

THE PROCESS AND DEVELOPMENT OF PHENOPHASES OF SELECTED PLANTS IN SOUTH MORAVIA IN 1961 – 2007

PRŮBĚH A VÝVOJ FENOFÁZÍ VYBRANÝCH ROSTLINNÝCH DRUHŮ JIŽNÍ MORAVY V OBDOBÍ 1961 – 2007

Bartošová L., Žalud Z.

Department of Agrosystems and Bioclimatology, Faculty of Agronomy, Mendel University of Agriculture and Forestry in Brno, Zemědělská 1, 613 00, Brno, Czech Republic

E-mail: Lenka_Bartosova@seznam.cz, zalud@mendelu.cz

ABSTRACT

Phenology is important indicator of climate progression and variability of meteorological values, especially temperature. The aim of our work is to process and assess, which meteorological parameters could be consider as driving variables determining the length and developmental rate of individual phenophases. And process how observed phenophases have changed in 1961 - 2007. As the phenophases in the agrosystems are influenced by human activity we used uncontrolled ecosystem as a modeling ground in order to develop robust and reliable methodology. We have observed phenophases (bud bursting and full leafing) of oak tree (*Quercus robur* L.) and wild garlic (*Allium ursinum* L.) first flower and full flowering on research plot of flood plain forests in southern Moravia since 1961 till now. In order to process the data we used computer tool FenoClim, which was developed at Institute of agrosystems and bioclimatology. FenoClim allows to easily determine climate variables that are driving onset and/or duration of specific phenophases (e.g. start and end of flowering or start of bud bursting and full leafing directly). Statistical analysis showed that Tavg and Tmax influenced the length of phenophases of *Quercus robur* and *Allium ursinum* most significantly. Tmin and Srad influenced the length of phenophases less; Day-length and Rain has no significant influence on length of studied phenophases. The start of *Quercus robur* bud bursting has shifted to the earlier time by 9,4 days. The start of first flower of *Allium ursinum* has advanced by 9,6 days.

Key words: phenology, length of phenophases, temperature, *Quercus robur*, *Allium ursinum*

Acknowledgements: We gratefully acknowledge the support of the Grant Agency of the Czech Republic (no. 521/08/1682), Research plan No. MSM6215648905 “Biological and technological aspects of sustainability of controlled ecosystems and their adaptability to climate change“ and of KONTAKT OC187 (linked to COST 734) that enabled data collection and development of the FenoClim software used in the study.

ÚVOD

Fenologie, jako věda zabývající se vývojovými fázemi životních cyklů rostlin a živočichů (Cleland et.al., 2007) se v současné době stává důležitým nástrojem při posuzování vývoje a případných změn klimatu. Globální změna klimatu může významně posouvat rostlinné fenofáze, protože teplota ovlivňuje časový vývoj rostlin (Bernier G., 1988; Partanen et.al., 1998). Nástup jarních fenofází ve středních a vyšších polohách je po ukončení dormance ovlivněn především teplotou (Linderholm, 2006) a mnoho studií popsalo úzkou korelaci mezi jarními fenofázemi a teplotou vzduchu (Menzel and Fabian, 1999; Wielgolaski, 1999; Abu-Asab et al., 2001; Chmielewski and Rötzer, 2002; Fitter and Fitter, 2002; Sparks and Menzel, 2002; Chmielewski et al., 2004). V mírném pásmu je reprodukční cyklus rostlin řízen především teplotou a délkou dne (Menzel, 2002), zatímco v nižších polohách musí být brán v úvahu také vliv evapotranspirace.

Současné fenologické studie také ukazují, že jarní fenofáze začínají o deset až dvacet dní dříve než před padesáti lety (Ahas et.al., 2002; Peñuelas et. al., 2002).

Rostliny neovlivněné agrotechnickými zásahy reagují přirozeně na změny teplot či srážek a jsou pro nás odrazem skutečných reakcí neřízených ekosystému na měnící se klima. Fenologická pozorování prováděná na dubu letním (*Quercus robur* L.) a česneku medvědí (*Allium ursinum* L.) v oblasti jižní Moravy byla započata v roce 1961 a trvají dodnes. Posun fenofází do dřívějšího data je u tohoto druhu zřejmý a jasně prokazatelný. Méně jasné jsou faktory způsobující tyto změny. Hlavním cílem této práce, proto bylo kvantifikovat vliv meteorologických prvků na fenofáze s použitím nově vyvinutého modelu FenoClim a také analyzovat termín nástupu a zejména doby trvání vybraných fenologických fází dubu letního s použitím mimořádně kvalitních fenologických pozorování z období 1961 – 2007.

Model FenoClim byl vyvinut na Ústavu agrosystémů a bioklimatologie a vyhodnocuje klimatické faktory přímo pro období konkrétní fenofáze. Tak je možné určit, která klimatická veličina koreluje s délkou fenofáze nejsilněji.

MATERIÁL A METODIKA

Tato práce se zabývá fenologickými fázemi dubu letního (*Quercus robur*) a česneku medvědí (*Allium ursinum*) na lokalitách lužního lesa jižní Moravy od roku 1961 do roku 2007. Fenologická pozorování byla prováděna dle metodiky Českého hydrometeorologického ústavu. Výzkumné plochy se nachází v Lednici na Moravě a v Lanžhotě. Plochy jsou od sebe vzdáleny cca 20 km, mají téměř shodnou nadmořskou výšku a svými klimatickými podmínkami se v období 1961 – 2007 výrazně neliší. Jako modelové druhy byly vybrány dub letní a česnek medvědí, jako typičtí zástupci lužního lesa.

Pozorování fenofází 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 nastává, když je koruna pokryta plně vyvinutými mladými listy, jejichž velikost se již nebude měnit. U česneku medvědího byla sledována fenofáze od prvního květu do plného kvetení a to u celé populace na lokalitě. Začátek fenofáze je stanoven, když se ve sledované populaci druhu objeví první květ. Míra kvetení byla procenticky zaznamenávána a plné kvetení bylo stanoveno, když 100% populace kvetlo, ale nenastal opad květů.

Lednická ani Lanžhotská lokalita nemá svou vlastní meteorologickou stanici. Denní meteorologická data byla proto určena pomocí software AnClim a dat z cca 130-ti meteorologických stanic na území České republiky. 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 teplotu, srážky, rychlost větru, výpar a solární radiaci. Tyto parametry společně s fenologickými údaji, jako jsou termíny začátku a konce fenofází tvoří vstupní data pro model FenoClim. FenoClim byl vyvinut pracovníky Ústavu agrosystémů a bioklimatologie pro detailní analýzu vazby klimatických dat na nástup a trvání sledovaných fenofází. Tento model 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).

Pro důkladný rozbor délky a průběhu fenofází dubu letního a česneku medvědího byly vypočítány krátké a dlouhé fenofáze a fenofáze s průměrnou délkou. Fenofáze celého sledovaného období byly dle délky rozděleny pomocí průměrné hodnoty a směrodatné odchylky všech sledovaných fází. Krátké fenofáze jsou fenofáze, jejichž délka je nižší než hodnota směrodatné odchylky průměru a délky dlouhých fenofází jsou vyšší než hodnota směrodatné odchylky průměru.

Pomocí modelu FenoClim byly vyhodnoceny teploty, při nichž je koeficient determinace mezi délkou fenofáze a sumou efektivních teplot (jak průměrných tak maximálních) nejvyšší. Pro tyto teploty byly určeny sumy efektivních teplot potřebných pro dosažení konkrétní fenofáze plného olistění. Tyto sumy efektivních teplot byly zároveň určeny pro teploty 0°C, 5°C a 10°C.

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

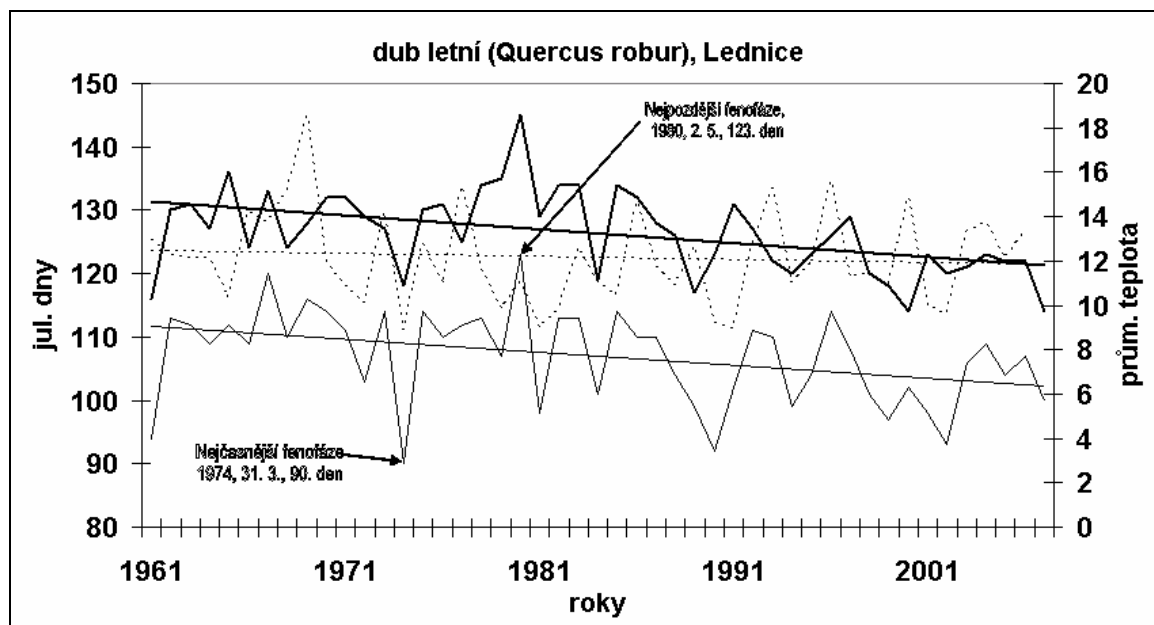
Dub letní

Délku fenofáze dubu od rašení pupenů do plného olistění dle výsledků statistického zhodnocení nejvíce ovlivňuje průměrná denní teplota ($r = -0,91$) a dále maximální teplota ($r = -0,89$) (Tab. 1a). Vztah mezi minimální teplotou během fenofáze a jejím trváním je

rovněž statisticky významný nicméně stupeň korelace je nižší ($r = -0,81$). Výrazně menší vliv má solární radiace ($r = -0,57$), přičemž srážky a délka dne trvání sledované fenofáze statisticky významně neovlivňují. Velmi úzký vztah mezi délkou fenofáze a průměrnou a maximální teplotou ještě potvrzují hodnoty sum nad 5°C a to jak sumy průměrných hodnot tak i maximálních.

Nejdelší fenofáze trvala 32 dní a nejkratší 13 dní a průměrná délka fenofáze dubu letního je 20 dní. Průměrný termín začátku rašení dubu letního je 17. 4. (107. den) a průměrný termín plného olistění je 6. 5. (126. den). Nejčasnější termín začátku fenofáze nastal 31. 3. (90. den) v roce 1974 a nejpozdější v roce 1980 3. 5. (123. den).

Průměrný začátek fenofáze (rašení pupenů) se od roku 1961 posunul do dřívějšího data o 9,4 dne a průměrný konec fenofáze (plné olistění) se posunul o 10,0 dne (Obr. 1). Zaznamenaná průměrná teplota během fenofáze se v období 1961 – 2007 výrazně nemění, přesto při zvýšení teploty o 1°C se zkrátí délka fenofáze až o 2,5 dne (Tab. 1b).



Obr. 1: na levé ose jsou plnou šedou čarou vyznačeny začátky fenofází (začátek rašení pupenů), jejichž termín se od roku 1961 posunul do dřívějšího data o 9,4 dne; na stejné ose jsou vyznačeny plnou černou čarou konce fenofází (plné olistění), jejichž termín se od roku 1961 posunul do dřívějšího data o 10,0 dne. Na pravé ose je slabou čárkovanou čarou vyznačena hodnota průměrné teploty během konkrétních fenofází. Šípkami je označen rok 1974, kdy nastoupila fenofáze nejčasněji a rok 1980, kdy nastoupila fenofáze nejpozději.

Tab. 1a: hodnota r - korelačního koeficientu a p -hodnota hladiny významnosti

	T prům	T max	T min	S rad	Srážky	Délka dne
r	-0,91	-0,89	-0,81	-0,57	0,22	-0,24
p	0,00	0,00	0,00	0,00	0,14	0,11

Tab. 1b: změny v délce fenofází při změnách klimatických veličin

	↑T prům o 1°C	↑T max o 1°C	↑T min o 1°C	↑S rad o 1MJ.m ⁻² .den ⁻¹
délka fenofáze	↓2,3 dny	↓1,8 dne	↓2,5 dne	↓1,5 dne

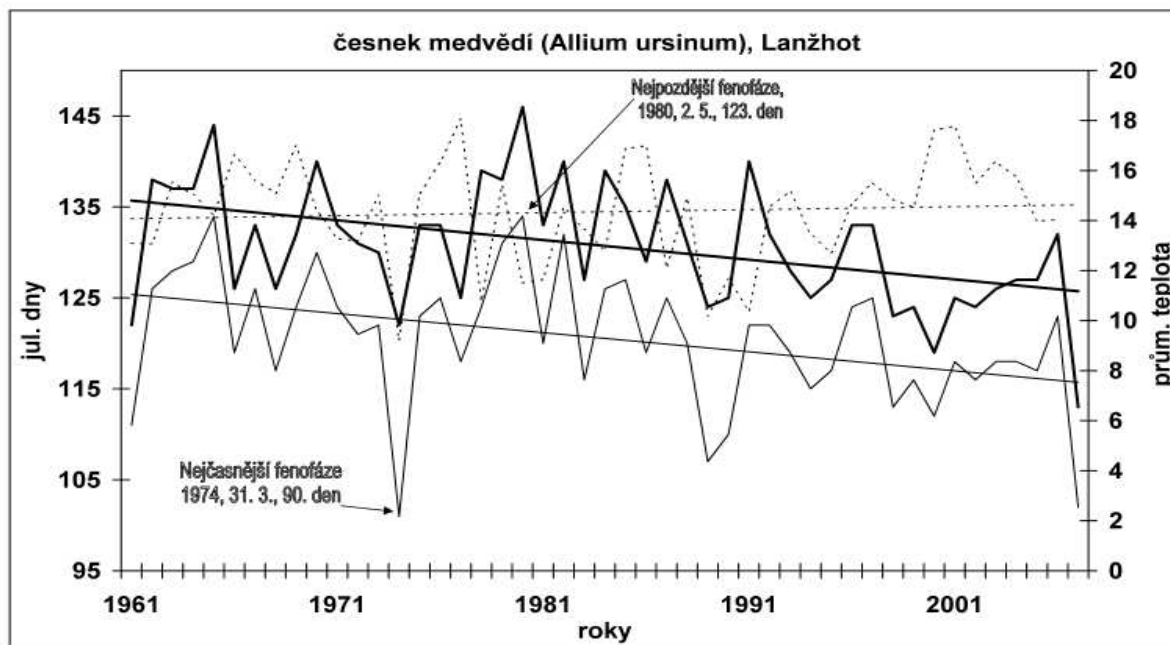
Česnek medvědí

Dle statistiky délku fenofáze kvetení česneku nejvíce ovlivňuje maximální ($r = -0,87$) a průměrná teplota ($r = -0,87$). Dále je statisticky významný vztah mezi délkou trvání fenofáze a minimální teplotou ($r = -0,7$) a rovněž solární radiací, i když v tomto případě není korelace tak těsná ($r = -0,68$) (Tab. 2a). Statisticky neprůkaznou korelaci můžeme dokázat u srážek a délky dne. Průměrné sumy maximálních a průměrných teplot nad 5°C opět dokazují úzkou vazbu s délkou fenofáze.

Nejdelší fenofáze trvala 22 dní a nejkratší 8 dní, průměrná délka trvání fenofáze je 11 dní. Průměrný začátek fenofáze je 1. 5. (121. den) a průměrný konec fenofáze je 11. 5. (131. den). Nejčasnější začátek fenofáze byl v roce 1974, 11. 4. (101. den) a nejpozdější 14. 5. (134. den) v roce 1980.

Krátké fenofáze se u česneku nevyskytují. Průměrná délka fenofáze se pohybuje v rozmezí 8 až 14 dní. Dlouhé fenofáze se pohybují v rozmezí 15 až 22 dní. Dlouhé fenofáze se vyskytují v 5 letech a normální fenofáze ve 42 letech.

Průměrný začátek fenofáze se od roku 1961 posunul do dřívějšího data o 9,6 dne (Obr. 2). A průměrný konec fenofáze se posunul do dřívějšího data o 9,9 dne. Při zvýšení teploty o 1°C se délka trvání fenofáze zkrátí až o 1,3 dne (Tab. 2b).



Obr. 2: na levé ose jsou plnou šedou čarou vyznačeny začátky fenofází (první květ), jejichž termín se od roku 1961 posunul do dřívějšího data o 9,6 dne; na stejné ose jsou vyznačeny plnou černou čarou konce fenofází (plné kvetení), jejichž termín se od roku 1961 posunul do dřívějšího data o 9,9 dne. Na pravé ose je slabou čárkovanou čarou vyznačena hodnota

průměrné teploty během konkrétních fenofází. Šípkami je označen rok 1974, kdy nastoupila fenofáze nejčasněji a rok 1980, kdy nastoupila fenofáze nejpozději.

Tab.2a: hodnota *r* - korelačního koeficientu a *p*-hodnota hladiny významnosti

	T prům	T max	T min	S rad	Srážky	Délka dne
r	-0,87	-0,87	-0,7	-0,68	0,24	-0,19
p	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	0,22

Tab. 2b: změny v délce fenofází při změnách klimatických veličin

	↑T prům o 1°C	↑T max o 1°C	↑T min o 1°C	↑S rad o 1MJ.m ⁻² . den ⁻¹
délka fenofáze	↓1,3 dne	↓1,0 dne	↓1,2 dne	↓0,8 dne

Krátké fenofáze dubu letního trvají 13 až 14 dní a vyskytovaly se v 8 letech za celé sledované období. Průměrná délka fenofáze trvá 15 až 25 dnů a takové fenofáze se vyskytovaly ve 31 letech. Dlouhá fenofáze trvá 26 až 32 dnů a tyto fenofáze se vyskytovaly v 8 letech. U česneku medvědího nebylo možné krátké fenofáze vyhodnotit, protože i ty nejkratší spadaly svojí délkou do průměrně dlouhých, přesto byly vybrány fenofáze s nejkratší délkou, aby bylo možné rozdíly porovnat. Průměrně dlouhé fenofáze se pohybují v rozmezí 8 až 14 dní. Dlouhé fenofáze se pohybují v rozmezí 15 až 22 dní. Dlouhé fenofáze se vyskytují v 5 letech a normální fenofáze ve 42 letech.

Hodnoty klimatických veličin během krátkých a dlouhých fenofází byly zprůměrovány a rozdíly jsou patrné v Tab. 3. Během nejkratších fenofází jsou teploty nadprůměrné. Průměrné hodnoty srážek jsou buď úplně nulové nebo jsou velmi nízké a v porovnání s lety, kdy fenofáze probíhaly déle jsou srážky nižší. Nejvíce se odlišují maximální teploty, jejichž hodnoty se v letech s krátkými a dlouhými fenofázemi liší až o 9°C. Roky s nadprůměrně dlouhými fenofázemi jsou typické nižšími teplotami, nižší solární radiací a vyšší průměrnou hodnotou srážek.

Tab. 3: Krátké a dlouhé fenofáze – průměrné hodnoty klimatických veličin ve vybraných letech

Rok	SRad	Tmax	Tmin	Tprům	Srážky
Quercus robur/dlouhé fenofáze	14,8	14,7	3,6	9,2	1,3
Allium ursinum/dlouhé fenofáze	14,4	15,5	5,4	10,5	2,0
Quercus robur/krátké fenofáze	17,6	22,1	8,5	15,3	0,8
Allium ursinum/krátké fenofáze	20,7	24,0	9,7	16,9	0,5

Pomocí modelu FenoClim byly získány průměrné a maximální sumy efektivních teplot potřebných k dosažení plného olistění dubu letního a plného kvetení česneku medvědího. Pro oba druhy byla zjištěna biologická nula, při níž je korelační koeficient

průměrné sumy efektivních teplot konkrétní biologické nuly a délky fenofáze nejvyšší. Tyto biologické nuly byly určeny pro průměrnou i maximální teplotu. Výsledné hodnoty jsou v Tab. 4.a a 4.b pro každý druh zvlášť.

Tab. 4a: Hodnoty sum efektivních teplot pro různé biologické nuly dubu letního; silně jsou vyznačeny hodnoty, kdy je korelační koeficient mezi sumou efektivních teplot a délkou fenofáze největší

Dub letní					
T AVG			T MAX		
biologická nula	r ²	DD	biologická nula	r ²	DD
0°C	0.8228	236.5°C	0°C	0.7882	355.9°C
0.8°C	0.8229	220.2°C	4.6°C	0.7883	262.3°C
5°C	0.8147	135.9°C	5°C	0.7882	254.2°C
10°C	0.7482	51.8°C	10°C	0.7774	154.8°C

Tab. 4b: Hodnoty sum efektivních teplot pro různé biologické nuly česneku medvědího; silně jsou vyznačeny hodnoty, kdy je korelační koeficient mezi sumou efektivních teplot a délkou fenofáze největší

Česnek medvědí					
T AVG			T MAX		
biologická nula	r ²	DD	biologická nula	r ²	DD
-0.7°C	0.7743	162.3°C	0°C	0.7773	222.1°C
0°C	0.7742	154.4°C	1.7°C	0.7775	203.1°C
5°C	0.7692	98.8°C	5°C	0.7768	166.3°C
10°C	0.6836	45.7°C	10°C	0.7677	110.8°C

PODROBNÝ POHLED NA VYBRANÉ ROKY 1974 A 1980

V roce 1974 probíhaly fenofáze výrazně déle a jejich začátek byl nejčasnější. Fenofáze se od průměrné délky lišila u dubu letního o 9 dní u česneku medvědího o 11 dní. Klimatické podmínky probíhající v období od rašení pupenů do plného olistění dubu letního odpovídají hodnotám sledovaným během dlouhých fenofází popsaných výše, tedy maximální, minimální i průměrné teploty mají v průběhu fenofází roku 1974 nízké hodnoty. Srážky jsou také nízké (průměrná hodnota je 0,2 mm). Období předcházející fenofázi je naopak výrazně teplé. 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 nad tehdejšími územími Československa byly výrazně nad normálem. Měsíc březen byl mimořádně teplý a odchylka od měsíčního normálu činila místy až 5°C, při čemž srážky nad Moravou byly hluboce podprůměrné. V Praze byl, podle měření od roku 1775 a 1891, naměřen nejteplejší první jarní den. V měsíci dubnu probíhala sledovaná fenofáze dubu letního. Dle Synoptického přehledu počasí měla cirkulace nad severní polokoulí většinou meridionální (poledníkový) ráz počasí. Meridionální cirkulace byla vyvolána činností

anticyklon na severu, jejichž středy se udržovaly do 12. 4. nad Fenoskandií. Po jejich zadním okraji proudil do střední Evropy nejdříve teplý vzduch od jihu a důsledkem byly vysoké nadnormální teploty a počasí s malou oblačností. Po 13. 4. se přesunuly středy řídících anticyklon nad Skotsko (nad Severní moře) a tento vývoj byl doprovázen ve střední Evropě zhoršením počasí ve formě ochlazení a srážek (Synoptický přehled počasí, 1974).

Z výše uvedených dat je zřejmé, že nadprůměrně teplé první měsíce roku zapříčinily velmi brzký začátek fenofáze a její následné dlouhé trvání způsobilo ochlazení během měsíce dubna, kdy byly teploty od 13. 4. podprůměrné. Tím se vývoj zpomalil, případně zastavil a dokončení fenofáze se protáhlo do pozdější doby.

Rok 1980 je významný termínem začátku a konce fenofáze a to nejpozdějším začátkem i koncem fenofáze. Samotná délka fenofáze nemá významně odlišnou délku a patří do normálu, bude proto spíše důležité podívat se na průběh meteorologických událostí před začátkem fenofáze. U dubu letního začala fenofáze 2. 5. (123. den) a skončila 24. 5. (145. den), průměrný termín začátku a konce fenofáze je 17. 4. (107. den) a 6. 5. (126. den). Hodnoty klimatických veličin se v průběhu fenofáze dubu letního nijak výrazně neodlišují od normálu. Průměrné, maximální i minimální teploty byly mírně podprůměrné a průměrné hodnoty srážek se pohybovaly v normálu. Leden 1980 vykazuje téměř v celé Evropě podnormální teploty. Situace v tehdejší Československu odpovídala situaci nad celou Evropou. Leden 1980 byl teplotně podnormální s největší odchylkou $-3,5^{\circ}\text{C}$ a srážkově velmi různorodý. V únoru 1980 probíhala na severní polokouli většinou meridionální cirkulace. Oblast ČSSR byla teplotně nadprůměrná a v měsíčních srážkových úhrnech byly velké rozdíly. V březnu byla téměř celá Evropa (i území ČSSR) teplotně podnormální. Srážky byly na celém území rozdílné, ale spíše podnormální. Dubnová cirkulace na severní polokouli měla převážně meridionální charakter. Převažující cyklonalita se ve střední Evropě projevila vysokými měsíčními srážkovými úhrny. Nad 200% měsíčního normálu vykazují některé stanice v Bavorsku, tehdejší NDR, Rakousku a také v ČSSR. Meridionální cirkulaci odpovídají i teplotní poměry, kdy se ve střední a jižní Evropě projevily opakované vpády studeného vzduchu od severu. Jako celek byl tedy duben v ČSSR teplotně podnormální s výjimkou krátkého anticyklonálního období uprostřed měsíce. V květnu 1980 probíhala námi sledovaná fenofáze. Květen 1980 je 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 ČSSR, se střídala cyklonální cirkulace s anticyklonální a množství srážek bylo velmi rozdílné. Výrazně studené a suché bylo v ČSSR třetí (11. – 16. 5.) a páté (22. – 26. 5.) synoptické období s nočními mrazy. Celkově byl květen teplotně i srážkově podnormální (Synoptický přehled počasí, 1980).

Fenologická fáze se začala rozvíjet výrazně pozdě právě díky teplotám během měsíce dubna a května, kdy teploty dosahovaly nízkých hodnot a ještě během měsíce května se objevovaly noční mrazy, které rozvoj vegetace zpomalily a odsunuly na pozdější datum.

DISKUZE

Vývoj jarních druhů je nejvíce ovlivňován vysokými teplotami, které urychlují vývoj a zkracují fenofáze. Minimální teploty, které zaznamenáváme v ranních hodinách délky fenofází také ovlivňují a mohou vývoj druhů zpomalovat, ale pokud je v odpoledních hodinách dosaženo vysokých maximálních teplot tak jsou fenofáze ovlivněny právě těmito teplotami. Srážky nepovažujeme za určující veličinu, protože v jarních měsících jsou lužní lesy dostatečně zásobovány vodou a nejsou odkázány na zásobu vody ze srážek. Buermann et. al. (2003) uvádí, že srážky nemohou být brány jako hlavní či určující faktor ve vývoji jarních druhů rostlin na severní polokouli. Množství srážek a dostatečná vlhkost je určující spíše pro oblasti aridní a semi-aridní, kde jsou vodní zdroje limitovány (Peñuelas et. al., 2004).

Délka dne koresponduje s průběhem, délkou a načasováním fenofází. Čím dříve fenofáze nastupuje tím kratší je délka dne a naopak. Délka dne ale není dle statistiky určující pro průběh fenofáze. Heide (1993), Kramer (1994) a Falusi and Calamassi (1996) uvádí, že vliv fotoperiody je ve fenologii stromů rozporný a závisí na druzích stromů a jejich poloze. Naopak Körner (2007) uvádí, že fenofáze mohou být také ovlivňovány fotoperiodou, to se však v našem případě u sledovaných fenofází nepotvrdilo.

Při vyšších teplotách probíhají fenofáze rychleji, jsou krátké a také jejich nástup je dřívější. Po vpádu chladného vzduchu se vývoj zpomalí případně zastaví a fenofáze probíhá déle. Délky fenofází jsou v jednotlivých letech různé a rozdíly v jejich délce jsou mnohdy značné (viz. kapitola Výsledky). Vývoj a průběh fenofází je tedy silně dynamický a variabilní proces, který probíhá s ohledem na abiotické činitele.

Teplota je považována za hlavního činitele ovlivňujícího nástupy fenofází (Schwarz, 2003). Téměř všechny fenofáze jsou v úzkém vztahu s jarními teplotami v měsících předcházejících sledované fenofázi (Sparks and Carey, 1995; Sparks et. al. 2000; Abu-Asab et. al. 2001; Chmielewski and Rötzer 2001, 2002; Menzel 2003). Spojitost mezi jarními fázemi a teplotou vzduchu je také považována za základ pro fenologické jarní ukazatele kvetení a rozvoje pupenů, které jsou nejčastěji používány pro znázornění fenologických změn (Beaubien and Freeland 2000; Schwartz and Reiter 2000; Schwartz and Chen 2002). Körner (2006) uvádí, že růst organismů je úzce svázán s aktuálními teplotními podmínkami, které napomáhají metabolickým procesům. Mezisezónní variabilita teplot (stejně tak jako vlhkostní variabilita) má nepřímý vliv a může zkracovat či prodlužovat období, během kterého je rostlina schopna růstu. Teplota je tedy hlavní faktor, který řídí rychlost vývoje rostlin, ale jednotlivé vývojové fáze (jako například rašení pupenů, kvetení nebo opad listů) mohou být také ovlivňovány fotoperiodou. Obecně se jedná o rychlost, za kterou je rostlina a její orgány schopny projít svými vývojovými fázemi, které závisí na teplotě (Körner, 2007). Konkrétní hodnoty rozdílnosti délky fenofáze uvádí A. Zlatník (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) uvádí ve své práci, že

délka fenofáze, kdy se klasy plní obilím je určována hlavně teplotou a je kratší v podmínkách s vyššími teplotami.

Larcher (2003) uvádí, že pro vývoj rostliny je nezbytný adekvátní přísun teplot. Každý životně důležitý proces je nastavený na jistý teplotní rozsah. Teplota má podle něj nepřímý vliv na růst a průběh vývoje v důsledku jeho kvantitativních nároků na energii z metabolismu a biosyntézy a přímý vliv skrze regulátory vývoje jako jsou termoindukce, termoperiodicita a termomorfismus.

Nástupy fenofází přicházejí na námi sledovaných lokalitách dříve v teplých letech. Při sledování posunu fenofází do dřívějšího data o devět až deset dní za sledované období, můžeme konstatovat, že od roku 1961 se klima vyvíjí a přicházejí roky s teplejšími jarními obdobími. V mnoha odborných publikacích byl popsán dřívější nástup fenologických fází v závislosti na teplotě. Posun v jarních vývojových fázích byl zdokumentován pro mořské, sladkovodní a suchozemské organismy po celém světě i v oceánech (Parmesan, 2006; IPCC, 2007). Během posledních několika let byly změny v načasování jarních fenofází a jejich posuny do dřívějšího data pozorovány také v Evropě (Menzel and Fabian, 1999; Menzel and Estrella, 2001; Sparks and Menzel, 2002; Menzel et al., 2006), v Severní Americe (Beaubien and Freeland, 2000), v Koreji (Ho et al., 2006) a také v Číně (Chen et al., 2005).

ZÁVĚR

Výsledky námi získané ukazují, že veličiny, které ovlivňují průběhy a délky fenofází nejsilněji jsou maximální a průměrná teplota. Další klimatické veličiny, jako minimální teplota a solární radiace jsou statisticky významné, ale nedosahují takových korelačních koeficientů, jako maximální a průměrná teplota. Délka dne a srážky nejsou v tomto případě statisticky významné. Teplotu můžeme považovat za jeden z hlavních řídicích faktorů, který ovlivňuje nástup a délku trvání fenofází.

Začátky a konce fenofází (rašení pupenů a plné olistění) dubu letního se od roku 1961 posunuly do dřívějšího data až o 10,0 dne a začátky a konce fenofáze (první květ a plné kvetení) se v průběhu 47 let posunuly až o 9,9 dne.

LITERATURA

Ahas, R; Aasa, A; Menzel, A, et al., Changes in European spring phenology, *International journal of climatology* 22, 1727 – 1738, 2002

Abu-Asab M. S., P. M. Peterson, S. G. Shelton, S. S. Orli, Earlier plant flowering in spring as a response to global warming in the Washington, DC, area, *Biodiversity and Conservation*, 10, 597-612, 2001.

Beaubien E. G., H. J. Freeland, Spring phenology trends in Alberta, Canada: links to ocean temperature, *Int. J. Biometeorol.*, 44, 53-59, 2000.

- Bernier, G., The control of floral evocation and morphogenesis. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 39, 175–219, 1988.
- Buermann, W; Anderson, B; Tucker, CJ, et al., 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, 2003
- Cleland et. al., Shifting plant phenology in response to global change. *Trends in Ecology and Evolution*, Vol. 22 No. 7, 357 – 365, 2007.
- Falusi, M., and R. Calamassi, Geographic variation and bud dormancy in beech seedlings (*Fagus sylvatica* L), *Ann. Sci. For.*, 53, 967-979, 1996.
- Fitter, A.H., Fitter, R.S.R., Rapid changes in flowering time in British plants. *Science* 296, 1689–1691, 2002.
- Heide, O. M., Dormancy release in beech buds (*Fagus sylvatica*) requires both chilling and long days, *Physio. Plant.*, 89, 187-191, 1993.
- Chen, C., G. Jackson, K. Neill, D. Wichman, G. Johnson, and D. Johnson., Determining the feasibility of early seeding canola in the Northern Great Plains. *Agron. J.* 97:1252–1262, 2005.
- Chmielewski F. M., T. Rötzer, Response of tree phenology to climate changes across Europe, *Agricult. Forest Meteorol.*, 108, 101-112, 2001.
- Chmielewski F. M., T. Rötzer, Annual and spatial variability of the beginning of growing season in Europe in relation to air temperature changes, *Clim. Res.*, 19, 257-264, 2002.
- Chmielewski, F.-M., Müller, A., Bruns, E., Climate changes and trends in phenology of fruit trees and field crops in Germany, 1961–2000. *Agric. Forest Meteorol.* 121, 69–78, 2004.
- Intergovernmental panel on climate change (IPCC), The IPCC 4th Assessment Report, <http://www.ipcc.ch/>, 2007.
- Kramer, K., Selecting a model to predict the onset of growth of *Fagus sylvatica*., *J. Appl. Ecol.*, 31, 172-181, 1994.
- Larcher, W., *Physiological Plant Ecology, Ecophysiology and Stress Physiology of Functional Groups*, 4th Edition, Springer, 2003.
- Linderholm H.W., Growing season changes in the last century, *Agricultural and Forest Meteorology*, 137, 1-14, 2006.
- Menzel, A; Fabian, P, Growing season extended in Europe, *Nature*, 397, 659-659, 1999.
- Menzel, A; Estrella, N; Fabian, P, Spatial and temporal variability of the phenological seasons in Germany from 1951 to 1996, *Global Change Biology*, 7, 657-666, 2001.
- Menzel, A., Phenology, its importance to the Global Change Community Editorial Comment. *Climatic Change* 54, 379–385, 2002.
- Menzel, A., Phenology: Its importance to the global change community, *Clim. Change*, 54, 379– 385, 2003.
- Menzel A., Plant phenological anomalies in Germany and their relation to air temperature and NAO, *Climatic Change*, 57, 243-263, 2003.

- Menzel, A; Sparks, TH; Estrella, N, et al., European phenological response to climate change matches the warming pattern, *Global Change Biology*, 12, 1969-1976, 2006.
- Parmesan, C., Ecological and evolutionary responses to recent climate change, *Ann. Rev. Ecol. Evol. Syst.*, 37, 637– 669, 2006.
- Partanen, J. et al., Effects of photoperiod and temperature on the timing of bud burst in Norway spruce (*Picea abies*). *Tree Physiol.* 18, 811–816, 1998.
- Peñuelas, J., I. Filella, and P. Comas, Changed plant and animal life cycles from 1952 to 2000 in the mediterranean region. *Globl Change Biol.*, 8, 532-544, 2002.
- Penuelas, J; Gordon, C; Llorens, L, et al., 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, 2004.
- Schwartz M. D., B. E. Reiter, Changes in North American Spring, *Int. J. Climatology*, 80(8), 929 – 932, 2000.
- Schwartz M. D., X. Chen, Examining the onset of spring in China, *Clim. Res.*, 21, 157-164, 2002.
- Schwartz, M.D. Phenoclimatic measures. In *Phenology: An Integrative Environmental Science* (Schwartz, M.D., ed.), pp. 331 – 343, Kluwer, 2003.
- Spano, D., Cesaraccio, C., Duce, P., Snyder, R.L., Phenological stages of natural species and their use as climate indicators. *Int. J. Biometeorol.* 42, 124–133, 1999.
- Sparks T. H., and P.D. Carey, The responses of species to climate over two centuries: an analysis of the Marsham phenological record, *J. Ecology*, 83, 321-329, 1995.
- Sparks, T.H., Menzel, A., Observed changes in seasons: An overview, *International Journal of Climatology*, 22, 1715-1725, 2002.
- Štěpánek, P., ProClimDB – software for processing climatological datasets. CHMI, regional office Brno . <http://www.climahom.eu/ProcData.html>, 2007.
- Synoptický přehled počasí 1974, 1980. Příloha k “Dennímu přehledu počasí”, Hydrometeorologický ústav v Praze
- Wheeler, T.R., Batts, G.R., Ellis, R.H., Hadley, P. and Morison, J.I.L., Growth and yield of winter wheat (*Triticum aestivum*) crops in response to CO₂ and temperature, *J. Agric. Sci.* 127, 37–48, 1996.
- Wielgolaski, F.-E., Starting dates and basic temperatures in phenological observation of plants. *Int. J. Biometeorol.* 42, 158–168, 1999.
- Zlatník, A., *Lesnická fytoecologie*, Státní zemědělské nakladatelství, 1. vydání, Praha, 1978