

FENOLOGIE MODŘÍNU OPADAVÉHO (*LARIX DECIDUA* MILL.) VE SMÍŠENÝCH POROSTECH LIŠÍCÍCH SE NADMOŘSKOU VÝŠKOU

EUROPEAN LARCH (*LARIX DECIDUA* MILL.) PHENOLOGY IN MIXED FOREST STANDS GROWING IN DIFFERENT ALTITUDES

KRISTÝNA SLOVÍKOVÁ - EMILIE BEDNÁŘOVÁ ✉

Mendelova univerzita v Brně, Lesnická a dřevařská fakulta, Ústav ekologie lesa, Zemědělská 3, CZ - 613 00 Brno

✉ e-mail: bednarov@mendelu.cz

ABSTRACT

This paper presents results of a phenological study on European larch (*Larix decidua* Mill.) trees growing in two localities at altitudes differing by 325 m. In both cases, trees grew in mixed stands of the 2nd age category. It was found out that there was a great variability in beginnings and durations of individual phenological stages. These differences were influenced above all by weather conditions existing in individual years. Temperature requirements of European larch were evaluated on the base of sums of temperatures. Obtained results indicated that the onset of spring phenological stages was dependent on temperatures of air and soil already at the end of winter and then in early spring. Measurements performed in the higher locality demonstrated that in recent years there was a slightly earlier beginning of the growing season and that the duration of spring phenological stages was shorter. On the other hand, however, the onset of autumnal phenological stages was delayed, and they continued till the late autumn. The growing season was prolonged and sums of temperatures were higher. The evaluation of obtained data corroborated the existence of a vertical phenological gradient. Therefore it can be concluded that a long-term prolongation of the growing season to the detriment of dormancy could show a negative effect on the health condition and stability of forest stands.

Klíčová slova: modřín opadavý (*Larix decidua* Mill.), fenologie, prostředí, klimatické změny, teplota vzduchu, vegetační doba, počasí

Key words: European larch (*Larix decidua* Mill.), phenology, environment, climatic changes, air temperature, vegetative period, weather

ÚVOD

Fenologická pozorování umožňují proniknout do zákonitostí průběhu životních projevů rostlin v závislosti na vnějších podmínkách prostředí a jsou cenným zdrojem informací o nástupu a trvání vegetačního období v různých klimatických oblastech. Fenologii lesních dřevin lze využít při hodnocení vlivu aktuálních podmínek prostředí na vývoj rostlinných společenstev a přispět tak k objasnění diskutovaných otázek klimatických změn a jejich dopadů na zdravotní stav a druhovou skladbu lesních ekosystémů (GÖMÖRY 2010; BEDNÁŘOVÁ, MERKLOVÁ 2011; BEDNÁŘOVÁ et al. 2012; ŠKVARENINOVÁ 2012, 2013). V posledních letech nastávají během roku změny v teplotním režimu a v distribuci srážek. V důsledku takového počasí trvá teplé období až do pozdního podzimu, čímž se prodlužuje vegetační období u dřevin (CHMIELEWSKI, RÖTZER 2001; LINDERHOLM 2006; BEDNÁŘOVÁ, MERKLOVÁ 2008; HÁJKOVÁ et al. 2012; BEDNÁŘOVÁ et al. 2013; ŠKVARENINOVÁ 2013). Řada autorů uvádí, že doba nástupu jarních fenologických fází závisí především na době překročení určitých teplotních hranic (KRAMER et al. 2000; LARCHER 2003; HÁJKOVÁ et al. 2010; ŠKVARENINOVÁ 2008, 2013). Teplotní nároky pro nástup a trvání fenologických fází u jednotlivých dřevin jsou nejlépe vyjádřeny sumou teplot (HA VLÍČEK 1986; BAGAR, NEKOVÁŘ 2007; MERKLOVÁ, BEDNÁŘOVÁ 2008; HÁJKOVÁ et al. 2010; BEDNÁŘOVÁ et al. 2013; ŠKVARENINOVÁ 2008, 2013).

Cílem této práce bylo zhodnotit nástup a trvání vegetativních fenologických fází u modřínu opadavého (*Larix decidua* Mill.) v období 2011–2013 na dvou lokalitách lišících se nadmořskou výškou porostů v návaznosti na předcházející dvacetileté sledování na Dražanské vrchovině.

MATERIÁL A METODIKA

Fenologická sledování modřínu opadavého probíhala na dvou lokalitách lišících se nadmořskou výškou. Výzkumná plocha Ústavu ekologie lesa Mendelovy univerzity v Brně se nachází v nadmořské výšce 625 m, 16°41'30'' E a 49°26'31'' N, v geografickém celku Dražanská vrchovina (v grafech použita zkratka DV). Výzkumná plocha má sklon do 5°. Na této ploše probíhají fenologická sledování již od roku 1991. Druhá plocha je pod správou Školního lesního podniku (ŠLP) Masarykův les Křtiny, revír Bílovice a je dána souřadnicemi 16°41'3,18'' E a 49°15'8,07'' v nadmořské výšce 320 m, se sklonem do 8°. Oba porosty jsou druhé věkové třídy. Na výzkumné ploše v revíru Bílovice probíhají fenologická sledování od roku 2011. Na obou plochách je sledována teplota vzduchu na spodní hranici koruny (Datalogger MinikinT), teplota půdy v hloubce 20 cm (Microlog SP). Na volné ploše vzdálené 300 m od hodnocených porostů je monitorována srážková

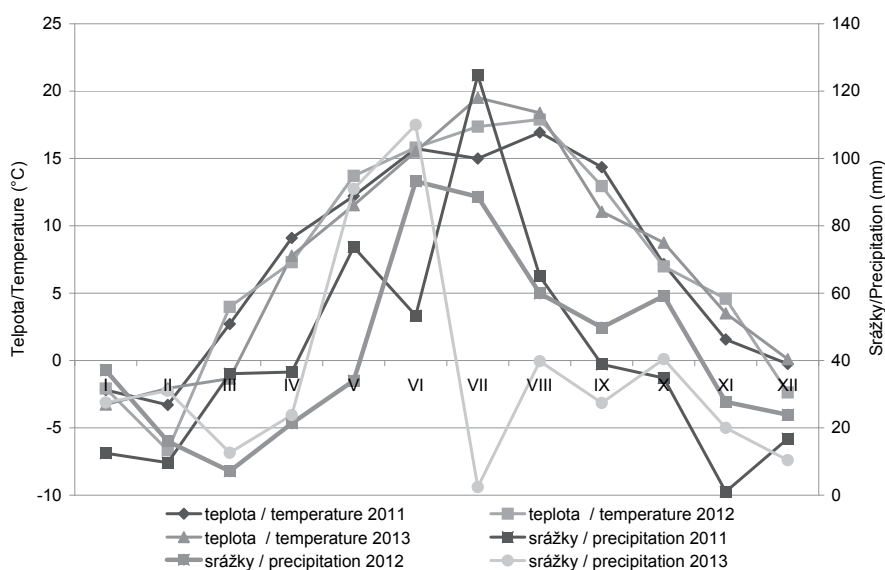
činnost (čidlo Climatronic) a teploty vzduchu (Datalogger Micro Log ER). Data získaná v terénu byla dále zpracovávána originálním softwarem EMS universal software Mini 32, ze kterého lze data převést např. do programu Excel a zpracovávat je běžným uživatelským způsobem. Na vybraných plochách je následující dřevinná skladba:

- plocha Ústavu ekologie lesa: smrk ztepilý (*Picea abies* /L./ Karst.) 60%, buk lesní (*Fagus sylvatica* L.) 30%, modřín opadavý (*Larix decidua* Mill.) 10%
- plocha Bílovice: dub zimní (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) 30%, buk lesní (*Fagus sylvatica* L.) 30%, modřín opadavý (*Larix decidua* Mill.) 10%, habr obecný (*Carpinus betulus* L.) 15%, borovi-

ce lesní (*Pinus sylvestris* L.) 15%, smrk ztepilý (*Picea abies* /L./ Karst.) 5%.

Fenologická sledování byla prováděna podle metodiky ČHMÚ (HÁJKOVÁ et al. 2012). V jarních měsících bylo prováděno sledování 3 × týdně, v letních a podzimních měsících 1 × týdně.

K datu nástupu jednotlivých fenologických fází bylo přiřazeno pořadové číslo dne od začátku kalendářního roku. Pro každou fenologickou fázi byly spočítány sumy teplot vzduchu, které počátku fáze předcházely, z průměrných denních hodnot vyšších než 0 °C. Srážkové a teplotní charakteristiky obou lokalit za období 2011 až 2013 jsou patrné z obr. 1 a 2.

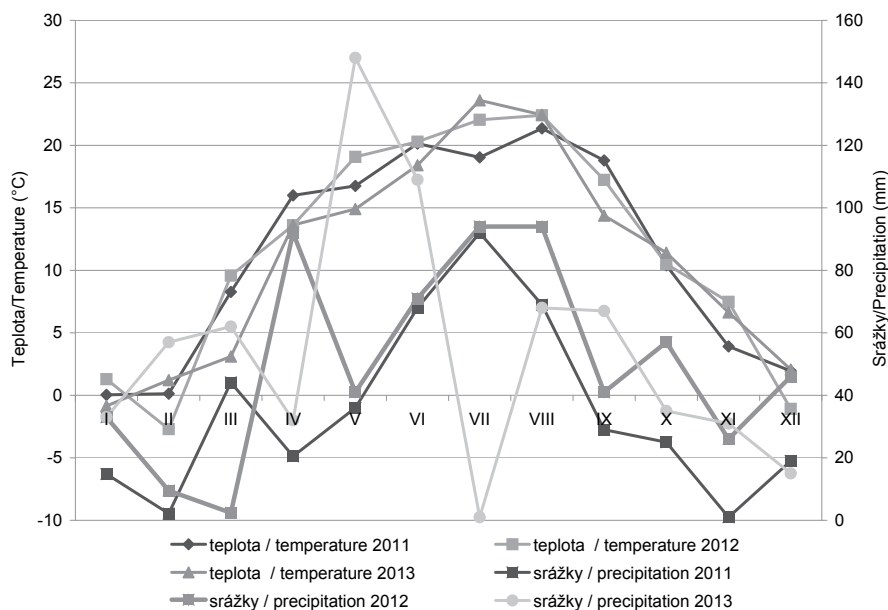


Obr. 1.

Meteogram Dražanská vrchovina

Fig. 1.

Meteogram Dražanská vrchovina Highland



Obr. 2.

Meteogram Bílovice

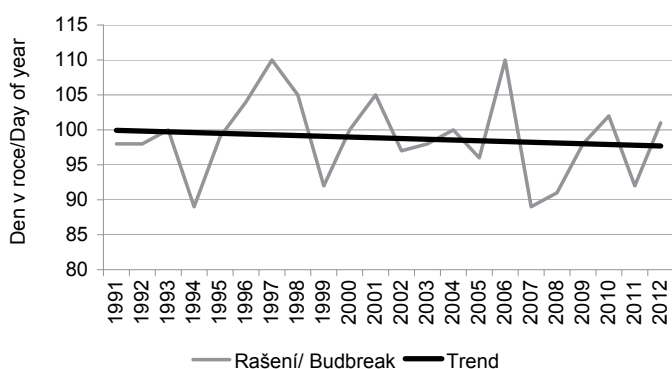
Fig. 2.

Meteogram Bílovice

VÝSLEDKY A DISKUSE

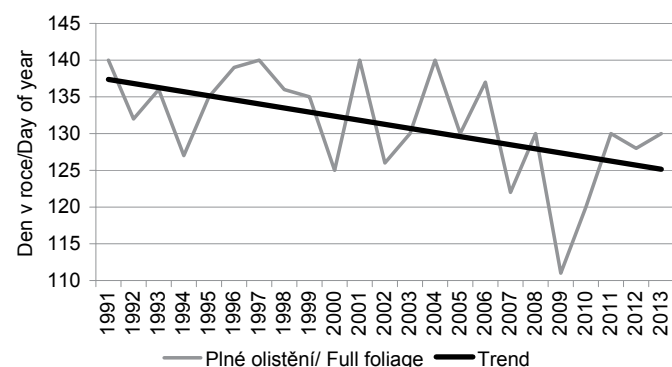
Počátky a trvání jarních fenologických fází u modřínu opadavého (*Larix decidua* Mill.) v jednotlivých letech vykazují značnou variabilitu v závislosti na průběhu počasí, což je patrné z dlouhodobého sledování na Dražanské vrchovině (obr. 3 a 4). Dlouhodobé sledování na Dražanské vrchovině (obr. 3) ukazuje, že datum rašení modřínu opadavého se během 23letého období pohybovalo od 89. dne do 110. dne kalendářního roku. Na základě zhodnocených výsledků je patrné, že v posledních letech dochází k dřívějšímu počátku rašení o 1 až 2 dny. Při hodnocení fenologické fáze plné olistění – zcela rozvinutá listová plocha (obr. 4) je již patrný trend dosažení této fáze za kratší období (o 12 dní), což ukazuje na zkracování délky trvání jednotlivých fenologických fází během jara, v důsledku vyšších teplot v dubnu a květnu, oproti dřívějším rokům (BEDNÁŘOVÁ, MERKLOVÁ 2011). Tato zjištění korespondují s výsledky i dalších autorů z České republiky i zahraničí (ŠKVARENINOVÁ 2008; VITASSE et al. 2009a, 2009b; STŘÍŽ, NEKOVÁŘ 2010; HÁJKOVÁ et al. 2010; HÁJKOVÁ 2012).

Průběh jarních fenologických fází v letech 2011 až 2013 charakterizují obr. 5, 6 a 7. V porostu na lokalitě Bílovice docházelo k rašení modřínu opadavého v průměru o 6 dnů dříve oproti porostu na Dražanské vrchovině. Fenofáze počátek olistování z 10% nastala na ploše v Bílovicích o 5 dnů dříve. Začátek olistování z 50% nastal na této ploše o 6 dnů dříve a začátek olistování z 100% o 5 dnů dříve oproti nástu-



Obr. 3. Dlouhodobý trend rašení

Fig 3. The long-term trend of bud break



Obr. 4. Dlouhodobý trend plného olistění

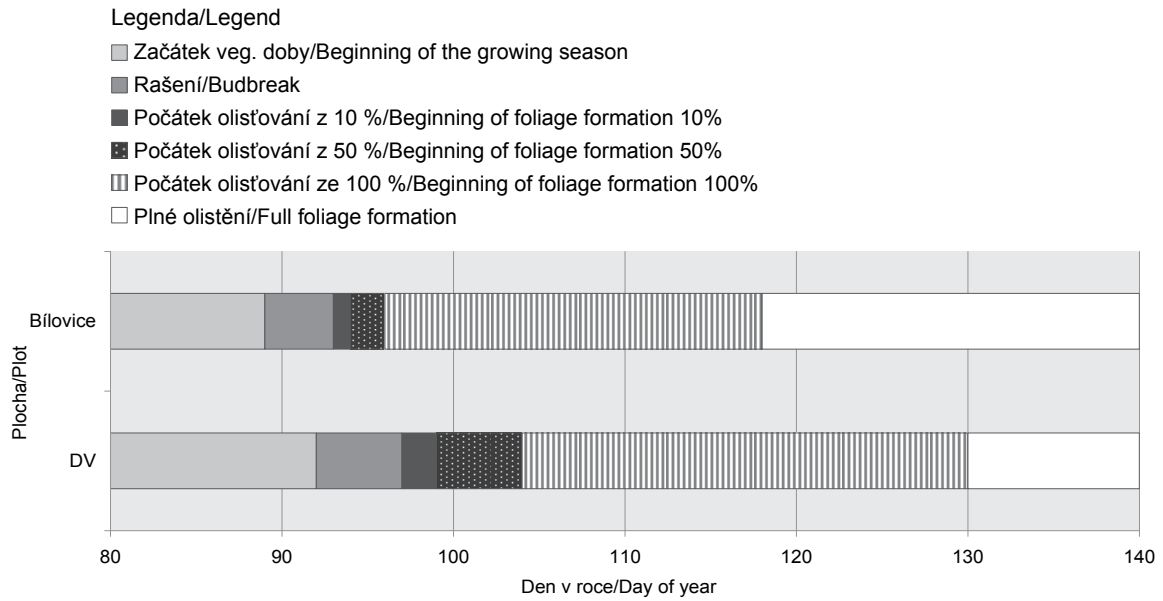
Fig. 4. The long-term trend of full foliage

pu této fáze na Dražanské vrchovině. K plnému rozvoji listové plochy došlo na lokalitě Bílovice v průměru o 7 dní dříve. Rozdílný nástup fenofází u modřínu opadavého na sledovaných lokalitách je dán vertikálním fenologickým gradientem. Naše zjištění jsou v souladu i s údaji dalších autorů (HÁJKOVÁ et al. 2010; ŠKVARENINOVÁ 2013). U jarních fenologických fází modřínu opadavého je výškový gradient posunu fenofáze obvykle o 3 dny/100 m (HÁJKOVÁ et al. 2012). Získané výsledky potvrzují, že počátky a trvání časných jarních fenologických fází jsou závislé především na průběhu teplot koncem zimy a vývoji teplot již během časného jara. Souvislost s teplotními poměry v tomto období ve své práci potvrdili i PRIWITZER, MINĐÁŠ (1998), ŠKVARENINOVÁ (2007), STŘELCOVÁ et al. (2008), BEDNÁŘOVÁ et al. (2013).

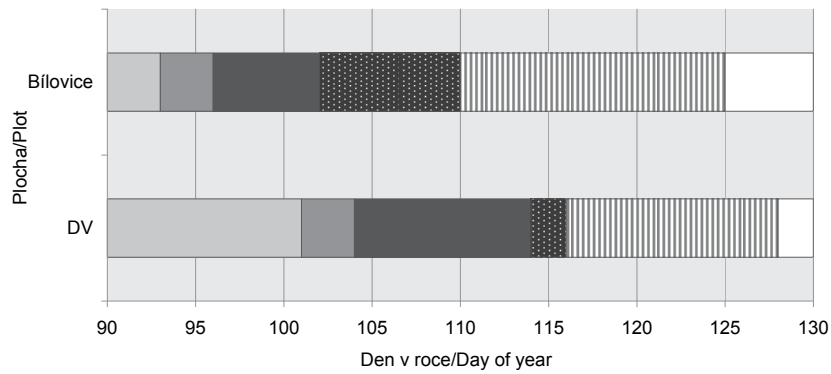
Statistické zhodnocení vlivu teplot vzduchu (obr. 8) na počátek rašení modřínu opadavého (*Larix decidua* Mill.) prokázalo vysokou závislost na průměrných denních teplotách již během měsíce února a března $R^2 = 0,80$ ($y = -4,43x + 96,5$). Nástup fenologické fáze rašení je velmi ovlivněn i teplotou půdy (obr. 8) $R^2 = 0,81$ ($y = -5,83x + 101,09$). Předcházející studie zabývající se vlivem klimatických faktorů na počátek rašení rovněž prokazují závislost na teplotě vzduchu i půdy (BEDNÁŘOVÁ, KUČERA 2002; MERKLOVÁ, BEDNÁŘOVÁ 2008; BEDNÁŘOVÁ, MERKLOVÁ 2011; BEDNÁŘOVÁ et al. 2013). Tato zjištění jsou v souladu i s údaji dalších autorů (SPARKS et al. 2006; MIGLIAVACCA et al. 2008).

Průběhy podzimních fenologických fází u modřínu opadavého jsou patrné z obr. 9, 10 a 11. V hodnoceném období 2011 až 2013 nastalo žloutnutí listů z 10% (počátek žloutnutí) na Dražanské vrchovině 282. den od počátku roku. V Bílovicích až o tři dny později. Fenologická fáze opad listů z 10% nastala na Dražanské vrchovině 292. den, v Bílovicích 301. den. Žloutnutí listů z 100% bylo na Dražanské vrchovině zaznamenáno 305. den a v Bílovicích o pět dnů později. K opadu listů došlo na výše položené lokalitě 328. den a na ploše ŠLP, která je položena o 325 m níže, až 334. den od počátku roku. I zde se potvrzuje nástup podzimních fenologických fází v souladu s vertikálním fenologickým gradientem, který u podzimních fenologických fází vykazuje hodnotu 2 dny/100 m (HÁJKOVÁ et al. 2012). Trend dlouhodobého sledování na Dražanské vrchovině (obr. 12 a 13) ukazuje, že v posledních letech dochází k pozdějšímu žloutnutí listů i jejich pozdějšímu opadu, čímž se délka vegetační doby prodlužuje. V letech 1991 až 2006 byla délka období od rašení do 100% opadu listů 221 dnů. V období 2007 až 2013 se toto stadium prodloužilo o 9 dnů. Získaný výsledek je v souladu s údaji i dalších autorů (CHMIELEWSKI, RÖTZER 2001; MENZEL, DOSE 2004; MOŽNÝ, NEKOVÁŘ 2007; HÁJKOVÁ et al. 2010, 2012; ŠKVARENINOVÁ 2013; BEDNÁŘOVÁ et al. 2013).

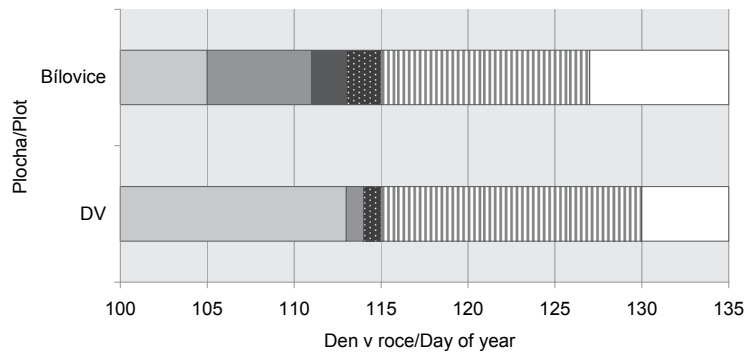
Nástup jarních fenologických fází je značně ovlivněn změnami teplot vzduchu. LARCHER (2003) uvádí, že doba jejich nástupu závisí především na překročení určitých teplotních hranic. Spolehlivou charakteristikou, která vyjadřuje tuto závislost, je suma průměrných denních teplot vzduchu za určité časové období. Mnozí autoři v oblasti lesnického výzkumu (BAGÁR, NEKOVÁŘ 2007; ŠKVARENINOVÁ 2007, 2008; HÁJKOVÁ et al. 2010) ji ve svých pracích užívají jako hodnotící kritérium pro začátek fenologických fází. Je však nutno připomenout, že začátek každé fenologické fáze závisí i na dalších faktorech – vlhkostních poměrech, intenzitě světla a půdních vlastnostech. Jako biologické kritérium posouzení závislosti fenologických fází na meteorologických prvcích byly použity sumy průměrných denních teplot vyšších jak $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ (TS_0). Na výzkumné ploše Ústavu ekologie lesa Dražanská vrchovina (v období 2011 až 2013) bylo zaznamenáno rašení modřínu opadavého při sumě $TS_0 = 199,8\text{ }^{\circ}\text{C}$. Rašení modřínu opadavého na výzkumné ploše Bílovice nastalo při sumě $TS_0 = 362,7\text{ }^{\circ}\text{C}$. Fáze začátek olistování z 10% nastala ve výše položené lokalitě při hodnotě $TS_0 = 227,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ a v níže položené lokalitě při $TS_0 = 430,7\text{ }^{\circ}\text{C}$. Začátek odlistování z 50% nastal na Dražanské vrchovině při hodnotě $TS_0 = 251,4\text{ }^{\circ}\text{C}$, v Bílovicích při $TS_0 = 468,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Fáze začátek olistování ze 100% byla podmíněna na výše položené ploše hodnotou $TS_0 = 272,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ a v nižší poloze $TS_0 = 520,6\text{ }^{\circ}\text{C}$. Plné olistění bylo na Dražanské vrchovině při sumě $TS_0 = 499,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ a v Bílovicích při sumě $TS_0 = 808,5\text{ }^{\circ}\text{C}$.



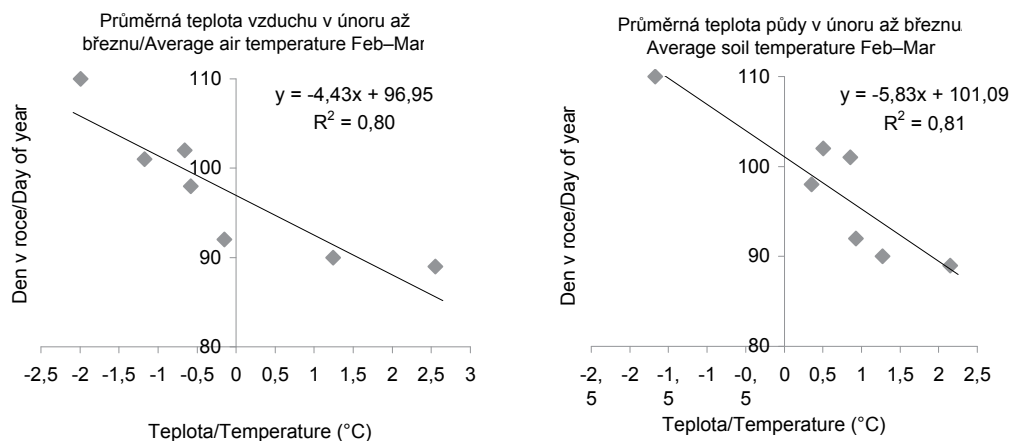
Obr. 5.
Průběh jarních fenofází v roce 2011
Fig. 5.
Phenological stages development in spring 2011



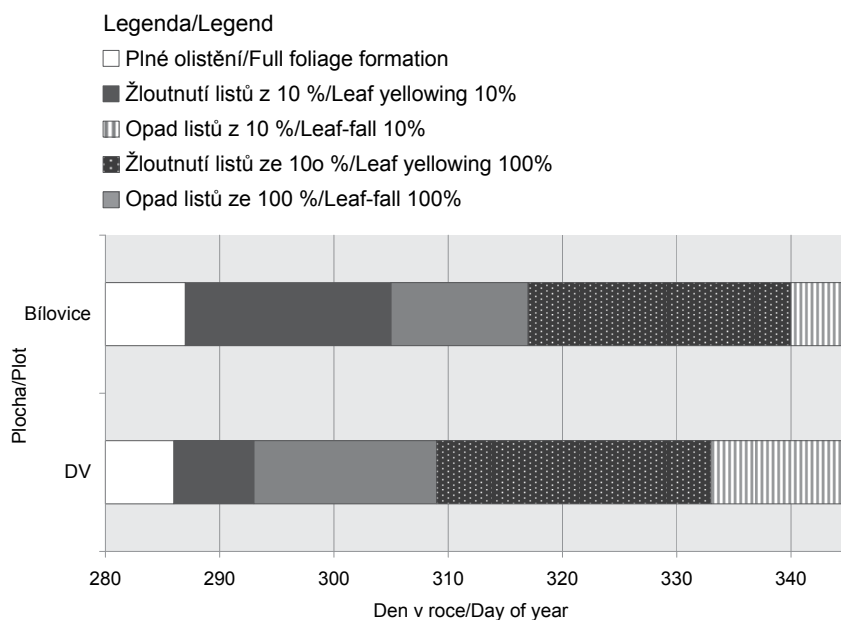
Obr. 6.
Průběh jarních fenofází v roce 2012
Fig. 6.
Phenological stages development in spring 2012



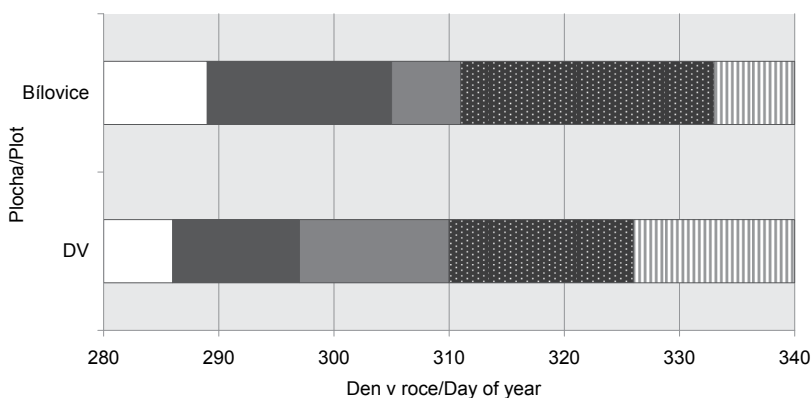
Obr. 7.
Průběh jarních fenofází v roce 2013
Fig. 7.
Phenological stages development in spring 2013



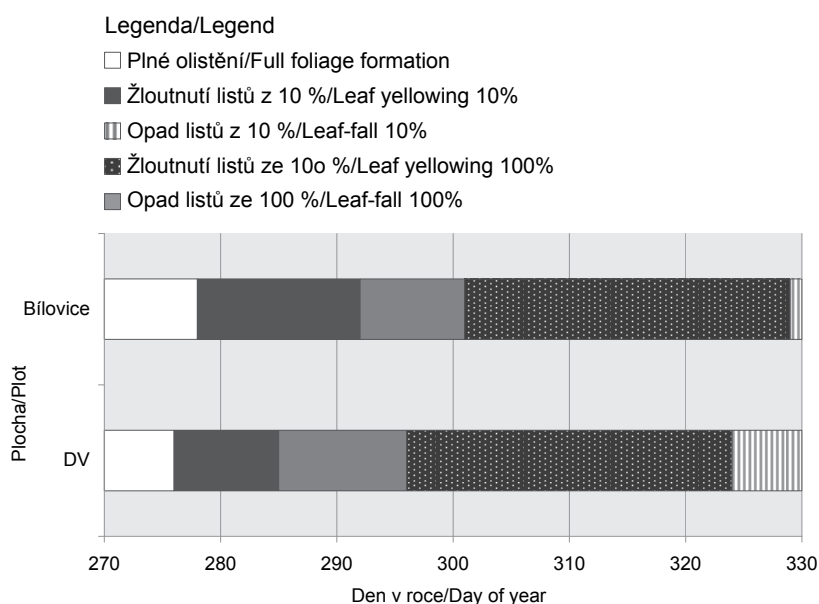
Obr. 8.
Závislost rašení na teplotě půdy a vzduchu
Fig. 8.
Dependence of bud break on the soil and air temperature



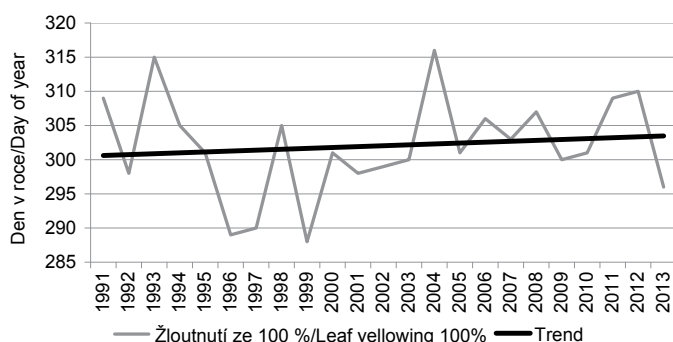
Obr. 9.
Průběh podzimních fenofází v roce 2011
Fig. 9.
Phenological stages development in autumn 2011



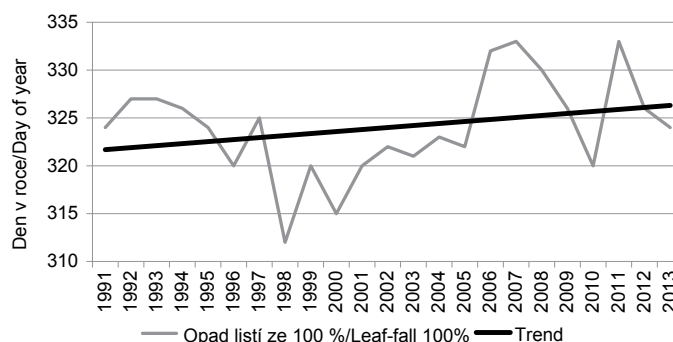
Obr. 10.
Průběh podzimních fenofází v roce 2012
Fig. 10.
Phenological stages development in autumn 2012



Obr. 11.
Průběh podzimních fenofází v roce 2013
Fig. 11.
Phenological stages development in autumn 2013



Obr. 12.
Dlouhodobý trend žloutnutí ze 100 %
Fig. 12.
The long-term trend of leaf yellowing 100%



Obr. 13.
Dlouhodobý trend opadu listů ze 100 %
Fig. 13.
The long-term trend of leaf dropping 100 %

Podzimní fenologické fáze, které jsou ovlivněny nejen srážkovou činností, ale i zkrácováním délky dne a klesáním nočních teplot, byly podmíněny ve výše položené lokalitě při počátku žloutnutí listů sumou $TS0 = 2905,5$ °C. V níže položené lokalitě sumou $TS0 = 3861,4$ °C. Žloutnutí listů ze 100 % nastalo ve vyšší poloze při sumě $TS0 = 3017,3$ °C a v nižší lokalitě při sumě $TS0 = 4094,4$ °C. Opad listů ze 100 % nastal na Dražanské vrchovině při hodnotě $TS0 = 3122,6$ °C a na výzkumné ploše Bílovice při hodnotě $4217,4$ °C.

Při hodnocení období 1991 až 2013 na Dražanské vrchovině bylo zjištěno, že pro nástup fenologické fáze rašení byla dostačující suma $TS0 = 131,8$ °C. Pro fázi počátek olistování z 10 % suma $TS0 = 153,1$ °C a pro fázi počátek olistování ze 100 % $TS0 = 178,2$ °C. Plné olistění nastalo již při hodnotě $TS0 = 431,9$ °C. V posledních letech dochází na obou lokalitách k žloutnutí i opadu listů při vyšších teplotních sumách a prodlužuje se délka vegetačního období. Rovněž se prodlužuje

období mezi zežloutnutím listů (100%) a jejich celkovým opadem, což má za následek, že delší dobu rostlina neasimuluje a vyčerpává zásoby. Dlouhodobé trvání tohoto stavu by mohlo mít za následek zhoršování zdravotního stavu a snižování vitality porostů.

ZÁVĚR

Nástup a trvání fenologických fází u lesních dřevin je ovlivněn nejen genetickými faktory, ale především faktory vnějšími, jako je teplota vzduchu, teplota půdy, vlhkostní poměry, půdní poměry, reliéf terénu a délka slunečního svitu. Dlouhodobé sledování porostu na Dražanské vrchovině (625 m n. m.) ukazuje značnou variabilitu počátku jednotlivých fenologických fází v závislosti na průběhu počasí. V posledních letech dochází v této oblasti k počátku rašení v průměru o 1–2 dny dříve. Délka trvání jarních fenologických fází u modřínu

opadavého se postupně zkracuje následkem vyšších teplot během jarních měsíců oproti dlouhodobému průměru. Podzimní fenologické fáze nastupují později oproti dřívějším letům a délka jejich trvání se prodlužuje do pozdního podzimu. Tím dochází k prodlužování vegetační doby na úkor odpočinkového období. Na níže položené lokalitě ŠLP Křtiny polesí Bilovice (320 m n. m.) docházelo k dřívějšmu nástupu jarních fenologických fází a k pozdějšmu nástupu podzimních fenologických fází, což je v souladu s teplotními poměry a vertikálním fenologickým gradientem. Získané výsledky z této lokality vykazují shodný trend s dlouhodobými výsledky z Dražanské vrchoviny. V obou oblastech se počátky a trvání fenologických fází lišily v závislosti na klimatických podmínkách. Dlouhodobé časové řady fenologických šetření a znalost teplotních změn v průběhu času jsou předpokladem pro úspěšné využití fenologie v problematice hodnocení nastupujících klimatických změn.

Poděkování:

Příspěvek vznikl za podpory projektu „Indikátory vitality dřevin“, reg. č. CZ1.07/2. 3.00/20.0265. Byl též spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem ČR.

LITERATURA

- BAGAR R, NEKOVÁŘ J. 2007. Pozorování růstových podmínek v I.–IV. vegetačním stupni. In: Střelcová, K. et al. (eds.): Bioclimatology and natural hazards. International scientific conference. Proceedings. 17–20 September 2007, Zvolen, Poľana nad Detvou, Slovakia. Zvolen, TU vo Zvolene: 1–7.
- BEDNÁŘOVÁ E., KUČERA J. 2002. Phenological observations of two spruce stand (*Picea abies* /L./ Karst.) of different age in the years 1991–2000. *Ekológia* (Bratislava), 21 (Supplement 1/2002): 98–106.
- BEDNÁŘOVÁ E., MERKLOVÁ L. 2008. A phenological study on European larch (*Larix decidua* Mill.) in the Dražanská vrchovina highlands. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 56 (2): 13–20.
- BEDNÁŘOVÁ E., MERKLOVÁ L. 2011. Evaluation of vegetative phenological stages in a spruce monoculture depending on parameters of the environment. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 59 (6): 31–36.
- BEDNÁŘOVÁ E., TRUPAROVÁ S., MERKLOVÁ L. 2012. Monitoring the spring phenological stages in a spruce monoculture in the Dražanská vrchovina upland in 2005–2011. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 60 (6): 15–20.
- BEDNÁŘOVÁ E., SLOVÍKOVÁ K., TRUPAROVÁ S., MERKLOVÁ L. 2013. Results of a phenological study of the European larch (*Larix decidua* Mill.) growing in a mixed stand. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 61 (5): 1239–1246.
- GÖMÖRY D. 2010. Dopad klimatickej zmeny a zhodnotenie zraniteľnosti územia v sektore „Lesné ekosystémy a lesné hospodárstvo“. In: Škvarenina J. et al. (eds.): Klimatická zmena a krajina. Zvolen, TU vo Zvolene: Štúdiá Slovenskej bioklimatologickej spoločnosti, SAV, XXV: 44–65.
- HÁJKOVÁ L., NEKOVÁŘ J., RICHTEROVÁ D. 2010. Assessment of vegetative phenological phases of European beech (*Fagus sylvatica* L.) in relation to effective temperature during period of 1992–2008 in Czechia. *Folia Oecologica*, 37: 152–161.
- HÁJKOVÁ L., VOŽENÍLEK V., TOLASZ R. 2012. Atlas fenologických poměrů Česka. Praha, ČHMÚ; Olomouc, Univerzita Palackého v Olomouci: 311 s.
- HAVLÍČEK V. et al. 1986. *Agrometeorologie*. Praha, SZN: 260 s.
- CHMIELEWSKI F. M., RÖTZER T. 2001. Response of tree phenology to climate change across Europe. *Agricultural and Forest Meteorology*, 108: 101–112.
- KRAMER K., LEINONEN I., LOUSTAU D. 2000. The importance of phenology for the evaluation of impact of climate change on growth of boreal, temperate and Mediterranean forests ecosystems: an overview. *International Journal of Biometeorology*, 44: 67–75.
- LARCHER W. 2003. *Physiological plant ecology. Ecophysiology and stress physiology of functional groups*. Berlin, Springer: 513 p.
- LINDERHOLM H. 2006. Growing season changes in the last century. *Agricultural and Forest Meteorology*, 137: 1–14.
- MENZEL A., DOSE V. 2004. Phänologie als Klimaindikator – neue Methoden. *Forstliche Meteorologie und Hydrologie*, II: 54–58.
- MERKLOVÁ L., BEDNÁŘOVÁ E. 2008. Results of a phenological study of the tree layer of a mixed stand in the region of the Dražanská vrchovina Upland. *Journal of Forest Science*, 54, 7: 294–305.
- MIGLIAVACCA M., CEMONESE E., COLOMBO R., Busetto L., GALVAGNO M., GANIS L., MERONI M., PARI E., ROSSINI M., SINISCALCO C., CELLA U.M. DI 2008. European larch phenology in the Alps: can we grasp the role of ecological factors by combining field observations and inverse modelling? *International Journal of Biometeorology*, 52: 587–605.
- MOŽNÝ M., NEKOVÁŘ J. 2007. Dlouhodobé kolísání počátku vegetační sezony v Polabí v letech 1876–2005. *Meteorologické zprávy*, 60 (4): 23–26.
- PRIWITZER T., MINĐÁŠ J. 1998. Výsledky fenologických pozorování lesných dřevin v letech 1993–1997 na lokalitě Poľana – Hukavský grúň. *Vedecké práce Lesníckeho výskumného ústavu vo Zvolene*, 42: 17–32.
- SPARKS T.H., HUBER K., CROXTON P. 2006. Plant development scores from fixed-date photographs: the influence of weather variables and recorder experience. *International Journal of Biometeorology*, 50 (5): 275–279.
- STŘÍŽ M., NEKOVÁŘ J. 2010. Prostorová a časová analýza prvních květů a prvních listů smrku obecného (1961–1990 a 1991–2006). *Meteorologické zprávy*, 63 (4): 101–107.
- ŠKVARENINOVÁ J. 2007. Charakteristika fenologických fází jelše lepkavej (*Alnus glutinosa* /L./ Gaertn.) v Arborete Borová hora v letech 1987–2006. *Acta Facultatis Forestalis Zvolen*, XLIX (1): 17–29.
- ŠKVARENINOVÁ J. 2008. Start of spring phenophases in pedunculate oak (*Quercus robur* L.) in the Zvolenská Basin, in relation to temperature sums. *Meteorological Journal*, 11 (1-2): 15–20.
- ŠKVARENINOVÁ J. 2012. Fenológia rastlín v meniacich sa podmienkach prostredia. Zvolen, Technická Univerzita vo Zvolene: 102 s.
- ŠKVARENINOVÁ J. 2013. Vplyv klimatických podmienok na fenologickú odozvu ekosystémov. *Vedecká monografia*. Zvolen, Technická Univerzita vo Zvolene: 132 s.
- STŘELCOVÁ K., PRIWITZER T., MINĐÁŠ J. 2008. Phenological phases and transpiration of European beech in the mountain mixed forest. *Meteorological Journal*, 11 (1-2): 21–29.
- VITASSE Y., DELZON S., DUFRENE E., PONTILLER J.Y., LOUVET J.M., KREMER A., MICHALET R. 2009a. Leaf phenology sensitivity to temperature in European trees: do within-species population exhibit similar responses? *Agricultural and Forest Meteorology*, 149 (5): 735–744.
- VITASSE Y., PORTÉ A.J., KREMER A., MICHALET R., DELZON S. 2009b. Responses of canopy duration to temperature changes in four temperate tree species: relative contributions of spring and autumn leaf phenology. *Oecologia*, 161 (1): 187–198. DOI: 10.1007/s00442-009-1363-4

EUROPEAN LARCH (*LARIX DECIDUA* MILL.) PHENOLOGY IN MIXED FOREST STANDS GROWING IN DIFFERENT ALTITUDES

SUMMARY

In this paper the authors present results of a phenological study on European larch (*Larix decidua* Mill.) trees growing in two localities in different altitudes. In both cases, trees of European larch grew in mixed stands of the 2nd age category. In the locality with the altitude of 625 m above sea level, the phenological study was performed within the period of 1991–2013. The area is characterized by coordinates 16°41'30''E and 49°26'31''N in the geographical unit of the Drahanská vrchovina Highland (Czech Republic), while in the area with the elevation of 320 m a.s.l., the corresponding phenological study was performed in the period of 2011–2013. This research plot is characterized by coordinates 16°41'3, 18''E and 49°15'8, 07''N. Phenological observations were carried out according to the methodology of the Czech Hydrometeorological Institute, and the vegetative phenological stages were observed. Experiments were complemented with monitoring of essential environmental parameters. In the studied forest stands, air temperatures were monitored using the Datalogger sensors placed on the lower margin of crowns. The soil temperature was measured by sensor at the depth of 20 cm. For monitoring of precipitations, the Climatronic rain gauge and the datalogger MicroLog ER were installed in the open area.

In individual years, onsets and durations of phenological stages differed and were dependent on the weather. The dependence of the onset of flushing on the weather is illustrated in Fig. 3 and 4. Temperature requirements of European larch were expressed as sums of air temperatures recorded within periods preceding onsets of individual phenological stages. The time of the onset of spring phenophases depends on the moment when a certain temperature level is exceeded. However, it is necessary to mention that the beginning of each phenological stage is dependent also on several other factors, e.g. humidity, light intensity, soil properties etc. Statistical analysis of obtained results corroborated that the onset of spring phenological stages was influenced by (and dependent on) air and soil temperatures existing at the end of winter and in early spring. The dependence of the onset of flushing on air temperatures occurring during the period under study is illustrated in Fig. 8; it was also corroborated by the calculated coefficient $R^2 = 0.80$ ($y = -4.43x + 96.95$). Dependence of the beginning of spring phenophases on soil temperatures was characterized by the coefficient $R^2 = 0.81$ ($y = -5.83x + 101.09$). These observations were similar as those published by other authors. Higher spring temperatures resulted in a shortening of the length of spring phenological stages. Autumnal phenological stages began later and lasted till the late autumn. Within the study period, the growing season was prolonged by 9 days as compared with results of a long-term monitoring. This means that the growing season was prolonged and that sums of temperatures were higher.

This phenomenon was obviously caused by higher temperatures recorded in the autumn. The duration of the growing season was prolonged to the detriment of the length of dormancy in all localities. However, from the long-term aspect, this phenomenon can have negative effects on the health condition of forest stands.

The evaluation of obtained data corroborated the existence of vertical phenological gradient (Fig. 5, 6 and 7). Long-term phenological studies can be therefore used (together with results of a simultaneous monitoring of environmental parameters) as a reliable bioindicator of climatic changes.