

Agrovoc Descriptors: agriculture, forestry, phenology, ecology, data collection, meteorological observations, monitoring, research, government

Agris Category Codes: F40, F70, P40

Univerza v Ljubljani
Biotehniška fakulteta
Oddelek za agronomijo

COBISS koda 1.02

Petinpetdeset let fenoloških opazovanj v Sloveniji, 1951-2005

Zalika ČREPINŠEK¹, Ciril ZRNEC²

Delo je prispelo 29.junija 2005; sprejeto 20.septembra 2005
Received June 29, 2005; accepted September 20, 2005

IZVLEČEK

Sistematična fitofenološka opazovanja potekajo v Sloveniji od leta 1951 v okviru Agencije republike Slovenije za okolje, oziroma nekdanjega Hidrometeorološkega zavoda Slovenije. Trenutna fenološka mreža obsega 61 postaj, ki so razporejene po različnih slovenskih regijah in nadmorskih višinah, spremlja pa se 36 fenoloških faz za 64 različnih rastlin (41 negojenih in 23 gojenih rastlin, ki vključujejo tudi podatek o sortah). Podan je pregled posameznih področij, za katere je pomembna uporaba fenologije, kot so kmetijstvo in gozdarstvo, medicinska meteorologija, biotska raznovrstnost, turizem, proučevanje podnebnih sprememb in modeliranje razvoja rastlin. Fenološki podatki so v zadnjih dveh desetletjih služili kot podatkovna baza za številne raziskave.

Ključne besede: fitofenologija, Slovenija, arhiv, uporaba fenoloških podatkov

ABSTRACT

FIFTY-FIVE YEARS OF PHENOLOGICAL OBSERVATIONS IN SLOVENIA, 1951-2005

Systematic phenological data have been collected in Slovenia since 1951 by Environmental Agency of the Republic of Slovenia, former Hydrometeorological institute of Slovenia. Nowadays, 36 phenological phases are studied by observing 64 different plants (41 non cultivated and 23 cultivated extended on varieties) at 61 stations in various Slovene regions and altitudes. Several areas that deal with phenological processes are delineated, like agriculture, forestry, medical meteorology, biodiversity, tourism, climate change studies and plant development modelling. Phenological records were used as data base for numerous investigations in past two decades.

Key words: phytophenology, Slovenia, archive, applications of phenological data

¹ asist., dr., Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, 1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101

² univ. dipl. ing. biol., Agencija republike Slovenije za okolje, 1000 Ljubljana, Vojkova 1b

1 UVOD

Proučevanje vpliva vremenskih razmer na rast in razvoj različnih vrst rastlin nam omogoča, da pri načrtovanju kmetijske proizvodnje čimbolj izkoristimo ugodne podnebne danosti, neugodnim pa se v čim večji meri izognemo in tako dosežemo optimalno kakovost ter velikost pridelka. Agrometeorološka dejavnost se z zbiranjem klimatskih in fenoloških podatkov neposredno vključuje v problematiko raziskovalnega dela številnih področij kot so kmetijstvo, gozdarstvo, ekologija, medicinska meteorologija ali turizem. Fenološki podatki poleg meteoroloških predstavljajo osnovo za proučevanje vpliva vremena in podnebja na razvoj rastlin (Ahas in sod., 2000; Hoogenboom, 2000; Menzel, 2003a).

Fenologija je veda, ki proučuje pojav periodičnih bioloških faz in vzroke njihovega pojavljanja ob upoštevanju biotičnih in abiotičnih dejavnikov ter medsebojne odnose zaporednih razvojnih faz znotraj ene vrste ali znotraj večih vrst (Lieth, 1997). Fenologijo delimo na fitofenologijo ali fenologijo rastlin, ki obravnava faze rastlin od začetka do konca rastne dobe ter zoofenologijo ali fenologijo živali, ki spremlja pojave v razvoju živali. Termin fenološko opazovanje pogosto označuje samo opazovanje razvoja rastlin, saj je število raziskav bistveno večje na področju fitofenologije kot zoofenologije. Raziskave na področju zoofenologije so usmerjene predvsem na fenologijo škodljivih žuželk in spremenjene vzorce selitev ptic ter nekaterih sesalcev (Sparks, 1999).

Spremljanje razvoja rastlin v odvisnosti od vremena je danes sestavni del opazovanj na agrometeoroloških lokacijah v vseh državah članicah Svetovne meteorološke organizacije (WMO). V Evropi je bila večina fenoloških opazovalnih mrež, ki obstajajo še danes, vzpostavljena med leti 1940 in 1950 (Bussay, 1999). Za mednarodno izmenjavo fenoloških podatkov so pomembni mednarodni fenološki vrtovi, povezani v fenološko mrežo Evrope, ki sta jo ustanovila Schnelle in Volkert leta 1957 (Chmielewski in Rötzer, 2000) na pobudo komisije za agrometeorologijo pri WMO. Glavni namen zasnovanja teh fenoloških vrtov je bil poenotenje meril pri fenoloških opazovanjih ob hkratni primerljivosti razvoja rastlin z enako gensko osnovo v klimatsko različnih okoljih. Ker se rastline različno odzivajo na spremembe v okolju, na kar vplivajo tudi genetske lastnosti vrste, so v parkih zastopane le klonsko razmnožene rastline. Mednarodni fenološki vrtovi tako omogočajo primerjavo razvoja rastlin z enako gensko osnovo v širšem evropskem prostoru, vse drevesne in grmovne vrste po fenoloških parkih pa sodijo med avtohtono evropsko dendrološko vegetacijo. V letošnjem letu (2005) je v evropsko fenološko mrežo vključenih 68 aktivnih mednarodnih fenoloških vrtov, katerih lokacije se nahajajo med 40° in 70° severne geografske širine, 10° zahodne in 30° vzhodne zemljepisne dolžine na nadmorskih višinah od 0 m do 1500 m. Trenutno koordinacijo meritev in zbiranja podatkov mednarodnih fenoloških vrtov izvaja kmetijska univerza Humboldt v Berlinu (http://www.agrar.hu-berlin.de/pflanzenbau/agrarmet/phaenologie_de.html).

2 FENOLOŠKA OPAZOVANJA V SLOVENIJI

Prvi znani fenološki zapisi z našega ozemlja segajo v l. 1761, ko je G. A. Scopoli izdal delo *Calendarium Florae Carniolice*, monografijo o približno 1100 rastlinskih vrstah

severozahodnega dela Slovenije, takratne Kranjske. Sistematična fenološka opazovanja pa so se pričela v rastni sezoni 1950/1951, ko se je pričela oblikovati mreža fenoloških postaj v okviru takratnega Hidrometeorološkega zavoda, sedaj Agencije republike Slovenije za okolje (ARSO).

2.1 Mreža fenoloških postaj v Sloveniji

Število fenoloških postaj se je od začetnih 30 iz leta v leto povečevalo, tako da je bilo v 60-tih letih že več kot 120 delujočih fenoloških postaj. Kasneje so zaradi različnih vzrokov, predvsem pa zaradi pomanjkanja denarja, na številnih lokacijah opazovanja ukinili. Po letu 1990 se je število ustalilo na 61 opazovalnih mest, ki so razporejena po ozemlju celotne Slovenije po regionalnem klimatskem ključu (sl. 1). Pri izbiri lokacije fenološke postaje, ki predstavlja širše opazovalno območje, je potrebno upoštevati podnebne značilnosti, relief, lastnosti tal ter zastopanost rastlinskih vrst, v večini primerov pa se nahajajo v bližini meteoroloških postaj. Opazovanja potekajo na nekaterih gojenih zelnatih rastlinah, gozdnem drevju in grmovju, travah in metuljnicah ter na izbranih gojenih kmetijskih rastlinskih vrstah (poljščine, sadne rastline, vinska trta) (pregl. 1). Fenološka opazovanja vključujejo datum pojava fenofaze, ki je naveden kot julijanski dan (zaporedni dan v letu), dolžino fenofaze ter časovni interval med zaporednimi fenofazami iste rastline, potekajo pa po kriterijih, ki jih je izdala agrometeorološka komisija pri WMO. Poleg omenjene mreže fenoloških postaj imamo v parku Tivoli pod Rožnikom v Ljubljani tudi mednarodni fenološki vrt, kjer od l. 1959 dalje spremljajo razvoj 21 drevesnih vrst iglavcev, listavcev ter grmovnic. Rastline ljubljanskega fenološkega parka so bile vzgojene v drevesnici za vzgojo klonskih sadik v Mündnu v Nemčiji, fenološki podatki pa omogočajo primerjavo razvoja rastlin z enako gensko osnovo v širšem evropskem prostoru z različnimi podnebnimi razmerami (Žust, 1999).



Slika 1: Mreža fenoloških postaj v Sloveniji (vir: ARSO, 2005).

Figure 1: Slovenian phenological network (source: ARSO, 2005).

Podatki fenoloških opazovanj v Sloveniji se nahajajo v arhivu Urada za meteorologijo na Agenciji Republike Slovenije za okolje. Za obdobje 1950-1980 so podatki shranjeni v klasični obliki v fenoloških dnevnikih, za vsa nadaljna leta pa v elektronskem arhivu. Pred uporabo se najprej izvede logična kontrola podatkov (zaporedje posameznih fenofaz, trajanje fenofaze...), sledi kritična kontrola podatkov (z določenimi statističnimi tehnikami se preveri podatke za sosednje postaje, posamezne rastline, ekstremne vrednosti).

2.2 Opazovani fenološki objekti

Preglednica 1: Skupine fenoloških objektov fenološke mreže ARSO.

Table 1: Groups of observation species of the ARSO phenological network in Slovenia.

Slovensko ime	English name
GOZDNO DREVJE IN GRMOVJE	Forest trees and shrubs
NEGOJENE ZELNATE RASTLINE	Noncultivated herbaceous plants
TRAVE IN METULJNICE	Grasses and forage legumes
POLJŠČINE	Field crops
SADNE RASTLINE IN VINSKA TRTA	Fruit crops and vine
ČEBELE	Bees
SPLOŠNA POLJSKA DELA	Common agricultural practices

GOZDNO DREVJE IN GRMOVJE/Forest trees and shrubs

Latinsko/Latin	Slovensko/Slovene	Angleško/English
<i>Abies alba</i> Mill.	Navadna jelka	Common silver fir
<i>Aesculus hippocastanum</i> L.	Navadni divji kostanj	Common horse-chestnut
<i>Alnus glutinosa</i> (L.) Gaertn.	Črna jelša	Common alder
<i>Betula pendula</i> Roth	Navadna breza	Silver birch
<i>Calluna vulgaris</i> (L.) Hull	Jesenska resa	Heather
<i>Corylus avellana</i> L.	Navadna leska	Common hazel
<i>Cornus mas</i> L.	Rumeni dren	Cornelian cherry
<i>Crataegus monogyna</i> Jacq.	Enovratni glog	Common hawthorn
<i>Fagus sylvatica</i> L.	Navadna bukev	Common beech
<i>Fraxinus excelsior</i> L.	Veliki jesen	Common ash
<i>Laurus nobilis</i> L.	Lovor	Sweet bay
<i>Picea abies</i> (L.) Karst.	Navadna smreka	Norway spruce
<i>Pinus nigra</i> Arn.	Črni bor	Austrian pine
<i>Pinus sylvestris</i> L.	Rdeči bor	Scotch pine
<i>Populus nigra</i> L.	Črni topol	Black poplar
<i>Populus tremula</i> L.	Trepetlika	Aspen
<i>Prunus spinosa</i> L.	Črni trn	Blackthorn
<i>Quercus robur</i> L.	Dob	English oak
<i>Quercus petraea</i> (Mattus.) Liebl.	Graden	Sessile oak
<i>Robinia pseudacacia</i> L.	Navadna robinija	Locust tree
<i>Rosa canina</i> L.	Šipek	Dog-rose
<i>Rosmarinus officinalis</i> L.	Rožmarin	Rosemary
<i>Salix caprea</i> L.	Iva	Goat willow
<i>Sambucus nigra</i> L.	Črni bezeg	Elder
<i>Spartium junceum</i> L.	Navadna žuka	Spanish broom
<i>Syringa vulgaris</i> L.	Španski bezeg	Common lilac
<i>Tilia platyphyllos</i> Scop.	Lipa	Large-leaved lime

NEGOJENE ZELNATE RASTLINE/Noncultivated herbaceous plants

Latinsko/Latin	Slovensko/Slovene	Angleško/English
<i>Colchicum autumnale</i> L.	Jesenski podlesek	Autumn crocus
<i>Crocus vernus</i> (L.) Hill	Pomladanski žafran	Spring saffron
<i>Galanthus nivalis</i> L.	Navadni mali zvonček	Snowdrop
<i>Leucanthemum ircutianum</i> (Turcz.)	Ivanjščica	Ox-eye daisy
<i>Taraxacum officinale</i> Weber in Wiggers	Navadni regrat	Dandelion
<i>Tusilago farfara</i> L.	Lapuh	Coltsfoot

TRAVE IN METULJNICE/Grasses and forage legumes

Latinsko/Latin	Slovensko/Slovene	Angleško/English
<i>Alopecurus pratensis</i> L.	Travniški lisičji rep	Meadow foxtail
<i>Arrhenatherum elatius</i> (L.) Beauv. ex J. & K.	Visoka pahovka	Tall oatgrass
<i>Dactylis glomerata</i> L.	Navadna pasja trava	Cocksfoot
<i>Lotus corniculatus</i> L.	Navadna nokota	Birdsfoot trefoil
<i>Medicago sativa</i> L.	Lucerna	Lucerne
<i>Phleum pratense</i> L.	Travniški mačji rep	Timothy-grass
<i>Poa pratensis</i> L.	Travniška latovka	Smooth meadow grass
<i>Trifolium pratense</i> L.	Črna detelja	Red clover

POLJŠČINE/Field crops

Latinsko/Latin	Slovensko/Slovene	Angleško/English
<i>Avena sativa</i> L.	Oves	Oat
<i>Beta vulgaris</i> L. subsp. <i>vulgaris</i> var. <i>altissima</i>	Sladkorna pesa	Sugar beet
<i>Fagopyrum esculentum</i> Moench	Ajda	Buckwheat
<i>Glycine max</i> (L.) Merr.	Soja	Soya bean
<i>Helianthus annuus</i> L.	Sončnica	Sunflower
<i>Hordeum vulgare</i> L.	Ječmen	Barley
<i>Secale cereale</i> L.	Rž	Rye
<i>Solanum tuberosum</i> L.	Krompir	Potato
<i>Triticum aestivum</i> L.	Pšenica	Common wheat
<i>Zea mays</i> L.	Koruza	Maize

SADNE RASTLINE IN VINSKA TRTA/FRUIT CROPS AND VINE

Latinsko/Latin	Slovensko/Slovene	Angleško/English
<i>Juglans regia</i> L.	Oreh	Walnut tree
<i>Malus domestica</i> Borkh.	Jablana	Apple tree
<i>Olea europea</i> L.	Oljka	Olive tree
<i>Pyrus communis</i> L.	Hruška	Pear tree
<i>Prunus armeniaca</i> L.	Marelica	Apricot tree
<i>Prunus avium</i> L.	Češnja	Cherry tree
<i>Prunus cerasus</i> L.	Višnja	Sour cherry tree
<i>Prunus domestica</i> L.	Češplja	Plum tree
<i>Prunus persica</i> (L.) Batsch	Breskev	Peach tree
<i>Prunus dulcis</i> (Mill.) D.A. Webb	Mandljevec	Almond tree
<i>Ribes rubrum</i> L.	Rdeči ribez	Redcurrant
<i>Ribes nigrum</i> L.	Črni ribez	Blackcurrant
<i>Vitis vinifera</i> L.	Vinska trta	Vine

Pri čebelah spremljajo fenofazi prve paše čebel ter medenja na robiniji in lipi. Med splošna poljska dela, za katera beležijo datume, sodijo spomladanska poljska dela,

košnja (spravilo sena), žetev ter poljska dela pred zimo, pri čemer beležijo začetek del, splošen pojav ter konec del.

2.3 Opazovane fenofaze

Pri negojenih zelnatih rastlinah spremljajo samo eno fenofazo in sicer začetek cvetenja. V najštevilčnejši skupini, kamor spada gozdno drevje in grmovje, beležijo naslednje fenofaze: olistanje, začetek in splošno cvetenje, prvi zreli plodovi, splošno jesensko rumenenje listja ter splošno odpadanje listja. V skupini trav in metuljnic opazujejo fazo latenja (do leta 1983 klasenje) in cvetenja. Pri gojenih rastlinah spremljajo večje število fenofaz, pri čemer je vedno potrebno navesti, za katero sorto veljajo podatki. Tako na primer pri žitih zapisujejo datum setve, vznika, fenofaze 3. lista, splošnega razraščanja, klasenja, cvetenja, mlečne zrelosti, voščene zrelosti, polne zrelosti in žetve. Pri ostalih poljščinah (koruza, krompir, sladkorna pesa, sončnica) prav tako spremljajo razvoj od setve oz. saditve do spravila pridelka, pri čemer so poleg standardnih fenoloških kriterijev za potrebe agrometeoroloških analiz dodana še nekatera dodatna merila kot na primer pridelek v kg/površino, kg/drevo ali trs, starost drevesa ali trsa. Opazovane fenofaze pri sadnih rastlinah so: olistanje, začetek cvetenja, splošno cvetenje in konec cvetenja, začetek zorenja, obiranje, splošno jesensko rumenenje in splošno odpadanje listja. Za vinsko trto beležijo pojav prvih poganjkov, fenofazo olistanja, začetek in konec cvetenja, začetek zorenja, splošno zorenje ter trgatve. Predvsem pri gojenih rastlinah se pojavlja problem, kadar pri obdelavi podatkov potrebujemo daljši sklenjen niz podatkov, ker se sortiment hitro spreminja, za začetno obdobje opazovanj pa za številne vrste ni podatkov o sortah (Zrnec, 1994).

3 UPORABA FENOLOŠKIH PODATKOV

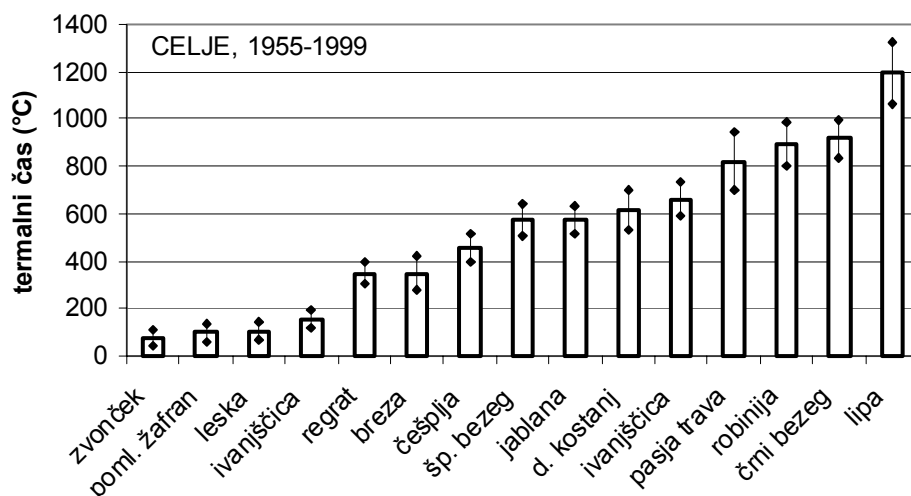
Pojavljane periodičnih bioloških faz je bistvenega pomena v ekoloških procesih. Za identifikacijo fenoloških podatkov in dejavnikov, ki vplivajo na fenologijo, je potrebno določiti, za katere naravne in socio-ekonomske procese so pomembni fenološki podatki. Šele po tem lahko izboljšamo metode zbiranja podatkov ter njihovo obdelavo, predvsem pa povečamo učinkovitost izrabe fenoloških opazovanj. Sledeče poglavje podaja pregled najpomembnejših fenoloških aplikacij.

3.1 Kmetijstvo in gozdarstvo

Uporaba fenoloških opazovanj v kmetijstvu in gozdarstvu ima že dolgo tradicijo. Poznavanje vsakoletnega časa nastopa fenofaz in njihove variabilnosti lahko pomaga pri odločitvah glede agrotehničnih ukrepov pri rastlinski pridelavi kar nazadnje vodi k višjim in bolj stabilnim pridelkom ter tudi večji kvaliteti pridelane hrane (Zrnec, 1994; Hoogenboom, 2000). Podatki fenoloških opazovanj so pomembni na številnih praktično uporabnih področjih kot so na primer:

- izdelava agrometeoroloških analiz in napovedi,
- ugotavljanje primernosti posameznih območij za gojenje določene rastline (predvsem z vidika dolžine rastne dobe, toplotnih zahtev rastlin (sl. 2) in količine potrebnih padavin),
- ocena tveganja zaradi pozebe,
- epidemiologija rastlinskih škodljivcev in bolezni,

- načrtovanje agrotehničnih ukrepov (setev, rez, varstvo rastlin, namakanje, spravilo),
- modeliranje rasti in razvoja kmetijskih rastlin.



Slika 2: Primer povprečnih vsot aktivnih temperatur (termalni čas v °C nad temperaturo praga 0°C), izračunanih iz povprečnih dnevnihih temperatur zraka, potrebnih za nastop fenofaze cvetenja za obravnavane rastline v Celju.

Figure 2: Average degree-days sum (thermal time in °C above base temperature 0°C), calculated from average daily air temperatures, needed for phenophases of flowering for studied plants in Celje.

Primer uporabe fenoloških podatkov sta prikazala v svoji raziskavi Cicogna in Gani (1999), ki sta izdelala za koruzo karte povprečnih letnih vsot efektivnih temperatur zraka nad 10°C za večje število fenoloških postaj v Sloveniji in italijanski regiji Furlaniji-Juljski krajini. Na osnovi analize klimatskih in fenoloških podatkov sta predlagala izbor sort, ki so najbolj primerne za omenjeno območje s specifičnimi klimatskimi razmerami. Ker obstaja za koruzo na tem področju velika verjetnost vodnega stresa v avgustu, je primerno gojiti sorte, ki cvetijo prej. Baumgärtner in sodelavci (1998) so razvili fenološki model za napoved časa fenofaz od setve do fiziološke zrelosti pri ajdi. Uporabljajo ga za načrtovanje pridelave ajde v nekaterih predelih Švice in Italije; napoveduje pa zadnji možni datum setve ajde glede na temperaturo, ki že povzroča poškodbe rastlin, preden dosežejo fiziološko zrelost. Model je uporaben kot dopolnilna informacija pri odločanju o gojenju ajde kot edine poljščine na višjih predelih ali kot dopolnilne poljščine po spravilu žit. Napadi škodljivcev ter izbruhi rastlinskih bolezni so pogosto povezani z natančno določeno razvojno fazo rastline, s primernim časom setve se lahko v določeni meri izognemo neugodnim razmeram. Poleg tega so fenološke napovedi velikega pomena tudi pri rastlinah, ki jih uporabljamo v zdravilne namene - kopičenje aktivnih sestavin je tesno povezano z natančno določeno stopnjo razvoja v rastlini. Nastop fenofaze je zunanje vidna sprememba na rastlini, ki pa je posledica notranjih biokemičnih procesov rasti in razvoja. Kemična sestava rastline in s tem kopičenje aktivnih sestavin je torej povezano s točno določeno razvojno stopnjo rastline, zato je znanje o nastopu določene fenofaze odločilno pri proizvodnji zdravilnih rastlin (Podolsky, 1984). Kvaliteta travne ruše navadno upada z zrelostjo, zato bi znanje o povezavi med spremembo kvalitete trave in

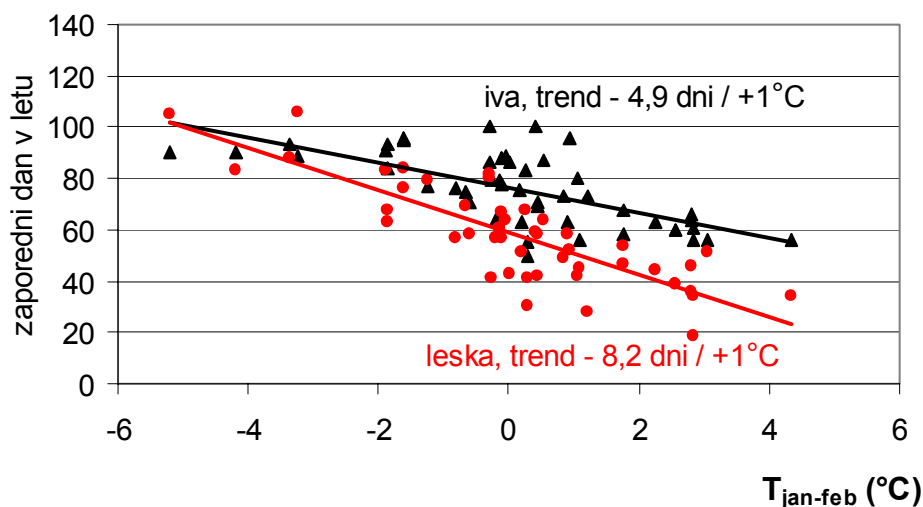
fenološkim razvojem pomenilo velik napredek pri modeliranju optimiziranja pašništva in kvalitete krme.

Pomemben vidik fenologije je tudi v tem, da je pomembno orodje pri ugotavljanju prilagoditev rastlin na različna okolja, oziroma pomoč pri določitvi izvorne domovine rastlin, saj nam oblika in položaj razvojne krivulje določene rastline glede na dejavnike okolja lahko nakazujeta poreklo rastline. Številni raziskovalci so ugotavljali povezave med meteorološkimi dejavniki in fenološkim razvojem rastlin (Črepinšek in Kajfež, 2001; Bergant in sod., 2002; Wielgolaski, 2003), saj je na osnovi dobrega poznavanja teh odnosov možno tudi prilagajanje rastlinske proizvodnje tako glede izbire primernih lokacij kot tudi rastlinskih vrst oziroma sort (Kajfež-Bogataj, 2004).

Največje število fenoloških objektov sodi med gozdno drevje in grmovne rastline. Fenološki podatki o olistanju gozdnega drevja pogosto služijo kot informacija, s katero na nekem področju definiramo začetek rastne dobe (Menzel, 2003b; Rötzer in sod., 2004), trajanje obdobja med olistanjem in jesenskim rumenenjem listja pa kot dolžino rastne dobe (Chmielevski in sod., 2004).

3.2 Biotska raznovrstnost in ohranitev vrst

je definirana kot spremenljivost med živimi organizmi, vključujoč med drugim kopne, morske in ostale vodne ekosisteme in življenske združbe, katerih del so, to pomeni spremenljivost znotraj vrste, spremenljivost med vrstami in ekosistemi (vanVliet in deGroot, 2003). Za ohranjanje biotske raznovrstnosti morajo rastline in živali preživeti toliko časa, da poskrbijo za razmnoževanje. Zaradi tega je spremenljivost pojavljanja posameznih razvojnih faz velikega pomena pri uspešnosti obnavljanja določene vrste. Tekom življenjskega kroga se posamezen osebek sooči s številnimi biotskimi in abiotskimi dejavniki, ki se pojavljajo pogosto samo v določenem obdobju leta. Pri tem je pomembno dvoje, prvič da se neugodnim življenjskim razmeram izogne (selitev, prezimovanje, transformacija v manj ranljivo obliko) in drugič, da je organizem aktiven v zanj ugodnih razmerah, ko je na voljo dovolj hrane in vode za rast (Dunne in sod., 2003). V večini primerov morajo rastline in živali prilagoditi čas razvojnih oziroma fenoloških faz glede na optimalne razmere v okolju, kar je še posebej pomembno v ekstremnih razmerah (zelo mrzlo ali vroče, suho). Vendar pa na sposobnost preživetja organizmov vpliva tudi razvoj njihovih tekmecev za hrano in življenjski prostor (sl. 3). Ko določen osebek doseže reproduktivno fazo, je uspešnost razmnoževanja še vedno v veliki meri odvisna od pravega časa. V primeru dvodomnih rastlin je pomembno, da je pripravljenost za razmnoževanje pri obeh spolih sinhronizirana. Nadalje je odločilnega pomena, da je v času kalitve mladih rastlin ali pojava mladičev na voljo dovolj hrane za preživetje, le-ta je lahko za določene gosenice točno določena razvojna faza neke rastline, ki je prisotna samo kratek čas. Mladiči ptic selivk morajo imeti na voljo dovolj časa, da se okrepijo za selitev na druga področja, v nasprotnem primeru ne bodo preživeli. Zgoraj omenjeni primeri kažejo velik pomen razumevanja vzrokov in posledic spremenljivosti v času pojava posameznih fenofaz za biotsko raznovrstnost. Fenološke raziskave pomenijo torej pomemben prispevek pri študiju produktivnosti, razmnoževanja in ohranjanja posameznih vrst kakor tudi vseh posledic interakcij med organizmi kot so na primer tekmovanje, plenilstvo, zajedalstvo, mutualizem ali simbioza (Wielgolaski, 2001; Castro-Díez in sod., 2005).



Slika 3: Rastline na isto spremembo v okolju reagirajo različno, dolgoročne posledice lahko vplivajo na biotsko raznovrstnost.

Figure 3: Plants react differently to the same change in the environment, long-term consequences can affect biodiversity.

Zaradi naraščajočega števila rastlinskih in živalskih vrst, ki vsako leto izumrejo, je bilo razvitih veliko programov za ohranitev vrst. Pri tem je pomembno, da upoštevamo tako fiziološki vidik kot tudi abiotske dejavnike, ki vplivajo na rast in razvoj vrste. Takšen je primer fenološkega modela, ki je namenjen ohranitvi gorskega narcisa (*Narcissus radiiflorus*) na gorskih pašnikih, kjer sta ključnega pomena za ohranitev rastlinskih vrst predvsem dva dejavnika, to je sprejemljivo gnojenje in košnja v času, ki omogoča vrstam, da njihova semena že dosežejo zrelost, ko se prične spravilo sena. Baumgärtner in Hartmann (2000) sta v svoji raziskavi dognala, da mora preteči med nastopom fenofaze polnega cvetenja pri gorskem narcisu ter košnjo najmanj 34 dni, tako s kmetijskega stališča kot tudi z vidika ohranitve te rastlinske vrste.

3.3 Medicinska meteorologija

Čedalje pomembnejša je tudi uporaba fenoloških podatkov ali modelov za napoved cvetenja alergenih rastlin (sl. 4), kajti cvetni prah rastlin povzroča približno polovico vseh alergij pri ljudeh (Laaidi, 2001). Pravočasna napoved cvetenja alergenih rastlin omogoča pacientom, da se pripravijo na izbruh bolezni s pravočasnim jemanjem zdravil, kar zveča njihovo učinkovitost, obenem pa pacienti lahko načrtujejo kraj in datum dopusta tako, da se čimbolj izognejo možnosti alergije (Sušnik in Kofol-Seliger, 1999). Če meritev koncentracije cvetnega prahu nimamo na voljo, lahko uporabimo v ta namen fenološke modele za napovedovanje cvetenja alergenih rastlin. Takšna primera sta model za napoved cvetenja trav, ki ga je izdelal Laaidi (2001) ter model, ki napoveduje pričetek sezone cvetnega prahu breze, ki povzroča številne alergije (Rodriguez-Rajo, 2003).



Slika 4: Modeli za napoved pričetka sezone cvetnega prahu so posebej pomembni za ljudi, ki so alergični na cvetni prah določene rastline.

Figure 4: Predictive models that enable us to ascertain the onset of the pollen season are of particular importance to people allergic to a pollen of specific plant.

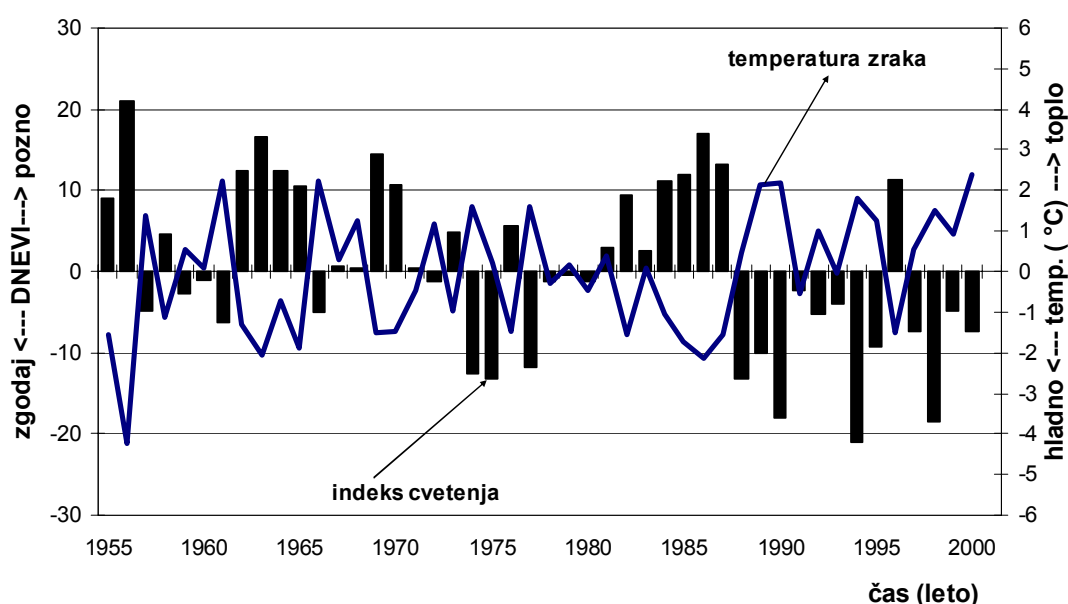
3.4 Turizem in promet

Mnogo ljudi preživi velik del svojega prostega časa v naravnem okolju, na prostem, vse več pa jih prilagaja svoj dopust ali izlete v naravo tudi času določene razvojne stopnje rastlin. Tudi pri nas poznamo kar nekaj takih primerov, omenimo naj samo cvetenje velikonočnic na Boču in Ponikvi, tulipanov v Volčjem potoku, narcis na Golici ali encijana na sv. Lovrencu, ki privabljajo številne enodnevne obiskovalce.

Dobro poznavanje spreminjanja časa določenih faz v razvoju rastlin je lahko pomembno tudi na področju transporta. Takšen primer je jesensko odpadanje listja, ki lahko povzroča težave v prometu, tako na področju cestnega kot tudi železniškega prometa in zahteva vnaprejšne načrtovanje delovnih konic pri čiščenju prometnih površin, parkirišč ali zamašenih jaškov. Tudi selitve ptic, ki so vezane na določeno razvojno fazo in letni čas, direktno vplivajo na število trčenj z avioni, prav tako pa selitve živali ob času razmnoževanja preko prometnic lahko vplivajo na povečano število prometnih nesreč.

3.5 Podnebne spremembe

Proučevanje fenoloških faz v dolgem časovnem nizu je vse pomembnejše orodje za ugotavljanje vpliva podnebnih sprememb tako na rastlinski kot živalski svet (Bergant in sod., 2002; Menzel, 2003b). Številne raziskave zadnjih let so pokazale, da višje temperature v spomladanskem obdobju na območjih zmernih geografskih širin vplivajo na zgodnejši fenološki razvoj rastlin, jesenske faze kažejo manjše spremembe, tako da na podaljšanje rastne sezone vplivajo predvsem zgodnejše pomladi (Sparks in sod., 2000). Analiza podatkov mednarodnih fenoloških vrtov po Evropi je pokazala v več kot polovici naravnih regij, ki predstavljajo vso Evropo, trend podaljšanja rastne sezone (Rötzer, 2000; Defila in Clot, 2001; Bergant in sod., 2005). Te raziskave se ujemajo z izsledki Menzlove (2000, 2003b), ki je za Evropo ugotovila za obdobje zadnjih 30-tih let približno 8 dni zgodnejše pojavljanje spomladanskih fenofaz, jesenske fenofaze pa trenda niso pokazale.



Slika 5: Indeks cvetenja v zgodnji pomladi in temperature zraka z odkloni od dolgoletnega povprečja (1955-2000) kažejo 10-dnevni zgodnejši nastop pomladi v Sloveniji, ki se ujema s spremembami temperature zraka zgodaj spomladi.

Figure 5: Early-spring flowering index and air temperatures with deviations from the long-term means (1955-2000) shows a 10-days shift to an earlier spring in Slovenia corresponded well with changes in early-spring temperatures.

Ob predvidenih scenarijih klimatskih sprememb strokovnjaki predvidevajo večjo variabilnost v času nastopa fenofaz (Kajfež-Bogataj, 2004). Narejenih je bilo tudi nekaj analiz fenoloških trendov za Slovenijo, ki so potrdile izsledke tujih raziskav in pokazale, da se spomladanske fenofaze (cvetenje, olistanje drevja) v zadnjih dekadah pojavljajo od 6 do 10 dni bolj zgodaj (sl. 5) glede na začetno opazovano obdobje (Črepinšek in sod., 2002, Črepinšek in Kajfež-Bogataj, 2003).

3.6 Modeliranje fenološkega razvoja

S hitrim razvojem računalništva v zadnjih desetletjih se je povečalo število raziskav na področju agrometeorološkega modeliranja. Izdelani so bili številni modeli za napoved fenološkega razvoja različnih kmetijskih rastlin, na primer za pšenico, koruzo, ajdo, sadno drevje (pregl. 2), hmelj, oljko, sojo, vinsko trto in drugo (Cenci in Ceschia, 2000; Črepinšek, 2002; Galan in sod., 2005). Poleg kmetijskih rastlin so predmet modeliranja tudi fenološke faze gozdnega drevja (Rotzer in sod., 2004) in izbrane fenofaze nekaterih divjih rastlin, ki jih lahko uporabimo kot napovednik za najpomembnejše fenofaze pri gojenih rastlinah (Spano in sod., 1999; Črepinšek, 2002).

Pri sodobnih metodah modeliranja rasti, razvoja in pridelka rastlinske odeje potrebujemo številne vhodne podatke modela o rastlini in njenem okolju kot tudi podatke o obojem med rastno dobo (Bergant in sod., 2002). Še posebej so pomembni podatki o nastopu posameznih fenoloških faz, ki predstavljajo v simulacijskih modelih krenice za sprožitev raznih procesov ali za spremembo njihove moči (Rötzer in sod., 2004).

Preglednica 2: Primer linearnih multiplih regresijskih modelov za napoved polnega cvetenja hruške (F_{pear}), češplje (F_{plum}) in jablane (F_{apple}) v Ljubljani, ki temeljijo na klimatoloških podatkih o temperaturi zraka za obdobje 1960-2000.

Table 2: An example of linear multiple regression models for predicting the full flowering of pear tree (F_{pear}), plum tree (F_{plum}) and apple tree (F_{apple}) for Ljubljana, based on climatological air temperature data set for period 1960-2000.

STATISTIČNI MODEL / STATISTICAL MODEL		R^2
hruška / pear tree	$F_{pear} = 127 - 1.60 \cdot T_{FEB} - 2.32 \cdot T_{MAR}$	0.72
češplja / plum tree	$F_{plum} = 173 - 2.86 \cdot T_{MAR} - 3.92 \cdot T_{APR}$	0.55
jablana / apple tree	$F_{apple} = 168 - 2.46 \cdot T_{MAR} - 3.30 \cdot T_{APR}$	0.76

4 ZAKLJUČEK

Fenološki arhiv Agencije republike Slovenije za okolje je zelo obsežen, skupno vsebuje podatke za več kot 200 različnih postaj, vendar jih ima od tega le četrtno nepretrgan niz podatkov. Za začetna leta opazovanj manjkajo podatki o sortah pri enoletnih rastlinah, zato primerjave s kasnejšimi meritvami niso možne. Kvalitetnejši so podatki za negojene rastline, porazdeljeni so normalno in primerni za statistične analize. Velik problem predstavljajo manjkajoči podatki, ki jih je v celotnem arhivu precej. Za vse podatke do leta 1980, ki so še vedno hranjeni v klasični obliki, bi bilo potrebno narediti kritično in logično kontrolo ter jih hraniti tudi v elektronski obliki. Kvaliteta podatkov se med postajami precej razlikuje in je v veliki meri odvisna od vestnosti opazovalcev.

Med glavnimi načrti v zvezi s fenologijo pri nas sodijo:

- v letošnjem letu izdaja novih navodil za opazovalce na fenoloških postajah, ki bo opremljena z bogatim slikovnim materialom, nadalje izdelava fenološkega atlasa,
- ohranitev obstoječe mreže fenoloških postaj v naši državi in nadaljne aktivno sodelovanje pri izmenjavi podatkov v evropski fenološki mreži,
- povečanje števila opazovanih gojenih rastlin oziroma opazovanje dodatnih fenoloških faz pri nekaterih gojenih rastlinah za uporabo pri agrometeoroloških analizah in napovedih,
- razširitev opazovanj fenofaze cvetenja alergenih rastlin za potrebe medicinske meteorologije,
- dopolnitev elektronskega arhiva za celotno obstoječo bazo podatkov.

Kljub določenim pomanjkljivostim, ki smo jih omenili, predstavlja obstoječ fenološki arhiv veliko vrednost pri osnovnih in aplikativnih kmetijskih raziskavah in je kot tak edinstven v Sloveniji.

5 LITERATURA

- Ahas, R., Jaagus, J., Aasa, A. 2000. The phenological calendar of Estonia and its correlation with mean air temperature.- *International Journal of Biometeorology*, 44: 159-166.
- Arhiv fenoloških podatkov Agencije republike Slovenije za okolje. 2000. Podatki za obdobje 1955-2000. Ljubljana, Agencija republike Slovenije za okolje (izpis iz baze podatkov).
- Baumgärtner, J., Schilperoord, P., Basett, P., Baiocchi, A., Jermini, M. 1998. The Use of a Phenology Model and of Risk Analyses for Planning Buckwheat (*Fagopyrum esculentum*) Sowing Dates in Alpine Areas.- *Agricultural systems*, 57: 557-569.
- Baumgärtner, J., Hartmann, J. 2000. The use of phenology models in plant conservation programmes: the establishment of the earliest cutting date for the wild daffodil *Narcissus radiiflorus*.- *Biological Conservation*, 93: 155-161.
- Bergant, K., Kajfež-Bogataj, L., Črepinšek, Z. 2002. Statistical downscaling of GCM simulated average monthly air temperature to the beginning of flowering of dandelion (*Taraxacum officinale*) in Slovenia.- *International Journal of Biometeorology*, 46: 22-32.
- Bergant, K., Trdan, S., Žnidarčič, D., Črepinšek, Z., Kajfež-Bogataj, L. 2005. Impact of climate change on developmental dynamics of Thrips tabaci (Thysanoptera: Thripidae): can it be quantified?- *Environmental entomology*, 34 (4): 755-766.
- Bussay, A. 1999. Evaluation of WMO RA VI. Agrometeorological Questionnaire related to Phenological observations and Networks.- *Razprave-Papers*, posebna številka: 57-63.
- Castro-Díez, P., Milla, R., Sanz, V. 2005. Phenological comparison between two co-occurring Mediterranean woody species differing in growth form.- *Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, 200: 88-95 .
- Cenci, C.A., Ceschia, M. 2000. Forecasting of the flowering time for wild species observed at Guidonia, central Italy.- *International Journal of Biometeorology*, 44: 88-96.
- Chmielewski, F.M., Rötzer, T. 2000. Phenological trends in Europe in relation to climatic changes. *Agrarmeteorologische Schriften. Heft 07*. Berlin, Humboldt-Universität zu Berlin, Landwirtschaftlich-Gärtnerische Fakultät, Institut für Pflanzenbauwissenschaften, Agrarmeteorologie: 14 str.

- 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: 69-78.
- Cicogna, A., Gani, M. 1999. Life cycle of the maize in Friuli-Venezia Giulia and Slovenia.- *Razprave-Papers, posebna številka*: 64-69.
- Črepinšek, Z., Kajfež-Bogataj, L. 2001. Določitev in pomen temperature praga pri računanju termalnega časa.- *Zbornik Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani. Kmetijstvo*, 77-2: 319-327.
- Črepinšek, Z. 2002. Napovedovanje fenološkega razvoja rastlin na osnovi agrometeoroloških spremenljivk v Sloveniji.- *Doktorska disertacija*. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo: 135 str.
- Črepinšek, Z., Kajfež-Bogataj, L., Bergant, K. 2002. Correlation between spring phenophases and North Atlantic oscillation index in Slovenia.- *Research reports*, Biotechnical Faculty, University of Ljubljana, Agriculture 79: 89-98.
- Črepinšek, Z., Kajfež-Bogataj, L. 2003. Spring phenological trends in Slovenia.- *Series Annales Naturales*, 2: 32-43.
- Defila, C., Clot, B. 2001. Phytophenological trends in Switzerland.- *International Journal of Biometeorology*, 45: 203-207.
- Dunne, J.A., Harte, J., Taylor, K.J. 2003. Subalpine meadow flowering phenology responses to climate change: integrating experimental and gradient methods.- *Ecological Monographs*, 73: 69-86.
- Galan, C., Garcia-Mozo, H., Vazquez, L., Ruiz, L., Diaz de la Guardia, C., Trigo, M.M. 2005. Heat requirement for the onset of the *Olea europea* L. pollen season in several sites in Andalusia and the effect of the expected future climate change.- *International Journal of Biometeorology*, 49: 184-188.
- Hoogenboom, G. 2000. Contribution of agrometeorology to the simulation of crop production and its applications.- *Agricultural and Forest Meteorology*, 103: 137-157.
- Kajfež-Bogataj, L. 2004. Pomen podnebnih sprememb za sadjarstvo v Sloveniji. V: Hudina, M. (ur.).- *Zbornik referatov 1. slovenskega sadjarskega kongresa z mednarodno udeležbo, Krško, 24.-26. marec 2004*. Ljubljana: Strokovno sadjarsko društvo Slovenije: 771-778.
- 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: 1-7.
- Lieth, H. 1997. Aims and Methods in Phenological Monitoring. V: *Phenology in Seasonal Climates I*. (ur.: Lieth, H., Schwartz, M.). Leiden, Backhuys Publishers, 143 str.
- Menzel, A. 2000. Trends in phenological phases in Europe between 1951 and 1996.- *International Journal of Biometeorology*, 44: 76-81.
- Menzel, A. 2003a. Phenological data, networks, and research: Europe.- V: *Phenology: An Integrative Environmental Science* (ur.: Schwartz, M.D.). Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 2003: 45-56.
- Menzel, A. 2003b. Plant phenological anomalies in Germany and their relation to air temperature and NAO.- *Climate Change*, 57: 243-263.
- Podolsky, A.S. 1984. *New phenology: Elements of Mathematical Forecasting in Ecology*. New York, John Wiley&Sons, 504 str.

- Rodriguez-Rajo, F.J., Frenguelli G., Jato, M.V. 2003. Effect of air temperature on forecasting the start of the *Betula* pollen season at two contrasting sites in the south of Europe (1995-2002).- *International Journal of Biometeorology*, 47:117-125.
- Rötzer, T. 2000. Net-management and research of the international phenological gardens. V: *New Contributions to phenology, Proceedings of the IV. Workshop on Phenology*, Doksany, 12-13 Oct. 1999. (ur.: Horakova, P.) Praha, Czech Hydrometeorological Institute: 31-42.
- Rötzer, T., Grote, R., Pretzsch, H. 2004. The timing of bud burst and its effect on tree growth.- *International Journal of Biometeorology*, 48: 109-118.
- Spano, D., Cesaraccio, C., Duce, P., Snyder, R.L. 1999. Phenological stages of natural species and their use as climate indicators.- *International Journal of Biometeorology*, 42: 124-133.
- Sparks, T.H. 1999. Phenology and the changing pattern of bird migration in Britain.- *International Journal of Biometeorology*, 42: 134-138.
- 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: 82-87.
- Sušnik, A., Kofol-Seliger, A. 1999. Uporaba fenoloških podatkov pri določanju prašenja alergenih rastlin.- *Razprave-Papers, posebna številka*: 41-56.
- vanVliet, A.J.H., deGroot, R.S. 2003. Toward a multifunctional european phenology network.- V: *Phenology: An Integrative Environmental Science* (ur.: Schwartz, M.D.). Dordrecht, Kluwer Academic Publishers: 105-117.
- Wielgolaski, F.E. 2001. Phenological modifications in plants by various edaphic factors.- *International Journal of Biometeorology*, 45: 196-202.
- Wielgolaski, F.E. 2003. Climatic factors governing plant phenological phases along a Norwegian fjord.- *International Journal of Biometeorology*, 47: 213-220.
- Zrnec, C. 1994. Značilnosti cvetenja nekaterih vrst rastlin in njihova uporabnost v agrometeorologiji.- *Razprave-Papers*, 31: 51-60.
- Žust, A. 1999. Phenological archive survey and the usage of phenological data in Slovenia.- *Razprave-Papers, posebna številka*: 81-87.