

## Fenologie jako indikátor změn v přírodním prostředí

Phenology as an indicator of changes in the natural environment

*Eva Stehnová<sup>1</sup>, Hana Středová<sup>1,3</sup>, Tomáš Středa<sup>2,3</sup>, Martin Mistr<sup>4</sup>*

*Ústav aplikované a krajinné ekologie, Mendelova univerzita v Brně<sup>1</sup>; Ústav pěstování,  
šlechtění rostlin a rostlinolékařství, Mendelova univerzita v Brně<sup>2</sup>; Český  
hydrometeorologický ústav, pobočka Brno<sup>3</sup>; Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy<sup>4</sup>*

### Abstrakt

Příspěvek se zabývá detailní analýzou fenologických dat pro stanici Poděbrady v letech 1991–2010. V tomto článku jsou vyhodnocena data pro ječmen jarní (*Hordeum vulgare*). Fenologická data pro jednotlivé roky vykazují velkou variabilitu. Je provedeno srovnání pro dvě dlouhodobá období (1931–1960 a 1991–2010). Při porovnání těchto období bylo zjištěno, že dochází k prodloužení vegetačního období o 9 dnů v období 1991–2010. Prodloužení vegetačního období je způsobeno především pozdějším termínem sklizně ječmene jarního. Dále dochází ke zkracování intervalu mezi fenologickými fázemi vzcházení a metání. V příspěvku byl proveden Mann-Kendalův test tzv. trendová analýza. Významný lineární trend byl zjištěn u fenologické fáze metání v dekádě 1991–2000. Tato fenologická fáze nastává o 8 dnů dříve na konci této dekády.

**Klíčová slova:** fenologická fáze, ječmen jarní, Poděbrady, Česká republika, trendová analýza

### Abstract

This paper deals with detailed analysis of phenological data for Poděbrady in period 1991–2010. Data for spring barley (*Hordeum vulgare*) are evaluated in this text. Phenological data report great variability for each year. Two long-term period (1931–1960 and 1991–2010) are compared. The growing season is extended by 9 days in the period 1991–2010 when we comparing two analyzed periods. The prolongation of the vegetation period is mainly due to the later date of the harvest of spring barley. Shortening of the time between phenological phases of emergence and heading is detected. Mann-Kendal's test (so called trend analysis) is made in this contribution. Significant linear trend is found out in the phenological phases heading in the decade 1991–2000. Heading occurs 8 days earlier at the end of this decade.

**Keywords:** phenological phases, spring barley, Poděbrady, Czech Republic, trend analysis

## Úvod

Fenologie je věda, která zaznamenává časový průběh a výskyt periodicky se opakujících životních projevů rostlin a živočichů (Sobíšek, 1993). V rámci fenologických pozorování je zaznamenáván termín nástupu fenologických fází (např. vzcházení, metání, odnožování, počátek kvetení atd.) a agrotechnických operací (setí a sklizeň). Valter (1982) v návodu pro činnosti fenologických stanic definuje fenologickou fázi jako: „určitý zevně dobře rozpoznatelný, zpravidla každoročně se opakující projev vývinu orgánů sledované rostliny.“ Termínem nástupu fenologické fáze se rozumí kalendářní den v roce (datum) ve, kterém došlo k vývinu orgánu do určité fenologické fáze – stádia (Valter, 1982). Mnohdy je fenologie chápána jako pomocná věda klimatologie a to především z důvodu úzkého vztahu mezi fenologickými daty a klimatickými podmínkami vnějšího prostředí (Sobíšek, 1993).

Fenologická data jsou cenným zdrojem informací, a to především z důvodu dlouhých časových řad, které máme v současnosti k dispozici (Hájková, 2014). Dlouhodobé řady fenologických pozorování mohou sloužit k: studiu změny klimatu (Estrella a Menzel, 2006; Škvarenina et al., 2009), stanovení ochranného vlivu vegetace v protierozní ochraně půdy (Stehnová a Středová, 2016), monitoringu výskytu a redukci dopadů sucha (Svačina et al., 2014), predikci patogenů (Středa et al., 2013), stanovení termínu pro aplikaci přípravků na ochranu rostlin (Krédl et al., 2012), optimalizaci závlah během kritických fází růstu plodin (Kohut et al., 2014), stanovení aktuálních pylových alergenů (Stehnová et al., 2017; Stehnová et al., 2018) a agrometeorologickému modelování v rámci modelu AVISO (Chuchma et al., 2017). Všechny výše zmíněné aplikace fenologických dat nám mohou být nápomocny pro zjištění změn, které v životním prostředí v současnosti probíhají.

## Materiál a metody

V příspěvku byla provedena analýza fenologických dat pro ječmen jarní (*Hordeum vulgare*). Data byla získána z přímých pozorování Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ). Analýza byla provedena pro stanici Poděbrady (Středočeský kraj, 190 m n. m.).

Byla provedena analýza průměrných hodnot nástupu fenologických fází a agrotechnických opatření pro období 1931–1960 a 1991–2010. Data pro období 1931–1960 byla získána z publikace Agroklimatické podmínky ČSSR (Kurpelová et al., 1975). V rámci této publikace byla vybrána vzdálenostně nejbližší fenologická stanice s podobnou nadmořskou výškou. Těmto podmínkám z analyzovaných fenologických stanic v rámci této publikace nejvíce vyhovovala stanice Dobrovice (leží v nadmořské výšce 225 m n. m. a vzdálená cca 30 km od Poděbrad).

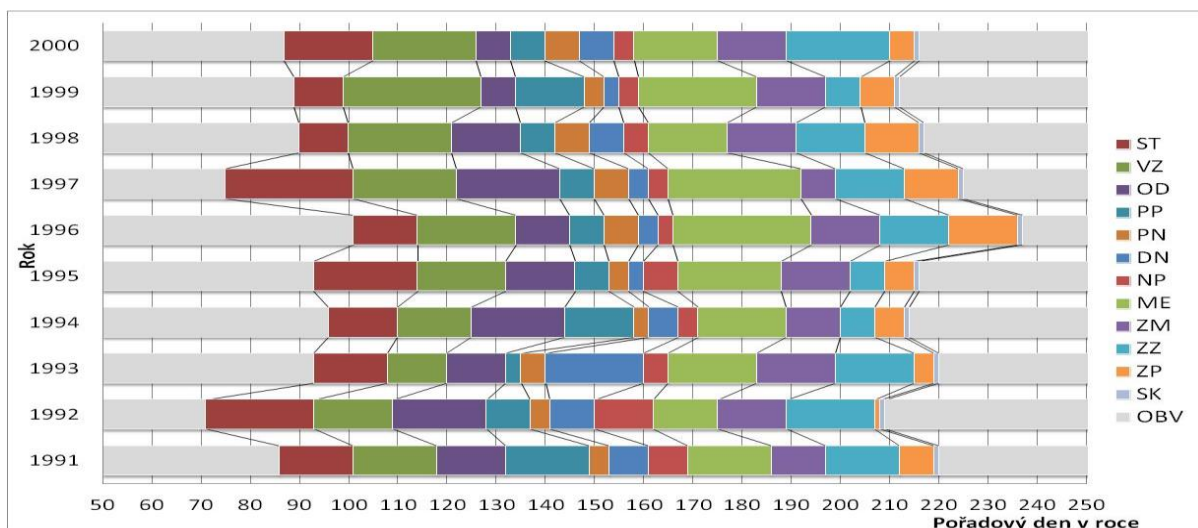
Dále byla v práci provedena detailní analýza fenologických dat pro dekády: 1991–2000 a 2001–2010. Byly zhodnoceny i průměrné hodnoty pro tyto dekády. V příspěvku jsou řešeny změny v rámci nástupů vybraných fenologických fází ve zmíněných obdobích. Dále je v příspěvku řešena délka vegetačního období (VO). VO je chápáno jako interval mezi setím a sklizní.

Analýza je provedena pro fenologické fáze a agrotechnické operace: setí (ST), vzcházení (VZ), odnožování (OD), počátek prodlužování listových pochev (PP), první kolénko (PN), druhé kolénko (DN), naduření pochvy posledního listu (NP), metání (ME), mléčná zralost (ZM), žlutá zralost (ZZ), plná zralost (ZP) a sklizeň (SK). Bližší specifikace těchto termínů je uvedena v Metodickém předpisu č. 2 – Návod pro činnost fenologických stanic pro polní plodiny (Valter, 1982).

Při vyhodnocování dat pro období 1991–2010 byl použit Mann-Kendalův test tzv. trendová analýza. Tento test slouží ke zjištění trendů v rámci časových řad. Tato metoda je široce využívána ve vědeckých oborech, které se zabývají životním prostředím. Pokud jsou hodnoty  $P < 0,01$  jedná se o statisticky vysoce významný lineární trend, a jestliže jsou hodnoty  $P < 0,05$  jedná se o významný lineární trend.

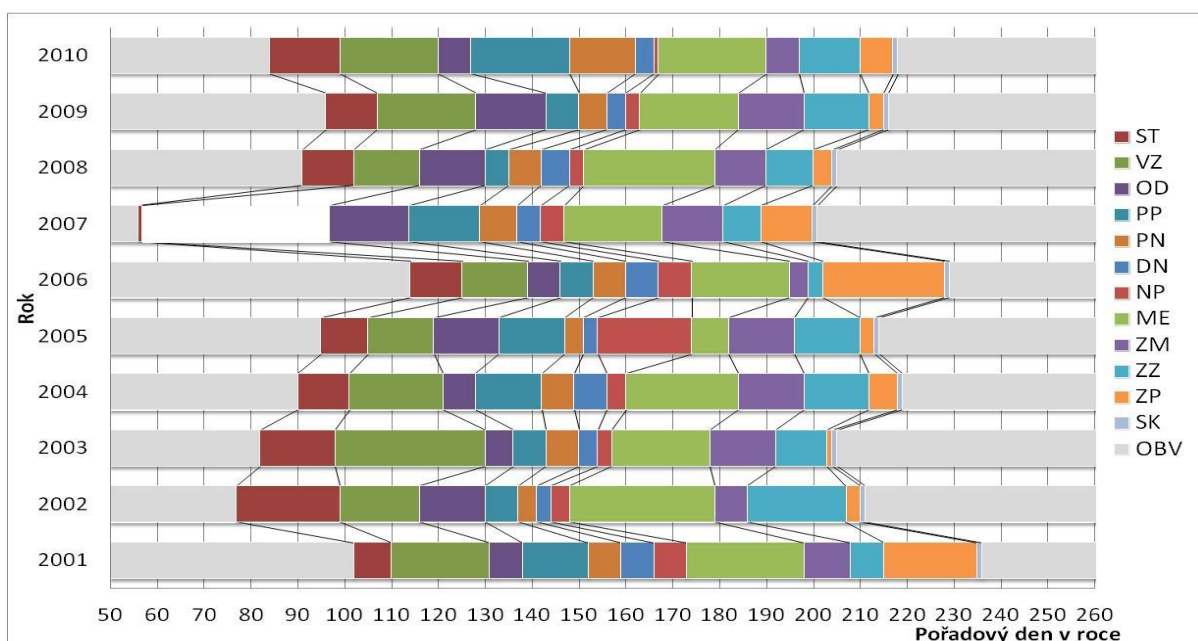
## **Výsledky**

V dekádě 1991–2000 bylo v roce 1997 zjištěno nejdelší VO, kdy setí bylo prováděno 75. den v roce a sklizeň byla prováděna 224. den v roce (Obr. 1). Nejkratší VO bylo v této dekádě zjištěno v roce 1994, a to 117 dnů. Nejkratší intervaly mezi nástupem jednotlivých fenologických fází byly zaznamenány mezi fenologickými fázemi: PP–PN, PN–DN a DN–NP. V průměru je interval mezi těmito fenologickými fázemi: PP–PN 5 dnů, PN–DN 7 dnů a DN–NP 6 dnů. Nejdelší intervaly mezi nástupem fenologických fází byly zaznamenány mezi NP–ME (20 dnů) a mezi VZ–OD (19 dnů).



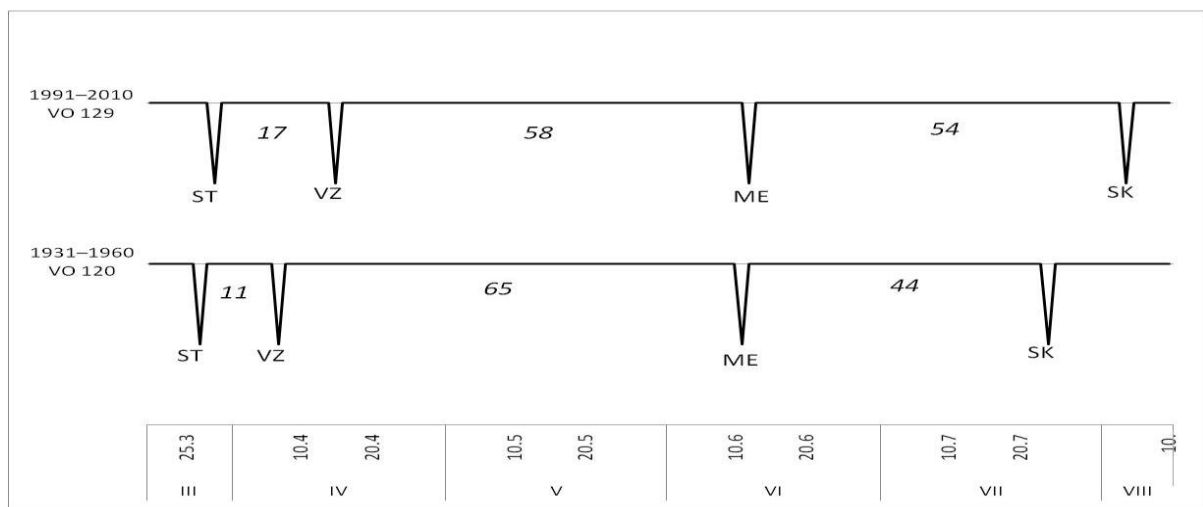
Obr. 1 Termíny nástupů fenologických fází a provádění agrotechnických operací v jednotlivých letech v období 1991–2000.

V dekádě 2001–2010 bylo zjištěno, že nejdelší VO bylo v roce 2007 (146 dnů). Tento rok je v rámci analyzovaných dekád rok s nejdřívějším výsevem vůbec (56. den v roce). Nejkratší VO bylo zjištěno v roce 2008, kde délka VO byla 113 dnů. V roce 2006 byl výsev prováděn nejpozději v rámci dekády 2001–2010 a to až 114. den v roce. Stejně jako v předchozí dekádě byly nejkratší intervaly mezi nástupem jednotlivých fenologických fází zaznamenány u PP, PN, DN a NP. I v této dekádě byl zjištěn nejdelší interval mezi nástupem fenologických fází NP–ME a to v průměru 22 dnů. Druhým nejdelším intervalem mezi fenologickými fázemi byl interval mezi VZ–OD (v průměru 21 dnů).



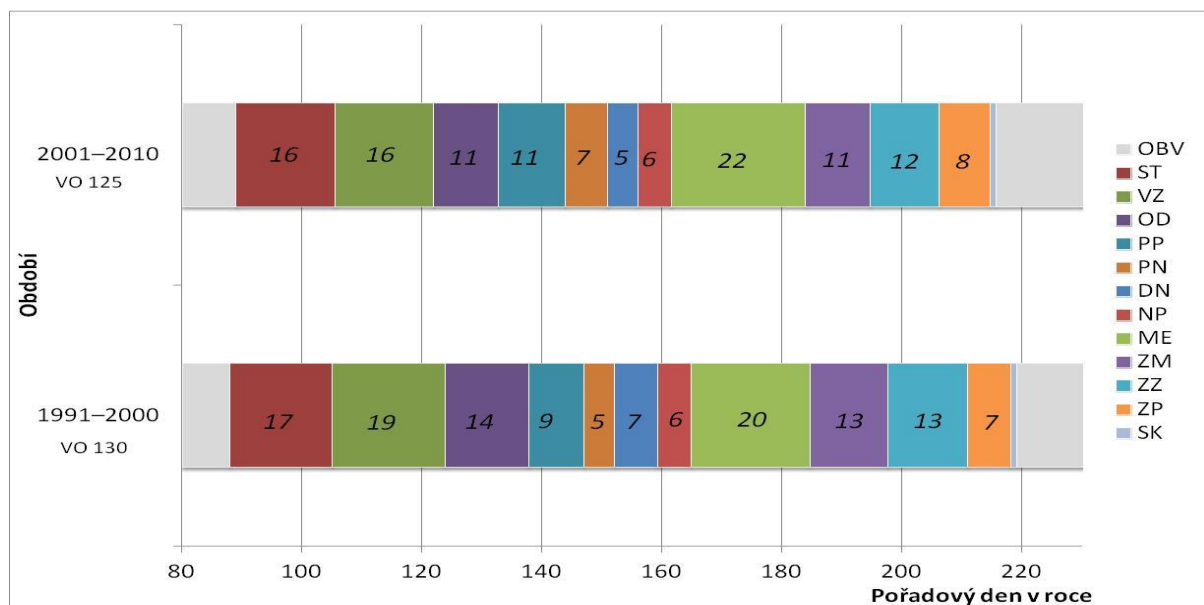
Obr. 2 Termíny nástupů fenologických fází a provádění agrotechnických operací v jednotlivých letech v období 2001–2010.

V období 1991–2010 bylo v průměru setí prováděno o dva dny později nežli v období 1931–1960 (Obr. 3). Při porovnání délky VO v analyzovaných obdobích dochází k jeho prodlužování v průměru o 9 dnů. V období 1991–2010 dochází k prodlužování intervalu mezi ST a VZ a to o 6 dnů. Dále v tomto období dochází ke zkrácování intervalu mezi VZ a ME o 7 dnů. Dále bylo zjištěno, že mezi ME a SK dochází k prodloužení intervalu. Agrotechnická operace sklizeň nastává v období 1991–2010 v průměru 4.8. Podle období 1931–1960 je v průměru sklizeň opožděna o 10 dnů. Posunutí sklizně v období 1991–2010 může mít mnoho důvodů např. pěstovaná odrůda ječmene, vývoj zemědělské techniky a klimatické podmínky. Na změnu délky vegetačního období může mít vliv i probíhající změna klimatu, které v současnosti čelíme.



Obr. 3 Průměrné hodnoty nástupů vybraných fenologických fází a agrotechnických operací

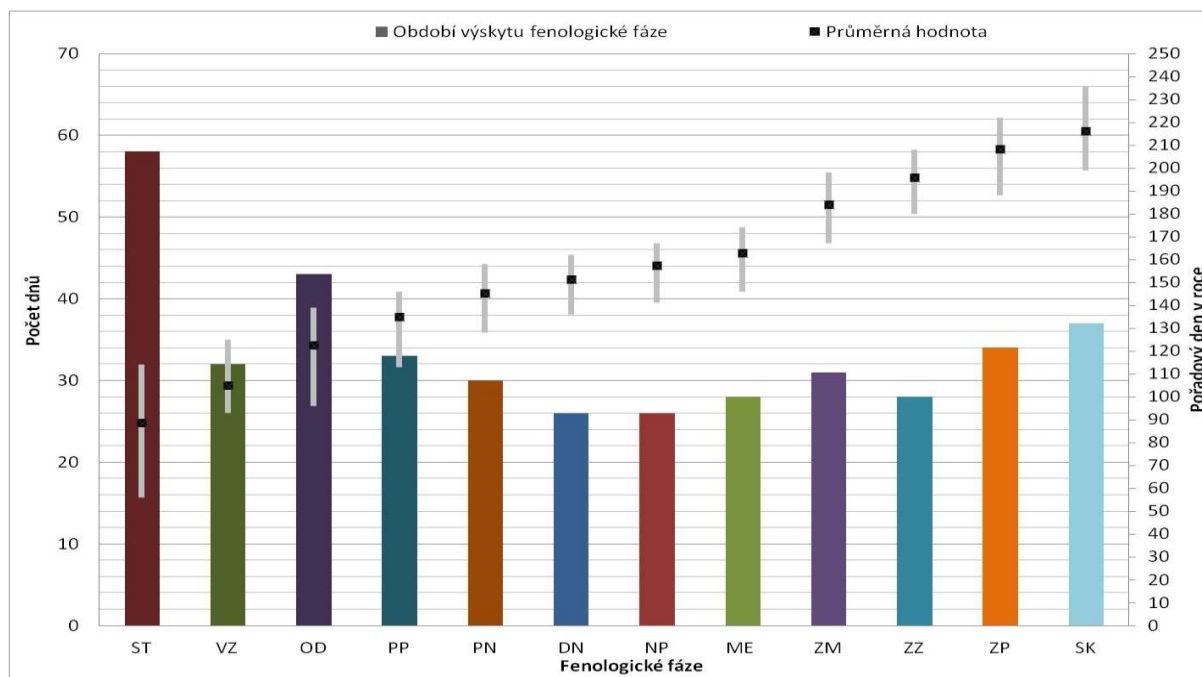
Na Obr. 4 jsou uvedeny průměrné hodnoty nástupů fenologických fází a agrotechnických operací ječmene jarního pro dekády 1991–2000 a 2001–2010. Při porovnání těchto dvou dekád bylo zjištěno, že v období 2001–2010 došlo ke zkrácení VO a to o 5 dnů. Dále bylo zjištěno, že fenologické fáze VZ a ZM nastávají v průměru v obou dekádách ve stejný termín (VZ 105. den v roce a ZM 184. den v roce). Nejvýraznější změna v posunu nástupu fenologické fáze byla zaznamenána u fenofáze PP, kde v období 2001–2010 nastává o pět dnů dříve nežli v období 1991–2000. Nejdelší interval mezi fenologickými fázemi byl zaznamenán mezi ME a ZM a to 20 dnů (1991–2000) a 22 dnů (2001–2010). Nejkratší interval mezi fenologickými fázemi byl v období 1991–2000 zjištěn u PN a DN a to 5 dnů. V dekádě 2001–2010 byl zjištěn nejkratší interval také v délce pěti dnů a to mezi fenologickými fázemi DN–NP.



Obr. 4 Průměrné hodnoty pro dekády 1991–2000 a 2001–2010 nástupů vybraných fenologických fází a agrotechnických operací

Analyzovaná data ukazují velkou variabilitu v rámci nástupu fenologických fází a provádění agrotechnických opatření. Významný vliv na vývoj ječmene jarního a nástup jednotlivých fenologických fází má počasí v daném roce. Největší variabilita u nástupů fenologických fází byla zjištěna u OD, tato fenofáze nastává od 96. dne do 139. dne v roce. U agrotechnických operací byla největší variabilita zjištěna u ST, kdy rozdíl mezi analyzovanými roky je až 58 dnů (Obr. 5).

V období 1991–2010 nastávala fenologická fáze VZ od 93. do 125. dne v roce, OD od 96. do 139. dne, PP od 113. do 146. dne v roce, PN od 128. do 158. dne v roce, DN od 136. do 162. dne v roce, NP od 141. dne do 167. dne v roce, ME od 146. dne do 174. dne v roce, ZM od 167. dne do 198. dne v roce, ZZ od 180. dne do 208. dne v roce a ZP od 188. dne do 222. dne v roce. Agrotechnická operace ST byla prováděna od 56. dne do 114. dne v roce a SK probíhá od 199. dne do 236. dne v roce (obr. 5).



Obr. 5 Doba trvání fenologických fází a agrotechnických operací (počet dnů a pořadový den v roce)

Významný lineární trend byl nalezen v dekadě 1991–2000 u fenologické fáze metání. Bylo zjištěno, že na konci dekadý dochází k dřívějšímu nástupu této fenologické fáze a to o 8 dnů (Tab. 1).

Tab. 1 Hodnoty Mann-Kendalova testu pro období 1991–2010 a pro jednotlivé dekadý tohoto období

Fenologické fáze	ST	VZ	OD	PP	PN	DN	NP	ME	ZM	ZZ	ZP	SK	VO
1991–2010	0,889	0,761	0,674	0,141	0,482	0,861	0,439	0,400	0,916	0,261	0,170	0,483	0,308
1991–2000	0,600	0,753	0,260	0,919	0,612	0,753	0,345	0,046*	0,833	0,527	0,600	0,753	1,000
2001–2010	0,358	0,262	0,917	0,753	0,477	0,180	0,249	0,345	0,292	0,463	0,833	0,600	0,600

Pozn.:\* významný lineární trend, \*\* vysoce významný lineární trend

## Diskuze

Z analyzovaných dat je zřejmé, že fenologická data vykazují velkou variabilitu v rámci jednotlivých roků. Roetzer et al. (2000) uvádí, že fenologické projevy rostlin jsou úzce spojeny se sezónními povětrnostními podmínkami, což může být i důvod pro velkou variabilitu fenologických dat na analyzované stanici. Rychlost vývoje plodin je dána především teplotou během vegetačního období s maximálním vývojem okolo optimálního teplotního rozmezí. Optimální teploty jsou odlišné mezi jednotlivými plodinami, ale i mezi vývojovými fázemi (Peñuelas et al., 2002; Porter a Gawith, 1999). V Německu byl prokázán

pozitivní vztah mezi vývojem rostlin a teplotou tzn. rostoucí teplota vzduchu způsobuje zkrácení fenologické fáze (Estrella et al., 2007; Siebert a Ewart, 2012). Zkrácení délky fenologické fáze bylo zjištěno i v této případové studii mezi fenologickými fázemi VZ a ME (v období 1991–2010). Při porovnání průměrných hodnot bylo zjištěno, že v období 1991–2010 došlo ke zkrácení intervalu mezi těmito fenologickými fázemi a to o 7 dnů.

Rostoucí teplota vzduchu je jedním z dopadů antropogenní změny klimatu, které v současnosti čelíme. Výzkumy uvádějí, že v období 1880–2012 došlo k oteplení vzduchu planety a to v průměru až o 0,85 °C (IPCC, 2013). Očekává se, že trend zvyšování teploty vzduchu, který můžeme v současnosti sledovat, bude i nadále pokračovat (Alexander et al., 2006; Paeth et al., 2015). Důsledkem zvyšující se teploty vzduchu dojde k posunu klimatických a pěstebních oblastí. Fenologická pozorování nám mohou pomoci s předpovědí, jakým způsobem mohou rostliny reagovat na teplejší ekologické podmínky (Chmielewski et al., 2013). Řada vědeckých prací také upozorňuje na fakt, že kvůli změně klimatu může docházet k prodloužení VO. Šiška a Takáč (2008) uvádějí, že do roku 2020 dojde k prodloužení VO o 21 dnů a do roku 2050 půjde dokonce o prodloužení VO o jeden měsíc. Trend v prodloužení VO byl nalezen i v rámci analyzovaných fenologických dat na stanici Poděbrady. Bylo zjištěno, že v období 1991–2010 dochází v průměru k prodloužení VO o 9 dnů podle roků 1931–1960. Dlouhodobé změny ve fenologii polních plodin ovšem nemusí být způsobeny pouze klimatickými změnami, ale mohou být také ovlivněny odrůdovými specifickými, dokonalejší zemědělskou technikou, hustotou výsevu, načasováním setí a sklizně, mikroklimatem dané lokality atd.

## **Závěr**

Fenologická pozorování jsou cenným zdrojem dat. V současnosti máme k dispozici dlouhodobé časové řady od roku 1923 (Nekovář a Rožnovský, 2006). Z analyzovaných dat bylo zjištěno, že jednotlivé roky vykazují velkou variabilitu. Při porovnání dvou dlouhodobých období (1931–1960 a 1991–2010) bylo zjištěno, že v období 1961–1990 došlo k prodloužení VO a to o 9 dnů a také došlo ke zkrácení intervalu mezi fenologickými fázemi VZ a ME. V rámci trendové analýzy bylo zjištěno, že na konci dekády 1991–2000 nastává fenologická fáze ME dříve a to o 8 dnů.

Fenologie jako samostatná vědní disciplína, může své výsledky využít v mnoha vědních oborech, které se zabývají životním prostředím např. v aplikované a krajinné ekologii (výskyt alergenů, v protierozní ochraně), v zemědělství (při závlahách, při aplikaci přípravků na



ochranu rostlin, ve výnosových modelech) a v neposlední řadě v klimatologii (při analýze změny klimatu).

## Literatura

ALEXANDER, L.V., X. ZHANG, T.C. PETERSON, J. CAESAR, B. GLEASON, A.M.G. KLEIN TANK, M. HAYLOCK, D. COLLINS, B. TREWIN, F. RAHIMZADEH, A. TAGIPOUR, K. RUPA KUMAR, J. REVADEKAR, G. GRIFFITHS, L. VINCENT, D.B. STEPHENSON, J. BURN, E. AGUILAR, M. BRUNET, M. TAYLOR, M. NEW, P. ZHAI, M. RUSTICUCCI and J.L. VAZQUEZ-AGUIRRE. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 2006, 111.

ESTRELLA, N. and A. MENZEL. Response of leaf colouring in four deciduous tree species to climate and weather in Germany. *Climate Research*, 32(3), 2006, pp. 253–267.

ESTRELLA, N., T.H. SPARKS and A. MENZEL. Trends and temperature response in the phenology of crops in Germany. *Global ganges biology*. 2007, 13(8), pp. 1737–1747.

CHMIELEWSKI, F.M., S. HEIDER, S. MORYSON and E. BRUNS. International Phenological Observation Networks: Concept of IPG and GPM. In: *Phenology: an integrative environmental science*. Dordrecht: Springer, 2013. ISBN 9789400769250.

CHUCHMA, F., H. STŘEDOVÁ, T. STŘEDA, J. ROŽNOVSKÝ a A. SVEJKOVSKÁ. *Aktualizace klimatických regionů v rámci systému bonitovaných půdně ekologických jednotek*. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2017.

IPCC. Summary for policymakers. In: *Climate change 2013: the Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, New York: Cambridge University press, United Kingdom and USA, 2013.

KOHUT, M., J. ROŽNOVSKÝ a G. KNOZOVÁ. Comparison of actual evaporation from water surface measured by GGI-3000 evaporimeter with values calculated by the Penman equation. *Contributions to Geophysics and Geodesy*. 2014, 44(3), pp. 231–240.

KRÉDL, Z., T. STŘEDA, R. POKORNÝ, M. KMOCH a J. BROTAN. Microclimate in the vertical profile of wheat, rape and maize canopies. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*. 2012, 60(1), pp. 79–90.

NEKOVÁŘ, Jiří a Jaroslav ROŽNOVSKÝ. Fenologická služba Českého hydrometeorologického ústavu. In: ROŽNOVSKÝ, Jaroslav, Tomáš LITSCHMANN a Ilja

VYSKOT eds. Fenologická odezva proměnlivosti podnebí. Sborník z mezinárodní vědeckého semináře Brno 22.3.2006. Brno: ©2006. ISBN 80-86690-35-0.

PEATH, H., M. MÜLLER and B. MANNING. Global versus local effects on climate change in Asia. *Climate Dynamics*. 2015, 45, pp. 2151–2164.

PEÑUELAS, J., I. FILELLA and P. COMAS. Changed plant and animal life cycles from 1952 to 2000 in the Mediterranean region. *Global changes biology*. 2002, 8, pp. 531–544.

PORTER, J.R. and M. GAWITH. Temperatures and the growth and development of wheat: a review. *European Journal of Agronomy*. 1999, 10, pp. 23–36.

ROETZER, T., M. WITTENZELLER, H. HAECKEL and J. NEKOVÁŘ. Phenology in central Europe-differences and trends of spring phenophases in urban and rural areas. *International Journal of Biometeorology*, 2000, 44(2), p. 60–66.

SIEBERT, S. and F. EWERT. Spatio-temporal patterns of phenological development in Germany in relation to temperature and day length. *Agricultural and Forest Meteorology*. 2012, 152, pp. 44–57.

SOBÍŠEK, B. Meteorologický slovník výkladový terminologický. Praha: Academia, 1993. ISBN 80-85368-45-5.

STEHNOVÁ, E. a H. STŘEDOVÁ. Fenologie řepy cukrové v kontextu rizika vodní eroze. *Listy cukrovarnické a řepařské: odborný časopis pro obor cukrovka-cukr-líh*. 2016, 132(12), s. 380–386. ISSN 1210-3306.

STEHNOVÁ, E., H. STŘEDOVÁ a T. STŘEDA. Determination of the Time of Occurrence of Selected Allergens with Using Long-Term Phenological Series. In: *Public recreation and landscape protection – with nature hand in hand!* Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2018, pp. 103–108.

STEHNOVÁ, E., H. STŘEDOVÁ, J. ROŽNOVSKÝ a T. STŘEDA. Phenological observations and their possible use within the monitoring allergens. In: *Public recreation and landscape protection – with nature hand in hand*. Brno: Mendel University in Brno, 2017, pp. 241–248.

STŘEDA, T., O. VAHALA a H. STŘEDOVÁ. Prediction of adult western corn rootworm (*Diabrotica virgifera virgifera* Le Conte) emergence. *Plant Protection Science*. 2013, 49, pp. 89–97.

SVAČINA, P., T. STŘEDA a O. CHLOUPEK. Uncommon selection by root system size increases barley yield. *Agronomy for Sustainable Development*. 2014, 32(2), pp. 545–551.

ŠIŠKA, B. a J. TAKÁČ. Klimatická změna a polnohospodárstvo Slovenskej republiky: dosledky, adaptačné opatreni a možné riešenia. Bratislava: Slovenská bioklimatologická spoločnosť, 2008.

ŠKVARENINA, J., J. TOMLAIN, J. HRVOL, J. ŠKVARENINOVÁ a P. NEJEDLIK. Progress in dryness and wetness parameters in altitudinal vegetation stages of West Carpathians: Time-series analysis 1951–2007. *Időjárás*. 2009, 113, pp. 47–54.

VALTER, J. Metodický předpis č. 2 – Návod pro činnost fenologických stanic. Plní plodiny. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 1982.

### **Poděkování**

Tato práce vznikla za podpory projektu Ministerstva zemědělství České republiky QJ1530181 „Stanovení aktuálních hodnot ochranného účinku vegetace za účelem kvantifikace a zefektivnění protierozní ochrany zemědělské půdy v České republice“ a projektu č. 8.1.6 kategorie B Mendelovy univerzity „Inovace předmětu „Ekosystémové služby“ a jeho propojení s experty“.

### **Kontakt:**

Ing. Eva Stehnová

Mendelova univerzita v Brně

Zemědělská 1, Brno 602 00

545 135 478, [eva.stehnova@mendelu.cz](mailto:eva.stehnova@mendelu.cz)