

FENOLÓGIA VYBRANÝCH LISTNATÝCH LESNÝCH DREVÍN V SUBMONTÁNEJ BUČINE: DVADSAŤROČNÁ ANALÝZA

PHENOLOGY OF SELECTED BROAD-LEAVED FOREST TREES IN A SUBMOUNTAIN BEECH FOREST: TWO-DECADE ANALYSIS

BRANISLAV SCHIEBER ✉ - MARTIN KUBOV

Ústav ekológie lesa SAV, Štúrova 2, SK - 960 53 Zvolen, Slovak Republic

✉ e-mail: schieber@savzv.sk

ABSTRACT

Phenology of three selected deciduous forest tree species (*Carpinus betulus* L., *Tilia cordata* Mill., *Quercus dalechampii* Ten.) was studied in a submountain beech forest stand in central Slovakia. Two spring phenological phases – bud-burst and leaf unfolding 50% as well as two autumnal phases – leaf discolouration 10% and 50%, respectively were monitored over the period of twenty years (1995–2014). Analysis of the air temperature showed its increasing values mainly in the period from April to August. On the other hand, the values of cumulative rainfall totals for the period from May to August had not clear trend. They were strongly volatile among the years with oscillation around the long-term average. Results of phenological research referred to the interannual variability in dating of phenological phases within the species, also the differences among the species were found. The significant correlations ($P < 0.05$) were detected between dating of leaf unfolding and air temperature; the coefficients of correlation (r) moved from 0.83 (hornbeam) to 0.90 (oak). Correlations between cumulative rainfall totals and timing of autumnal leaf discolouration were significantly lower. Trend analysis revealed temporal changes in onset of the phenophases. Average onset of spring phenological phases was shifted to earlier dates, but trend in onset of the autumnal phenophases was the opposite. Onset of leaf discolouration was shifted to later dates, so vegetation period was extended. Among the trees, the dynamics of leaf unfolding did not show significant temporal changes, only hornbeam was the exception.

Kľúčové slová: hrab obyčajný, dub žltkastý, lipa malolistá, *Carpinus betulus* L., *Quercus dalechampii* Ten., *Tilia cordata* Mill., fenologické fázy, pučanie, zalisťovanie, prefarbovanie listov, teplota vzduchu, úhrny zrážok

Key words: hornbeam, oak, linden tree, *Carpinus betulus* L., *Quercus dalechampii* Ten., *Tilia cordata* Mill., phenological phases, bud burst, leaf unfolding, leaf discolouration, air temperature, rainfall totals

ÚVOD

Lesný ekosystém predstavuje zložitý systém, ktorý tvoria vzájomne závislé a značne komplikované vzťahy. Správa o lesnom hospodárstve v Slovenskej republike (SR) (SPRÁVA 2014) uvádza, že listnaté dreviny majú v lesných porastoch na území Slovenska takmer 61% plošné zastúpenie. Okrem dominantného postavenia hlavnej porastotvornej dreviny *Fagus sylvatica* L. (32,7%) má spomedzi listnatých druhov značné zastúpenie hlavne rod *Quercus* (13,1%), príp. *Carpinus betulus* (5,8%), kým *Tilia cordata* je menej zastúpená (0,40%). Uvedené dreviny sa v SR sledujú v rámci fenologického monitoringu SHMÚ (fenologické pozorovanie lesných rastlín), výsledky ktorého slúžia na určenie nástupu, priebehu a doznievania vybraných fenologických fáz v závislosti od priebehu počasia. Druhy *Tilia cordata* a *Quercus petraea* sa pravidelne sledujú aj v rámci medzinárodného projektu International Phenological Gardens (IPG). Na Slovensku sú v tomto projekte zaradené dve stanice – Arboretum Kysihýbel a Arboretum Mlyňany (CHMIELEWSKI 1996). Pozorovaním fenologických fáz spomínaných drevín sa zaoberalo viacero domácich a zahraničných autorov. KÖRNER, BASLER (2010) uvádzajú rozdielnosť požiadaviek

na nástup jarných fenologických fáz u vybraných druhov drevín. Ako uvádzajú, druh *Carpinus betulus* L. začne svoju fenologickú aktivitu na základe jarného otepľovania a dostatočného počtu chladových dní (chilling days). ÖZTÜRK et al. (2015) sa na základe analýz listovej plochy zameral na fenofázu zalisťovania u druhu *Carpinus betulus* L. vo vzťahu k teplote pôdy a prostredia. ŠKVARENINOVÁ (2009, 2013, 2015) na základe dlhodobého 25ročného pozorovania v Arborete Borová hora charakterizuje fenologické prejavy u vybraných drevín, medzi inými aj u druhu *Tilia cordata* Mill.

Je všeobecne známe, že začiatok a trvanie jednotlivých fenofáz je okrem ekologických podmienok ovplyvnené aj genetickými vlastnosťami jedincov. Okrem už spomínaných ekologických a genetických faktorov má na nástup a priebeh fenofáz významný vplyv hlavne klíma, ktorá pôsobí priamo na lesné ekosystémy (MENZEL et al. 2001). CHMIELEWSKI, RÖTZER (2001) uvádzajú, že so zmenou klímy môžeme očakávať predĺženie vegetačného obdobia. Zatiaľ však nie je jasné ako tieto zmeny ovplyvnia vývoj drevín, ak budú ich regulačné mechanizmy narušené. Niektoré štúdie (VITASSE et al. 2009; ROBSON et al. 2013) poukazujú na rozdielnu citlivosť zalisťovania vybraných druhov

drevín v dôsledku možných vplyvov klimatickej zmeny. V listnatých lesoch mierneho pásma sú to predovšetkým teplota v zimnom a jarnom období, vlhkosť ako aj fotoperiódna (GILL et al. 1998; AHAS et al. 2000; KIKUZAWA 2003; HÁJKOVÁ et al. 2010; LAUBE et al. 2014), ktoré ovplyvňujú intenzitu fyziologických pochodov v rastlinách. Môžu mať aj protektívny účinok pred možnými nežiaducimi dôsledkami, ktoré by nastali, ak by reagovali napr. na zvýšenú teplotu počas obdobia nevhodného pre ich vývin (KÖRNER, BASLER 2010). SCHEIFINGER et al. (2007) poukazuje na fakt, že rastliny intenzívne reagujú najmä na vzrastajúcu teplotu, pričom najzreteľnejšie zmeny sú viditeľné v jarnom období. Na druhej strane vplyv faktorov na nástup jesenných fenologických fáz je stále nedostatočne vysvetlený (MENZEL 2002; WALTHER et al. 2002). Isté korelácie medzi načasovaním nástupu jesenných fenofáz a zrážkami zistili WIELGOLASKI (1999), KRAMER et al. (2000) alebo PEÑUELAS et al. (2002). MENZEL et al. (2001) poukazuje na skutočnosť, že nie všetky dreviny reagujú rovnako v prípade ukončenia ich vegetačného obdobia, pričom jeho posun do neskorších termínov nie je u niektorých drevín pozorovaný.

Dlhodobý fenologický výskum predstavuje dôležité doplnujúce informácie v rámci celkového stavu a dynamiky klímy. Analýza variability začiatku, priebehu a ukončenia fenologických fáz drevín počas jednotlivých vegetačných období prispieva k dôkladnejšiemu poznaniu ich nárokov na podmienky prostredia. Výsledky viacročných fenologických pozorovaní možno využiť napr. aj na sledovanie vplyvu meniacich sa podmienok prostredia na zmeny v priestorovej distribúcii jednotlivých druhov drevín, ako aj na ich fenologickú odozvu – načasovanie nástupu a priebeh jednotlivých fenologických fáz (BRASLAVSKÁ 2000).

V nadväznosti na uvedené fakty je cieľom tejto práce analýza výsledkov 20ročných pozorovaní nástupu a priebehu vybraných jarných a jesenných vegetatívnych fenologických fáz a ich vzťah k niektorým významným ekologickým faktorom (teplota, zrážky) u troch listnatých lesných drevín (*Carpinus betulus*, *Quercus dalechampii*, *Tilia cordata*) v prostredí submontánnej bučiny na strednom Slovensku.

MATERIÁL A METODIKA

Výskum sa vykonával na Ekologickom experimentálnom stacionári (EES) Kremnické vrchy, ktorý je zaradený do medzinárodnej siete LTER (Long-Term Ecological Research: <http://www.lter-europe.net/networks>). EES sa nachádza v JV časti pohoria Kremnické vrchy v lokalite Suchá dolina (48° 38' SZŠ a 19° 04' VZD). Geomorfologicky je EES tvorený pravidelným svahom, ktorý je miestami mierne konvexno-konkávny. Výškovo je relatívne málo diferencovaný (450–520 m n. m.). Mezoreliéf EES má Z až JZ expozíciu so sklonom 5–15°. Materský pôdny substrát predstavujú svahoviny andezitových tufových aglomerátov, z ktorých sa vyvinuli kambizeme s vysokým obsahom skeletu, a to hlavne na vrcholovej a podsvahovej časti. Pôda je tvorená hlavným a bazálnym súvrstvom zvetralín nachádzajúceho sa v hĺbke 50–80 cm. Na úpätí je vyvinutý pás ilimerizovaných pôd dvojsubstrátových (KUKLA 1990). Vegetácia územia patrí v rámci Holarktídy do stredoeurópskej časti eurosibírskej floristickej oblasti (HENDRYCH 1984). Nachádza sa v oblasti *Carpathicum occidentale*, obvodu *Preacarpathicum occidentale*, okresu Slovenské stredohorie a podokresu Kremnické vrchy (FUTÁK et al. 1966). Podľa Križovej (KRIŽOVÁ 1993) je vegetácia tvorená mozaikou lesných typov 3. vegetačného stupňa, živného radu B, skupiny lesných typov *Querceo-Fagetum*. Drevinové zloženie je relatívne pestré, tvorené hlavne taxónmi *Fagus sylvatica* L., *Abies alba* Mill., *Quercus dalechampii* Ten., *Carpinus betulus* L. a *Tilia cordata* Mill., primiešané dreviny predstavujú *Salix caprea* L., *Populus tremula* L., *Betula pendula* Roth., *Acer pseudoplatanus* L., *Cerasus avium* (L.) Moench a *Picea abies* L. Územie, kde prebiehal výskum, sa nachádza v mierne teplej klimatickej oblasti, mierne teplom a mierne vlhkom vrchovinovom klimatickom okrsku. Priemerná ročná teplota

(DP_{1951–1980}) dosahuje hodnotu 6,8 °C, vo vegetačnom období 13,1 °C. Priemerné mesačné teploty vzduchu (DP_{1951–1980}) sa v januári a v júli pohybujú okolo - 4,0 °C, resp. + 17,0 °C (STŘELEČEK 1992; MIKLÓS et al. 2002). Detailnejšie informácie sú uvádzané v prácach: KONTRIŠ et al. 1993; KRIŽOVÁ 1993; KODRÍK 2002; BARNA 2004; KUKLOVÁ et al. 2005; KELLEROVÁ, JANÍK 2006; BARNA, SCHIEBER 2011; JANÍK et al. 2011; SCHIEBER et al. 2015; BARNA, BOŠELA 2015.

Metodika fenologických pozorovaní vychádzala z „Metodického predpisu“ štandardne používaného v rámci fenologického monitoringu SHMÚ pre pozorovanie lesných rastlín (BRASLAVSKÁ, KAMENSKÝ 1996). Počas dvadsaťročného obdobia (1995–2014) sa v pravidelných intervaloch vykonávali fenologické pozorovania na súbore jedincov vybraných lesných drevín *Quercus dalechampii*, *Carpinus betulus* a *Tilia cordata*. Ten pozostával z minimálne desiatich dospelých úrovňových jedincov rastúcich v lesnom poraste, s vylúčením jedincov extrémnych fenologických foriem (veľmi skoré alebo veľmi neskoré). Sledovali a vyhodnocovali sa vybrané jarné a jesenné vegetatívne fenofázy: začiatok pučania (ZP), všeobecné zalistovanie (VZ), začiatok žltnutia listov (ZŽL) a všeobecné žltnutie listov (VŽL). Začiatok konkrétnej fenofázy predstavoval termín, kedy táto dosiahla 10% nástup, kým za všeobecný nástup bol považovaný deň, kedy sa pozoroval jej 50% nástup. Dynamika zalistovania (DZ) bola vyjadrená trvaním medzifázového intervalu *pučanie–všeobecné zalistovanie* a dĺžka vegetačného obdobia (DVO) trvaním doby od všeobecného zalistovania do nástupu všeobecného žltnutia listov. Termíny nástupu fenologických fáz boli vyjadrené ako poradové dni roka počítané od prvého januára. Základné klimatické dáta vybraných meteorologických faktorov (teplota vzduchu, zrážky) za sledované obdobie (1995–2014), ktoré boli podrobené ďalšiemu spracovaniu, pochádzali z databázy najbližšej meteorologickej stanice lokalizovanej na Sliači, vzdalenej asi 5 km západne od našej výskumnej lokality. Nástup všeobecného zalistovania drevín sme porovnali s tzv. kumulovanou kladnou priemernou mesačnou teplotou vzduchu KKPMTV_{III-IV} za obdobie marec–apríl (BRASLAVSKÁ, BORSÁNYI 1996; SCHIEBER 2006). Kumulované úhrny zrážok v období od mája do augusta boli korelované s nástupom začiatku a všeobecného žltnutia listov (KAMENSKÝ, BRASLAVSKÁ 1999). Korelácia dvoch premenných – nástup všeobecného zalistovania vs. KKPMTV, resp. nástup žltnutia (začiatok a všeobecné žltnutie) listov vs. kumulované zrážky bola vyjadrená korelačným koeficientom. Tesnosť korelácie bola vyhodnotená nasledovne: hodnota korelačného koeficientu menšia ako 0,3 – nízky stupeň korelácie, 0,5–0,7 – stredný stupeň a nad 0,7 – vysoký stupeň korelácie (GROFIK et al. 1987). Analyzované údaje boli spracované v programe Statistica® (StatSoft).

VÝSLEDKY

Klimatické podmienky – teplota vzduchu a zrážky

Absolútna (Δ) a štandardizovaná ($\Delta /$ smerodajná odchýlka) diferencie medzi priemernou mesačnou teplotou vzduchu (obdobie 1995–2014) a dlhodobým priemerom DP_{1951–1980} dosiahli kladné hodnoty vo všetkých mesiacoch roka, s výnimkou decembra. Ich evidentný nárast bol pozorovaný hlavne v období apríl–august (obr. 1). Podobne krivka päťročného kľzavého priemeru odchýlky priemernej teploty vzduchu v období marec–apríl poukazuje na výrazný nárast jej hodnoty, predovšetkým v ostatnom desaťročí (obr. 2). Hodnoty kumulovaných zrážkových úhrnov v období máj–august boli medziročne značne rozkolísané, ale v rámci sledovaného dvadsaťročného obdobia oscilovali okolo dlhodobého priemeru (obr. 3).

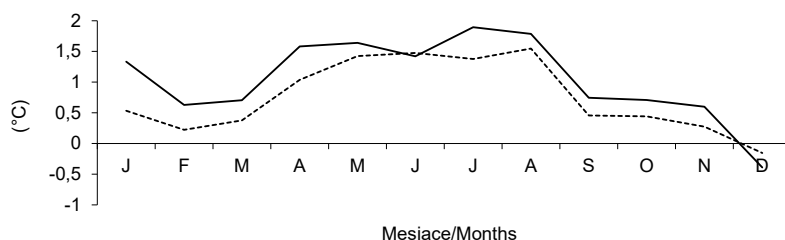
Nástup a priebeh jarných a jesenných fenologických fáz

Základné štatistické charakteristiky nástupu jarných a jesenných fenologických fáz sledovaných drevín počas dvadsaťročného obdobia

výskumu (1995–2014) sú uvedené v tab. 1 a 2. Najskorší priemerný nástup pučania bol pozorovaný u hraba (100. deň – 10. apríl), lipa a dub pučali priemerne v rovnakom termíne (113. deň – 23. apríl). Variačné rozpätie sa pohybovalo od 19 dní u lipy do 31 dní u hraba. Variabilita v nástupe tejto fenofázy, vyjadrená hodnotou variačného koeficientu, sa pohybovala od 4,7% (lipa) do 8,0% (hrab). Rovnako aj priemerný nástup všeobecného zalíšovania bol najskôr zistený u hraba (116. deň

– 26. apríl), kým u lipy a duba bola táto fenofáza pozorovaná o 5 dní neskôr (121. deň – 1. máj). Variačné rozpätie v prípade zalíšovania dosahovalo hodnoty 20 dní (lipa), resp. 26 dní (hrab, dub). Variabilita v nástupe zalíšovania bola relatívne nízka a pohybovala sa od 4,2% (lipa) do 4,9% (hrab, dub).

Najskorší priemerný nástup začiatku žltnutia, resp. všeobecného žltnutia listov bol pozorovaný u lipy (263. deň – 20. september, resp.

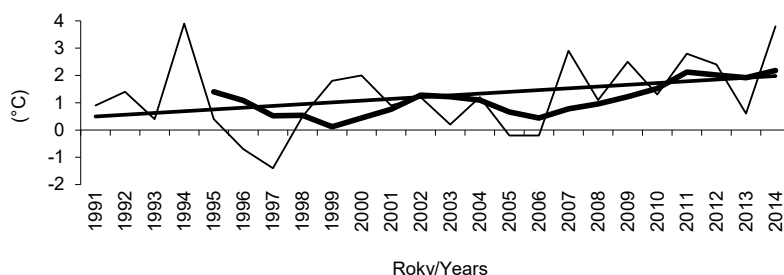


Obr. 1.

Absolútna (plná čiara) a štandardizovaná (prerušovaná čiara) odchýlka medzi priemernou mesačnou teplotou vzduchu za obdobie 1995–2014 a dlhodobým priemerom (1951–1980) na stanici Sliach (stredné Slovensko)

Fig. 1.

Absolute (solid line) and standardized (dashed line) differences between mean monthly air temperatures during the period of 1995–2014 and long-term mean (1951–1980) in the meteorological station Sliach (central Slovakia)

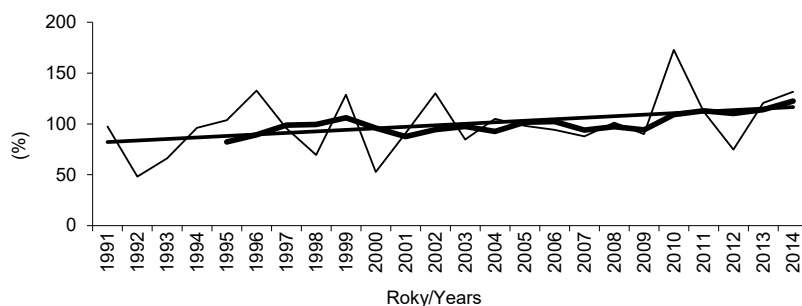


Obr. 2.

Lineárny trend a 5ročný kľzavý priemer odchýlok teploty vzduchu za obdobie marec–apríl na meteorologickej stanici Sliach (stredné Slovensko)

Fig. 2.

Linear trend and 5-year moving average of air temperature deviations for the period March–April in the meteorological station Sliach (central Slovakia)



Obr. 3.

Lineárny trend a 5ročný kľzavý priemer relatívnych hodnôt kumulovaných zrážkových úhrnov za obdobie máj–august vo vzťahu k dlhodobému priemeru (1951–1980) na meteorologickej stanici Sliach (stredné Slovensko)

Fig. 3.

Linear trend and a 5-year moving average of the relative values of cumulative rainfall totals for the period May–August in relation to the long-term average (1951–1980) in the meteorological station Sliach (central Slovakia)

Tab. 1.

 Nástup vybraných jarných fenologických fáz drevín v období 1995–2014
 The onset of selected spring phenophases of trees during the period of 1995–2014

Drevina/Tree*	Fenofázy/Phenophases					
	Začiatok pučania/Bud-burst			Všeobecné zalistenie/ Leaf unfolding 50%		
	C.b.	T.c.	Q.d.	C.b.	T.c.	Q.d.
Minimum (PDR)	80	101	97	100	110	105
Maximum (PDR)	111	120	120	126	130	131
Priemer/Mean (PDR)	100	113	113	116	121	121
Variačné rozpätie/ Variation range (dni/days)	31	19	23	26	20	26
Smer.odchýlka/ Standard deviation (\pm dni/days)	8,0	5,3	5,4	5,7	5,1	5,9
Variačný koeficient/ Coefficient of variation (%)	8,0	4,7	4,8	4,9	4,2	4,9

 *C.b., *Carpinus betulus*; T.c., *Tilia cordata*; Q.d., *Quercus dalechampii*; PDR, poradový deň roka/day of year

Tab. 2.

 Nástup vybraných jesenných fenologických fáz drevín v období 1995–2014
 The onset of selected autumnal phenophases of trees during the period of 1995–2014

Drevina/Tree*	Fenofázy/Phenophases					
	Začiatok žltnutia/ Leaf discolouration 10%			Všeobecné žltnutie/ Leaf discolouration 50%		
	C.b.	T.c.	Q.d.	C.b.	T.c.	Q.d.
Minimum (PDR)	251	245	255	270	267	276
Maximum (PDR)	281	276	282	298	295	299
Priemer/Mean (PDR)	265	263	271	283	278	287
Variačné rozpätie/ Variation range (dni/days)	30	31	27	28	28	23
Smer.odchýlka/ Standard deviation (\pm dni/days)	8,0	7,7	7,0	6,0	7,1	5,3
Variačný koeficient/ Coefficient of variation (%)	3,0	2,9	2,6	2,1	2,6	1,9

 *C.b., *Carpinus betulus*; T.c., *Tilia cordata*; Q.d., *Quercus dalechampii*; PDR, poradový deň roka/day of year

Tab. 3.

 Dynamika zalistovania a dĺžka vegetačného obdobia drevín v období 1995–2014
 Leaf unfolding dynamics and the length of vegetation period of trees during the period of 1995–2014

Drevina/Tree*	Dynamika zalistovania/ Leaf unfolding dynamics			Dĺžka vegetačného obdobia/ Length of vegetation period		
	C.b.	T.c.	Q.d.	C.b.	T.c.	Q.d.
	Minimum (PDR)	9	4	3	155	143
Maximum (PDR)	27	12	12	187	180	187
Priemer/Mean (PDR)	16	8	8	167	157	166
Variačné rozpätie/ Variation range (dni/days)	18	8	9	32	37	38
Smer.odchýlka/ Standard deviation (\pm dni/days)	5,1	2,3	2,9	7,7	9,4	8,9
Variačný koeficient/ Coefficient of variation (%)	31,1	30,1	37,5	4,6	6,0	5,4

 *C.b., *Carpinus betulus*; T.c., *Tilia cordata*; Q.d., *Quercus dalechampii*; PDR, poradový deň roka/day of year

278. deň – 5. október), najneskorší u duba (271. deň – 2. október, resp. 287. deň – 14. október). Variáčne rozpätie pre termín nástupu týchto fenofáz sa pohybovalo od 27 dní (dub) do 31 dní (lipa), resp. od 44 dní (dub) do 50 dní (lipa). Variabilita bola nízka, dosahovala hodnoty 2,6% (dub) až 3,0% (hrab), resp. 1,9% (dub) až 2,6% (hrab).

Základné štatistické charakteristiky dynamiky rozvoja asimilačného aparátu a priemernej dĺžky vegetačného obdobia drevín sú uvedené v tab. 3. Dynamika rozvoja asimilačného aparátu bola vyjadrená trvaním medzifázového intervalu *pučanie-všeobecné zalistovanie*. Tento interval trval v priemere najdlhšie u hraba – 16 dní, kým u ďalších dvoch drevín len 8 dní. Aj variačné rozpätie bolo u hraba dvojnásobné v porovnaní s ostatnými drevinami. Medziročná variabilita dosahovala hodnoty od 30,1% (lipa) do 37,5% (dub). Priemerná dĺžka vegetačného obdobia drevín, vymedzená trvaním medzifázového intervalu *všeobecné zalistovanie-všeobecné žltnutie listov*, sa pohybovala od 157 dní u lipy do 167 dní u hraba. Rozdiel medzi najkratším a najdlhším trvaním vegetačného obdobia predstavoval u hraba 32 dní, u lipy a duba 37, resp. 38 dní. Medziročná variabilita v dĺžke vegetačného obdobia sa pohybovala od 4,6% do 6%.

Korelačná analýza a trendy

Korelačná analýza medzi teplotou vzduchu (KKPMTV_{III-IV}) a nástupom všeobecného zalistovania drevín počas obdobia 20 rokov (1995–2014) potvrdila štatisticky významnú a zároveň negatívnu koreláciu ($P < 0,05$) u všetkých troch druhoch drevín (obr. 4). Koeficienty korelácie dosahovali hodnoty -0,83 (hrab), -0,86 (lipa) a -0,90 (dub). Korelácia medzi kumulovaným zrážkovým úhrnom za obdobie máj–august a začiatkom žltnutia, resp. všeobecným žltnutím listov bola stredná, resp. nízka (obr. 5 a 6).

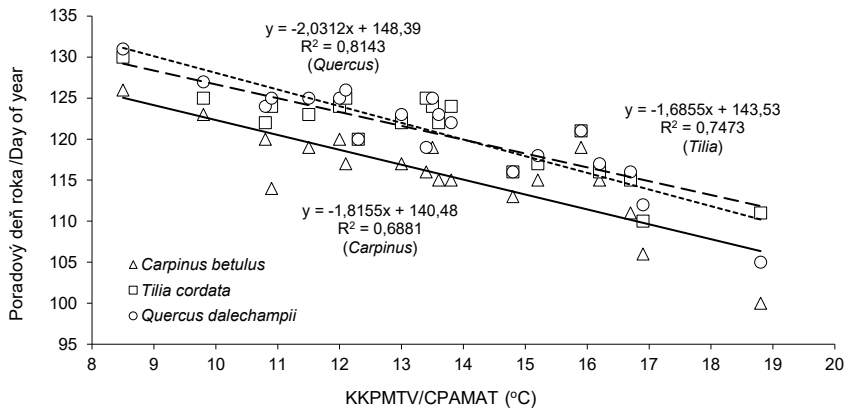
Trendy nástupu študovaných fenologických fáz, dynamiky zalistovania a dĺžky vegetačného obdobia sú znázornené na obr. 7. Trendová analýza poukazuje na posun nástupu jarných fenofáz ku skorším termínom, kým v prípade jesenných fenofáz je trend opačný – nastupujú neskôr. Z uvedeného je zrejme, že vegetačné obdobie sa predlžuje. Na druhej strane dynamika zalistovania sledovaných drevín ostáva relatívne stabilná, okrem hraba nevykazuje výraznejšie zmeny.

DISKUSIA

Z výsledkov je zrejme, že nástup a priebeh fenologických fáz nebol u drevín rovnaký. Pozorovali sme rozdiely nielen medzi drevinami, ale zistili sme aj medziročnú variabilitu v rámci tej istej dreviny v sledovanom období. KÖRNER, BASLER (2010) ako aj LAUBE et al. (2014) uvádzajú, že nástup jednotlivých fenologických fáz je okrem genetických vlastností dreviny (NOVOTNÝ et al. 2015) závislý od teplotných podmienok v jarnom, príp. zimnom období a dĺžky fotoperiód. Viacerí autori potvrdili, že medzi dátumom nástupu jarných fenologických fáz lesných drevín a teplotou je preukázateľná závislosť (BEDNÁŘOVÁ et al. 2013). Potvrdzujú to aj výsledky analýzy KKPMTV_{III-IV}, kedy sme zistili štatisticky významnú koreláciu u všetkých troch druhov drevín. Počas hodnoteného dvadsaťročného obdobia sme zaznamenali najskorší priemerný nástup pučania u hraba, zatiaľ čo lipa a dub pučali priemerne v rovnakom termíne. Domnievame sa, že táto skutočnosť súvisí s biologickými vlastnosťami hraba, ktorý je menej citlivý na fotoperiódou ako iné dreviny (HEIDE 1993a, 1993b), ale významne reaguje na počet chladových dní, tzv. chilling days (KÖRNER, BASLER 2010). Vyššie jarné teploty potom výrazne vplyvajú na intenzitu jeho pučania. Hoci rozdiel v priemernom nástupe pučania medzi hrabom a lipou, resp. dubom predstavuje 13 dní, vo fáze všeobecného zalistovania je priemerný rozdiel len 5 dní. Hrab začína pučať relatívne skoro, priemerne okolo 10. apríla. V tomto období sa často vyskytujú periódny vpád chladného vzduchu z vyšších zemepisných šírok a obdobie zalistovania sa v porovnaní s neskoršími pučiacimi drevinami (dub a lipa), kedy sú priaznivejšie

teplotné podmienky, predlžuje. Lipa oproti tomu vykazuje vyššiu citlivosť na fotoperiódou a počet chladových dní (CAFFARRA, DONNELLY 2011). JUKNYS et al. (2012) sa k tomuto tvrdeniu prikláňajú. Konštatujú, že lipa je tienna až polotienna drevena, ktorá nemá výrazné nároky na pôdu. Avšak vykazuje vyššie nároky na teplotné podmienky a začiatok pučania odkladá do neskorších termínov. Pravdepodobne to súvisí s priaznivejšími klimatickými podmienkami, v neskoršom jarnom období, ktoré umožňujú drevinám ako je lipa, resp. dub rýchly vývoj zalistovania. FLINT (1974) vo všeobecnosti konštatuje, že duby patria k neskoru pučiacim drevinám. Táto genetická schopnosť im umožňuje odolávať a do určitej miery aj uniknúť neskorým jarným mrazom spojeným s poškodeným asimilačným orgánom (DEANS, HARVEY 1995).

Medzi hlavné fenologické fázy, ktoré signalizujú ukončovanie vegetačnej činnosti, patrí žltnutie a opad listov. Žltnutie listov predstavuje relatívne zložitý biochemický proces a je výsledkom postupnej degradácie listového farbiva chlorofylu. Prevalu získavajú ostatné pigmenty obsiahnuté v listoch, ako sú napr. karotenoidy, antokyány a pod. (LARCHER 1995). Z vyhodnotenia priebehu jesenných fenologických fáz začiatku žltnutia, resp. všeobecného žltnutia listov je zrejme, že nesúvisia len s teplotou vzduchu, ale sú ovplyvňované aj množstvo ďalších faktorov. Presná determinácia vplyvu jednotlivých vonkajších faktorov, ktoré ovplyvňujú nástup jesenných fenologických fáz je však náročná (CHMIELEWSKI, RÖTZER 2001). Podľa práce ŠTEFANČIK (1995) na žltnutie a opadávanie listov v jesennom období významne vplyvajú klimatické faktory a poveternostné vplyvy. HEJTMÁNEK (1958) konštatuje, že intenzita svetla a kvalita stanovišta zohrávajú taktiež významnú úlohu. MATSUMOTO et al. (2003) ako aj ESTRELLA, MENZEL (2006) uvádzajú, že neskorší nástup jesenných fenologických fáz spôsobujú vyššie teploty v jesennom období. ŠKVARENINOVÁ et al. (2008), KAMENSKÝ, BRASLAVSKÁ (1999) konštatujú, že jesenné fenologické fázy môžu byť ovplyvňované úhrnmi zrážok počas vegetačného obdobia. Najskorší priemerný nástup začiatku žltnutia, resp. všeobecného žltnutia sme zaznamenali u lipy, zatiaľ čo najneskoršie sa žltnutie prejavilo u duba. V našej korelačnej analýze medzi kumulovaným zrážkovým úhrnom a začiatkom žltnutia, resp. všeobecným žltnutím bola zistená u všetkých troch drevín len stredná, resp. nízka korelácia. Podľa Juknysa (JUKNYS et al. 2011, 2012) lipa patrí medzi najviac sucho znášajúce druhy a posúva svoje jesenné fenologické fázy do neskorších termínov, a tým profituje z predlžovania vegetačného obdobia. V našom prípade sa to ale nepotvrdilo, keďže lipa začala žltnúť najskôr. Naše pozorovania potvrdili, že lipa začala žltnúť pred dubom, podobne ako to uvádza ŠKVARENINOVÁ (2005). Dub ako drevena s mohutnou koreňovou sústavou využíva aj pôdnu vlhkosť z hlbších vrstiev pôdy. Listy duba majú skleromorfný charakter, vďaka čomu sú odolnejšie voči stresu z teplôt a zo sucha. Dub teda dokáže relatívne efektívne hospodáriť s vodou aj v suchých a teplých obdobiach, čo môže tiež vplyvať na neskorší nástup žltnutia listov (ŠKVARENINOVÁ 2014). Potvrdzujú to aj hodnoty variability nástupu jesenných fenofáz, predovšetkým všeobecného žltnutia listov, ktoré sú u duba najnižšie. Analýza dĺžky vegetačného obdobia je jednou z najdôležitejších charakteristík drevín v ostatnom období. Na základe získaných údajov v jednotlivých rokoch sme podobne ako viacerí autori (MENZEL 2000; MORISSETTE et al. 2009; TOOKE, BATTEY 2010; PAU et al. 2011; POLGAR, PRIMACK 2011) zaznamenali posun jarných fenologických fáz ku skorším termínom, a naopak oneskorenie nástupu jesenných fenofáz. Tento jav bol pozorovaný vo viacerých oblastiach Európy, čo má za následok predlžovanie vegetačného obdobia rastlín (CHMIELEWSKI, RÖTZER 2001; MENZEL 2000, 2003) a potvrdzujú to aj výsledky našej trendovej analýzy. Súvisieť to môže s meniacimi sa podmienkami prostredia, kedy v jarnom období pozorujeme nárast teploty vzduchu v porovnaní s dlhodobým priemerom a v jesennom období posun začiatku mrazového obdobia do neskorších termínov.

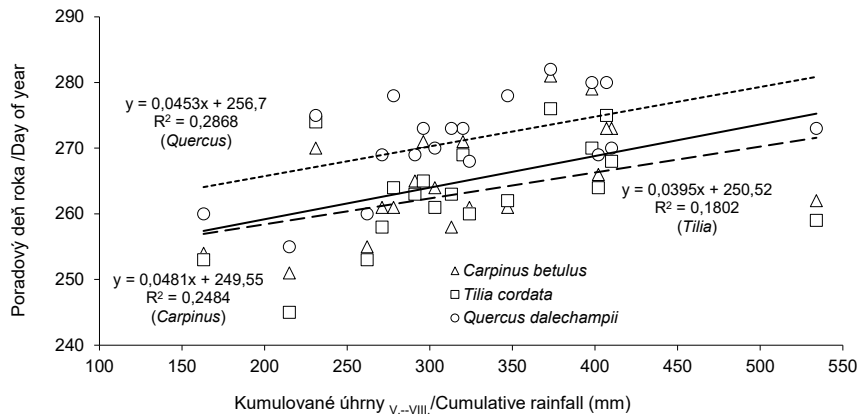


Obr. 4.

Vzťah medzi nástupom všeobecného zalisťovania a kumulovanou kladnou priemernou mesačnou teplotou vzduchu (KKPMTV) za obdobie 1995–2014

Fig. 4.

The relationship between onset of leaf unfolding 50% and cumulated positive average monthly air temperature (CPAMAT) for the period of 1995–2014

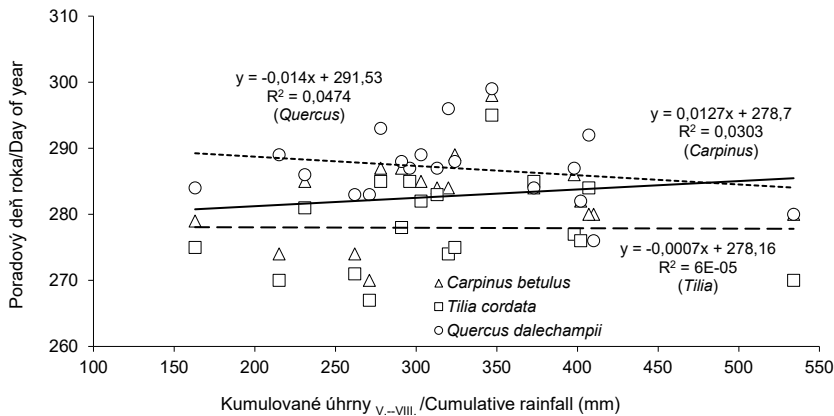


Obr. 5.

Vzťah medzi nástupom začiatku žltnutia listov a kumulovaným úhrnom zrážok za obdobie 1995–2014

Fig. 5.

The relationship between onset of leaf discolouration 10% and cumulated rainfall totals for the period 1995–2014



Obr. 6.

Vzťah medzi nástupom všeobecného žltnutia listov a kumulovaným úhrnom zrážok za obdobie 1995–2014

Fig. 6.

The relationship between onset of leaf discolouration 50% and cumulated rainfall totals for the period of 1995–2014

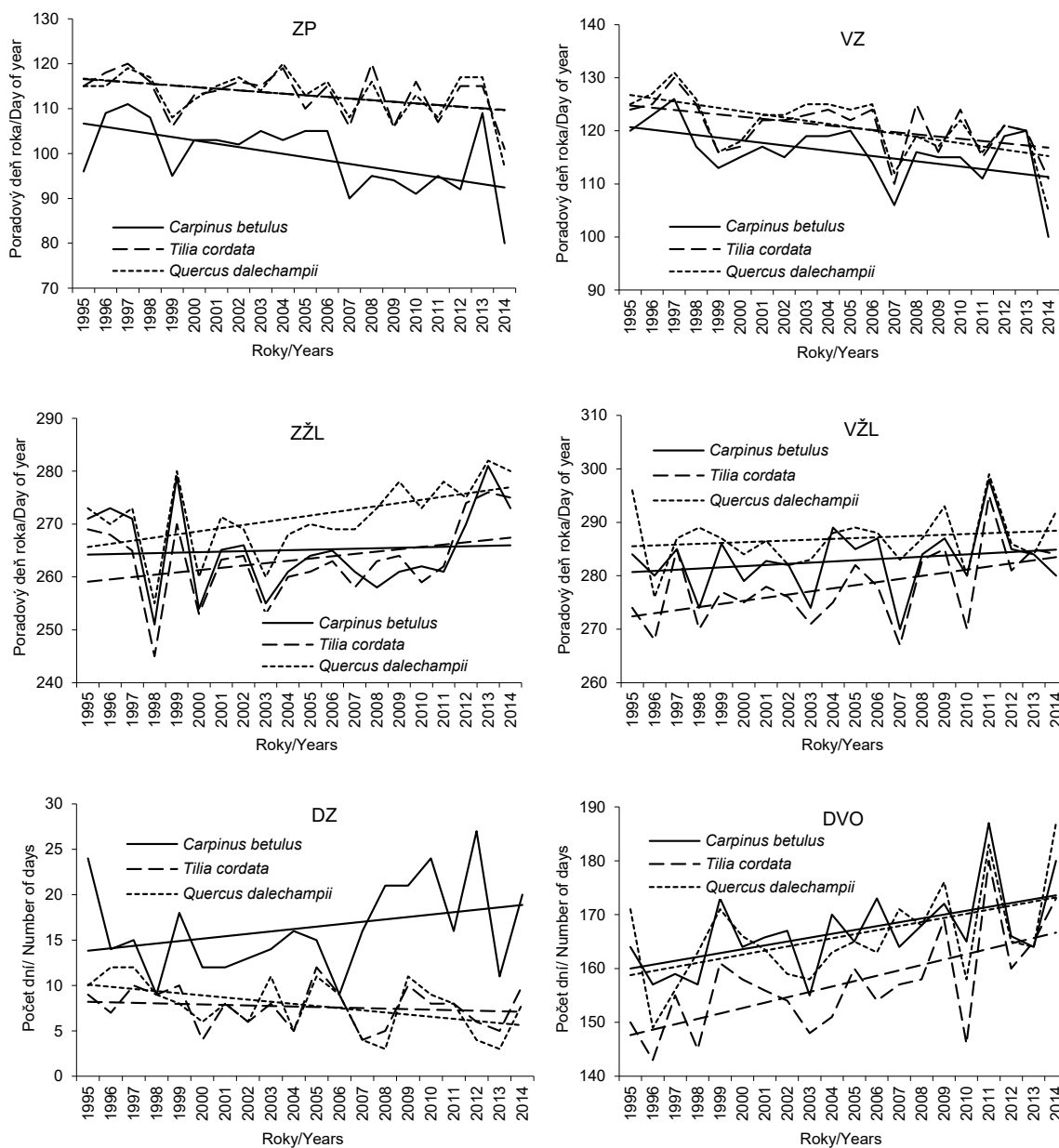
ZÁVER

V práci sa uvádzajú výsledky 20ročného fenologického výskumu troch lesných drevín (hrab obyčajný, lipa malolistá, dub žltkastý) v podmienkach submontánnej bučiny na strednom Slovensku. Hodnotil sa nástup, priebeh a medziročná variabilita vybraných vegetatívnych fenologických fáz – začiatku pučania, všeobecného zalistovania, začiatku žltnutia a všeobecného žltnutia listov, ako aj dynamika zalistovania a dĺžka vegetačného obdobia jednotlivých drevín. Zisťovali sa aj potenciálne vzťahy medzi kalendárnym nástupom fenofáz a vybranými klimatickými faktormi.

Medziročná analýza teploty vzduchu ukázala, že v priebehu roka dochádza k jej evidentnému nárastu, hlavne v období apríl–august.

Krivka päťročného kĺzavého priemeru odchýlky priemernej teploty vzduchu v období marec–apríl od dlhodobého priemeru poukazuje na výrazný nárast jej hodnoty, predovšetkým v ostatnom desaťročí. Hodnoty kumulovaných zrážkových úhrnov v období máj–august nemali jasny trend, boli medziročne značne rozkolísané, ale v rámci sledovaného dvadsaťročného obdobia oscilovali okolo dlhodobého priemeru.

Najskorší priemerný nástup pučania a zalistenia bol pozorovaný u hraba. Lipa a dub pučali v priemere o 13 dní neskôr, kým všeobecné zalistovanie sa u nich oneskorovalo o 5 dní. Začiatok a všeobecné žltnutie listov boli najskôr pozorované u lipy, najneskôr u duba. Vo všeobecnosti možno konštatovať, že najvariabilnejší v nástupe uvedených fenologických fáz bol hrab, predovšetkým v nástupe pučania.



Obr. 7.

Trendy nástupu začiatku pučania (ZP), všeobecného zalistovania (VZ), začiatku žltnutia listov (ZŽL), všeobecného žltnutia listov (VŽL), dynamiky zalistovania (DZ) a dĺžky vegetačného obdobia (DVO) drevín za obdobie 20 rokov

Fig. 7.

Trends in onset of bud-burst (ZP), leaf unfolding 50% (VZ), leaf discolouration 10% (ZŽL), leaf discolouration 50% (VŽL), leaf unfolding dynamics (DZ) and length of vegetation period (DVO) of trees over the 20-year period

Naopak, v medziročnom porovnaní sa dub javí spomedzi sledovaných troch druhov ako drevina s najstabilnejšou jesennou fenologickou odpovedou. Medzifázový interval od rozpuknutia pupeňa do všeobecného zalistenia, ktoré predstavuje dynamiku rozvoja asimilačného aparátu, trval u hraba 18 dní, kým u ostatných dvoch drevín len 8–9 dní. Najnižšia medziročná variabilita bola zistená u lípy, najvyššia u duba. Vegetačné obdobie drevín, vymedzené medzifázovým intervalom *všeobecné zalistovanie–všeobecné žltnutie listov*, trvalo u lípy 157 dní, u hraba a duba bolo o 9–10 dní dlhšie. Najnižšia medziročná variabilita v jeho trvaní bola pozorovaná u hraba, najvyššia u lípy.

Korelačná analýza medzi nástupom všeobecného zalistovania a sumou teplôt v období mesiacov marec–apríl potvrdila štatisticky významné korelácie ($P < 0,05$). Na druhej strane, medzi nástupom jesenného prefarbovania listov u sledovaných drevín a kumulovanými zrážkami v období máj–august bola zistená len slabá až stredná úroveň korelácie. Trend nástupu jarných fenofáz poukazuje na ich posun ku skorším termínom, kým nástup jesenných fenofáz sa oneskoruje, vegetačné obdobie drevín sa teda predlžuje. Trend dynamiky zalistovania v prípade lípy a duba nevykazuje výraznejšie zmeny v čase, kým u hraba je náznak predĺženia doby medzi pučaním a všeobecným zalistením. Je predpoklad, že uvedené prejavy drevín súvisia s meniacimi sa podmienkami prostredia.

V súvislosti s možnými extrémnymi prejavmi klímy (sucho a vysoké teploty, neskoré jarné mrazy, náhle a výrazné zmeny teplôt) bude potrebné nájsť a vyselektovať fenologicky vhodné formy (napr. neskoropučiace, skôr ukončujúce vegetáciu a pod.) uvedených drevín, ktoré by mohli mať potenciál lepšie odolávať týmto negatívnym vplyvom predstavujúcich sprievodný jav klimatickej zmeny.

Podakovanie:

Príspevok bol vypracovaný v rámci riešenia grantového projektu VEGA (č. 2/0041/13).

LITERATÚRA

- AHAS R., JAAGUS J., AASA A. 2000. The phenological calendar of Estonia and its correlation with mean air temperature. *International Journal of Biometeorology*, 44: 159–166.
- BARNA M. 2004. Adaptation of European beech (*Fagus sylvatica* L.) to different ecological conditions: leaf size variation. *Polish Journal of Ecology*, 52: 35–45.
- BARNA M., BOŠEĽA M. 2015. Tree species diversity change in natural regeneration of a beech forest under different management. *Forest Ecology and Management*, 342: 93–102.
- BARNA M., SCHIEBER B. 2011. Climate response to forest management in beech stands. *Folia Oecologica*, 38: 8–16.
- 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 Mendelianae Brunensis*, 61: 1239–1246.
- BRASLAVSKÁ O., KAMENSKÝ L. 1996. Fenologické pozorovanie lesných rastlín. Metodický predpis. Bratislava, SHMÚ: 22 s.
- BRASLAVSKÁ O., BORSÁNYI P. 1998. Quality control of long series of phenological data with sum of cumulated average monthly air temperatures. In: Dalezios, N.R. (ed.): *International Symposium on Applied Agrometeorology and Agroclimatology*. Proceedings. Volos, Greece, 1996. Luxembourg, Office for Official Publications of the European Commission: 305–310.
- BRASLAVSKÁ O. 2000. Monitoring zmeny klímy v rastlinných ekosystémoch prostredníctvom fenologických pozorovaní. *Životné prostredie*, 34: 81–83.
- CAFFARRA A., DONNELLY A. 2011. The ecological significance of phenology in four different tree species: effects of light and temperature on bud burst. *International Journal of Biometeorology*, 55: 711–721. DOI: 10.1007/s00484-010-0386-1
- DEANS J.D., HARVEY F.J. 1995. Phenologies of sixteen European provenances of sessile oak growing in Scotland. *Forestry*, 68: 265–273.
- ESTRELLA N., MENZEL A. 2006. Response of leaf colouring in four deciduous tree species to climate and weather in Germany. *Climate Research*, 32: 253–267.
- FLINT H.L. 1974. Phenology and genecology of woody plants. In: Lieth, H. (ed.): *Phenology and seasonality modeling*. Berlin, Springer: 83–97.
- FUTÁK J., DOSTÁL J., NOVÁK A. 1966. *Flóra Slovenska I*. Bratislava, SAV: 604 s.
- GILL D.S., AMTHOR J.S., BORMANN F.H. 1998. Leaf phenology, photosynthesis and persistence of saplings and shrubs in a mature northern hardwood forest. *Tree Physiology*, 18: 281–289.
- GROFÍK R., KUBÍČEK J., HRUBÝ J., DUFEK J., KÁBA B., ZEIPPELT R. 1987. *Štatistika*. Bratislava, Príroda: 520 s.
- 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
- HEIDE O.M. 1993a. Dormancy release in beech buds (*Fagus sylvatica*) requires both chilling and long days. *Physiologia Plantarum*, 89: 187–191.
- HEIDE O.M. 1993b. Daylength and thermal time responses of budburst during dormancy release in some northern deciduous trees. *Physiologia Plantarum*, 88: 531–540. DOI: 10.1111/j.1399-3054.1993.tb01368.x
- HEJTMÁNEK J. 1958. K fenologické variabilitě buku. *Práce výzkumných ústavů lesnických ČSR*, 15. Zbraslav-Strnady, VÚLH v SZN: 193–210.
- HENDRYCH R. 1984. *Fytogeografie*. Praha, SPN: 224 s.
- CHMIELEWSKI F.M. 1996. The international phenological gardens across Europe. Present state and perspectives. *Phenology and Seasonality*, 1: 19–23.
- CHMIELEWSKI F.M., RÖTZER T. 2001. Response of tree phenology to climate change across Europe. *Agricultural and Forest Meteorology*, 108: 101–112.
- JANÍK R., SCHIEBER B., BUBLINEC E., DUBOVÁ M. 2011. Content and concentration SO₄²⁻ in soil water and throughfall in submountain beech ecosystems. *Beskydy*, 4: 9–18.
- JUKNYS R., SUJETOVIENE G., ZEIMAVICIUS K., GUSTAINYTE J. 2011. Effects of climate warming on timing of lime (*Tilia cordata* L.) phenology. *Environmental Engineering*, 1: 139–143.
- JUKNYS R., SUJETOVIENE G., ŽEIMAVICIUS K., ŠVEIKAUSKAITĖ I. 2012. Comparison of climate warming induced changes in silver birch (*Betula pendula* Roth) and lime (*Tilia cordata* Mill.) phenology. *Baltic Forestry*, 18: 25–32.
- KAMENSKÝ L., BRASLAVSKÁ O. 1999. Fenologické charakteristiky listnatých drevín na Slovensku v období 1986–1995. *Meteorologický časopis – Meteorological Journal*, 2: 49–55.
- KELLEROVÁ D., JANÍK R. 2006. Air temperature and ground level ozone concentration in submountain beech forest (Western Carpathians, Slovakia). *Polish Journal of Ecology*, 54: 505–509.
- KIKUZAWA K. 2003. Phenological and morphological adaptations to the light environment in two woody and two herbaceous plant species. *Functional Ecology*, 17: 29–38.
- KODRÍK M. 2002. Belowground investigation of a submountain beech forest at the Ecological Experimental Station in Central Slovakia. *Ekológia (Bratislava)*, 21: 176–180.

- KONTRIŠ J., KONTRIŠOVÁ O., GREGOR J. 1993. Dynamics of the phytocenoses development of the submountain beech forest stands. I. Phytocoenoses. *Ekológia (Bratislava)*, 12: 417–428.
- KÖRNER C., BASLER D. 2010. Phenology under global warming. *Science*, 327: 1461–1462.
- 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.
- KRIŽOVÁ E. 1993. Primárna produkcia nadzemnej biomasy bylinnej vrstvy vo vybraných lesných typoch na EES Kováčová. *Acta Facultatis Forestalis*, 35: 99–107.
- KUKLA J. 1990. Dynamika geochemických procesov v pôdach vybraných lesných ekosystémov. Záverečná správa. Zvolen, ÚEL SAV: 102 s.
- KUKLOVÁ M., KUKLA J., SCHIEBER B. 2005. Individual and population parameters of *Carex pilosa* Scop. (*Cyperaceae*) in four forest sites in Western Carpathians (Slovakia). *Polish Journal of Ecology*, 53: 427–434.
- LARCHER W. 1995. *Physiological Plant Ecology*. New York, Springer: 506 s.
- LAUBE J., SPARKS T.H., ESTRELLA N., HÖFLER J., ANKERST D.P., MENZEL A. 2014. Chilling outweighs photoperiod in preventing precocious spring development. *Global Change Biology*, 20: 170–182.
- MATSUMOTO K., OHTA T., IRASAWA M., NAKAMURA T. 2003. Climate change and extension of the *Ginkgo biloba* L. growing season in Japan. *Global Change Biology*, 9: 1634–1642.
- MENZEL A. 2000. Trends in phenological phases in Europe between 1951 and 1996. *International Journal of Biometeorology*, 44: 76–81.
- 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. 2002. Phenology: its importance to the global change community. An editorial comment. *Climatic Change*, 54: 379–385.
- MENZEL A. 2003. Plant phenological anomalies in Germany and their relationship to air temperature and NAO. *Climatic Change*, 57: 243–263.
- MIKLÓS L. et al (eds.) 2002. *Atlas krajiny Slovenskej republiky. Landscape atlas of the Slovak Republic*. Bratislava, MŽP SR: 343 s.
- MORISSETTE J.T., RICHARDSON A.D., KNAPP A.K., FISHER J.I., GRAHAM E.A., ABATZOGLOU J., WILSON B.E., BRESHEARS D.D., HENEBRY G.M., HANES J.M., LIANG L. 2009. Tracking the rhythm of the seasons in the face of global change: phenological research in the 21st century. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 7: 253–260.
- NOVOTNÝ P., FRÝDL J., ČÁP J. 2015. Zhodnocení kvalitativních parametrů buku lesního (*Fagus sylvatica* L.) na sedmi provenienčních výzkumných plochách ve věku 25 let. *Zprávy lesnického výzkumu*, 60: 14–23.
- ÖZTÜRK M., BOLAT I., ERGÜN A. 2015. Influence of air–soil temperature on leaf expansion and LAI of *Carpinus betulus* trees in a temperate urban forest patch. *Agricultural and Forest Meteorology*, 200: 185–191.
- PAU S., WOLKOVICH E.M., COOK B.I., DAVIES T.J., KRAFT N.J.B., BOLMGREN K., BETANCOURT J.L., CLELAND E.E. 2011. Predicting phenology by integrating ecology, evolution and climate science. *Global Change Biology*, 17: 3633–3643. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2011.02515.x
- PEÑUELAS J., FILELLA I., COMAS P. 2002. Changed plant and animal life cycles from 1952 to 2000 in the Mediterranean region. *Global Change Biology*, 8: 1–14.
- POLGAR C.A., PRIMACK R.B. 2011. Leaf-out phenology of temperate woody plants: from trees to ecosystems. *New Phytologist*, 191: 926–941.
- ROBSON M.T., RASZTOVITS E., APHALO P.J., ALÍA R., ARANDA I. 2013. Flushing phenology and fitness of European beech (*Fagus sylvatica* L.) provenances from a trial in La Rioja, Spain, segregate according to their climate of origin. *Agricultural and Forest Meteorology*, 180: 76–85. DOI: 0.1016/j.agrformet.2013.05.008
- SCHIEFINGER H., KOCH E., CATE P., MATULLA C. 2007. New frontiers in plant phenological research. In: Oxley, L., Kulasiri, D. (eds.): MODSIM 2007 International Congress on Modelling and Simulation. Modelling and Simulation Society of Australia and New Zealand: 497–503. Dostupné na/Available on: http://www.mssanz.org.au/MODSIM07/papers/9_s54/NewFrontiers_s54_Schiefinger_.pdf
- SCHIEBER B. 2006. Phenology of leafing and yellowing of leaves in selected forest trees in Slovakia. *Nauka za Gorata-Forest Science*, 43: 29–36.
- SCHIEBER B., KUBOV M., PAVELKA M., JANÍK R. 2015. Vegetation dynamics of herb layer in managed submountain beech forest. *Folia Oecologica*, 42: 35–45.
- SPRÁVA. 2014. *Správa o lesnom hospodárstve v Slovenskej republike za rok 2013. Zelená správa*. Bratislava, MPRV: 84 s.
- STŘELEČEK J. 1992. Vplyv ťažbového zásahu v bukovom poraste na zmeny osvetlenia. *Lesnícky časopis – Forestry Journal*, 38: 551–558.
- ŠKVARENINOVÁ J. 2005. Zhodnotenie fenologických fáz niektorých listnatých drevín. In: Rožnovský J., Litschmann T. (eds.): *Bioklimatologie súčasnosti a budúcnosti*. Brno-Křtiny, ČHMÚ: 1–5.
- ŠKVARENINOVÁ J., DOMČEKOVÁ D., SNOPKOVÁ Z., ŠKVARENINA J., ŠIŠKA B. 2008. Phenology of pedunculate oak (*Quercus robur* L.) in the Zvolen basin, in dependence on bio-meteorological factors. *Folia Oecologica*, 35: 40–47.
- ŠKVARENINOVÁ J. 2009. Fenológia rastlín v meniacich sa podmienkach prostredia. Zvolen, TU vo Zvolene: 103 s.
- ŠKVARENINOVÁ J. 2013. Vplyv zmeny klimatických podmienok na fenologickú odozvu ekosystémov. Zvolen, TU vo Zvolene: 132 s.
- ŠKVARENINOVÁ J. 2014. Fenologické prejavy duba letného (*Quercus robur* L.) na Slovensku ako bioindikátor stavu lesných ekosystémov, extrémov počasia a klimatickej zmeny. *Zprávy lesnického výzkumu*, 59: 250–255.
- ŠKVARENINOVÁ J. 2015. Výsledky fenologických pozorovaní populácií jedle bielej (*Abies alba* Mill.) zo Slovenska. *Zprávy lesnického výzkumu*, 60: 218–224.
- ŠTEFANČÍK I. 1995. Fenológia v lesníctve: 2. Koniec vegetačnej činnosti. *Lesnícky časopis – Forestry Journal*, 41: 193–198.
- TOOKE F., BATTEY N.H. 2010. Temperate flowering phenology. *Journal of Experimental Botany*, 61: 2853–2862.
- VITASSE Y., DELZON S., DUFRÈNE E., PONTAILLER J.Y., LOUVET J.M., KREMER A., MICHALET R. 2009. Leaf phenology sensitivity to temperature in European trees: Do within-species populations exhibit similar responses? *Agriculture and Forest Meteorology*, 149: 735–744.
- WALTHER G.R., POST E., CONVEY P., MENZEL A., PARMESAN C., BEEBEE T.J.C., FROMENTIN J.M., HOEGH-GULDBERG O., BAIRLEIN F. 2002. Ecological responses to recent climate change. *Nature*, 416: 389–395.
- WIELGOLASKI F.E. 1999. Starting dates and basic temperatures in phenological observations of plants. *International Journal of Biometeorology*, 42: 158–168.

PHENOLOGY OF SELECTED BROAD-LEAVED FOREST TREES IN A SUBMOUNTAIN BEECH FOREST: TWO-DECADE ANALYSIS

SUMMARY

Long-term phenological research represents important additional information on the overall situation and the dynamics change. Analysis of variability in onset, course and the end of phenological phases within the trees spreading our knowledge of their demands to environmental conditions. The results of phenological observations can be used for monitoring the impact of changing environmental conditions on changes in the spatial distribution of individual tree species, as well as their response phenology – the timing of onset and course of phenological phases (BRASLAVSKÁ 2000).

The paper presents the results of phenological research performed from 1995 to 2014 on three forest trees (hornbeam, linden tree and oak) in submountain beech forest in central Slovakia. The research was conducted at the Ecological Experimental Stationary (EES) located in the Kremnické vrchy Mts., Slovakia (48°38' N, 19°04' E, 450–520 m a.s.l.). Phenological phases of bud burst, leaf unfolding 50%, leaf discolouration 10% (50%), were observed on 10 healthy adult individuals within each tree species. Observations were performed according to the methodology of the Slovak Hydrometeorological Institute. We analyzed onset, course as well as interannual variability in the dating of the phenophases. The potential relationships between onset of phenophases and selected climatic factors were also determined. The air temperature analysis showed its demonstrable increase, especially in the period from April to August (Fig. 1). Curve of five-year moving average of air temperature deviations (during the period from March to April) from long-term average points to a significant increase in its value, especially in the last decade (Fig. 2). Value of cumulative rainfall totals for the period from May to August did not have a clear trend year-on-year, as they showed fluctuating values, and oscillated around the long-term average. (Fig. 3). On average, the earliest onset of bud burst and leaf unfolding was observed in hornbeam. Linden tree and oak sprouted 13 days later, while the onset of leaf unfolding 50% was delayed by 5 days only. The earliest autumn colouring was observed in lime tree, the latest one was detected in oak. In general, the most variable in onset of phenological phases was hornbeam, especially in the onset of sprouting. Conversely, oak seems to be the most stable tree in autumn phenological response among these three species during the study period (Tab. 1 and 2). Interphase interval from budburst to leaf unfolding 50%, which represents the development dynamics of the assimilation apparatus, lasted 18 days in hornbeam, while within the other two species it was only 8–9 days. The lowest interannual variability was observed in lime tree, oak had the highest. Vegetation period of trees defined as an interval from leaf unfolding 50% to leaf discolouration 50%, lasted 157 days in lime tree, but it was by 9–10 days longer in hornbeam and oak. The lowest interannual variability in duration of vegetation period was observed in hornbeam, while the highest one was detected in lime tree (Tab. 3). Correlation analysis between the onset of leaf unfolding and sums of temperatures cumulated during the period from March to April confirmed a statistically significant ($P < 0.05$) correlation (Fig. 4). On the other hand, the correlations between onset of autumnal phenophases and cumulative rainfall totals during the period from May to August were only slight or moderate. (Fig. 5 and 6). Trend of onset of spring phenophases showed their shift to an earlier date, until the onset of autumnal phenophases was delayed – it means that the vegetation period becomes longer. Trend of leaf unfolding dynamics of lime and oak did not show significant temporal changes, while there was slight extension in hornbeam (Fig. 7). We supposed that these manifestations were related to changing environmental conditions. With regard to extreme symptoms of climate (drought, high temperatures, late spring frosts, sudden and significant changes in temperature) it will be necessary to determine and select the appropriate phenological forms (e.g. late sprouting, early termination of growing cycle etc.) of trees with higher potential to better withstand these negative effects representing accompaniment of ongoing climate change.

Zasláno/Received: 20. 11. 2015

Přijato do tisku/Accepted: 04. 01. 2016