

KLIMATICKÉ FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ NÁSTUP A DÉLKU TRVÁNÍ FENOFÁZÍ VYBRANÝCH ROSTLINNÝCH DRUHŮ NA LOKALITÁCH JIŽNÍ MORAVY V LETECH 1961–2007

L. Bartošová, Z. Bauer, M. Trnka, P. Štěpánek, Z. Žalud

Došlo: 1. února 2010

Abstract

BARTOŠOVÁ, L., BAUER, Z., TRNKA, M., ŠTĚPÁNEK, P., ŽALUD, Z.: *Climatic factors and their influence on onset and duration of phenological phases of chosen plants at locations south Moravia during 1961–2007*. Acta univ. agric. et silvic. Mendel. Brun., 2010, LVIII, No. 2, pp. 35–44

In this work phenological phases of three species – ramson (*Allium ursinum* L.), hawthorn (*Crataegus oxyacantha* L.) and oak tree (*Quercus robur* L.) were evaluated on two research plots Lednice and Lanžhot during 1961–2007. Both plots represent protected flood-plain forests with no forestry management. The aim of this work is to assess which meteorological parameters influence the most duration of phenophases, to analyse shifts of phenophase timing during the period 1961 to 2007 and to compare phenological and temperature trends in this period. The meteorological and phenological data processed by software AnClim and FenoClim. Results showed that maximum and mean temperature influenced the duration of phenophases most significantly. The higher temperatures caused shortening of phenophases and vice versa. Per 1°C temperature increase the given phenophase its length will decrease by 2.3 days in case of oak tree, by 0.8 days in the case of hawthorn and by 1.3 days in the case of ramson. The onset of phenophases has advanced by 9 to 10 days during the period of 47 years.

phenology, temperature, climatic parameters, *Allium ursinum*, *Quercus robur*, *Crataegus oxyacantha*, climate change

Podle poslední zprávy IPCC je fenologie považována za pravděpodobně nejjednodušší nástroj, kterým je možné dokazovat změny ve vývoji rostlin a živočichů v závislosti na vývoji klimatu (Rosenzweig et al., 2007). V posledních dvaceti letech se fenologie postupně přesunula do popředí zájmu a stala se nedílnou součástí vědních oborů, pomocí kterých je posuzována změna klimatu. Je to z části proto, že reakce fenologických projevů druhů, zvláště rostlin, na zvyšující se teplotu je velmi silná a odezva na měnící se klima je zcela evidentní (Sparks et al., 2009).

Řada autorů se v posledních letech zabývala fenologií rostlin a živočichů a popsala posuny fenofází sledovaných druhů (např. Sparks a Menzel, 2002; Walther, 2004; Schleip et al., 2009). Parmesan a Yohe (2003) vypracovali detailní průzkum více než 1 700 druhů a jejich prostorové a časové (fenologické) posuny, obdobně Root et al. (2003) vyhodnotili fenologické posuny přibližně pro 1 500 rostlinných a živočišných druhů.

Sparks et al. (2000), Lucht et al. (2002), Menzel (2003) a další uvádějí, že jarní a letní fenologické projevy jsou citlivé na klima a místní klimatické podmínky. Na rozdíl od fenofází probíhajících během podzimu, kterými se zabývali např. Estrella a Menzel (2006), jsou jarní a letní fenologické projevy jednoznačněji vysvětleny: téměř všechny změny ve vývoji rostlin, nevyjímaje zemědělské plodiny (Estrella et al., 2007), jsou během jarního a letního období odvislé od jarních teplot v předcházejících měsících. Inouye et al. (2002) se zabývali účinkem sněhové pokrývky na vývoj druhů. Buermann et al. (2003) a Peñuelas et al. (2004) přinášejí poznatky o vazbě v množství srážek a vývoji jarních druhů.

Cíle této práce jsou (1) kvantifikovat korelaci meteorologických prvků a průběh fenofáze vybraných jarních druhů a určit, které klimatické veličiny jsou nejlepším prediktorem pro průběh a délku fenofáze, (2) analyzovat termín nástupu fenologických fází u tří vybraných rostlinných druhů ty-

pických pro lužní lesy jižní Moravy a (3) porovnat jejich fenologické trendy s trendy teplotními s použitím dlouhých fenologických pozorování z období 1961–2007 na lokalitách Lednice a Lanžhot.

MATERIÁL A METODY

V této práci jsou podrobně sledovány fenofáze a jejich vývoj od roku 1961 do roku 2007 u tří rostlinných druhů lužních lesů jižní Moravy. První výzkumná plocha se nachází v Lednici na Moravě, druhá výzkumná plocha je lokalita Lanžhot, oblast na soutoku Moravy a Dyje. Sledovanými druhy byly dub letní (*Quercus robur* L.) a hloh obecný (*Crataegus oxyacantha* L.) na lokalitě Lednice a česnek medvědí (*Allium ursinum* L.) na lokalitě Lanžhot. Pro každý druh byla sledována jedna fenologická fáze (tzv. fenofáze) ohraničená přesným datem začátku a konce, tedy dvěma fenologickými projevy. Výzkumné plochy jsou od sebe vzdáleny přibližně 20 km, mají téměř shodnou nadmořskou výšku a svými klimatickými podmínkami se v období 1961–2007 výrazně nelišily (Tab. I.).

Pozorování fenofáze od počátku rašení do plného olistění na dubu letním byla prováděna na dvou stejných jedincích po celé sledované období. Začátek fenofáze je označen jako rašení pupenů a nastává, když je pozorován první prasklý pupen, jehož šupiny jsou otevřeny a jsou vidět první špičky zelených lístků. Plné olistění (konec sledované fenofáze) nastává, když je koruna pokryta plně vyvinutými mladými listy, jejichž velikost se již nebude měnit. Fenofáze od počátku květu do plného kvetení byla sledována u několika jedinců hlohu obecného. Termín prvního květu hlohu obecného nastává v okamžiku, kdy první květní poupě rozevře své listy (začátek fenofáze). Vývoj kvetení a počet květů byly procenticky zaznamenávány. Plné kvetení a tedy konec fenofáze nastává, když je 100 % květů otevřených a zároveň ještě nenastal opad okvětních plátků. U česneku medvědího byla sledována fenofáze od prvního květu (začátek fenofáze) do plného kvetení (konec fenofáze) a to u celé populace na výzkumné ploše. Začátek fáze je stanoven, když se ve sledované populaci rozevře první květ. Míra kvetení byla opět zaznamenávána procenticky a plné kvetení je stanoveno, když 100 % populace kvete, ale ještě nenastává opad okvětních plátků.

Lednická ani Lanžhotská lokalita nemá svou vlastní meteorologickou stanici. Denní meteorologická data byla proto interpolována pomocí softwaru AnClim (Štěpánek, 2006) za pomoci prostorově vážených dat z více než 130 meteorologických stanic na území České republiky (Tab. I). Hodnoty

byly homogenizovány a interpolovány pro konkrétní místo určené geografickými souřadnicemi s použitím metody váženého průměru popsané Štěpánkem et. al. (2007). Meteorologické parametry potřebné pro další práci zahrnují maximální a minimální denní teplotu (°C), denní úhrn srážek (mm), průměrnou denní rychlost větru (m.s^{-1}), tlak vodních par (hPa) a globální radiace (MJ.m^{-2}). Tyto parametry společně s fenologickými údaji, jako jsou termíny začátku a konce fenofází, tvoří vstupní data pro počítačový program FenoClim (Trnka et al., 2009). FenoClim byl vyvinut pracovníky Ústavu agrosystémů a bioklimatologie Mendelovy univerzity v Brně pro detailní analýzu vazby klimatických dat na nástup a trvání sledovaných fenofází. Tento program vyhodnocuje klimatické parametry přímo pro sledované období, které řídí začátek a trvání specifických fenofází (např. začátek a konec kvetení nebo začátek rašení pupenů a plné rozvinutí listů).

Aby bylo možné provést důkladný rozbor délky fenofází za sledované období, byla určena, pro každý rostlinný druh zvlášť, konkrétní krátká a dlouhá období mezi jednotlivými fenofázemi. Pro každý sledovaný druh byly sledovány fenologické události, které ohraničovaly konkrétní fenologický vývoj (např. první květ a plné kvetení nebo vyrašení listových pupenů a plné olistění). Délky těchto období mezi jednotlivými fenofázemi se v každém roce mění. Byly proto určeny průměrné délky období mezi dvěma fenofázemi a období blízká a vzdálená od průměru. Tyto blízké a vzdálené délky jsme označili jako krátká a dlouhá fenologická období (respektive fenofáze). Krátké a dlouhé fenofáze byly vypočítány podle hodnoty průměrné délky fenofází a pomocí směrodatné odchylky, která sloužila jako horní či dolní hranice pro nadprůměrně dlouhé či podprůměrně dlouhé fenofáze. Délkově podprůměrné fenofáze (s krátkou dobou trvání) jsou potom ty fáze, jejichž délka je nižší než hodnota směrodatné odchylky všech sledovaných fází jednoho druhu během celého sledovaného období. Délkově nadprůměrné fenologické fáze (s dlouhou dobou trvání) jsou fáze, jejichž délka je vyšší než hodnota směrodatné odchylky všech pozorovaných fází v rámci jednoho druhu během celé periody pozorování. Dlouhé fenofáze byly vyhodnoceny pro všechny tři sledované druhy. Krátké fenofáze bylo možné určit pouze pro dub letní a u zbývajících dvou se nevyskytly.

Pomocí počítačového modelu FenoClim byly vypočítány sumy efektivních teplot (SET) nad prahovými hodnotami teplot 0 až 10 °C (v kroku 0,1 °C) potřebné pro dosažení trvání sledovaných fenofází

I: Klimatické poměry na lokalitách Lednice a Lanžhot

I: Overview of the experimental locations (Lednice, Lanžhot) and their basic climate characteristics

Lokalita	Přírodní rezervace	Nadmořská výška (m)	Zem. šířka	Zem. délka	Průměrná teplota (°C)					Srážky (mm)				
					roční	jaro	březen	duben	květen	roční	jaro	březen	duben	květen
Lanžhot	Ranšpurk	152	48°40'42"	16°56'47"	9,2	12,4	4,6	9,5	14,2	514	156	28	38	59
Lednice	Horní les	161	48°48'22"	16°46'32"	9,3	12,5	4,6	9,6	14,3	481	152	25	35	58

dubu, hlohu a česneku. Sumy teploty byly počítány nad prahové hodnoty ode dne, kdy začala fenofáze (v každém roce odlišné datum) a byly počítány do data, kdy byla fenofáze dosažena. SET byly počítány ve všech sledovaných letech a získali jsme tak 47 hodnot (pro každý rok jedna hodnota) sum efektivních teplot pro každou námi zvolenou biologickou nulu (0 až 10 °C) přímo v obdobích sledovaných fenologických fází. Sumy efektivních teplot byly počítány pro průměrnou denní teplotu a průměr maximálních denních teplot v období mezi jednotlivými fenologickými fázemi. Následně byla provedena korelační analýza porovnávající vztah mezi délkou fenofáze a sumou efektivních teplot (postupně nad hodnotami jednotlivých teplot 0 až 10 °C). Dále byly vypočítány hodnoty ukazatelů střední kvadratické odchylky RMSE (Root Mean Square Error) a směrové odchylky MBE (Mean Bias Error) pro teploty uvedené v tabulce IV. a, b, c. MBE slouží jako ukazatel systematické chyby a RMSE vyjadřuje míru nesystematické chyby. Pomocí výsledných hodnot korelačních koeficientů získaných pro vazbu mezi délkou fenofáze a sumou průměrných (resp. průměru maximálních) efektivních teplot RMSE a MBE bylo možné odhadnout prahovou hodnotu teploty pro začátek vývoje dubu, hlohu a česneku.

Fenologická a klimatická data byla zpracována pomocí software AnClim, kterým byla provedena koherentní analýza. Koeficient koherence byl hodnocen na hladinách významnosti $\alpha = 0,05$ a $0,01$ a byly porovnávány fenologické a teplotní trendy. Porovnávány byly konkrétní fenologické projevy všech tří sledovaných druhů s maximálními a průměrnými teplotami měsíců duben a květen (v těchto měsících probíhají fenologické fáze všech tří sledovaných druhů).

Statistické hodnocení bylo provedeno programem STATISTICA Cz (verze 8.0), pomocí kterého byly analyzovány základní statistické parametry hodnocených souborů a rovněž byla provedena trendová

analýza. Pro hodnocení statistické významnosti byla stanovena hladina významnosti $\alpha = 0,05$.

VÝSLEDKY

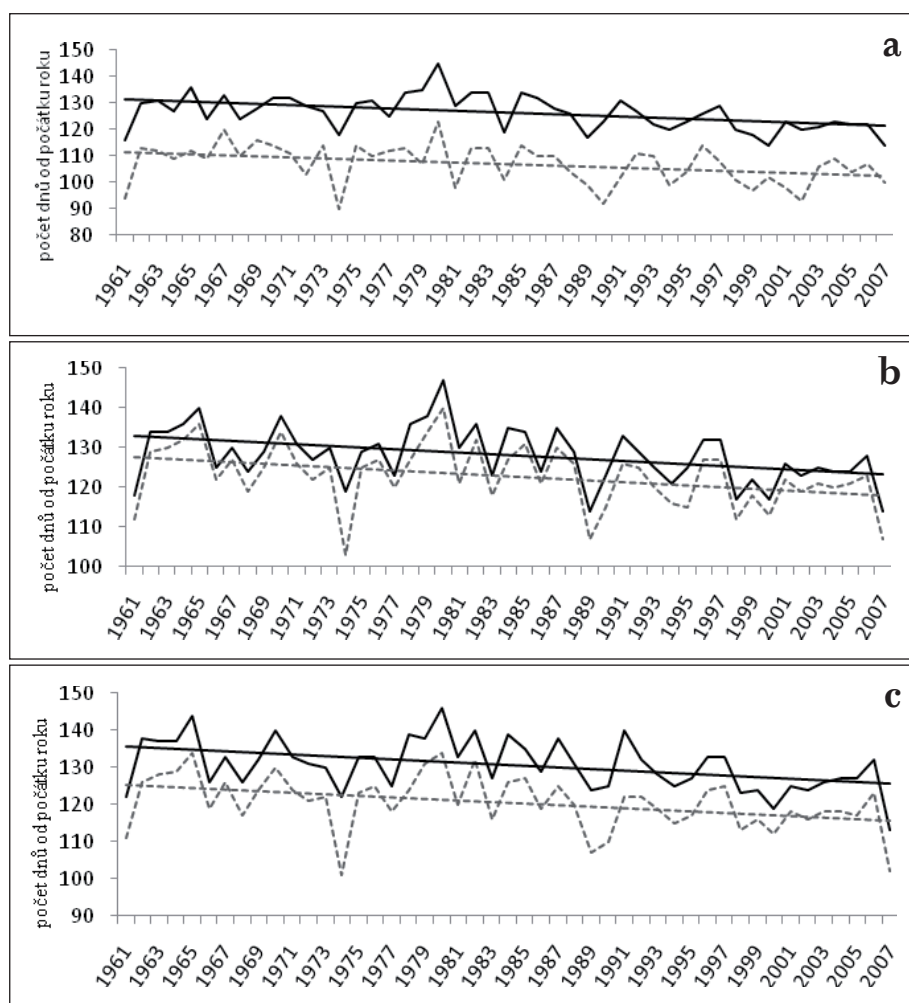
Podrobný rozbor fenologických fází všech tří sledovaných druhů je zpracován v Tab. II. Doba trvání fenofází dubu lesního, hlohu obecného a česneku medvědího nejlépe koreluje s denní maximální a průměrnou teplotou sledovanou v období fenofází (Tab. IIIa). Méně výrazná vazba mezi délkou fenofáze a klimatickou veličinou byla zaznamenána pro minimální teplotu a solární radiaci. Srážky a délka dne (fotoperioda) statisticky nekorelují s průběhem fenofází. Nárůst teplot průměrných, maximálních a minimálních způsobuje zkrácení délky fenofází u všech tří druhů (Tab. IIIb). Tento fakt také potvrzují rozdílné hodnoty klimatických veličin sledovaných během dlouhých a krátkých fenofází a zprůměrovaných pro každý druh (Tab. IIIc). Rozdíly v maximálních teplotách dosahují až 9 °C, průměrná teplota se během krátkých a dlouhých fází liší až o 6,5 °C a průměrná hodnota srážek je rozdílná téměř až o 1,5 mm. Fenofáze sledovaných druhů se během období 1961 až 2007 posunuly do dřívějšího data až o deset dní (Tab. II, Obr. 1 a, b, c).

Výsledkem analýzy provedené pro vztah sum efektivních teplot (SET) průměrných (respektive průměru maximálních) nad prahové hodnoty teplot 0 až 10 °C a délky fenofází jsou hodnoty korelačních koeficientů a ukazatelů RMSE a MBE (Tab. IVa, b, c). Pomocí těchto několika koeficientů byly hledány hodnoty prahových teplot, při kterých je možný vývoj druhu a dosažení konkrétní fenofáze. Výsledkem jsou dále hodnoty biologických nul, nad jejichž hodnotami byly počítány sumy efektivních teplot průměrných (respektive průměru maximálních), dále hodnoty korelačních koeficientů, RMSE a MBE pro příslušné biologické nuly a údaje sum efektivních teplot potřebných pro dosažení zvolené feno-

II: Fenologické údaje sledovaných druhů pro fenofáze dubu letního (vyrašení pupenů – plné olistění), hlohu obecného (první květ – plné kvetení) a česneku medvědího (první květ – plné kvetení). Poslední dva sloupce vyjadřují, o kolik se posunuly konkrétní fenologické projevy (začátky a konce sledovaných fenofází) během období 1961–2007.

II: Detailed phenological informations for all observed species: oak tree (bud bursting – full foliage), hawthorn (first flower – full flowering), ramson (first flower – full flowering). Last two columns represent the change (in days) in onset of all phenophases during whole period of observations.

Druh	Dub letní (<i>Quercus robur</i>)	Hloh obecný (<i>Crataegus oxyacantha</i>)	Česnek medvědí (<i>Allium ursinum</i>)
průměrná délka fenofáze	20 dní	6 dní	11 dní
nejkratší fenofáze za celé období	13 dní	4 dny	8 dní
nejdelší fenofáze za celé období	32 dní	17 dní	22 dní
průměrný termín začátku fenofáze	17. 4. (107. den)	3. 5. (123. den)	1. 5. (121. den)
průměrný termín konce fenofáze	6. 5. (126. den)	8. 5. (128 den)	11. 5. (131. den)
trvání krátké fenofáze	13–14 dní	nevyskytuje se	nevyskytuje se
trvání průměrné fenofáze	15–25 dní	4–8 dní	8–14 dní
trvání dlouhé fenofáze	26–32 dnů	9–17 dní	15–22 dní
posun začátku fenofáze do dřívějšího data	o 9,4 dne	o 9,4 dne	o 9,6 dne
posun konce fenofáze do dřívějšího data	o 10,0 dne	o 9,5 dne	o 9,9 dne



1: Nástupy fenologických projevů v období 1961–2007 a) dubu letního (*Quercus robur*), b) hlohu jednozemenného (*Crataegus oxyacantha*) a c) česneku medvědího (*Allium ursinum*). Pro česnek medvědí a hloh jednozemenný vyjadřuje šedá přerušovaná linka termín prvního květu a černá plná linka termín plného květu. Pro dub letní šedá přerušovaná linka reprezentuje termín vyrašení pupenů a plná černá linka termín plného olistění.

1: Onset of phenological stages of **a** oak tree (*Quercus robur*), **b** hawthorn (*Crataegus oxyacantha*), **c** ramson (*Allium ursinum*). For hawthorn and ramson (**b** and **c**) the dashed line represent the date of first flower and the solid line represent the date of full flowering. For Oak tree (**a**) the dashed line represents bud burst and solid line the timing of full foliage.

IIIa: Hodnota r – korelačního koeficientu a p – hodnota hladiny významnosti dubu letního, hlohu obecného a česneku medvědího ve vztahu ke klimatickým veličinám

IIIa: Values of correlation coefficient (r) and values of significance level (p) for oak tree, hawthorn and ramson in relation to climatic elements

		T prům	T max	T min	S rad	Srážky	Délka dne
Dub letní	hodnota r	-0,91	-0,89	-0,81	-0,57	0,22	-0,24
	hodnota p	0,00	0,00	0,00	0,00	0,14	0,11
Hloh obecný	hodnota r	-0,83	-0,80	-0,71	-0,47	0,03	-0,29
	hodnota p	0,00	0,00	0,00	0,00	0,87	0,05
Česnek medvědí	hodnota r	-0,87	-0,87	-0,70	-0,68	0,24	-0,19
	hodnota p	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	0,21

fáze pro konkrétní biologickou nulu. Biologickou nulou (nebo také biologickým minimem) se rozumí teplota, při níž určitý druh rostliny přestává vegetovat (Bednář, 1993).

Koherentní analýza prováděná pro trendy průměrných a maximálních teplot v měsících duben a květen a trendy v nástupech fenofází hlohu obecného a česneku medvědího (první květ a plné kvetení)

IIIb: Změny v délce fenofází při změnách teplot a solární radiace, F = fenofáze

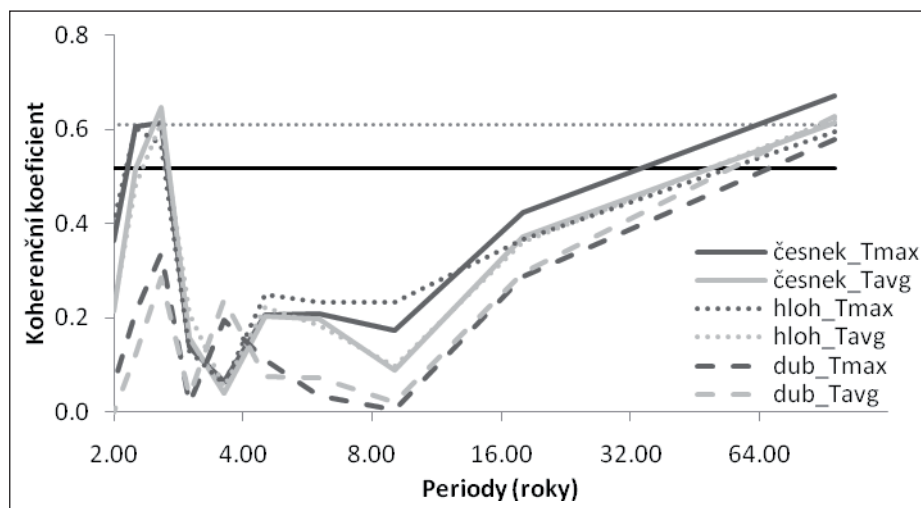
IIIb: Change of phenophases length in dependence on temperature and global radiation changes, F = phenophase

	+ T prům o 1 °C	+ T max o 1 °C	+ T min o 1 °C	+ S rad o 1 MJ.m ⁻² .den ⁻¹
Délka F dubu letního	-2,3 dny	-1,8 dny	-2,5 dny	-1,5 dny
Délka F hlohu obecného	-0,8 dny	-0,6 dny	-0,8 dny	-0,4 dny
Délka F česneku medvědího	-1,3 dny	-1,0 dny	-1,2 dny	-0,8 dny

IIIc: Průměrné hodnoty klimatických veličin během konkrétních dlouhých a krátkých fenofází jednotlivých druhů, F = fenofáze

IIIc: Climatic elements and their average values during short and long phenological periods of each species, F = phenophase

	T prům (°C)	T max (°C)	T min (°C)	S rad (průměr)	Srážky (průměr)
	F dlouhá / F krátká	F dlouhá / F krátká	F dlouhá / F krátká	F dlouhá / F krátká	F dlouhá / F krátká
Dub letní	9,2/15,3	14,7/22,1	3,6/8,5	14,8/17,6	1,3/0,8
Hloh obecný	10,4/17,0	15,3/24,5	5,6/9,4	15,1/20,2	1,9/0,6
Česnek medvědí	10,5/16,9	15,5/24,0	5,4/9,7	14,4/20,7	2,0/0,5



2: Koherentní analýza provedená pro fenologické projevy první květy (v případě česneku medvědího a hlohu obecného) a vyrašení pupenů (v případě dubu letního) a průměrnou a maximální teplotu v měsících duben a květen. Vodorovné linky vyjadřují 95% a 99% úroveň spolehlivosti.

2: Coherency analyses between mean, maximum temperature during March and April and ramson, hawthorn first flower and oak tree bud burst. The horizontal lines indicate the 95% and 99% confidence levels.

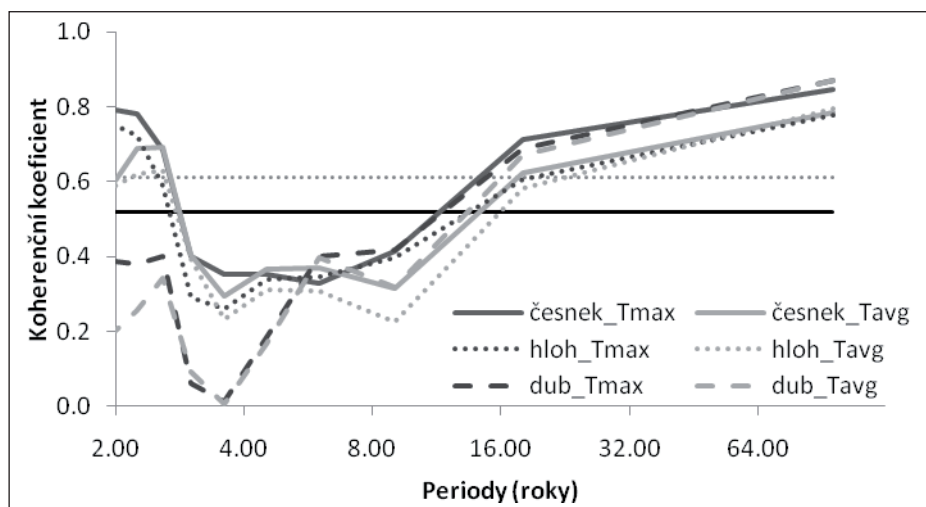
a dubu letního (vyrašení pupenů a plné olistění) ukazuje na vzájemnou silnou závislost (Obr. 2, 3).

Koherentní koeficient ve všech případech přesahuje 95% hladinu významnosti pro delší časové cykly. Vazba v trendech sledovaných druhů a jejich fenologických projevů plné kvetení (v případě česneku medvědího a hlohu obecného) a plné olistění (v případě dubu letního) koreluje s trendem maximálních a průměrných teplot výrazněji a přesahuje 99% hladinu významnosti pro delší časové cykly. Koherence je slabá pro periody od 2 do 20 let.

Krátké fenofáze byly u všech tří druhů pozorovány současně v letech 1967, 1977 a 2000. Maximální a průměrné teploty jsou během fenofází v těchto letech vyšší a liší se až o 10 °C v případě maximální teploty a až o 8 °C v případě průměrné teploty v porovnání s teplotami zaznamenanými během dlouhých fenofází. Srážky se během fází nevyskytovaly,

nebo byly jen velmi nízké (max. 0,3 mm srážek během fenofáze dubu letního v roce 2000).

Dlouhá fenofáze se u všech tří sledovaných druhů současně vyskytuje v roce 1974. Maximální, minimální i průměrné teploty jsou během fenofází v roce 1974 nejnižší. Srážky jsou během těchto fenofází nízké a dosahují průměrných hodnot. Všechny sledované fenofáze začaly v tomto roce nejdříve za celé sledované období. Dle Synoptického přehledu počasí (HMÚ, 1974) byly první čtyři měsíce roku 1974 teplotně vysoce nadprůměrné, výrazně se lišící od průměru a srážkově podnormální. Leden roku 1974 byl nadprůměrně teplý (jeden z nejteplejších za posledních 200 let). Během února proudil do střední Evropy teplý vzduch od jihu související s tlakovou níží nad Středomořím. Teploty vzduchu nad tehdejšími územími Československa byly výrazně nad normálem. Během března byly srážky nad Moravou výrazně podnormální, celkově byl březen mi-



3: Koherenční analýza provedená pro fenologické projevy plně kvetení (v případě česneku medvědího a hlohu obecného) a plně olistění (v případě dubu letního) a průměrnou a maximální teplotu v měsících duben a květen. Vodorovné linky vyjadřují 95% a 99% úroveň spolehlivosti.

3: Coherency analyses between mean, maximum temperature during March and April and ramson, hawthorn full flowering and oak tree full foliage. The horizontal lines indicate the 95% and 99% confidence levels.

IVa: Hodnoty sum efektivních teplot, RMSE a MBE pro různé biologické nuly dubu letního, SET – suma efektivních teplot

IVa: Temperature sums, RMSE and MBE over various biologic zero of oak tree, SET = effective temperature sum

Dub letní (<i>Quercus robur</i>)									
T prům					T max				
biologická nula	r ²	Optimální SET	RMSE	MBE	biologická nula	r ²	Optimální SET	RMSE	MBE
0,0 °C	0,91	236,51	1,97	1,52	0,0 °C	0,85	355,91	2,68	2,09
3,5 °C	0,96	165,57	1,39	1,02	5,0 °C	0,91	254,18	2,04	1,50
5,0 °C	0,95	135,89	1,54	1,07	8,2 °C	0,94	189,60	1,78	1,24
10,0 °C	0,89	51,80	2,56	1,89	10,0 °C	0,94	154,84	1,85	1,24

IVb: Hodnoty sum efektivních, RMSE a MBE teplot pro různé biologické nuly hlohu obecného, SET – suma efektivních teplot

IVb: Temperature sums, RMSE and MBE over various biologic zero of hawthorn, SET = effective temperature sum

Hloh obecný (<i>Crataegus oxyacantha</i>)									
T prům					T max				
biologická nula	r ²	Optimální SET	RMSE	MBE	biologická nula	r ²	Optimální SET	RMSE	MBE
0,0 °C	0,97	84,10	1,34	0,98	0,0 °C	0,96	121,56	1,52	1,00
4,9 °C	0,98	54,01	0,99	0,63	5,0 °C	0,97	90,80	1,34	0,91
5,0 °C	0,98	53,40	0,99	0,63	9,9 °C	0,98	60,77	1,18	0,83
10,0 °C	0,96	24,62	1,39	1,07	10,0 °C	0,98	60,16	1,19	0,85

IVc: Hodnoty sum efektivních teplot, RMSE a MBE pro různé biologické nuly česneku medvědího, SET – suma efektivních teplot

IVc: Temperature sums, RMSE and MBE over various biologic zero of ramson, SET = effective temperature sum

Česnek medvědí (<i>Allium ursinum</i>)									
T prům					T max				
biologická nula	r ²	Optimální SET	RMSE	MBE	biologická nula	r ²	Optimální SET	RMSE	MBE
0,0 °C	0,96	153,83	1,39	1,11	0,0 °C	0,94	222,78	1,59	1,20
5,0 °C	0,97	98,17	1,23	0,91	5,0 °C	0,96	167,02	1,30	0,96
6,3 °C	0,97	83,88	1,17	0,85	7,7 °C	0,98	136,95	1,09	0,80
10,0 °C	0,93	45,26	1,82	1,43	10,0 °C	0,97	111,53	1,16	0,83

mořadně teplý a kladná odchylka od měsíčního normálu činila místy až 5 °C. V měsíci dubnu proběhly fenofáze všech tří sledovaných druhů (dubu letního, hlohu obecného a česneku medvědího). Během měsíce dubna se počasí nad střední Evropou výrazně ochladilo. Díky proudění ze severu se na sledované území dostával několik dní studený mořský až arktický vzduch, který za bezoblačných nocí podpořil výskyt jarních mrazíků, což přineslo ve střední Evropě výrazné ochlazení a místy i srážky.

Nejpozdější začátek a konec fenofází u všech tří druhů současně byl zaznamenán v roce 1980. Fenofáze tohoto roku spadají svým trváním do normální délky a významně je ovlivnily klimatické poměry před jejich začátkem. Fenologické fáze se v roce 1980 opožďují ve svém nástupu až o 17 dní. Dle Synoptického přehledu počasí (HMÚ, 1980) z roku 1980 byly měsíce leden a březen teplotně podnormální. Během měsíce dubna byly zaznamenány vysoké srážkové úhrny (nad 200 % měsíčního normálu zaznamenaly některé stanice ve střední Evropě a také na území dnešní ČR). Meridionální cirkulaci během dubna odpovídaly i teplotní poměry, kdy se ve střední a jižní Evropě projeví opakované vpády studeného vzduchu od severu. Sledované fenofáze dubu letního, hlohu obecného a česneku medvědího probíhaly až během května 1980. Ten byl v roce 1980 v Evropě charakteristický častými výraznými vpády studeného arktického vzduchu ze severu a severovýchodu se sněžením na horách a byl téměř v celé Evropě teplotně podnormální. Nad střední Evropou a tedy i nad územím ČR se střídala cyklonální cirkulace s anticyklonální a množství srážek bylo velmi rozdílné. Výrazně studené a suché bylo v ČR třetí (11.–16. 5.) a páté (22.–26. 5.) synoptické období s nočními mrazy. Celkově byl květen teplotně i srážkově podnormální.

DISKUSE

Vztahem mezi teplotou a nástupem a načasováním fenologických fází se zabývalo více autorů. Dle Schwarze (2003) je teplota hlavní klimatický prvek ovlivňující nástupy fenofází. Sparks et al. (2000) studovali 11 rostlinných druhů, mimo jiné i hloh jednosemenný, z dlouhodobých fenologických řad (58 let sledování), a uvádějí, že fenofáze jsou v úzkém vztahu s teplotami v měsících předcházející sledované fenofázi kvetení. Chmielewski a Rötzer (2001, 2002) se ve svých dvou pracích zabývali vývojem nástupu vegetačního období a uvádějí, že průměrné teploty v měsících únor až duben ovlivňují nástup vegetačního období a vyšší průměrné teploty posouvají nástup vegetačního období až o osm dní (během období 1969–1998). Menzel (2003) se ve své práci zabývá fenologickými anomáliemi a fenologickými fázemi (také fenologií dubu letního) obecně ve vztahu k průměrné teplotě a dokazuje silnou vazbu fenofází na teplotu vzduchu zvláště v jarních měsících, které předcházejí sledovaným fenologickým fázím. Tento fakt, kdy průběh počasí ovlivní další nástup fenologických projevů, popisujeme po-

mocí dvou příkladů, kdy se fenofáze sledovaných druhů liší ve svých začátcích a průběhu od průměrných termínů. Teplé počasí zaznamenané v jarních měsících předcházející pozorovaným fenologickým projevům způsobí dřívější nástup vývoje a následné ochlazení prodlouží dobu trvání fenofáze (zde je uveden příklad průběhu fenofází v roce 1974). Naopak velmi pozdní nástup fenologických projevů a velmi chladné počasí v měsících předcházejících je popsáno na příkladu roku 1980, kdy fenofáze všech tří pozorovaných druhů probíhaly za celé sledované období nejpozději. Vazbu mezi teplotou a délkou fenofází popisují také údaje o rozdílných teplotách během konkrétních krátkých a dlouhých fenofází (u každého druhu zvlášť). Například průměrná teplota je během krátké fenofáze hlohu obecného (začínající prvním květem a ukončená plným kvetením) vyšší, až o 6,6 °C. Výsledky prezentované v této práci se tedy shodují s poznatkem, že kterým dospěli výše zmínění autoři a dokazují statisticky významnou vazbu mezi průměrnou a maximální teplotou vzduchu a průběhem fenofází.

Další klimatické parametry (jako solární radiace, srážky, ale také délka dne) nejsou dle našich výsledků rozhodujícími činiteli ovlivňujícími nástup a průběh fenologických fází. Fakt, že srážky nemohou být považovány za určující faktor ve vývoji jarních druhů na severní polokouli, popisují také Buermann et al. (2003). Peñuelas et al. (2004) uvádějí, že množství srážek a dostatečná vlhkost jsou určující spíše pro oblasti aridní a semiaridní, kde jsou vodní zdroje limitovány.

Délka dne není dle statistiky provedené v této práci určující pro průběh fenofáze. Falusi a Calamassi (1996) uvádějí, že úloha fotoperiody je ve fenologii stromů rozporná a závisí na druzích stromů a jejich poloze.

Konkrétní hodnoty rozdílnosti délky fenofáze uvádí A. Zlatník (1978) na základě pozorování v Giessenu, v Německu. Zde se podle třicetiletých pozorování délky fenofáze rozvoje listů u běžných dřevin liší díky klimatickým podmínkám o čtyři týdny, konkrétně u buku až o pět týdnů. Wheeler et al. (1996) uvádějí ve své práci, že délka fenofáze, kdy se klasy plní obilím, je určována hlavně teplotou a je kratší v podmínkách s vyššími teplotami.

Prvním ze základních výstupů naší práce je stanovení sum efektivních teplot a prahových teplot pro dub letní, hloh obecný a česnek medvědí a s nimi související změny v délce fenofází při změně denních teplot (průměrných, maximálních a minimálních) a solární radiace. Veškeré výsledky jsou uvedeny výše, zde pro porovnání uvádíme, o kolik dní se zkrátí délka fenofáze při zvýšení průměrné denní teploty o 1 °C, a to o 2,3 dne v případě dubu letního, 0,8 dne v případě hlohu obecného a o 1,3 dne pro česnek medvědí. Více autorů (např. Menzel, 2003) uvádí změny v načasování fenofází a jejich dřívější nástup při nárůstu teplot v jarních měsících o 1 °C, a to od 1 do 12 dnů. Např. Chmielewski a Rötzer (2001) uvádějí dřívější nástup fenofází o 6,7 dne. Změny v délce konkrétních fenofází (ohraničených

danými fenologickými projevy) není možné v současné dostupné vědecké literatuře dohledat a porovnat s našimi výsledky.

Dalším ze základních výstupů práce je konstatování, že fenofáze dubu letního, hlohu obecného a česneku medvědího se během pozorovaných 47 let posunuly do dřívějšího data až o 10 dní. Stejný trend ve vývojových fázích rostlin a živočichů byl popsán v několika fenologických metaanalýzách a studiích (Parmesan a Yohe, 2003; Root et al., 2003; Lehtikoinen et al., 2004; IPCC, 2007).

Pro vyhodnocení trendů teplot a fenologie druhů použili koherentní analýzu také Bartošová et al. (2009) a Bauer et al. (2010). Ve svých pracích se zabývali odlišnými rostlinnými druhy než v této práci, výsledky se ale shodují a ukazují na silnou vazbu mezi trendem teplot a trendem v nástupech fenofází. V této práci je koherence silná pro dlouhodobé

časové cykly a slabá pro periody od 2 do 20 let. To může být vysvětleno faktem, že v krátkodobém měřítku (od 2 do 20 let) se koherence mezi trendy neprojevuje tak výrazně jako při dlouhých periodách. V dlouhodobém měřítku je koherence výrazná a přesahuje 95% a 99% hladinu významnosti (pro všechny sledované fenologické projevy). Koherence je konstantní mezi oběma sledovanými plochami. Dále se neodlišuje mezi hlohem a česnekem. Koherence pro dub letní se od dalších dvou sledovaných druhů liší během period od 2 do 20 let (pro dlouhodobé časové periody je ale spojitost velmi podobná a dokazuje vazbu fenologického trendu s teplotním). Tento rozdíl může být vysvětlen obtížností sledování fenologických projevů dubu letního, jež fenofáze se na vzrostlém stromě zachycují náročněji (zvláště při určování data plného olistění).

SOUHRN

V této práci byly vyhodnoceny fenologické fáze tří druhů rostlin (česnek medvědí – *Allium ursinum*, hloh obecný – *Crataegus oxyacantha*, dub letní – *Quercus robur*) a to pro každý druh jedna fáze zahájená a ukončená konkrétním fenologickým projevem. Fenologie byla sledována na lokalitách Lednice a Lanžhot, v letech 1961–2007. Cílem práce bylo vyhodnotit, které meteorologické prvky jsou v nejužším vztahu s nástupem fenofází a jejich trváním během samotných fenologických fází v klimaticky extrémních letech a současně popsat průběh nástupů fenofází během sledovaných 47 let a porovnat trendy v nástupech fenofází s teplotními trendy. Výsledky byly zpracovávány pomocí software AnClim a FenoClim. Výsledky ukazují, že na průběhu a trvání fenologických fází se nejvíce podílí průměrná denní a maximální denní teplota. Vyšší teploty způsobují zkracování délky fenofáze naopak nižší teploty způsobují pozdější nástup a výrazné prodloužení délky fenofáze. Při nárůstu průměrné teploty o 1 °C v obdobích sledovaných fenofází se zkrátí délka fenofáze, a to až o 2,3 dne v případě dubu letního, 0,8 dne v případě hlohu obecného a o 1,3 dne fenofáze česneku medvědího. Fenologické projevy se během sledovaného období u všech tří druhů posunuly do dřívějšího data, a to o devět až deset dní. Teplotní trendy korelují s fenologickými trendy, výrazněji s fenologickými projevy, kterými končí sledovaná konkrétní fenofáze.

fenologie, teplota, klimatické parametry, *Allium ursinum*, *Quercus robur*, *Crataegus oxyacantha*, klimatická změna

SUMMARY

In this work was elaborated phenology of three plant species (oak tree – *Quercus robur*, hawthorn – *Crataegus oxyacantha*, ramson – *Allium ursinum*) by using long-term phenological data from flood plain forest in southern Moravia during 1961–2007. For each species was observed one phenophase which is delimited by two phenological events. For oak tree were observed phenological events bud bursting and full foliage, for hawthorn and ramson first flower and full flowering events. Phenological phases were observed on two different plots – Lednice (hawthorn and oak) and Lanžhot (ramson), these plots differ relatively little in temperature and in amounts of precipitation and belong to same type of flood plain forest with no forestry management. On none plots are meteorological station or sensors so meteorological data were interpolated for each plot by using software AnClim. This software AnClim and also FenoClim were used for subsequent elaborating phenological data (each phenological events for each species) and meteorological data (maximum, minimum, average temperature, solar radiation and precipitation and also photoperiod). The obtained results show that maximum and average temperature during particular phenophases correlate with duration of phenophases most significantly. Minimum temperature, solar radiation, precipitation and photoperiod do not correspond with phenophases so strong (on the basis of statistics). The results also show change of the length of phenophases if temperature will rise about 1 °C (the length will be shorter by 2.3 days in case of oak tree, by 0.8 days in the case of hawthorn and by 1.3 days in the case of ramson). Using software AnClim the coherency analyses was made and the correlation between maximum and average temperature trend

during months April and May and phenological trend. Coherency is higher for ending phenological events (full flowering and full foliage) of all three species when compare with coherency of starting events (first flower and bud bursting). Despite this fact the coherency exceed the 95% (in case of first flower and bud bursting) a 99% (in case of full flowering and full foliage) confidence level at long-time frequencies, coherency is very similar over the two research plots and is weak for periods between 2 and 20 years. This mean that all observed species is affected by long-term changes in the same way on both plots.

LITERATURA

- AHAS, R., AASA, A., MENZEL, A., et al., 2002: Changes in European spring phenology, International journal of climatology 22, 1727–1738.
- ABU-ASAB, M. S., PETERSON, P. M., SHELTER, S. G., ORLI, S. S., 2001: Earlier plant flowering in spring as a response to global warming in the Washington, DC, area, Biodiversit and Conservation, 10, 597–612.
- BARTOŠOVÁ, L., ŽALUD, Z., 2009: The relation between temperature and onset of phenophases of common dogwood (*Cornus sanguine* L.) during 1961–2008 in Czech Republic, In MendelNet'09 Agro – Proceedings of International Ph.D. Students Conference, MZLU v Brně, 19.
- BAUER, Z., TRNKA, M., BAUEROVÁ, J., MOŽNÝ, M., ŠTĚPÁNEK, P., BARTOŠOVÁ, L., ŽALUD, Z., 2010: Changing climate and the phenological response of Great Tit and Collared Flycatcher populations in floodplain forest ecosystems in Central Europe, Int. J. of Biometeorology, Volume 54, Number 1, 99–111.
- BEAUBIEN, E. G., FREELAND, H. J., 2000: Spring phenology trends in Alberta, Canada: links to ocean temperature, Int. J. Biometeorol., 44, 53–59.
- BEDNÁŘ, J. et al., 1993: Meteorologický slovník výkladový a terminologický, Československá Meteorologická společnost, Academia, Praha.
- BERNIER, G., 1988: The control of floral evocation and morphogenesis. Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. 39, 175–219.
- BUERMANN, W., ANDERSON, B., TUCKER, C. J., et al., 2003: Interannual covariability in Northern Hemisphere air temperatures and greenness associated with El Nino-Southern Oscillation and the Arctic Oscillation, Journal of geophysical research-atmospheres, 108, 4396.
- CLELAND, E. E., CHUINE, I., MENZEL, A., MOONEY, H. A., SCHWARTZ, M. D., 2007: Shifting plant phenology in response to global change. Trends in Ecology and Evolution, Vol. 22 No. 7, 357–365.
- FALUSI, M., CALAMASSI, R., 1996: Geographic variation and bud dormancy in beech seedlings (*Fagus sylvatica* L.), Ann. Sci. For., 53, 967–979.
- HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV, 1974: Synoptický přehled počasí, Praha.
- HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV, 1980: Synoptický přehled počasí, Praha.
- CHMIELEWSKI, F. M., RÖTZER, T., 2001: Response of tree phenology to climate changes across Europe, Agricult. Forest Meteorol., 108, 101–112.
- CHMIELEWSKI, F. M., RÖTZER, T., 2002: Annual and spatial variability of the beginning of growing season in Europe in relation to air temperature changes, Clim. Res., 19, 257–264.
- LEHIKONEN, E., SPARKS, T. H., ZALAKEVICIUS, M., 2004: Arrival and departure dates. Adv. Ecol. Res., 35, 1–31.
- MENZEL, A., ESTRELLA, N., FABIAN, P., 2001: Spatial and temporal variability of the phenological seasons in Germany from 1951 to 1996, Global Change Biology, 7, 657–666.
- MENZEL, A., 2003: Plant phenological anomalies in Germany and their relation to air temperature and NAO, Climatic Change, 57, 243–263.
- PARMESAN, C., YOHE, G., 2003: Aglobally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. Nature, 421, 37–42.
- PARTANEN, J., KOSKI, V., HÄNNINEN, H., 1998: Effects of photoperiod and temperature on the timing of bud burst in Norway spruce (*Picea abies*). Tree Physiol. 18, 811–816.
- PEÑUELAS, J., FILELLA, I., COMAS, P., 2002: Changed plant and animal life cycles from 1952 to 2000 in the mediterranean region. Globl Change Biol., 8, 532–544.
- PEÑUELAS, J., GORDON, C., LLORENS, L., NIELSEN, T., TIETEMA, A., BEIER, C., BRUNA, P., EMMETT, B., ESTIARTE, M., GORISSEN, A., 2004: Nonintrusive field experiments show different plant responses to warming and drought among sites, seasons, and species in a north-south European gradient, Ecosystems, 7, 598–612.
- ROOT, T. L., PRICE, J. T., HALL, K. R., SCHNEIDER, S. H., ROSENZWEIG, C., POUNDS, J. A., 2003: Fingerprints of global warming on wild animals and plants. Nature, 421, 57–60.
- ROSENZWEIG, C., CASASSA, G., KAROLY, D. J., IMESON, A., LIU, C., MENZEL, A., RAWLINS, S., ROOT, T. L., SEGUIN, B., TRYJANOWSKI, P., 2007: Assessment of observed changes and responses in natural and managed systems. Climate change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), M. L. Parry, O. F. Canziani, J. P. Palutikof, P. J. van der Linden and C. E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 79–131.

- SCHLEIP, CH., MENZEL, A., ESTRELLA, N., DOSE, V., 2006: The use of Bayesian analysis to detect recent changes in phenological events throughout the year. *Agricultural and Forest Meteorology*, No. 141, 179–191.
- SCHWARTZ, M. D., REITER, B. E., 2000: Changes in North American Spring, *Int. J. Climatology*, 80(8), 929–932.
- SCHWARTZ, M. D., CHEN, X., 2002: Examining the onset of spring in China, *Clim. Res.*, 21, 157–164.
- SCHWARTZ, M. D., 2003: Phenoclimatic measures. In: *Phenology: An Integrative Environmental Science* (Schwartz, M. D., ed.), pp. 331–343, Kluwer.
- SPARKS, T. H., CAREY, P. D., 1995: The responses of species to climate over two centuries: an analysis of the Marsham phenological record, *J. Ecology*, 83, 321–329.
- 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, *Int. J. of Biometeorology*, 44, 82–87.
- SPARKS, T. H., MENZEL, A., 2002: Observed changes in seasons: An overview, *International Journal of Climatology*, 22, 1715–1725.
- SPARKS, T. H., MENZEL, A., STENSETH, N. CH., 2009: European cooperation in plant phenology, *Climate research special* 19, 39: 175–177.
- ŠTĚPÁNEK, P., 2006: AnClim-software for time series analysis. Institute of Geography, Masaryk University, Brno.
- ŠTĚPÁNEK, P., 2007: ProClimDB – software for processing climatological datasets. CHMI, regional office Brno. <http://www.climahom.eu/ProcData.html>
- TRNKA, M., HLAVINKA, P., BALEK, J., SEMERÁDOVÁ, D., BARTOŠOVÁ, L., DUBROVSKÝ, M., KOČMÁNKOVÁ, E., ŽALUD, Z., 2009: New software package for agroclimatological utilisation. In: *Sustainable Development and Bioclimate. Reviewed Conference Proceedings*. 1. vyd. Stará Lesná: Geophysical Institute of the Slovak Academy Of Science, s. 178–179.
- WALTHER, G. R., 2004: Plants in a warmer world. *Perspect. Plant Ecol.*, 6, 169–185.
- WHEELER, T. R., BATTS, G. R., ELLIS, R. H., HADLEY, P., MORISON, J. I. L., 1996: Growth and yield of winter wheat (*Triticum aestivum*) crops in response to CO₂ and temperature, *J. Agric. Sci.* 127, 37–48.
- ZLATNÍK, A., 1978: *Lesnická fytocenologie*, Státní zemědělské nakladatelství, 1. vydání, Praha.

Adresa

Ing. Lenka Bartošová, doc. Ing. Zdeněk Bauer, doc. Mgr. Ing. Miroslav Trnka, Ph.D., prof. Ing. Zdeněk Žalud, Ph.D., Ústav agrosystémů a bioklimatologie, Mendelova univerzita v Brně, Zemědělská 1, 613 00 Brno, Česká republika, e-mail: bartolen@gmail.com, Petr Štěpánek, Český hydrometeorologický ústav v Brně, Kroftova 43, 616 67 Brno, Česká republika