

## **Analýza časovej variability jarných fenologických fáz proveniencií smreka obyčajného pochádzajúcich z troch rôznych nadmorských výšok v rokoch 2010 - 2012**

Analysis of the temporal variability of the spring fenological phases of the Norway spruce provenances originated from three different altitudes in years 2010 – 2012

*Alena Pástorová, Katarína Střelcová, Jana Škvareninová*

*Technická univerzita vo Zvolene, T.G.Masaryka 24, 960 53 Zvolen, Slovenská republika*

### **Abstrakt**

V príspevku sme hodnotili časovú premenlivosť nástupu, ukončenia a dĺžky trvania vybraných jarných fenologických fáz. Počas troch rokov sme v arboréte Borová hora sledovali jarné fenologické fázy (pučanie listových pupeňov, rozpuk listových pupeňov, zalistenie) jedincov troch proveniencií smreka obyčajného (*Picea abies* /L./ Karst.) pochádzajúcich z troch rôznych nadmorských výšok z orografického celku Volovské vrchy. Na základe viacfaktorovej analýzy variancie sme zistili, že s rastom nadmorskej výšky dochádza k výraznému časovému posunu nástupu fenofáz do neskoršieho obdobia. Tiež sme zistili, že najvyššie sumy efektívnych teplôt vzduchu a pôdy boli potrebné pre provenienciu pochádzajúcu z najvyššej nadmorskej výšky a suma efektívnych teplôt vzduchu a pôdy potrebných pre začiatok fenofáz sa každý rok znižovala.

**Kľúčové slová:** jarné fenologické fázy, smrek obyčajný, proveniencie

### **Abstract**

In the paper we evaluated the temporal variability of the onset, termination and duration of selected spring phenological phases. We observed spring phenological phases (leaf bud swelling, sprouting of leaves, leaf unfolding), during three years at Arboretum Borová hora, on individuals of three provenances of the Norway spruce originated from three different altitudes of Volovské vrchy mountains. According to multifactor analysis of variance we found that there is a marked temporal advance of the onset of the phenophases to a later period with the increase of altitude. We also found that the highest effective sum of air temperatures and soil temperatures were necessary for provenance originated from the highest altitude and effective sum of air and soil temperatures necessary for the onset of spring phenophases decreased in each year.

**Keywords:** spring phenological phases, norway spruce, provenances

## Úvod

V posledných rokoch dochádza k zvýšeniu záujmu o fenológiu ako indikátora globálnych klimatických zmien, hlavne počas jarných mesiacov (MYNENI *et al.* 1997; SCHWARTZ 1998; CRICK, SPARKS 1999; PARMESAN *et al.* 1999; THOMAS, LENNON 1999). Fenológia je veda, ktorá sa zaoberá štúdiom načasovania periodických biologických javov a ich vzťahov k životnému prostrediu, najmä klíme (LIETH 1974).

V súčasnosti na severnej pologuli začínajú jarné fenologické fázy skôr ako v predchádzajúcich dekádach (MENZEL, FABIAN 1999). Zvýšené teploty počas neskorého leta oneskorujú jarné fenofázy v nasledujúcom roku (FITTER *et al.* 1995; SPARKS *et al.* 2000; HEIDE 2003; CHMIELEWSKI *et al.* 2005). Podľa výsledkov GORDU a SANZA (2010), značné zvýšenie jesenných teplôt, by mohlo viesť k oneskoreniu jarných fenologických fáz v nasledujúcom roku.

Vplyvom klimatických zmien dochádza k zmenám teploty najmä v zime a skoro na jar. Očakáva sa, že čas kvitnutia skoro kvitnúcich druhov sa zmení najviac (GORDO, SANZ 2010). Niektoré štúdie uvádzajú, že zvýšenie priemerných jarných teplôt vzduchu za posledné storočie posunulo čas olistenia a kvitnutia mnohých druhov v severnejších zemepisných šírkach v Európe a USA k skorším dátumom (SCHWARTZ 1998; BRADLEY *et al.* 1999; MENZEL, FABIAN 1999).

Smrek je najvýznamnejšia ihličnatá drevina na Slovensku. Ako dominantná porastotvorná drevina sa smrek presadil výlučne v pásme vysokohorských smrečín pod hornou hranicou lesa. Umelo bol však v minulých storočiach vysádzaný aj do nižších polôh, kde aj v súčasnosti tvorí významnú časť porastov a často krát tvorí monokultúrne spoločenstvá. Avšak v dôsledku klimatických zmien začína v týchto nižších nadmorských výškach trpieť suchom.

Fenologické prejavy sa v súčasnosti pokladajú za jeden z najvhodnejších indikátorov klimatických zmien a ich vplyvu na lesné dreviny. Preto sme v príspevku zhodnotili časovú premenlivosť v začiatku, konci a dĺžke trvania vybraných jarných fenologických fáz medzi provenienciami smreka obyčajného z rôznych nadmorských výšok počas troch rokov 2010 až 2012.

## Materiál a metódy

Jarné fenologické fázy a mikroklimatické charakteristiky boli sledované v arboréte Borová hora vo Zvolene, počas vegetačných období 2010, 2011, 2012. Arborétum Borová hora sa nachádza v povodí stredného Hrona, asi 3 km od centra Zvolena, medzi 48°35'42'' a 48°36'06'' severnej zemepisnej šírky a 19°07'58'' a 19°10'00'' východnej zemepisnej dĺžky. Výskumné plochy sú situované v nadmorskej výške 350 m n. m. na svahu s prevažujúcou severo-západnou expozíciou a sklonom 5-10 %. Geologické podložie tvorí andezitový tuf a travertíny, hlavným pôdotvorným substrátom sú pararendziny, kambizeme a fluvizeme. Arborétum patrí do 2. bukovo-dubového lesného vegetačného stupňa. Územie patrí do klimaticky teplej, mierne vlhkej oblasti s chladnou zimou.

Pre experiment boli použité tri proveniencie smreka obyčajného (*Picea abies* /L./ Karst.), každá reprezentovaná šiestimi vzorníkmi (v roku 2010 len štyrmi vzorníkmi), pochádzajúcimi z rozdielnych nadmorských výšok z pohoria Volovské vrchy, vo veku 35 rokov:

1. proveniencia – 500 m n. m.
2. proveniencia – 750 m n. m.
3. proveniencia – 1100 m n. m.

Nedáľeko vybraných vzorníkov smreka prebiehali tiež merania meteorologických charakteristík (globálnej radiácie [ $W.m^{-2}$ ], teploty vzduchu [ $^{\circ}C$ ], relatívnej vlhkosti vzduchu [%], úhrnu zrážok [mm]) a teploty pôdy [ $^{\circ}C$ ]. Teplota a vlhkosť vzduchu sa merali vo výške 2 m nad zemou zariadením Minikin TH (EMS Brno, CZ) a teplota pôdy sa merala v hĺbke 10 cm. Meranie globálnej radiácie bolo zabezpečené zariadením Minikin RT (EMS Brno, CZ). Všetky údaje sa do datalogera zaznamenávali každých 10 minút. Za účelom merania vodného potenciálu pôdy (SWP) boli pri každej proveniencii do pôdy nainštalované sadrové bločky v hĺbkach 15 cm, 30 cm a 50 cm spolu s datalogerom s automatickým ukladaním dát v hodinových intervaloch. Keďže hodnoty meteorologických prvkov boli zaznamenávané v rôznych intervaloch, prepočítali sme namerané hodnoty meteorologických prvkov na hodinové sumy.

Počas jari 2010, 2011 a 2012 sme pozorovali priebeh nasledovných jarných fenologických fáz vegetatívnych orgánov smreka obyčajného na štyroch vzorníkoch z každej proveniencie:

- leaf bud swelling (LBS) - 10%, 50%, 100%
- sprouting of leaves (SL) - 10%, 50%, 100%
- leaf unfolding (LU) - 10%, 50%, 100%

Z údajov sme zisťovali začiatok, koniec a dĺžku trvania fenologických fáz pre každú provenienciu.

Podľa BEDNÁŘOJEJ *et al.* (2012) začiatok jarných fenologických fáz je ovplyvnený hlavne teplotou vzduchu nad 5 °C a teplotou pôdy nad 1°C, rozhodli sme sa preto vypočítať sumy priemerných efektívnych teplôt vzduchu a pôdy pre tieto teplotné limity. Za začiatok priebehu fenologickej fázy sme považovali najskorší dátum (10%), kedy bola fenofáza spozorovaná.

Na zistenie rozdielov v začiatku, konci a dĺžke trvania fenologických fáz medzi provenienciami a jednotlivými rokmi sme vykonali viacfaktorové analýzy variancie pomocou programov STATISTICA 10 a Microsoft Excel. Štatisticky významné rozdiely boli zisťované na **hladine významnosti  $p = 0,05$** .

### Výsledky a diskusia

Sumy efektívnych teplôt vzduchu nad 5 °C a teplôt pôdy nad 1 °C potrebných pre začiatok jarných fenologických fáz sú uvedené v tabuľkách 1 a 2. Tieto teploty sme si určili za hraničné, pretože podľa LARCHERA (2003) a BEDNÁŘOJEJ, MERKLOVEJ (2011), ktorí spomínajú, že teplota vzduchu nad 5 °C a teplota pôdy nad 1 °C sú dôležité pre začiatok pučania listov, sme vypočítali sumy efektívnych teplôt pre tieto hraničné teploty a pre každý hodnotený rok a fenologickú fázu. Teplota vzduchu je taktiež dôležitá pre začiatok kambálnej activity a rastových procesov. Napríklad TURCOTTE *et al.* (2009) spomínajú, že ak minimálna teplota vzduchu dosiahne hodnoty od 3.1°C do 7.5°C začína aktivita buniek kambia a hrúbkový prírastok stromov.

Napríklad pre prvú fenofázu leaf bud swelling (LBS) bola potrebná v roku 2010 suma efektívnych teplôt vzduchu pre prvú provenienciu z nadmorskej výšky 500 m n. m. 208 °C, pre druhú provenienciu z 750 m n. m. 230 °C a pre tretiu provenienciu z 1100 m n. m. 275 °C. Čiže vidíme, že so stúpajúcou nadmorskou výškou stúpa aj suma efektívnych teplôt vzduchu potrebná pre začiatok fenofáz. V roku 2011 boli potrebné nižšie sumy efektívnych teplôt vzduchu a v roku 2012 ešte nižšie (tab.1). Podobný vývoj vykazujú aj efektívne sumy teplôt pôdy v tabuľke 2.

Môžeme konštatovať, že každým rokom je pre začiatok fenologických fáz potrebná nižšia suma efektívnych teplôt vzduchu a pôdy. Ďalej, že najvyššie sumy efektívnych teplôt vzduchu a pôdy sú potrebné pre tretiu provenienciu, ktorá pochádza z najvyššej nadmorskej výšky. Podobné výsledky zistila aj MAGOVÁ (2011).

**Tabuľka 1:** Sumy efektívnych teplôt vzduchu nad 5 °C potrebných pre začiatok jarných fenologických fáz, PL – pučanie listových pupeňov, RL – rozpuč listových pupeňov, ZA - zalistenie

Rok	2010						2011							
	PL	Dátum	RL	Dátum	ZA	Dátum	PL	Dátum	RL	Dátum	ZA	Dátum	PL	Dátum
1. 500 m n.m.	208,7	11.4.	315,6	23.4.	468,6	4.5.	125,3	28.3.	298,9	14.4.	466,6	28.4.	181,4	30.3.
2. 750 m n.m.	230,3	14.4.	365,4	27.4.	468,6	4.5.	202,7	5.4.	358,0	20.4.	496,1	30.4.	205,0	4.4.
3. 1100 m n.m.	275,2	19.4.	420,3	1.5.	584,0	12.5.	213,2	6.4.	400,8	23.4.	576,5	8.5.	241,4	7.4.

**Tabuľka 2:** Sumy efektívnych teplôt pôdy nad 1 °C potrebných pre začiatok jarných fenologických fáz, PL – pučanie listových pupeňov, RL – rozpuč listových pupeňov, ZA - zalistenie

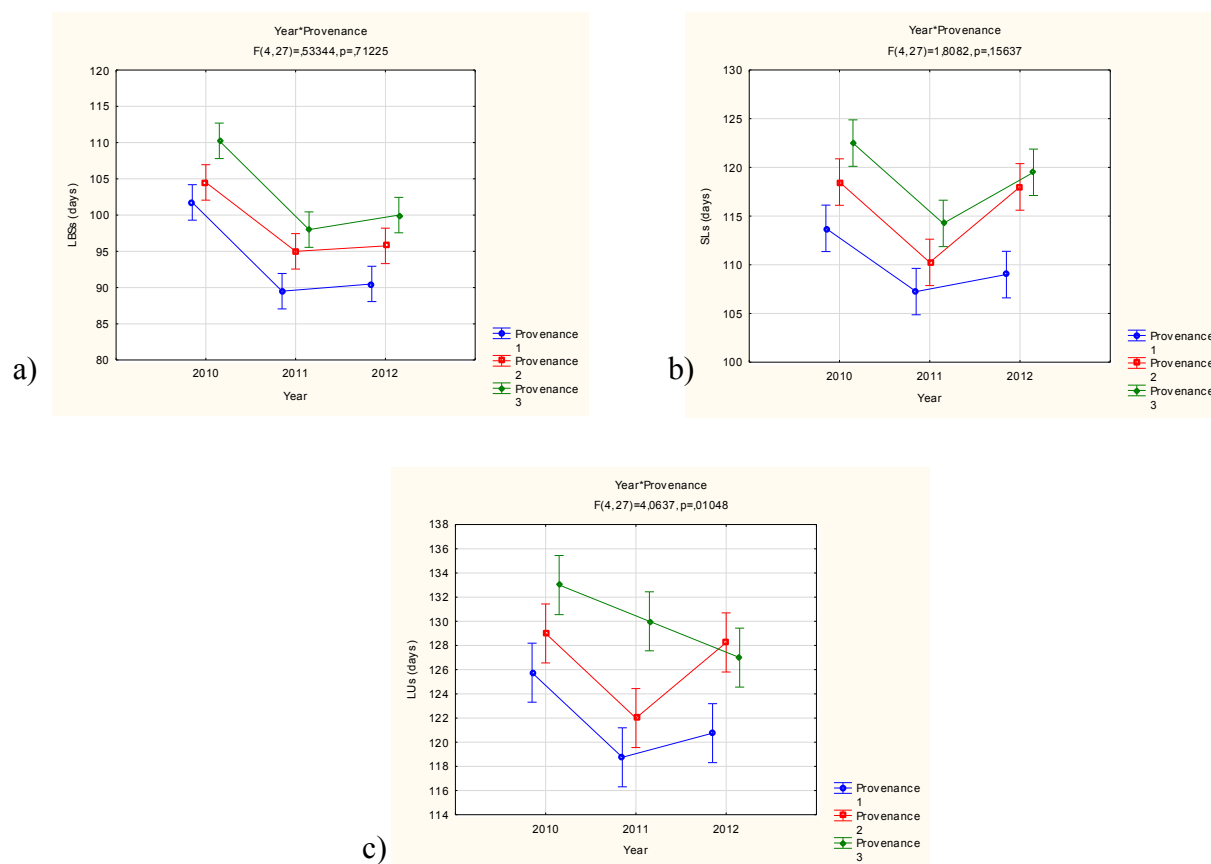
Rok	2010						2011							
	PL	Dátum	RL	Dátum	ZA	Dátum	PL	Dátum	RL	Dátum	ZA	Dátum	PL	Dátum
1. 500 m n.m.	178,6	11.4.	275,4	23.4.	399,9	4.5.	85,4	28.3.	221,9	14.4.	361,5	28.4.	53,6	30.3.
2. 750 m n.m.	194,0	14.4.	315,8	27.4.	399,9	4.5.	142,3	5.4.	273,8	20.4.	385,5	30.4.	72,4	4.4.
3. 1100 m n.m.	236,2	19.4.	361,7	1.5.	510,5	12.5.	151,1	6.4.	306,0	23.4.	475,4	8.5.	92,9	7.4.

Prvá fenofáza leaf bud swelling (LBS) začala v roku 2010 pri prvej proveniencii v termíne od 11.4. – 14.4., pri druhej proveniencii 14.4. – 16.4. a pri tretej proveniencii až od 19.4. – 23.4. V roku 2011 pri prvej proveniencii od 28.3. – 2.4., pri druhej proveniencii 5.4. a pri tretej proveniencii od 6.4 – 10.4. V roku 2012 pri prvej proveniencii od 30.3. – 5.4., pri druhej proveniencii od 4.4. – 11.4. a pri tretej proveniencii od 7.4 – 13.4. V tomto roku začala fenofáza pri prvej proveniencii o 2 dni neskôr, pri druhej a tretej proveniencii o 1 deň neskôr ako v roku 2011. Podobný posun sme zaznamenali aj pri ostatných dvoch fenofázach. Intervaly začiatku, konca a dĺžky trvania fenologických fáz a prírastku môžeme vyčítať z obrázkov 2 až 5. Fenofáza LBS začala pri prvej proveniencii v priemere o 3-5dní skôr ako pri druhej proveniencii a o 8-9 dní skôr ako pri tretej proveniencii.

Dátum začiatku fenofázy LBS tretej proveniencie sa štatisticky líšil v roku 2010 od prvej a druhej proveniencie. V roku 2011 a 2012 sa zase prvá proveniencia významne líšila od druhej a tretej proveniencie. Vzhľadom na rozdiely medzi rokmi sme zistili, že rok 2010 sa štatisticky významne líši od rokov 2011 a 2012 (obr.3a).

Fenofáza SL začala pri prvej proveniencii v priemere o 3-9 dní skôr ako pri druhej proveniencii a o 9-11 dní skôr ako pri tretej proveniencii. Začiatok fenofázy SL u prvej proveniencie v roku 2010 a 2012 sa štatisticky významne odlišoval od druhej a tretej proveniencie. V roku 2011 bol štatisticky významný rozdiel v začiatku fenofázy medzi prvou a treťou provenienciou. Medzi rokmi bol štatisticky významný rozdiel v začiatku fenofázy SL iba medzi rokom 2010 a 2012 (obr.3b).

Fenofáza LU začala pri prvej proveniencii o 3-7 dní skôr ako pri druhej proveniencii a o 6-11 dní skôr ako pri tretej proveniencii. Na základe viacfaktorovej analýzy variancie sme zistili, že v začiatku tejto fenofázy v roku 2010 a 2011 sa tretia proveniencia štatisticky významne odlišovala od prvej a druhej proveniencie a v roku 2012 bol štatisticky významný rozdiel medzi prvou a ostatnými dvoma provenienciami. Rozdiel medzi rokmi v začiatku fenofázy LU bol len medzi rokmi 2010 a 2011 v rámci prvej a druhej proveniencie a medzi rokmi 2011 a 2011 pri druhej proveniencii (obr.3c).



**Figure 3:** Viacfaktorová analýza variancie začiatku jarných fenologických fáz medzi provenienciami a rokmi, a) LBS (PL) – pučanie listových pupeňov, b) SL (RL) – rozpuč listových pupeňov, c) LU (ZA) - zalistenie

Výsledky nástupu vegetatívnych fenologických fáz smreka na Slovensku ukázali časový posun medzi výškovými skupinami (ŠKVARENINOVÁ 2013). Z našich výsledkov môžeme konštatovať, že schopnosť postupného oneskorenia nástupu iných vegetatívnych fenofáz smreka podľa výškových skupín vysadených z rôznych oblastí Slovenska sa zachovala aj v nových rovnakých podmienkach Zvolenskej kotliny.

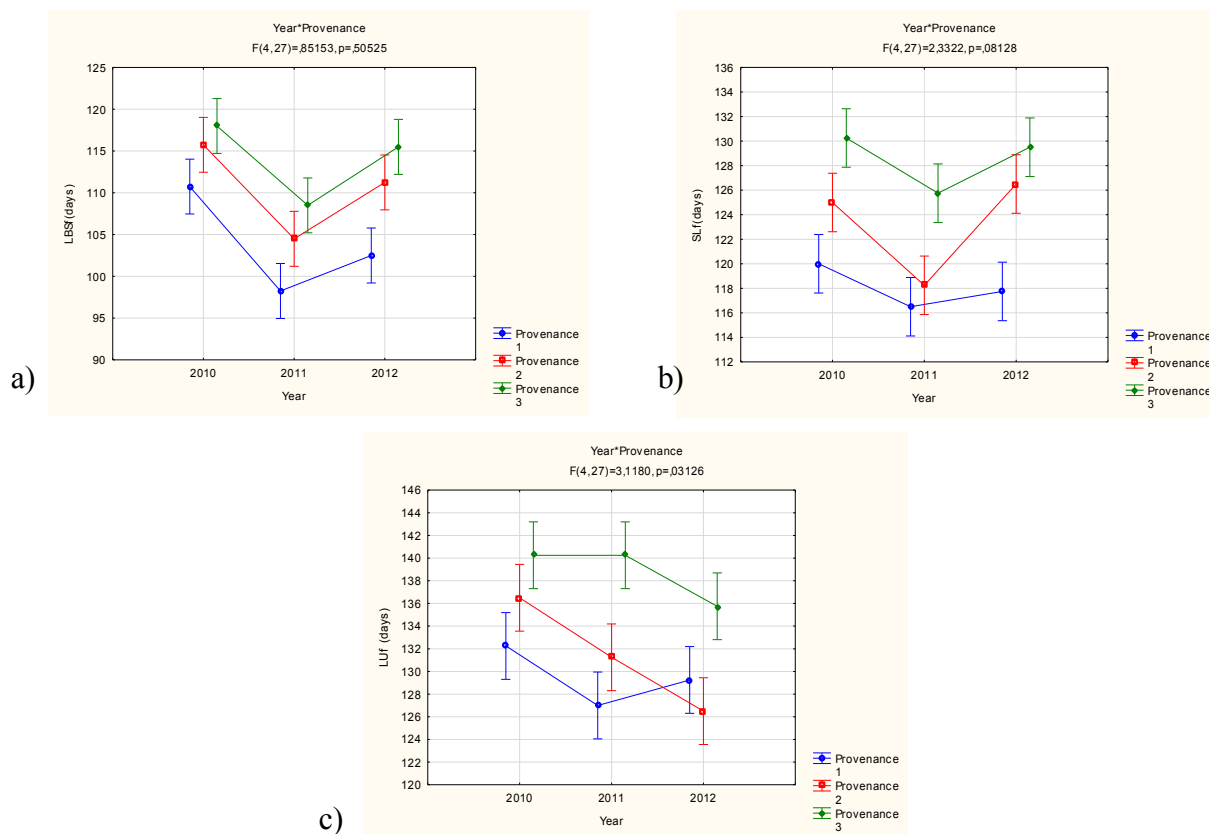
Koniec fenofázy LBS bol štatisticky významne rozdielny v roku 2011 medzi prvou a treťou provenienciou. V roku 2010 sme nezaznamenali žiadny štatisticky významný rozdiel medzi provenienciami a v roku 2012 sa prvá proveniencia štatisticky významne líšila od druhej a tretej proveniencie. Rozdiel medzi rokmi bol iba v rokoch 2010 a 2011 (obr.4a). Fenofáza LBS skončila pri prvej proveniencii v priemere o 5-8 dní skôr ako druhá proveniencia a v priemere o 7-13 dní skôr ako tretia proveniencia.

Pri fenofáze SL bol štatisticky významný rozdiel v ukončení tejto fenofázy v roku 2010 medzi všetkými provenienciami. V roku 2011 sa štatisticky významne líšila prvá a druhá proveniencia od tretej a v roku 2012 sa zase štatisticky významne líšila prvá proveniencia od druhej a tretej. Štatisticky významný rozdiel medzi rokmi sme zistili iba v prípade druhej proveniencie, medzi rokmi 2011 a 2012 (obr.4b). Fenofáza SL skončila pri prvej proveniencii o v priemere 1-5 dní skôr ako druhá proveniencia a o 9-12 dní skôr ako tretia proveniencia.

V prípade fenofázy LU sme nezistili štatisticky významný rozdiel medzi rokmi v dátume ukončenia fenofázy. Avšak v roku 2010 sme zistili štatisticky významný rozdiel medzi prvou a treťou provenienciou a v rokoch 2011 a 2012 sa zase štatisticky významne líšila tretia proveniencia od prvej a druhej proveniencie (obr.4c). Fenofáza LU sa skončila pri prvej proveniencii v priemere o 2-5 dní skôr ako pri druhej proveniencii a o 7-13 dní skôr ako pri tretej proveniencii.

V dĺžke trvania jarých fenologických fáz boli nasledovné štatisticky významné rozdiely. Pri fenofáze LBS môžeme konštatovať, že rok 2012 sa štatisticky významne líšil v dĺžke trvania fenofázy od rokov 2010 a 2011. V roku 2010 bol štatisticky významný rozdiel medzi druhou a treťou provenienciou a v roku 2012 sa prvá proveniencia štatisticky významne líšila od druhej a tretej proveniencie. V roku 2011 sme nezistili štatisticky významný rozdiel medzi provenienciami (obr.5a). Dĺžka fenofázy LBS bola pri prvej proveniencii v priemere o 2-4 dni kratšia ako pri druhej proveniencii a o 2 dni kratšia ako pri tretej proveniencii.

Pri fenofáze SL sa dĺžka trvania fenofázy líšila len v prípade tretej proveniencie, a to v rokoch 2010 a 2011. V roku 2010 a 2012 sme nezistili štatisticky významný rozdiel v dĺžke fenofázy medzi provenienciami. Avšak v roku 2011 bol štatisticky významný rozdiel len medzi druhou a treťou provenienciou (obr.5b). Fenofáza SL bola pri prvej a druhej proveniencii v priemere rovnako dlhá a v prípade tretej proveniencie bola fenofáza v priemere o 1-4dni dlhšia ako pri prvej proveniencii.



**Figure 4:** Viacfaktorová analýza variancie dátumu ukončenia jarých fenologických fáz medzi provenienciami a rokmi, a) LBS (PL) – pučanie listových pupeňov, b) SL (RL) – rozpuk listových pupeňov, c) LU (ZA) - zalistenie

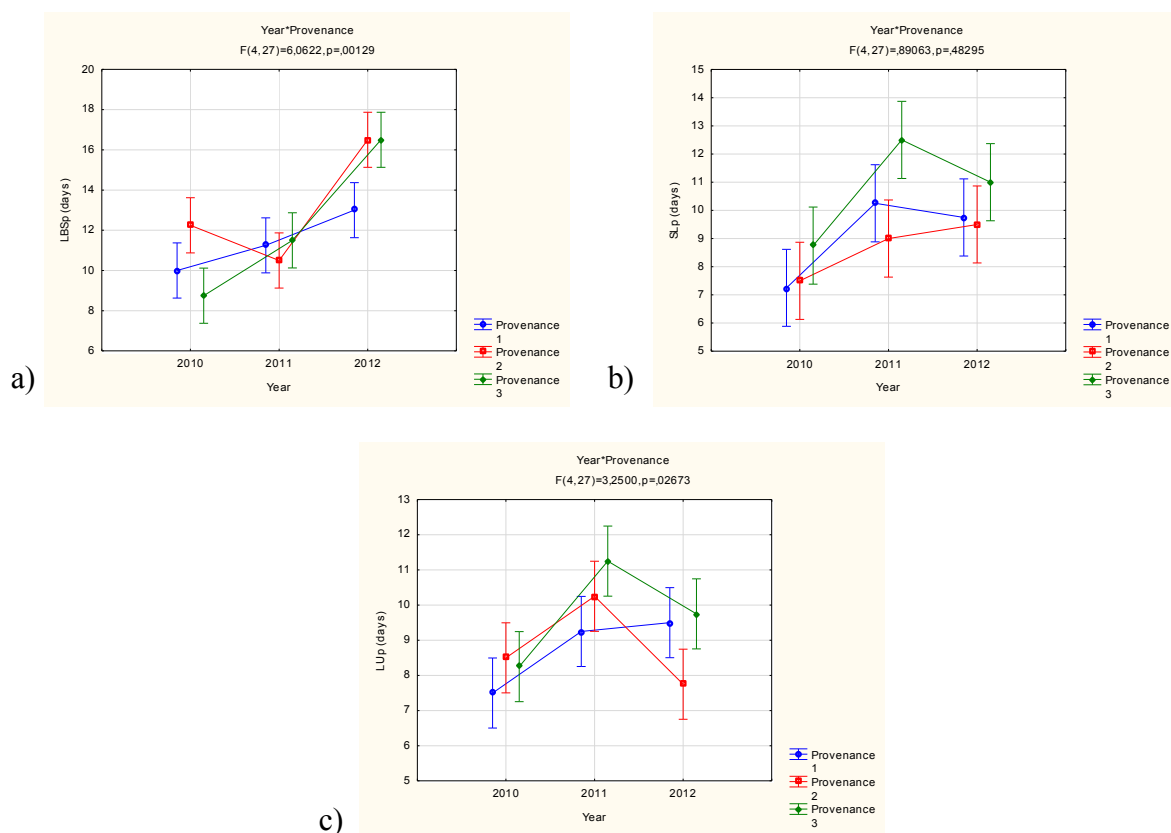
V prípade fenofázy LU sa proveniencie medzi sebou v jednotlivých rokoch významne nelíši v dĺžke trvania fenofázy. Ale zistili sme štatisticky významný rozdiel pri prvej proveniencii medzi rokmi 2010 a 2011 a pri druhej proveniencii medzi rokmi 2011 a 2012 (obr.5c). Dĺžka fenofázy LU bola pri všetkých provenienciách v priemere rovnaká.

Fenofáza LBS trvala pri prvej proveniencii v priemere 10-13 dní, pri druhej proveniencii 11-17 dní a pri tretej proveniencii 9-17 dní. Fenofáza SL trvala pri prvej proveniencii v priemere 7-10 dní, pri druhej proveniencii 8-10 dní a pri tretej proveniencii 9-13 dní. A nakoniec fenofáza LU trvala pri prvej a druhej proveniencii v priemere 8-10 dní a pri tretej proveniencii 8-11 dní.

Podľa výsledkov viacerých autorov bol časový posun jarých fenofáz k skorším termínom oveľa výraznejší ako posun letných alebo jesenných fenofáz k skorším dátumom, taktiež, že skoré jaré fenofázy ukazujú väčšie časové posuny k skorším dátumom ako fenofázy neskoro na jar alebo skoro v lete (SPARKS *et al.* 1997, BRADLEY *et al.* 1999, MENZEL 2000, SCHEIFINGER *et al.* 2002, SPARKS, MENZEL 2002, VAN VLIET *et al.* 2002, WALTHER *et al.* 2002, DOSE, MENZEL 2004, GORDO, SANZ 2005, WOLFE *et al.* 2005, MILLER-RUSHING *et al.*



2007). MENZEL *et al.* (2006) zistili časový posun jarných kvetných a listových fenofáz do skorších termínov o 78% a posun jesenných fenofáz len o 48%.



**Figure 5:** Viacfaktorová analýza variancie dĺžky trvania jarných fenologických fáz medzi provenienciami a rokmi, a) LBS (PL) – pučanie listových pupeňov, b) SL (RL) – rozpuk listových pupeňov, c) LU (ZA) - zalistenie

## Záver

Výskum prebiehal v rokoch 2010, 2011 a 2012 v arboréte Borová hora na vzorníkoch smreka obyčajného (*Picea abies* (L.) Karst.) pochádzajúcich z troch rôznych nadmorských výšok (500, 750 a 1100 m n. m.) z pohoria Volovské vrchy.

Na záver môžeme konštatovať, že každým rokom počas rokov 2010 až 2012 je pre začiatok fenologických fáz potrebná nižšia suma efektívnych teplôt vzduchu a pôdy. Najvyššie efektívne sumy teplôt vzduchu a pôdy sú potrebné pre tretiu provenienciu, ktorá pochádza z najvyššej nadmorskej výšky. Naše výsledky potvrdili, že s posunom pôvodu proveniencie do vyššej nadmorskej výšky dochádza k výraznému časovému posunu nástupu fenofáz do neskoršieho obdobia, čo by mohlo v budúcnosti dávať možnosť pre pestovanie proveniencií

z vyšších nadmorských výšok v nižších polohách s cieľom eliminovať poškodenie jarných výhonkov mrazom.

### Literatúra

- BEDNÁŘOVÁ, E., MERKLOVÁ, L., 2011: Evaluation of vegetative phenological stages in a spruce monoculture depending on parameters of the environment. *Acta univ. Agric. Et Silvic. Mendel. Brun.*, LIX, No. 6, p. 31-36.
- BEDNÁŘOVÁ, E., TRUPAROVÁ, S., MERKLOVÁ, L., 2012: Monitoring the spring phenological stages in a spruce monoculture in the Dražanská vrchovina upland in 2005-2011. *Acta univ. Agric. Et Silvic. Mendel. Brun.*, LX, No. 6, p. 15-20.
- BRADLEY, N. L., LEOPOLD, A. C., ROSS, J., HUFFAKER, W., 1999: Phenological changes reflect climate change in Wisconsin. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 96, p. 9701-9704.
- CRICK H.P.Q., SPARKS T.H., 1999: Climate change related to egg-laying trends. *Nature*, 399, p. 423-424.
- DOSE, F., MENZEL, A., 2004: Bayesian analysis of climate change impacts in phenology. *Glob. Change Biol.*, 10, p. 259-272.
- FITTER, A. H., FITTER, R. S. R., HARRIS, I. T. B., WILLIAMSON, M. H., 1995: Relationships between first flowering date and temperature in the flora of a locality in central England. *Functional Ecology*, 9, p. 55-60.
- GORDO, O., SANZ, J. J., 2005: Phenology and climate change: a long-term study in a Mediterranean locality. *Oecologia*, 146, p. 484-495.
- GORDO, O., SANZ, J. J., 2010: Impact of climate change on plant phenology in Mediterranean ecosystems, *Global Change Biology*, 16, p. 1082-1106.
- HEIDE, O. M., 2003: High autumn temperature delays spring bud burst in boreal trees, counterbalancing the effect of climatic warming. *Tree Physiology*, 23, p. 931-936.
- CHMIELEWSKI, F. M., MÜLLER, A., KÜCHLER, W., 2005: Possible impacts of climate change on natural vegetation in Saxony (Germany). *International Journal of Biometeorology*, 50, p. 96-104.
- LARCHER, W., 2003: *Physiological plant ecology*. Berlin, Heidelberg, Springer – Verlag, p. 513.
- LIETH, H., 1974: *Phenology and Seasonality Modelling*. Springer Verlag, New York.
- MAGOVÁ, D., 2011: Reaction of growth processes of Norway spruce provenances (*Picea abies* /L./ Karst) on the spring phenophases outbreak in Botanical Garden Borová Hora. (in Slovak), In: Středová, H., Rožnovský, J., Litschmann, T. (eds): *Mikroclimate and*

- mesoclimate of landscape and anthropogenic environment. Skalní mlýn, 2. – 4.2. 2011, ISBN 978-80-86690-87-2, p. 14.
- MENZEL, A., FABIAN, P., 1999: Growing season extended in Europe. *Nature*, 397, p. 659.
- MENZEL, A., 2000: Trends in phenological phases in Europe between 1951 and 1996. *Int. J. Biometeorol.*, 44, p. 76-81.
- MENZEL, A., SPARKS, T. H., ESTRELLA, N., KOCH, E., AASA, A., AHAS, R., ALM-KÜBLER, K., BISSOLLI, P., BRASLAVSKÁ, O., BRIEDE, A., CHMIELEWSKI, F. M., CREPINSEK, Z., CURNEL, Y., DAHL, Å., DEFILA, C., DONNELLY, A., FILELLA, Y., JATCZAK, K., MÅGE, F., MESTRE, A., 2006: European phenological response to climate change matches the warming pattern. *Glob. Change Biol.*, 12, p. 1969-1976.
- MILLER-RUSHING, A. J., KATSUKI, T., PRIMACK, R. B., ISHII, Y., LEE, S. D., HIGUCHI, H., 2007: Impact of global warming on a group of related species and their hybrids: cherry tree (*Rosaceae*) flowering at Mt. Takao, Japan. *Am. J. Bot.*, 94, p. 1470-1478.
- MYNENI R. B., KEELING C.D., TUCKER C. J., ASRAR G., NEMANI R. R., 1997: Increased plant growth in the northern high latitudes from 1981 to 1991. *Nature*, 386, p. 698–702.
- PARMESAN C., RYRHOLM N., STEFANESCU C., *et al.*, 1999: Poleward shifts in geographical ranges of butterfly species associated with regional warming. *Nature*, 399, p. 579–583.
- SCHEIFINGER, H., MENZEL, A., KOCH, A., PETER, C., AHAS, R., 2002: Atmospheric mechanisms governing the spatial and temporal variability of phenological observations in central Europe. *Int. J. Climatol.*, 22, p. 1739-1755.
- SCHWARTZ, M. D., 1998: Green-wave phenology. *Nature*, 394, p. 839–840.
- SPARKS, T. H., CAREY, P. D., COMBES, J., 1997: First leafing dates of trees in Surrey between 1947 and 1996. *London Natur.*, 76, p. 15-20.
- SPARKS, T. H., JEFFREE, E. P., JEFFREE, C. E., 2000: An examination of the relationship between flowering times and temperatures at the national scale using long-term phenological records from the UK. *International Journal of Biometeorology*, 44, p. 82–87.
- SPARKS, T. H., MENZEL, A., 2002: Observed changes in seasons: an overview. *Int. J. Climatol.*, 22, p. 1715-1725.
- ŠKVARENINOVÁ, J., 2013: The impact of climate change on the phenological responses of ecosystems. Technical University in Zvolen, ISBN 978-80-228-2598-6, 132pp.

- THOMAS C. D., LENNON J. J., 1999: Birds extend their range northwards. *Nature*, 399, p. 213.
- TURCOTTE A., MORIN H., KRAUSE C., DESLAURIERS A., THIBEAULT–MARTEL, M., 2009: The timing of spring rehydration and its relation with the onset of wood formation in black spruce. *Agriculture and Forest Meteorology*, 149, p. 1403–1409.
- VAN VLIET, A. J. H., OVEREEM, A., DE GROOT, R. S., JACOBS, A. F. G., SPIEKSMÁ, F. T. M., 2002: The influence of temperature and climate change on the timing of pollen release in the Netherlands. *Int. J. Climatol.*, 22, p. 1757-1767.
- 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, p. 389-395.
- WOLFE, D. W., SCHWARTZ, M. D., LAKSO, A. N., OTSUKI, Y., POOL, R. M., SHAULIS, N. J., 2005: Climate change and shifts in spring phenology of three horticultural woody perennials in northeastern USA. *Int. J. Biometeorol.*, 49, p. 303-309.

### **Pod'akovanie**

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmlúv APVV-0480-12, APVV-0436-10, APVV-0111-10 a APVV-0022-07 a z projektu VEGA 1/0463/14.

### **Kontakt:**

Alena Pástorová, Ing.  
Ul. T. G. Masaryka 24  
960 53 Zvolen  
Slovenská republika  
[xpastorova@tuzvo.sk](mailto:xpastorova@tuzvo.sk)