

## Fenológia ako ukazovateľ zmien v krajine

Phenology as an indicator of changes in the country

*Jana Škvareninová*

*Technická univerzita vo Zvolene, Fakulta ekológie a environmentalistiky*

### Abstrakt

Fenológia ako aplikovaná vedná disciplína prostredníctvom bioindikátorov zachytáva zmeny v krajine, ktoré pri nastupujúcej zmene klímy sprevádzajú extrémny počasie (sucho, horúce vlny, prívalové zrážky). Fenologické reakcie sa prejavili posunom nástupu fenologických fáz, zmenou dĺžky vegetačného obdobia a skrátením fenologického výškového gradientu. V dlhých časových radoch sa prejavili posuny trendov jarých fenologických fáz do skoršieho obdobia s vysokou variabilitou. Jesenné fenofázy sa v trendoch oneskorujú, v rokoch s výraznými teplotnými extrémami a horúcimi vlnami dochádza k ich skorým nástupom už počas vegetačného obdobia.

**Kľúčové slová:** biologický indikátor, fenologický kalendár, trendy fenofáz, dĺžka vegetačného obdobia, fenologický výškový gradient

### Abstract

Phenology as an applied scientific discipline through bioindicators captures changes in the country with the oncoming climate change, accompany weather extremes (drought, hot waves, rainfall). Phenological reactions were manifested by a shift in the onset of phenological phases, changes in the length of vegetation period and a shortening of the phenological height gradient. In long time series shifts in spring phenological phase trends to an earlier period with high variability have been demonstrated. Autumn phenophases are delayed in trends and in the years with marked temperature extremes and hot waves, they start early during the growing vegetation period.

**Keywords:** biological indicator, phenology calendar, trends of phenological phases, length of vegetation period, phenological height gradient

### Úvod

Fenológia prostredníctvom biologických prejavov živých organizmov počas ročných období zaznamenáva zmeny v závislosti na počasí, klíme, pôdnych a ďalších podmienkach. Od svojho vzniku v 18. storočí sa sformovala na modernú vedu s celosvetovým využitím na

výskum fenologických zmien pôvodných ekosystémov v krajine, poľnohospodárskych plodín, lesných a okrasných drevín a tiež v humánnej bioklimatológii pri prevencii proti peľovým alergénom. Predstavuje aplikovanú vednú disciplínu, ktorá pri svojich pozorovaniach využíva hlavne pozemné metódy priameho pozorovania podľa štandardizovaných metodík, ale aj moderné metódy s použitím digitálnych fenokamier a tiež diaľkový prieskum zeme družicovými snímkami.

Podľa správy IPCC z roku 2007 (Intergovernmental Panel on Climate Change) je fenológia považovaná za pravdepodobne najjednoduchší no pritom najkomplexnejší nástroj, ktorým je možné dokázať zmeny vo vývoji rastlín a živočíchov v závislosti na vývoji klímy.

V súčasnosti sa fenologické údaje stávajú dôležitým biologickým indikátorom modelovania fenologických fáz pri potenciálnom dopade klimatickej zmeny, ale aj pri prognózach budúceho rozšírenia a vitality rastlín, tiež pri zaznamenávaní sezonality druhov formou fenologických kalendárov a diagramov, pri sledovaní zmien fenologických gradientov. Doterajšie poznatky výskumu procesov klimatickej zmeny a jej scenáre do konca tohto storočia predpokladajú nárast extrémnosti poveternostných podmienok, ktoré sa u nás najvýraznejšie prejavujú napr. zvýšenou frekvenciou prírodných rizík ako: veterných kalamít, privalových zrážok, povodní, horúcich a tropických vĺn počasia, suchom a pod. Ukazuje sa ich významný vzťah so zmenami fenologických prejavov rastlín a hmyzu.

## **Materiál a metódy**

Od polovice 20. storočia vznikla v Európe sieť medzinárodných fenologických záhrad (International Phenological Gardens - IPG), ktoré používajú na pozorovanie geneticky identický fenologický materiál. Pre možnosť porovnania údajov medzi fenologickými stanicami a záhradami v rámci Európy došlo k zavedeniu fenologickej stupnice BBCH kódov (Meier 1997). Táto stupnica má využitie v sieti fenologických staníc IPG, v poľnohospodárstve na určovanie fenofáz odrôd jabloní, viniča a niektorých druhov obilnín. Zjednotenie metodík predstavovalo ďalší krok k vytvoreniu globálnej fenologickej monitorovacej siete, ktorá od roku 1993 existuje pod názvom Globálny fenologický monitoring (GPM). Jej cieľom je prepojenie a rozšírenie lokálnych fenologických sietí so zameraním na druhy významné z ekonomického hľadiska (ovocné stromy, okrasné dreviny, včasne kvitnúce byliny) (Bruns et al. 2003).

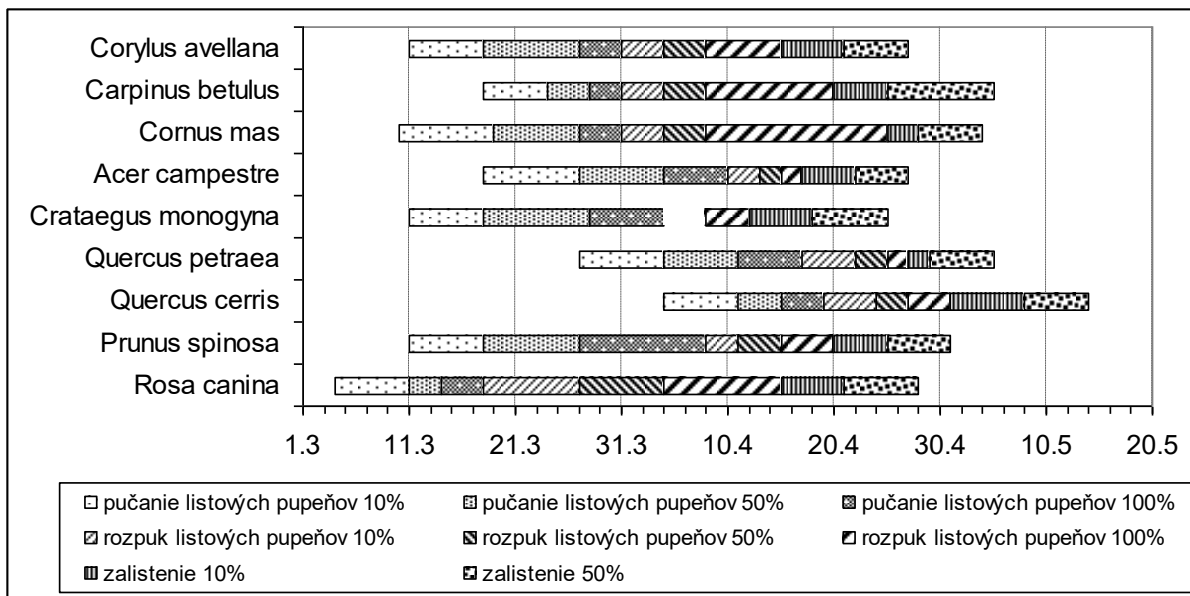
Na Slovensku fenologické pozorovania odborne zabezpečuje Slovenský hydrometeorologický ústav. Predmetom pozorovania sú zoofenologické (vtáky, včely, škodcovia) a fytofenologické (lesné a ovocné dreviny, lesné a lúčne rastliny, poľné kultúry) druhy. Podľa rozsahu

pozorovania sa všeobecné pozorovania vykonávajú vždy na viac ako troch jedincoch toho istého druhu a udávajú priemernú hodnotu fenologickej fázy, špeciálne zaznamenávajú aj začiatok fenofázy (prvé kvety, prvý prilet). Fytofenologická sieť pozostáva z 91 staníc všeobecnej fenológie. Stanice špeciálnej fenológie sú zamerané na pozorovanie poľných plodín (43), ovocných drevín a viniča (13) a lesných drevín (63) (SHMÚ 2013).

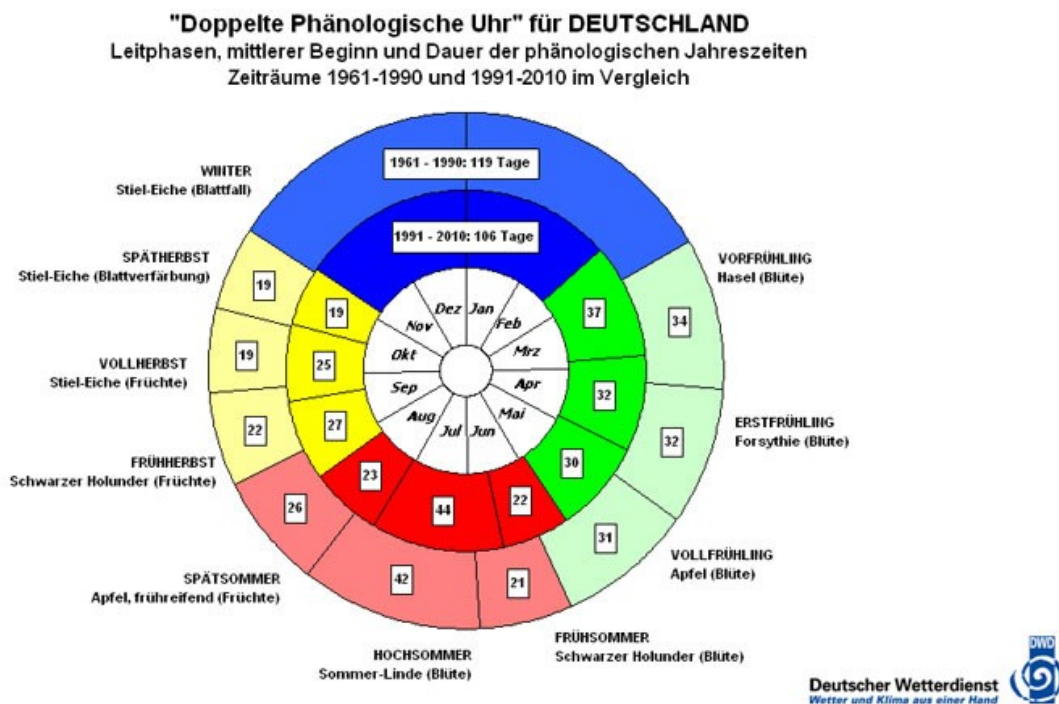
Pri pozorovaní sa okrem pozemnej metódy začala využívať aj nová metóda fenologického monitoringu pomocou diaľkového prieskumu Zeme satelitnými snímkami. Družice (Terra, Aqua) so spektorradiometrom MODIS umožňujú analyzovať množstvo odrazeného žiarenia (NDVI), ktoré sa s množstvom a zafarbením asimilačných orgánov počas roka rôzne mení. Hodnotu NDVI ovplyvňuje absorpcia červenej časti spektra listovými pigmentmi a silná odrazivosť listov v blízkej infračervenej časti spektra (Koch *et al.* 1990). Táto vlastnosť vegetačného indexu sa využíva pri modelovaní jeho priebehu počas roka vo vzťahu k fenologickým fázam lesných drevín (Lukasová *et al.* 2019).

### **Výsledky a diskusia**

Fenologické pozorovania zachytávajú sezónne zmeny rastlín pomocou fenologických fáz. Nástup a dĺžku ich trvania ovplyvňujú vonkajšie faktory, akými sú geografická poloha, teplota, množstvo zrážok, fotoperiód, pôdne pomery a tiež vnútro a medzidruhové vzťahy. Na danej lokalite alebo v jej širšom okolí s podobnými klimatickými podmienkami je možné sezonalitu druhov vyjadriť pomocou fenologického kalendára, ktorý vychádza s dlhodobých fenologických údajov. Fenologický dendrologický kalendár (Obr. 1) je ukázkou našich pozorovaní xerothermného spoločenstva *Corneto-Quercetum* v národnej prírodnej rezervácii Boky. Udáva poradie priemerného nástupu fenologických fáz drevín za posledných 20 rokov. Z hľadiska stálosti poradia nástupu fenologických fáz sú kalendáre nemenné. Pri prebiehajúcej zmene klímy za dlhšie časové obdobie môže dôjsť v kalendári k posunu fenofáz, čo dokumentuje obrázok 2 z územia Nemecka.



Obr. 1 Fenologický kalendár xerothermného ekosystému *Corneto-Quercetum* v NPR Boky (1997–2016) (Škvareninová ed. 2009)

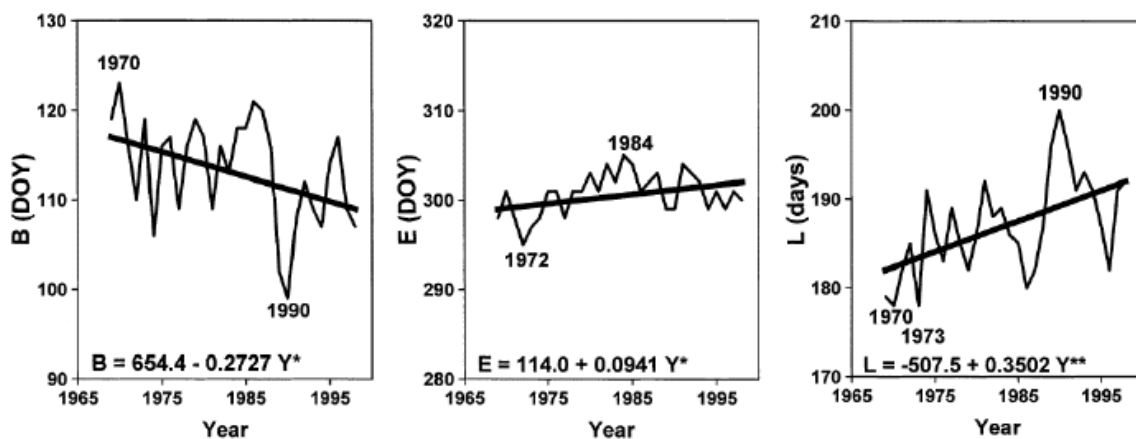


Obr. 2 Príklad fenologického kalendára pre dve rozdielne časové obdobia (1961– 1990, 1991–2010)

Fenológia pomáha v období nastupujúcej klimatickej zmeny zaznamenávať vývoj ekosystémov v krajine prostredníctvom komplexu bioindikátorov, z ktorých sa najvýznamnejšie prejavili:

- nástup a dĺžka vegetačného obdobia
- nástup fenologických fáz
- fenologický výškový gradient

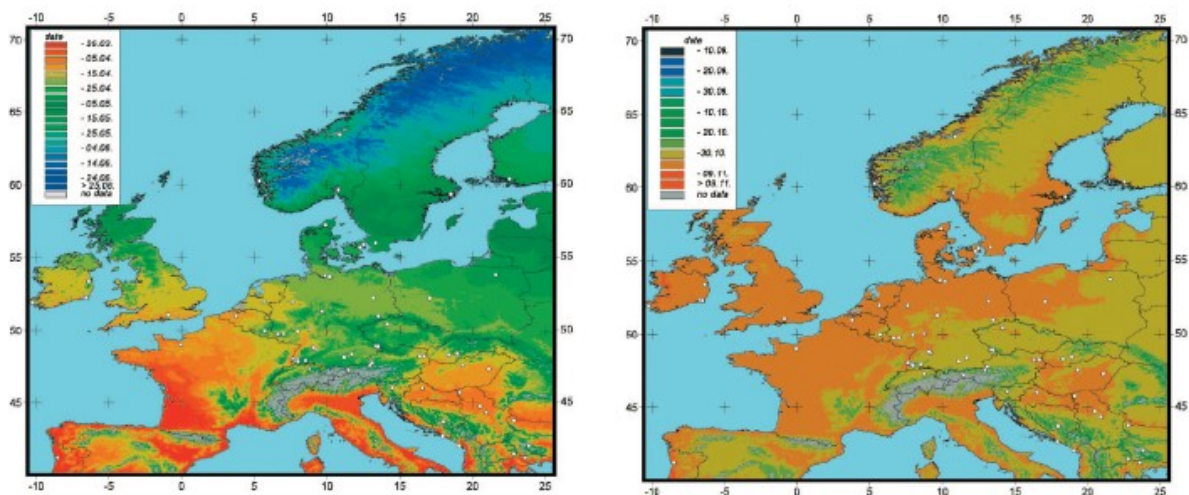
Za jeden z kľúčových indikátorov v rámci zmeny terestriálnych ekosystémov a ich biodiverzity bola v rámci fenológie určená dĺžka vegetačného obdobia. Na základe výsledkov Európskej environmentálnej agentúry (EEA 2004) sa priemerné trvanie vegetačného obdobia v Európe predĺžilo o 10 dní s predpokladom ďalšieho zvyšovania počtu dní. Pozitívny vplyv nárastu teploty na dĺžku trvania vegetačného obdobia a intenzitu rastu bude však kompenzovaný nárastom rizika súvisiaceho s nedostatkom vody najmä v oblasti strednej a severnej Európy. Pri vyhodnocovaní fenologických údajov získaných v IPG z obdobia 1969–1998 bol zistený priemerný skorší posun v začiatku vegetačného obdobia v Európe o 8 dní (2,7 dňa za desaťrocie). Skoršie začiatky prevládajú hlavne od konca 80-tych rokov 20. storočia. V sledovaných rokoch 1969–1998 sa trend dĺžky vegetačného obdobia posunul neskôr o 3,5–10,5 dňa za desaťrocie (Obr. 3). Väčšina európskych regiónov ukazuje štatisticky významné trendy skoršieho začiatku, ktoré sú v rozpätí 3–6 dní za desaťrocie. Najsilnejšie trendy predlžovania vegetačného obdobia boli zaznamenané v strednej Európe. Analýzou údajov z IPG bol zistený hlavne vplyv teploty vzduchu v marci, čiastočne aj vo februári tzn. že vyššia teplota v neskorej zime spôsobuje skorší nástup zalistenia (Chmielewski- Rötzer 2001).



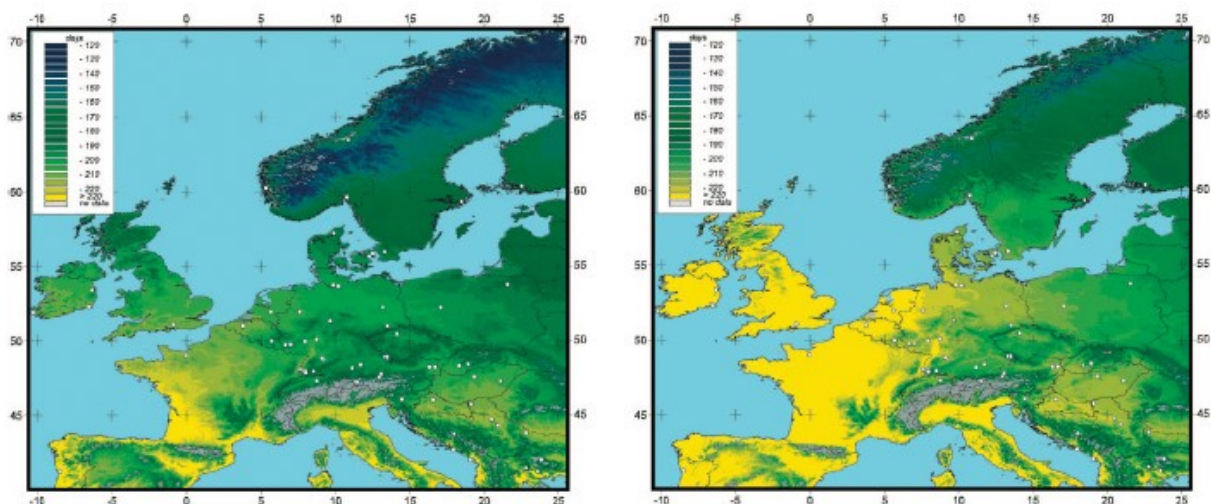
Obr. 3 Trendy priemerného začiatku (B), ukončenia (E) a dĺžky (L) vegetačného obdobia v Európe. Y - rok, DOY - deň v roku, štatistická významnosť: \*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$ . (Chmielewski- Rötzer 2001)

Nástup určitej fenologickej fázy, ktorú ovplyvňuje geografická poloha v súvislosti so zemepisnou šírkou a dĺžkou možno pomocou fenologických dát zaznamenať aj v areáli daného druhu. Príkladom sú mapy (Obr. 4) zo staníc medzinárodných fenologických záhrad v rokoch 1961–1998, v ktorých autori Chmielewski a Rötzer (2001) udávajú oneskorenie začiatku vegetačného obdobia o 3,1 dňa na 100 m nadmorskej výšky, o 0,5 dňa na 100 km v smere zo západu na východ a o 2,3 dňa na 100 km v smere z juhu na sever. Vegetačné obdobie vo väčšine Európy začína medzi 10. a 25. aprílom, v horských oblastiach Álp a Dalmátskych vrchov takmer so 4-týždňovým oneskorením. Podobný časový posun sa zistil aj na konci vegetačného obdobia. Časové posuny sú viditeľné aj pri dĺžke vegetačného obdobia (Obr. 5). Najdlhšie vegetačné obdobie s viac ako 220 dňami bolo zaznamenané v južnej časti Francúzska a v pobrežných oblastiach južnej Európy. Vo vysokých nadmorských výškach a v oblasti polárneho kruhu Škandinávie trvalo menej ako 150 dní. Najteplejším rokom obdobia 1961–1998 bol rok 1990, v ktorom bolo vegetačné obdobie vo všetkých oblastiach dlhšie priemerne o 20 dní.

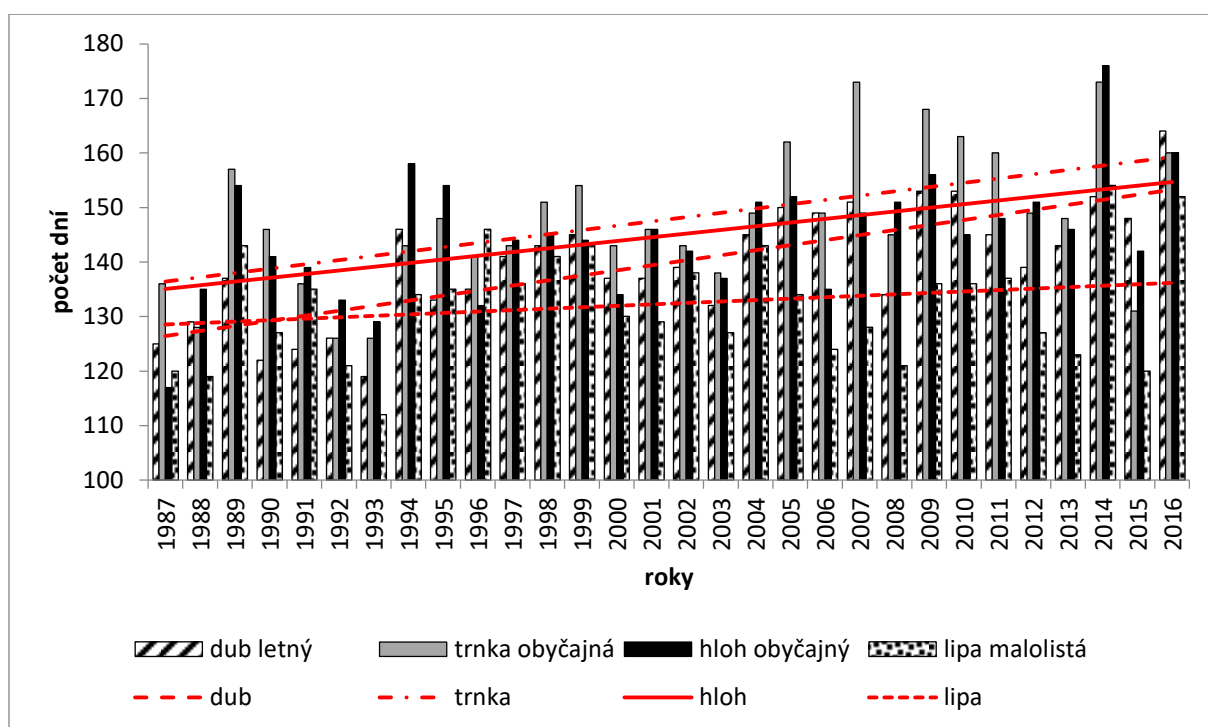
V podmienkach stredného Slovenska sa priemerná dĺžka vegetačnej doby autochtónnych drevín pohybuje od 132 do 147 dní (Škvareninová 2013). Posunom niektorých jarých vegetatívnych fenofáz do skoršieho obdobia a neskorším začiatkom žltnutia listov sa predlžuje vegetačné obdobie pri všetkých drevinách v oblasti stredného Slovenska priemerne o 6–26 dní (Obr. 6).



Obr. 4 Časové posuny nástupu a ukončenia vegetačného obdobia v Európe v období 1961–1998 (Chmielewski- Rötzer 2001)



Obr. 5 Dĺžka vegetačného obdobia v Európe v období 1961–1998 a v extrémne teplom roku 1990 (Chmielewski- Rötzer 2001)

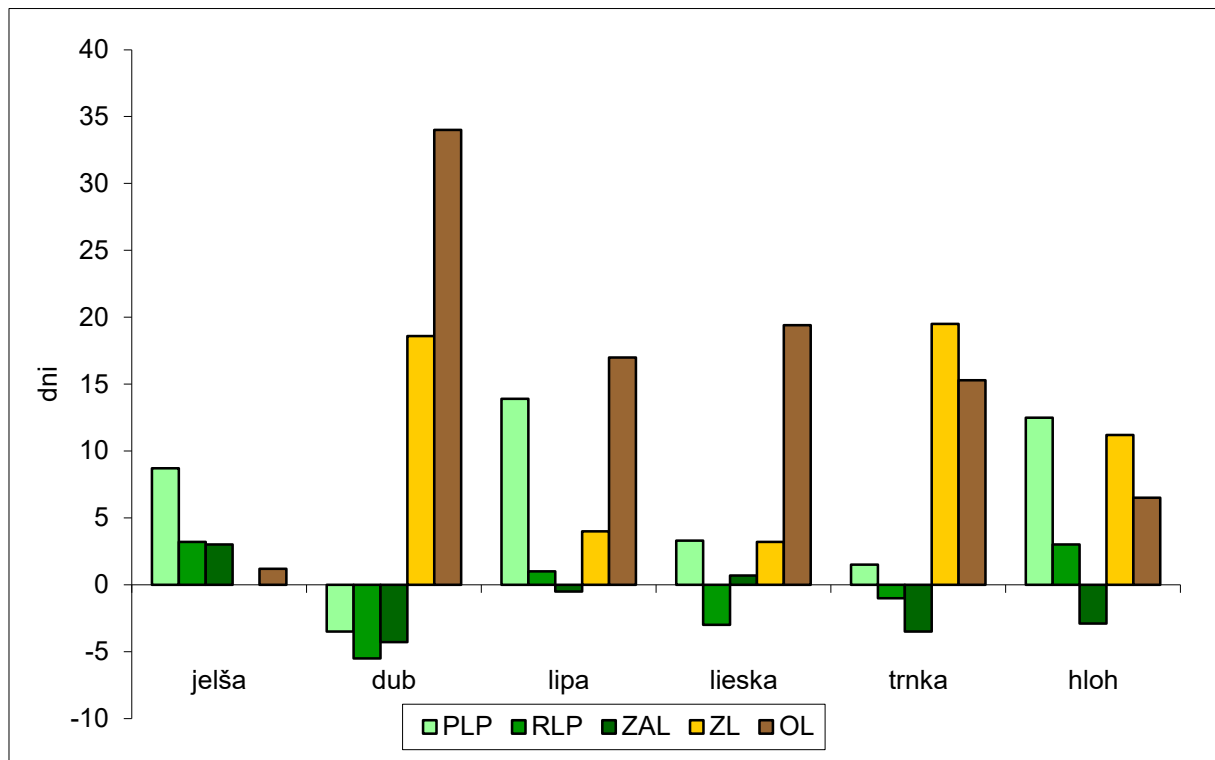


Obr. 6 Trendy (červená) vývoja vegetačného obdobia drevín lesných ekosystémov (zdroj: autor)

Dlhé fenologické časové rady ukazujú, že postupným otepľovaním atmosféry sa začiatok nástupu jarných vegetatívnych fenofáz posúva do skoršieho časového obdobia s trendom priemerne o 1–5 dní. Jesenné vegetatívne fenologické fázy zaznamenali výrazne neskorší trend nástupu o 4–20 dní, ktorý sa s 99% pravdepodobnosťou ukázal štatisticky významný

(Obr. 7). Výnimkou je dub letný, ktorého listy opadávajú až v neskorom jesennom období a patrí k fenologickým najstabilnejším drevinám počas celého roka (Škvareninová 2014).

Aj keď fenologické pozorovania nemôžu úplne nahradiť meteorologické merania, pri dlhodobých časových obdobiach sú určitým priamym vyjadrením charakteru klímy danej oblasti a cenným zdrojom informácií o zmenách nástupu fenologických fáz a dĺžky trvania vegetačného obdobia.



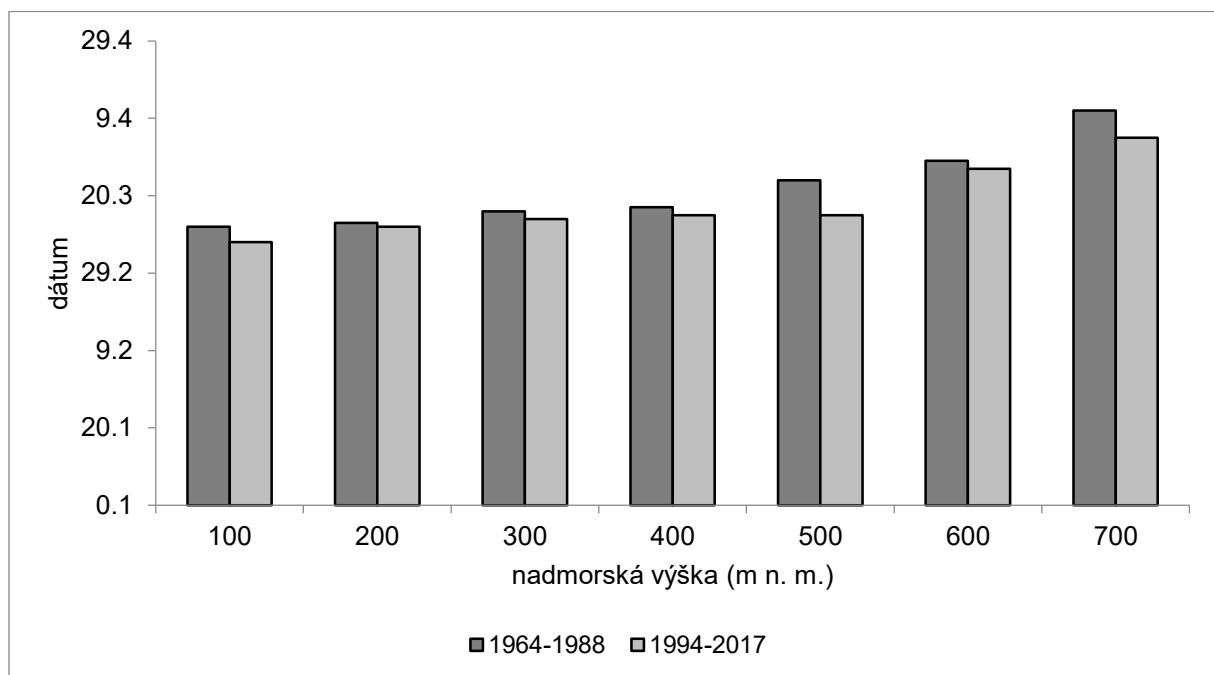
Obr. 7 Trendy nástupu vegetatívnych fenologických fáz drevín v rokoch 1987–2017 (PLP-pučanie listových púčikov, RLP-rozpuk listových púčikov, ZAL-zalistenie, ZL-žltnutie listov, OL-opad listov) (zdroj: autor)

Jedným z dôležitých bioindikátorov zmien v lesných ekosystémoch je aj fenologický výškový gradient (FVG). Vyjadruje vplyv zmeny klimatických prvkov na fenologické prejavy drevín v hraniciach ich vertikálneho výskytu. Určuje rozdiel v nástupe fenofázy medzi najnižšie a najvyššie položenou fenologickou stanicou prepočítaný na 100 výškových metrov. V rámci Slovenska boli zistené fenologické výškové gradienty vybraných fenofáz pre viaceré druhy drevín pôvodných lesných ekosystémov (Melo, 2006, Schieber 2011, Škvareninová 2013). V našich prácach sme pre niektoré dreviny (*Corylus*, *Fagus*, *Tilia*) zistili gradienty jarných fenologických fáz v intervale 2,3–4,5 m/100 m výšky (Škvareninová-Škvarenina 2013,



Škvareninová 2016). Gradientsy jesennej fázy žltnutie listov dosahujú hodnoty v priemere 2,5–2,7 dňa/100 m.

Na použitie FVG ako bioindikátora predpokladanej klimatickej zmeny posluží porovnanie FVG liesky obyčajnej v dvoch rovnako dlhých časových obdobiach. V období 1994–2017 dochádza ku skorším nástupom fenologických fáz aj vo vyšších nadmorských výškach oproti obdobiu 1964–1988. Časové posuny fenofázy medzi výškovými stupňami sa skracujú a výškové gradienty sa znižujú. FVG indikujú zmeny teplotných pomerov, ktorých pokles v dlhšom časovom rade 25–30 rokov je signálom otepľovania vo vyšších výškových stupňoch mladšieho obdobia, najviac v 5. výškovom stupni. (Obr. 8). V skoršom období 1964–1988 priemerný nástup kvitnutia liesky na Slovensku začal 23. marca. V období 1994–2017 nastal priemerné o 5 dní skôr, čo sa prejavilo aj poklesom FVG o 2,4 dňa na 100 m výšky.



Obr. 8 Priemerný nástup kvitnutia liesky obyčajnej vo výškových stupňoch v obdobiach rokov 1964–1988 a 1994–2017 (zdroj: autor)

## Záver

Klíma je dôležitý faktor geografického rozšírenia rastlinných ale aj živočíšnych druhov. Adaptácia a fenologická plasticita biotickej zložky krajiny sa v podmienkach globálneho otepľovania prejavuje posunom areálov výskytu druhov do vhodných klimatických podmienok, ale aj zmenou biodiverzity ekosystémov. Zmena klímy sa v pôvodných lesných ekosystémoch prejavuje na hlavnej zložke - drevinách vyššou variabilitou nástupu jarných fenologických fáz, ich kratším trvaním a posunom do skoršieho obdobia. Postupným

otepl'ovaním, zvlášť v jesennom období dochádza k výraznému predlžovaniu vegetačného obdobia. Tiež sa pozorujú zmeny vo výškových fenologických gradientoch viacerých druhov drevín. Podľa štúdie o dopade klimatickej zmeny na krajinu (Škvarenina *et al.* 2010) sa predpokladá výrazný posun lesných vegetačných stupňov a klimatických areálov takmer všetkých lesných drevín, čo môže v niektorých prípadoch prispieť k obohateniu pôvodných ekosystémov dostatkom reprodukčného materiálu.

Fenologické prejavy drevín sú bioindikátory, ktoré nás upozorňujú na významné zmeny v krajine. Môžu tak dať odpovede na aktuálny stav ekosystémov, ale aj na otázky vplyvu nastupujúcej klimatickej zmeny na ich areály do budúcnosti.

## Literatúra

- Bruns, E., Chmielewski, F.M., Vliet, J.H., 2003: The Global Phenological Monitoring concept. In: Schwartz, M.D.(ed.): *Phenology. An Integrative Environmental Science*, Kluwer Publishers, Dordrecht, Boston, London, pp. 93–104.
- EEA, 2004: *Impacts of Europe's changing climate*. Copenhagen, EEA Report No 2/2004.
- Chmielewski, F. M., Rötzer, T., 2001: Response of tree phenology to climate change across Europe. *Agricultural and Forest Meteorology*, 108:101–112.
- IPCC, 2007: (Impacts, Adaptation and Vulnerability; <http://www.ipcc.ch/report/ar4/wg2/>)
- Koch, B., Ammer, U., Schneider, T., Wittmeier, H., 1990: Spectroradiometer measurements in the laboratory and in the field to analyse the influence of different damage symptoms on the reflection spectra of forest trees. *Int. J. Remote Sensing*, 11(7):1145–1163.
- Lukasová, V., Bucha, T., Škvareninová, J., Škvarenina, J., 2019: Validation and Application of European Beech Phenological Metrics Derived from MODIS Data along an Altitudinal Gradient. *Forests*, 10,60, doi:10.3390/f10010060.
- Meier, U., 1997: *BBCB-Monograph*. Growth stages of plants – Entwicklungsstadien von Pflanzen– Estadios de las plantas – Development des Plantes. Blackwell Wissenschaftsverlag, Berlin und Wien, 622 p.
- Melo, M., 2006: Vplyv geografickej polohy na nástup fenologických fáz lipy malolistej na Slovensku. In: Rožnovský, J, Litschmann, T., Vyskot, I. (eds.): *Fenologická odezva proměnlivosti podnebí*. Brno 22.3.2006. 9 s.
- SHMÚ, 2013: [www.shmu.sk/File/metaklin/fenol.jpg.2013](http://www.shmu.sk/File/metaklin/fenol.jpg.2013)
- Schieber, B., 2011: Fenológia buka lesného (*Fagus sylvatica* L.) na výškovom gradiente (južné a stredné Slovensko). *Acta Facultatis Forestalis*, 53(1):51–59.

- Škvarenina, J., Gömöry, D., Hlásny, T., Hríbik, M., Hrvol', J., Longauer, R., Škvareninová, J., Tomlain, J., Vida T., 2010: Dopad klimatickej zmeny a zhodnotenie zraniteľnosti územia v sektore lesné ekosystémy a lesné hospodárstvo. In: Škvarenina, J., Szolgay, J., Šiška, B., Lapin, M. (eds.) Klimatická zmena a krajina -dopady klimatickej zmeny a zhodnotenie zraniteľnosti územia na Slovensku v sektoroch „vodné hospodárstvo lesy a poľnohospodárstvo“. *Štúdia Slovenskej bioklimatologickej spoločnosti pri SAV*, XXV, roč. XXII, 114 s.
- Škvareninová, J. (ed.) 2009: *Fenológia rastlín v meniacich sa podmienkach prostredia*. Monografia. Vydavateľstvo Technickej univerzity vo Zvolene, Zvolen, 103 s.
- Škvareninová, J., 2013: *Vplyv zmeny klimatických podmienok na fenologickú odozvu ekosystémov*. Vedecká monografia. Vydavateľstvo Technickej univerzity vo Zvolene, Zvolen, 132 s.
- Škvareninová, J., 2014: 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 bioindicator of state forest ecosystems, weather extremes and climate change). *Zprávy lesníckého výzkumu-Reports of Forestry Research*, 59(4):250–255 (Scopus)
- Škvareninová, J., 2016: Impact of climatic conditions on the reproductive phenological phases of the european hazel (*Corylus avellana* L. ) in Slovakia. *J. For. Sci.*, 62(2):47–52 doi: 10.17221/55/2015-JFS. (Scopus)
- Škvareninová, J., Škvarenina, J., 2013: Vývoj fenologických výškových gradientov a trendov vybraných fenologických fáz lipy malolistej (*Tilia cordata* MILL.) na Slovensku. *Meteorologický časopis*, 16(2):87–91.

### **Pod'akovanie**

Príspevok vznikol a bol finančne podporený z projektov VEGA MŠ SR: 1/0111/18, 1/0500/19 a APVV -15 - 0425.

### **Kontakt:**

Prof. Ing. Jana Škvareninová, PhD.

Technická univerzita vo Zvolene, Fakulta ekológie a environmentalistiky

T. G. Masaryka 24, 960 01 Zvolen

e-mail: skvareninova@tuzvo.sk