

## **PhenoCam: Nová metoda pro detekování fenologických fází ve smrkové monokultuře na stanici Rájec, Dražanská vrchovina**

PhenoCam: A new method for detecting of phenological stages in the spruce stand at the Rájec, the Dražany highland

*Ondřej Nezval<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup> *Mendelova univerzita v Brně, Fakulta lesnická a dřevařská, Ústav ekologie lesa, Zemědělská 3, 613 00 Brno, Česká republika*

<sup>2</sup> *Ústav výzkumu globální změny Akademie věd České republiky, Bělidla 4a, 603 00 Brno, Česká republika*

### **Abstrakt**

Fenologická pozorování se vlivem globálních změn klimatu dostávají stále více do popředí. Fenokamera se v současné době stala moderní metodou pro kontinuální monitoring porostu v širším prostorovém měřítku. Na ekosystémové stanici Rájec byly v letech 2016-2018 instalovány fenokamery za účelem detekování fenologických projevů starého a mladého smrkového porostu. Ke stanovení sezónních trajektorií indexu zelené (Gcc) a prahových hodnot (fenofází) byla použita Klostermanova metoda. Byl zjištěn rozdíl v trajektoriích a intenzitě Gcc mezi starým a mladým porostem. Maximálních hodnot Gcc bylo dosaženo ve všech letech po 149. dnu s maximální hodnotou zelené barvy 0,44 až 0,46 %. Ve všech letech byly úspěšně stanoveny všechny fenofáze, s nejvyšší mírou variability u greenup (průměrně 152 dnů) a s nejnižší variabilitou u senescence (průměrně 12 dnů). Obecně byla sezónní trajektorie závislá na obrazové kvalitě a počtu snímků během roku.

**Klíčová slova:** Phenopix, fenokamera, RGB kanály, smrk ztepilý, prahové hodnoty

### **Abstract**

The interest of phenological observations significantly increased due to phenological shifts connected to climate change. Phenocamera has now become a modern method for continuous monitoring of vegetation in wider spatial scale. Phenocameras were installed on the ecosystem station Rájec in years 2016-2018 to detect phenological changes in old and young spruce stands. To determine the seasonal trajectories of the green indices (Gcc) and to establish the threshold values (phenophases) the Klosterman method was applied. There was a difference in both trajectories and intensity of the green signal comparing old and young spruce stands. The highest Gcc values were observed in all three years after DOY 149 reached up to

0.44 – 0.46 %. In all years all phenophases were successfully established. The highest variability was calculated for greenup (152 days) and the lowest variability was detected for senescence (12 days). Generally, the seasonal trajectory was dependent on the image quality and total number of used pictures for particular year.

**Keywords:** Phenopix, phenocam, RGB channels, Norway spruce, thresholds

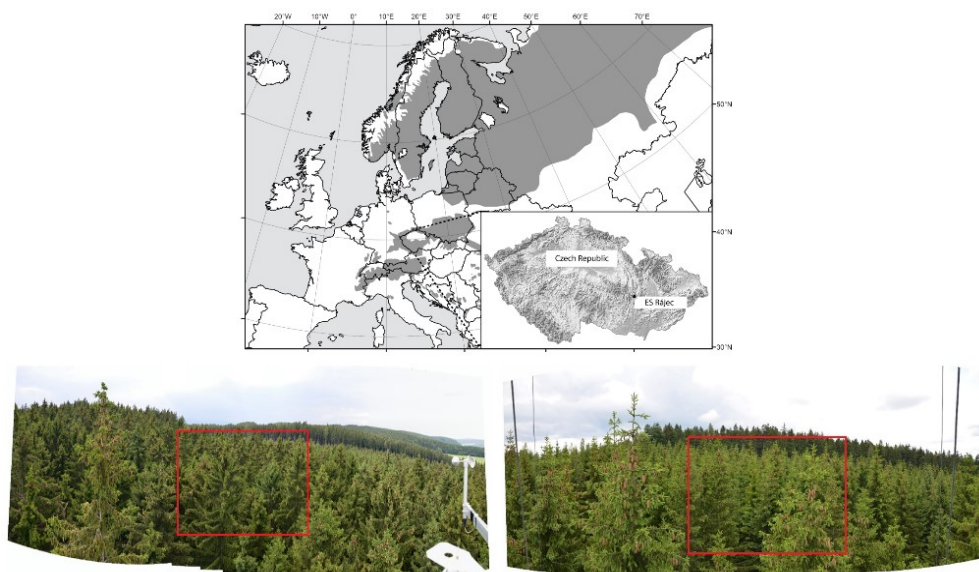
## Úvod

Globální změna klimatu je v současné době jednou z nejvíce diskutovaných otázek životního prostředí (Urban a kol., 2001). Období 2011 až 2015 bylo vůbec nejteplejší periodou na Zemi v historii měření (WMO, 2015). Fenologie je vědní disciplína, která se zabývá studiem časového průběhu periodicky se opakujících životních projevů tzv. fenologických fází rostlin a živočichů v závislosti na podmínkách vnějšího prostředí. Fenologická fáze (fenofáze) je určitý zevně dobře rozpoznatelný, zpravidla každoročně se opakující, projev vývinu nadzemních orgánů sledovaných druhů rostlin (Hájková a kol., 2012). Podle poslední zprávy IPCC je fenologie považována za relativně jednoduchý, a přitom velmi spolehlivý nástroj, kterým je možné dokazovat změny ve vývoji rostlin a živočichů v závislosti na vývoji klimatu (Rosenzweig a kol., 2008). Lesnická fenologie má v České republice dlouholetou tradici a s očekávanými klimatickými změnami nabývá stále více na významu, jelikož fenologická pozorování mohou být důležitými indikátory globálního oteplování (Menzel a kol., 2006). V současnosti probíhají změny klimatu, které mohou silně ovlivnit trendy fenologických událostí (Walther a kol., 2002). Mnohé studie poskytují důkazy o posunu nástupu jarních i podzimních fenofází (Menzel a kol., 2006, Bednářová a Kučera, 2002). Vysoké teploty na jaře mohou způsobit časnější růst s vyšším možným rizikem vlivu pozdních mrazů, a naopak teplé zimy mohou snížit stimul dormance, který je nezbytný pro překonání období klidu, a tak urychlit rašení pupenů. Mnoho studií rovněž potvrzuje vliv zvyšující se koncentrace CO<sub>2</sub> nebo depozice dusíku na fenologické odezvy. V poslední době se sledování fenologických fází automatizuje pomocí fenologických kamer (Ide a Oguma, 2010). Fenokamera je fotoaparát staticky umístěný nad studovaným porostem pořizující snímky v pravidelném nastaveném intervalu. Výhodou používání fenokamer je přesné zachycení data a času každého snímku, tudíž nedochází k záměně fenofází, a lze zachytit i anomálie (poškození rostlin mrazem nebo suchem, druhé kvetení), (Možný a kol., 2007). Výhodou použití fenologických kamer je také pozorování ve větším měřítku na rozdíl od klasického pozorování omezeného počtu jedinců (White a Nemani, 2006; Reiko a Hiroyuki, 2010). Tato práce se zabývá obrazovou analýzou fenologických snímků dospělé a mladé smrkové monokultury na

ekosystémové stanici Rájec. Cílem bylo srovnání sezónních trajektorií indexu zelené (Gcc) v obou typech porostů, porovnání rozdílů při detekci prahových hodnot (fenofází) dle metody Klosterman a kol. (2014) podle jednotlivých RGB kanálů.

## Materiál a metody

Digitální fenologická pozorování smrku ztepilého (*Picea abies* [L.] H. Karst.) a mikroklimatická měření byla realizována během tří vegetačních sezón 2016-2018 na ekosystémové stanici (ES) Rájec (Drahanská vrchovina), Česká republika. Lokalita se nachází v nadmořské výšce 625 m n. m. a je určena souřadnicemi 49° 26' 37 " s. š., 16° 41' 47" v. d. Plocha je rozdělena na dospělý (114-116 let) a mladý smrkový porost (40 let), viz obr. 1. Půdním typem je modální kambizem oligotrofní (Hruška, 1980). Dle Quitta (1971) lokalita spadá do mírně teplé oblasti MT3 s průměrnou roční teplotou vzduchu  $7,1\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1,2\text{ }^{\circ}\text{C}$  (1998-2014) a průměrným ročním úhrnem srážek  $673\text{ mm} \pm 144\text{ mm}$  (1998-2014). Průměrná délka vegetační sezóny je 170-180 dní.



**Obr. 1.** Nahoře: areál výskytu smrku ztepilého v Evropě s polohou ES Rájec, vlevo dole: dospělý smrkový porost, vpravo dole: mladý smrkový porost s analyzovanou zájmovou oblastí (ROI).

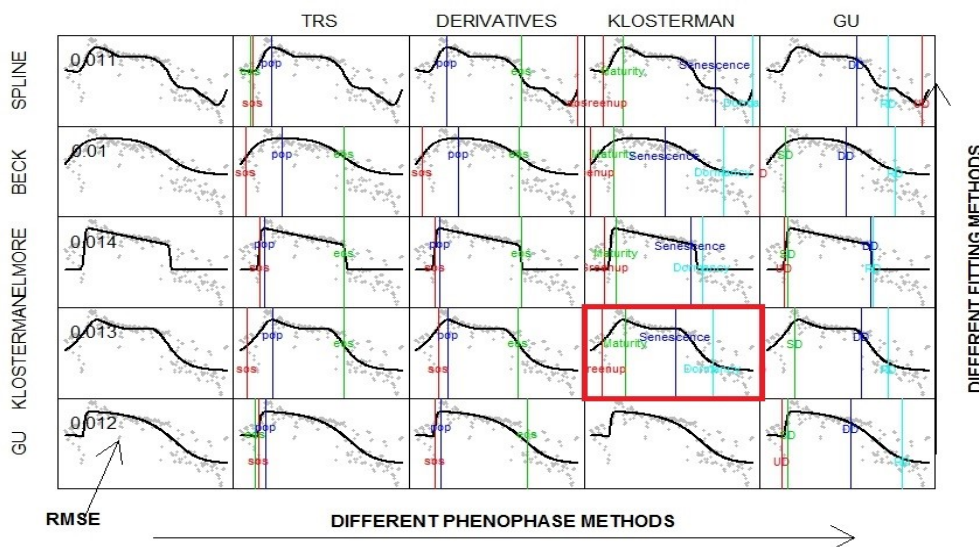
Z meteorologických charakteristik byly vypočteny součtové řady průměrných denních teplot vzduchu a měsíční úhrn srážek. Snímání porostu bylo prováděno automaticky fenokamerami PhenoCam EMS 800 (EMS Brno, Česká republika) které byly umístěny na vrcholu meteorologických věží v obou porostech s orientací na sever (obr. 2). Nastavení bylo provedeno dle ICOS protokolu (ICOS, 2015): fixní nastavení vyvážení bílé, automatická expozice, 3.3× optický zoom, rozlišení 10 megapixelů a 14 GB paměťovou kartou. Snímkování porostu bylo nastaveno každou hodinu v intervalu 7:00 až 17:00 hodin během

celé vegetační sezóny a snímky se ukládaly ve formátu JPEG s maximálním rozlišením 3648 × 2736 pixelů.



**Obr. 2.** Fenokamera EMS 800 (EMS Brno, Česká republika) s referenčním snímek mladého smrkového porostu.

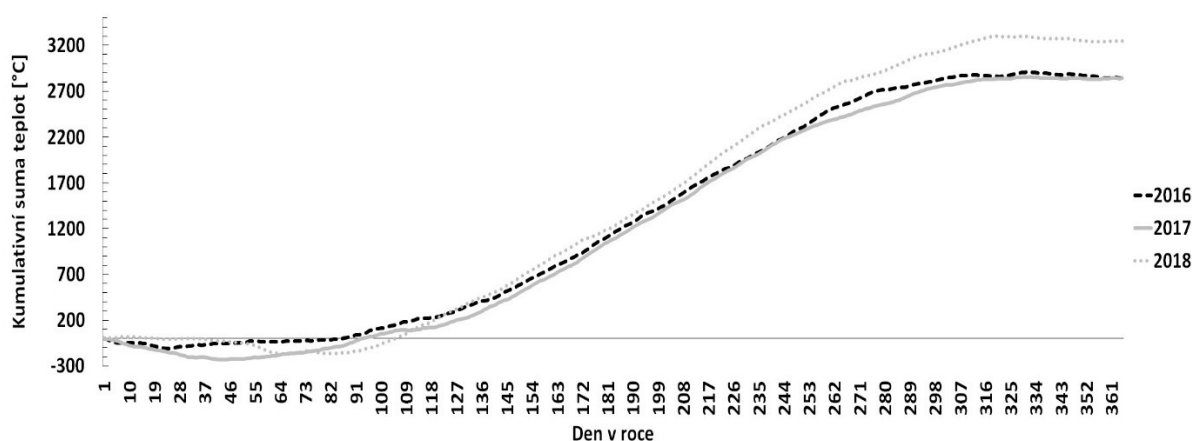
Pro obrazové analýzy byl použit statistický program R (R Core Team R., 2015) s balíčkem Phenopix (Filippa et al., 2016). Databáze snímků byla rozříděna a sestavena dle metadat z EXIF uložených v každém snímku. Byl vytvořen zájmový region (ROI) pro výslednou analýzu obrazu, ze kterého byly vyextrahovány vegetační indexy (VI) s hodnotami intenzity barevných RGB kanálů. Z 20 možných kombinací pro stanovení sezónní trajektorie indexu zelené (Gcc) a fenofází byla vybrána metoda Klosterman a kol. (2014), která definuje čtyři prahové hodnoty (fenofáze): greenup, maturity, senescence a dormancy (obr. 3). Tyto prahové hodnoty jsou založeny na lokálních extrémních hodnot Gcc a intenzitě zakřivení sezónního průběhu Gcc (Kline, 1998).



**Obr. 3.** Kombinace metod pro stanovení fenofází dle Phenopix aplikované na dospělém smrkovém porostu během vegetační sezóny 2017. Řada znázorňuje shodnou metodu stanovení sezónní trajektorie Gcc, sloupec znázorňuje rozdílné metody stanovení prahových hodnot (fenofází)

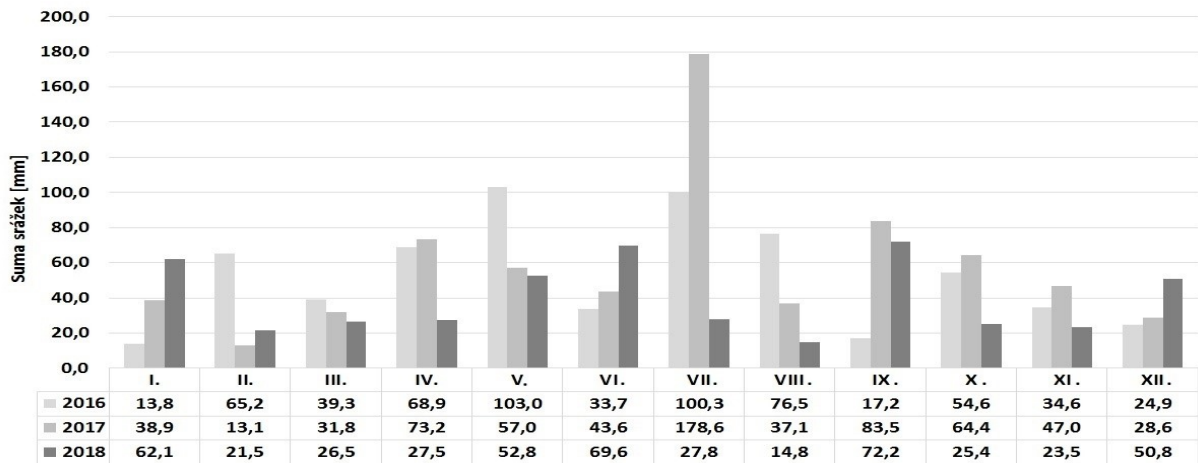
## Výsledky

Průměrná roční teplota vzduchu v dospělém smrkovém porostu byla v prvních dvou letech shodně 7,8 °C (+0,2 °C vzhledem k průměru 2007-2017) zatímco v roce 2018 byla roční teplota vzduchu 8,9 °C, což je mimořádně nadprůměrná hodnota (+1,3 °C vzhledem k průměru 2007-2017). V mladém smrkovém porostu byla teplota vzduchu průměrně o 0,2 °C nižší. Součtové řady průměrných denních teplot vzduchu v letech 2016-2018 znázorňují chod denních teplot v průběhu celého roku (obr. 4). V roce 2016 bylo zejména jarní období teplejší s kladnými hodnotami od 86. dne, zatímco v roce 2017 od 94. dne. V obou letech se v polovině dubna výrazně ochladilo, avšak výrazněji v roce 2017. V roce 2018 započala součtová řada denních průměrů teplot kladně již od počátku roku, s ochlazením v polovině března. Následující část roku byla výrazně teplejší než předchozí roky.



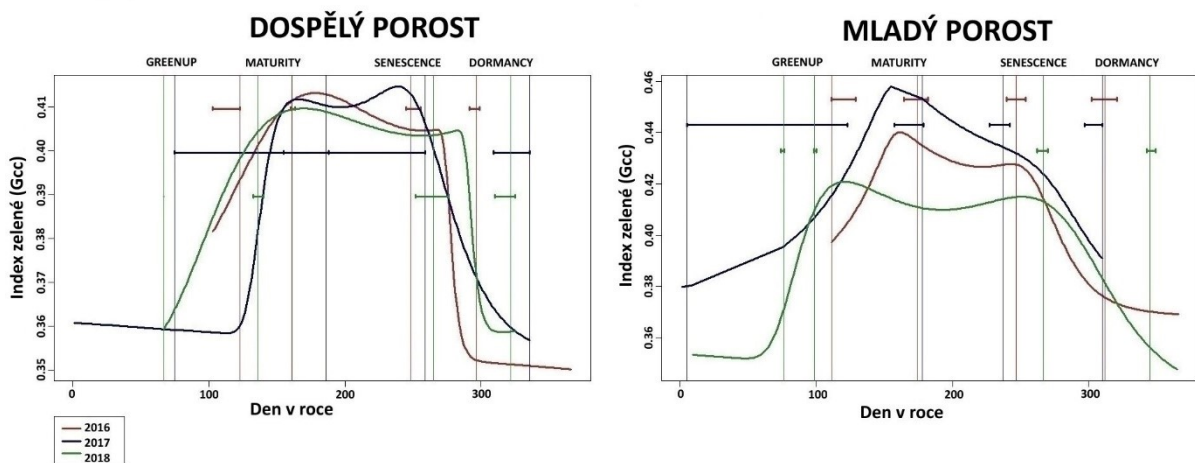
Obr. 4. Součtové řady průměrných denních teplot vzduchu na ES Rájec v letech 2016-2018.

Roční úhrn srážek byl ve všech letech v obou porostech stejný: 604 mm v r. 2016 (97 % průměrné roční sumy), 697 mm v r. 2017 (112 %) a 474 mm v r. 2018 (76,1 %). Srážková extremita byla registrována v roce 2016, kdy maximální 24hodinový úhrn srážek byl 15 % celkové roční sumy (29. 5.). Srážky v roce 2018 byly vyjma ledna, května a prosince mimořádně podprůměrné (obr. 5).



Obr. 5. Měsíční úhrny srážek na ES Rájec v letech 2016-2018.

Byly zaznamenány rozdílné hodnoty signálu Gcc a sezónních trajektorií mezi dospělým a mladým smrkovým porostem (obr. 6). Signál Gcc ze snímků byl výrazně vyšší u mladého porostu než v dospělém smrkovém porostu. Průměrná hodnota Gcc narůstala od 123. dne u obou porostů stejně rychle. Zatímco mladý porost dosahoval průměrné relativní hodnoty signálu Gcc 38,9 %, dospělý porost 36,4 %. Tento podíl zelené barvy ve snímcích se zvyšoval až do začátku června a svého maxima dosáhl v rozmezí 148.-163. dne v roce. Maximální hodnoty Gcc 0,44 % bylo v roce 2016 dosaženo 152. den (dospělý porost) resp. 0,45 % dne 158. (mladý porost). V roce 2017 byla maximální hodnota Gcc 0,44 % zaznamenána 150. den (dospělý porost), 0,46 % 149. den (mladý porost). Maximum v roce 2018 v dospělém porostu dosáhlo hodnoty 0,41 % ve 163. den, a v mladém porostu 0,43 % 104. den. Od 290. dne se signál Gcc vrátil na výchozí hodnotu, jaká byla před začátkem fenofáze greenup.



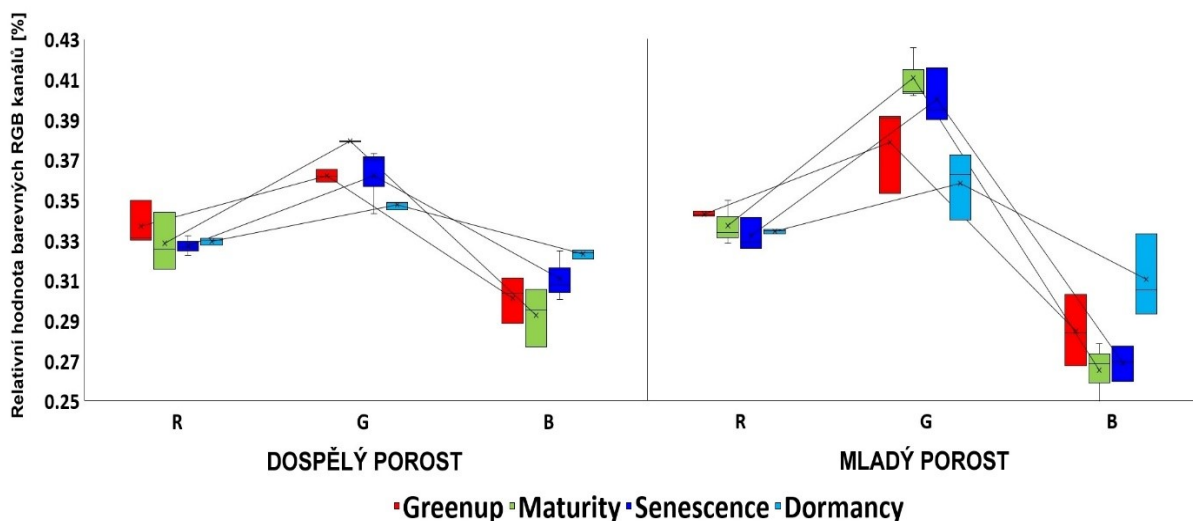
Obr. 6. Sezónní trajektorie indexu zelené (Gcc) a extrahovaných fenofází s odhadem nejistoty (100 opakování) dle metody Klosterman a kol. (2014) dospělého a mladého smrkového porostu. Svislé čáry: stanovené prahové hodnoty (greenup-dormancy), vodorovné čáry: míra nejistoty definované fenofáze

Stanovení prahových hodnot (fenofází) se v průběhu pozorovaných let výrazně lišily u obou porostů a pouze některé fenofáze byly stanoveny přesně v jeden den v roce (tab. 1, obr. 6). V roce 2016 vykazovaly všechny fenofáze nízkou míru variability modelových hodnot s průměrným rozsahem 13,1 dne. V roce 2017 byl tento interval průměrně 49,0 dne a v roce 2018 průměrně 9,6 dne. Nejvyšší míra nejistoty byla stanovena pro fenofázi greenup s průměrnou variabilitou 152 dnů. Naopak fenofáze senescence vykazovala nejnižší míru variability 12 dnů.

**Tab. 1** Časová variabilita stanovených fenofází v dospělém a mladém smrkovém porostu v letech 2016-2018 na ES Rájec.

Porost   rok	Fenofáze (dny v roce)				
	Greenup	Maturity	Senescence	Dormancy	
Dospělý	2016	103.-123.	160.-163.	246.-252.	294.-299.
	2017	75.-187.	155.-259.	259.	310.-336.
	2018	67.	132.-140.	255.-276.	310.-325.
Mladý	2016	111.-129.	165.-182.	236.-253.	302.-321.
	2017	123.	178.	227.-242.	295.-310.
	2018	74.-76.	98.-100.	257.-270.	343.-353.

Hodnoty jednotlivých RGB kanálů byly v průběhu všech fenofází velmi variabilní. Rozdíly v relativních hodnotách mezi dospělým a mladým smrkovým porostem jsou patrné z obr. 7. Zatímco podíl červené se od fenofáze greenup po senescenci snižoval, v případě zelené barvy byl výrazný nárůst do fenofáze maturity, což odpovídá období rašení nových smrkových výhonů s jasně zelenou barvou. V této fenofázi byl podíl zelené ve snímcích jednoznačně nejvyšší. Modrý kanál vykazoval inverzní trend vzhledem k zelenému signálu, s rostoucí hodnotou zelené barvy se úměrně snižoval podíl modré barvy.



**Obr. 7.** Relativní hodnota barevných RGB kanálů v průběhu fenofází (greenup-dormancy) v letech 2016-2018.

## Diskuze

V současné době je autonomní digitální snímkování porostu ve světě trendem a vznikla celá řada sítí fenologického pozorování jako např. PhenoCam Network (Richardson a kol., 2012), the National Ecological Observatory Network (Kampe a kol., 2010) nebo evropská síť ICOS (Wingate et al. 2015). Z hlediska náročnosti se fenokamera jeví jako jednodušší řešení, které má mnoho výhod: nelze zaměnit jednotlivé fenofáze dle jednoznačného data pořízení, lze zachytit různé anomálie jako poškození mrazem, sněhovou pokrývkou, suchem nebo druhé kvetení (Richardson a kol., 2007; Soudani a kol., 2012). Přes všechny tyto výhody je klasická pozemní fenologie nezastupitelná a pomáhá zpřesňovat modelové hodnoty vypočtené pomocí fenologických snímků (Yang a kol., 2014). Baliček Phenopix je široce užívaný statistický nástroj pro analýzu detekce sezónních změn ve vegetačním pokryvu (Filippa a kol., 2016). Přestože je tato metoda nenáročná na obrazovou kvalitu, jedním z předpokladů přesného stanovení sezónní trajektorie Gcc a prahových hodnot (fenofází) je nezbytná kvalitní sada snímků v průběhu celé sezóny. Tyto prahové hodnoty jsou založeny na lokálních extrémech a intenzitě zakřivení sezónního průběhu Gcc (Kline, 1998).

Dalším z důležitých předpokladů pro správné nařizování všech fenofází je instalace kamer v dostatečném předstihu před začátkem sezóny s minimální odrazivostí Gcc (do 0,35 %). V ideálním případě je vhodné mít záznam snímků za celý rok. Jako optimální množství se ukázalo 5-8 kvalitních snímků v odpoledních hodinách, kdy je lepší saturace barev, než v poledne. Alberton a kol. (2014) uvádí 3-5 snímků v optimálním časovém rozmezí 10:00 až 14:00 hodin. Z předběžných analýz se ukázala jako nejvhodnější metoda Klosterman a kol. (2014), která definuje během vegetační sezóny čtyři fenofáze: greenup, maturity, senescenci a dormancy. Tato metoda relativně spolehlivě detekuje periodicky se opakující sezónní projevy vegetace. V případě listnatých porostů je modelace prahových hodnot ještě spolehlivější. Signál Gcc je odvislý od množství zelené barvy v porostu. Předchozí analýzy ukázaly, že výběr různých ROI oblastí nemá na výsledné analýzy zásadní vliv. Také není nezbytné, aby celá výběrová oblast byla homogenní, nebo s minimální plochou nad horizontem jak uvádí např. (ICOS, 2015, Linkosalmi a kol., 2016). Pouze velké množství tmavých nebo světlých míst na snímku může ovlivnit míru nejistoty pro stanovené fenofáze. Hodnoty RGB kanálů a celková sezónní trajektorie indexu zelené je také silně závislá na klimatických podmínkách. Bylo zjištěno, že během fenofáze maturity, kdy je očekáván vysoký podíl zelené v obraze, byl tento podíl významně snížen vlivem špatných klimatických podmínek (mlhy) nebo zatažené oblohy, kdy narostl signál modrého kanálu, a zelená barva byla utlumena.



## Závěr

Na ES Rájec bylo v letech 2016-2018 prováděno snímání dospělého a mladého smrkového porostu pomocí automatických fenokamer. Současně byly sledovány základní meteorologické charakteristiky. Teplotní a srážkový režim byl v letech 2016-2018 variabilní. Zejména rok 2018 byl teplotně velmi nadprůměrný a srážkově mimořádně podprůměrný. Součtové řady průměrných denních teplot vzduchu vykazovaly v letech 2016-2017 obdobný trend, zatímco rok 2018 vykazoval nejvyšší sumu teplot. Klostermanova metoda je jednou z vhodných metod pro detekování fenologických fází, nicméně kvalita snímků, klimatické podmínky a počet sad snímků během roku výrazně ovlivňují výslednou trajektorii Gcc. Zelená barva byla více detekována v mladém porostu s maximální hodnotou 0,46 % v roce 2017 (149. den), než v dospělém porostu 0,44 % v roce 2016 (152. den). Nejnížší míra nejistoty stanovení fenofáze byla zjištěna u senescence s meziroční variabilitou 12 dnů. Naopak fenofáze greenup vykazovala vysokou míru meziroční variability 152 dnů.

## Literatura

Alberton, B., Torres, R., Cancian, L., Borges, B., Almeida, J., Mariano, G. 2014: Using phenological cameras to track the green up in a cerrado savanna and its on-the-ground validation. *Ecological Informatics*, 19, pp. 62-70

Bednářová, E., Kučera, J., 2002: Phenological observations of two spruce stands (*Picea abies*/L./ Karst.) of different age in the years 1991-2000. *Ekológia*, 21(1):98–106.

Brown, T. B., et al. 2016: Using phenocams to monitor our changing Earth: toward a global phenocam network. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 14:84–93.

Fenner, M. 1998: The phenology of growth and reproduction in plants. *Perspectives in Plant Ecology Evolution and Systematics*, 1:78–91.

Filippa, G., Cremonese, E., Galvagno, M., Migliavacca, M., Cella, U. M, Petey, M., Richardson, A. D., 2016: Phenopix: A R package for image-based vegetation phenology. *Agricultural and Forest Meteorology*, 220:141–150.

Filippa, G., E. Cremonese, Galvagno, M., Migliavacca, M., Cella, U. M, Petey, M., et al. 2015: Five years of phenological monitoring in a Mountain grassland: inter-annual patterns and evaluation of the sampling protocol. *International Journal of Biometeorology*, 59:1927–1937.

Hájková, L., Voženílek, V., Tolasz, R. a kol. 2012. Atlas fenologických poměrů Česka. Praha, Nakladatelství ČHMÚ, 320 s.

Hruška, B., 1980: Geologicko-petrografické poměry, zvětrávací procesy, uvolňování živin a klasifikace zvětrávacích procesů v ekosystému smrkového lesa. Závěrečná výzkumná zpráva. VŠZ Brno, s. 229.–243.

ICOS PROTOCOL, Phenocamera: automated phenology monitoring, ICOS Ecosystem Thematic Centre, Helsinki, Finland, 2015. Accessed on: Feb. 20, 2015. [Online] Available: [http://european-webcam-network.net/data/ICOS\\_Phenocamera\\_WG\\_Protocol\\_final.pdf](http://european-webcam-network.net/data/ICOS_Phenocamera_WG_Protocol_final.pdf)

Ide, R., Oguma, H., 2010: Use of digital cameras for phenological observations. *Ecological Informatics*, 5:339–347.

Kampe, T. U., Johnson, B., Kuester, M., Keller, M. 2010: NEON: The first continental-scale ecological observatory with airborne remote sensing of vegetation canopy biochemistry and structure. *Journal of Applied Remote Sensing*, 4:1–19.

Kline, M., 1998. Calculus: An Intuitive and Physical Approach (Second Edition) (GoogleBook). Dover Publications, <http://books.google.com/books?id=tZy8AQAAQBAJ&pgis=1>.

Klosterman, S. T., Hufkens, K., Gray, J. M., Melaas, E., Sonnentag, O., Lavine, I., Mitchell, L., Norman, R., 2014: Evaluating remote sensing of deciduous forest phenology at multiple spatial scales using PhenoCam imagery. *Biogeosciences*, 11:4305–4320.

Linkosalmi, M., Aurela, M., Tuovinen, J., Peltoniemi, M., Tanis, M., Arslan, A. N., Kolari, P., Aalto, T., Rainne, J. 2016: Digital photography for assessing vegetation phenology in two contrasting northern ecosystems. *Geoscientific Instrumentation, Methods and Data Systems*, 5:417–426.

Menzel, A., Sparks, T., Estrella, N. 2006: European phenological response to climate change matches the warming pattern. *Global Change Biology*, 12(10):1969–1976.

Možný, M., Nekovář, J., Hájek, D., Stalmacher, J., Bareš, D. 2007: Monitoring fenologických fází digitální kamerou v IPG Doksany. Příspěvek na konferenci „Klima lesa“, Křtiny 11. –12. 4. 2007.

Penuelas, J. 2009: Phenology Feedbacks in Climate Change. *Science*, 324:887–8.

Quitt, E., (1971): Klimatické oblasti Československa. Academia, Studia Geographica 16, GÚ ČSAV v Brně, 73 s.

R Development Core Team (2015) R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna.

Richardson, A., Jenkins, J., Braswell, B., Hollinger, D., Ollinger, S., Smith, M. L. 2007: Use of digital webcam images to track spring green-up in a deciduous broadleaf forest. *Oecologia*, 152, pp. 323-334.

Richardson, A. D., R., 2012: Terrestrial biosphere models need better representation of vegetation phenology: results from the North American Carbon Program Site Synthesis. *Global Change Biology*, 18:566–584.

Rosenzweig, C., Karoly, D., Vicarelli, M., Neofotis, P., Wu, Q., Casassa, G., Menzel, A., Root, T. L., Estrella, N., Seguin, B., Tryjanowski, P., Liu, Ch., Rawlins, S., Imeson, A., 2008: Attributing physical and biological impacts to anthropogenic climate change. *Nature*, 453:353–357.

Soudani, K., Hmimina, V., Delpierre, N., Pontauiller, J.Y., Aubinet, M., Bonal, D., Caquet, B.A., Burban, B., Flechard, C., Guyon, D., Granier, A., Gross, D., Heinesh, P., 2012: Ground-based Network of NDVI measurements for tracking temporal dynamics of canopy structure and vegetation phenology in different biomes. *Remote Sensing of Environment*, 123:234–245.

Urban, O., Janouš, D., Pokorný, R., 2001: Glass domes with adjustable windows: A novel technique for exposing juvenile forest stands to elevated CO<sub>2</sub> concentration. *Photosynthetica*, 9(3):95–401.

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

White, M. A., Nemani, R., 2006: Real-time monitoring and short-term forecasting of land surface phenology. *Remote Sensing of Environment*, 104(1):43–49.

Wingate, L., Ogeé, J., Cremonese, E., Filippa, G., Mizunuma, T., Migliavacca, M., Moisy, C., Wilkinson, M., Moureaux, C., Wohlfahrt, G., Hammerle, A., 2015: Interpreting canopy development and physiology using a European phenology camera network at flux sites. *Biogeosciences*, 12:5995–6015.

WMO, 2015 is hottest year on recort. Published: Jan 25, 2016. [Online] Available: <https://public.wmo.int/en/media/press-release/2015-hottest-year-record>

Yang, F., Zhang, H., Dong, W., Yuan, W. 2014: Comparison of Phenology Models for Predicting the Onset of Growing Season over the Northern Hemisphere. *PLOS one*, 9(10):1–12.

## **Poděkování**

Tento projekt byl podpořen Interní grantovou agenturou (IGA) Lesnické a dřevařské fakulty Mendelovy univerzity v Brně, číslo projektu LDF\_VP\_2017048

**Kontakt:**

Mgr. Ondřej Nezval

Ústav ekologie lesa

Mendelova univerzita v Brně, Fakulta lesnická a dřevařská, Ústav ekologie lesa, Zemědělská 3, 613 00 Brno, Česká republika

onezval@seznam.cz

(+420) 737 831 538