

FENOLOGICKÉ PREJAVY DUBA LETNÉHO (*QUERCUS ROBUR* L.) NA SLOVENSKU AKO BIOINDIKÁTOR STAVU LESNÝCH EKOSYSTÉMOV, EXTRÉMOV POČASIA A KLIMATICKEJ ZMENY

PHENOLOGICAL SIGNS OF PEDUNCULATE OAK (*QUERCUS ROBUR* L.) IN SLOVAKIA AS A BIOINDICATOR OF FOREST ECOSYSTEMS, WEATHER EXTREMES AND CLIMATE CHANGE

JANA ŠKVARENINOVÁ

Technická univerzita vo Zvolene, Fakulta ekológie a environmentalistiky, T. G. Masaryka 24, SK - 960 53 Zvolen

e-mail: skvareninova@tuzvo.sk

ABSTRACT

The goal of the work was to examine the phenological reaction of pedunculate oak (*Quercus robur* L.) in natural forest ecosystems to the changes of environmental conditions. The observations were performed at 40 phenological stations in two periods of equal length: 1988–2000 and 2001–2013, and 4 elevation groups up to 500 m above sea level. The onset of leaf unfolding and leaf colouring were observed following the methodology of the Slovak Hydrometeorological Institute. The average onset of leaf unfolding shifted from April 28 in the first period to 3 days earlier in the second period. Leaf colouring was delayed by three days in the second period from the average of September 28 in the first period. Hence, the average growing period was prolonged from 151 to 157 days. High correlation was found between the average onset of phenological phases and elevation. Although extremely dry and warm years and the prolongation of growing period did not result in earlier leaf colouring, such conditions may cause the changes in tree species composition of forest ecosystems and in the distribution area of this species.

Kľúčové slová: dub letný, *Quercus robur* L., fenológia, lesné ekosystémy, klimatická zmena, extrémny počasie

Key words: pedunculate oak, *Quercus robur* L., phenology, forest ecosystems, climatic change, weather extremes

ÚVOD

Zmena klímy a jej negatívne vplyvy priamo pôsobia na pôvodné lesné ekosystémy ako jednu z hlavných zložiek životného prostredia. Ich následkom môže dôjsť k zmenám fenologických procesov, čo by mohlo mať vplyv na prirodzené rozšírenie drevín a zmeny ich pôvodných areálov. Dlhodobé fenologické pozorovania dajú odpoveď aj na vývoj klímy v našich podmienkach. Môžu sa využiť na modelovanie fenologických fáz drevín pri možnom dopade klimatických zmien a tiež na prognózu ich ďalšieho rozšírenia a vitality (BEDNÁŘOVÁ, MERKLOVÁ 2006). Pravidelné a dlhoročné pozorovania nástupu vývojových a rastových fáz drevín v jednotlivých oblastiach umožnia poznanie klimatického charakteru územia a odhalia zmeny dĺžky rastových období, ako aj možné riziká mrazových poškodení. Mnohí autori si všimajú najmä vplyv jarných extrémov počasia na skorý nástup jarných fenologických fáz. Prejavuje sa to predĺžovaním vegetačného obdobia drevín. Hoci dĺžka vegetačného obdobia vykazuje medziročnú variabilitu, výsledky Linderholma (LINDERHOLM 2006) ukázali, že v posledných 30 rokoch 20. storočia došlo k jeho výrazným zmenám. Nástup vegetačnej periódy sa stále častejšie posúva do skoršieho jarného obdobia a je významne ovplyvnený teplotným režimom koncom februára a v marci.

Následkom zmeny klímy nastávajú zmeny najmä v teplotnom režime a režime zrážok v priebehu roka. Vzhľadom na nárast teplôt a zmien v distribúcii zrážok sa očakávajú relatívne dlhšie suché periódy a obdobia s krátkymi, ale nadmernými zrážkovými vlnami, ako aj obdo-

bia s teplotnými extrémami (MINĎÁŠ, ŠKVARENINA 2003). Výrazne sa to už prejavilo v posledných piatich rokoch pravidelným výskytom horúcich vln (ŠKVARENINOVÁ 2013) v letných mesiacoch. Dôsledkom takéhoto počasia trvá teplé obdobie až do neskorej jeseni, čím sa predlžuje vegetačná aktivita drevín. Práca Chmielevského a Rötzer (CHMIELEWSKI, RÖTZER 2001) uvádza oneskorenie vegetačného obdobia a predlžovanie vegetačnej periódy v strednej Európe koncom 20. storočia v priemere o 10,5 dňa. Hoci predlžovanie vegetačného obdobia sa neprejavuje rovnomerne vo všetkých regiónoch Európy, na strednom Slovensku dochádza vplyvom zmeny klimatických podmienok k štatisticky významnému predlžovaniu vegetačného obdobia niektorých listnatých drevín o 6–26 dní (ŠKVARENINOVÁ 2013). Fenológia sa tak stáva nástrojom na získanie odpovedí na požiadavky organizmov na podmienky vonkajšieho prostredia v závislosti od meteorologických prvkov. Z nich má rozhodujúci význam teplota vzduchu a zrážky, pretože ich účinok môže vývoj rastlín časovo urýchliť alebo spomaliť (KURPELOVÁ 1972). Dlhodobé narušovanie fyziologických funkcií drevín a predlžovanie ich vegetačného obdobia môže spôsobiť zmeny druhového zloženia lesných ekosystémov, ako aj zmeny areálov drevín.

Cieľom tejto práce bolo vyhodnotiť vplyv extrémov počasia a klimatickej zmeny na časový nástup vegetatívnych fenologických fáz duba letného (*Quercus robur* L.) za obdobie rokov 1988–2013 v štyroch výškových stupňoch. Poznatky sa môžu využiť pri prognózach zmeny areálu a zastúpenia tejto dreviny v prirodzených lesných ekosystémoch.

MATERIÁL A METODIKA

Rozmanité klimatické a pôdne podmienky Slovenska sú dôvodom výskytu viacerých teplomilných druhov drevín. Jednou z nich je aj dub letný (*Quercus robur* L.), ktorý spolu s bukom lesným dosahuje najvyššie zastúpenie v lesoch Slovenska a patrí z hľadiska lesného hospodárstva medzi najdôležitejšie lesné dreviny. Je to výrazne svetlomilný druh so strednými až vyššími nárokmi na pôdnu vlhkosť, znášajúci široké spektrum klimatických podmienok (PAGAN 1992). Na území Slovenska je prítomný už od obdobia boreálu (7500–6000 r. p. n. l.) (KRIPPPEL 1980). V súčasnosti je spolu s ďalšími druhmi tohto rodu zastúpený vo všetkých vegetačných stupňoch až do nadmorskej výšky 500–600 m. Okrem tvrdého lužného lesa má zastúpenie v lesných porastoch s vyššou pôdnou vlhkosťou a v obmedzenej miere aj na klimaticky suchších lokalitách. Môžeme ho považovať za najlepšie prispôbenú drevinu v tomto type prostredia, a preto sa stal predmetom nášho výskumu ako bioindikátor klimatickej zmeny a stavu lesných ekosystémov.

Reakcie duba letného na zmeny prostredia sme hodnotili pomocou fenologických údajov na 40 lokalitách Slovenska. Pri skúmaní vplyvu meteorologických prvkov na priebeh fenologických fáz nemožno nespomenúť nadmorskú výšku, ktorá priamo k nim nepatrí, ale prostredníctvom vlastných prvkov (teplota, zrážky) ovplyvňuje fenologické reakcie jedincov a populácií. Z daného súboru sme vytvorili 4 výškové stupne tak, aby rozpätia nadmorských výšok mali rovnaký 100 m výškový interval a pôvody boli rozmiestnené do výškových stupňov v čo najvyrovnanjšom počte.

Súvislejšie fenologické pozorovania lesných drevín sa na Slovensku začali realizovať od polovice 20. storočia (HMÚ 1960; KURPELOVÁ 1963). Výsledkom takejto systematickej práce sú metodiky a fenologické databázy spojené so sledovaním prvkov atmosféry využiteľné aj v súčasnosti. Postupná redukcia počtu staníc a zmeny metodík pozorovaní zasiahli do kvality pozorovaných údajov, a preto máme k dispozícii len čiastočný študijný materiál. Od roku 1984 bola na Slovensku v platnosti podrobná fenologická metodika. Táto sa od roku 1996 (BRASLAVSKÁ, KAMENSKÝ 1996) po výrazných zmenách používa v sieti fenologických staníc dodnes. Po transformácii starších údajov zo

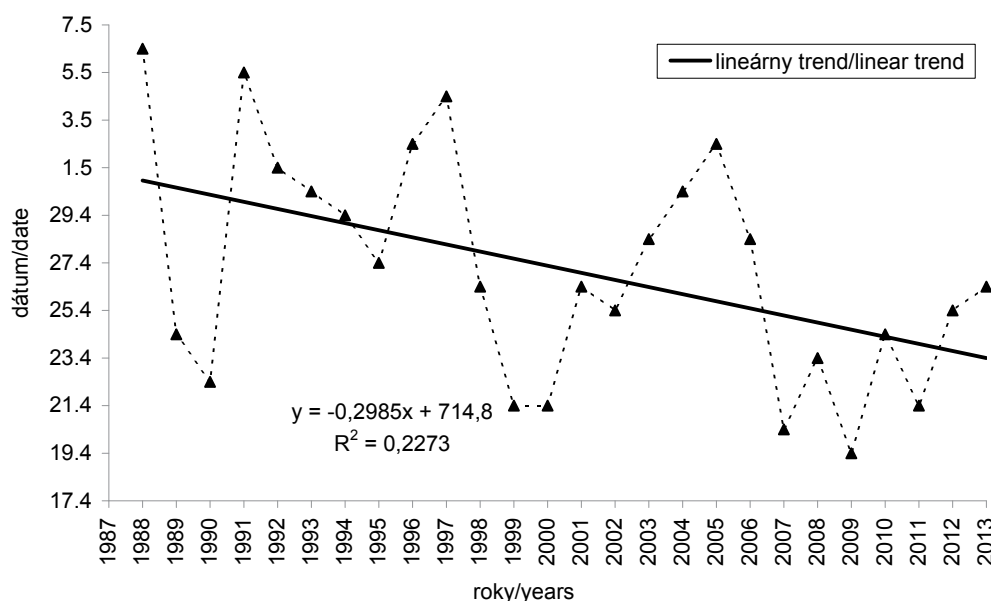
siete Slovenského hydrometeorologického ústavu sme získali 26ročný časový rad pre obdobie rokov 1988–2013. Pre porovnanie dôsledkov vplyvu klimatickej zmeny sme toto obdobie rozdelili na dva rovnaké časové úseky. Do prvého 13ročného obdobia patria roky 1988–2000, druhé je ohraničené rokmi 2001–2013. Na vegetatívnych orgánoch sme hodnotili zalistenie a žltnutie listov. Zalistenie nastáva vtedy, keď sa objavia úplne rozvinuté prvé listy, ktoré majú normálny tvar a čepeľ, nemajú však ešte normálnu veľkosť a sfarbenie. Žltnutie listov je definované zmenou farby zo zelenej na žltú a pomerom zastúpenia žltých listov na strome a pod ním. Zastúpenie obidvoch fenofáz na skupine 10 drevín predstavuje 10% a považuje sa za začiatok fenologickej fázy.

Pre spracovanie prvotných údajov sme použili štatistické a grafické programy v balíku Microsoft Excel. Transformáciu dátumu nástupu fenofázy na číselnú hodnotu sme urobili pomocou juliánskeho kalendára, ktorým sa každý deň v roku zaznamenáva poradovým číslom od jeho začiatku.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

V rokoch 1988–2013 fenofáza zalistenie nastupovala na Slovensku priemerne 28. apríla. Priebeh nástupu v jednotlivých rokoch a trend vývoja zalistenia duba letného za celé obdobie je znázornený na obr. 1. Medzi fenologickými údajmi sú zachytené aj extrémne, ktoré sú spôsobené náhlymi výkyvmi počasia a nemusia mať výrazný vplyv na dlhodobý priebeh fenologických fáz. Najskoršie nástupy v rokoch 2007 a 2009 ovplyvnili teplejšie periódy začiatkom jari. Neskoré nástupy fenofázy súviseli s chladným obdobím koncom zimy v rokoch 1988, 1991 a 1997. Miera variability vyjadrená variačným koeficientom sa pohybovala vo všetkých výškových stupňoch v intervale 3,5–12,4%. Vyššiu variabilitu spôsobili nevyrovnané časové nástupy fenofázy spôsobené výkyvmi denných teplôt vzduchu v jarnom období, čo potvrdzuje aj práca Braslavskej a Kamenského (BRASLAVSKÁ, KAMENSKÝ 2002).

V prvom období začalo zalistenie 29. apríla, v druhom období nastal skorší nástup fenofázy o 3 dni. Výsledky trendovej analýzy ukázali za celé sledované obdobie posun o 7 dní skôr, čo spôsobili teplotné výkyvy počasia koncom zimy v posledných rokoch. Trend s 99% pravdepodobnosťou preukázal štatistickú významnosť.



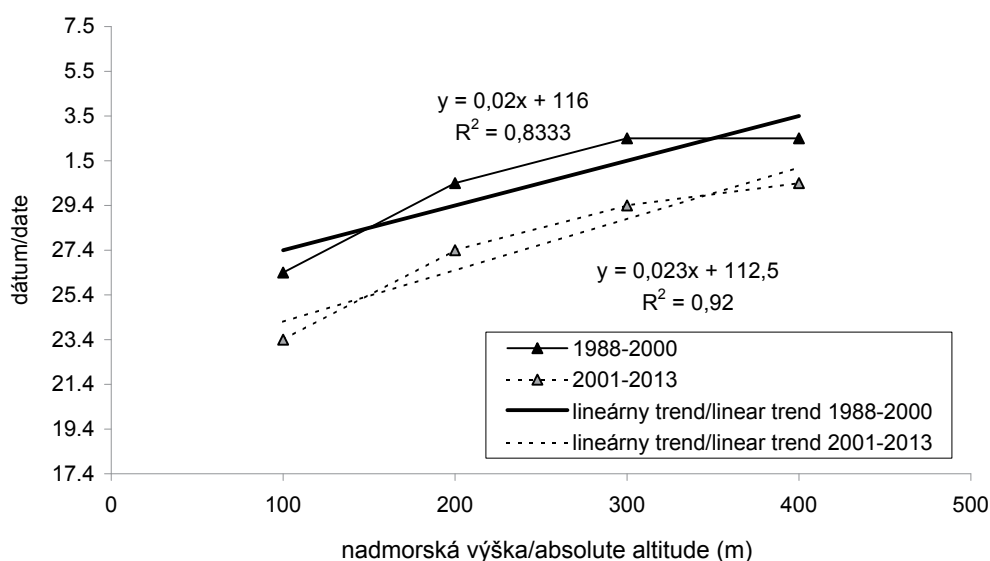
Obr. 1. Nástup a trend vývoja zalistenia duba letného na Slovensku v rokoch 1988–2013

Fig. 1. Onset of leaf unfolding of pedunculata oak in Slovakia and its trend over the years 1988–2013

Nástup tejto fenofázy v jednotlivých výškových stupňoch znázorňuje obr. 2. Ukázalo sa, že so stúpajúcou nadmorskou výškou sa zalistenie oneskoruje o 1–4 dni. Najvýraznejšie oneskorenie sa v obidvoch obdobiach ukázalo medzi prvým a druhým výškovým stupňom (4 dni). Analýza korelačnej závislosti medzi priemerným nástupom zalistenia a nadmorskou výškou potvrdila štatisticky významnú takmer úplnú funkčnú závislosť, čo potvrdzujú aj hodnoty korelačných koeficientov.

Fenologická fáza žltnutie listov duba nastupovala za 26ročné obdobie na Slovensku priemerne 28. septembra. V prvom období začalo žltnutie listov priemerne 27. septembra, v druhom období nastúpilo 30. septembra. Výsledky trendovej analýzy s 99% pravdepodobnosťou ukázali posun o 7 dní neskôr. Začiatky nástupu v jednotlivých rokoch

a trend jej vývoja sú znázornené na obr. 3. Priebeh bol v jednotlivých rokoch ovplyvňovaný teplotou vzduchu a zrážkami v letnom období. Hoci sa v niektorých rokoch (1994, 2003, 2010, 2011, 2012, 2013) v strednej Európe a na Slovensku vyskytli horúce vlny, pri ktorých maximálna denná teplota vzduchu dosiahla aspoň 3 dni za sebou viac ako 30 °C a priemer v každom dni bol aspoň 25 °C (KYSĚLÝ, PECHO 2012; ŠKVARENINOVÁ 2013), skorší nástup tejto fenofázy neovplyvnili. Okrem teploty vzduchu sú dôležité aj zrážkové úhrny v období trvania horúcej vlny a mesiac až dva pred jej nástupom. Dub ako svetlomilná drevina vďaka mohutnej koreňovej sústave, kde hlavný kolový koreň siaha až do hĺbky 3–5 metrov (PAGAN 1992) využíva aj pôdnu vlhkosť z hlbších vrstiev pôdy. Dokáže efektívne hospodáriť s vodou v extrém-

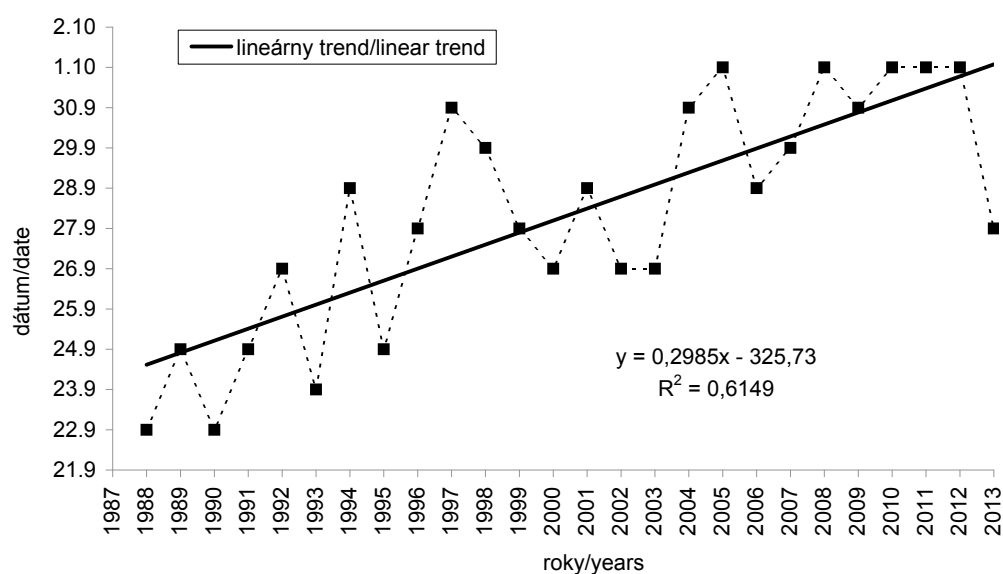


Obr. 2.

Nástup zalistenia duba letného na Slovensku podľa výškových stupňov v dvoch časových obdobiach

Fig. 2.

Onset of leaf unfolding of pedunculate oak in Slovakia in individual elevation groups and two assessed periods



Obr. 3.

Nástup a trend vývoja žltnutia listov duba letného na Slovensku v rokoch 1988–2013

Fig. 3.

Onset of leaf colouring of pedunculate oak in Slovakia and its trend over the years 1988–2013

ne suchých a teplých rokoch. Možno tým vysvetliť neskorý nástup žltnutia listov aj v rokoch s horúcimi vlnami.

Nástup žltnutia listov vo výškových stupňoch podáva obr. 4. Rozdiely oneskoreného nástupu medzi výškovými stupňami obidvoch období predstavujú 2–5 dní, pričom najskôr začína žltnutie v nadmorských výškach 400–500 m. Korelačná závislosť medzi priemerným nástupom žltnutia listov a nadmorskou výškou ukázala veľmi tesný stupeň ($R^2 = 0,83-0,95$) s vysokou štatistickou významnosťou. Táto jesenná fenologická fáza sa vyznačuje oproti jarnej vyrovnaným nástupom v jednotlivých výškových stupňoch obidvoch období s hodnotami variačných koeficientov v rozpätí 2,3–6,7%.

V miernom zemepisnom pásme je dĺžka vegetačného obdobia odrazom vývoja teploty vzduchu. Skorší nástup biologickej aktivity a fenologických prejavov rastlín vplyvom zmien teplotného a zrážkového režimu v dlhšom časovom rade analyzujú viacerí autori (MENZEL 2002; ZAHRADNÍČEK, HÁJKOVÁ 2009). Zmena klimatických podmienok pri častom skoršom nástupe jari a teplejšom jesennom období spôsobujú v mnohých regiónoch Európy predĺžovanie vegetačného obdobia rastlín. Vegetačná doba drevín sa začína zalístením a končí začiatkom žltnutia listov pri zastavení ich fyziologickej aktivity. Vývoj dĺžky vegetačného obdobia v rokoch 1988–2000 a 2001–2013 v jednotlivých výškových stupňoch podávajú tab. 1 a 2. Porovnaním týchto období

Tab. 1.

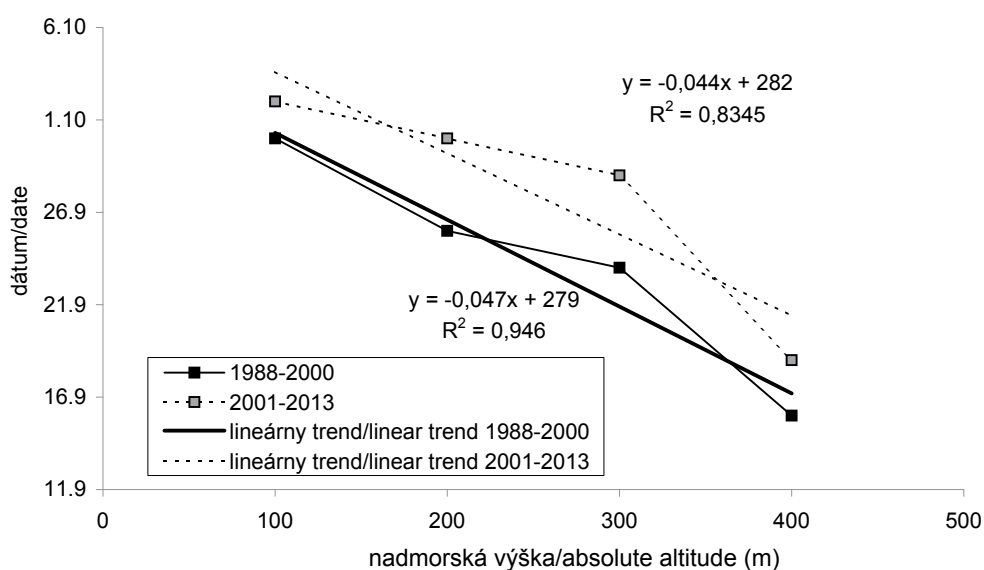
Vývoj dĺžky vegetačného obdobia (dni) duba letného na Slovensku v rokoch 1988–2000 podľa výškových stupňov
Development of the length of growing season (days) of pedunculate oak in Slovakia in the years 1988–2000 in individual elevation groups

Roky/ Years	Výškový stupeň [m n. m.]/Altitudinal stage [m]			
	100–200	201–300	301–400	401–500
1988	150	138	139	125
1989	164	159	152	142
1990	161	154	148	137
1991	149	136	140	135
1992	161	148	146	143
1993	157	147	144	142
1994	154	150	147	142
1995	150	147	146	138
1996	151	148	141	137
1997	159	147	137	148
1998	167	154	145	144
1999	167	159	148	146
2000	168	155	152	140

Tab. 2.

Vývoj dĺžky vegetačného obdobia (dni) duba letného na Slovensku v rokoch 2001–2013 podľa výškových stupňov
Development of the length of growing season (days) of pedunculate oak in Slovakia in the years 2001–2013 in individual elevation groups

Roky/ Years	Výškový stupeň [m n. m.]/Altitudinal stage [m]			
	100–200	201–300	301–400	401–500
2001	165	156	149	142
2002	162	155	150	137
2003	157	155	145	137
2004	159	154	150	142
2005	154	149	154	148
2006	157	149	154	144
2007	165	162	157	156
2008	167	158	152	152
2009	166	165	164	150
2010	169	160	151	150
2011	168	167	157	155
2012	167	158	160	153
2013	163	156	153	145



Obr. 4.

Nástup žltnutia listov duba letného na Slovensku podľa výškových stupňov v dvoch časových obdobiach

Fig. 4.

Onset of leaf colouring of pedunculate oak in Slovakia in individual elevation groups and two assessed periods

sme zistili, že za posledných 13 rokov sa vegetačná doba z priemernej 151 dní predĺžila na 157 dní. K podobným záverom dospeli aj BRASLAVSKÁ, KAMENSKÝ (2002), ktorí uvádzajú na Slovensku za obdobie rokov 1986–2000 predĺženie vegetačného obdobia viacerých listnatých drevín priemerne o 7 dní. Veľmi výrazný posun začiatku vegetačného obdobia o 28 dní a neskorší nástup konca o 11 dní v súvislosti s otepľovaním zaznamenali v Čechách v období rokov 1951–2005 MOŽNÝ a BAREŠ (2006). Predĺženie vegetačného obdobia v rokoch 2001–2013 sme zistili aj vo výškových stupňoch (obr. 5). Najväčší rozdiel (9 dní) nastal v 3. výškovom stupni, najmenší rozdiel 5 dní sme zaznamenali v prvom stupni.

ZÁVER

V rokoch 1988–2013 sa sledoval priebeh vegetatívnych fenologických fáz duba letného na Slovensku v dvoch rovnakých časových obdobiach a tiež ich nástup podľa výškových stupňov vo vertikálnom rozpätí 100–500 m. Priemerný nástup začiatku zalistenia na Slovensku pripadol na 28. apríla. Najskorší priemerný nástup bol zistený na najnižšie položených lokalitách, najneskorší vo výškovom stupni 400–500 m n. m.. Nástup žltnutia listov nastal priemerne 28. septembra, a to najskôr v najvyššom výškovom stupni. Pri oboch fenologických fázach sa ukázala štatisticky významná korelácia závislosti ($p < 0,01$) medzi priemerným nástupom ich začiatku a nadmorskou výškou. Výsledky trendových analýz poukazujú pri nástupe zalistenia posun o 7 dní skôr. Pri žltnutí listov sa s 99% pravdepodobnosťou potvrdila štatistická významnosť oneskorenia o 7 dní.

Porovnanie dĺžky vegetačného obdobia medzi rokmi 1988–2000 a 2001–2013 ukázalo jeho predĺženie z priemerných 151 dní na 157 dní. V druhom období nastalo skoršie zalistenie a neskoršie žltnutie listov o 3 dni. Najväčšie predĺženie o 9 dní nastalo v 3. výškovom stupni. V extrémne suchých a teplých rokoch s horúcimi vlnami sa nepotvrdil ich vplyv na skoršie žltnutie listov vďaka efektívnemu hospodáreniu dreviny s vodou. Dub letný sa doteraz ukázal ako perspektívny druh a stabilná zložka lesných ekosystémov v podmienkach klimatickej zmeny.

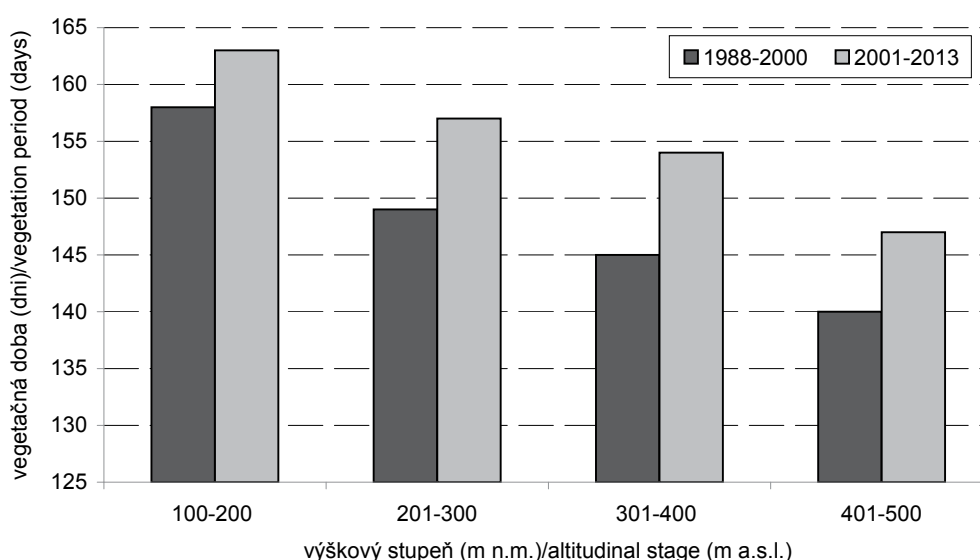
Výsledky fenologických pozorovaní vybraných vegetatívnych fenologických fáz duba letného (*Quercus robur* L.) na Slovensku prispeli k rozšíreniu poznatkov o fenologickej reakcii tejto dreviny na zmeny podmienok prostredia spôsobených klimatickou zmenou. Je možné ich využiť pri prognózach zmeny areálu a rozšírenia tejto dreviny v lesných ekosystémoch.

PodĎakovanie:

Autorka ďakuje za podporu projektu "Centrum excelentnosti pre podporu rozhodovania v lese a krajine.", na základe podpory OP Výskum a vývoj financovaného z Európskeho fondu regionálneho rozvoja na základe zmluvy č. 26220120120 a projektu VEGA MŠ SR 1/0463/14.

LITERATÚRA

- BEDNÁŘOVÁ E., MERKLOVÁ L. 2006. Zhodnocení fenologických fází keřového patra na okraji smrkového porostu v oblasti Dražanská vrchovina. In: Rožnovský, J. et al. (eds.): Fenologická odezva proměnlivosti podnebí. Zborník referátov. 22. 3. 2006. Brno, ČHMÚ: 1–8.
- BRASLAVSKÁ O., KAMENSKÝ L. 1996. Fenologické pozorovanie lesných rastlín. Metodický predpis. Bratislava, SHMÚ: 22 s.
- BRASLAVSKÁ O., KAMENSKÝ L. 2002. Variabilita vegetačného obdobia na Slovensku v rokoch 1986–2000. In: Rožnovský, J., Litschmann, T. (eds.): XIV. Česko-slovenská bioklimatologická konferencia. 2. – 4. 9. 2002. Lednice na Moravě. Praha, Česká bioklimatologická společnost: 525–531.
- HMÚ. 1960. Klimatické pomery Hurbanova. Bratislava, Hydrometeorologický ústav: 280 s.
- CHMIELEWSKI F.M., RÖTZER T. 2001. Response of tree phenology to climate change across Europe. *Agricultural and Forest Meteorology*, 108: 101–112.
- KRIPPEL E. 1980: Vývoj vegetácie v postglaciáli. Mapa 1:2 000 000. In: Atlas SSR. Bratislava, SAV a SÚGK: 90.



Obr. 5.

Priemerná dĺžka vegetačného obdobia duba letného podľa výškových stupňov v dvoch časových obdobiach

Fig. 5.

Average length of growing season of pedunculate oak in individual elevation groups and two assessed periods

- KURPELOVÁ M. 1963. Fenologická charakteristika vysoko položených kotlín na Slovensku. *Geografický časopis*, 15: 241–263.
- KURPELOVÁ M. 1972. Fenologické pomery. Slovensko – Príroda. Bratislava, *Obzor*: 275–282.
- KYSELÝ J., PECHO J. 2012. Horké vlny v mēnicím se klimatu: otazníky zůstávají. *Vesmír*, 91: 28–34.
- LINDERHOLM H. 2006. Growing season changes in the last century. *Agricultural and Forest Meteorology*, 137: 1–14.
- MENZEL A. 2002. Phenology: its importance to the Global Change Community. An editorial comment. *Climatic Change*, 54: 379–385.
- MINDÁŠ J., ŠKVARENINA J. (eds.) 2003. Lesy Slovenska a globálne klimatické zmeny. Zvolen, EFRA: 128 s.
- MOŽNÝ M., BAREŠ D. 2006. Trendy vegetačného obdobia. In: Rožnovský, J. et al. (eds.): Fenologická odezva promēnlivosti podnebí. Sborník referátů. Brno, 22. 3. 2006. Praha, Česká bioklimatologická společnost: 1–5.
- PAGAN J. 1992. Lesnícka dendrológia. Skriptá. Zvolen, Technická univerzita: 347 s.
- ŠKVARENINOVÁ J. 2013. Vplyv zmeny klimatických podmienok na fenologickú odozvu ekosystémov. Vedecká monografia. Zvolen, Technická univerzita vo Zvolene: 132 s.
- ZAHRADNÍČEK P., HÁJKOVÁ L. 2009. Vliv meteorologických prvků na vybrané fenologické fáze révy vinné a jejich časová dynamika. *Meteorological Bulletin*, 62 (3):80–88.

PHENOLOGICAL SIGNS OF PEDUNCULATE OAK (*QUERCUS ROBUR* L.) IN SLOVAKIA AS A BIOINDICATOR OF FOREST ECOSYSTEMS, WEATHER EXTREMES AND CLIMATE CHANGE

SUMMARY

The work analyses the results of a 26-year-long research of phenological signs of pedunculate oak (*Quercus robur* L.) in Slovakia. The reactions of pedunculate oak to environmental changes were assessed on the base of the phenological data from 40 sites in Slovakia. The data set was divided into four elevation groups up to 500 m above sea level in both analysed periods: 1988–2000 and 2001–2013. Following the methodology of the Slovak Hydrometeorological Institute, leaf unfolding and colouring were assessed on vegetative organs. The onset of the phenological phase was characterised by its 10% occurrence in a group of 10 individuals.

In the years 1988–2013, the phenophase of leaf unfolding started in Slovakia on April 28 on average. In the first period, leaf unfolding started on April 29, while in the second period the onset of the phenophase advanced by 3 days. The results of the trend analysis over the whole analysed period showed the advance of 7 days (Fig. 1). Greater variability of the phenophase in all elevation groups (3.5–12.4%) was caused by the uneven onsets in individual years due to the fluctuations of air temperature in spring. Leaf unfolding was delayed by 1 to 4 days with the increasing elevation in both examined periods. The greatest difference was observed between the first and the second elevation group (Fig. 2).

The phenological phase of leaf colouring started in Slovakia on September 28 on average. In the first period, leaf colouring began on September 27 on average, while in the second period it began on September 30. The results of the trend analysis showed 7-day delay with 99% probability (Fig. 3). The elevation groups differed by 2–5 days in the onset of the phenophase, while leaf colouring occurred first at elevations of 400–500 m a.s.l. (Fig. 4). The correlation between the average onset of leaf colouring and elevation was very high ($R^2 = 0.83–0.95$) and highly significant. The onset of the phenophase was even as confirmed by the low values of coefficients of variation in individual elevation groups (2.3–6.7%). In the periods with weather extremes characterised by heat waves (1994, 2003, 2010, 2011, 2012, 2013), no earlier leaf colouring of pedunculate oak was observed thanks to its massive root system and efficient water usage.

The trend in the length of the growing season in the periods of 1988–2000 and 2001–2013, and individual elevation groups can be seen in Tab. 1 and 2. In the last 13 years, the average growing season was prolonged from 151 to 157 days. The extension occurred also in elevation groups (Fig. 5). The greatest difference of 9 days was found in the 3rd elevation group, while the smallest difference of 5 days was in the 1st elevation group. The results of the phenological observations of pedunculate oak (*Quercus robur* L.) can be utilised for better understanding of species reaction to the changes of environmental conditions caused by climate change, and for the prediction of the changes in its distribution in Slovakia.