

VÝSKYT JARNÝCH MRAZOV A ICH VPLYV NA KVITNUTIE DUBA LETNÉHO (*QUERCUS ROBUR* L.) NA SLOVENSKU

OCCURRENCE OF SPRING FROSTS AND THEIR INFLUENCE ON FLOWERING OF PEDUNCULATE OAK (*QUERCUS ROBUR* L.) IN SLOVAKIA

JANA ŠKVARENINOVÁ¹⁾✉ - ZUZANA SITÁROVÁ¹⁾ - ANDREJ KVAS²⁾ - PETER KIJOVSKÝ³⁾

¹⁾Technická univerzita vo Zvolene, Fakulta ekológie a environmentalistiky, T.G. Masaryka 24, 960 01 Zvolen, Slovak Republic

²⁾Technická univerzita vo Zvolene, Lesnícka fakulta, T.G. Masaryka 24, 960 01 Zvolen, Slovak Republic

³⁾Prešovská univerzita v Prešove, Fakulta manažmentu, Konštantínova ul. 16, 080 01 Prešov, Slovak Republic

✉ e-mail: skvareninova@tuzvo.sk

ABSTRACT

The paper provides an overview of various late spring frosts' intensity during the flowering of pedunculate oak (*Quercus robur* L.). The research was carried out in 1987–2016 at selected phenological stations in Slovakia at altitudes up to 400 m. The frosts intensity was measured at meteorological stations at the height of 0.05 m and 2 m above the earth's surface. Flowers frost damage was evaluated in three decades focused on temperature extremes. Above mentioned extremes occurred at stations up to 300 meters above sea level in 2001, 2007, 2011 and 2015. Trend analysis of flowering observations during 30 years recorded the shift to an earlier period. Most significantly, it was reflected at an altitude of 200 m. Temperature extremes occur irregularly. In other regions of Slovakia, frost damage to flowers may be more frequent, especially in locations microclimatically available for increased occurrence of frost, due to earlier onset of flowering.

[For more information see the Summary at the end of the article.](#)

Kľúčové slová: intenzita mrazov; teplotné extrémny; fenologická premenlivosť; dub letný

Key words: frost intensity; temperature extremes; phenological variability; pedunculate oak

ÚVOD

Dôsledky nastupujúcej zmeny klímy sa v miernom klimatickom pásme prejavujú zvlášť v jarnom období dynamickými procesmi teplotného a zrážkového režimu atmosféry. V posledných desaťročiach pozorujeme častejší výskyt extrémnych javov (STŘEDOVÁ et al. 2020; VIDO, NALEVANKOVÁ 2021). Patria k nim náhle výkyvy teplôt vzduchu, prívalové zrážky a obdobia letných horúčav a sucha (STRELCOVA et al. 2009; NALEVANKOVÁ et al. 2018; VIDO, NALEVANKOVÁ 2020). Mnohí autori (VILHAR et al. 2013; VIDO et al. 2016; NECHITA et al. 2019; VITASSE et al. 2019; GEORGE et al. 2020; WENDEN et al. 2020) sa zaoberajú vplyvom zmeny klímy a extrémov počasia na rast a vitalitu drevín. Predmetom záujmu sú hospodársky významné druhy so širokým areálom výskytu v Európe. K takýmto druhom patrí aj dub letný, ktorý tvorí významnú zložku viacerých pôvodných lesných biotopov a ako dlhoveká drevina je aj charakteristickým prvkom krajiny. Podľa ŠEBEŇA (2017) sú duby na Slovensku druhou najrozšírenejšou listna-

tu drevinou, pričom ich podiel tvorí cca 11 %. Viaceré bioklimatologické analýzy ukázali, že duby vzhľadom na ich širokú ekologickú amplitúdu budú pomerne pružne reagovať na očakávané klimatické zmeny (ŠKVARENINA et al. 2004; HRVOJ et al. 2009). Preto sa dub letný stal predmetom mnohých podrobnejších vedeckých výskumov (ŠKVARENINOVÁ 2014).

Výsledky vedeckej štúdie PUCHAŁKA et al. (2016) ukázali, že krátkodobý účinok náhleho neskorého jarného mrazu nepreukázal vplyv na kambiálnu aktivitu a rast letokruhov a vybrané parametre buniek duba, čo potvrdzuje jeho dobrú adaptáciu na neskoré mrazy. Práca REPO et al. (2008) zase poukazuje na nepriaznivý vplyv silných mrazov na rast duba v klimatických podmienkach na severnej hranici jeho areálu. Perspektívy zvýšenia odolnosti voči nepriaznivým klimatickým faktorom vrátane mrazov podáva práca UTKINA, RUBSTOV (2017). Naznačuje využitie neskorých fenologických foriem duba, ktoré sa ukázali odolnejšie voči jarným mrazom a poškodeniu hmyzom.

Niektorí autori si všimajú najmä vplyvu jarných extrémov počasia na nástup fenologických fáz (MENZEL et al. 2006). Z nich má rozhodujúci význam teplota vzduchu. Jej účinok v podobe neskorých jarných mrazov môže vývoj rastlín časovo urýchliť alebo spomaliť a často negatívnym spôsobom ovplyvniť aj úrodu. Kombinácia skorého jarného oteplenia s následnými neskorými mrazmi môže byť škodlivá pre druhy rastúce na okraji ich klimatického areálu (PARMESAN et al. 2000). BADECK et al. (2004) uvádzajú, že teplota je hlavným spúšťačom mnohých fyziologických procesov vývoja rastlín. V niektorých prípadoch, zvlášť pri extrémnych poveternostných situáciách v jarnom období, môže náhla zmena teploty alebo jej prudký pokles pod bod mrazu tieto procesy spomaliť. Biologický význam mrazu bol už v minulosti dobre skúmaný z dôvodu načasovania jarných poľnohospodárskych prác, poškodenia reprodukčných orgánov ovocných a lesných drevín a ich budúcej úrody (INOUE 2000).

Dlhodobé fenologické pozorovania autochtónnych drevín umožnia poznanie klimatického charakteru územia a možné riziká mrazových poškodení. Význam lesnej fenológie vzrástol pri sledovaní vplyvu a pôsobenia prebiehajúcich zmien klímy na priestorové rozšírenie drevín, a tiež na zabezpečenie dostatočnej úrody drevín pri časových zmenách v nástupe fenologických fáz. Potvrdzujú to aj staršie fenologické pozorovania duba letného v centrálnej časti Slovenska (ŠKVARENINOVÁ et al. 2008). Na území Slovenska často dochádza v apríli a začiatkom mája pri cirkulácii vzduchu nad centrálnou časťou Európy k náhlemu prenikaniu studeného vzduchu zo severu (SCHIEBER, KUBOV 2016). Na základe dlhoročných pozorovaní výskytu neskorých jarných mrazov vznikla v minulosti aj pranostika o „ľadových mužoch“, ktorá sa vzťahuje k dátumu 12.–14. máj. V súčasnosti už tento dátum presne nezodpovedá ich výskytu, a to v dôsledku zmenených cirkulačných pomerov v našich zemepisných šírkach a tiež skoršieho priebehu fenofáz. Preto môžeme niektoré pranostiky považovať len za orientačný indikátor zmeny klímy (MALBERG 2003).

Cieľom našej práce bolo zistenie výskytu a intenzity jarných mrazov a ich vplyv na kvitnutie duba letného v dlhodobom časovom rade 30 rokov (1987–2016) na vybraných lokalitách Slovenska.

MATERIÁL A METODIKA

Dub letný (*Quercus robur* L.) patrí k najrozšírenejším drevinám lesov mierneho klimatického pásma. Vyznačuje sa dobrým rastom v rozličných biotopoch, ktoré sú dôležité pre zachovanie biodiverzity (HANECA et al. 2009). Na Slovensku sa zaraďuje medzi hlavné lesné autochtónne dreviny s vysokým zastúpením vo vegetačných stupňoch do nadmorskej výšky 400–500 m. Ako svetlomilný druh sa adaptoval na rozmanité klimatické a pôdne podmienky prostredia od lužných lesov až po suchšie lokality na pahorkatinách Slovenska (PAGAN, RANDUŠKA 1987).

Reakcie duba letného na teplotné extrémny sme hodnotili pomocou fenologической fázy začiatok kvitnutia na troch lokalitách Slovenska počas 30 rokov (1987–2016). Pre zistenie vplyvu prebiehajúcej zmeny klímy na možné poškodenie kvetov mrazmi sme celé obdobie rozdelili na tri kratšie 10-ročné časové úseky (1987–1996, 1997–2006, 2007–2016). Fenologická fáza (obr. 1) je označovaná podľa medzinárodnej stupnice kódom BBCH 60, ktorý definuje vývojové štádium generatívnych orgánov (MEIER 1997). Nastáva vtedy, keď aspoň 10 % jedincov v skupine 10 stromov má úplne rozkvitnuté kvety. Deň nástupu fenofázy sme zaznamenali podľa juliánskeho kalendára ako poradové číslo dňa v roku. Výskyt mrazov sme hodnotili počas celej dĺžky kvitnutia duba. Vypočítali sme ju ako priemernú hodnotu na danej lokalite. Údaje o výskyte mrazov sme získali z meteorologických staníc, ktoré sa nachádzajú v blízkosti fenologických staníc (tab. 1). Nadmorská výška fenologickej stanice je určená intervalom najnižšieho a najvyššieho výskytu dreviny v skupine a tiež priemernou hodnotou intervalu.



Obr. 1.

Kvitnutie duba letného (*Quercus robur* L.) (Foto: J. Škvareninová)

Fig. 1.

Flowering of pedunculate oak (*Quercus robur* L.) (Photo: J. Škvareninová)

Pri hodnotení výskytu neskorých jarných mrazov sme sa zamerali aj na ich intenzitu, ktorá ovplyvňuje v konečnom dôsledku úrodu. Zisťovali sme výskyt mrazov vo výške 0,05 m a 2 m nad zemským povrchom. Mrazový deň nastáva vtedy, keď minimálna teplota vzduchu počas 24 hodín klesne pod 0 °C (KREČMER 1980). Intenzitu mrazov sme hodnotili podľa modifikovanej stupnice (SCHEIFINGER et al. 2003; MADARA 2016):

- A – slabý mráz (od 0 °C do -0,99 °C)
- B – mierny mráz (od -1 °C do -1,99 °C)
- C – silný mráz (od -2 °C do -3,99 °C)
- D – veľmi silný mráz (od -4 °C)

Pre fenologickú fázu sme vypočítali základné štatistické charakteristiky (aritmetický priemer, variačný koeficient – s_x %, najskorší dátum nástupu – min, najneskorší dátum nástupu – max, SEM – stredná chyba priemeru).

Vzťah medzi nezávislou premennou (počet mrazov) a závislou premennou (začiatok kvitnutia) počas 30-ročného obdobia bol testovaný pomocou jednoduché lineárnej regresie. Výstup analýzy obsahuje Pearsonov koeficient (r), ktorý kvantifikuje silu lineárneho vzťahu. Významnosť vzťahu sme skúmali testovaním rozptylu hodnôt okolo lineárnej regresie na 95% hladine významnosti. Ak bola hodnota p rovná alebo vyššia ako 0,05, vzťah nebol významný.

Na štatistické analýzy bol využitý program XLSTAT.

VÝSLEDKY

Na meteorologických stanicách sa za celé obdobie vyskytovali mrazové dni s rozličnou intenzitou. Ich počet v jednotlivých dňoch jarných mesiacov apríl – jún v rokoch 1987–2016 podávajú obrázky 2, 3 a 4.

Najväčší počet mrazových dní vo výške 0,05 m a 2 m sa v mesiaci apríl vyskytol na meteorologických stanicách v nadmorskej výške 200 a 300 m (Dudince, Sliač). Výskyt pretrvával s klesajúcim trendom až do 27. mája. Najväčšie mrazové extrémy v hodnotenom období na každej stanici podáva tab. 2. V nadmorskej výške 200 m sme počas 30 rokov zaznamenali absolútne extrémy v roku 2001, pričom extrémne nízke teplotné hodnoty sa vyskytli aj v roku 2015. Intenzita mrazov klesala so stúpajúcou nadmorskou výškou staníc.

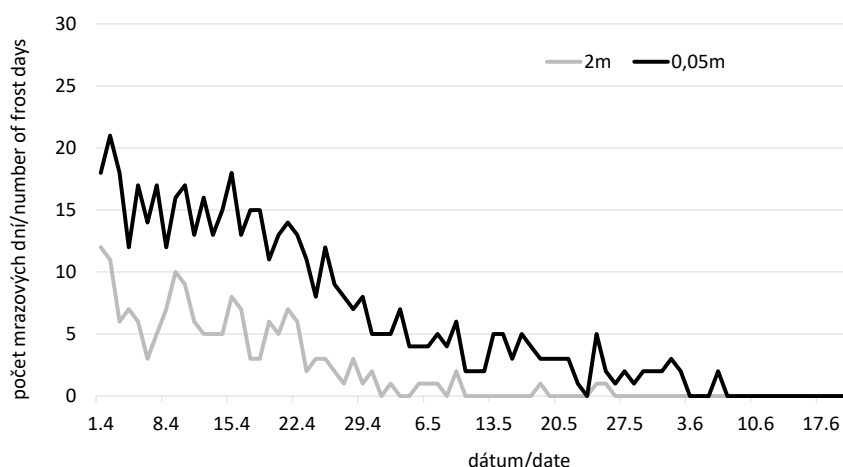
Postupná zmena klímy sa prejavuje aj na skoršom nástupe kvitnutia. Začiatok kvitnutia v jednotlivých nadmorských výškach (obr. 5) sa v 30-ročnom časovom rade posúva do skoršieho obdobia o 8–22 dní. Najvýraznejší trendový posun nastal vo výške 200 m. Najskoršie kvitnutie duba v roku 2015 (29. 3.) bolo spojené aj s výrazným mrazovým extrémom v tejto lokalite. To je dôkazom, že v nížinných oblastiach môže pri posune kvitnutia do skoršieho obdobia nastať takýto prípad aj častejšie.

Priemerný nástup kvitnutia duba letného sa so stúpajúcou nadmorskou výškou oneskoruje (obr. 6). Na všetkých fenologických stanicách sme zaznamenali postupný skorší priemerný začiatok kvitnutia v posledných dvoch 10-ročných obdobiach oproti prvému obdobiu

Tab. 1.

Prehľad fenologických a meteorologických staníc
Overview of phenological and meteorological stations

Meteorologická stanica/ Meteorological station	Fenologická stanica/ Phenological station	Nadmorská výška/ Altitude (m)	Vegetačné stupne/ Vegetation stages
Dudince	Lučenec	187–204 (200)	1.dubový/(1 st Oak)
Sliač	Zvolen	288–313 (300)	2.bukovo-dubový/(2 nd Beech-Oak)
Beluša	Dolná Súča	395–410 (400)	3.dubovo-bukový/(3 rd Oak-Beech)



Obr. 2.

Počet mrazových dní v rokoch 1987–2016 v nadmorskej výške 200 m v mesiacoch apríl–jún

Fig. 2.

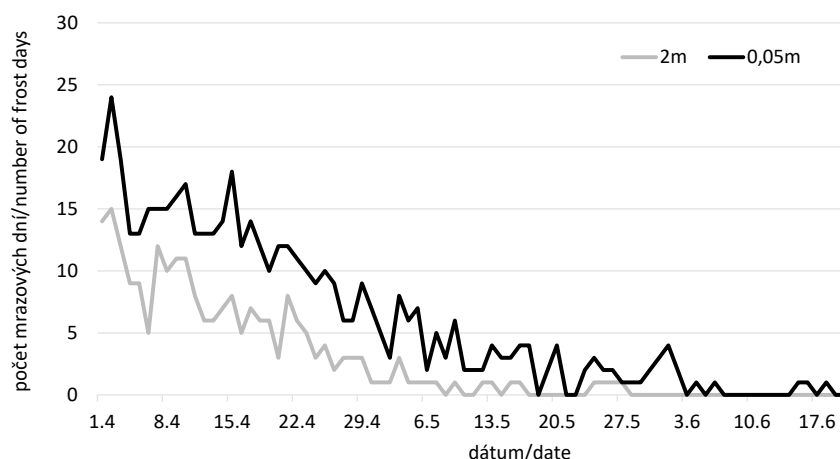
Number of frost days in years 1987–2016 at an altitude of 200 m in the months April–June

o 4–9 dní. Posuny do skoršieho obdobia dokazujú vplyv zmeny klímy na priebeh kvitnutia v jednotlivých nadmorských výškach.

Mieru variability fenofázy vyjadrujú variačné koeficienty (tab. 3). Najvyššie hodnoty dosiahli v nadmorskej výške 200 m (5,63–7,47 %). Sú odrazom premenlivého a teplotne nestáleho počasia na stanici Lučenec v nížinnej oblasti Slovenska. Variačné rozpätia kvitnutia (R) medzi

obdobiami sa pohybovali v intervale 11–26 dní, pričom najväčšie rozdiely sa opäť potvrdili na stanici Lučenec. Absolútne najskorší dátum začiatku kvitnutia na všetkých staniách bol zaznamenaný 29. marca 2015, najneskorší dátum pripadol na 16. máj 1991.

V ďalšej časti práce sme zisťovali výskyt a intenzitu mrazov počas kvitnutia duba. Výsledky analýz (tab. 4) ukázali, že v celom sledovanom

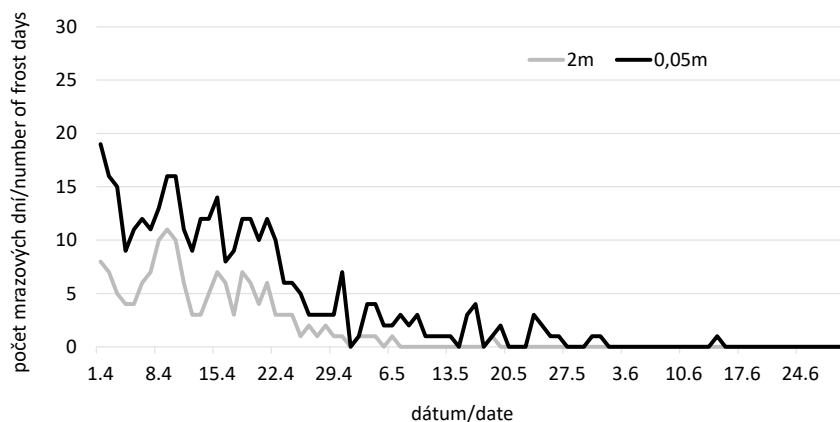


Obr. 3.

Počet mrazových dní v rokoch 1987–2016 v nadmorskej výške 300 m v mesiacoch apríl–jún

Fig. 3.

Number of frost days in the period 1987–2016 at an altitude of 300 m in the months April–June



Obr. 4.

Počet mrazových dní v rokoch 1987–2016 v nadmorskej výške 400 m v mesiacoch apríl–jún

Fig. 4.

Number of frost days in the period 1987–2016 at an altitude of 400 m in the months April–June

Tab. 2.

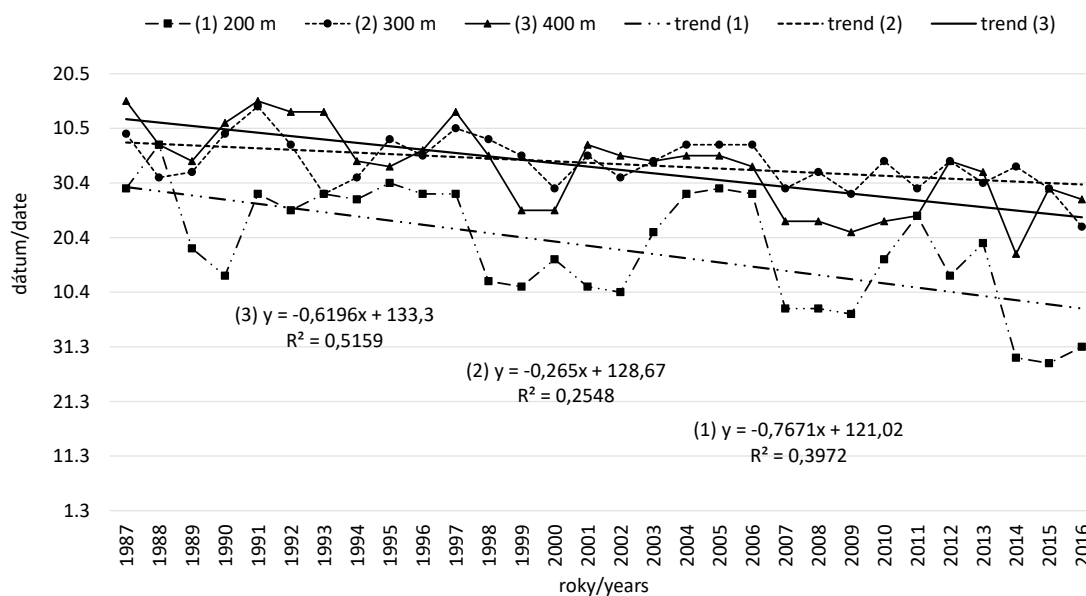
Absolútne mrazové extrémny na meteorologických staniách v rokoch 1987–2016 počas kvitnutia
Absolute frost extremes from meteorological stations in the period 1987–2016 during flowering

Stanica/Station (m)	Dátum/ Date	0,05 m	2 m
Dudince (200)	15. 4. 2001	- 11,1 °C	- 5,7 °C
	21. 3. 2015	- 8,3 °C	- 5,2 °C
Sliač (300)	2. 5. 2007	- 8,1 °C	- 4,2 °C
Beluša (400)	24. 4. 2007	- 3,9 °C	- 0,3 °C

období sa mrazy s vyššou intenzitou vyskytovali najčastejšie tesne nad zemským povrchom. Ich počet, ale aj intenzita vo výške 2 m klesala. Najväčšie poškodenie kvetov mrazmi sa prejavilo na staniach do nadmorskej výšky 300 m, kde sa mraz silnej a veľmi silnej intenzity vo výške 2 m vyskytoval oveľa častejšie ako v nadmorskej výške 400 m. Na tejto stanici prevládali počas celého obdobia vo výške 0,05 m a 2 m len mrazy slabšej intenzity. Silné a veľmi silné mrazy sa vyskytli na stani-

ciach do 300 m v rokoch 2001, 2007, 2011 a 2015. Spôsobili zamrznutie kvetov a zničenie potenciálnej semennej úrody duba.

Analýzu medzi začiatkom kvitnutia a počtom mrazových dní podáva tab. 5. V nadmorskej výške 200 m sa počas celého obdobia neprekázal žiadny vplyv mrazových dní na nástup fenologických fáz. V nadmorských výškach 300 a 400 m sa preukázali štatisticky významné korelácie vo výške 0,05 m aj 2 m.

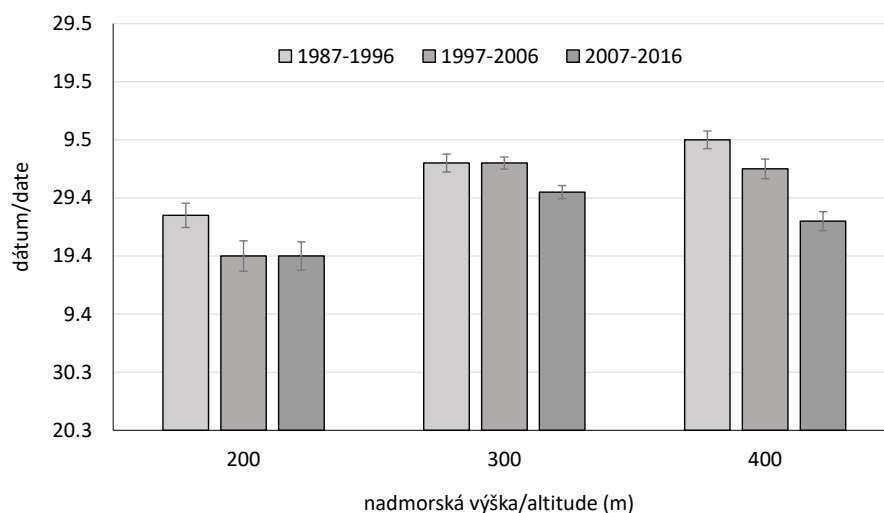


Obr. 5.

Začiatok kvitnutia duba letného a lineárne trendy na staniach v rokoch 1987–2016

Fig. 5.

Beginning of flowering of pedunculate oak and linear trends at stations in the period 1987–2016



Obr. 6.

Priemerný nástup kvitnutia a SEM (stredná chyba priemeru) duba letného v 10-ročných obdobiach podľa nadmorskej výšky

Fig. 6.

Average onset of flowering and SEM (standard error of the mean) of pedunculate oak in three ten-year periods according to the altitude

DISKUSIA

Analýza výskytu neskorých jarných mrazov na vybraných lokalitách Slovenska ukázala ich najvyšší výskyt v mesiaci apríl. Vzhľadom k tomu, že sa kvitnutie duba letného posúva do skoršieho obdobia, pravdepodobnosť poškodenia kvetov mrazmi sa zvyšuje. Práca CHMIELEWSKI, RÖTZER (2001) potvrdzuje dlhodobý trend posunu začiatku vegetačného obdobia aj v podmienkach strednej Európy priemerne o 8 dní skôr. Tento trend dobre korešponduje s teplotou vzduchu a jeho cirkuláciou v jarných mesiacoch. Výrazný trend posunu jarných fenofáz do skoršieho obdobia sa ukázal približne od roku 1985 (WALTHER et al. 2002). BAUER et al. (2014) zistili, že v Čechách došlo za posledných 10 rokov vplyvom zvyšovania priemernej teploty vzduchu

Tab. 3.

Vybrané štatistické charakteristiky kvitnutia duba letného ($s_x\%$ – variačný koeficient, min – dátum najskoršieho nástupu, max – dátum najneskoršieho nástupu, R – variačné rozpätie)
Selected statistical characteristics of the flowering of pedunculate oak ($s_x\%$ – coefficient of variation, min-date of earliest onset, max – date of latest onset, R – variation range)

Obdobie/ Period	Štatistické charakteristiky/ Statistical characteristics	Nadmorská výška/Altitude		
		200 m	300 m	400 m
1987–1996	$s_x\%$	5,63	3,86	3,68
	min	14.4.	29.4.	4.5.
	max	8.5.	15.5.	16.5.
	R	24	16	12
1997–2006	$s_x\%$	7,47	2,62	4,28
	min	11.4.	30.4.	26.4.
	max	30.4.	11.5.	14.5.
	R	19	11	18
2007–2016	$s_x\%$	6,92	2,97	4,46
	min	1.4.	23.4.	18.4.
	max	27.4.	5.5.	5.5.
	R	26	12	17

Tab. 5.

Regresná analýza medzi začiatkom kvitnutia a počtom mrazových dní vo výške 0,05 m a 2 m (r – Pearsonov koeficient korelácie, p – štatistická významnosť, b1 – sklon regresnej priamky) počas obdobia 1987–2016

Regression analysis between flowering and the number of frost days of 0.05 m and 2 m (r – Pearson correlation coefficient, p – statistical significance, b1 – slope of the regression line) during the period 1987–2016

Výška/Height (m)	Fenologická stanica/ Phenological station	Počet pozorovaní/ Number of observations	1987–2016		
			r	p	b1
0,05	Lučenec (200 m)	30	0,10	0,60	0,15
	Zvolen (300 m)	30	0,39	0,03	0,28
	Dolná Súča (400 m)	30	0,38	0,04	0,64
2	Lučenec (200 m)	30	0,11	0,57	0,18
	Zvolen (300 m)	30	0,38	0,04	0,44
	Dolná Súča (400 m)	30	0,60	0,00	1,33

Tab. 4.

Výskyt mrazov počas kvitnutia duba letného v rokoch 1987–2016 (▲ mráz 0,05m, * mráz 2m, intenzita mrazu: A-slabý, B-mierny, C-silný, D-veľmi silný)

The occurrence of frosts during the flowering of pedunculate oak in 1987–2016 (▲ frost 0,05m, * frost 2m, intensity of frost: A-low, B-mild, C-strong, D-very strong)

Obdobie/ Period	Roky/ Years	Nadmorská výška/Altitude		
		200 m	300 m	400 m
1987–1996	1987		▲C *A	
	1988			▲A
	1989	▲D *B	▲C *A	▲A
	1990	▲D *B		
	1991			▲A
	1992		▲A	
	1993			
	1994		▲D *B	▲A
	1995			▲B
	1996			
1997–2006	1997			
	1998			
	1999	▲C	▲A	
	2000		▲A	
	2001	▲D *D		
	2002	▲B		
	2003	▲C *A	▲A	
	2004			
	2005		▲C *B	▲A
	2006		▲A	
2007–2016	2007	▲D *A	▲D *D	▲A
	2008	▲C	▲A	
	2009			
	2010	▲C		▲C *A
	2011		▲D *C	
	2012			
	2013			
	2014	▲C *A		▲C
	2015	▲D *D		
	2016	▲C *A	▲B *B	

v jarnej perióde (marec–máj) k skoršiemu kvitnutiu lesných drevín, konkrétne hloho o takmer 13 dní. Potvrdili to aj naše trendové analýzy, pričom štatisticky významný trend posunu o 18 dní skôr sa ukázal na stanici v nadmorskej výške 400 m. Riziko poškodenia kvetov neskorými jarnými mrazmi sa tak zvyšuje. Skutočné riziko poškodenia kvetov mrazom závisí od kritickej hranice minimálnej teploty vzduchu, ktorá je pre jednotlivé druhy rastlín a ich vývojové fázy rôzna. Nízka teplota zvyčajne pod $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ovplyvňuje fyziologické procesy, ktoré sa priamo podieľajú na zvyšovaní odolnosti lesných drevín na mráz (SARVAŠ 2003). BRAUN, VANEK (2003) uvádzajú ako kritickú teplotu poškodenia púčikov väčšiny ovocných drevín $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pre naše druhy lesných drevín, ktoré tiež majú kvety vyššie nad povrchom pôdy, sme túto hodnotu stanovili ako kritickú hranicu poškodenia kvetov mrazom. Pri mrazoch so slabou a miernou intenzitou je poškodenie kvetov duba v korune minimálne, nakoľko sú kvety chránené korunou stromu a aj listovou čepelou, ktorá je v čase kvitnutia už vyvinutá. Z uvedených výsledkov vyplýva, že poškodenie kvetov mrazom závisí od jeho intenzity a času nástupu kvitnutia.

Na dlhodobé zmeny zvýšenej teploty vzduchu na jar citlivo reagujú dreviny zvlášť vo fáze kvitnutia. Prejavuje sa to aj pri trendových analýzach. ROETZER et al. (2000) uvádzajú posun dlhodobého trendu vplyvom jarného otepľovania pri niektorých drevinách až o 14 dní skôr. Pri dlhších časových obdobiach 1961–2008 a 1940–2008 vplyvom otepľovania viacerí autori zaznamenali skoršie kvitnutie lesných a ovocných drevín až o takmer 11–13 dní (STRĚDA et al. 2009; BAUER et al. 2014). Potvrdzujú to aj naše výsledky trendových analýz, kde posun kvitnutia do skoršieho obdobia závisel od polohy fenologickej stanice. Vo viacerých častiach Európy je možné pozorovať aj skorší nástup vegetatívnych fenologických fáz lesných drevín až o 8 dní (CHMIELEWSKI, RÖTZER 2001).

SCHIEBER, KUBOV (2016) k fenologickým prejavom dubov konštatujú, že táto drevina má vďaka relatívne neskorému nástupu jarných fenologických fáz schopnosť úspešne odolávať jarným mrazom spojeným s poškodením asimilačných orgánov. Naše výsledky sa k tomuto názoru plne prikláňajú, hlavne ohľadom generatívnych orgánov duba letného. Na riziko mrazov pri skoršom rašení smrekovca (*Larix decidua*) ako opadavej dreviny poukázali aj práce z Drahankej vrchoviny (BEDNÁŘOVÁ et al. 2013; SLOVÍKOVÁ, BEDNÁŘOVÁ 2015). Potvrdili, že medzi dátumom nástupu jarných fenologických fáz lesných drevín a teplotou je preukázateľná závislosť.

Podľa ČEHULIČ et al. (2019) poškodenie neskorými mrazmi ovplyvňuje aj sucho predchádzajúceho roku, čo sa prejavuje znížením odolnosti dreviny. Miera poškodenia duba mrazom tak vzrástla z 3 % až na 78 %. Tieto poznatky odhaľujú ďalšie závažné faktory účinkov mrazu, ktoré budú predmetom našich ďalších výskumných prác.

Problematika nastupujúcich zmien klímy, výskytu jarných mrazov a ich vplyv na kvitnutie je aktuálna nielen pre lesné, ale aj agrárne ekosystémy. Analýza vplyvu pôdno-klimatických faktorov na produkciu plodín (napr. VILČEK 2008; VILČEK, KOCO 2018; KOCO et al. 2020) ukazuje, že dôležitým faktorom pri ich rajonizácii je výber vhodného stanovišťa, akceptujúceho čas kvitnutia a možného výskytu mrazov. Tento názor je dôležitý aj pri interpretácii našich výsledkov, predovšetkým v umelo založených dubových porastoch (ale aj pri líniových a parkových výsadbách dubov v urbanizovanom prostredí) v kotlino- vých a mrazových polohách.

ZÁVER

Výsledky výskumu 30-ročného časového radu ukázali, že fenologická fáza kvitnutia duba letného nastáva skôr, čo potvrdili aj trendové analýzy. Tento skorší nástup sa prejavil aj v kratších v 10-ročných obdobiach. V nadmorských výškach do 300 m je predpoklad častejšieho

poškodenia kvetov neskorými jarnými mrazmi silnej a veľmi silnej intenzity. Intenzita klesá od zemského povrchu (0,05 m) ku korune stromu (2 m). Počet mrazov sa znižuje aj postupným otepľovaním od začiatku apríla do konca mája. Štatisticky významné korelácie medzi začiatkom kvitnutia a počtom mrazových dní vo výške 0,05 m a 2 m sa potvrdili na staniách v nadmorských výškach 300 m a 400 m. Teplotné extrémny sa vyskytujú nepravidelne, čo súvisí v jarných mesiacoch s cirkuláciou vzduchu nad centrálnou časťou Európy a občasným náhlým prenikaním studeného vzduchu zo severu. Skorším nástupom kvitnutia sa poškodenie kvetov mrazmi môže aj v ostatných regiónoch Slovenska prejavovať častejšie. V súvislosti s možnými extrémnymi prejavmi meniacej sa klímy (napríklad neskoré mrazy, resp. náhle vpády chladného vzduchu) bude pre porasty duba nachádzajúce sa v lokalitách mikroklimaticky disponibilných pre zvýšený výskyt mrazov (kotliny, depresie a iné konkávne typy reliéfu) potrebné v lesnickej praxi vyselektovať fenologicky vhodné formy (napr. neskoré pučiace jedince) dubov, ktoré by mohli potenciálne vhodnejšie odolávať týmto negatívnym javom. Aj táto štúdia ukazuje, že dubiny nachádzajúce sa v klimaxových polohách prvého až tretieho vegetačného stupňa budú aj v meniacich sa klimatických podmienkach schopné plne odolávať mrazom v jarnom vegetačnom období. Dlhá tridsaťročná fenologická analýza ukázala, že dub letný patrí k neskorému pučiacim drevinám. Táto genetická schopnosť jedincom, ako aj porastom duba umožňuje odolávať a do určitej miery aj fenologicky „uniknúť“ neskorým jarným mrazom spojeným s poškodeným generatívnym a sčasti aj asimilačnými orgánov.

Podakovanie:

Príspevok vznikol za finančnej podpory grantovej agentúry Ministerstva školstva SR VEGA 1/0111/18, 1/0500/19 a projektu Agentúry na podporu výskumu a vývoja APVV-18-0347.

LITERATÚRA

- BADECK F.W., BONDEAU A., BÖTTCHER K., DOKTOR D., LUCHT W., SCHABER J., SITCH S. 2004. Responses of spring phenology to climate change. *New Phytologist*, 162: 295–309.
- BAUER Z., BARTOŠOVÁ L., BAUEROVÁ J., TRNKA M., ŠTĚPÁNEK P., MOŽNÝ M., DUBROVSKÝ M., NYKLOVÁ E., ŽALUD Z. 2014. Observed phenological response of ecosystems to the climate: Part I. – Flood-plain forest. Brno, Mendel University: 128 s.
- BRAUN J., VANEK G. 2003. Pestujeme vinič. Bratislava, Vydavateľstvo Nezávislosť: 216 s.
- 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 et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 61 (5): 1239–1246.
- ČEHULIČ I., SEVER K., BOGDAN I.K., JAZBEC A., ŠKVORC Ž., BOGDAN S. 2019. Drought impact on leaf phenology and spring frost susceptibility in a *Quercus robur* L. provenance trial. *Forests*, 10 (1): 50. DOI: 10.3390/f10010050
- GEORGE J-P., THEROUX-RANCOURT G., RUNGWATTANA K., SCHEFFKNECHT N., MOMIROVIC N., NEUHAUSER L., WEISSENBACHER L., WATZINGER A., HIETZ P. 2020. Assessing adaptive and plastic responses in growth and functional traits in a 10-year old common garden experiment with pedunculate oak (*Quercus robur* L.) suggests that directional selection can drive climatic adaptation. *Evolutionary Applications*, 13: 2422–2438. DOI: 10.1111/eva.13034

- HANECA K., ČUFAR K., BEECKMAN H. 2009. Oaks, tree-rings and wooden cultural heritage: a review of the main characteristics and applications of oak dendrochronology in Europe. *Journal of Archaeological Science*, 36: 1–11. DOI: 10.1016/j.jas.2008.07.005
- HRVOJ J., HORECKÁ V., ŠKVARENINA J., STŘELCOVÁ K., ŠKVARENINOVÁ J. 2009. Long-term results of evaporation rate in xerothermic Oak altitudinal vegetation stage in Southern Slovakia. *Biologia*, 64: 605–609. DOI: 10.2478/s11756-009-0091-x
- CHMIELEWSKI F.M., RÖTZER T. 2001. Response of tree phenology to climate change across Europe. *Agricultural and Forest Meteorology*, 108 (2): 101–112. DOI: 10.1016/S0168-1923(01)00233-7
- INOUE D.W. 2000. The ecological and evolutionary significance of frost in the context of climate change. *Ecology Letters*, 5: 457–463.
- KOCO Š., VILČEK J., TORMA S., MICHAELI E., SOLÁR V. 2020. Optimising potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivation by selection of proper soils. *Agriculture*, 10: 155. DOI: 10.3390/agriculture10050155
- KREČMER V. 1980. Bioklimatologický slovník terminologický a explikativní. Praha, Academia: 244 s.
- MADARA M. 2016. Výskyt prízemných mrazov na Slovensku za mesiace apríl až október. *Meteorologický časopis*, 19: 67–74.
- MALBERG H. 2003. Bauernregeln: Aus meteorologischer Sicht. Berlin, Springer: 245 s.
- MEIER U. (ed.) 1997. Growth stages of mono- dicotyledonous plants. BBCH-Monograph. Berlin; Wien, Blackwell Wissenschaftsverlag: 622 s.
- MENZEL A., SPARKS T.H., ESTRELLA N., ROY D.B. 2006. Altered geographic and temporal variability in phenology in response to climate change. *Global Ecology and Biogeography*, 15: 498–504. DOI: 10.1111/j.1466-822X.2006.00247.x
- NALEVANKOVÁ P., JEŽÍK M., SITKOVÁ Z., VIDO J., LEŠTIANSKA A., STŘELCOVÁ K. 2018. Drought and irrigation affect transpiration rate and morning tree water status of a mature European beech (*Fagus sylvatica* L.) forest in Central Europe. *Ecohydrology*, 11 (6): e1958. DOI: 10.1002/eco.1958
- NECHITA C., MACOVEI I., POPA I., BADEA O.N., APOSTOL E.N., EGGERTSSON Ó. 2019. Radial growth-based assessment of sites effects on pedunculate and greyish oak in southern Romania. *Science of the Total Environment*, 694: 133709. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.133709
- PAGAN J., RANDUŠKA D. 1987. Atlas drevín 1. Pôvodné dreviny. Bratislava, Obzor: 355 s.
- PARMESAN C., ROOT T.L., WILLIG M.R. 2000. Impacts of extreme weather and climate on terrestrial biota. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 81: 443–450. DOI: 10.1175/1520-0477(2000)081<0443:IOEWAC>2.3.CO;2
- PUCHAŁKA R., KOPROWSKI M., PRZYBYLAK J., PRZYBYLAK R., DABROWSKI H.P. 2016. Did the late spring frost in 2007 and 2011 affect tree-ring width and earlywood vessel size in Pedunculate oak (*Quercus robur*) in northern Poland? *International Journal of Biometeorology*, 60: 1143–1150. DOI: 10.1007/s00484-015-1107-6
- REPO T., MONONEN K., ALVILA L., PAKKANEN T.T., HÄNNINEN H. 2008. Cold acclimation of pedunculate oak (*Quercus robur* L.) at its northernmost distribution range. *Environmental and Experimental Botany*, 63: 59–70. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2007.10.023
- ROETZER T., WITTENZELLER M., HAECKEL H., NEKOVAŘ J. 2000. Phenology in central Europe – differences and trends of spring phenophases in urban and rural areas. *Journal of Biometeorology*, 44: 60–66. DOI: 10.1007/s004840000062.
- SARVAŠ M. 2003. Changes of cold hardiness of bare rooted Norway spruce plants during autumn and its effect on survival after cold storage. *Journal Forest Science*, 49: 133–139.
- SCHEIFINGER H., MENZEL A., KOCH E., PETER C. 2003. Trends of spring time frost events and phenological dates in Central Europe. *Theoretical Applied Climatology*, 74: 41–51. DOI: 10.1007/s00704-002-0704-6
- SCHIEBER B., KUBOV M. 2016. Fenológia vybraných listnatých lesných drevín v submontánnej bučine: dvadsaťročná analýza. *Zprávy lesníckeho výzkumu*, 61 (1): 90–99.
- SLOVÍKOVÁ K., BEDNÁŘOVÁ E. 2015. Fenologie modřínu opadavého (*Larix decidua* Mill.) ve smíšených porostech lišících se nadmořskou výškou. [European larch (*Larix decidua* Mill.) phenology in mixed forest stands growing in different altitudes]. *Zprávy lesníckeho výzkumu*, 60: 81–88.
- STŘEDA T., ROŽNOVSKÝ J., POKLADNÍKOVÁ H. 2009. Long-term observation of the apricot (*Armeniaca vulgaris* Lam.) phenological stages. In: Škvareninová, J. (ed.): *Fenológia rastlín v meniacich sa podmienkach prostredia*. Zvolen, Technická univerzita vo Zvolene: 77–81.
- STŘEDOVÁ H., FUKALOVÁ P., CHUCHMA F., STŘEDA T. 2020. A complex method for estimation of multiple abiotic hazards in forest ecosystems. *Water*, 12 (10): 2872. DOI: 10.3390/w12102872
- STRELCOVA K., MATYAS C., KLEIDON A., LAPIN M., MATEJKA F., BLAZENEC M., SKVARENINA J., HOLECY J. (eds.) 2009. *Bioclimatology and natural hazards*. Dordrecht, Springer: 298 s.
- ŠEBEŇ V. 2017. *Národná inventarizácia a monitoring lesov Slovenskej republiky 2015–2016*. Zvolen, Národné lesnícke centrum: 255 s. Lesnícke štúdie, 16.
- ŠKVARENINA J., KRIŽOVÁ E., TOMLAIN J. 2004. Impact of the climate change on the water balance of altitudinal vegetation stages in Slovakia. *Ekológia*, 23: 13–29.
- ŠKVARENINOVÁ J., DOMČEKOVÁ D., SNOPOKOVÁ 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. 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 a bioindicator of forest ecosystems, weather extremes and climate change]. *Zprávy lesníckeho výzkumu*, 59 (4): 250–255.
- UTKINA I.A., RUBSTOV V.V. 2017. Studies of phenological forms of pedunculate oak. *Contemporary Problems of Ecology*, 10: 804–811. DOI: 10.1134/S1995425517070101
- VIDO J., STŘELCOVÁ K., NALEVANKOVÁ P., LEŠTIANSKA A., KANDRÍK R., PÁSTOROVÁ A., ŠKVARENINA J., TADESSE T. 2016. Identifying the relationships of climate and physiological responses of a beech forest using the Standardised Precipitation Index: a case study for Slovakia. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 64: 246–251.
- VIDO J., NALEVANKOVÁ P. 2020. Drought in the Upper Hron Region (Slovakia) between the years 1984–2014. *Water*, 12: 2887. DOI: 10.3390/w12102887
- VIDO J., NALEVANKOVÁ P. 2021. Impact of natural hazards on forest ecosystems and their surrounding landscape under climate change. *Water*, 13 (7): 979. DOI: 10.3390/w13070979

- VILČEK J. 2008. Dopad klimatických zmien na možnosti pestovania cukrovej repy na Slovensku. Listy cukrovarnícké a řepařské, 124 (3): 78–81.
- VILČEK J., KOCO Š. 2018. Integrated index of agricultural soil quality in Slovakia. Journal of Maps, 14 (2): 68–76. DOI: 10.1080/17445647.2018.1428233
- VILHAR U., SKUDNIK M., SIMONČIČ P. 2013. Fenološke faze dreves na ploskvah intenzivnega monitoringa gozdnih ekosistemov v Sloveniji. Acta Silvae et Ligni, 100: 5–17.
- VITASSE Y., BOTTERO A., CAILLERET M., BIGLER CH., FONTI P., GESSLER A., LÉVESQUE M., ROHNER B., WEBWE P., RIGLING A., WOHLGEMUTH T. 2019. Contrasting resistance and resilience to extreme drought and late spring frost in five major European tree species. Global Change Biology, 25: 3781–3792. DOI: 10.1111/gcb.14803
- 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. DOI: 10.1038/416389a
- WENDEN B., MARIADASSOU M., CHMIELEWSKI F. M., VITASSE Y. 2020. Shifts in the temperature-sensitive periods for spring phenology in European beech and pedunculate oak clones across latitudes and over recent decades. Global Change Biology, 26: 1808–1819.

OCCURRENCE OF SPRING FROSTS AND THEIR INFLUENCE ON FLOWERING OF PEDUNCULATE OAK (*QUERCUS ROBUR* L.) IN SLOVAKIA

SUMMARY

In the last decades, climate change has been manifested by rising atmospheric dynamics through changing temperature and precipitation regime and frequent extreme weather events, especially during the spring season. Several studies indicate that the growing season has extended over the last thirty years. However, this phenomenon led to an increased risk of spring frosts. Spring frost could influence the growth processes, yields and vitality of woody plants.

The paper deals with the occurrence and intensity of spring frosts and their influence on the flowering of pedunculate oak – *Quercus robur* L. (Fig. 1) during thirty-year period (1987–2016). The trend of flowering onset was also evaluated in selected localities of Slovakia.

The whole study period has been divided into three shorter 10-year periods to determine potential climate change impact on the trend of frost damage. Following statistical characteristics were calculated for each phenological phase in each period: arithmetic mean, coefficient of variation – sx%, the earliest date of onset – min, the latest date of onset – max, SEM – mean error of the mean. Phenological and meteorological stations were located at an altitude of 200–400 m (Tab. 1). The occurrence of frosts was measured at the height of 0.05 m and 2 m above the earth's surface, and a 4-point temperature scale evaluated the intensity.

Relation dependence between the number of frosts and the onset of flowering over 30 years was tested using linear regression. The strength of the linear relation is given by the Pearson coefficient (r). The significance of the relationship was examined by testing the variance of values around the linear regression at the 95% confidence level.

The highest number of spring frost days at the height of 0.05 m was recorded at the meteorological station Dudince (200 m above sea level). In addition, the most pronounced frost extremes have been observed at this station. The latest (on 18th June) observation of ground frost (0.05 m) occurred at Sliac station (300 m above sea level). Frosts occurrence at the height of 2 m and above is dangerous for the forest trees flowers. The situation was most common for all stations during April (Figs. 2–4). The most pronounced frost extremes were recorded at Dudince station with the lowest altitude (Tab. 2). The intensity of extremes decreased with increasing altitude. The beginning of flowering at selected phenological stations (Fig. 5) shifted to an earlier period of 8–22 days during the 30 years. The most significant trend shift occurred at an altitude of 200 m. The average onset of flowering was delayed with increasing altitude. Compared to the first 10-year period, flowering started 4–9 days earlier (Fig. 6).

Selected statistical characteristics are presented in Tab. 3. Results of analyzes of frost intensity during oak flowering (Tab. 4) showed that the most significant damage to flowers was at stations up to the altitude of 300 m. The frost of strong and very strong intensity at the height of 2 m occurred much more often at the altitude of 300 m than at the stations with the altitude of 400 m. The most intense spring frosts occurred at stations up to 300 m in 2001, 2007, 2011 and 2015. They caused the flower freezing, so the seed crop was destroyed.

Regression analysis (Tab. 5) revealed no influence of spring frost occurrence on the onset of phenological phases. Statistically significant correlations at 0.05 m and 2 m height were confirmed at altitudes 300 m and 400 m above sea level. Earlier onset of flowering, which was recorded by trend analyses over the studied period, may cause that flower frost damage would be more frequent even in other regions of Slovakia.

Zasláno/Received: 29. 04. 2021

Přijato do tisku/Accepted: 13. 06. 2021