

Výkyvy počasí, dynamika klimatu a lesní společenstva

Weather fluctuations, climate dynamics and forest communities

Karel Matějka

IDS, Na Komořsku 2175/2a, 143 00 Praha 4

matejka@infodatasys.cz

Abstract

The aim of this paper is to give an overview of how the climate in the Czech Republic is changing based on the analysis of some data, especially to quantify the changes in average temperatures (average increase was about 0.3-0.6 °C per 10 years) and precipitation totals (no regular changes). Based on the analysis of literature, it is presented how these changes affect forest ecosystems.

Keywords: climate change, disturbance, drought, forest altitudinal zone, *Ips typographus*, precipitation, temperature

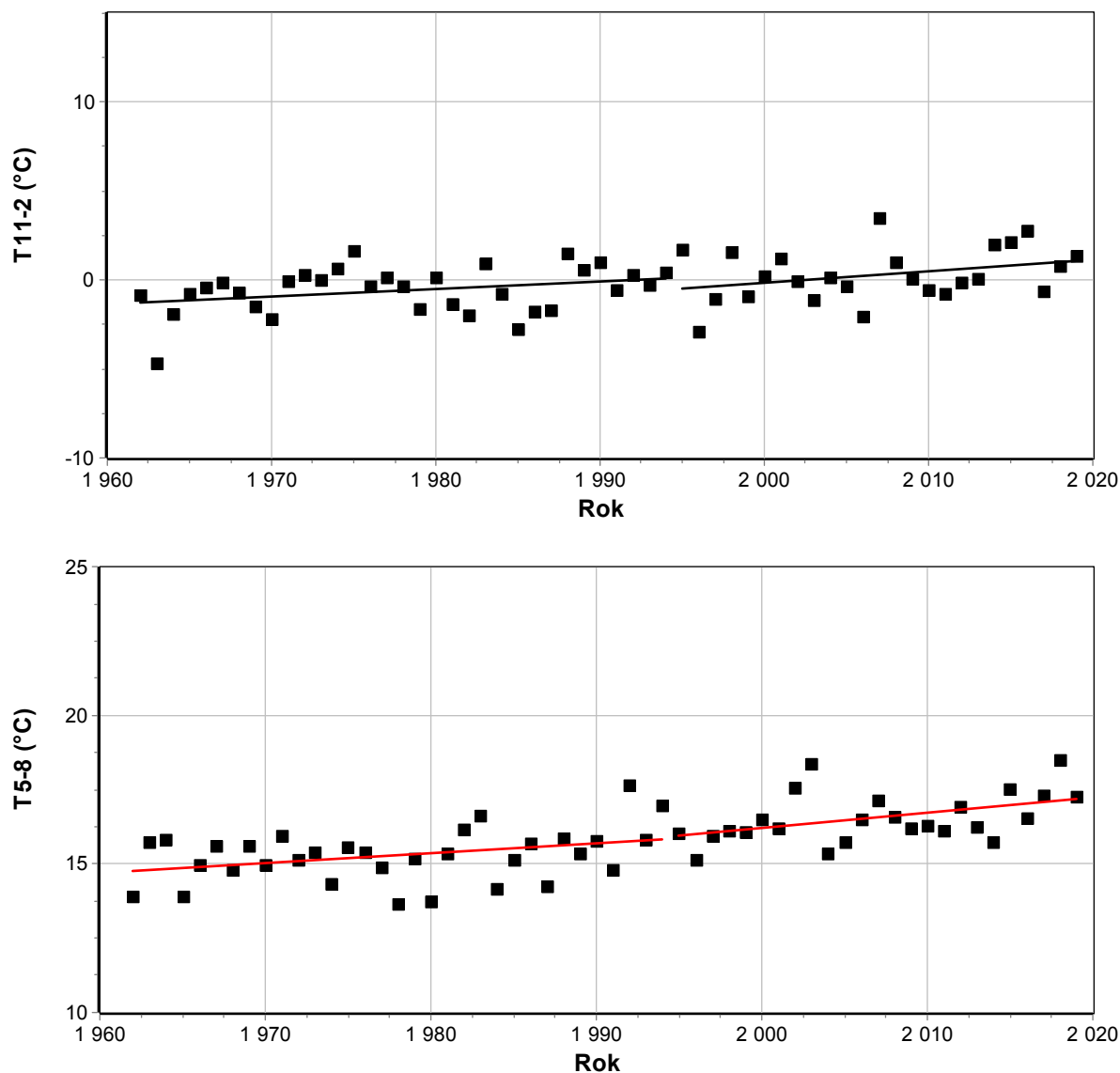
Úvod

Cílem tohoto příspěvku je podat na základě analýzy některých dat přehled o tom, jak se mění klima v České republice, především souhrnně kvantifikovat změny průměrných teplot a úhrnů srážek. Protože se jedná o rozsáhlé téma, je čtenář nasměrován na další informační zdroje. Na podkladě rozboru literatury doplněného o vlastní sledování je představeno, jak tyto změny ovlivňují lesní ekosystémy.

Klima od globálního k lokálnímu

Klima představující dlouhodobý stav ovzduší, případně počasí jako jeho okamžitý stav, představují jeden z nejdůležitějších environmentálních faktorů, který je důležitý jak pro popis okamžitého stavu ekosystémů, jejich geografické distribuce a druhového složení (např. FRANKLIN 2009), tak pro pochopení dynamiky ekosystémů a jejich složek. Stále zřetelněji se ukazuje, že charakteristiky klimatu podléhají čím dál výraznějším změnám. Je sice pravdou, že klima se měnilo v minulosti vždy, nikdy se nejednalo o stabilní prvek (viz například střídání glaciálů a interglaciálů), ale vzhledem ke krátké době moderních dějin lidstva se mohlo doposud zdát, že klima bylo více-méně stálé. Dlouhodobé analýzy pro období v řádu staletí ukazují existenci podstatných výkyvů jednotlivých klimatologických charakteristik (např. BRÁZDIL ET AL. 2010, DOBROVOLNÝ ET AL. 2010, GLASER ET AL. 2010, BÜNTGEN ET AL. 2010, BRÁZDIL ET AL. 2018). Poté, co se ukázalo, že v posledních desetiletích se klima celosvětově mění čím dál tím rychleji, objevilo se dnes "módní" označení klimatická změna, účelem jehož zavedení má být upozornit na skutečnost relativně zrychlené dynamiky klimatu a na to, že tato dynamika může mít dosud nedozírné důsledky i v životě lidské společnosti. Proto byl roku 1989 založen Mezinárodní panel ke klimatické změně - IPCC, výsledkem jehož práce je i poslední, pátá souhrnná zpráva IPCC (2013/2014), která shrnuje dosavadní poznatky na tomto poli (<https://www.ipcc.ch/>). Přestože byl dobře prokázán celosvětový

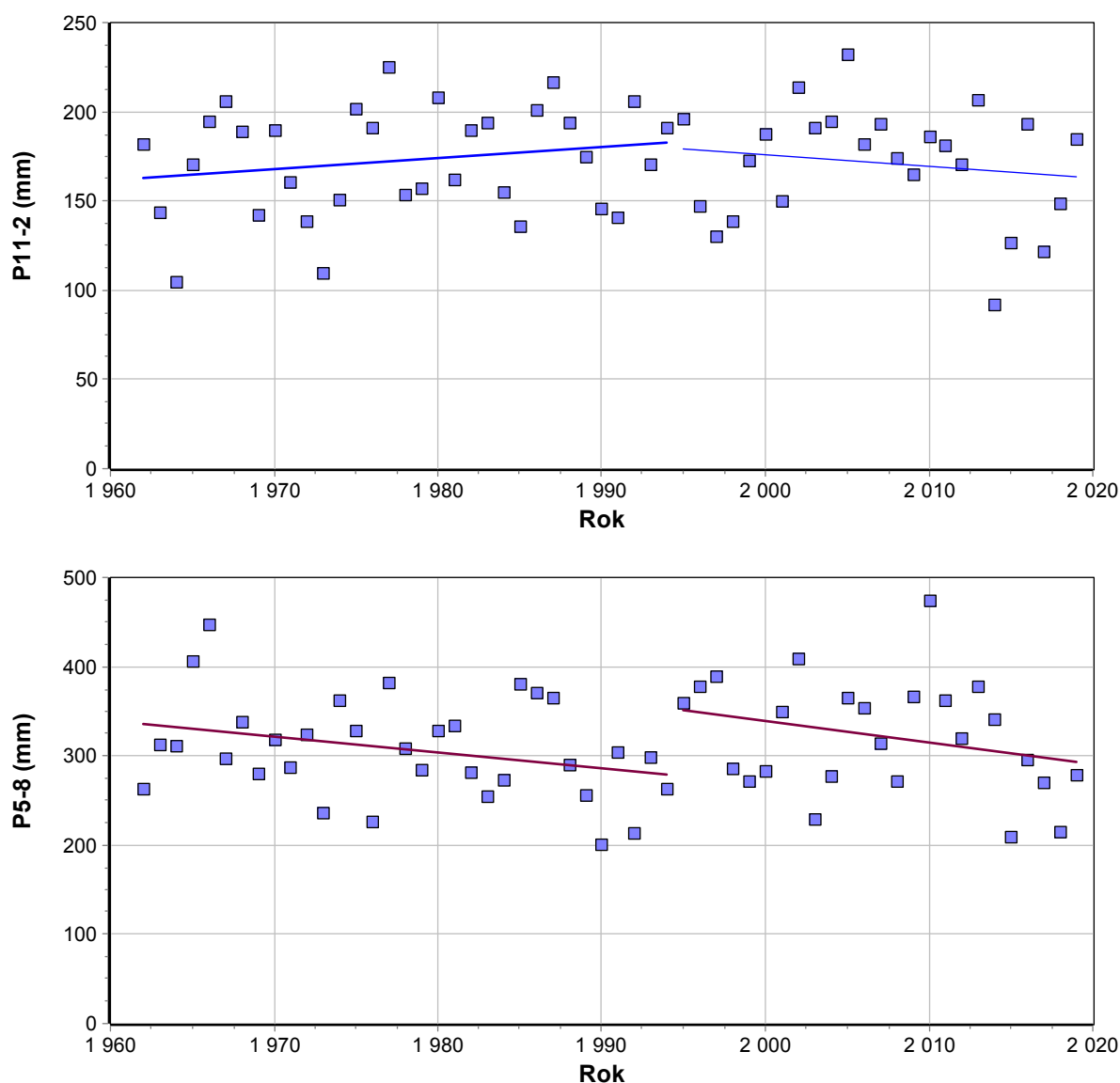
vzrůst průměrných teplot vzduchu a s ním související změny dalších charakteristik, je dobře známo, že změny probíhají v různých částech planety různě, regiony se mohou dosti lišit v charakteru těchto změn. Navíc druhy, společenstva a ekosystémy reagují na lokální podmínky, nikoli na globální klima. Proto je tak důležitá analýza změny lokálních klimatických poměrů a lokálního průběhu počasí.



Obr. 1. Územní teploty v České republice v zimním období (měsíce 11 až 2) a ve vegetačním období (měsíce 5 až 8)

Změnu chodu počasí na území České republiky lze popsat za pomoci takzvaných územních teplot a územních srážek, které dlouhodobě počítá Český hydrometeorologický ústav (viz <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/zakladni-informace>). Tato data byla na pracovišti IDS vyhodnocena (MATĚJKA 2019a). Celkově se průměrná roční teplota zvyšovala mezi lety 1961 a 2018 o 0,0328 °C/rok, statisticky je tento nárůst vysoce signifikantní. Teploty byly do roku 1982 stabilní, viditelný je vzrůst teplot od roku 1983. Od roku 1991 tak průměrný roční nárůst teploty činil 0,0438 °C/rok. Teplotně nejstabilnějším obdobím roku je časný podzim - září a říjen. Naopak nejvýraznější oteplení bylo zaznamenáno ve vrcholném létě (červenec a srpen), dle dřívějších zjištění to však bylo zimní období. V zimních měsících prosinec až únor byl vzrůst teploty průměrně 0,0355 °C/rok. Statisticky signifikantní byl

vzrůst průměrných teplot v listopadu až lednu. V měsících vegetační sezóny (květen až srpen) byl obdobný nárůst ještě výraznější: 0,0425 °C/rok. Vzrůst průměrných teplot byl statisticky signifikantní přes celou vegetační sezónu - od dubna až do srpna, přičemž statisticky nejvýznamnější byl ve vrcholném létě - v červenci a srpnu.



Obr. 2. Územní srážky v České republice v zimním období (měsíce 11 až 2) a ve vegetačním období (měsíce 5 až 8)

Průměrný roční vzestup úhrnů srážek počítaný za celé období 1961-2018 byl pouze 0,262 mm/rok, což je díky posledním suchým letům výrazně nižší hodnota oproti výsledku předchozího zpracování pro období do roku 2012 (MATĚJKA 2013). Roční úhrny srážek se za období od roku 1961 měnily jen málo, jejich nárůst byl statisticky nevýznamný. Dosud posledním extrémně srážkově nadprůměrným rokem byl rok 2010. Zimní vzestup úhrnů srážek byl pozorován v lednu. V únoru a březnu pozorujeme pouze malé změny srážek. Březnové srážky před rokem 1980 byly velmi vyrovnané. V dubnu je zřetelný pokles srážek. Takový pokles i v květnu a v červnu. Naopak v červenci je vidět vzestup úhrnů. Srpnové úhrny srážek se prakticky nemění. Naopak vlhčí je podzimní období (září až říjen). Z hlediska statistického nebyla změna srážkových úhrnů signifikantní v jakémkoli měsíci.

Při pohledu na graf průměrných ročních teplot vzduchu je patrné, že do roku 1982 teploty pouze oscilovaly kolem určitého průměru, ale od roku 1983 dochází k jejich zvyšování. Proto je vhodné položit základní rozdělení období od roku 1961 právě mezi 1982 / 1983. Analýzy průběhu počasí na několika meteorologických stanicích ČHMÚ prokázaly statisticky průkazný rozdíl v rozdělení srážkových úhrnů a ve výskytu suchých období v rámci periody 1983-1994 a v letech následujících. Proto je vhodné druhé dělení sledovaného období položit mezi roky 1994 a 1995 (viz též MATĚJKA 2014).

Tabulka 1. Změna územních teplot (T) a úhrnů srážek (P) v České republice v zimním období (měsíce 11 až 2) a ve vegetačním období (měsíce 5 až 8) hodnocené lineární regresí. Odlišně se tyto parametry chovaly do roku 1994 a od roku 1995.

Období	1962-1994	1995-2019	1962-2019
T ₁₁₋₂ (°C/rok)	0,042 (96,2%)	0,065 (94,0%)	0,036 (99,9%)
T ₅₋₈ (°C/rok)	0,033 (97,7%)	0,051 (98,8%)	0,043 (99,9%)
P ₁₁₋₂ (mm/rok)	0,60 (86,0%)	-0,64 (24,6%)	0,02 (53,7%)
P ₅₋₈ (mm/rok)	-1,79 (3,9%)	-2,44 (8,8%)	-0,15 (37,8%)

Dynamika klimatu v posledních desetiletích byla sledována na základě vyhodnocení dat několika meteorologických stanic Českého hydrometeorologického ústavu doplněných vlastním pozorováním na stanici Rudolfov (východní okraj Českobudějovické pánve) a výpočtem trendů takzvaných územních charakteristik počasí. Ukázalo se, že vývoj počasí v posledních cca 30 letech je v různých částech ČR obdobný. Současně byla vyvinuta metodika s jejíž pomocí je možno provést periodizace celého zkoumaného období na kratší časové úseky, které jsou více homogenní.

Mezi lety 1983 a 2012 došlo k významným změnám srážek i teplot na třech podrobně vyhodnocených meteorologických stanicích (tabulka 2). Zatímco změna srážek byla výrazně rozdílná na jednotlivých stanicích, trend změny průběrných teplot byl na všech stanicích obdobný. Obecně lze konstatovat, že ve vyšších nadmořských výškách jsou obě změny výraznější. Například průměrné úhrny srážek se na stanici Karlovy Vary - letiště neprojeví, ale na stanici Labská bouda vzrostly při přepočtu na období 30 let o 279 mm za rok. Průměrné roční teploty vzrostly na nejvýše položené stanici až o 1,53 °C za 30 let. K obdobným závěrům je možno dojít, hodnotíme-li průměrné územní hodnoty pro celou Českou republiku. Současně analýza územních hodnot ukazuje, že k výraznějším změnám trendů počasí došlo na počátku 80. let 20. století (MATĚJKA 2017).

Tabulka 2. Průměrná roční změna teplot vzduchu a denních úhrnů srážek na třech stanicích Českého hydrometeorologického ústavu. Použita byla publikovaná data Měsíčního přehledu počasí (1983-2012).

Stanice	Nadmořská výška (m)	Podrobnosti a metodika	Změna srážek (mm.d ⁻¹ .y ⁻¹)	Změna teploty vzduchu (°C.y ⁻¹)
Karlovy Vary - letiště	603	MATĚJKA (2012)	-0,0005	0,038
Churáňov	1118	MATĚJKA (2014)	0,0145	0,041
Labská bouda	1320	MATĚJKA (2011)	0,0255	0,051

Metodika zpracování meteorologických dat

Používané meteorologické stanice

Stanice byly vybírány tak, aby reprezentovaly lokální klimaticko-meteorologické poměry podle dosud prováděných ekologických studií (MATĚJKA 2019b). Provedena byla analýza průběhu teplot vzduchu, relativní vlhkosti vzduchu a úhrnu srážek.

Soubor těchto dat byl doplněn o podrobné výsledky sledování počasí na vlastní stanici v obci Rudolfov východně od Českých Budějovic na zvýšeném okraji Českobudějovické pánve (viz <http://www.infodatasys.cz/climate/rudolfov/stanice.htm>).

Vlhkostní index pro stanici Churáňov¹

Index W byl počítán pro stanici ČHMÚ Churáňov v jihočeské části Šumavy. Míra vlhkosti je vyjadřovaná pomocí indexu W , který byl zaveden v práci MATĚJKA (2014). Tento index je založen na srážkách v posledních 5 měsících, přičemž čím byla srážka dříve před datem, k němuž je index počítán, tím je její váha nižší.

Potenciální výpar

Výpar z volné zastíněné vodní hladiny byl sledován na vlastní stanici Rudolfov vázkovou metodou, kdy výpar probíhal z malé nádoby umístěné v klasické meteorologické budce. Dále byla sledována závislost výparu ε na indexu výparu (I) teplotě T (ve °C), relativní vlhkosti vzduchu H (v %) a rychlosti vzduchu w ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) ve formě

$$I = \int_{t_0}^{t_1} D \sqrt{w} dt$$

kde sytostní doplněk (D) je počítán podle vztahu

$$D = (1-H/100) \times c \times E / (T+t_{K0})$$

kde konstanta $c = 216,674$ odpovídá plynové konstantě pro vodní páru $R = 461.522 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. Konstanta $t_{K0} = 273,16$ slouží pro přepočet na absolutní teplotu v K.

Maximální napětí vodní páry (E v hPa) je počítáno podle práce KNOZOVÁ, ROŽNOVSKÝ (2005)

$$E = \exp_{10}(10.79574 \cdot (1-1/c_t) - 5.028 \cdot \log_{10}(c_t) + 0.000150475 \cdot (1 - \exp_{10}(-8.2969 \cdot (c_t-1)))) + 0.00042873 \cdot (\exp_{10}(4.76955 \cdot (1-1/c_t)) - 1) + 0.78614 \quad \text{pro } T \geq 0$$

$$E = \exp_{10}(-9.09685 \cdot (1/c_t - 1) + 3.56654 \cdot \log_{10}(c_t) + 0.87682 \cdot (1 - c_t) + 0.78614) \quad \text{pro } T < 0$$

kde $c_t = (T+t_{K0})/t_{K0}$

Vztah mezi výparem (ε v mm) indexem výparu (I) je počítán na základě polynomické regrese ze změřených dat

$$\varepsilon = a_0 + a_1 I + a_2 I^2 + a_3 I^3$$

Pro sérii 110 měřených hodnot v průběhu let 2018-2019 vychází koeficienty

$$a_0 = 0.12565$$

$$a_1 = 0.37523$$

$$a_2 = 0.010260$$

$$a_3 = -0.00091857$$

$$\text{index determinace } r^2 = 0.987$$

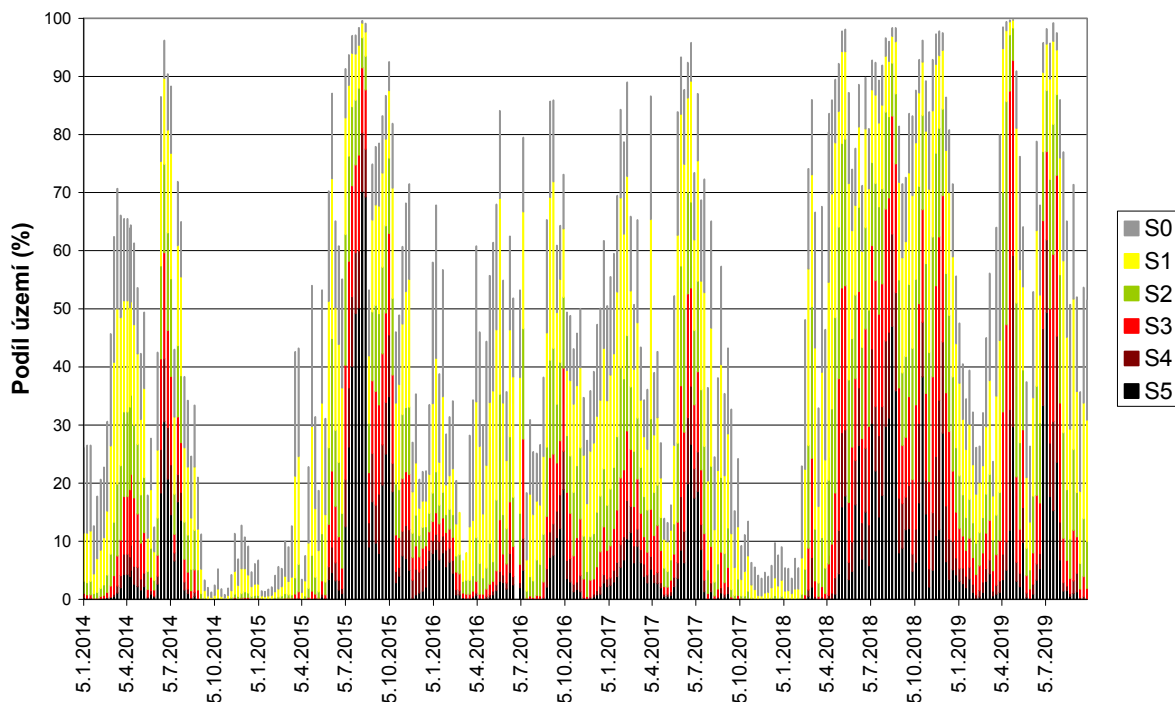
Výše popsany model sloužil k extrapolaci potenciálního výparu pro stanici Rudolfov za celé období měření od roku 2014 a experimentálně byl použit pro odhad výparu na některých stanicích ČHMÚ.

¹ Na stránce <https://www.infodatasys.cz/sumava/klima-aktualne.htm> jsou průběžně vyhodnocována průměrná měsíční data k této stanici.

Zpracování meteorologických dat a diskuse

Výskyt sucha v ČR

Výskyt sucha v několika posledních letech je možno převzít z webu www.intersucho.cz. Tam se jedná o takzvané půdní sucho (obr. 3). Rok 2014 byl zatím posledním rokem, kdy se v ČR sucho vyskytovalo jen v nižší intenzitě, případně pouze na menší části území a to přestože letní úhrny srážek byly velmi nízké. To mohlo být způsobeno vyšší zásobou vody v půdě po předchozí srážkově bohaté zimě (obr. 2). Zatímco v roce 2015 začala epizoda s výrazným až extrémním suchem až ve druhé polovině léta, v roce 2018 tomu tak bylo od konce jara.



Obr. 3. Podíl území ČR zasaženého určitým stupněm sucha podle dostupnosti vody v půdním profilu do hloubky 100 cm: S0 - snížená úroveň půdní vláh, S1 - počínající sucho, S2 - mírné sucho, S3 - výrazné sucho, S4 - výjimečné sucho, S5 - extrémní sucho. (data www.intersucho.cz)

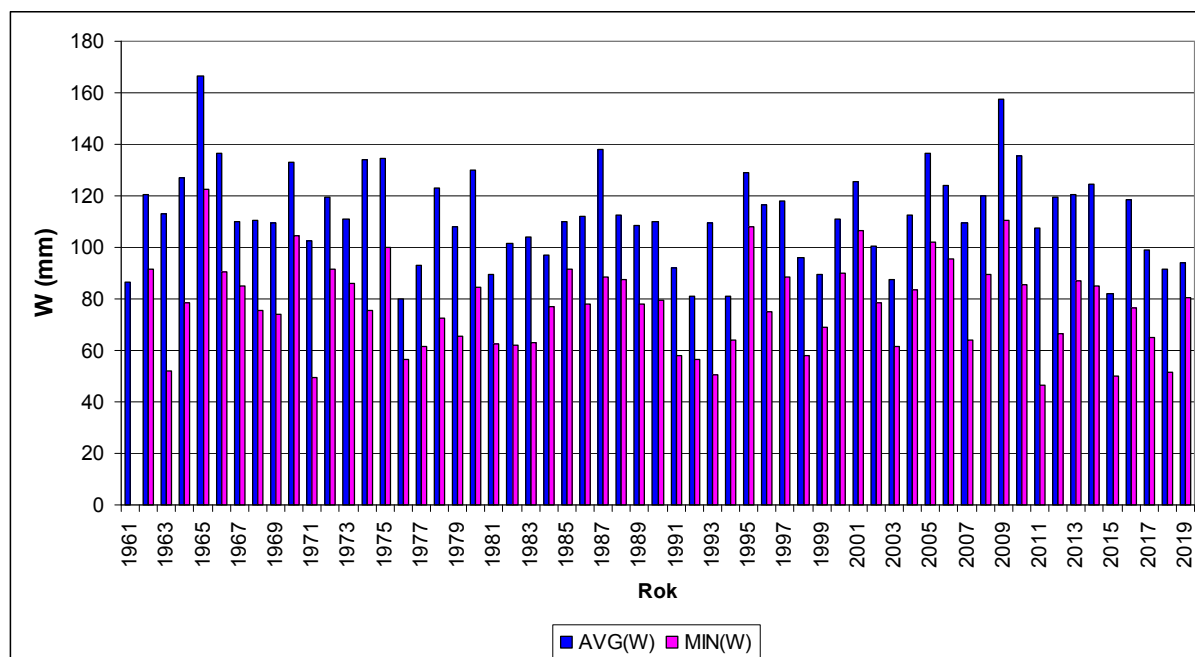
Srážkové sucho - příklad stanice Churáňov

Data do roku 2015 vyhodnotil MATĚJKA (2017). Vlhkostní index W se za celé období od začátku roku 1961 pohyboval v rozmezí 22 až 218 mm, průměr 102 mm (obr. 4). Ve vegetačním období května až srpna to bylo 46 až 210 mm s průměrem 113 mm, přičemž takto vymezené období odpovídá době maximálního růstu, tedy době s maximální potřebou vody pro vegetaci (obr. 4). Vegetační období bylo na Šumavě z tohoto pohledu nejsušší v letech 1976 ($W=80,2$ mm), 1994 (80,4 mm), 1992 (81,1 mm), 2015 (82,0 mm), 1961 (86,6 mm), 2003 (87,6 mm), 1999 (89,4 mm), 1981 (89,7 mm) a 2018 (91,5 mm, tedy až 9. v celkovém pořadí). Rok 2019 s hodnotou $W=94,0$ mm se umístil až na 12. místě. O reakci vegetace na sucho v extrémním roce 1976 nemáme dostupné informace. Suché roky 1994 (snad i v kombinaci s předcházejícím rokem 1992) a 2003 byly iniciátory gradace lýkožrouta smrkového, který se přemnožil vždy cca 3 roky po roce extrémním.

Minimálních hodnot indexu W bylo dosaženo ve vegetační sezóně let 2011 (46,3 mm), 1971 (49,7 mm), 2015 (50,1 mm), 1993 (50,7 mm) a 2018 (51,7 mm), z čehož pouze rok

2015 byl jmenován v předchozím odstavci. Ukazuje to na fakt, že extrémní krátkodobé sucho nemusí poznamenat vlhkostní poměry celé vegetační sezóny.

Mezi naopak nejvlhčí vegetační sezóny patřily roky 1965, 2009, 1987, 2005 a 1966.



Obr. 4. Průměr a minimum vlhkostního indexu W ve vegetačním období (květen až srpen) pro stanicí ČHMÚ Churáňov, data od roku 1961 do současnosti.

Potenciální výpar

Odhad ročního výparu z volné zastíněné vodní hladiny počítaného pro stanicí Rudolfovo² podle výše uvedeného postupu je srovnáván s evapotranspirací (ET) počítanou podle metodiky firmy DAVIS (2006). Roční potenciální evapotranspirace byla o 30 až 51 % vyšší než výpar z volné zastíněné vodní hladiny. Tabulka 1 ukazuje, že roky 2015 a 2018 byly z hlediska potenciálního výparu srovnatelné, přestože objem srážek byl na hodnocené stanicí v roce 2015 nižší.

V rámci historických data ČHMÚ o počasí většinou nejsou k dispozici všechny údaje potřebné k výpočtu potenciální evapotranspirace, především ne sluneční záření (to lze potenciálně hrubě odhadnout z délky slunečního svitu). Proto se výpočet ročního výparu z volné zastíněné vodní hladiny, provedený podle uvedené metodiky, jeví jako možnost náhrady. I tam však mohou chybět některá data, zvláště rychlost větru.

Tabulka 3. Odhad ročního výparu z volné zastíněné vodní hladiny a potenciální evapotranspirace na stanicí Rudolfovo

Rok	výpar ϵ	evapotranspirace ET	ET/ ϵ
2014	451,1		
2015	573,0	747,6	1,30
2016	442,1	669,0	1,51
2017	538,8	733,3	1,36
2018	571,5	770,4	1,35

² Další data k této stanicí viz <https://www.infodatasys.cz/climate/rudolfovo/mereni.htm>

Shrnutí poznatků o aktuální změně klimatu

- Průměrné teploty se v ČR v posledních několika desetiletích rostly rychlostí 0,3 až 0,6 °C za 10 let.
- Neexistuje výrazný trend změny úhrnu srážek. S výjimkou posledních 5 let nelze mluvit o úbytku srážek.
- Změny nejsou stejné ve všech ročních obdobích.
- V období od roku 1961 se klima neměnilo rovnoměrně, ale lze jej rozdělit na více období. Výrazné je rozdělení na roky do 1994 a od 1995 (např. MATĚJKA 2014). Otázkou zůstává, jestli velmi teplé a suché počasí od roku 2015 je pouze dočasným výkyvem nebo se jedná o charakteristiku další etapy změny klimatu.
- Změny jsou výrazně prostorově proměnlivé.
- Ve vyšších nadmořských výškách pozorujeme rychlejší zvyšování průměrných teplot.

Výše zmíněné výsledky jsou v souladu s dalšími regionálními studii, které byly provedeny například pro oblast Bavorského Lesa (BÄSSLER 2008).

Existuje tendenční výklad zvýšeného výskytu půdního sucha v posledních letech. Spíš než o změnu charakteristik počasí se jedná o změnu nakládání s vodou v krajině. Takovou změnu je možno pozorovat více jak půl století: došlo k eliminaci povodní na většině území díky regulacím řek, snížila se infiltrační schopnost půdy, snižuje se vodní kapacita půdy díky snížení obsahu humusu v půdě aj.

Za chybu lze považovat porovnávání průměrných hodnot (teploty, srážky a pod.) pokaždé s jiným referenčním obdobím. Standardně takovým obdobím bylo třicet let 1961-1990 (tzv. období klimatického normálu. Toto srovnávací období mělo zásadní výhodu v tom, že během těchto let nedošlo k zásadní změně klimatu. V řadě případů analýzy ČHMÚ používají jiný "normál", například 1971-2000 nebo 1981-2010. V takovém případě referenční období obsahuje výrazný předěl 1994/1995. Navíc posunem referenčního časového okna dochází ke zkreslení a dezinterpretaci výsledků.

Změna počasí a její vliv na lesy

Vliv klimatické změny na lesy střední Evropy je v literatuře často studován (například BUČEK ET AL. 2018, GE ET AL. 2013, HARTL-MEIER ET AL. 2014, LEXER ET AL. 2000, LINDNER ET AL. 2010, MELLERT ET AL. 2008, POPA ET AL. 2017, SUGIERO ET AL. 2009, TATARINOV ET AL. 2011). Zdá se, že zvláště vysoký význam mají tyto procesy v klimaxových smrčínách (ĎURSKÝ ET AL. 2006, MAUER ET AL. 2008). Klimatická změna a její dopady na biodiverzitu v lesích mohou být excelentně sledovány v rámci národních parků, jak ukazuje projekt BIOKLIM z Bavorského parku (BÄSSLER ET AL. 2015, HILMERS ET AL. 2018).

Lokální klimatické změny mají mnoho přímých vlivů na lesní ekosystémy. Pro příklad můžeme jmenovat

(1) Výskyt sucha, tedy stavu, kdy vegetace reaguje na sníženou dostupnost vody v půdě. Sucho (viz BRÁZDIL, TRNKA 2015) bývá navíc kombinováno s vysokými teplotami vzduchu. Tento stav byl v posledních desetiletích zaznamenán opakovaně, přičemž nejvýraznější byl v letech 2003, 2015 a 2018, přičemž první z těchto let byl klimaticky extrémním v rámci celé širší střední Evropy (REBETEZ ET AL. 2006). Vliv stresu suchem se často projevuje časným opadem listů dřevin (velmi citlivé jsou například břízy, ale i buk lesní), mění fyziologické procesy a růst dřevin (např. DĂNESCU ET AL. 2018), ale ovlivňuje i ostatní organismy v ekosystému: snižuje se fruktifikace většiny druhů hub, půdní organismy mohou přerušovat svůj vývoj, snižuje se rozvoj bylinného patra. Velmi podstatný je vliv stresu na snížení odolnosti dřevin k vlivu takzvaných škodlivých činitelů. V tomto směru je nejpodstatnější gradace lýkožrouta smrkového (*Ips typographus*) ve smrkových lesích (např. BÍLÁ 2016,

HLÁSNY, TURČÁNI 2009, HLÁSNY ET AL. 2011, KRUPKOVÁ ET AL. 2018, SEIDL 2008, MARINI ET AL. 2012).

Vzhledem k poznatkům, které byly získány v průběhu posledních dvou gradací lýkožrouta smrkového v NP Šumava (KINDLMANN ET AL. 2012), bylo v klimaticky extrémním roce 2015 vydáno na stránkách www.infodatasys.cz upozornění na možnost šíření lýkožrouta smrkového v horských lesích ČR s následujícím zněním: "Vzhledem k abnormálnímu průběhu počasí ve střední Evropě v roce 2015 existuje zvýšená pravděpodobnost gradace lýkožrouta smrkového (*Ips typographus*) ve smrkových horských (klimaxových) lesích ve 2 až 3 následujících letech." Podrobný rozbor počasí na Churáňově v tomto roce viz MATĚJKA (2016). Ve skutečnosti byla poté masivní gradace zaznamenána v lesích ČR zvláště od začátku vegetační sezóny 2018, což přesně odpovídá předchozímu upozornění. Vzhledem k průběhu počasí v roce 2018 i v roce následujícím, zvláště s ohledem na vysoké teploty vzduchu a nízké úhrny srážek, nelze předpokládat, že gradace lýkožrouta v nejbližších letech skončí. Lýkožroutové gradace však nejsou jediným případem vlivu klimatických změn na zvýšený výskyt fytopatogenů v lesích (např. BATTISTI 2008, NETHERER ET SCHOPF 2010).

(2) Vzrůst průměrných teplot vzduchu se projevuje na vzrůstu intenzity fyziologických procesů u dřevin za předpokladu, že vzrůst teplot není spojen s výskytem nějakého stresoru, především sucha. Typickým projevem je zvýšení přírůstu. To bylo pozorováno a přímo korelováno se změnami teplot vzduchu například u mladých populací *Picea abies* v Krkonoších (MATĚJKA ET LEUGNER 2013), obdobně i v Krušných horách. Radiální přírůst se zvýšil také u smrku a borovice například v Rusku (LOPATIN ET AL. 2008) i u jiných dřevin (BAUWE ET AL. 2015, BOSELA ET AL. 2018). Trend snížení přírůstu však může být zaznamenán v lokalitách, kde limitujícím faktorem je dostupnost vody (LEBOURGEOIS ET AL. 2010) - takovou situaci lze očekávat i v nížinách ČR. Vliv sucha na přírůst byl sledován například u buku lesního a smrku ztepilého (RÖTZER ET AL. 2017). Komplexní vliv klimatických poměrů na přírůst *Picea abies* analyzovali ALTMAN ET AL. (2017).

(3) Existuje mnoho dokladů změny rozšíření organismů v návaznosti na vzrůst teplot vzduchu. Například klíště obecné (*Ixodes ricinus*) se v Krkonoších šíří do vyšších nadmořských výšek (MATERNA 2012). Zvýšení jeho horní hranice výskytu o 300 až 400 m odpovídá přibližně vzrůstu průměrné teploty vzduchu o 1,5 až 2 °C, což je pozorovaná změna teplot za 30 až 40 let. Změna klimatu může mít vliv i na přirozené rozšíření druhů dřevin (FALK ET MELLERT 2011)

Klimatické parametry jsou ostatně základním vstupem pro analýzu rozšíření druhů i celých společenstev (FRANKLIN 2009, MARMION ET AL. 2009, REGER ET AL. 2011).

(4) Pozorován je též vzestup horní hranice lesa v horách, který však může být ovlivněn managementem, což znesnadňuje interpretaci výsledků (GEHRIG-FASEL ET AL. 2007, MIETKIEWICZ ET AL. 2017).

Vliv lokálních klimatických změn na lesní ekosystémy a jejich dynamiku

Lesní vegetační stupně mají rozsah průměrných teplot vzduchu 0,5 až 1,2 °C. Popsaný trend zvyšování průměrných teplot by mohl potenciálně znamenat posun vegetačních stupňů v době jednoho desetiletí či několika málo desetiletí. Takovéto náhlé změny však dosud pozorovány nebyly, přestože dílčí změny ve struktuře vegetace jsou popisovány často. Je to způsobeno skutečností, že taková změna celkového charakteru ekosystému, jakou je přechod do jiného vegetačního stupně, je příliš komplexní změnou, která se týká nejen jednotlivých druhů, ale i jejich vzájemných vazeb a zvláště pak vazeb na půdu. Na LVS nejsou vázány pouze druhy dřevin a společenstva (rostlinná, hmyz, houby atd.), ale i vlastnosti půdy a půdotvorné procesy. Ke změně půdního typu a navázané půdně-chemické dynamiky nemůže

dojít tak rychle. Na výskyt (rozšíření) jednotlivých druhů dřevin působí nejen environmentální faktory, ale i konkurenční vlivy, které stabilizují jednotlivá společenstva (MATĚJKA 2013). Výjimkou snad může být posun alpské hranice lesa (8./9. LVS), kdy se smrk může šířit do míst, kde dosud neměl konkurenci. Tomu by odpovídalo i pozorování z Krkonoš, případně posun horní hranice borovice limby v Alpách (BODEN ET AL. 2010). K takovým změnám je možno přiřadit i rozrůstání kleče nad horní hranicí lesa (např. Treml et al. 2010). Alpská hranice lesa je totiž utvářena na základě mnoha faktorů, přičemž klima je faktorem klíčovým (cf. TREML 2004, KAŠPAR ET TREML 2018).

Zvyšování průměrných teplot vzduchu, extrémní výkyvy chodu počasí s vysokými teplotami a nízkými srážkovými úhrny (výskyt sucha) mají výrazný vliv na populační dynamiku klíčového druhu hmyzu pro smrkové porosty - lýkožrouta smrkového (*Ips typographus*). Jeho gradace byla pozorována v NP Šumava jak po extrémním roce 1994 s kulminací okolo roku 1997 v oblasti Modravská, tak po roce 2003 s kulminací okolo let 2007 až 2009 (ta byla dále urychlena rozvratem porostů způsobeným orkámem Kyril) (KINDLMANN ET AL. 2012). Taková gradace vede k náhlému narušení stromového patra lesů, přičemž v národních parcích se jedná i o klimaxové smrčiny. Narušení stromového patra omezuje konkurenční vliv *Picea abies*, na jehož místě se potenciálně mohou uplatnit druhy nižších vegetačních stupňů, zvláště *Fagus sylvatica* (je-li v okolí tento druh přítomen). Zdá se tedy, že další hranice vegetačních stupňů, která se může vlivem klimatických změn posouvat, mohou být hranice 6./7. a 7./8. LVS. Je však potřeba takovýto potenciální posun potvrdit pozorováním, což dosud nebylo provedeno, nicméně se ukázalo, že právě zóna přechodu smíšených lesů a smrčin je citlivá na klimatické změny (BÄSSLER ET AL. 2010). Pozorování v národních parcích tak potvrdilo zásadní vliv disturbancí na přirozenou dynamiku lesních ekosystémů, která může být svázána s postupnou změnou charakteru lesního společenstva (BAČE ET AL. 2017, SEIDL ET AL. 2017, SCHURMAN ET AL. 2018). Obecně platí, že změny ve struktuře lesních ekosystémů vyvolané klimatickými vlivy jsou velmi komplexní a nelineární. Proto je možno očekávat i výskyt relativně náhlých událostí, které lze jen těžko předvídat (např. BUECHLING ET AL. 2017).

Za velmi senzitivní jsou obecně považována společenstva vyšších nadmořských výšek (např. WILSON ET NILSSON 2009), což může souviset i s tím, že vzrůst teplot vzduchu je výraznější v těchto polohách.

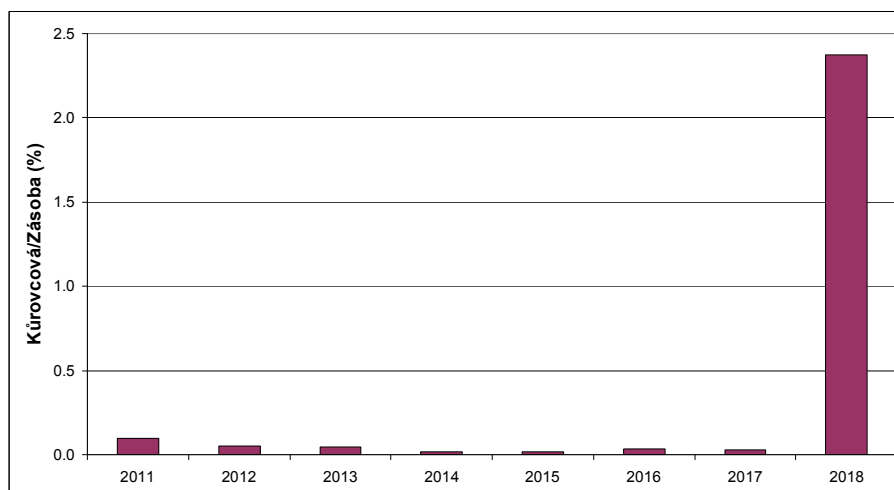
V předchozím textu byla diskutována otázka zvyšujících se teplot a změn srážkových úhrnů, k tomu však přistupuje další vliv, jímž je výskyt silných větrů, které mají disturbanční efekt na lesy. Tím mohou umocnit vliv předchozích dvou faktorů, jak se tomu stalo například na Šumavě v roce 2007 (KINDLMANN ET AL. 2012).

Právě národní parky jako přísně chráněná území, kde na velkých plochách bude vyloučen hospodářský vliv člověka na lesy (zavedení bezzásahového režimu), mohou zodpovědět takové otázky, jako jaký vliv má probíhající klimatická změna na lesní ekosystémy. Národní parky tak mohou přispět k efektivnější péči o lesy hospodářské.

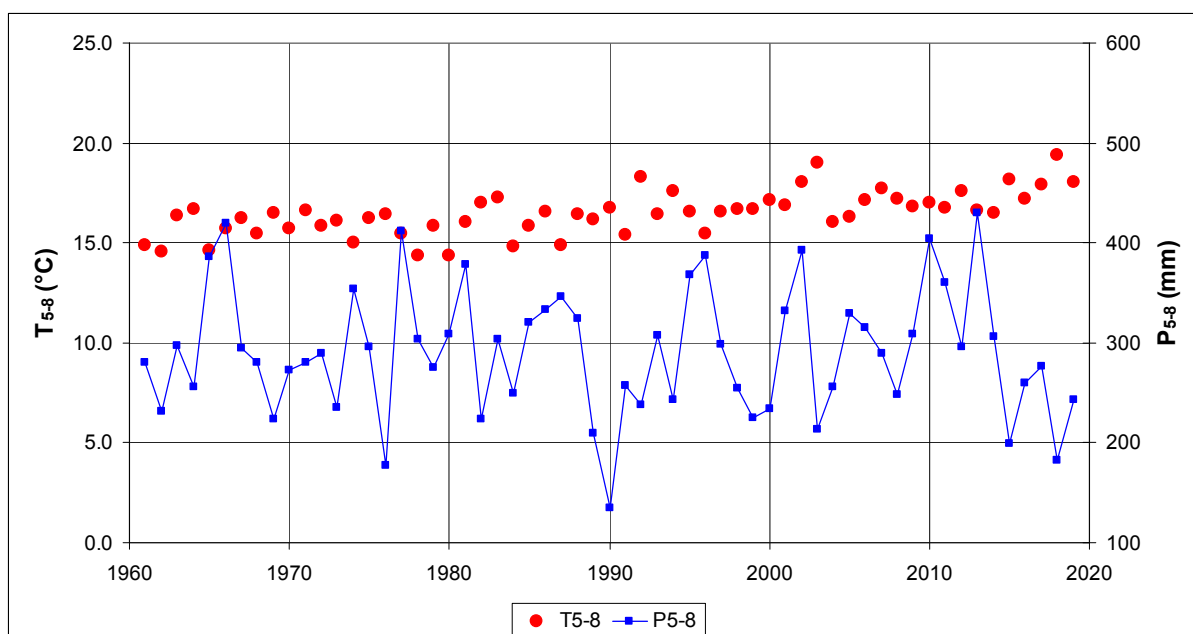
Příklad vlivu extrémního počasí na hospodářské lesy

Analyzována byla situace na Školním lesním podniku Kostelec nad Černými Lesy na základě objemu těžby smrku ztepilého od roku 2011 (obr. 5)³. Tento podnik hospodaří v podmínkách značně nevýhodných pro smrk, v 2. a 3. LVS, výjimečně ve 4. LVS. Srovnáván byl průběh počasí na základě územních teplot a územních srážek pro střední Čechy (data ČHMÚ; obr. 6).

³ Tyto analýzy byly provedeny v rámci řešení projektu ve spolupráci s týmem EXTEMIT-K Fakulty lesnické a dřevařské ČZU v Praze.



Obr. 5. Relativní objem kůrovcové těžby v porostech obhospodařovaných Školním lesním podnikem Kostelec nad Černými Lesy.



Obr. 6. Územní teploty (T) a srážky (P) v měsících květen až srpen ve středních Čechách podle dat ČHMÚ.

Celková zásoba smrku se za sledované období postupně snižovala z 935 na 811 tis. m³ v roce 2018. Celkové těžby představovaly 279 tis. m³ a v jednotlivých letech se příliš nelišily (s variabilitou 29 až 28 tis. m³), kůrovcová těžba však podléhala značné dynamice. V posledním roce (2018) představovala kůrovcová těžba již 53 % objemu celkové těžby.

Pouze mírně zvýšený objem kůrovcové těžby v roce 2011 byl zřejmě následkem a určitým dozvukem relativně teplého a suchého počasí let 2007-2008. Poté se situace stabilizovala. Dokonce i v roce 2015, kdy byly dosaženy vysoké průměrné teploty za současně velmi nízkých úhrnů srážek, nebyly touto situací těžby zvýšeny. Ty byly náhle extrémní až v roce 2018. Projevuje se zde tedy opoždění lýkožroutové gradace za extrémní klimatickou situací cca o 3 roky obdobně, jak to bylo pozorováno na Šumavě (KINDLMANN ET AL. 2012).

Na základě analýzy prostorového rozmístění těžeb od roku 2015 se ukázalo, že šíření lýkožrouta neprobíhalo z jednoho nebo několika málo ohnisek, ale jednalo se o více-méně celoplošný proces.

Závěr

Existuje několik scénářů vývoje klimatu v následujících desetiletích. V návaznosti na tyto scénáře jsou vypracovány prognózy dopadu potenciální změny klimatu na lesy v budoucnu, které signalizují potřebu změn přístupu v lesním hospodářství (MACKŮ 2018).

Změny chodu počasí byly ve střední Evropě jednoznačně prokázány, stejně jako jejich vliv na (nejen) lesní ekosystémy. V současnosti je nejzřetelnějším následkem rozvrat hospodářských lesů s nepůvodními výsadbami smrku v důsledku gradace lýkožrouta smrkového. S tím souvisí i potřeba adaptačních opatření v lesním hospodářství (BOLTE ET AL. 2009, DURY ET AL. 2011, KEENAN 2015, MASON ET AL. 2012). Příklad analýzy změny přístupu k lesnímu hospodářství lze nalézt v oblasti Alp (SEIDL ET AL. 2011). Ve střední Evropě se změny v hospodářských lesích musí opírat v první řadě o změnu druhové skladby lesů a zvýšení diversity všech složek lesního ekosystému, především vlastního porostu. Je potřeba opustit pěstování smrku ztepilého v podmínkách mimo jeho přirozené rozšíření, tedy v polohách do 4. lesního vegetačního stupně včetně, protože v důsledku klimatické změny lze očekávat, že tam bude smrk trpět především suchem (TUMAJER ET AL. 2017).

Mimo produkčních a hospodářských otázek vlivu klimatické změny na lesy je klíčový aspekt ochrany přírody za měnících se podmínek klimatu (MILAD ET AL. 2011).

Literatura

- ALTMAN J., FIBICH P., ŠANTRŮČKOVÁ H., DOLEŽAL J., ŠTĚPÁNEK P., KOPÁČEK J., HŮNOVÁ I., OULEHLE F., TUMAJER J., CIENCIALA E. (2017): Environmental factors exert strong control over the climate-growth relationships of *Picea abies* in Central Europe. - Science of the Total Environment, 609: 506-516. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2017.07.134](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.07.134)
- BAČE R., SCHURMAN J.S., BRABEC M., ČADA V., DESPRÉS T., JANDA P., LÁBUSOVÁ J., MIKOLÁŠ M., MORRISSEY R.C., MRHALOVÁ H., NAGEL T.A., NOVÁKOVÁ M.H., SEEDRE M., SYNEK M., TROTSIUK V., SVOBODA M. (2017): Long-term responses of canopy-understorey interactions to disturbance severity in primary *Picea abies* forests. - Journal of Vegetation Science, 28: 1128-1139. DOI: [10.1111/jvs.12581](https://doi.org/10.1111/jvs.12581)
- BÄSSLER C. (2008): Klimawandel – Trend der Lufttemperatur im Inneren Bayerischen Wald (Böhmerwald). - Silva Gabreta, 14(1): 1-18.
- BÄSSLER C., MÜLLER J., DZIOCK F. (2010): Detection of Climate-Sensitive Zones and Identification of Climate Change Indicators: A Case Study from the Bavarian Forest National Park. - Folia Geobotanica, 45: 163-182. DOI: [10.1007/s12224-010-9059-4](https://doi.org/10.1007/s12224-010-9059-4)
- BÄSSLER C., SEIFERT L., MÜLLER J. (2015): The BIOKLIM Project in the National Park Bavarian Forest: Lessons from a biodiversity survey. - Silva Gabreta, 21(1): 81-93.
- BATTISTI A. (2008): Forests and climate change - lessons from insects. - iForest, 1: 1-5.
- BAUWE A., JURASINSKI G., SCHARNWEBER T., SCHRÖDER C., LENNARTZ B. (2015): Impact of climate change on tree-ring growth of Scots pine, common beech and pedunculate oak in northeastern Germany. - iForest, 9: 1-11. DOI: [10.3832/ifor1421-008](https://doi.org/10.3832/ifor1421-008)

- BÍLÁ K. (2016): Are bark beetles responsible for droughts in the Šumava Mts.? A mini-review. - *European Journal of Environmental Sciences*, 6(2): 108-113. DOI: [10.14712/23361964.2016.16](https://doi.org/10.14712/23361964.2016.16)
- BODEN S., PYTTEL P., EASTAUGH C.S. (2010): Impacts of climate change on the establishment, distribution, growth and mortality of Swiss stone pine (*Pinus cembra* L.). - *iForest*, 3: 82-85. DOI: [10.3832/ifer0537-003](https://doi.org/10.3832/ifer0537-003)
- BOLTE A., AMMER C., LÖF M., MADSEN P., NABUURS G.-J., SCHALL P., SPATHELF P., ROCK J. (2009): Adaptive forest management in central Europe: Climate change impacts, strategies and integrative concept. - *Scandinavian Journal of Forest Research*, 24: 473-482. DOI: [10.1080/02827580903418224](https://doi.org/10.1080/02827580903418224)
- BOSELA M., LUKAC M., CASTAGNERI D., SEDMÁK R., BIBER P., CARRER M., KONÓPKA B., NOLA P., NAGEL T.A., POPA I., ROIBU C.C., SVOBODA M., TROTSIUK V., BÜNTGEN U. (2018): Contrasting effects of environmental change on the radial growth of co-occurring beech and fir trees across Europe. - *Science of the Total Environment*, 615: 1460-1469. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2017.09.092](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.092)
- BRÁZDIL R., DOBROVOLNÝ P., LUTERBACHER J., MOBERG A., PFISTER C., WHEELER D., ZORITA E. (2010): European climate of the past 500 years: new challenges for historical climatology. - *Climatic Change*, 101: 7-40. DOI: [10.1007/s10584-009-9783-z](https://doi.org/10.1007/s10584-009-9783-z)
- BRÁZDIL R., MOŽNÝ M., KLÍR T., ŘEZNÍČKOVÁ L., TRNKA M., DOBROVOLNÝ P., KOTYZA O. (2018): Climate variability and changes in the agricultural cycle in the Czech Lands from the sixteenth century to the present. - *Theoretical and Applied Climatology*, . DOI: [10.1007/s00704-018-2508-3](https://doi.org/10.1007/s00704-018-2508-3)
- BRÁZDIL R., TRNKA M. (2015): Sucho v českých zemích: minulost, současnost, budoucnost. In: *Historie počasí a podnebí v českých zemích, Vol. 11.* - Centrum výzkumu globální změny AV ČR, Brno, 401pp.
- BUČEK A., MACHAR I., VLČKOVÁ V. (2018): Geobiocenologická typologie a scénáře vlivů klimatických změn na území České republiky. - *Geobiocenologické spisy*, Brno, 17: 14-22.
- BUECHLING A., MARTIN P.H., CANHAM C.D. (2017): Climate and competition effects on tree growth in Rocky Mountain forests. - *Journal of Ecology*, 105: 1636-1647. DOI: [10.1111/1365-2745.12782](https://doi.org/10.1111/1365-2745.12782)
- BÜNTGEN U., BRÁZDIL R., FRANK D., ESPER J. (2010): Three centuries of Slovakian drought dynamics. - *Climate Dynamics*, 35(2): 315-329. DOI: [10.1007/s00382-009-0563-2](https://doi.org/10.1007/s00382-009-0563-2)
- DĂNESCU A., KOHNLE U., BAUHUS J., SOHN J., ALBRECHT A.T. (2018): Stability of tree increment in relation to episodic drought in uneven-structured, mixed stands in southwestern Germany. - *Forest Ecology and Management*, 415: 148-159. DOI: [10.1016/j.foreco.2018.02.030](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.02.030)
- DAVIS (2006): Derived variables in Davis weather products. Application note 28. - URL: www.davisinstruments.com/support/derived-variables-in-davis-weather-products/
- DOBROVOLNÝ P., MOBERG A., BRÁZDIL R., PFISTER C., GLASER R., WILSON R., ENGELEN A.V., LIMANÓWKA D., KISS A., HALÍČKOVÁ M., MACKOVÁ J., RIEMANN D., LUTERBACHER J., BÖHM R. (2010): Monthly, seasonal and annual temperature reconstructions for Central Europe derived from documentary evidence and instrumental records since AD 1500. - *Climatic Change*, 101: 69-107. DOI: [10.1007/s10584-009-9724-x](https://doi.org/10.1007/s10584-009-9724-x)

- ĎURSKÝ J., ŠKVARENINA J., MINĎÁŠ J., MIKOVÁ A. (2006): Regional analysis of climate change impact on Norway spruce (*Picea abies* L. Karst.) growth in Slovak mountain forests. - Journal of Forest Science, 52(7): 306-315.
- DURY M., HAMBUECKERS A., WARNANT P., HENROT A., FAVRE E., OUBERDOUS M., FRANÇOIS L. (2011): Responses of European forest ecosystems to 21st century climate: assessing changes in interannual variability and fire intensity. - iForest, 4: 82-99. DOI: [10.3832/ifor0572-004](https://doi.org/10.3832/ifor0572-004)
- FALK W., MELLERT K.H. (2011): Species distribution models as a tool for forest management planning under climate change: risk evaluation of *Abies alba* in Bavaria. - Journal of Vegetation Science, 22: 621-634. DOI: [10.1111/j.1654-1103.2011.01294.x](https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2011.01294.x)
- FRANKLIN J. (2009) Mapping species distributions. Spatial inference and prediction. - Cambridge University Press, Cambridge etc.
- GE Z.-M., KELLOMÄKI S., PELTOLA H., ZHOU X., VÄISÄNEN H. (2013a): Adaptive management to climate change for Norway spruce forests along a regional gradient in Finland. - Climatic Change, 118: 275-289. DOI: [10.1007/s10584-012-0656-5](https://doi.org/10.1007/s10584-012-0656-5)
- GE Z.-M., KELLOMÄKI S., PELTOLA H., ZHOU X., VÄISÄNEN H., STRANDMAN H. (2013b): Impacts of climate change on primary production and carbon sequestration of boreal Norway spruce forests: Finland as a model. - Climatic Change, 118: 259-273. DOI: [10.1007/s10584-012-0607-1](https://doi.org/10.1007/s10584-012-0607-1)
- GEHRIG-FASEL J., GUISAN A., ZIMMERMANN N.E. (2007): Tree line shifts in the Swiss Alps: Climate change or land abandonment? - Journal of Vegetation Science, 18: 571-582.
- GLASER R., RIEMANN D., SCHÖNBEIN J., BARRIENDOS M., BRÁZDIL R., BERTOLIN C., CAMUFFO D., DEUTSCH M., DOBROVOLNÝ P., VAN ENGELEN A., ENZI S., HALÍČKOVÁ M., KOENIG S.J., KOTYZA O., LIMANÓWKA D., MACKOVÁ J., SGHEDONI M., MARTIN B., HIMMELSBACH I. (2010): The variability of European floods since AD 1500. - Climatic Change, 101: 235-256. DOI: [10.1007/s10584-010-9816-7](https://doi.org/10.1007/s10584-010-9816-7)
- HARTL-MEIER C., DITTMAR C., ZANG C., ROTHE A. (2014): Mountain forest growth response to climate change in the Northern Limestone Alps. - Trees, 28: 819-829. DOI: [10.1007/s00468-014-0994-1](https://doi.org/10.1007/s00468-014-0994-1)
- HILMERS T., BÄSSLER C., FRIESS N., HEURICH M., MÜLLER J., SEIFERT L. (2018): Changes in forest structure in the Bavarian Forest National Park – an evaluation after 10 years of the BIOKLIM-Project. - Silva Gabreta, 24: 161-170.
- HLÁSNY T., TURČANI M. (2009): Insect Pests as Climate Change Driven Disturbances in Forest Ecosystems. In: Strelcová K., Matyas C., Kleidon A., Lapin M., Matejka F., Blazenec M., Škvarenina J., Holecý J. (eds), Bioclimatology and Natural Hazards. - Springer, Berlin, p. 165-178. DOI: [10.1007/978-1-4020-8876-6_15](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8876-6_15)
- HLÁSNY T., ZAJÍČKOVÁ L., TURČANI M., HOLUŠA J., SITKOVÁ Z. (2011): Geographical variability of spruce bark beetle development under climate change in the Czech Republic. - Journal of Forest Science, 57(6): 242-249.
- KAŠPAR J., TREML V. (2018): The causes of upper tree limits in the mountain ranges of Central Europe north of the Alps – A stem growth perspective. - Journal of Vegetation Science, 29: 1007-1016. DOI: [10.1111/jvs.12691](https://doi.org/10.1111/jvs.12691)
- KEENAN R.J. (2015): Climate change impacts and adaptation in forest management: a review. - Annals of Forest Science, 72: 145-167. DOI: [10.1007/s13595-014-0446-5](https://doi.org/10.1007/s13595-014-0446-5)

- KINDLMANN P., MATĚJKA K., DOLEŽAL P. (2012): Lesy Šumavy, lýkožrout a ochrana přírody. - Karolinum, Praha, 326p.
- KNOZOVÁ G., ROŽNOVSKÝ J. (2005): Srovnání způsobů výpočtu průměrných denních teplot a vlhkosti vzduchu. - Meteorologické Zprávy, 58: 19-23.
- KRUPKOVÁ L., HAVRÁNKOVÁ K., KREJZA J., SEDLÁK P., MAREK M.V. (2018): Impact of water scarcity on spruce and beech forests. - Journal of Forestry Research . DOI: [10.1007/s11676-018-0642-5](https://doi.org/10.1007/s11676-018-0642-5)
- LEBOURGEOIS F., RATHGEBER C.B.K., ULRICH E. (2010): Sensitivity of French temperate coniferous forests to climate variability and extreme events (*Abies alba*, *Picea abies* and *Pinus sylvestris*). - Journal of Vegetation Science, 21: 364-376. DOI: [10.1111/j.1654-1103.2009.01148.x](https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2009.01148.x)
- LEXER M.J., HÖNNINGER K., SCHEIFINGER H., MATULLA C., GROLL N., KROMP-KOLB H. (2000): The Sensitivity of Central European Mountain Forests to Scenarios of Climatic Change: Methodological Frame for a Large-scale Risk Assessment. - Silva Fennica, 34(2): 113-129.
- LINDNER M., MAROSCHEK M., NETHERER S., KREMER A., BARBATI A., GARCIA-GONZALO J., SEIDL R., DELZON S., CORONA P., KOLSTRÖM M., LEXER M.J., MARCHETTI M. (2010): Climate change impacts, adaptive capacity, and vulnerability of European forest ecosystems. - Forest Ecology and Management, 259: 698-709. DOI: [10.1016/j.foreco.2009.09.023](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.09.023)
- LOPATIN E., KOLSTRÖM T., SPIECKER H. (2008): Impact of climate change on radial growth of Siberian spruce and Scots pine in North-western Russia. - iForest, 1: 13-21.
- MACKŮ J. (2018): Dopady scénáře klimatické změny hadgem na lesy ČR. - Geobiocenologické spisy, Brno, 17: 128-137.
- MARINI L., AYRES M.P., BATTISTI A., FACCOLI M. (2012): Climate affects severity and altitudinal distribution of outbreaks in an eruptive bark beetle. - Climatic Change, 115: 327-341. DOI: [10.1007/s10584-012-0463-z](https://doi.org/10.1007/s10584-012-0463-z)
- MARMION M., LUOTO M., HEIKKINEN R.K., THUILLER W. (2009): The performance of state-of-the-art modelling techniques depends on geographical distribution of species. - Ecological Modelling, 220(24): 3512-3520. DOI: [10.1016/j.ecolmodel.2008.10.019](https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2008.10.019)
- MASON W.L., PETR M., BATHGATE S. (2012): Silvicultural strategies for adapting planted forests to climate change: from theory to practice. - Journal of Forest Science, 58(6): 265-277.
- MATĚJKA K. (2011): Zpráva spoluřešitele projektu QI112A170 za rok 2011. Možnosti cíleného pěstování a využití geneticky hodnotných částí populací sadebního materiálu smrku ztepilého s klimaxovou strategií růstu pro horské oblasti. - URL: https://www.infodatasys.cz/proj005/QI112A170_results2011.pdf
- MATĚJKA K. (2012): Zpráva spoluřešitele projektu QI112A170 za rok 2012. Možnosti cíleného pěstování a využití geneticky hodnotných částí populací sadebního materiálu smrku ztepilého s klimaxovou strategií růstu pro horské oblasti. - URL: https://www.infodatasys.cz/proj005/QI112A170_results2012.pdf
- MATĚJKA K. (2013): Klimatické gradienty a modelování lesních vegetačních stupňů v ČR. In: Friedl M., Ed., Geobiocenologie a její aplikace v lesnictví a krajinářství - Geobiocenologické spisy, Vol. 15, pp. 103-118.

- MATĚJKA K. (2014): Počasí na Churáňově (Šumava) v období 1983-2011 a jeho možná interpretace z hlediska dynamiky ekosystémů. - URL: <https://www.infodatasys.cz/climate/churanov1983-2011.pdf>
- MATĚJKA K. (2016): Počasí na Churáňově v roce 2015. - URL: <https://www.infodatasys.cz/sumava/Churanov2015.pdf>
- MATĚJKA K. (2017): Sucho na stanici Churáňov od roku 1962. - URL: <https://www.infodatasys.cz/sumava/sucho-churanov.htm>
- MATĚJKA K. (2019a): Vývoj teplot a srážek v ČR od roku 1961. - URL: <https://www.infodatasys.cz/climate/KlimaCR1961.htm>
- MATĚJKA K. (2019b): Používané charakteristiky počasí ke konci roku 2019 na meteorologických stanicích ČHMÚ (základní data). - URL: <http://www.infodatasys.cz/climate/StaniceCHMI2019.pdf>
- MATĚJKA K., LEUGNER J. (2013): Growth of Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karsten) from artificial and natural regeneration in the Krkonoše Mts. and air temperature variability. - Journal of Forest Science, 59: 150-158. DOI: [10.17221/25/2012-JFS](https://doi.org/10.17221/25/2012-JFS)
- MATERNA J. (2012): Výškové rozšíření klíštěte obecného (*Ixodes ricinus*) v Krkonoších. - Opera Corcontica, 49: 55-71.
- MAUER O., BAGÁR R., PALÁTOVÁ E. (2008): Response of the Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) root system to changing humidity and temperature conditions of the site. - Journal of Forest Science, 54(6): 245-254.
- MELLERT K.H., PRIETZEL J., STRAUSSBERGER R., REHFUESS K.E., KAHLE H.P., PEREZ P., SPIECKER H. (2008): Relationships between long-term trends of air temperature, precipitation, nitrogen nutrition and growth of coniferous stands in Central Europe and Finland. - European Journal of Forest Research, 127: 507-524. DOI: [10.1007/s10342-008-0233-7](https://doi.org/10.1007/s10342-008-0233-7)
- MIETKIEWICZ N., KULAKOWSKI D., ROGAN J., BEBI P. (2017): Long-term change in sub-alpine forest cover, tree line and species composition in the Swiss Alps. - Journal of Vegetation Science, 28: 951-964. DOI: [10.1111/jvs.12561](https://doi.org/10.1111/jvs.12561)
- MILAD M., SCHAICH H., BÜRGI M., KONOLD W. (2011): Climate change and nature conservation in Central European forests: A review of consequences, concepts and challenges. - Forest Ecology and Management, 261: 829-843. DOI: [10.1016/j.foreco.2010.10.038](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.10.038)
- NETHERER S., SCHOPF A. (2010): Potential effects of climate change on insect herbivores in European forests—General aspects and the pine processionary moth as specific example. - Forest Ecology and Management, 259: 831-838. DOI: [10.1016/j.foreco.2009.07.034](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.07.034)
- POPA I., BADEA O., SILAGHI D. (2017): Influence of climate on tree health evaluated by defoliation in the ICP level I network (Romania). - iForest, 10: 554-560. DOI: [10.3832/ifor2202-009](https://doi.org/10.3832/ifor2202-009)
- REBETEZ M., MAYER H., DUPONT O., SCHINDLER D., GARTNER K., KROPP J. P., MENZEL A. (2006): Heat and drought 2003 in Europe: a climate synthesis. - Annals of Forest Science, 63: 569-577.

- REGER B., KÖLLING C., EWALD J. (2011): Modelling effective thermal climate for mountain forests in the Bavarian Alps: Which is the best model? - *Journal of Vegetation Science*, 22: 677-687. DOI: [10.1111/j.1654-1103.2011.01270.x](https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2011.01270.x)
- RÖTZER T., BIBER P., MOSER A., SCHÄFER C., PRETZSCH H. (2017): Stem and root diameter growth of European beech and Norway spruce under extreme drought. - *Forest Ecology and Management*, 406: 184-195. DOI: [10.1016/j.foreco.2017.09.070](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.09.070)
- SCHURMAN J.S., TROTSIUK V., BAČE R., ČADA V., FRAVER S., JANDA P., KULAKOWSKI D., LABUSOVA J., MIKOLÁŠ M., NAGEL T.A., SEIDL R., SYNEK M., SVOBODOVÁ K., CHASKOVSKYY O., TEODOSIU M., SVOBODA M. (2018): Large-scale disturbance legacies and the climate sensitivity of primary *Picea abies* forests. - *Global Change Biology*, 24(5): 2169-2181. DOI: [10.1111/gcb.14041](https://doi.org/10.1111/gcb.14041)
- SEIDL R., RAMMER W., JÄGER D., LEXER M.J. (2008): Impact of bark beetle (*Ips typographus* L.) disturbance on timber production and carbon sequestration in different management strategies under climate change. - *Forest Ecology and Management*, 256: 209-220. DOI: [10.1016/j.foreco.2008.04.002](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.04.002)
- SEIDL R., RAMMER W., LEXER M.J. (2011): Climate change vulnerability of sustainable forest management in the Eastern Alps. - *Climatic Change*, 106: 225-254. DOI: [10.1007/s10584-010-9899-1](https://doi.org/10.1007/s10584-010-9899-1)
- SEIDL R., THOM D., KAUTZ M., MARTIN-BENITO D., PELTONIEMI M., VACCHIANO G., WILD J., ASCOLI D., PETR M., HONKANIEMI J., LEXER M.J., TROTSIUK V., MAIROTA P., SVOBODA M., FABRIKA M., NAGEL T.A., REYER C.P.O. (2017): Forest disturbances under climate change. - *Nature Climate Change*, 7: 395-402. DOI: [10.1038/NCLIMATE3303](https://doi.org/10.1038/NCLIMATE3303)
- SUGIERO D., JASZCZAK R., RĄCZKA G., STRZELIŃSKI P., WĘGIEL A., WIERZBICKA A. (2009): Species composition in low mountain beech (*Fagus sylvatica* L.) stands in the Bieszczady National Park under the global warming. - *Journal of Forest Science*, 55(5): 244-250.
- TATARINOV F.A., CIENCIALA E., VOPENKA P., AVILOV V. (2011): Effect of climate change and nitrogen deposition on central-European forests: Regional-scale simulation for South Bohemia. - *Forest Ecology and Management*, 262: 1919-1927. DOI: [10.1016/j.foreco.2011.02.020](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2011.02.020)
- TREML V. (2004): Recentní dynamika alpské hranice lesa v Krkonoších. - *Opera Corcontica*, 41: 367-375.
- TREML V., WILD J., CHUMAN T., POTŮČKOVÁ M. (2010): Assessing the change in cover of non-indigenous dwarf-pine using aerial photographs, a case study from the Hrubý Jeseník Mts., the Sudetes. - *Journal of Landscape Ecology*, 4(2): 90-104.
- TUMAJER J., ALTMAN J., ŠTEPÁNEK P., TREML V., DOLEŽAL J., CIENCIALA E. (2017): Increasing moisture limitation of Norway spruce in Central Europe revealed by forward modelling of tree growth in tree-ring network. - *Agricultural and Forest Meteorology*, 247: 56-64. DOI: [10.1016/j.agrformet.2017.07.015](https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.07.015)
- WILSON S.D., NILSSON C. (2009): Arctic alpine vegetation change over 20 years. - *Global Change Biology*, 15: 1676-1684. DOI: [10.1111/j.1365-2486.2009.01896.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2009.01896.x)

In: Matějka K. (ed.), Sborník k semináři Lesník 21. století, most mezi ekologií lesa a potřebami společnosti, 15. ročník, Kašperské Hory 24. 10. 2019, pp. 9-25. - URL: <https://www.infodatasys.cz/lesnik21-2019/>

