

Vplyv vybraných biometeorologických faktorov na fenologické fázy buka lesného (*Fagus sylvatica* L.) na Slovensku

Influence of selected biometeorological factors on the phenological phase of European beech (*Fagus sylvatica* L.) in Slovakia

Lukasová Veronika¹, Železník Jakub¹, Škvarenina, Jaroslav¹, Škvareninová Jana¹,

Bošeľa Michal¹, Hlavatá Helena², Snopková Zora³

¹*Technická univerzita, Zvolen;*

²*Slovenský hydrometeorologický ústav Košice*

³*Slovenský hydrometeorologický ústav Banská Bystrica*

Abstrakt

V príspevku sme sa zaoberali priebehom jarných a jesenných fenologických fáz buka lesného v rokoch 2000 až 2017. Sledovali sa dve odlišné lokality, v 2. vegetačnom stupni (bukovo dubový) a v 4. vegetačnom stupni (bukový) na Slovensku. Sledované fenologické fázy (začiatok zalistenia 10% a začiatok žltnutia listov 10%) sa vyhodnotili aj vo vzťahu k vybraným meteorologickým a biometeorologickým faktorom

Kľúčové slová: buk lesný, fenologické fázy, teplota vzduchu, klimatická vodná bilancia

Abstract

The paper deals with the course of spring and autumn phenological phases of beech forest between 2000 and 2017. Two different localities were observed, in the 2nd vegetation stage (beech oak) and in the 4th vegetation stage (beech) in Slovakia. The observed phenological phases (10% leaf unfolding and 10% leaf colouring) were also evaluated in relation to selected meteorological and biometeorological factors

Keywords: European beech, *Fagus sylvatica* L. phenological phases, air temperature, climate water balance

Úvod

V temperátnej klimatickej zóne t.j. v podnebí s výraznou sezonalitou, vývin rastlín a ekosystémov ako celku prechádza viacerými etapami, podmienenými vnútornými aj vonkajšími faktormi, na ktoré sa adaptuje za pomoci fenologických fáz (Hudson - Keatley

2010; Lieth 2013). Indikačné a bioindikačné možnosti fenológie sa v súčasnosti využívajú pri skúmaní človekom podmienenej zmeny klímy. Situáciu veľmi výstižne podávajú nasledovné slová: „fenológia je odbor zvláštnej povahy, ako svojim zameraním, postavením, tak aj metodikou a svojim uplatnením, ktoré široko prekročilo jeho pôvodný cieľ (Krška 2006). Už sa nejaví len ako neškodná zábava prírodovedcov, ako bola do nedávnej minulosti nazývaná, ale zmenila sa na dôležitú vednú disciplínu, najmä pre vysokú hodnotu fenologických dát v oblasti výskumu klimatickej zmeny“.

Posunom fenologických fáz by mohlo dôjsť k narušeniu medzidruhových vzťahov rastlín a živočíchov, s prípadným oslabením ekosystému, ktoré by mohlo v extrémnych prípadoch vyvolať jeho rozpad. Pomocou fenologických dát, ako indikátorov klimatickej zmeny, možno rôzne trendy klímy monitorovať a kvantifikovať. Fenologické pozorovania živých organizmov, hlavne rastlín, teda možno považovať za jeden z efektívnych nástrojov identifikácie vplyvu klimatickej zmeny na lesné ekosystémy a prognózy budúceho vývoja lesa (Pálešová 2012; Lukasová et al. 2014).

Buk lesný (*Fagus sylvatica* L.) patrí k najvýznamnejším lesným drevinám v Európe a je dominantou prirodzených stredo európskych lesov od pahorkatín až do horských polôh. Pôvodné zastúpenie buka lesného dosahovalo v lesoch Slovenska až 48 %, čo je v porovnaní so súčasným zastúpením 32 % oveľa viac. Buk je na našom území rozšírený od pahorkatín (cca 120–150 m n. m.) do nadmorskej výšky 1485 m (Fekete - Blatný 1914). Výnimkou sú tzv. bezbukové zóny v oblasti Spiša a Tatranskej kotliny, kde sa vplyvom vnútrohorskej kontinentálnej klímy buk takmer nevyskytuje (Plesník 1995).

Cieľom nášho príspevku bolo zhodnotenie 18 ročných fenologických pozorovaní buka lesného na dvoch fenologických staniách v rôznych vegetačných stupňoch 2. vs bukovo – dubový) a 4 vs bukový. Vyhodnotil sa priebeh dvoch fenologických fáz, a to v jarnom období - začiatok zalistenia 10% (ZAL_10) a v jesennom období fáza žltnutia listov 10% (ZL_10). K uvedeným fenologickým fázam sme zhodnotili aj vybrané biometeorologické prvky.

Materiál a metódy

Fenologické fázy a meteorologické pozorovania sa vykonali na týchto dvoch lokalitách.

- **Lokalita: 2. vegetačný stupeň (bukovo dubový)**

fenologická stanica: *Železná Studienka 304 m n. m.* zastúpenie buka 57 %

geomorfologický celok: *Malé Karpaty*

priradená klimatologická stanica: *Bratislava – Koliba 287 m n. m.*

Priemerná ročná teplota: $T = 9,4 \text{ }^{\circ}\text{C}$; priemerný ročný úhrn zrážok $Z = 645 \text{ mm}$

Klimatická oblasť: *teplá*; okrsok: *T7 – teplý, mierne vlhký s miernou zimou*

Skupina lesných typov: *Fageto-Quercetum, FQ - (buková dúbrava)*

- **Lokalita: 4. vegetačný stupeň (bukový)**

fenologická stanica: *Zvolen 566 m n. m.* zastúpenie buka 65 %

geomorfologický celok: *Javorie*

priradená klimatologická stanica: *Banská Štiavnica 575 m n. m.*

Priemerná ročná teplota: $T = 7,6 \text{ }^{\circ}\text{C}$; priemerný ročný úhrn zrážok $Z = 745 \text{ mm}$

Klimatická oblasť: *mierne teplá*; okrsok: *M6 – mierne teplý, vlhký, vrchovinový,*

Skupina lesných typov: *Fagetum pauper Fp - (bučiny)*

Klimatické a fenologické dáta boli za obdobie rokov 2000 až 2017 poskytnuté od Slovenského hydrometeorologického ústavu. Hodnotili sme fenologické fázy:

- v jarnom období začiatok zalistenia 10% (ZAL₁₀)

- v jesennom období začiatok žltnutia listov 10% (ZL₁₀)

Uvedenú jarnú fenologickú fázu sme hodnotili k nasledovným biometeorologickým faktorom:

- priemerná mesačná teplota mesiacov február až apríl (PTV_{II-IV})

- priemerná mesačná teplota mesiacov marec až apríl (PTV_{III-IV})

- počet mrazových dní (n_{MD}): počet dní s minimálnou teplotou vzduchu nižšou ako $0 \text{ }^{\circ}\text{C}$

- počet ľadových dní (n_{LD}): počet dní s maximálnou teplotou vzduchu nižšou ako $0 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Klimatickú vodnú bilanciu sme vypočítali podľa práce Škvarenina a kol. (2004) Klimatická vodná bilancia (KVB) je definovaná ako rozdiel medzi zrážkami (Z) a potenciálnym výparom (PE), potenciálny výpar sme počítali podľa Ivanova.

Jesennú fenologickú fázu sme vyhodnocovali ku klimatickej vodnej bilancii:

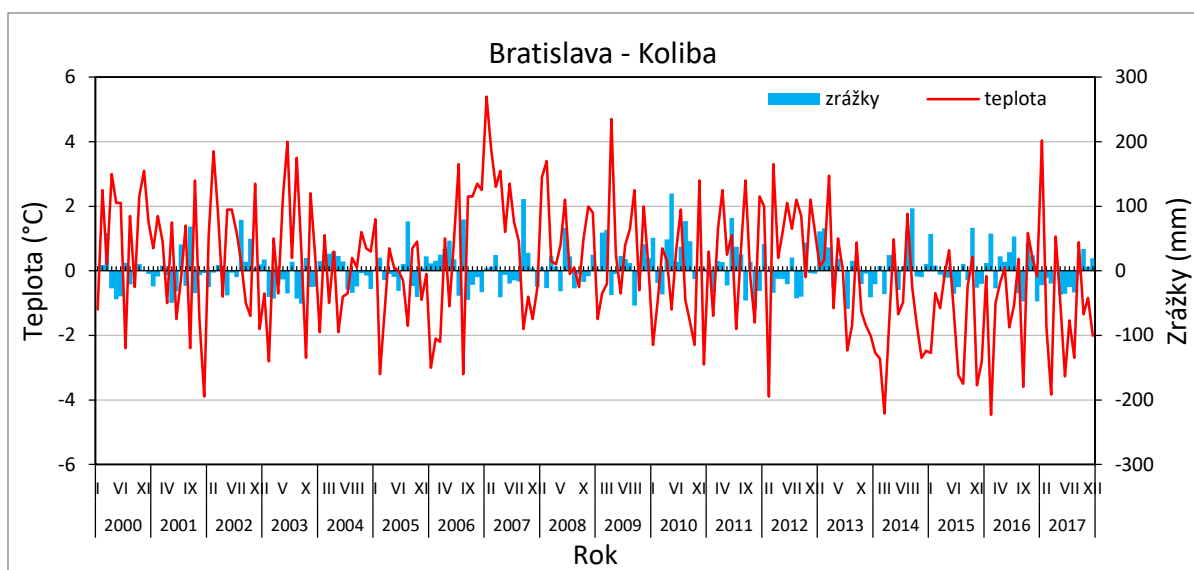
- klimatická vodná bilancia mesiacov apríl až september (KVB_{IV.IX})

- klimatická vodná bilancia mesiacov júl až september (KVB_{VII.IX})

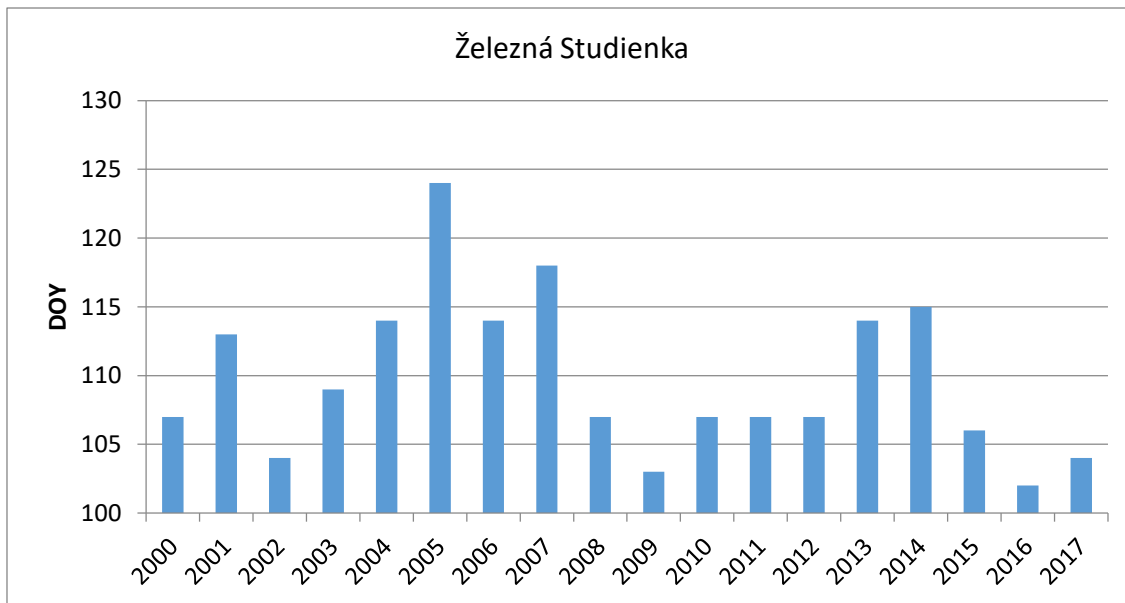
Na zistenie vzťahov medzi sledovanými fenofázami a biometeorologickými faktormi, sme použili korelačnú analýzu. Korelačné koeficienty sme porovnali s kritickou hodnotou určenou podľa požadovanej presnosti a počtu stupňov voľnosti.

Výsledky

Bratislava – Koliba / Železná Studienka. Fenologická fáza **začiatok zalistenia 10% ZAL_10** na lokalite Železná Studienka mala v rokoch 2000-2017 priemerný nástup DOY 110 (20.4.). Táto jarná fenofáza nastúpila najskoršie v DOY 102 (12.4.) a to v roku 2016, naopak najneskorí nástup nastal v DOY 124 (4.5.) v roku 2005. Vidíme, že v roku 2007 výborne koreluje skorý nástup fenofázy (obr. 2) s teplotou vzduchu (obr. 1).



Obr.1: Diferencie priemernej mesačnej teploty vzduchu a úhrnov zrážok od normálu (1981-2010) pre stanicu Bratislava-Koliba



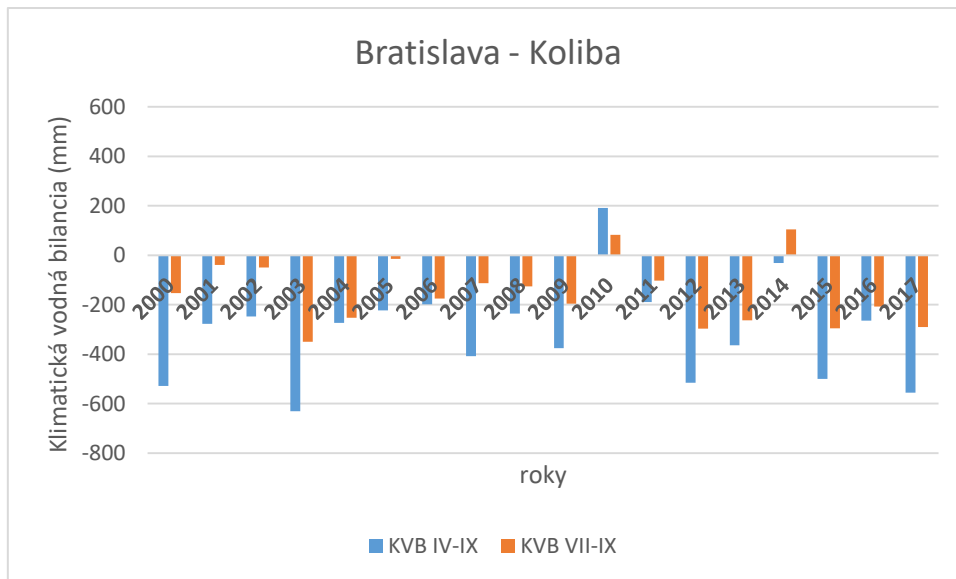
Obr. 2 Priebeh jarnej fenologickej fázy začiatok zalistenia (ZAL_10) na fenologickej stanici Železná Studienka (DOY (day of year) – poradové číslo dňa v roku)

Najskoršie nástupy fenofázy ZAL_10 (12. 4. až 14. 4.) v rokoch 2002, 2009, 2016 a 2017 sú spojené s výraznou kladnou odchýlkou teploty vzduchu od normálu. Naopak najneskoršie nástupy tejto fenologickej fázy, ktoré sú posunuté až na koniec mesiaca apríl (DOY 118 t.j. 28. 4.) sú spojené spravidla s poklesmi teploty vzduchu v prvých troch mesiacoch v roku.

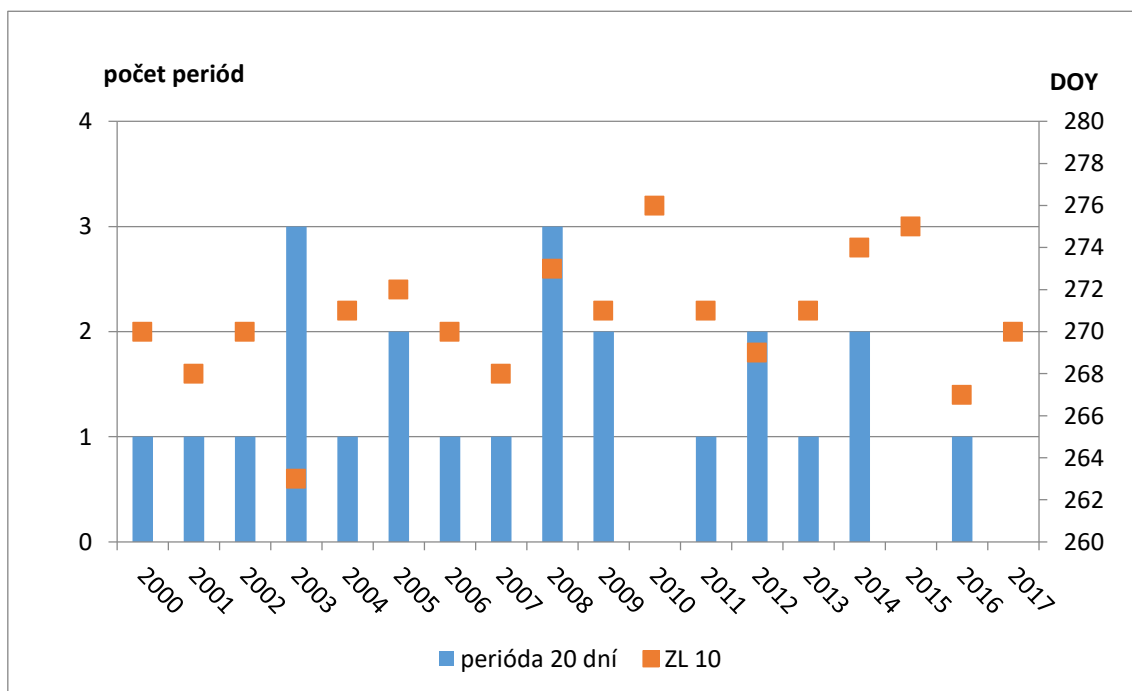
Žltnutie listov 10% (ZL_10) začínalo v priemere v DOY 270 (27. 9.). Najskoršie vizuálne sledované ŽL_10 nastalo v roku 2003 v DOY 263 (20.9.), najneskoršie v roku 2010 v DOY 276 (3.10.). Rok 2003 sa odlišoval od ostatných výrazne nadnormálnymi teplotami v júni a hlavne v auguste (+4,8 °C), pričom bol zrážkovo podnormálny takmer počas celého roka. Rok 2010 bol spomedzi ostatných odlišný najvyšším nadnormálnym úhrnom zrážok predovšetkým počas vegetačného obdobia. Celkovo bola väčšina obdobia 2000–2012 teplotne nadnormálna a zrážkovo normálna až nadnormálna (obr. 3-4).

Z tabuľky 1 vidíme štatisticky najvýznamnejší vzťah ZAL_10 s priemernými teplotami v jarnom období (február-apríl, resp. marec-apríl) a menej významný s počtom mrazových dní.

V jesennom období fenofáza ZL_10 má významný korelačný vzťah ku klimateckej vodnej bilancii.



Obr. 3 Priebeh klimatickej vodnej bilancie v mesiacoch IV-IX a VII-IX na stanici Bratislava-Koliba v rokoch 2000 – 2017



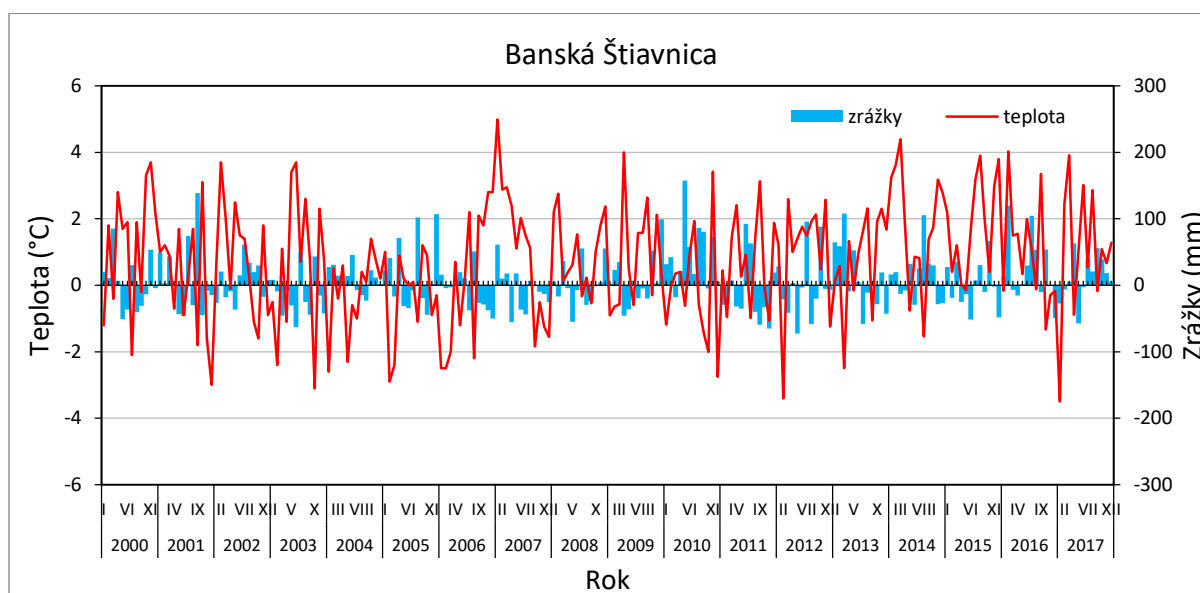
Obr. 4 Priebeh počtu 20 dňových suchých periód (<3 mm zrážok), na stanici Bratislava-Koliba a poradové číslo dňa s nástupom jesennej fenofázy žltnutia listov (ZL₁₀) na fenologickej stanici Železná Studienka v rokoch 2000 až 2017

Tab. 1 Korelačná analýza fenologických fáz ZAL₁₀ a ZL₁₀ s biometeorologickými faktormi Bratislava – Koliba / Železná Studienka

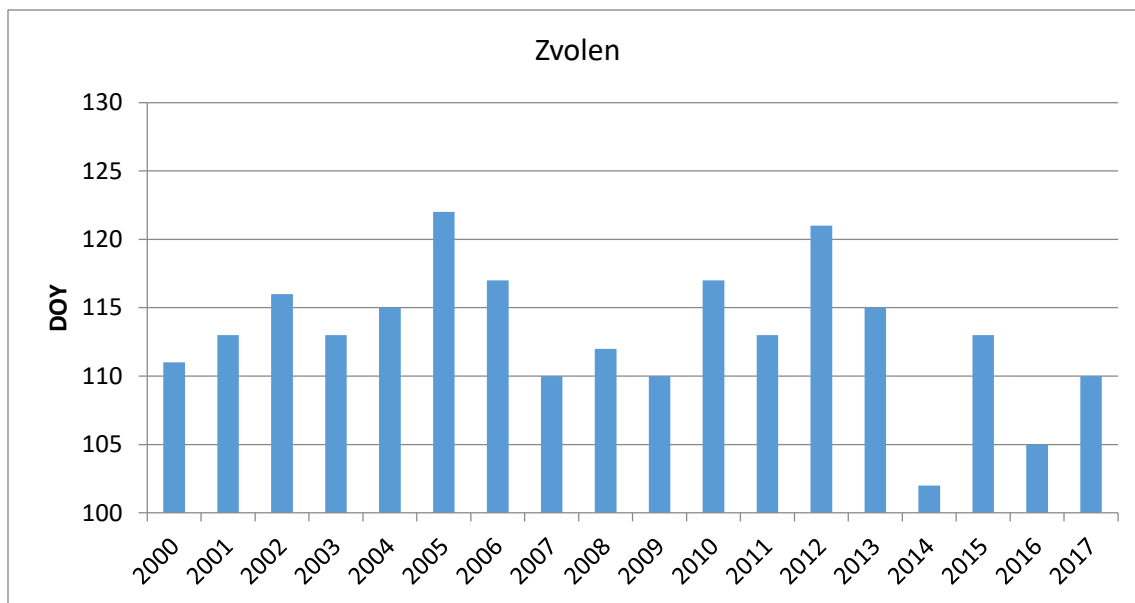
Železná Studienka/ Bratislava-Koliba				
Závislá premenná	Nezávislé premenné			
ZAL ₁₀		n	r _{yx}	sign.
	PTV _{II-IV}	18	-0,72	**
	PTV _{III-IV}	18	-0,81	**
	n _{LD}	18	0,39	NS
	n _{MD}	18	0,61	*
ZL ₁₀				
	KVB _{IV-IX}	18	0,59	*
	KVB _{VII-IX}	18	0,48	*

PTV - priemerná teplota vzduchu, n_{MD} – počet mrazových dní, n_{LD} – počet ľadových dní, KVB – klimatická vodná bilancia, n – počet analyzovaných rokov, r_{yx} – korelačný koeficient, sign. – štatistická významnosť, NS – korelačný koeficient sa nelíši štatisticky významne od nuly, *r_{yx} > r_{0,05} – korelačný koeficient sa významne líši od 0, **r_{yx} > r_{0,01} – korelačný koeficient sa veľmi významne líši od 0, ***r_{yx} > r_{0,001} – korelačný koeficient sa vysoko významne líši od 0.

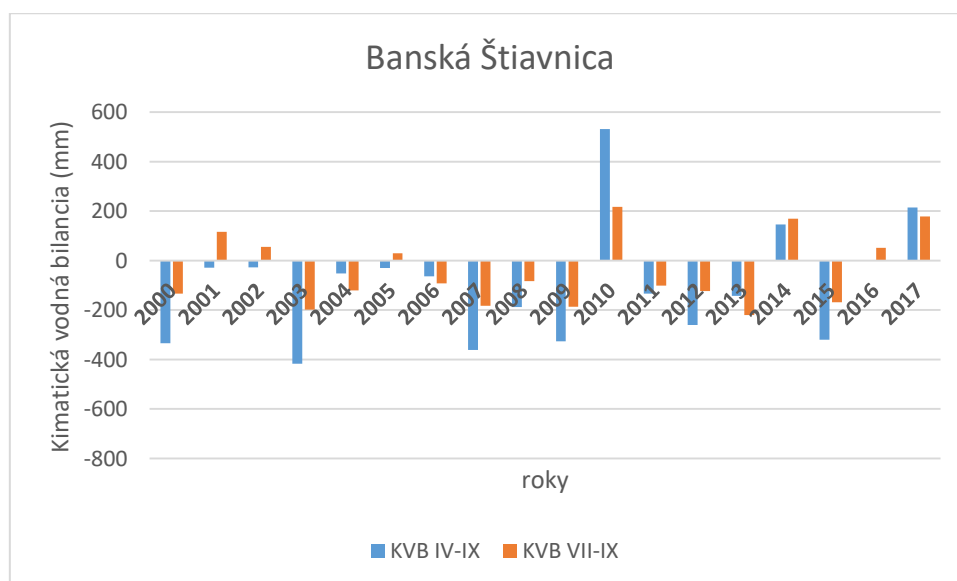
Banská Štiavnica/Zvolen. Fenologická fáza začiatok zalistenia 10% ZAL₁₀ mala nástup podľa pozorovaní na stanovišti Zvolen v rokoch 2000-2017 v priemere DOY 113 (23.4.). Jarná fenofáza nastúpila najskoršie v DOY 102 (12.4.) v roku 2014, naopak najneskoršie nastúpila jarná fenofáza ZAL₁₀ v DOY 122 (2.5.) v roku 2005. Vidíme, že v roku 2014 výborne koreluje skorý nástup fenofázy s teplotou vzduchu v jarnom období.



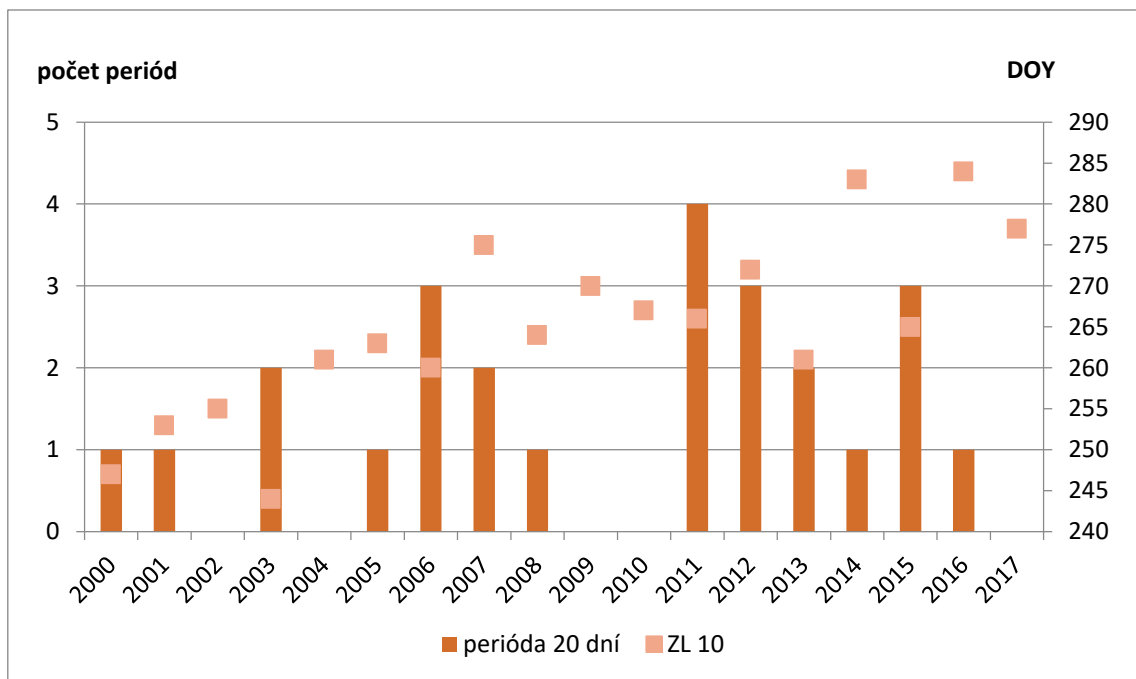
Obr. 5: Diferencie priemernej mesačnej teploty vzduchu a úhrnov zrážok od normálu (1981-2010) pre stanicu Banská Štiavnica



Obr. 6 Priebeh jarnej fenologickej fázy začiatok zalistenia (ZAL_10) na fenologickej stanici Zvolen studienka (DOY (day of year) – poradové číslo dňa v roku)



Obr. 7 Priebeh klimatickej vodnej bilancie v mesiacoch IV-IX a VII-IX na stanici Banská Štiavnica



Obr. 8 Priebeh počtu 20 dňových suchých periód (<3 mm zrážok), na stanici Banská Štiavnica a poradové číslo dňa s nástupom jesennej fenofázy žltnutia listov (ZL_10) na fenologickej stanici Zvolen za obdobie rokov 2000 až 2017

Tab. 2 Korelačná analýza fenologických fáz ZAL_10 a ZL_10 s biometeorologickými faktormi Banská Štiavnica / Zvolen

Zvolen/Banská Štiavnica				
Závislá premenná	Nezávislé premenné	n	r_{yx}	sign.
ZAL_10	PTV _{II-IV}	18	-0,79	***
	PTV _{III-IV}	18	-0,64	**
	n_{LD}	18	0,52	*
	n_{MD}	18	0,77	***
ZL_10	KVB _{IV-IX}	18	0,35	NS
	KVB _{VII-IX}	18	0,34	NS

PTV - priemerná teplota vzduchu, n_{MD} – počet mrazových dní, n_{LD} – počet ľadových dní, KVB – klimatická vodná bilancia, n – počet analyzovaných rokov, r_{yx} – korelačný koeficient, sign. – štatistická významnosť, NS – korelačný koeficient sa nelíši štatisticky významne od nuly, $*r_{yx} > r_{0,05}$ – korelačný koeficient sa významne líši od 0, $**r_{yx} > r_{0,01}$ – korelačný koeficient sa veľmi významne líši od 0, $***r_{yx} > r_{0,001}$ – korelačný koeficient sa vysoko významne líši od 0.

Priemerný deň začiatku **žltnutia listov ZL_10** bol v DOY 261 (18.9.). Ako vidíme na obr. 8, najskôr začali žltnúť listy v DOY 244 (1.9.) v roku 2003 podobne ako na predchádzajúcom stanovišti, najneskôr v rokoch 2007, 2014, 2016 a 2017, ktoré boli počas celého vegetačného obdobia teplotne nadnormálne. Vzťah skoršieho nástupu žltnutia listov k nedostatku vody v ekosystéme sa výrazne prejavil v roku 2003 ako aj v roku 2000. Ostatné roky varírovali okolo priemernej hodnoty fenofázy (DOY 270) (27.9.).

Z tabuľky 2 vidíme štatisticky najvýznamnejší vzťah ZAL_10 s priemernými teplotami v jarnom období (február-apríl, resp. marec-apríl), vysoko významný s počtom mrazových dní a menej významný s počtom ľadových dní. V jesennom období fenofáza ZL_10 nemá významný korelačný vzťah ku klimatickej vodnej bilancii.

Diskusia

V práci sme sa zamerali na jarnú vegetatívnu fázu – začiatok zalistenia (ZAL_10), pri ktorej sme zistili na väčšine pozorovaných staníc jej koreláciu s teplotami vzduchu v mesiacoch február-apríl a marec-apríl. Podobne aj Braslavská (2000) konštatuje významnú závislosť medzi teplotnými pomermi v marci a apríli a začiatkom zalisťovania buka a to v lokalitách nad 500 m. Schieber et al. (2009) konštatuje štatisticky významné ($p < 0,05$) vzťahy medzi nástupom zalisťovania a teplotou vzduchu marec-apríl. Veľmi podobné výsledky týkajúce sa jarného zalisťovania buka uvádza Brandýsová (2013). Uvádza, podobne ako naša práca štatisticky významný korelačný koeficient s počtom ľadových a mrazových dní ako aj s teplotami v jarných mesiacoch. Terestrické pozorovania uvedená autorka doplnila aj hodnotením satelitných snímok. Konštatovala mierne nižšiu signifikantnosť jarných fenologických fáz odvodených zo satelitných snímok biometeorologickým faktorom. Vzťah zrážok, sucha, vodnej bilancie, prípadne horúcich vln a fenologických fáz buka lesného patrí v posledných rokoch v európskej literatúre k pomerne častým témam. Pálešová (2012) hodnotila jesenné fenologické obdobie ku klimatickej vodnej bilancii. Vzhľadom na krátke časové obdobie pozorovaní len mierny vplyv nedostatku vody na jesenné vegetatívne fenologické fázy (žltnutie a opad). Brandýsová (2013) komplexnou analýzou vplyvu klimatickej vodnej bilancie na žltnutie listov zistila štatisticky významnú závislosť. Schieber et al. (2009) konštatuje pre bučiny Kremnických vrchov závislosť medzi kumulatívnym úhrnom zrážok (máj-august) a žltnutím listov. Škvareninová et al. (2018) konštatuje významný vplyv nedostatku vody za súbežného spolupôsobenia horúcich vln na skorší nástup fenologickej fázy žltnutia a opad, a to na viacerých lesných drevinách (dub, trnka, lieska).

Záver

V práci sme sa venovali vzťahom medzi bukom lesným, jeho podmienkami a biometeorologickými faktormi, ktoré ovplyvňujú nástup fenologických fáz. Pri nástupe jarnej fenofázy mal zas značný vplyv zvýšený počet mrazových a ľadových dní, ktorý spôsobil oneskorenie nástupu tejto fenofázy. Skorý nástup jarnej fenofázy bol často spôsobený výraznejšou kladnou teplotnou odchýlkou od dlhodobého normálu (1981-2010). Dôležitými sa do budúcnosti stávajú horúce vlny, suché periódy v súvislosti s nástupom jesennej fenologickej fázy, diferenciácie priemernej teploty a zrážok v súvislosti s nástupom jarnej fenologickej fázy a zo štatistického hľadiska korelácie medzi biometeorologickými faktormi a nástupmi jarnej a jesennej fenologickej fázy. Pri nástupoch fenologických fáz môžeme skonštatovať, že v rokoch, kedy bolo teplé a suché leto, nastúpila jesenná fenofáza skôr. Naopak počas vlhkejších rokov bol nástup jesennej fenofázy s výraznejším oneskorením. Avšak príčiny oneskorenia alebo skorého nástupu jednotlivých fenofáz nemožno zovšeobecňovať pre všetky sledované lokality, pretože je tu aj nezanedbateľný vplyv mnohých iných faktorov ako napr. teplota pôdy či vlhkosť, ktoré sme v práci nehodnotili. Z dosiahnutých výsledkov môžeme konštatovať, že výrazné zmeny v klimatických chodoch od dlhodobého normálu, majú podstatný vplyv na fenologické prejavy rastlín a drevín.

Literatúra

- Braslavská, O. (2000). Monitoring zmeny klímy v rastlinných ekosystémoch prostredníctvom fenologických pozorovaní. *Životné prostredie*, 34(2): 81–83.
- Brandýsová, V (2013): *Využitie vegetačných indexov pri sledovaní zmien fenologických prejavov bukových porastov*. Lesnícka fakulta TU vo Zvolene, Dizertačná práca (LF-11110-3169) 130 s.
- Fekete, L., & Blatný, T. (1914). *Die Verbreitung der forstlich wichtigen Bäume u. Sträucher im ungarischen Staate*. I.–II., Ban. Stiavnica.
- Hudson, I. L., & Keatley, M. R. (2010). *Phenological research* (pp. 393–424). Springer.
- Lieth, H. (Ed.). (2013). *Phenology and seasonality modeling* (Vol. 8). Springer Science & Business Media.

Lukasová, V., Vasil'ová, I., Bucha, T., Snopková, Z., & Škvarenina, J. (2014). Effect of biometeorological variables on the onset of phenophases derived from MODIS data and visual observations. *Forestry Journal*, 60(1): 39–51.

Pálešová, I. (2012) *Vplyv meteorologických podmienok a vodnej bilancie na fenologické fázy vybraných lesných drevín*. Lesnícka fakulta TU vo Zvolene, Dizertačná práca (LF-11112-3160) 115 s.

Plesník, P. (1995). Fytogeografické (vegetačné) členenie Slovenska. *Geografický časopis*, 47(3): 149–181.

Schieber, B., Janík, R., & Snopková, Z. (2009). Phenology of four broad-leaved forest trees in a submountain beech forest. *Journal of forest science*, 55(1): 15–22.

Škvarenina, J., Križová, E., & Tomlain, J. N. (2004). Impact of the climate change on the water balance of altitudinal vegetation stages in Slovakia. *Ekologia–Bratislava*, 23(supl. 2): 13–29.

Škvareninová, J., Hlavatá, H., Jančo, M., Škvarenina, J. (2018). Impact of climatological drought on the leaves yellowing phenophase selected tree species. *Acta hydrologica Slovaca*. 19 (2): 220–226.

Železník J. (2018). *Vplyv biometeorologických faktorov na nástup fenofáz buka lesného vo vybraných vegetačných stupňoch na Slovensku*. Lesnícka fakulta TU vo Zvolene, Diplomová práca (LF-104161-10987) 71 s.

Pod'akovanie

Tento príspevok je súčasťou realizácie výsledkov projektov VEGA č.: 1/0111/18, 1/0500/19, 1/03070/18 Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu Slovenskej republiky a Slovenskej akadémie vied; a projektov Agentúry na podporu výskumu a vývoja č.: APVV-15-0425, APVV-15-0497 a APVV-15-0265. Autori ďakujú agentúram za podporu.

Kontakt:

Jaroslav Škvarenina

Technická univerzita vo Zvolene

T.G. Masaryka 24, 960 53 Zvolen

+421 0949 431 209, skvarenina@tuzvo.sk