavljanja fenofaz, pri katerih bi lahko prišlo zaradi opazovanih sprememb lokalnih razmer na ploskvah v prihodnosti (Beuker in sod., 2010). Fenološka opazovanja dreves se v gozdni krajini, oddaljeni od urbanih središč, redko opravljajo, čeprav so pomemben podatek o procesih v gozdnih ekosistemih (Vilhar in Kajfež-Bogataj, 2003).

**Preglednica 1:** Geografska lokacija in glavne značilnosti ploskv intenzivnega monitoringa gozdnih ekosistemov

**Table 1:** Geographic locations and main characteristics of intensive forest monitoring plots in Slovenia

Ime ploskve / Plot name	Zemljepisna dolžina* / Longitude (°)	Zemljepisna širina* / Latitude (°)	Nadmorska višina* / Elevation (m)	Ekološka regija / Ecological region	Glavna drevesna vrsta / Main tree species	Število opazovanih dreves / Number of observed trees	Skupno število opazovanj / Total number of observations
1 - Krucmanove konte	+13°56'19	+46°22'02	1397	Alpska / Alpine	Smreka ( <i>Picea abies</i> )	19	155
2 - Fondek	+13°43'59	+45°59'55	827	Dinarska / Dinaric	Bukev ( <i>Fagus sylvatica</i> )	20	160
3 - Gropajski bori	+13°51'35	+45°40'15	420	Submediteranska / Sub-Mediterranean	Črni bor ( <i>Pinus nigra</i> )	19	158
4 - Brdo	+14°24'00	+46°17'14	471	Predalpska / Pre-Alpine	Rdeči bor ( <i>Pinus sylvestris</i> )	20	160
5 - Borovec	+14°48'00	+45°32'12	705	Dinarska / Dinaric	Bukev ( <i>Fagus sylvatica</i> )	20	160
6 - Kladje	+15°23'32	+46°28'27	1304	Pohorska / Pohorje	Smreka ( <i>Picea abies</i> )	19	155
7 - Temenjaki	+15°12'00	+46°21'20	1000	Predalpska / Pre-Alpine	Bukev ( <i>Fagus sylvatica</i> )	20	100
8 - Lontovž	+15°03'50	+46°05'45	950	Predalpska / Pre-Alpine	Bukev ( <i>Fagus sylvatica</i> )	20	160
9 - Gorica	+14°38'01	+45°38'11	955	Dinarska / Dinaric	Bukev ( <i>Fagus sylvatica</i> )	20	160
10 - Krakovski gozd	+15°24'59	+45°52'55	160	Predpanonska / Pre-pannonian	Dob ( <i>Quercus robur</i> )	20	136
11 - Murska šuma	+16°30'46	+46°29'49	170	Predpanonska / Pre-pannonian	Dob ( <i>Quercus robur</i> )	19	159

\* center ploskve / plot center

## 2.2 Fenološka opazovanja dreves

### 2.2 Tree phenological observations

V okviru intenzivnega monitoringa gozdnih ekosistemov (IMGE) fenološka opazovanja dreves obsegajo sistematično opazovanje in beleženje (Vilhar, 2010):

- letnih razvojnih faz (fenofaz) gozdnega drevja
- biotskih in abiotskih pojavov v skladu z Jurc in Jurc (2006) in Eichhorn s sod. (2010).

Kriteriji za izbiro opazovanih dreves so bili:

- izbrana drevesa so ko-dominantna ali dominantna;
- opazovana drevesa so hkrati tudi drevesa, na katerih poteka opazovanje osutosti krošenj ter periodične meritve prsnega premera in višine;
- opazovana drevesa so izvzeta iz jemanja foliarnih vzorcev in analiz;
- izbrana so drevesa, ki so jasno vidna z mesta zunaj ploskve (zaradi vpliva pogoste hoje po ploskvi na talne razmere in pritalno vegetacijo na ploskvi);
- v primeru pomanjkanja primernih dreves z vidnimi krošnjami znotraj ploskve se izberejo dodatna drevesa iz robne cone.

Fenološka opazovanja so opravljali skrbniki ploskev IMGE, ki so hkrati gozdarji Zavoda za gozdove Slovenije. Na Gozdarskem inštitutu Slovenije smo vodili koordinacijo opazovanj, nadgradnjo obstoječih podatkovnih baz in postopkov prenosa, kontrole ter hranjenja podatkov aktivnosti intenzivnega monitoringa gozdnih ekosistemov v Sloveniji.

Fenološka opazovanja smo opravljali na 20 izbranih drevesih na raziskovalnih ploskvah IMGE, pri čemer smo se omejili na prevladujočo drevesno vrsto. Če je prišlo do trajne poškodbe drevesa, ga nismo nadomestili z novim, zato se število opazovanih dreves med ploskvami razlikuje (preglednica 1). Vsa drevesa so oštevilčena. Opazovali smo zgornji (osvetljeni) del krošnje. Če to ni bilo mogoče, smo opazovali osrednji del krošnje. Opazovani del krošnje je ves čas opazovanja isti. Tudi opazovalno mesto (stojišče) je na terenu označeno in ves čas opazovanja isto.

Fenološka opazovanja dreves smo v spomladanskem in jesenskem času po julijanskem koledarju opravljali tedensko, pozimi in poleti pa vsakih 14 dni. Fenofaze smo ocenjevali glede na delež/količino iglic ali listov na opazovanem delu krošnje dreves, ki so v opisani fenofazi ali pa so jo že prešli:

- fenofaze ni (<1 % na opazovanem delu krošnje);
- posamično (1-33 % na opazovanem delu krošnje);
- zmerno (33 - 66 % na opazovanem delu krošnje);
- številčno (66 -99 % na opazovanem delu krošnje);
- celotni opazovani del krošnje (100 %).

Po metodologiji, predstavljeni v Vilhar (2010), smo za opazovana drevesa na ploskvi ugotavljali nastop fe-

nofaze prvih iglic pri iglavcih ter nastop fenofaze prvih listov in nastop fenofaze splošnega rumenenja listja za listavce. Fenofaza prvih listov oz. iglic določa pričetek (angl. *beginning of growing season* - BGS) vegetacijskega obdobja, fenofaza splošnega rumenenja listja pa konec vegetacijskega obdobja za listavce (angl. *end of growing season* - EGS). Iz razlike med tema dvema fenofazama lahko izračunamo dolžino vegetacijskega obdobja za listavce (angl. *length of growing season* - LGS). Analizirali smo spreminjanje BGS za iglavce in listavce ter EGS in LGS za listavce po posameznih ploskvah.

Fenološka opazovanja dreves so potekala v letih od 2004 do 2011 na 10. raziskovalnih ploskvah IMGE, na ploskvi Temenjok pa v letih od 2004 do 2008 (slika 1, preglednica 1).

## 2.3 Statistične analize

### 2.3 Statistical analyses

Datume pojava posamezne fenofaze (BGS oz. EGS) smo pretvorili v julijanski dan (0-365 DOY – »*day of year*«), tj. na kateri dan v letu se je fenofaza pojavila. Na podlagi fenoloških opazovanj izbranih fenofaz (BGS, EGS) za drevesa na posamezni ploskvi smo izračunali povprečne letne nastope fenofaz prvih listov in iglic za listavce in iglavce (BGS) ter splošnega rumenenja listja za listavce (EGS) po ploskvah. Za bukev in dob smo iz razlike med BGS in EGS izračunali povprečno letno dolžino vegetacijskega obdobja (LGS) v številu dni.

Ugotavljali smo povprečne vrednosti ter standardni odklon posameznih spremenljivk (BGS, EGS, LGS) po ploskvah za obdobje od 2004 do 2011. Z Mann-Whitneyevim U testom smo testirali razlike posameznih spremenljivk (BGS, EGS, LGS) med dvema ploskvama oz. s Kruskal-Wallisovim testom razlike med več kot dvema ploskvama. Zaradi kratke časovne vrste (8 let) smo za ugotavljanje povezav med pojavom fenofaz (povprečje za vsa opazovana drevesa na ploskvi) in leti uporabili Spearmanov koeficient korelacije  $\delta_{\text{povp}}$  (Kraner Šumenjak in Šuštar, 2011). Spearmanov koeficient korelacije prikazuje neparametrskost stopnje povezanosti dveh spremenljivk oziroma meri jakost povezave med dvema spremenljivkama, prav tako je z njim moč računati stopnjo povezanosti nezveznih spremenljivk (*ibid.*). Spearmanov koeficient korelacije med spremenljivkami (BGS, EGS, LGS) in letom ( $\delta_{\text{drevo}}$ ) smo izračunali tudi ločeno za vsako drevo na ploskvi. Če sta bili dve ploskvi z isto drevesno vrsto (smreka, dob), smo s t testom ugotavljali, ali obstajajo statistično značilne razlike med  $\delta_{\text{drevo}}$  za opazovana drevesa med ploskvami. Fenofaze bukve smo v celotnem obdobju od 2004 do 2011 spremljali na štirih ploskvah, zato smo za testiranje razlik med  $\delta_{\text{drevo}}$  med ploskvami upo-

rabili ANOVO (DOI, KATANO 2008) in TukeyHSD-test za mnogotere primerjave. Za statistične analize smo uporabili program R, različico 2.14. (R Development Core Team, 2012).

### 3 REZULTATI

### 3 RESULTS

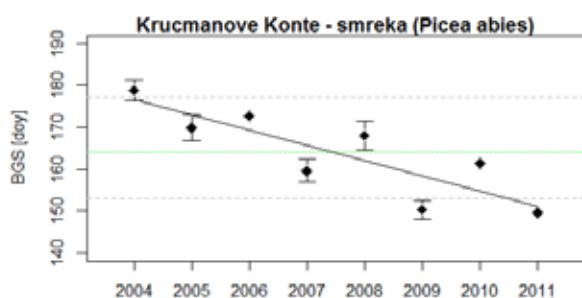
#### 3.1 Fenofaza prvih iglic za iglavce

##### 3.1 Needle unfolding for conifers

##### 3.1.1 Fenofaza prvih iglic za smreko

##### 3.1.1 Needle unfolding for spruce

V opazovalnem obdobju je povprečna letna fenofaza prvih iglic (BGS) smreke na ploskvah Kladje in Krucmanove Konte nastopila med 164. in 168. julijanskim dnevem (slika 2). Povprečni BGS je bil najzgodnejši v letu 2009 (150 julijanski dan na ploskvi Krucmanove Konte in 153 julijanski dan na ploskvi Kladje), najkasnejši pa na ploskvi Krucmanove Konte v letu 2004 (179 julijanski dan) in na ploskvi Kladje v letu 2010 (181 julijanski dan). Razlike v nastopu BGS med ploskvama niso statistično značilne ( $W = 9535,5$ ;  $p = 0.002$ ). V obravnavanem obdobju je  $\delta_{\text{povp}}$  med BGS in leti na obeh ploskvah statistično značilen ( $S_{\text{Kladje}} = 757510$ ,  $p = 0.006$ ;  $S_{\text{KrucmKon}} = 1130815$ ,  $p < 0,001$ ) in negativen (Krucmanove konte  $\delta_{\text{povp}} = -0,822$  in Kladje  $\delta_{\text{povp}} = -0,221$ ), kar nakazuje zgodnejši nastop BGS z leti. Za opazovana drevesa na ploskvah so  $\delta_{\text{drevo}}$  med BGS in leti statistično značilno različni ( $t = -20,285$ ;  $p < 0,001$ ), kar kaže na neuskklajenost nastopa BGS dreves na obeh ploskvah v obravnavanem obdobju.



a)

**Slika 2:** Povprečni letni nastop in 99 % interval zaupanja za fenofaze prvih iglic (BGS) smreke na ploskvah a) Krucmanove Konte na Pokljuki in b) Kladje na Pohorju v letih od 2004 do 2011. Zelena črta prikazuje povprečni BGS za obdobje 2004 do 2011, siva črta pa standardni odklon. Za prikaz je dodana regresijska linija

##### 3.1.2 Fenofaze prvih iglic za rdeči bor in črni bor

##### 3.1.2 Needle unfolding for Scotch pine and black pine

Povprečni letni nastop fenofaze prvih iglic (BGS) rdečega bora na ploskvi Brdo je bil med 103. julijanskim dnevem v letu 2011 in 161. julijanskim dnevem v letu 2004 (slika 3). Zgodni povprečni BGS rdečega bora je bil tudi v letu 2007 (108 julijanski dan). Za črni bor na ploskvi Gropajski Bori je bil povprečni BGS med 129. julijanskim dnevem v letu 2007 in 187. julijanskim dnevem v letu 2005.

V obravnavanem obdobju je  $\delta_{\text{povp}}$  med BGS in leti za rdeči bor na ploskvi Brdo negativen ( $\delta_{\text{povp}} = -0,762$ ) in statistično značilen ( $S = 1202747$ ;  $p < 0,001$ ), kar nakazuje na zgodnejši nastop fenofaze prvih iglic (BGS) rdečega bora v obravnavanih letih. Tudi za črni bor na ploskvi Gropajski Bori je v obravnavanem obdobju  $\delta_{\text{povp}}$  med BGS in leti negativen ( $\delta_{\text{povp}} = -0,204$ ) in statistično značilen ( $S = 791636$ ;  $p = 0.010$ ), kar nakazuje na zgodnejši nastop fenofaze prvih iglic črnega bora (BGS) v obravnavanih letih.

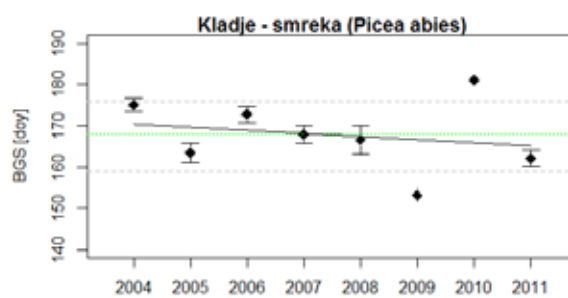
##### 3.2 Fenofaza prvih listov in splošnega rumenjenja za listavce

##### 3.2 Leaf unfolding and autumn colouring for broadleaves

##### 3.2.1 Fenofaze prvih listov in splošnega rumenjenja za bukev

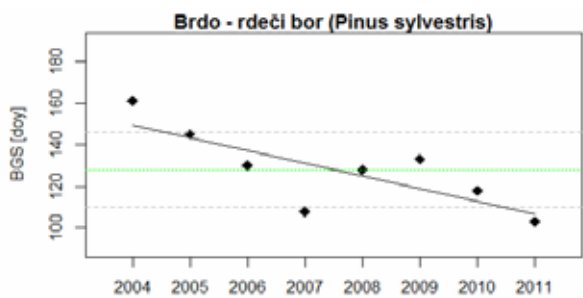
##### 3.2.1 Leaf unfolding and autumn colouring for beech

Povprečni letni nastop fenofaze prvih listov (BGS) bukve na vseh obravnavanih ploskvah je bil med 120.

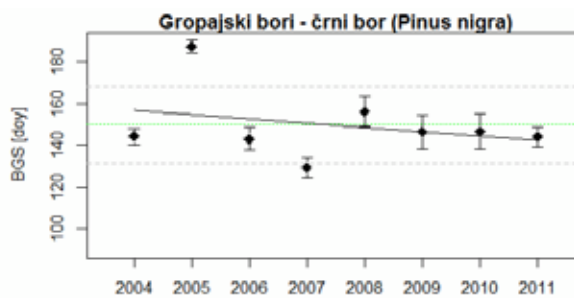


b)

**Fig. 2:** Mean annual values and 99 % confident interval for beginning of needle unfolding (BGS) for spruce at research sites a) Krucmanove Konte (Pokljuka) and b) Kladje (Pohorje) in the 2004-2011 period. Green line shows mean BGS for period 2004 till 2011, while grey line indicates standard deviation. For illustration, the regression line is added



a)



b)

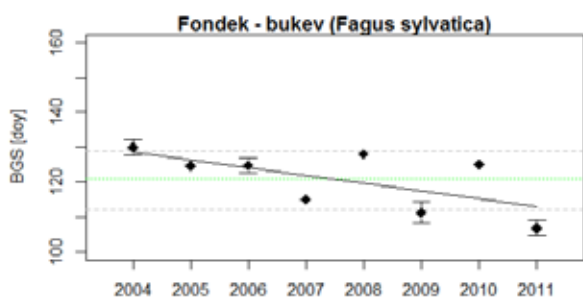
**Slika 3:** Povprečni letni nastop in 99 % interval zaupanja fenofaze prvih iglic (BGS) a) rdečega bora na ploskvi Brdo pri Kranju in b) črnega bora na ploskvi Gropajski Bori pri Sežani v letih od 2004 do 2011. Zelena črta prikazuje povprečni BGS za obdobje 2004 do 2011, siva črta pa standardni odklon. Za prikaz je dodana regresijska linija

**Fig. 3:** Mean annual values and 99 % confident interval for needle unfolding (BGS) for a) Scotch pine at research site Brdo (Kranj) and b) black pine at research site Gropajski Bori (Sežana) in years 2004-2011. Green line shows mean BGS for period 2004 till 2011, while grey line indicates standard deviation. For illustration, the regression line is added

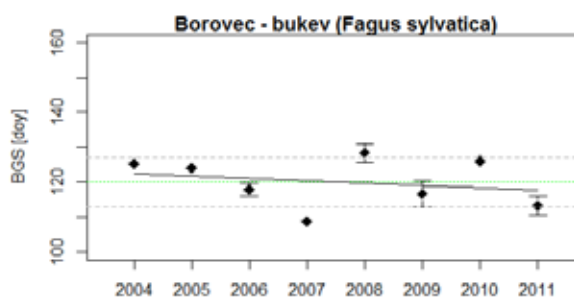
in 135. julijanskim dnevem. Značilna je velika variabilnost nastopa BGS za bukev po letih (slika 4). Povprečni BGS bukve na vseh ploskvah je bil najzgodnejši v letu 2007 (116 julijanski dan) ter najkasnejši v letu 2004, in sicer 135. julijanski dan. Med ploskvami so razlike v povprečnem nastopu BGS statistično značilne ( $H = 292,887$ ;  $p < 0,001$ ).

V obravnavanem obdobju je  $\delta_{popp}$  med BGS in leti za vse ploskve negativen in razen za ploskev Lontovž tudi

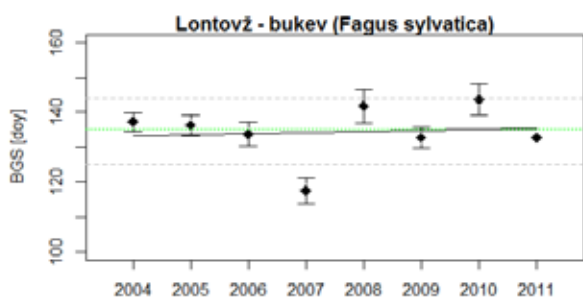
statistično značilen ( $p < 0,05$ ) (preglednica 2), kar nakazuje zgodnejši nastop BGS z leti na teh ploskvah. Za opazovana drevesa na ploskvah so  $\delta_{drevo}$  med BGS in leti statistično značilno različni ( $F = 107,5$ ,  $p < 0,001$ ), kar kaže na razlike v nastopu BGS med ploskvami v obravnavanem obdobju.  $\delta_{drevo}$  med BGS in leti ni statistično značilno različen med ploskvama Lontovž in Gorica ( $t = 2,434$ ;  $p = 0,020$ ).



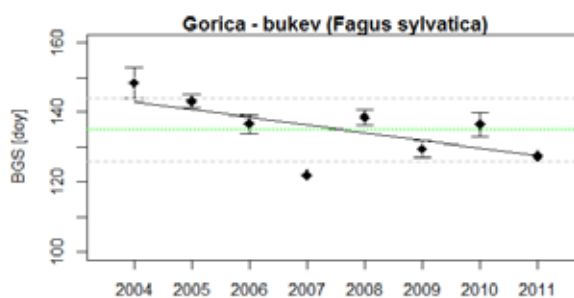
a)



b)



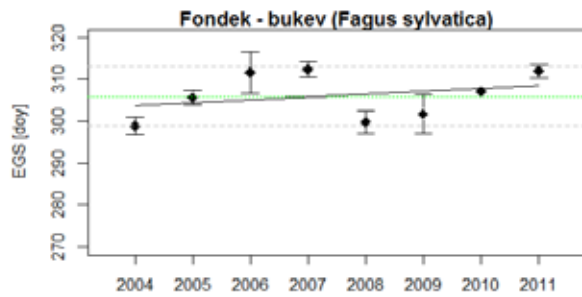
c)



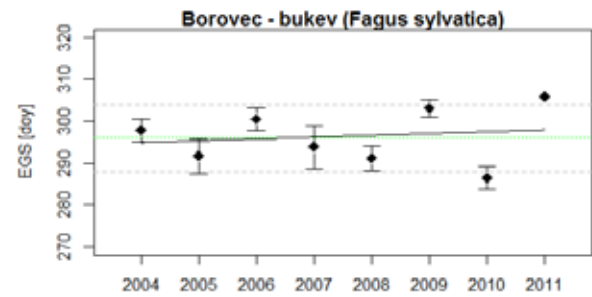
d)

**Slika 4:** Povprečni letni nastop in 99 % interval zaupanja za fenofazo prvih listov (BGS) bukve na ploskvah a) Fondek, b) Borovec, c) Lontovž in d) Gorica v letih od 2004 do 2011. Zelena črta prikazuje povprečni BGS za obdobje 2004 do 2011, siva črta pa standardni odklon. Za prikaz je dodana regresijska linija

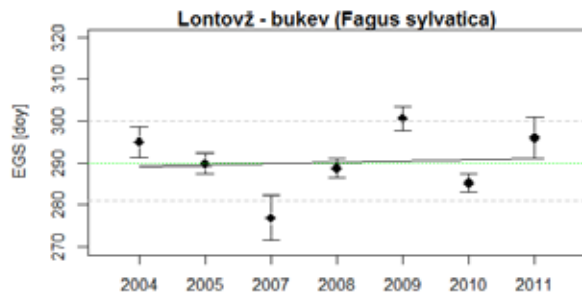
**Fig. 4:** Mean annual values and 99 % confident interval of leaf unfolding (BGS) for beech at research sites a) Fondek, b) Borovec, c) Lontovž and d) Gorica in years 2004-2011. Green line shows mean BGS for period 2004 till 2011, while grey line indicates standard deviation. For illustration, the regression line is added



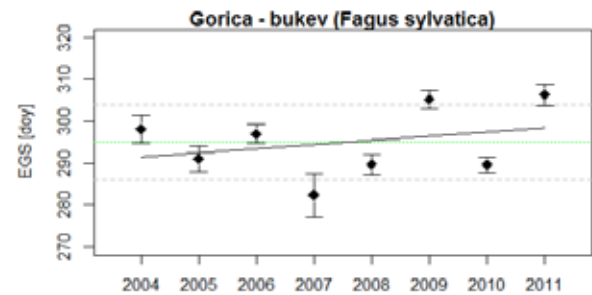
a)



b)



c)



d)

**Slika 5:** Povprečni letni nastop in 99 % interval zaupanja za fenofazo splošnega rumenenja (EGS) bukke na ploskvah a) Fondek, b) Borovec, c) Lontovž in d) Gorica v letih od 2004 do 2011. Zelena črta prikazuje povprečni EGS za obdobje 2004 do 2011, siva črta prikazuje standardni odklon. Za prikaz je dodana regresijska linija

**Fig. 5:** Mean annual values and 99 % confident interval of autumn colouring (EGS) for beech at research sites a) Fondek, b) Borovec, c) Lontovž and d) Gorica in years 2004-2011. Green line shows mean EGS for period 2004 till 2011, while grey line indicates standard deviation. For illustration, the regression line is added

Povprečni letni nastop fenofaze splošnega rumenenja (EGS) bukke na obravnavanih ploskvah je bil med 290. in 306. julijanskim dnevom (slika 5). Povprečni EGS bukke na obravnavanih ploskvah je bil najzgodnejši v letih 2007 (291 julijanski dan) ter najkasnejši v letu 2011, in sicer 305. julijanski dan. Med ploskvami so razlike v povprečnem nastopu EGS statistično značilne ( $H = 202,907$ ;  $p < 0,001$ ).

V obravnavanem obdobju je  $\delta_{povp}$  med EGS in leti statistično značilen ( $p < 0,05$ ) in pozitiven za ploskve Borovec ( $\delta_{povp} = 0,198$ ) in Gorica ( $\delta_{povp} = 0,190$ ) (preglednica 2). Za ploskvi Fondek ( $\delta_{povp} = 0,330$ ) in Lontovž ( $\delta_{povp} = 0,091$ )  $\delta_{povp}$  ni statistično značilen ( $p > 0,05$ ). Za opazovana drevesa na ploskvah so  $\delta_{drevo}$  med EGS in leti statistično značilno različni ( $F = 5,461$ ,  $p = 0,002$ ), kar kaže na neuskkljenost nastopa EGS dreves na ploskvah v obravnavanem obdobju.

Povprečno letno vegetacijsko obdobje (LGS) bukke na vseh obravnavanih ploskvah je trajalo od 156 do 185 dni. Značilna je velika variabilnost LGS za bukev po letih (slika 6). Povprečni LGS bukke na obravnavanih ploskvah je bil najkrajši v letu 2010 (142 dni), najdaljši pa je trajal 205 dni v letu 2011. V letu 2011 je bil LGS najdaljši na vseh obravnavanih ploskvah, razen na ploskvi Lontovž, kjer je bil LGS najdaljši v letu 2009.

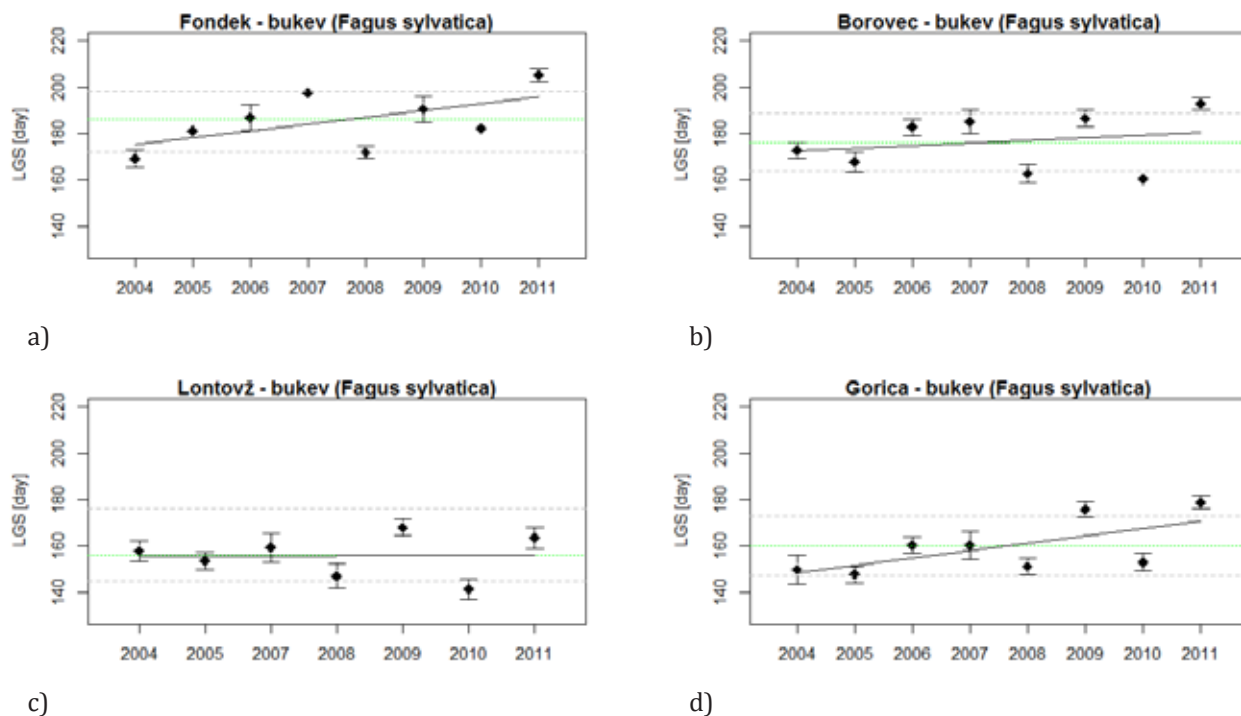
Med ploskvami so razlike v povprečnem trajanju LGS statistično značilne ( $H = 306,032$ ;  $p < 0,001$ ).

V obravnavanem obdobju je  $\delta_{povp}$  med LGS in leti na vseh ploskvah pozitiven, pri čemer je na ploskvah Fondek, Borovec in Gorica statistično značilen pri  $p < 0,01$ , na ploskvi Lontovž pa  $\delta_{povp}$  ni statistično značilen ( $p > 0,05$ ) (preglednica 2). To kaže na daljšanje LGS z leti na ploskvah Fondek, Borovec in Gorica, na ploskvi Lontovž pa daljšanje LGS ni značilno. Primerjava  $\delta_{drevo}$  med ploskvami je pokazala, da so bili podobni LGS za drevesa na ploskvi Fondek in Gorica ( $t = -0,936$ ;  $p = 0,356$ ) ter Borovec in Lontovž ( $t = 2,807$ ;  $p = 0,010$ ).

### 3.2.2 Fenofaze prvih listov in splošnega rumenenja za dob

#### 3.2.2 Leaf unfolding and autumn colouring for oak

Povprečni letni nastop fenofaze prvih listov (BGS) doba na ploskvah Krakovski gozd in Murska šuma je bil med 114. in 119. julijanskim dnevom. Značilna je velika variabilnost nastopa BGS za dob po letih (slika 7a,7c). Povprečni BGS doba je bil najzgodnejši v letu 2007 (111. julijanski dan na ploskvi Krakovski gozd in 103. julijanski dan na ploskvi Murska šuma), najkasnejši pa na ploskvi Krakovski gozd v letu 2005 (127 julijanski dan) in na ploskvi Murska šuma v letu 2011



**Slika 6:** Povprečna letna dolžina vegetacijskega obdobja (LGS) buke in 99 % interval zaupanja na ploskvah a) Fondek, b) Borovec, c) Lontovž in d) Gorica v letih od 2004 do 2011. Zelena črta prikazuje povprečni LGS za obdobje 2004 do 2011, siva črta pa standardni odklon. Za prikaz je dodana regresijska linija

**Fig. 6:** Mean annual values and 99 % confident interval of length of growing season (LGS) for beech at research sites a) Fondek, b) Borovec, c) Lontovž and d) Gorica in years 2004-2011. Green line shows mean LGS for period 2004 till 2011, while grey line indicates standard deviation. For illustration, the regression line is added

(124 julijanski dan). Med ploskvama so razlike v povprečnem nastopu BGS statistično značilno različne ( $W = 14532,5$ ;  $p < 0,0001$ ).

V obravnavanem obdobju je  $\delta_{povp}$  med BGS in leti na obeh ploskvah negativen (Krakovski gozd  $\delta_{povp} = -0,313$ ; Murska šuma  $\delta_{povp} = -0,095$ ), a samo na ploskvi Krakovski gozd tudi statistično značilen ( $S = 550496$ ,

$p < 0,001$ ), kar nakazuje zgodnejši nastop BGS z leti. Za opazovana drevesa na ploskvah so  $\delta_{drevo}$  med BGS in leti statistično značilno različni ( $t = 5.513$ ;  $p < 0,001$ ), kar kaže na neuskkljenost nastopa BGS dreves na obeh ploskvah v obravnavanem obdobju.

Povprečni letni nastop fenofaze splošnega rumenjenja (EGS) doba na obravnavanih ploskvah je bil med

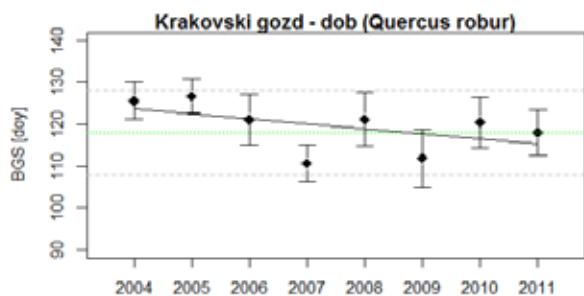
**Preglednica 2:** Julijanski dan nastopa fenofaze prvih listov (BGS), splošnega rumenjenja (EGS) in dolžina vegetacijskega obdobja (LGS) za bukev na ploskvah Fondek, Borovec, Lontovž in Gorica v letih od 2004 do 2011. S je kvadrat razlike med rangi,  $\delta_{povp}$  je Spearmanov koeficient korelacije, N je skupno število opazovanj

**Table 2:** Julian day of leaf unfolding (BGS), autumn colouring (EGS) and length of the growing season (LGS) for beech at research sites Fondek, Borovec, Lontovž and Gorica in the 2004-2011 period. S - squared rank differences,  $\delta_{povp}$  - Spearman correlation coefficient, N - total number of observations

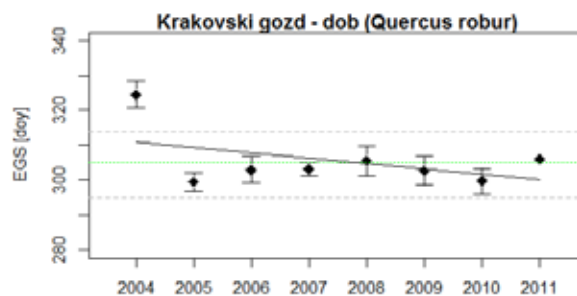
Ime ploskve / Plot name	BGS (Julijanski dan / Julian day)						EGS (Julijanski dan / Julian day)						LGS (Dan / Day)						N
	Pov. / Mean	Min	Max	Std. dev.	S	$\delta_{povp}$	Pov. / Mean	Min	Max	Std. dev.	S	$\delta_{povp}$	Pov. / Mean	Min	Max	Std. dev.	S	$\delta_{povp}$	
2 - Fondek	121	103	133	8	1035420	-0,517***	306	280	319	7	457333	0,330	185	161	210	13	331997	0,514***	160
5 - Borovec	120	108	135	7	807261	-0,183*	296	279	312	8	547814	0,198*	176	154	196	13	538821	0,211**	160
8 - Lontovž	134	107	154	9	671441	-0,016	290	268	306	9	415493	0,091	156	131	176	11	442155	0,033	160
9 - Gorica	135	115	161	9	1068702	-0,566***	295	269	308	12	553177	0,190*	160	133	183	13	319443	0,532***	160

\*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$ , \*\*\*  $p < 0,001$

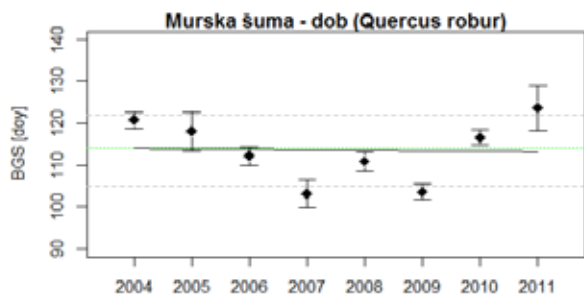




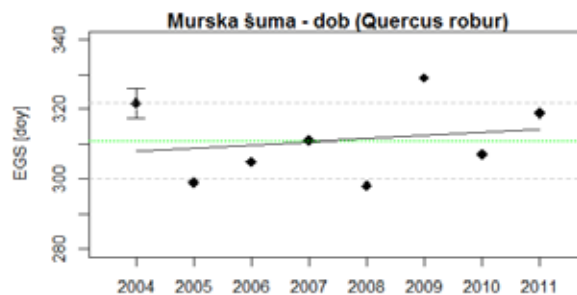
a)



b)



c)



d)

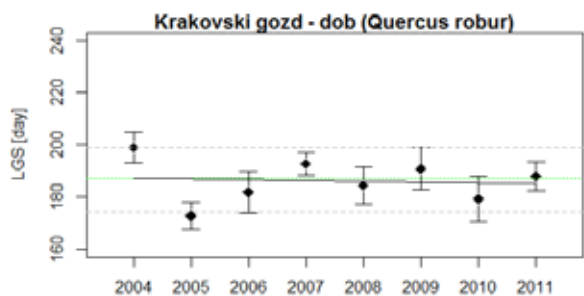
**Slika 7:** Povprečni letni nastop in 99 % interval zaupanja za fenofaze prvih listov (BGS) in splošnega rumenenja (EGS) doba na ploskvah a) Krakovski gozd in b) Murska šuma v letih od 2004 do 2011. Zelena črta prikazuje povprečni BGS oz. EGS za obdobje 2004 do 2011, siva črta pa standardni odklon. Za prikaz je dodana regresijska linija

**Fig. 7:** Mean annual values and 99 % confident interval for leaf unfolding (BGS) and autumn colouring (EGS) for oak at research sites a) Krakovski gozd and b) Murska šuma in years 2004-2011. Green line shows mean BGS and EGS for period 2004 till 2011, while grey line indicates standard deviation. For illustration, the regression line is added

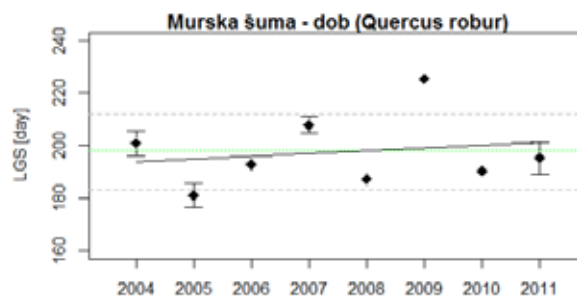
305. in 311. julijanskim dnevom (slika 7b, 7d). Na ploskvi Krakovski gozd je bil povprečni EGS doba najzgodnejši v letu 2005 (299 julijanski dan), najkasnejši pa v letu 2004 (324. julijanski dan). Na ploskvi Murska šuma je bil povprečni EGS najzgodnejši v letu 2008 (298 julijanski dan), najkasnejši pa v letu 2009 (329. julijanski dan). Med ploskvami so razlike v povprečnem nastopu EGS statistično značilne ( $W = 7749$ ;  $p < 0,001$ ).

V obravnavanem obdobju je  $\delta_{\text{povp}}$  med EGS in leti statistično značilen samo na ploskvi Murska Šuma ( $S = 536161$ ,  $p = 0,012$ ). Za opazovana drevesa na ploskvah so  $\delta_{\text{drevo}}$  med EGS in leti statistično značilno različni ( $t = 7,184$ ;  $p < 0,001$ ), kar kaže na neuskladenost nastopa EGS dreves na ploskvah v obravnavanem obdobju.

Povprečno letno vegetacijsko obdobje (LGS) doba na obeh obravnavanih ploskvah je trajalo od 186 do



a)



b)

**Slika 8:** Povprečna letna dolžina vegetacijskega obdobja (LGS) doba in 99 % interval zaupanja na ploskvah a) Krakovski gozd in b) Murska šuma v letih od 2004 do 2011. Zelena črta prikazuje povprečni LGS za obdobje 2004 do 2011, siva črta pa standardni odklon. Za prikaz je dodana regresijska linija

**Fig. 8:** Mean annual values and 99 % confident interval of length of growing season (LGS) for pedunculate oak at research sites a) Krakovski gozd and b) Murska šuma in years 2004-2011. Green line shows mean BGS for period 2004 till 2011, while grey line indicates standard deviation. For illustration, the regression line is added

198 dni. Značilna je velika variabilnost LGS za dob po letih (slika 8). Povprečni LGS je bil na ploskvi Krakovski gozd najkrajši v letu 2005 (173 dni) in na ploskvi Murska šuma v letu 2005 (181 dni). Najdaljši povprečni LGS je bil na ploskvi Krakovski gozd v letu 2004 (199 dni) in na ploskvi Murska šuma v letu 2009 (225 dni). Med ploskvama so statistično značilne razlike v povprečnem nastopu LGS ( $W = 6493,5$ ;  $p < 0,001$ ).

V obravnavanem obdobju  $\delta_{\text{povp}}$  med LGS in leti ni statistično značilen na nobeni izmed ploskev ( $S_{\text{KrakGozd}} = 436985$ ,  $S_{\text{MursŠuma}} = 588080$ ,  $p > 0,05$ ). Za opazovana drevesa na ploskvah so  $\delta_{\text{drevo}}$  med LGS in leti statistično značilno različni ( $t = 3,133$ ;  $p = 0,004$ ), kar kaže na nesklajenost LGS dreves na ploskvah v obravnavanem obdobju.

## 4 RAZPRAVA

### 4 DISCUSSION

#### 4.1 Primerjava med leti

##### 4.1 Comparison between the years

Trendi v nastopu različnih fenofaz se razlikujejo zaradi raznolikih vplivov podnebja na posamezno razvojno fazo rastline kot tudi zaradi heterogenih časovnih trendov različnih vremenskih dejavnikov v teku leta (Gordo in Sanz, 2009). Nastop fenofaze olistanja uravnavajo predvsem regionalne in lokalne temperaturne razmere (Davi in sod., 2011) ter dolžina dneva (Vitasse in Basler, 2012; Vitasse in sod., 2009). Jesenske spremembe fenofaz so bolj heterogene, manj izrazite v primerjavi s spomladanskimi (Menzel in sod., 2007) in niso neposredno povezane s podnebnimi dejavniki (Delpierre in sod., 2009; Dragoni in Rahman, 2012).

Glede na potek obravnavanih fenoloških faz različnih drevesnih vrst na ploskvah v različnih ekoloških regijah je bilo v obravnavanem obdobju najbolj izrazito leto 2004. V letu 2004 smo zabeležili najkasnejši nastop fenofaze prvih iglic smreke in rdečega bora ter fenofaze prvih listov bukve in doba. V letu 2004 smo ugotovili tudi najdaljše povprečno letno vegetacijsko obdobje doba. O kasnejšem olistanju divjega kostanja, bukve in breze na fenoloških postajah Agencije RS za okolje v letu 2004 v primerjavi z obdobjem 1960-2000 poroča tudi Žust (2004). Podobno pozen je bil tudi razvoj drugih negojenih rastlin, zlasti na območjih z dolgotrajno snežno odejo. Kot vzroke za kasnejši fenološki razvoj rastlin Žust (2004) navaja nizke spomladanske temperature zraka v primerjavi s povprečjem, dolgotrajno snežno odejo in pogoste padavine, ki so vplivale na rastne razmere negojenih rastlin.

#### 4.2 Fenofaza prvih iglic in listov

##### 4.2 Needle and leaf unfolding

Za nastop fenofaz prvih iglic smreke med ploskvama nismo ugotovili razlik. Na ploskvi Krucmanove Konte, ki sodi v Alpsko ekološko regijo in leži na 1397 m nadmorske višine, je fenofaza prvih iglic BGS smreke nastopila v povprečju 4 dni bolj zgodaj kot na ploskvi Kladje z nadmorsko višina 1304 m, ki sodi v Pohorsko ekološko regijo. To je v nasprotju z ugotovitvami Pellerina in sod. (Pellerin in sod., 2012), ki navaja, da je nadmorska višina glavni dejavnik pri kasnejšem nastopu BGS breze, velikega jesena, smreke in macesna v zahodnih Alpah, pri čemer je bil zamik BGS med 2,4 in 3,4 dneva na 100 m nadmorske višine. Tudi Possen in Beuker (2007) ugotavljata kasnejše odganjanje smreke na višjih nadmorskih višinah in severnejših legah v primerjavi s smreko na nižjih nadmorskih višinah ali južnejših rastiščih. Deloma lahko nenavadne rezultate pripišemo majhni pogostnosti spremljanja fenofaz gozdnega drevja. Pri tedenskem opazovanju je ocena pričetka fenofaze prvih iglic zelo groba, zato bi bilo smiselno namesto preračuna datuma pojava posamezne fenofaze v »julijanski dan« izračunati, kateri teden v letu se je fenofaza pojavila.

Za nastop fenofaze prvih listov bukve med ploskvami smo ugotovili značilne razlike, kar je pričakovano glede na to, da smo v raziskavi opazovali fenofaze bukve na petih ploskvah med 700 in 1000 m nadmorske višine in v različnih ekoloških regijah. Nastop fenofaze prvih listov bukve je bil najkasnejši na ploskvah Lontovž in Gorica, medtem ko je bil na ploskvah Fondek in Borovec v povprečju sočasen.

Za nastop fenofaze prvih listov doba na ploskvah Krakovski gozd in Murska šuma smo ugotovili značilne razlike. Obe ploskvi z dobom ležita v nižinskem svetu (nadmorska višina 170 in 160 m) in sodita v Predpanonsko ekološko regijo, vendar so zaradi geografske oddaljenosti razlike v nastopu fenofaze prvih listov med ploskvama pričakovane.

Značilno zgodnejši nastop fenofaze prvih listov z leti smo ugotovili za smreko na obeh ploskvah, dob na ploskvi Krakovski gozd ter rdeči bor, črni bor in bukev na vseh ploskvah razen na ploskvi Lontovž. O zgodnejšem olistanju velikega jesena in gradna v nižinskem gozdu Fontainebleau v Franciji v letih od 1976 do 2006 poroča Vitasse s sod. (2009), ne pa tudi o zgodnejšem olistanju bukve in belega gabra. Rousi in Heinonen (2007) poročata o zgodnejšem pojavu prvih listov breze na ploskvi Punkaharju na Finskem v letih od 1992 do 2005. V Sloveniji je v zadnjih 10. letih opazen zgodnejši pojav fenološke faze prvih listov pri bukvi, vendar le

na višjih nadmorskih višinah: fenofaza prvih listov je nastopila za 1,52 dneva bolj zgodaj na nadmorski višini 1000 m (Čufar in sod., 2012). V nasprotju Vitasse (2012) poroča, da je segrevanje podnebja v zadnjih desetletjih pospešilo nastop fenofaze prvih listov večine listavcev, vendar se za bukev v tem obdobju pokaže le majhna sprememba. Zgodnejše pojavljanje prvih listov doba v regiji Kazan (Tatarstan) v obdobju 1991-2003 glede na referenčno obdobje 1948-1990 opisuje Askeyev (2005). Zaradi globalnega zviševanja temperatur (IPCC, 2007) in posledično zgodnejšega odganjanja listov in iglic (Menzel, 2000) obstaja večja nevarnost poškodb zaradi zgodnje pozebe (Hanninen, 1991). Še posebej je za spomladansko pozebo občutljiv dob, saj so bili mladi listi doba poškodovani zaradi pozebe v 80 % let, v katerih je fenofaza prvih listov nastopila bolj zgodaj (Askeyev in sod., 2005).

#### 4.3 Fenofaza splošnega rumenenja za listavce

##### 4.3 Autumn colouring for broadleaves

Ugotavljamo značilne razlike v nastopu fenofaze splošnega rumenenja bukve med ploskvami, prav tako smo ugotovili značilne razlike med obema ploskvama z dobom. Za fenofazo splošnega rumenenja listopadnih drevesnih vrst v Franciji se kažejo trendi kasnejšega nastopa za bukev in hraste (Delpierre in sod., 2009). V Sloveniji spremembe v nastopu fenofaze splošnega rumenenja za bukev niso bile potrjene (Čufar in sod., 2012). Različni okoljski dejavniki imajo manjši vpliv na fenološki razvoj bukve v primerjavi z drugimi drevesnimi vrstami (Čufar in sod., 2012; Vitasse in sod., 2009). Kljub temu številni avtorji ugotavljajo pomemben vpliv minimalnih temperatur, dolžine dneva na odganjanje prvih listov (Vitasse in sod., 2009) kot tudi poletne suše na jesensko rumenenje listov pri bukvi (Nielsen in Jorgensen, 2002). V naši raziskavi ugotavljamo, da se fenofaza splošnega rumenenja bukve z leti pojavlja kasneje na dveh ploskvah (Borovec in Gorica), medtem ko smo za dob ugotovili kasnejše pojavljanje le na ploskvi Murska šuma. Za opazovana drevesa bukve in doba rezultati nakazujejo razlike med ploskvami v nastopu fenofaze splošnega rumenenja v obravnavanem obdobju.

#### 4.4 Dolžina vegetacijskega obdobja za listavce

##### 4.4 Length of growing season for broadleaves

V Evropi se je za drevesne vrste podaljšalo vegetacijsko obdobje za približno 11 dni od zgodnjih 1960ih do konca 20. stoletja (Vitasse in sod., 2011), predvsem zaradi zgodnejšega pojava prvih listov ter manj zaradi kasnejšega jesenskega rumenenja listov (Davi in

sod., 2006). Naši rezultati nakazujejo daljšanje LGS z leti na ploskvah Fondek, Borovec in Gorica, pri čemer je na ploskvi Borovec daljšanje LGS manj izrazito. Rezultate potrjujejo ugotovitve Donellya s sod. (2006), ki poroča o zgodnejšem pojavu prvih listov, kasnejšem jesenskem rumenenju listov ter daljšem vegetacijskem obdobju za bukev, navadno jerebiko in lipovec v irskem fenološkem vrtu Valentia v letih od 1970 in 2000. Za dob na ploskvah Krakovski gozd in Murska šuma nismo ugotovili sprememb v LGS med leti.

Ker je višanje temperatur geografsko heterogeno in variabilno, je tudi odziv fenološkega razvoja dreves geografsko raznolik (Čufar in sod., 2012). Zato v zadnjem poročilu AR4 IPCC (2007) avtorji predlagajo podrobne pod-regionalne (sub-regional) fenološke raziskave, predvsem v območjih s prehodnimi podnebnimi razmerami.

V naši raziskavi obravnavamo rezultate spremljanje fenofaz gozdnega drevja v Sloveniji v razmeroma kratkem časovnem obdobju osmih let od 2004 do 2011, kar ne omogoča napovedovanja trendov v nastopu posamezne fenofaze v povezavi s spremembami podnebja. Fenološka opazovanja gozdnega drevja v okviru »Programa intenzivnega monitoringa gozdnih ekosistemov« (IMGE) so prva tovrstna raziskava v sklenjenih gozdnih sestojih v Sloveniji. Prednost te raziskave je v velikem številu opazovanih dreves na posamezno ploskev. Slabost raziskave pa predstavlja majhno število obravnavanih ploskev za posamezno drevesno vrsto ter majhna pogostnost spremljanja fenofaz gozdnega drevja. Tedenska opazovanja namreč podajo precej grobo oceno pričetka fenofaze gozdnega drevja in ne omogočajo natančnega izračuna dneva v letu, ko se je fenofaza pojavila. Naša raziskava je zaradi omejenega števila obravnavanih ploskev in drevesnih vrst le prikaz in analiza metodologije fenoloških opazovanj gozdnega drevja, z dolgotrajnejšim izvajanjem po vsej Evropi pa bo pomemben vir podatkov za spremljanje podnebne spremenljivosti ter vplivov na gozdne ekosisteme. Za dokumentiranje in razlago morebitnih sprememb v časovni razporeditvi razvojnih faz rastlin v zvezi z okoljskimi dejavniki naravnega in / ali antropogenega izvora, kot so onesnaževanje zraka in podnebne spremembe, so potrebna dolgotrajnejša spremljanja stanja gozdnih ekosistemov na večjem številu drevesnih vrst v raznolikih ekoloških razmerah (Vilhar in sod., 2013). Primerjave razvojnih faz dreves s temperaturami zraka v spomladanskih in jesenskih mesecih, padavinami in dolžino dneva bodo v okviru prihodnjih raziskav naše poznavanje fenološkega razvoja dreves v gozdnem prostoru še poglobila.

## 5 SUMMARY

Study of developmental stages of forest trees in a long time series is of increasing importance for determination of interdependence between meteorological variables and associated biological responses. At the Slovenian Forestry Institute and the Slovenia Forest Service the »Program of intensive forest ecosystem monitoring« has been carried out since 2004 as part of the "International Co-operative Programme on Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects on Forests" (ICP Forests). In our study, we analyzed the needle appearance and leaf unfolding of conifers and deciduous trees (Beginning of Growing Season - BGS) and the autumn coloring for broad-leaved tree species (End of Growing Season - EGS). Since the leaf unfolding (BGS) indicates the start and the autumn colouring (EGS) the end of the growing season for deciduous trees, the difference between the two phenophases determines the length of growing season for deciduous trees (Length of the Growing Season - LGS). We considered the phenological phases for oak (*Quercus robur* L.) in research plots Krakovski gozd and Murska šuma, beech (*Fagus sylvatica* L.) in research plots Lontovž, Temenjaki, Borovec, Fondek, Gorica; spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) in research plots Kladje and Krucmanove Konte; Scotch pine (*Pinus sylvestris* L.) in the research plot Brdo and black pine (*Pinus nigra* Arnold) in the research plot Gropajski bori.

On average, the needle appearance (BGS) of spruce started on the 166th Julian day. BGS of Scotch pine started on the 128th Julian Day, BGS of black pine on the 149th Julian day, respectively. The leaf unfolding (BGS) for beech started, on average, on the 128th Julian day and BGS for oak on 117th Julian day, respectively. The autumn colouring (EGS) for beech, on average, started on the 297th Julian day, for oak on the 308th Julian day. It was assessed that BGS possibly commenced earlier for spruce, Scotch pine and black pine in all research plots during the 2004 to 2011 period. However, earlier BGS for beech and oak was noticed only in limited number of plots. Later EGS for beech could be confirmed in only two plots (Borovec in Gorica), whereas changes in EGS for oak were later only in plot Murska Šuma. There was a large variability of LGS for beech and oak over the years. Prolonged growing season (LGS) of beech was statistically significant for 3 plots (Fondek, Borovec in Gorica) during the 2004 to 2011 period. For oak prolonged LGS was not statistically significant during the observation period.

## 6 ZAHVALA

### 6 ACKNOWLEDGEMENT

Zahvaljujemo se vsem skrbnikom ploskev, ki so opravljali fenološke popise: Alojz Budkovič (ZGS – OE Bled), Helena Zorn, Darjo Gruden, Boštjan Komjanc (ZGS – OE Tolmin), Matej Kravanja, Edvin Drobnjak (ZGS - OE Sežana), Tomaž Polajnar (ZGS – OE Kranj), Drago Vereš, Janez Šubic (ZGS – KE Kočevska Reka), Igor Ahej (ZGS – OE Maribor), Edvard Kugler (ZGS - OE Celje), Milan Bajda, Boštjan Pihler (ZGS – OE Ljubljana), Matjaž Pajnič, Stanko Anzeljc (ZGS – OE Kočevje), Miloš Klaus (ZGS – OE Brežice), Andrej Sarjaš (ZGS - OE Murska Sobota). Zahvaljujemo se dr. Maartenu de Grootu za koristne napotke glede uporabljenih statističnih metod. Raziskava je potekala v okviru projektov IMGE (Intenzivno spremljanje stanja gozdnih ekosistemov), Program Forest Focus (EC Forest Focus Regulation 2152/2003), LIFE+ FutMon (LIFE07 ENV/D/000218), ter Programske skupine za gozdno biologijo, ekologijo in tehnologijo (GIS P4-0107).

## 7 VIRI

### 7 REFERENCES

- Askeyev O. V., Tishin D., Sparks T. H., Askeyev I. V. 2005. The effect of climate on the phenology, acorn crop and radial increment of pedunculate oak (*Quercus robur*) in the middle Volga region, Tatarstan, Russia. *International Journal of Biometeorology*, 49, 4: 262-266
- Beuker E., Raspe S., Bastrup-Birk A., Preuhsler T. 2010. Phenological Observations. Manual Part VI. (Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests, (ur.) Hamburg, United Nations Economic Commission for Europe Convention on Long-range Transboundary Air Pollution, ICP Forests: 15 str.
- Cegnar T. 2011. Mesečni bilten Naše okolje. Hidrometeorološki zavod R Slovenije, Agencija RS za okolje. Ljubljana
- Chen X., Xu L. 2012. Temperature controls on the spatial pattern of tree phenology in China's temperate zone. *Agricultural and Forest Meteorology*, 154-155, 0: 195-202
- Črepinšek Z. 2002. Napovedovanje fenološkega razvoja rastlin na osnovi agrometeoroloških spremenljivk v Sloveniji: Doktorska disertacija. (Univerza v Ljubljani). Ljubljana: 135 str.
- Čufar K., De Luis M., Saz M., Črepinšek Z., Kajfež-Bogataj L. 2012. Temporal shifts in leaf phenology of beech (*Fagus sylvatica*) depend on elevation. *Trees - Structure and Function*, 26, 4: 1091-1100
- Davi H., Dufrière E., Francois C., Le Maire G., Loustau D.in sod. 2006. Sensitivity of water and carbon fluxes to climate changes from 1960 to 2100 in European forest ecosystems. *Agricultural and Forest Meteorology*, 141, 1: 35-56
- Davi H., Gillmann M., Ibanez T., Cailleret M., Bontemps A.in sod. 2011. Diversity of leaf unfolding dynamics among tree species: New insights from a study along an altitudinal gradient. *Agricultural and Forest Meteorology*, 151, 12: 1504-1513
- Delpierre N., Dufrière E., Soudani K., Ulrich E., Cecchini S.in sod. 2009. Modelling interannual and spatial variability of leaf senescence for three deciduous tree species in France. *Agricultural and Forest Meteorology*, 149, 6-7: 938-948

- Doi H., Katano I. 2008. Phenological timings of leaf budburst with climate change in Japan. *Agricultural and Forest Meteorology*, 148, 3: 512-516
- Donnelly A., Salamin N., Jones M. B. 2006. Changes in tree phenology: an indicator of spring warming in Ireland? *Biology and Environment: proceedings of the Royal Irish Academy*, 1-8
- Dragoni D., Rahman A. F. 2012. Trends in fall phenology across the deciduous forests of the Eastern USA. *Agricultural and Forest Meteorology*, 157, 0: 96-105
- Eichhorn J., Roskams P., Ferretti M., Mues V., Szepesi A. in sod. 2010. Visual Assessment of Crown Condition and Damaging Agents. Manual Part IV. V: Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. (ur.). (Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests, Hamburg, United Nations Economic Commission for Europe Convention on Long-range Transboundary Air Pollution, ICP Forests: 49 str.
- Ferretti M., Fischer R., Mues V., Granke O., Lorenz M. 2010. Basic design principles for the ICP Forests Monitoring Networks. Manual Part II. V: Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. (ur.). (Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests, Hamburg, United Nations Economic Commission for Europe Convention on Long-range Transboundary Air Pollution, ICP Forests: 22 str.
- Gordo O., Sanz J. J. 2009. Long-term temporal changes of plant phenology in the Western Mediterranean. *Global Change Biology*, 15, 8: 1930-1948
- Hanninen H. 1991. Does climatic warming increase the risk of frost damage in northern trees? *Plant, Cell & Environment*, 14, 5: 449-454
- 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
- IPCC. 2007. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. št. Cambridge University Press: 996 str.
- Jurc D., Jurc M. 2006. Priročnik za ugotavljanje povzročiteljev poškodb. Delovna različica. Dopolnitve in prilagoditev za Slovenijo. Teja PREUHSLER (ur.) Ljubljana, International Co-operative Programme on Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects on Forests. Expert Panel on Meteorology and Phenology. Gozdarski inštitut Slovenije: 30 str.
- Koch E., Bruns E., Chmielewski F. M., Defila C., Lipa W. in sod. 2007. Guidelines for phenological observations. WMO Technical Commission for Climatology, Open Program Area Group on Monitoring and Analysis of Climate Variability and Change (OPAG2): 10 str.
- Kraner Šumenjak T., Šuštar V. 2011. Parametrični in neparametrični pristopi za odkrivanje trenda v časovnih vrstah. *Acta agriculturae Slovenica*, 97, 3: 305 - 312
- Menzel A. 2000. Trends in phenological phases in Europe between 1951 and 1996. *International Journal of Biometeorology*, 44, 2: 76-81
- Menzel A., Estrella N., Schleip C. 2007. Impacts of Climate Variability, Trends and NAO on 20th Century European Plant Phenology. V: *Climate Variability and Extremes during the Past 100 Years*. Brönnimann in sod. (ur.). (Climate Variability and Extremes during the Past 100 Years, Springer Netherlands: 221-233
- Menzel A., Sparks T. H., Estrella N., Koch E., Aasa A. in sod. 2006. European phenological response to climate change matches the warming pattern. *Global Change Biology*, 12, 10: 1969-1976
- Nielsen C. N., Jorgensen F. V. 2002. Phenology and diameter increment in seedlings of European beech (*Fagus sylvatica* L.) as affected by different soil water contents: variation between and within provenances. *Forest Ecology and Management*, 174, 1-3: 233-249
- Pellerin M., Delestrade A., Mathieu G., Rigault O., Yoccoz N. 2012. Spring tree phenology in the Alps: effects of air temperature, altitude and local topography. *European Journal of Forest research*, 131, 6: 1957-1965
- Possen B., Beuker E. 2007. Phenological assesment on the intensive monitoring plots. št. Finnish Forest Research Institute: 166 str.
- R Development Core Team. 2012. R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria, R Foundation for Statistical Computing  
<http://www.R-project.org/>
- Rousi M., Heinonen J. 2007. Temperature sum accumulation effects on within-population variation and long-term trends in date of bud burst of European white birch (*Betula pendula*). *Tree Physiology*, 27, 7: 1019-1025
- Vilhar U. 2010. Priročnik za fenološka opazovanja v okviru Intenzivnega spremljanja stanja gozdnih ekosistemov (Raven II). Dopolnitve in prilagoditev za Slovenijo. Teja PREUHSLER (ur.) Ljubljana, International Co-operative Programme on Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects on Forests. Expert Panel on Meteorology and Phenology. Gozdarski inštitut Slovenije: 17 str.
- Vilhar U., Beuker E., T. M., M. S., F. L. in sod. 2013. Chapter 4: Measurement methods for above-ground vegetation: Tree Phenology. V: *Forest Monitoring. Scientific methods for the terrestrial monitoring of temperate and boreal forests*. Ferretti in sod. (ur.). (Forest Monitoring. Scientific methods for the terrestrial monitoring of temperate and boreal forests, Amsterdam, Elsevier
- Vilhar U., Kajfež-Bogataj L. 2003. Odvisnost med nastopom fenofaz pri bukvi in navadnem divjem kostanju v Kočevju ter povprečnimi mesečnimi temperaturami zraka v obdobju od leta 1961 do 1990. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 72, 63-68: 223-250
- Vitasse Y., Basler D. 2012. What role for photoperiod in the bud burst phenology of European beech. *European Journal of Forest research*, 1-8
- Vitasse Y., Delzon S., Dufrêne E., Pontailler J.-Y., Louvet J.-M. in sod. 2009. Leaf phenology sensitivity to temperature in European trees: Do within-species populations exhibit similar responses? *Agricultural and Forest Meteorology*, 149, 5: 735-744
- Vitasse Y., François C., Delpierre N., Dufrêne E., Kremer A. in sod. 2011. Assessing the effects of climate change on the phenology of European temperate trees. *Agricultural and Forest Meteorology*, 151, 7: 969-980
- Žust A. 2004. Meteorološki letopis 2004 — agrometeorologija. ARSO [http://www.arso.gov.si/vreme/podnebje/meteorolo%c5%a1ki%20letopis/2007agro\\_tekst.pdf](http://www.arso.gov.si/vreme/podnebje/meteorolo%c5%a1ki%20letopis/2007agro_tekst.pdf)
- Žust A. 2007. Meteorološki letopis 2007 — agrometeorologija. ARSO [http://www.arso.gov.si/vreme/podnebje/meteorolo%c5%a1ki%20letopis/2007agro\\_tekst.pdf](http://www.arso.gov.si/vreme/podnebje/meteorolo%c5%a1ki%20letopis/2007agro_tekst.pdf)