

Universita Karlova v Praze
Přírodovědecká fakulta
Katedra fyzické geografie a geoekologie

Fyzická geografie a geoekologie



Jiří Mašek

**Faktory ovlivňující růstové trendy a stabilitu klimatického signálu u středoevropských
jehličnanů**

Factors affecting growth trends and climate signal stability in central European conifers

diplomová práce

vedoucí práce: doc. Mgr. Václav Treml, Ph.D.

Praha 2019

Zadání diplomové práce

Téma práce: Faktory ovlivňující růstové trendy a stabilitu klimatického signálu u střeoevropských jehličnanů

Cíle práce:

1. Rešerše zabývající se divergencemi růstu stromů a jejich příčinami.
2. Pro smrk ztepilý a borovici lesní analyzovat růstové trendy a klimatický signál na čtyřech lokalitách. Na úrovni jedinců pak vysvětlovat variabilitu růstu sociálním postavením, topografií a velikostí stromu.

Zájmové území: Kokořínsko (severní a jižní svah vrchu Kostelec), Krkonoše (Modrý důl, Údolí Bílého Labe)

Metody: Zpracování rešerše týkající se růstové divergence stromů a čím je způsobena. Založení čtyř výzkumných ploch, sběr dendrometrických a polohových dat. Pořízení vývrtů a jejich následné zpracování a měření šířek letokruhů. Vytvoření letokruhových chronologií a spočtení klouzavých korelací s klimatickými proměnnými, testování změny reakce jednotlivých stromů na klima. Dále vypočtení klouzavých mezisériových korelací (R_{bar}) na stanovištích, PCA a následné korelace hlavních komponent s klimatem a z-skórů stromů s topografickým vlhkostním indexem, výčetní tloušťkou stromu a kompetičním indexem. Vytvoření responder chronologií a jejich korelací s klimatickými proměnnými. Provedení klouzavé PCA a spočtení Moranova I na základě korelace stromů s hlavními komponentami 1–4.

Datové zdroje: Odborná literatura, dendrometrická, polohová a dendrochronologická data. Digitální model reliéfu 5. generace, klimatická data ze stanic Doksy a Sněžka.

Datum zadání: 13.12. 2017

Jméno studenta: Jiří Mašek

Podpis studenta:

Jméno vedoucího práce: doc. Mgr. Václav Treml, Ph.D.

Podpis vedoucího práce:

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně,
pouze s použitím citované literatury.

V Praze

.....

Poděkování

Největší dík patří mému vedoucímu Vašku Tremlovi, který byl vždy velmi ochotný s čímkoli poradit a kdykoli bylo potřeba našel pro mě chvíli svého cenného času. Bez jeho pomoci při sběru dat v terénu, nápadů, rad, trpělivosti a rychlých reakcí na mé věčné dotazy bych nikdy tuto práci nedokončil. Mokrát děkuji.

Dalším člověkem, který se zásadně podílel na tvorbě této diplomky je Honza Tumajer. I jemu vděčím za pomoc v terénu a cenné rady především v praktické části. Ovšem jeho největším přínosem, kterého si velice, velice cením byla jeho pomoc okolo programu R. Nebýt jeho ochoty zabývat se mými problémy se spouštěním skriptů a nápadů, jak mi práci zjednodušit bych pravděpodobně ještě v tuto chvíli klikal do R a čím dál více jej nenáviděl. Honzo, děkuji!

Velké díky si zaslouží má přítelkyně Veronika. Kromě toho, že mi častokrát zvedla náladu svými zábavnými postřehy a podpořila ve chvílích kdy věci nešly tak, jak by měly, pomohla mi též se samotnou prací. Díky její pomoci se sběrem vzorků v terénu jsem měl potřebná data včas a mohl jsem pokračovat dále. Jsem ti moc vděčný, děkuju.

Dále je zde Pěťa Lněničková, která mi též ušetřila mnoho hodin zírání do počítače a hraní si s čísly. Díky její ochotě pomoci jsem získal velice jednoduše důležitá data. Moc děkuji, že sis na mě našla čas.

Děkuji také své sestře Kátě, které vděčím za nejednu radu ohledně Excelu a podobně. Samozřejmě bych rád vyjádřil vděk celé své rodině, která mě podporovala jak vlídnými slovy, tak servisem srovnatelným s hotelem. Víím, že mé zapojení do domácích prací poněkud pokleslo, ale to se změní, slibuju!

Poslední, komu je třeba složit díky jsou všichni mí přátelé a kamarádi. Ti mě sice od psaní práce nejednou spíše zdržovali, ale zábava, kterou za to poskytli byla neskutečná a jako odreagování od práce neocenitelná. Rád bych ještě poděkoval malé kavárně/hospodě Trojka, kde na mě vždy čekalo mé oblíbené křeslo a kde jsem strávil mnoho času ať už při práci na diplomce, nebo při příjemné prokrastinaci.

Abstrakt

Předložená diplomová práce se věnuje studiu růstových divergencí stromů, a to jak ve smyslu nestability klimatického signálu, tak vytváření subpopulací s rozdílnými růstovými trendy na jednom stanovišti (tzv. individuální růstová variabilita, IRV). Cílem práce bylo detekovat IRV a nestabilitu klimatického signálu a geografické faktory, které ji ovlivňují u porostů borovice lesní (*Pinus sylvestris*) z nízkých nadmořských výšek a u smrku ztepilého (*Picea abies*) z horní hranice lesa, tj. typických stanovišť dvou významných středoevropských jehličnanů. Za tímto účelem byly na dvou zájmových plochách v Kokořínsku a dvou v Krkonoších změřeny dendrometrické parametry všech stromů, pořízeny vývrty a každý strom byl polohově zaměřen. Nestabilita klimatického signálu byla zjišťována klouzavými korelacemi stanovištních chronologií s klimatem. Ke zjištění změny reakce na klima jednotlivých stromů byl použit párový t-test korelačních koeficientů ve dvou časových oknech. Pro odhalení růstových trendů v rámci porostu a rozdělení stromů do responder chronologií byla použita analýza hlavních komponent (PCA). Variabilita byla vysvětlována korelacemi z-skórů stromů s individuálními podmínkami (topografie, velikost stromu, kompetiční index).

Výsledky ukazují, že reakce stromů na klima se v čase mění. U smrku dochází aktuálně ke snížení limitujícího vlivu letních teplot a objevuje se negativní reakce na sucho. Borovice prohloubily svůj negativní vztah k teplotám a vazba na sucho posílila. Celkově, se tyto změny projeví výrazněji na smrku ztepilém v Krkonoších. Individuální růstová variabilita je u smrku menší než u borovice. Důvodem může být větší věková různorodost na borových stanovištích a dopad kyselé depozice v Krkonoších, která zvýšila koherenci růstu smrků. IRV je kromě přirozené variability a nevysvětlené variability ovlivněna především velikostí stromu.

Klíčová slova: růstové divergence, nestabilita klimatického signálu, borovice lesní, smrk ztepilý, analýza hlavních komponent

Abstract

This thesis deals with the study of tree growth divergences, both in terms of climatic signal instability and the formation of subpopulations with different growth trends at one site (so-called individual growth variability, IGV). The aim of this work was to detect IGV and climatic instability and determine possible effects of geographical factors on divergence in forests of Scotch pine (*Pinus sylvestris*) from low altitudes and Norway spruce (*Picea abies*) from the high-elevation forest, that is typical habitats of two important Central European conifers. For this purpose, the dendrometric parameters of all trees were measured at two sites in Kokořínsko and two in the Krkonoše Mts. Climatic instability was detected by moving correlations of site chronologies with climate. A paired t-test of climate-growth responses of all trees was used to determine the change in response between two time windows. Principal Component Analysis (PCA) was used to reveal divergent growth trends within stand to develop responder chronologies. Variability was explained by correlations of z-scores of trees with individual conditions (topography, tree size, competition index).

The results show that the reaction of trees to climate changes over time. In spruce, the limiting effect of summer temperatures has been recently reduced, and a new negative response to drought emerged. Pines deepened their negative relationship to temperatures and strengthened the response to drought. Overall, these changes were more pronounced in Norway spruce in the Giant Mountains. Individual growth variability is lesser in Norway spruce compared to Scotch pine. The reason may be a greater age diversity in pine habitats and the impact of acid deposition in the Giant Mountains, which has increased spruce growth coherence. In addition to the natural variability and unexplained variability, IGR is mainly influenced by the size of the tree.

Key words: growth divergence, climatic signal instability, Scots pine, Norway spruce, principal component analysis

Obsah

Abstrakt	5
Abstract	6
1. Úvod	9
2. Nestabilita klimatického signálu (divergence phenomenon)	11
2.1 Regionální přehled	11
2.2 Změna vazby růstu dřevin na řídicí klimatické charakteristiky	12
2.3 Způsoby detekce	14
2.4 Faktory vedoucí k nestabilitě klimatického signálu	14
3. Individuální růstová variabilita (individual growth response)	17
3.1 Regionální přehled	17
3.2 Rozdílné růstové trendy v porostu	18
3.3 Způsoby detekce	19
3.4 Faktory vedoucí k individuální růstové variabilitě	19
4. Charakteristiky zkoumaných dřevin	21
4.1 Borovice lesní	21
4.1.1 Biologické vlastnosti	21
4.1.2 Ekologické vlastnosti	21
4.2 Smrk ztepilý	22
4.2.1 Biologické vlastnosti	22
4.2.2 Ekologické vlastnosti	22
5. Fyzickogeografická charakteristika	23
5.1 Kokořínsko – Kostelec	23
5.1.1 Geologické a geomorfologické poměry	23
5.1.2 Klimatické podmínky	24
5.1.3 Půdy	25
5.1.4 Biogeografické poměry	26
5.2 Krkonoše	26
5.2.1 Geologické a geomorfologické poměry	26
5.2.2 Klimatické podmínky	28
5.2.3 Půdy	28
5.2.4 Biogeografické poměry	29
6. Materiál a metody	30
6.1 Volba zájmových lokalit	30
6.2 Design odběru vzorků	30

6.3	Klimatická data.....	31
6.3.1	Kokořínsko	31
6.3.2	Krkonoše	32
6.4	Polohopisná data.....	33
6.5	Kompetiční index	33
6.6	Zpracování vzorků.....	33
6.6.1	Metody použité k zjištění individual growth response.....	34
6.6.2	Metody použité k zjištění divergence phenomenon	35
7.	Výsledky.....	36
7.1	Charakteristiky chronologií	36
7.1.1	Klimatický signál chronologií	38
7.2	Individuální růstová variabilita.....	40
7.2.1	Klouzavé korelace mezi sériemi (Rbar)	40
7.2.2	Analýza hlavních komponent.....	41
7.2.3	Responder chronologie.....	49
7.2.4	Klouzavá analýza hlavních komponent.....	54
7.3	Nestabilita klimatického signálu	56
7.3.1	Klouzavé korelace chronologií s klimatem	56
7.3.2	Změna klimatického signálu na úrovni stromů	58
8.	Diskuse.....	62
8.1	Klimatický signál chronologií	62
8.2	Projevy individuální růstové variability	62
8.2.1	Individuální růstová variabilita v čase	62
8.2.2	Míra individuální růstové variability.....	63
8.2.3	Vysvětlení individuální růstové variability	64
8.3	Projevy nestability klimatického signálu.....	65
9.	Závěr.....	68
10.	Literatura	69
11.	Přílohy	77

1. Úvod

Lesy pokrývají značnou část naší planety a mají zásadní význam pro fungování řady přírodních procesů. Ovlivňují klimatické podmínky, koloběh vody, do biomasy vážou množství CO₂ a jsou též významné pro hospodářství (Durrant et al. 2016). Je proto důležité znát faktory, které produktivitu lesů ovlivňují.

Ukazuje se, že růstové reakce stromů vůči klimatu nejsou stabilní v prostoru a čase, což se projevuje různým způsobem. Tyto změny jsou všeobecně nazývány „divergence problem“ (Büntgen et al. 2009). Pod tímto výrazem v literatuře chápeme dva různé jevy (Büntgen et al. 2009). Prvním je nestabilita klimatického signálu, takzvaný „divergence phenomenon“. Projevuje tím, že v posledních desetiletích některé stromy přestávají být senzitivní k řídicí klimatické proměnné, především k teplotám a dochází buď ke změně řídicí klimatické proměnné, nebo se růst stromů stává méně sensitivní vůči klimatickému limitování. Tento jev byl zaznamenán celou řadou prací z různých lesních biomů (D'Arrigo et al. 2007). Druhým jevem je, že na některých stanovištích existují subpopulace stromů s rozdílnými růstovými trendy, tento úkaz je nazýván „individual growth response“ (Buras et al. 2018b).

Takovéto změny mohou ovlivnit příjem a ukládání uhlíku po celé planetě (Babst et al. 2014). Pakliže budou teploty vzrůstat bez adekvátního přírůstu srážek, budou lesy usychat a zpomalí se přísun uhlíku do severských lesů (D'Arrigo et al. 2004). Nestabilita klimatického signálu stromů, může tedy výrazně ovlivnit cyklus uhlíku. Pakliže se v modelech uhlíkového cyklu nezohlední změny reakce růstu lesů na klima, mohou být výsledné odhady CO₂ v atmosféře zcela chybné (Wilmking et al. 2005).

Zatím se neví, čím jsou divergence růstu stromů způsobeny a vzhledem k nevelkému množství studií ani kde všude a jak se projevují. O jejich příčinách existuje řada teorií, ale žádná z nich nebyla doposud potvrzena. Předpokládá se, že vliv mají globální faktory ovlivňující fungování fotosyntézy, jako je například nižší intenzita přímého slunečního záření dopadajícího na listy díky větším koncentracím aerosolů v atmosféře. Diskutuje se také o dopadu globální změny klimatu a většího množství UV záření typu B (D'Arrigo et al. 2007). Někteří autoři tvrdí, že vliv mají také individuální podmínky daného stanoviště či konkrétního stromu (Wilmking and Singh 2008). Mezi často uváděné faktory patří topografie terénu (Oberhuber et Kofler 2000), dostupnost vody (Tumajer et Treml 2017) a kompetiční vztahy v porostu (Buras et al. 2018a). Projevuje se patrně i dopad metodických postupů zpracování dat (Esper and Frank 2009, Friedrichs et al. 2009).

V této práci předpokládáme, že rozdílné růstové trendy v rámci porostu jsou způsobeny individuálními podmínkami jednotlivých stromů, kterými jsou kompetiční postavení stromu, topografické podmínky a velikost stromu. Testován byl také předpoklad, že růstové trendy jsou v rámci porostu prostorově autokorelované. Co se týče nestability klimatického signálu, předpokládáme, že u smrku ztepilého (rostoucího ve vyšší nadmořské výšce) bude vyšší než u borovice lesní (nížinné porosty) z důvodu snižující se limitace teplotami a vyšší expozicí vůči kyselé depozici.

Cílem je zjistit presenci a rozsah nestability klimatického signálu (divergence phenomenon) a individuální růstové variability (individual growth response) na vybraných lokalitách reprezentujících stanoviště hlavních středoevropských jehličnanů – borovice lesní a smrku ztepilého.

2. Nestabilita klimatického signálu (divergence phenomenon)

2.1 Regionální přehled

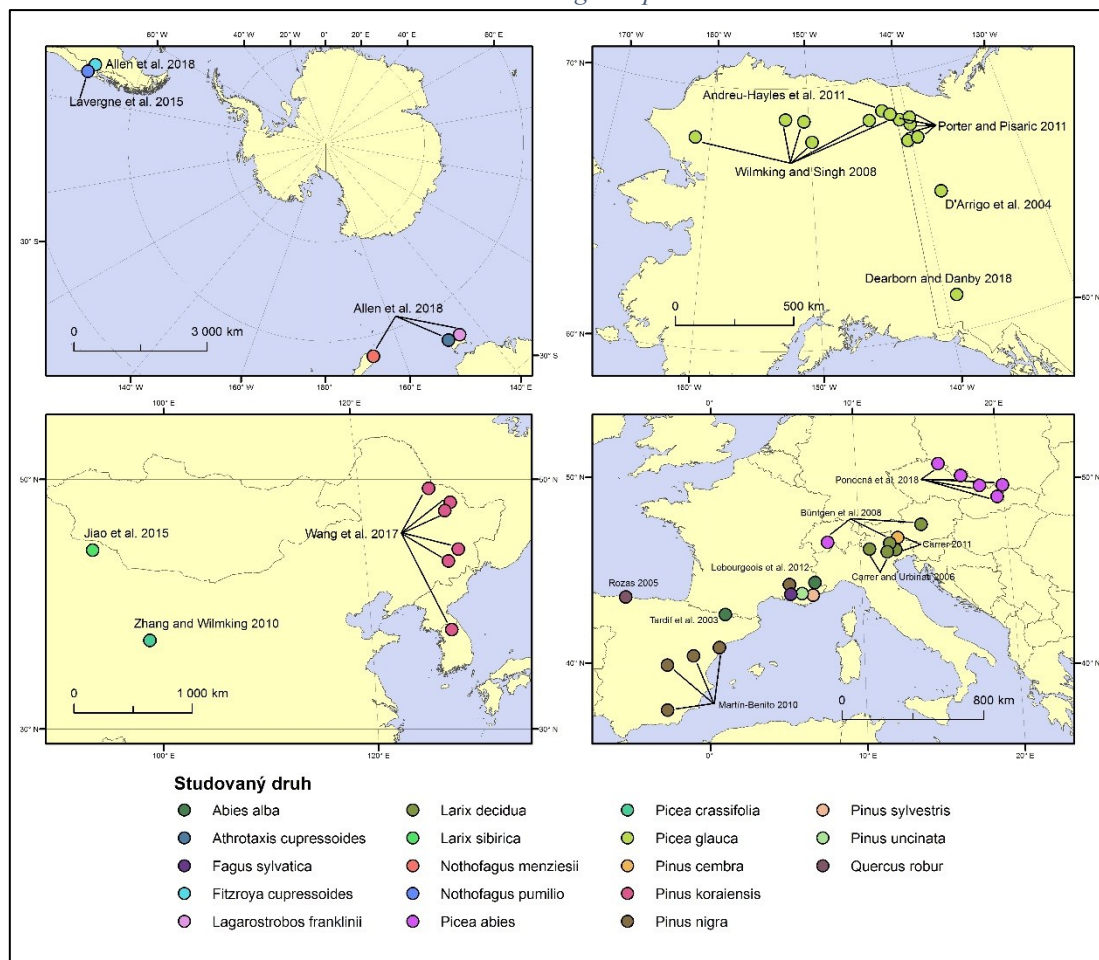
Studií zkoumajících nestabilitu klimatického signálu je dnes již celá řada a využívají širokou škálu dřevin (obrázek 1). Nejvíce studií se týká oblastí na severní polokouli, nachází se zde většina dendrochronologických pracovišť a velké rozlohy přirozeně rostoucích lesů temperátního a boreálního pásma. Velice často zkoumaným ekosystémem jsou subarktické lesy na Aljašce a v přilehlých oblastech (D'Arrigo et al. 2007, D'Arrigo 2014). Wilmking and Singh (2008) například studovali klimatický signál stromů na východozápadním gradientu přes celý aljašský poloostrov. V severozápadní části Kanady je řada zkoumaných lokalit z prací Andreu-Hayles et al. (2011) a Porter and Pisaric (2011). Jižněji pak prováděli výzkum D'Arrigo et al. (2004) a Dearborn and Danby (2018). Veškeré tyto práce zkoumaly klimatické reakce smrku sivého (*Picea glauca*).

Na asijském kontinentě se vyskytuje poměrně málo studií na téma divergence phenomenon a všechny se nacházejí na dálném východě, především na území Číny. V severní části, téměř u hranic s Mongolskem vznikla studie od autorů Jiao et al. (2015) a to na modřínu sibiřském (*Larix sibirica*). Na okraji tibetské náhorní plošiny byla v Quinghainan Mts. studována *Picea crassifolia* (Zhang and Wilmking 2010). Prostorově velmi rozsáhlou studií je práce Wang et al. (2017), která obsahuje vzorky korejské borovice (*Pinus koraiensis*) z poledníkového pásu okolo 125 ° v. z.d. na Korejském poloostrově a v SV části Číny.

Celkově nejvíce studií je koncentrováno na evropském kontinentě. Často studovanou oblastí jsou Alpy (Büntgen et al. 2008, Carrer and Urbinati 2006, Carrer 2011). Zde je předmětem zájmu především modřín opadavý (*Larix decidua*), občasně borovice limba (*Pinus cembra*) a smrk ztepilý (*Picea abies*). Hned několik prací je na Pyrenejském poloostrově (Rozas 2005, Tardif et al. 2003, Martín-Benito 2010). Ve střední Evropě vznikla práce Ponocné et al. (2018) popisující nestabilitu klimatického signálu smrku ztepilého v Sudetských pohořích a Tatrách. V JV Francii vznikla studie zabývající se reakcemi dokonce pěti druhů dřevin, jak listnatých, tak jehličnatých (Lebourgeois et al. 2012).

Na jižní polokouli je pouze omezený počet studií, z nichž ovšem jedna má poměrně značný prostorový rozsah. Allen et al. (2018) zpracovávali vzorky dvou dřevin z Tasmánie, dále pabuky na Novém Zélandu a konečně fitzroye cypřišovitě z argentinské části Patagonie. Ve stejné oblasti, ovšem na Chilské straně, byly zkoumány pabuky (*Nothofagus pumilio*) (Lavergne et al. 2015).

Obrázek 1: Rozmístění divergence phenomenon studií



2.2 Změna vazby růstu dřevin na řídicí klimatické charakteristiky

První studie zmiňující nestabilitu klimatického signálu vznikly okolo roku 1990 a poukazovaly na slabší korelační vztah letokruhů *Picea glauca* s teplotami na Aljašce. Autoři tento jev vysvětlovali tím, že globální oteplování způsobuje větší výpar, a protože srážky nepřirůstají adekvátně k teplotám, dříve teplotně limitovaná stanoviště začínají reagovat spíše na suchu (D'Arrigo et al. 2007). Po celé Aljašce jsou dokumentovány obdobné výsledky, Andreu-Hayles et al. (2011) uvádí, že letokruhy měly silný vztah k teplotám, který se po roce 1950 změnil na nesignifikantní, stejně tak D'Arrigo et al. (2004). V jihovýchodní části aljašského poloostrova bylo pozorováno rozcházení letokruhových a teplotních dat i přes zvýšení letních srážek. To je pravděpodobně způsobeno, tím, že nedostatek sněhu přes zimu a vyšší teploty na jaře způsobují suchu i přes vyšší srážkové úhrny (Dearborn and Danby 2018). Potrer and Pisaric (2011) pozorovali divergenci růstu stromů oproti klimatu už od 30. let minulého století, ale teprve od 50. let začala být skutečně výrazná. Na západě USA se aktuálně především na jižních svazích ukazuje snížení teplotní limitace růstu stromů a současné zvyšování teplot může vést ke změně řídicí proměnné na vlhkostní poměry (Salzer et al. 2014).

V Asii můžeme vidět velice podobné výsledky jako v Americe. V oblasti severovýchodní Číny a na Korejském poloostrově byly teploty vždy nejdůležitějším faktorem růstu stromů, ovšem od chvíle, kdy začaly narůstat, vztah letokruhů k nim se výrazně změnil (Wang et al. 2017). Jiao et al. (2015) uvádí, že z čistě pozitivních korelací se postupně staly nesignifikantní a v poslední době negativní, což potvrzují i Zhang, Wilmking (2010). Ti ovšem dodávají, že tento vývoj byl sice zachycen i v různých nadmořských výškách, ale ne u všech jedinců. Podle všeho začínají být po stromy v těchto oblastech důležitějším faktorem růstu srážkové poměry (Wang et al. 2017).

I na evropském kontinentě jsou dokumentovány lokality s nestabilním klimatickým signálem. Například v Alpách uvádí Carrer (2011), že pro různé věkové skupiny stromů (od mladších než 100 až po starší 350 let) v nadmořských výškách okolo 2100 m n. m. jsou teploty sice stále hlavním limitním faktorem, ale jejich vliv slábne. Poněkud v rozporu je práce Büntgen et al. (2008), kteří studovali stromy staré od 55 do 313 let z nadmořských výšek 500–2300 m n. m. po celých Alpách a nedetekovali žádné významné změny klimatického signálu. Ve středomoří a na Pyrenejském poloostrově autoři uvádí omezení růstu stromů kvůli zvyšujícím se teplotám, což umocňuje už tak panující sucha (Martín-Benito 2010). Rozas (2005) a Tardif et al. (2003) též zachytili změnu senzitivity stromů vůči klimatu. V jižní Francii se výsledky lišily dle nadmořské výšky. Všeobecně bylo hlavním limitním faktorem sucho od května do června, ovšem reakce na teploty a srážky se v čase měnila. Nejvýše položená stanoviště (1000 až 1500 m n. m.) stabilní teplotní signál, případně neprůkazné vyšší korelace. Srážky v květnu a červnu zde mívaly významný vliv, ovšem v současnosti se tato vazba vytrácí. Na lokalitách od 500 do 1000 m n. m. se naopak dubnové teploty stávají v posledních desetiletích významnější než dříve a srážky mají vliv více méně stejný (Lebourgeois et al. 2012). V 50. letech minulého století stromy v Sudetských pohořích vykazovaly slabý společný signál, pravděpodobně kvůli vyšším teplotám v červnu a červenci. Naopak ve 30., 70. a 80. letech téměř všechny lokality vykazují jasně koherentní růst, zřejmě způsobený krátkými vegetačními sezónami a kyselou depozicí v 70. a 80. letech. Zároveň se v období 1940–1960 projevuje na veškerých lokalitách vyšší růst stromů, než by se podle teplotních dat dalo očekávat a v letech 1970–1980 naopak. Tento pokles je opět způsoben imisemi síry a dusíku, což se projevovalo na vysokofrekvenční variabilitě oslabením korelací s teplotami, ovšem pouze na silně exponovaných stanovištích (Ponocná et al. 2018).

Na jižní polokouli je doposavad velice málo studií, ovšem veškeré lokality zatím vykazují obdobné reakce. V Patagonii se od roku 1952 projevuje nestabilita klimatického

signálu stromů a vzrostl význam srážek, který stále sílí (Allen et al. 2018, Lavergne et al. 2015). I na Novém Zélandu a Tasmánii se mezi lety 1950 a 1980 ukázalo rozbíhání trendů teplot a letokruhů (Allen et al. 2018).

2.3 Způsoby detekce

Pro zjišťování časové nestability vztahu mezi letokruhovými chronologiemi a klimatickými proměnnými se užívá několik hlavních metod. Jednoznačně nejčastější je použití klouzavých korelací (Porter and Pisaric 2011, Wang et al. 2017, Ponocná et al. 2018). Využívají se různé délky pohyblivého okna, přičemž obvykle bývá stanoveno na 30 let s jednoročním posunem (Allen et al. 2018, Zhang and Wilmking 2010). Některé studie též využívají korelačního vztahu, ovšem tak, že jej kalkulují pro dvě části zkoumaného období, které se nijak nepřekrývají (Allen et al. 2018). Občas se setkáváme také s použitím kovariance (Carrer 2011). Poměrně jednoduchou metodou, ovšem ne tak spolehlivou, je prosté vizuální porovnání křivek klimatu a chronologií v grafu. Je-li v nich vidět podstatný rozchod trendů, dá se předpokládat, že stromy vykazují divergenci růstu, ovšem toto posouzení je pouze subjektivní (Allen et al. 2018). Občasně používanou metodou je Kalmanův filtr. Tato statistika stanovuje model šířek letokruhů, na základě kterého, odhaduje budoucí stav a ten porovnává s klimatickými daty (Rozas 2005, Allen et al. 2018). Další variantou je kalkulace rozdílů mezi letokruhovými a klimatickými daty po jejich převedení na nulový průměr a jednotný rozptyl (Ponocná et al. 2018). Také se nabízí možnost pomocí lineárních modelů zjišťovat body změn trendu (body výrazných změn regresních koeficientů) a porovnávat je mezi klimatickými a letokruhovými daty (Ponocná et al. 2018).

2.4 Faktory vedoucí k nestabilitě klimatického signálu

V současnosti se o příčinách divergence phenomenonu moc neví a je těžké je zjišťovat, protože existuje mnoho enviromentálních proměnných ovlivňujících růst stromů. Uvádí se celá řada možných příčin, ale všechno jsou pouze návrhy, pro které sice existují určité podklady, ale potvrzeny nejsou. Často diskutovaným faktorem je takzvaný „global dimming“, který se dá definovat jako pokles množství slunečního záření dopadajícího na povrch Země, pravděpodobně způsobený změnami v atmosféře (znečištění aerosoly, více vodní páry v oblacích). Tento fenomén je pozorován přibližně posledních 50 let. Uvažuje se, že global dimming ovlivňuje vlnové délky světla, které jsou zásadní pro fungování fotosyntézy v rostlinách, a tedy má dopad na produkci biomasy. Podle dosavadních poznatků se zdá, že největší dopad má ve vysokých zeměpisných šířkách severní polokoule, kde byla nestabilita klimatického signálu stromů detekována nejčastěji (D'Arrigo et al. 2007). Vliv global dimming

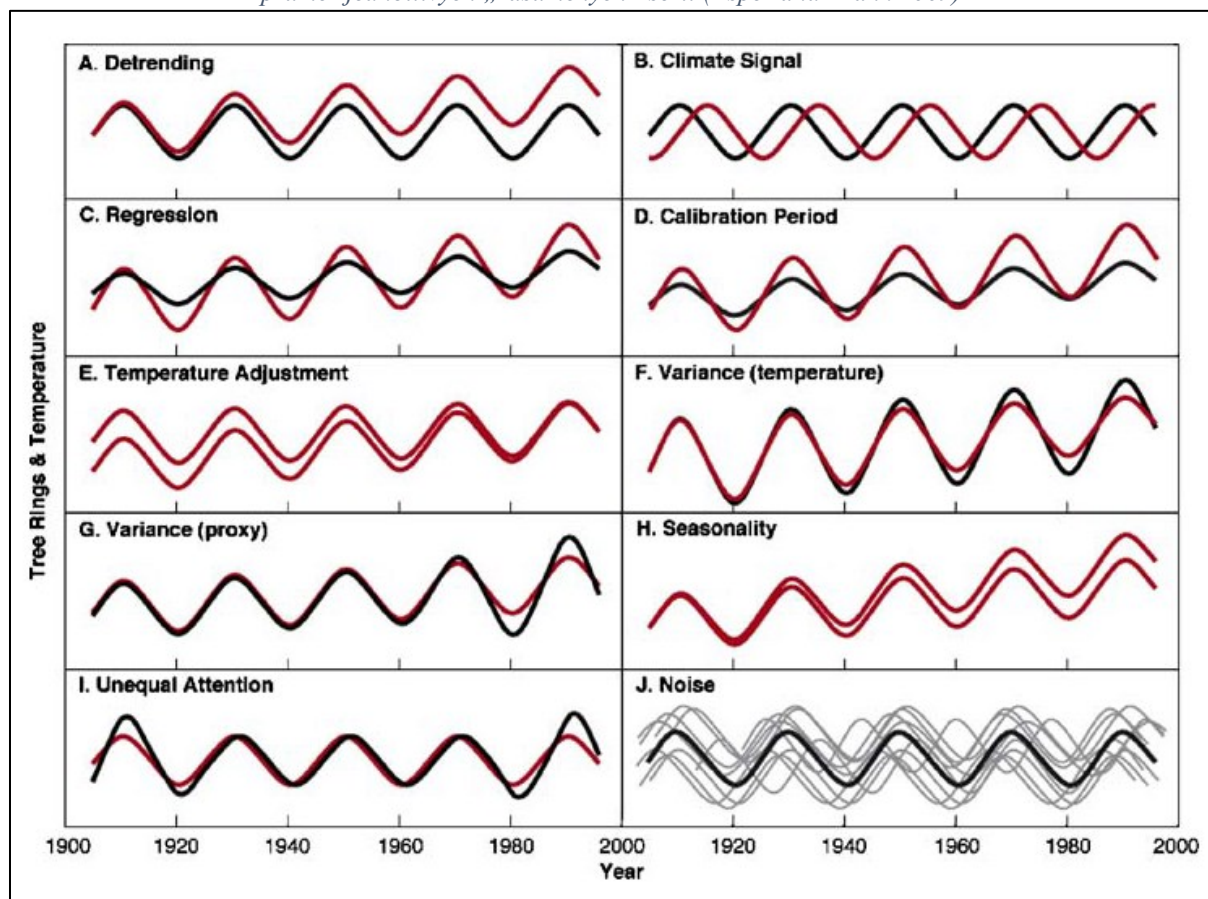
v Arktidě potvrzuje Stine et Huybers (2014), kteří navíc uvádí i negativní dopad sníženého slunečního záření v důsledku sopečných erupcí.

Současné projevy globální změny klimatu mohou také ovlivňovat fungování stromů. Mění se sezonalita klimatu, zvyšují se teploty, v některých oblastech je dřívější tání sněhu, to všechno většinou vede k většímu suchu během vegetační sezóny, což se může projevit menší tvorbou biomasy a oslabením klimatického signálu (D'Arrigo et al. 2007). D'Arrigo et al. (2014) uvádí také změny sněhové pokrývky a častější jarní mrazy, které mohou stromy poškozovat. Také délka vegetační sezóny se může v letokruhových datech projevit (Ponocná et al. 2018). Spekuluje se i o tom, že oslabení ozonové vrstvy vede ke zvýšení ultrafialového záření typu B dopadajícího na Zemi, které pravděpodobně ovlivňuje proces fotosyntézy (D'Arrigo et al. 2007).

Někteří autoři poukazují na to, že tento jev nelze vysvětlovat jedním globálním faktorem (Wilmking and Singh 2008, Büntgen et al. 2008). Zjišťuje-li se nestabilita klimatického signálu na úrovni jednotlivých stromů, ukazuje se, že zdaleka ne všichni jedinci vykazují oslabení klimatického signálu. Pravděpodobnější tedy je, že se jedná o dopad konkrétních stanovištních podmínek (Wilmking and Singh 2008). O jaké podmínky se jedná ovšem autoři neuvádí, teoreticky je možné, že divergence phenomenon je způsoben globálními faktory, ale některé stromy jim díky specifickým podmínkám odolávají.

Jsou i teorie, které tvrdí, že se jedná o výsledek metodických postupů standardizace letokruhových sérií, určení okna kalibračních a verifikačních statistik, nepřesnosti měření, „end effect“ apod. (obrázek 2) (Melvin 2004, Esper and Frank 2009). Bylo například pozorováno, že letokruhové série detrendované metodou RCS dobře kopírovaly zvyšující se teploty, zatímco série standardizované negativní exponenciálou či jinak tento trend nezachytily (D'Arrigo et al. 2006). Někteří autoři také poukazují na to, že meteorologická data, se kterými jsou chronologie porovnávány nepochází z lesního prostředí, a tedy jsou korelace slabší. Bylo by také lepší získávat informace o teplotách a vlhkosti nejen vzduchu, ale i půdy (D'Arrigo et al. 2014).

Obrázek 2: Divergence způsobené metodickými postupy či použitými daty. Černé linie označují letokruhové chronologie, červené teploty a šedé jednotlivé série. A: zatímco teploty vykazují nárůst, letokruhová data byla detrendována takže nezachycují dlouhodobé změny. B: Chronologie a teploty nevykazují společnou variabilitu. C: Chronologie byla regresována proti teplotám v celé délce. D: Chronologie byla kalibrována na aktuální části s redukovaným signálem k teplotám. E: Teplotní data byla počítána do minulosti. F: Variabilita letokruhových dat do minulosti vzrůstá. G: Variabilita letokruhových dat do současnosti vzrůstá. H: Různé sezónní průměry teplot (červen–srpen, duben–září). I: Divergence se během daného období objevuje opakovaně. J: Chronologie je průměr jednotlivých „zašuměných“ sérií (Esper and Frank 2009)



Diskutuje se také o tom, že se jedná o přirozenou reakci stromů na měnící se klima. Jsou-li stromy vestaveny silnému stresovému faktoru, zvyšuje se koherence jejich růstu. Na základě toho by stromy do současnosti limitované teplotami, měly vykazovat nižší společný signál kvůli vystavení vyšším teplotám (Ponocná et al. 2018).

Celkově se také nedá zcela vyloučit, že jde o změny způsobené antropogenní činností. Například znečišťováním atmosféry drobnými pevnými částicemi, oxidy síry, dusíku a které mohou stromům nepřímo zabraňovat v životně nutných procesech, nebo je přímo poškozovat. Různé aktivity člověka jako např. hnojení uhlíkem vedou ke zvýšeným koncentracím CO_2 , což urychluje oteplování klimatu. Zmíněný možný vliv ultrafialového záření B způsobený oslabením ozonoféry je také výsledkem lidské činnosti.

3. Individuální růstová variabilita (individual growth response)

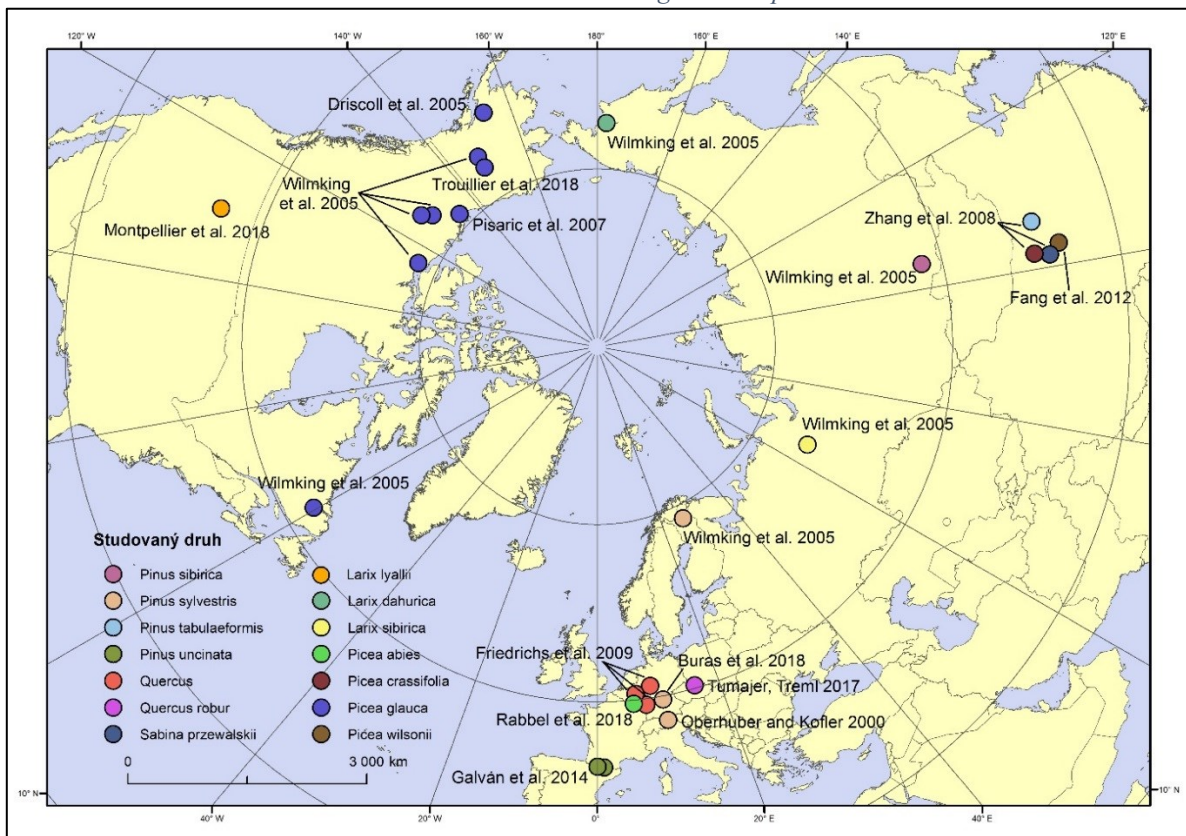
3.1 Regionální přehled

Studií zabývajících se problematikou individuální růstové variability stromů na jedné lokalitě není v současnosti mnoho a všechny jsou lokalizovány na severní polokouli (obrázek 3). Nejvíce studií je opět v Evropě, především v centrální, kde je předmětem zájmu několik hlavních dřevin. Jednak dub (Friedrichs et al. 2009, Tumajer et Tremel 2017) a pak borovice lesní (Oberhuber and Kofler 2000, Buras et al. 2018, Wilmking et al. 2005). Dále je zde práce Galván et al. (2014) studující růstové trendy borovice zobanité (*Pinus uncinata*) a Rabbel et al. (2018) zabývající se individuální variabilitou růstu smrku ztepilého v Eifelu.

Na asijském kontinentě nalzáme také celou řadu studií na toto téma. Opět na okraji tibetské náhorní plošiny vznikly hned dvě práce. Jednak Fang et al. (2012), kteří pracovali se vzorky *Picea willsonii* a druhá Zhang et al. (2008), ti zkoumali růstovou variabilitu na třech různých dřevinách. Velice často studovaným druhem je *Picea glauca* a to v Severní Americe (Pisaric et al. 2007, Trouillier et al. 2018, Driscoll et al. 2005, Wilmking et al. 2005).

Zajímavou prací je již zmiňovaný Wilmking et al. (2005), kde bylo zkoumáno pět druhů dřevin v boreálním až arktickém pásu celé severní polokoule. Od Skandinávie přes podhůří Uralu, jižní a východní Sibiř až po Aljašku, severní Kanadu až po poloostrov Labrador.

Obrázek 3: Rozmístění individual growth response studií



3.2 Rozdílné růstové trendy v porostu

Výsledky prací o IRV je poměrně nesnadné porovnávat vzhledem k velmi rozdílným metodikám a postupům jednotlivých autorů. Nicméně lze vysledovat určité podobnosti.

Na Aljašce se na některých stanovištích projevuje individual growth response existencí dvou subpopulací s rozdílnými růstovými trendy. Jedna vykazuje slabší ovlivnění teplotami směrem do současnosti, což je ve shodě s řadou prací (D'Arrigo et al. 2007) a u druhé naopak vztah k teplotám sílí (Driscoll et al. 2005, Pisaric et al. 2007). Wilmking et al. (2005) dokonce uvádí, že stromů kladně reagujících na zvyšující se teploty byla většina. S touto informací se v podstatě shoduje též Trouillier et al. (2018), kteří uvádí v současnosti slabší korelace s indexem sucha (SPEI) než dříve. Na severozápadě USA se prokázala variabilita růstu mezi modřínů (*Larix lyallii*) rostoucími na rozdílně orientovaných svazích. Zvyšující se teploty způsobují dřívější tání sněhu a prodlužují vegetační sezónu, což u stromů na severně orientovaných svazích vede k rychlejšímu růstu než dříve. Naproti tomu jedinci na jižních svazích nevykazují výraznou změnu růstu (Montpellier et al. 2018).

V severní Číně vykázaly čtyři zkoumané druhy v zásadě podobnou reakci. Naprostá většina stromů zaznamenává oslabení vztahu k teplotám a lehké posílení vlivu srážek (Fang et al. 2012, Zhang et al. 2008). Toto zjištění ovšem neplatí pro všechny jedince, u některých došlo k jasnému zvýšení korelací s teplotami (Fang et al. 2012). Zhang et al. (2008) uvádí, že série s klesajícím trendem růstu vykazují stabilnější korelace s klimatem než ty, které naopak přirůstají rychleji. Vysokofrekvenční variabilita obou těchto skupin je podobná, ale v nízkofrekvenční se evidentně rozcházejí. V severních oblastech asijského kontinentu lze také vysledovat stromy, které oslabují svůj vztah k teplotám, ovšem není jich mnoho, většina naopak reaguje kladně (Wilmking et al. 2005).

I v Evropě lze v některých lokalitách vysledovat několik skupin stromů s odlišným růstovým trendem. Rabbel et al. (2018) vyčlenili tři subpopulace dle růstu, u nichž se ukázalo, že mají odlišné vlhkostní podmínky půdy. První skupina měla během roku poměrně vyrovnaný a vysoký přísun vody do půdy. Druhá zaznamenávala maximum vlhkosti od dubna do září, v čemž se shodovala se třetí, která ovšem celkově, a především v zimních měsících, vykazovala výrazně nižší hodnoty než ostatní. Na korelacích s klimatem se tento fakt projevil tím, že stromy na vlhkých půdách (první skupina) reagovaly záporně na letní teploty, které se na populacích sušších půd neprojevíly tak negativně. Srážkové poměry mají evidentně pozitivní dopad na všechny subpopulace, první skupina sice vykazovala silnější korelace, ale rozdíly byly malé. Tumajer et Treml (2017) uvádí, že v oblasti, kde silně poklesává hladina podzemní vody stromy

reagují individuálně dle konkrétních podmínek. Stromy rozdělili podle limitace suchem a vlhkem a reakce těchto skupin se lišila. Na pokles hladiny podzemní vody reagovaly suchem limitovaní jedinci negativně, zatímco druhá skupina vykazovala nesignifikantní, či lehce pozitivní dopad.

3.3 Způsoby detekce

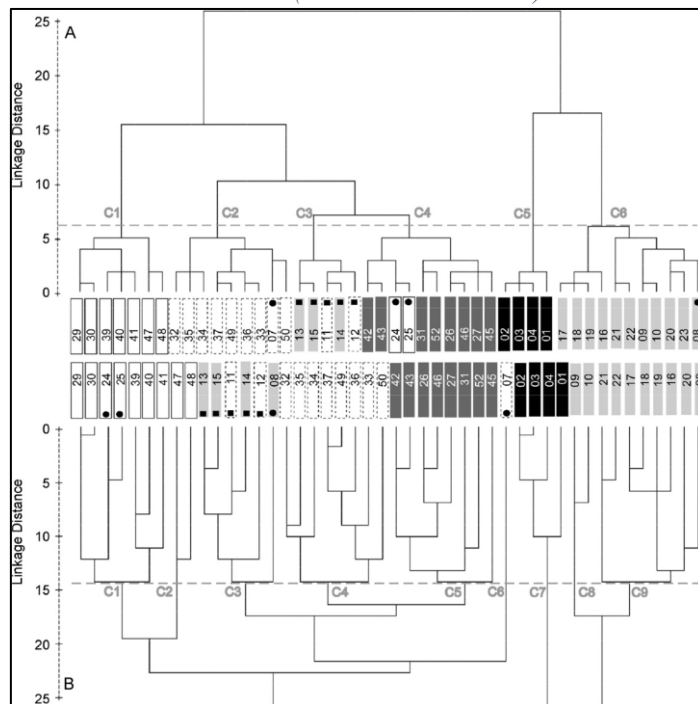
Pro rozdělení stromů do skupin s podobným růstovým trendem je celá řada způsobů. Jednou z jednodušších metod, která se ale nepoužívá příliš často je prostá lineární regrese. Každou sérii se proloží lineární křivka a na základě jejího sklonu se série rozdělí do skupin s kladným a záporným růstovým trendem (Zhang et al. 2008). Někdy se také využívá přímých korelací s klimatem. Pro každou sérii se se spočte korelace se zkoumanou klimatickou proměnnou a dle kladné či záporné reakce se dělí na skupiny (Driscoll et al. 2005). Častěji využívanou metodou je klastrování, kde je určena míra nepodobnosti a vytvořeny shluky nejpodobnějších stromů (Friedrichs et al. 2009, Rabbel et al. 2018, Wilmking et al. 2005). Zřejmě nejčastěji používanou metodou je PCA (Principal Component Analysis) s různými obměnami a specifiky (Friedrichs et al. 2009, Galván et al. 2014). Oberhuber a Kofler (2000) například spočítali PCA a následně dle korelace stromů s jednotlivými hlavními komponentami vytvářeli skupiny. Obdobně postupovali i Fang et al. (2012), kteří stromy dělili do tří shluků podle toho, jak silný vztah měly k jedné ze tří prvních PC. Další možností je spočítání korelace každého stromu s PC2 a následné rozdělení na série s pozitivní, nesignifikantní a negativní reakcí (Tumajer et Treml 2017). Analýza hlavních komponent má řadu modifikací jako je například RPCA (Rotated PCA), či PCGA (Principal Component Growth Analysis, (Buras et al. 2016)), které se také místy využívají (Fang et al. 2012, Buras et al. 2018).

3.4 Faktory vedoucí k individuální růstové variabilitě

Co se týče příčin vedoucích ke vzniku subpopulací stromů s rozdílnými růstovými trendy, existují různé názory. Někteří autoři se snaží vysvětlit tento jev topografií terénu a různými proměnnými jako je sklon či orientace svahu (Oberhuber et Kofler 2000, Montpellier et al. 2018). Důležitým faktorem růstu stromů je dostupnost vody (Rabbel et al. 2018, Tumajer et Treml 2017). Vliv má patrně zapojení porostu, stromy rostoucí v centrální části lesa mohou reagovat jinak, než stromy okrajové (Buras et al. 2018a, Buras et al. 2018b). Zřejmě důležitým faktorem je stáří jednotlivých stromů, mladí jedinci mohou vykazovat poněkud odlišný klimatický signál než starší, možná kvůli kompetičním poměrům (Carrer and Urbinati 2004). Oberhuber and Kofler (2000) uvádí, že vliv může mít také nestabilita půdy, poškození hmyzem, znečištění ovzduší či půdy a podobně. Jak se ukazuje, vliv má též metodika zpracování dat a

použité statistické postupy. Na výsledcích se projevuje způsob detrendování vzorků a při porovnání dvou postupů mohou být výsledky rozdílné (Friedrichs et al. 2009). Též metoda určení subpopulací je důležitá, jak ukazuje obrázek 4. Při porovnání výstupů dvou typů klastrových analýz můžeme vidět rozdíly a při použití PCA na stejných datech budou subpopulace opět trochu jiné (Friedrichs et al. 2009).

Obrázek 4: Vliv použité metodiky na výsledné subpopulace. A je dendrogram WA klasifikace a B je výsledkem metody LA. Barvy okolo čísel stanovišť označují skupiny rozlišené na základě PCA. Přerušované ohraničení čísel označuje podobnost mezi klastrovacími analýzami. Černé body ukazují stanoviště klasifikované mezi WA a LA rozdílně a černé čtverce identifikují stanoviště rozdílně klasifikované mezi PCA a oběma klastrovacími metodami. (Friedrichs et al. 2009)



4. Charakteristiky zkoumaných dřevin

4.1 Borovice lesní

4.1.1 Biologické vlastnosti

Borovice lesní (*Pinus sylvestris* L.) je strom středního vzrůstu, který v některých případech dosahuje výšky přes 45 m. Kmen bývá přímý a válcovitý s maximálním průměrem okolo 100 cm. Podoba borky se s časem mění. V iniciálních stádiích růstu bývá oranžově zbarvena, tenká a snadno odlupčivá, později může mít i 3 cm tloušťky a je velmi odolná. Jehlice jsou šedo zelené, vždy po dvou v jednom svazečku, délka se pohybuje od 3 do 8 cm. Zpravidla se obměňují po 2–3 letech. *Pinus sylvestris* se dožívá průměrně 300 let, ale jsou jedinci staří téměř 500 let. Dřevo borovice je poměrně křehké, většinou jasně rozdělené na jádro a běl (Úradníček a kol. 2009). V rámci svého životního cyklu během roku vyžaduje zimní periodu. Aktivovat začíná v jarních měsících, když průměrná denní teplota přesáhne 5 °C (Durrant et al. 2016). Kvůli křehkosti jejího dřeva se v zimních měsících stává vlivem sněhu či námrazy, že se zlomí její vzrostný vrchol (Úradníček a kol. 2009). Vzhledem k rozmanitým fyzickogeografickým podmínkám, které panují v rámci jejího rozsáhlého areálu, se vyvinuly různé podtypy, jež je nutné rozlišovat (Farjon a Filer 2013). Základními podtypy jsou borovice východoasijská, borovice severská a borovice kavkazská (Businský a Velebil 2011). Svoboda (1953) v rámci těchto podtypů vymezuje ještě klimatypy. Jako příklad můžeme uvést borovici skotskou, borovici baltskou, borovici karpatskou atd. Na našem území se též dají vyčlenit určité ekotypy, např. borovice třeboňská, borovice heraltická a některé další (Úradníček a kol. 2009).

4.1.2 Ekologické vlastnosti

Borovice lesní má všeobecně širokou ekologickou valenci. Výrazně limitující je pro ni pouze množství světla. Jedná se o silně světlo milnou dřevinu, proto se vyskytuje především na rozvolněných stanovištích v málo zapojených lesních porostech (Úradníček a kol. 2009). Jedná se o pionýrskou dřevinu, objevuje se v iniciálních stádiích sukcese na různě disturbovaných lokalitách (po požárech, sesuvech, těžbě). Její nenáročnost na okolní podmínky se týká i pedologických poměrů. Roste na štěrcích, píscích, skalách a jiných suchých místech, protože díky svým hlubokým kořenům se bez problémů dostává k vodě. Zároveň ji můžeme nalézt na rašeliništích, v bažinách a podobně (Businský a Velebil 2011). Přestože je schopna snášet takovéto extrémy, preferuje stanoviště s hlubokými, lehkými a dobře drenážovanými půdami. Co se týče geologických podmínek, chová se dost podobně. Borové lesy nalézáme jak na silikátech, vápnitých horninách, tak i na hadcích (Chytrý a kol. 2010). Areál jejího výskytu zasahuje do řady klimatických zón. Z toho je patrné, že dobře snáší jak nížinné, tak horské klima. Problém jí zřejmě nečiní ani vysoká amplituda teplot a celková kontinentalita klimatu

(Svoboda 1953). I když je borovice odolná vůči mnoha faktorům, ukazuje se, že špatně snáší znečištění a imisní kalamity (Úradníček a kol. 2009). Podobně negativně reaguje na slané přímořské větry (Durrant et al. 2016).

4.2 Smrk ztepilý

4.2.1 Biologické vlastnosti

Smrk ztepilý (*Picea abies* L.) je strom poměrně vysokého vzrůstu, jeho výška dosahuje v některých případech až 50 m. Kmen je přímý s maximálním průměrem okolo 1,5 m. Koruna smrku má kuželovitý tvar a je přeslenovitě větvena. Jehlice jsou čtyřhranné, leskle zelené a špičaté s délkou 1–3 cm. Borka má červenohnědou barvu, je slabá a snadno odlupčivá (Úradníček a kol. 2009). Na některých extrémních stanovištích bývá ovšem zbarvena do šeda a mívá deskovitou strukturu. Dřevo smrku je světle žlutobílé, bezjaderné a pružné. V nepříznivých podmínkách se dokáže rozmnožovat vegetativním způsobem. Všeobecně bývají smrky přibližně 650 let staré, ale v některých případech přesahuje jejich stáří 800 let (Svoboda 1953). Kořeny jsou prorostlé pouze mělce pod povrchem, což způsobuje náchylnost k vývrátům (Durrant et al. 2016). Smrk je značně proměnlivá dřevina, základními typy je smrk severský a smrk horský. V rámci těchto skupin se vydělují další klimatypy, např. smrk laponský, smrk jakutský, smrk karpatský, smrk illyrský a další. Smrky na našem území spadají pod klimatyp hercynského smrku, pod něj spadá smrk krkonošský, smrk slezský apod. (Svoboda 1953).

4.2.2 Ekologické vlastnosti

Přestože je smrk všeobecně světlomilný, vytváří hustě zapojené porosty, které spodní patra silně zastiňují. Celkově jde o nenáročnou dřevinu, z hlediska geologie a pedologie téměř nemá omezení. Bez obtíží roste na podzolech, kamenitých či těžkých půdách, všeobecně ovšem preferuje půdy písčito-hlinité (Chytrý a kol. 2010). Nároky na klima také nemá vysoké, pro svůj život potřebuje pouze dostatečnou vlhkost. Kvůli mělkému kořenovému systému se nedostane k vodě v hlubších částech půdy, proto roste na místech, kde je buď dostatek srážek, nebo jde o trvale zamokřené lokality (Úradníček a kol. 2009). Pakliže roste v bažinách, slatiništích apod. jedná se většinou o zakrslé varianty (Svoboda 1953). Citlivý je vysokým teplotám, suchu a požárům. Kvůli jeho mělkým kořenům bývá problém prudký vítr, který způsobuje vývraty, případně zlomy vzrostného vrcholu. Silně devastující jsou pro něj imise, např. SO₂ (Durrant et al. 2016). Přirozeně obsazuje horská stanoviště na svazích, případně, v podobě menších, často vlnkových stromů, lokality blízko horní hranice lesa (Chytrý a kol. 2010).

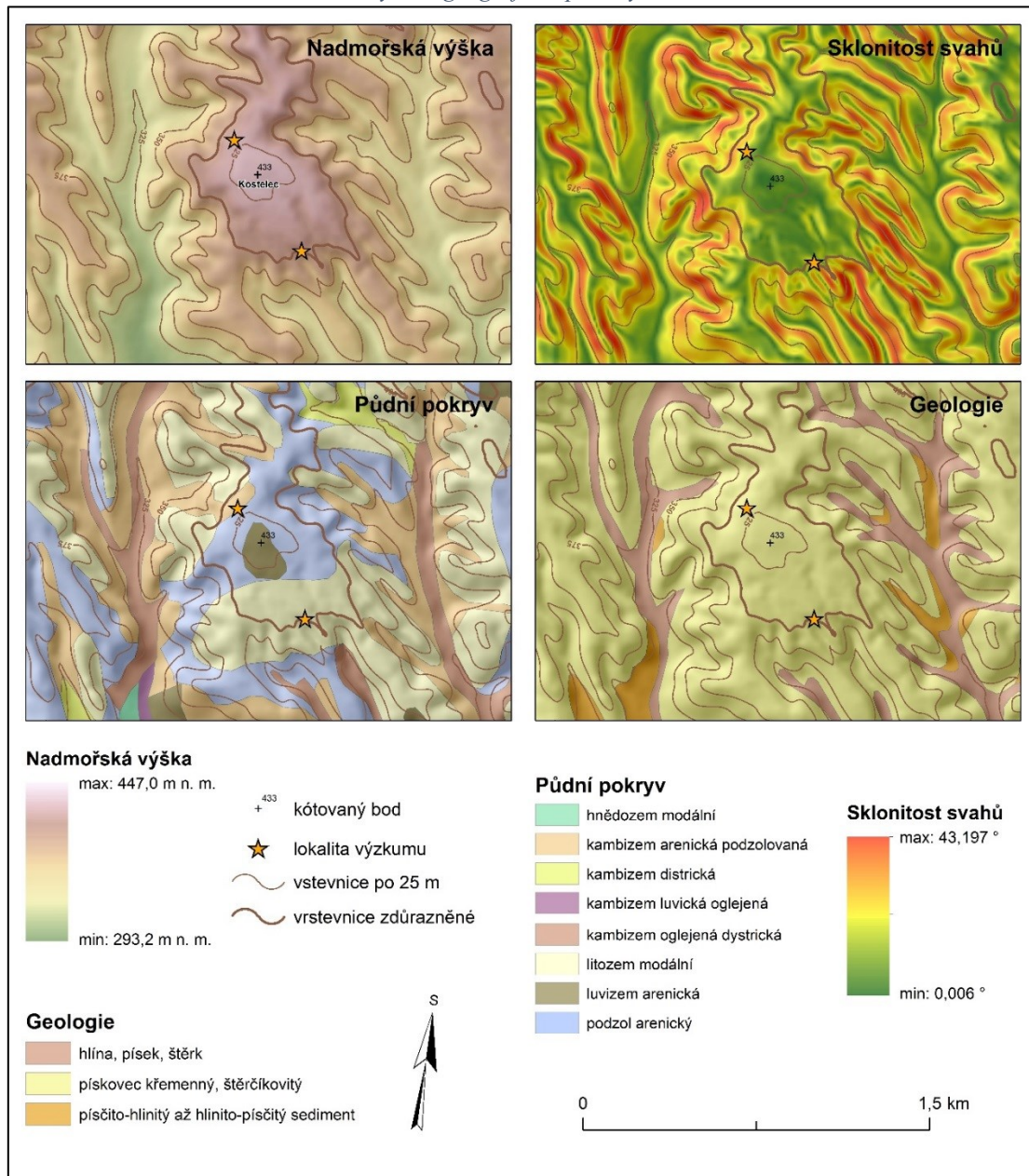
5. Fyzickogeografická charakteristika

5.1 Kokořínsko – Kostelec

5.1.1 Geologické a geomorfologické poměry

Lokality výzkumu se nachází v geomorfologickém okrsku Polomené hory na severozápadě soustavy České tabule na vrchu Kostelec. Jedná se o oblast strukturně denudačních plošin prořezanou mnoha kaňonovitými údolími a puklinami (obrázek 5) v nadmořských výškách mezi 150–620 m n. m. se středním sklonem přibližně $4^{\circ} 27'$ (Bína a Demek 2012). Reliéf je zde silně závislý na petrografickém složení hornin a stupni jejich rozpukání. Výrazně se také projevují různé suky a strukturní hřbety podmíněné menšími vulkanickými žilami a tvrdšími polohami pískovců (Adamovič a kol. 2007).

Obrázek 5: Fyzickogeografické poměry vrchu Kostelec



Strukturní plošiny vznikly v průběhu pliocénu a pleistocénu v několika stupních a místy mají ráz pedimentů. Materiál, kterým jsou tyto plošiny tvořeny jsou marinní sedimenty ze svrchní křídy, konkrétně se jedná o křemenné pískovce (na kterých leží zkoumané lokality), písčité slínovce a vápnité, případně kaolinitické pískovce zřejmě středoturonského stáří (Demek a kol. 1987). V současnosti jsou zbytky těchto plošin vázány na úzké rozvodné hřbety mezi jednotlivými údolními údolími. Eroze a denudace vedla ke vzniku husté sítě hlubokých bezodtokých údolí s převýšením okolo 100 m, která jsou predisponována zlomy a puklinami ve zmíněných sedimentech. Tato údolí začínají na horním okraji plošin jako nevýrazné úpady, do kterých se zařezává stržový úsek. Dále údolí pokračuje ve formě kaňonu s evorzními tvary a místy až deset metrů mocnou údolní akumulací vzniklou ve středním pleistocénu (Adamovič a kol. 2007).

V severní a jihovýchodní části okrsku mají výrazný vliv na reliéf vulkanické suky, které pronikly do podloží během miocénu. Jedná se především o čedičové a znělcové výplně sopečných komínů a puklin, které byly dlouhodobou denudací povrchu vypreparovány z křídového obalu pískovců, slínovců a jílu (Bína a Demek 2012). Úpatí těchto suků jsou často kryta sedimenty sutí, které sem byly transportovány sesuvy, či skalním řícením.

Během pleistocénu se zde uplatňovalo kromě vodní a větrné eroze též mrazové zvětrávání, které dalo vzniknout skalním městům. V nich je dobře patrné periglaciální skalní řízení velkých bloků, suťové akumulace při úpatí prudkých stěn apod. Z kvartérních sedimentů jsou zde především písky, štěrk, místy spraše a sprašové hlíny. V celé oblasti je řada mikrotvarů pseudokrasového typu (krápníkovité formy, jeskyně, pseudoškrapy, voštiny, pokličky, skalní mísy) (Demek a kol. 1965).

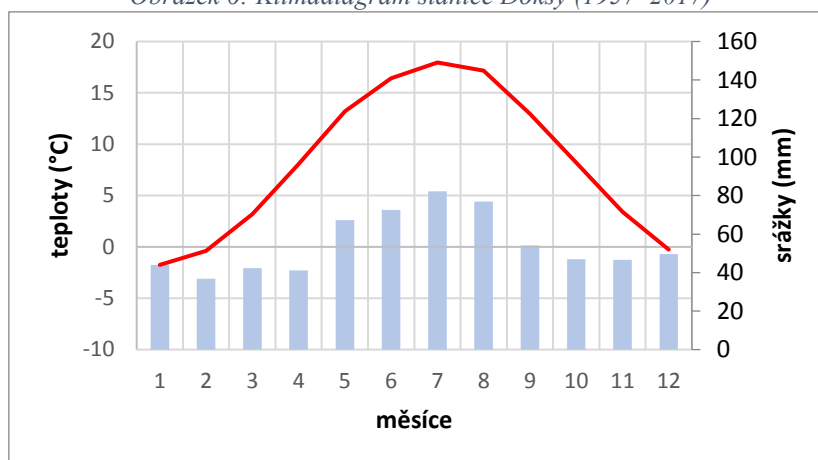
5.1.2 Klimatické podmínky

Okolí vrchu Kostelec se nachází na pomezí dvou klimatických zón. Na severovýchod od zkoumaných lokalit je zóna MT 7, která se vyznačuje dlouhým mírně suchým létem. Přejídná období jara a podzimu jsou krátká, mírná až téměř teplá. Zima zde bývá dlouhá, poměrně teplá a suchá, takže sněhová pokrývka zde nevydrží příliš dlouho. Jihozápadně převládá klima kategorie MT 9. Ta se vyznačuje dlouhým teplým a suchým létem, a naopak krátkou zimou, která ovšem poměrně mírná a často suchá s krátkou dobou sněhové pokrývky (Quitt 1971).

Srážkově se jedná o oblast mírně sušší, průměrné srážky jsou mezi 500–650 mm (Tolasz a kol. 2007, obrázek 6). V centrálních oblastech se průměrné teploty pohybují okolo 7,5 °C, na jižních, jihovýchodních a západních okrajích spíše 8,5 °C. Větry zde vanou ze všech směrů

kromě severovýchodu v podstatě rovnoměrně a jejich průměrná rychlost se pohybuje okolo 3 m/s. Ve většině případů, přibližně ze 30 % zde ovšem panuje bezvětří (Ložek a kol. 2005).

Obrázek 6: Klimadiagram stanice Doksy (1957–2017)



Vzhledem k velmi členitému reliéfu pískovců zde panuje řada různých mikroklimatických podmínek. Častým jevem je teplotní inverze v úzkých zaříznutých údolích. Studený vzduch v noci stéká do údolí, ráno a přes den se ohřívá více vzduch na hřebtech a ve výsledku jsou tedy zastíněná údolí výrazně chladnější než okolí. Celkově je rozdíl mezi centrální a částí a okraji, které jsou více vystavované slunečnímu záření a působení větru (Cílek 2007).

5.1.3 Půdy

Půdní kryt Polomených hor a celého Kokořínska je díky rozmanitým geologickým a geomorfologickým podmínkám velmi různorodý (obrázek 5). Celkově se dá rozdělit na půdy skalního pokryvu a půdy pokryvných útvarů. Půdy na skalách jsou písčité, místy až hlinitopísčité, výrazně minerálně chudé s velmi nízkým obsahem humusu (pod 2,5 %) (Ložek a kol. 2005). Konkrétně se jedná o arenické podzoly na svazích pískovcových roklí, kambizemě dystrické arenické podzolované primárně na dnech těchto roklí a dolů. Dále pak litozemě na skalních výchozech a rankerny, které se vyskytují primárně na vulkanitech (Půdní mapa 1 : 50 000). Mezi půdy pokryvných útvarů řadíme půdy na náhorních plošinách, případně mírných svazích (Ložek a kol. 2005). Typicky se jedná o hnědozemě různých typů a luvizemě arenické. V protékaných údolích se nachází polohy fluvizemí, glejů, kambizemí dystrických oglejených, případně luvických oglejených (Půdní mapa 1 : 50 000). Z obrázku 1 je patrné, že severní lokalita je v pásu kambizemí arenických podzolovaných, zatímco jižní je na čisté litozemí.

5.1.4 Biogeografické poměry

Culek a kol. (2013) řadí oblast Polomených hor do Kokořínského bioregionu. Ten zasahuje do dvou vegetačních stupňů, do suprakolinního a submontáního. Více než polovinu porostů zde tvoří lesy převážně se zastoupením borovice lesní, smrku ztepilého a břízy bělokoré. Přímo v Polomených horách se jedná především o reliktní bory s břízou na hranách skal a ve skalních městech. Přirozené bezlesí se zde vyskytuje jen maloplošně na vrcholcích skal. Na dnech roklí tvoří lesní porosty acidofilní bučiny a okolo větších toků se objevují lužní lesy. V místech, kde je podloží tvořeno sprašemi bývají dubohabřiny, které na pískovci přecházejí do acidofilních doubrav. Díky bazičtějšímu prostředí na neovulkanitech dominují květnaté bučiny. Flóra je zde celkově jednotvárná s převládajícími hercynskými druhy. Občasné se objevují druhy subatlantické, submediteránní, případně kontinentální. Podle mapy potenciální přirozené vegetace by zde měly být brusinkové borové doubravy, což se více méně shoduje s realitou (Neuhäuslová et al. 1997).

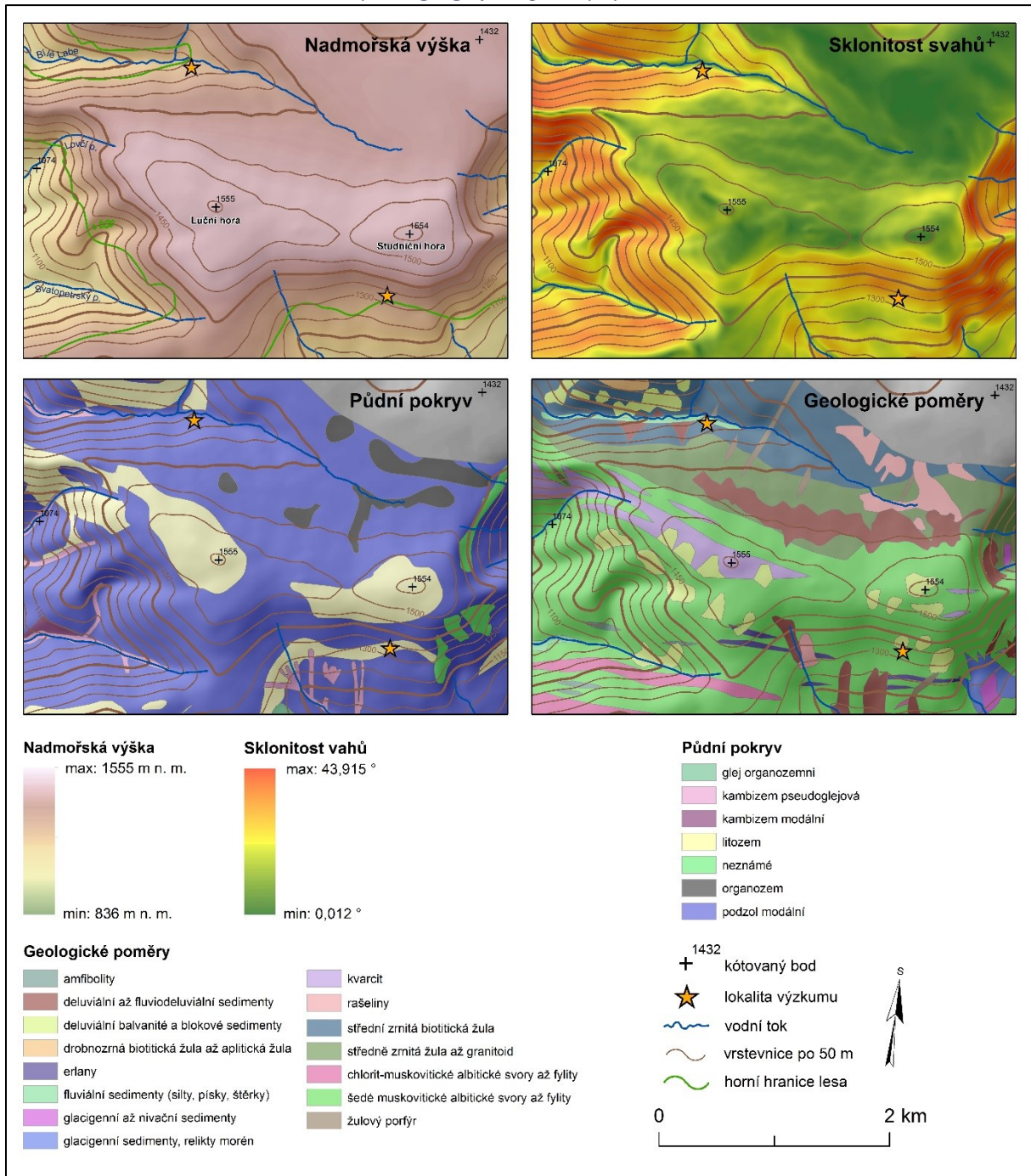
5.2 Krkonoše

5.2.1 Geologické a geomorfologické poměry

Krkonošské lokality byly umístěny ve východních Krkonoších (obrázek 7), které spadají do geomorfologického okrsku Slezský hřbet (Balatka a Kalvoda 2006). Jedná se o tektonicky vyzdviženou kernou hornatinu tvořenou horninami krkonošsko-jizerského krystalinika jako jsou granity a granodiority. Časté jsou též přeměněné horniny fylity a svory, dále kvarcity, zelené břidlice a amfibolity (Bína a Demek 2012, Geologická mapa 1 : 50 000). Z obrázku 7 je patrné, že severní lokalita v údolí Bílého Labe leží na středně zrnitých biotických žulách. Na jižní ploše v Modrém dole jsou především šedé muskovitické albitické svory až fylity.

Krkonoše byly vyvrásněny během hercynského vrásnění v karbonu. Zásadní vliv na jejich aktuální podobu měla ovšem saxonská tektonika vyvolaná alpínským vrásněním během terciéru. V té době došlo k výraznému vyzdvižení celého pohoří podél starých zlomů v západovýchodním směru (Demek a kol. 1965). Na nejvýše vyzdvižených částech ve výškách okolo 1450 m n. m. se zachoval původní denudovaný zarovnaný reliéf (Bína a Demek 2012). Třetihorní výzdvihy způsobily mimo jiné silnější erozní činnost vodních toků, které se zařizly do horninového podloží a vytvořily tak hluboká údolí s příkrými svahy. Silná eroze dala vzniknout řadě sedimentů a říčních akumulací, takže zde nyní nacházíme písky, štěrky a různé sedimenty (nivní, kamenité, případně až hlinito-kamenité).

Obrázek 7: Fyzickogeografické poměry východních Krkonoš



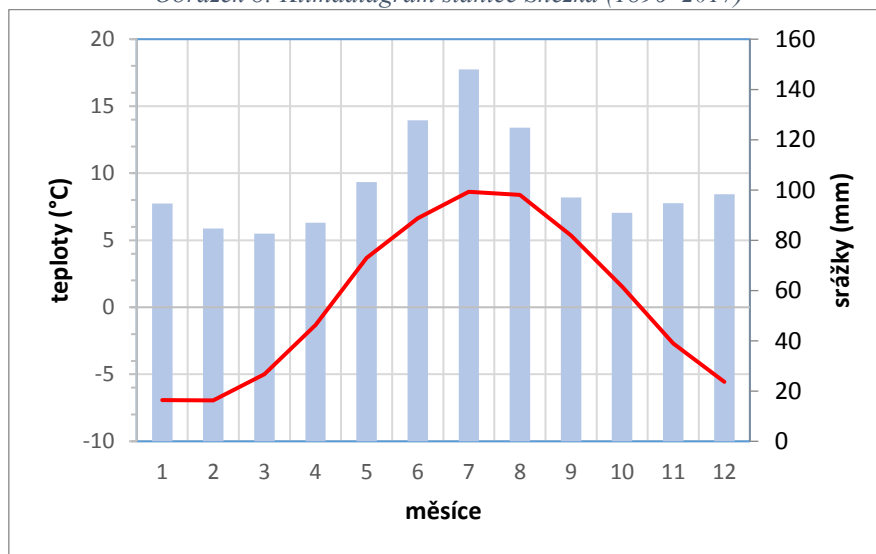
Na aktuální podobě reliéfu Krkonoš se také významně podílely glaciální a periglaciální procesy během pleistocénu. V Obřím a Labském dole byly poměrně dlouhé ledovce, které vytvořily klasické trogy a morény. Řada menších ledovců po sobě zanechala na svazích kary, případně i glacigenní jezera (Sedláček a kol. 2002). Glaciální modelace je patrná i některých vrcholech. Zatímco některé hory jsou oblé (Luční hora), jiné mají příkré svahy (Sněžka). Periglaciální zde daly vzniknout řadě geomorfologických tvarů jako strukturní půdy, nivační sníženiny, kryoplanační terasy (Fousek a kol. 2007). Typické jsou různé skalní útvary na

vrcholcích, jedná se např. o tory, mrazové sruby, skalní hradby atd. Svahy jsou často pokryté kamennými moři, nebo blokovými proudy. Na výrazně prudkých svazích jsou patrné následky v minulosti spadlých mur a lavin (Bína a Demek 2012).

5.2.2 Klimatické podmínky

Počasí je v Krkonoších vzhledem k nadmořské výšce a komplikovanému reliéfu velmi proměnlivé. Průměrné roční teploty se v nejvyšších oblastech pohybují okolo 2 až 3 °C (obrázek 8) a srážky dosahují v ročním úhrnu přibližně 1200 mm (Tolasz a kol. 2007) Quitt (1971) řadí zájmovou oblast do kategorie CH4, která je v rámci ČR nejchladnější. Je charakterizována krátkým vlhkým a chladným létem, a naopak výrazně dlouhou chladnou zimou s výraznou sněhovou pokrývkou. Ta vydrží velmi dlouho, průměrně přes sto dní v roce (Tolasz a kol. 2007) a v některých místech i celý rok. Přejídná období jsou dlouhá, přičemž jaro je chladné a podzim lehce mírnější (Quitt 1971). Významným faktorem počasí je vítr, který na vysoko položených rovinách a vrcholcích vane velmi silně a často (Fousek a kol. 2007). Významné jsou anemo-orografické systémy, které jsou zásadní pro procesy probíhající v bývalých karech (především akumulace sněhu) (Jeník 1961).

Obrázek 8: Klimadiagram stanice Sněžka (1896–2017)



5.2.3 Půdy

Vzhledem ke geologickým a klimatickým podmínkám jsou zdejší půdy všeobecně minerálně chudé a kyselé. Půdní pokryv Krkonoš je značně výškově zonální, jak zachycuje obrázek 7. V nejnižších polohách se vyskytují kambizemě, výše pak podzoly různých podtypů (litický, oglejený humózní), na kterých leží severní výzkumná plocha a rankery podzolové (Sedláček a kol. 2002). Podél vodních toků jsou nivní půdy, gleje (modální, případně zrašelinělé) a stagnogleje. Na náhorních plošinách se vyskytují organozemě ve formě vrchovišť

hlubokých 2–3 m (Potocka a Vaněk 2006). Vrchol Sněžky a přilehlé okolí pokrývají velice mělké a chudé litozemě. Ty vytváří v Modrém dole pás okolo 1300 m n. m., ve kterém se nachází jižní výzkumná lokalita (Půdní mapa 1 : 50 000, Fousek a kol. 2007).

5.2.4 Biogeografické poměry

V krkonošském bioregionu se vyskytují výškové vegetační stupně od submontánního až po alpský a vegetace je zde tedy poměrně rozmanitá. V nižších polohách jsou potenciálně smíšené lesy, především květnaté a klenové bučiny, ovšem ve skutečnosti jsou zde spíše smrkové monokultury (Culek a kol. 2013). Podle mapy potenciální přirozené vegetace navazuje patro se smrkovými bučinami a dále ve vyšších nadmořských výškách přirozené třtinové smrčiny (Neuhäuslová et al. 1997). Nad horní hranicí lesa, tedy ve výškách nad cca 1250 m n. m. se vyskytuje pásmo kosodřeviny, které přechází do primárního bezlesí arкто-alpské tundry (Sedláček a kol. 2002). Ta se dá na základě geomorfologie, klimatu a ekosystémů rozdělit do několika zón. První je kryo-eolická zóna, která je charakteristická mrazovými sruby, tory, kamennými moři, girlandovými stupni a sporou subarktickou vegetací v nejvyšších částech pohorí. Druhou oblastí je kryo-vegetační, ta je velice chladná a silně dotovaná srážkami. Typické jsou vysoko položené zarovnané povrchy se zbytky zvětralinového pláště. Vyskytují se zde segregační polygonální struktury, soliflukční fenomény a chudá severská vegetace se subarktickými mokřady. Poslední zónou je niveo-glacigenní, kde jsou typické ledovcové kary, nivační deprese a sněžníky na závětrných svazích, kde jsou časté laviny a mury. Vegetace je velmi různorodá, tvořená mechy, lišejníky, travinami a křovinami či vysokostébelnými rostlinami (Soukupová a kol. 1995). Podél vodních toků rostou v Krkonoších různá nivní společenstva a někdy rašelinné smrčiny. Vyskytují se zde především druhy hercynsko-karpatské, ale také řada exklávních rostlin arкто-alpských, čímž jsou Krkonoše výjimečné. Některé alpské druhy zde dokonce dosahují severní hranice svého rozšíření (Culek a kol. 2013).

6. Materiál a metody

6.1 Volba zájmových lokalit

K odběru vzorků borovice lesní a smrku ztepilého byly vybrány dvě oblasti v rámci ČR s přirozeným výskytem těchto dřevin. Pro každou z těchto dřevin byly vytyčeny dvě plochy, jedna na severně a druhá na jižně orientovaném svahu. Plochy byly voleny tak, aby měly heterogenní topografii a zároveň, aby zachycovaly přirozený porost daných jehličnanů.

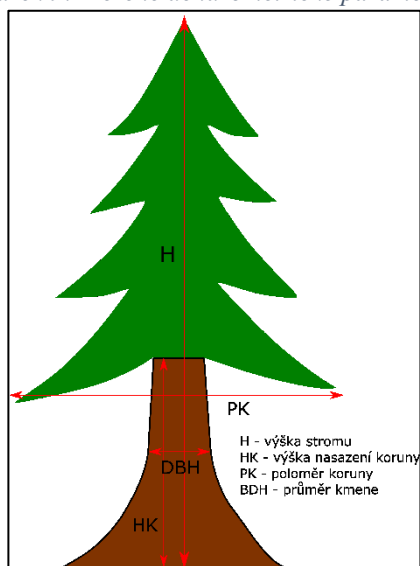
Borovice lesní byla vzorkována v lokalitě PR Kostelecké bory v severní části CHKO Kokořínsko. Zdejší borové porosty jsou patrně staroholocenní relikty (Ložek a kol. 2005), které ani dnes nejsou silně zasaženy lidskou činností.

Zájmové plochy smrku ztepilého se nacházejí v NP Krkonoše. Jižně orientovaná plocha je v Modrém dole na svahu Studniční hory a severní plocha byla vytyčena v Údolí Bílého Labe. I zde se jedná o člověkem dlouhodobě málo ovlivňované lokality, kde probíhají přírodní procesy v přirozené formě.

6.2 Design odběru vzorků

V rámci každé plochy byly vzorkovány veškeré stromy, které měly průměr kmene přes 10 cm a nebyly nijak silně poškozené (zlomy, rozdvojení, silná defoliace). U každého stromu byly změřeny základní dendrometrické parametry (obrázek 9). Pomocí sklonoměru byla měřena výška stromu a výška nasazení koruny, přesnost této metody je přibližně 0,5 m. Ve výšce přibližně jednoho metru byl změřen průměr kmene (DBH = diameter at breast height). Posledním dendrometrickým parametrem byl poloměr koruny. Ten byl počítán jako průměr délek nejdelší živé větve a větve protilehlé.

Obrázek 9: Měřené dendrometrické parametry



Dále byla poloha každého stromu přesně zaměřena pomocí totální stanice Leica v lokálních souřadnicích. Rohy plochy a několik vybraných stromů byly lokalizovány GPS Trimble, která po korekcích dosahuje polohové přesnosti 10 cm.

Za účelem kalkulace kompetičního statutu stromů, byly zaměřeny též polohy veškerých sousedních stromů pro každý vzorkovaný strom (jiné druhy, souše, jedinci s nízkým průměrem, či zlomem). Stejně tak byly zaměřeny stromy v pět metrů širokém pásu okolo zkoumané plochy. U veškerých těchto jedinců bylo též změřeno DBH (obrázek 46 v příloze).

Z každého stromu byly kolmo na podélnou osu kmene odebrány dva na sebe kolmé vrty, jeden v jižním a druhý ve východním směru. Pakliže byl vývrt nějakým způsobem narušen (např. hnilobou), byl odebrán nový, případně byl strom zcela vynechán. Vývrty byly odebírány Presslerovým přírůstovým nebozezem o průměru 5 mm, přibližně ve výšce 1,3 m nad bází kmene. Odebrané vrty byly uloženy do desek, kde byly ponechány, aby vyschly.

Severní plocha v lokalitě Kosteleckých borů byla vzorkována v říjnu roku 2017. Veškeré ostatní měření a vzorkování probíhalo od června do října 2018. Celkové počty vzorkovaných a kompetičních stromů jsou uvedeny v tabulce 1.

Tabulka 1: Počty zkoumaných stromů

Lokalita	Vrtané stromy	Stromy pro výpočet kompetičního indexu
Kostelec Sever (KOS)	65	43
Kostelec Jih (KOJ)	61	31
Krkonoše Sever (BL)	42	68
Krkonoše Jih (MD)	43	75
Celkem	211	217

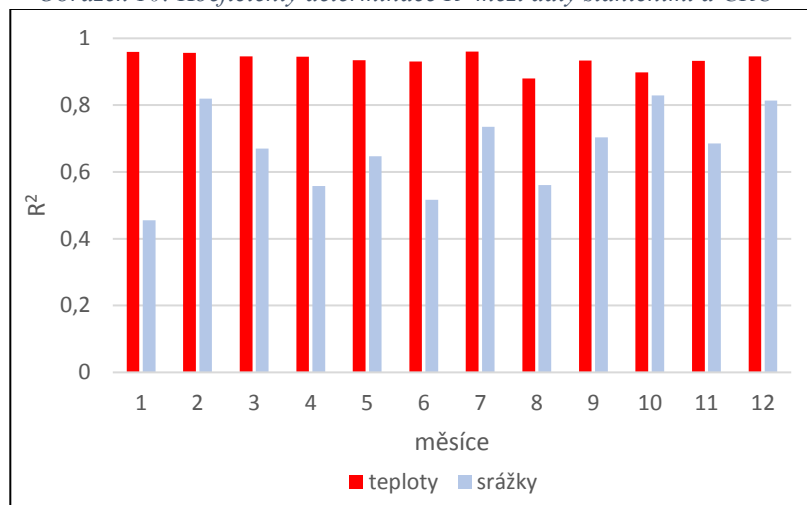
6.3 Klimatická data

6.3.1 Kokořínsko

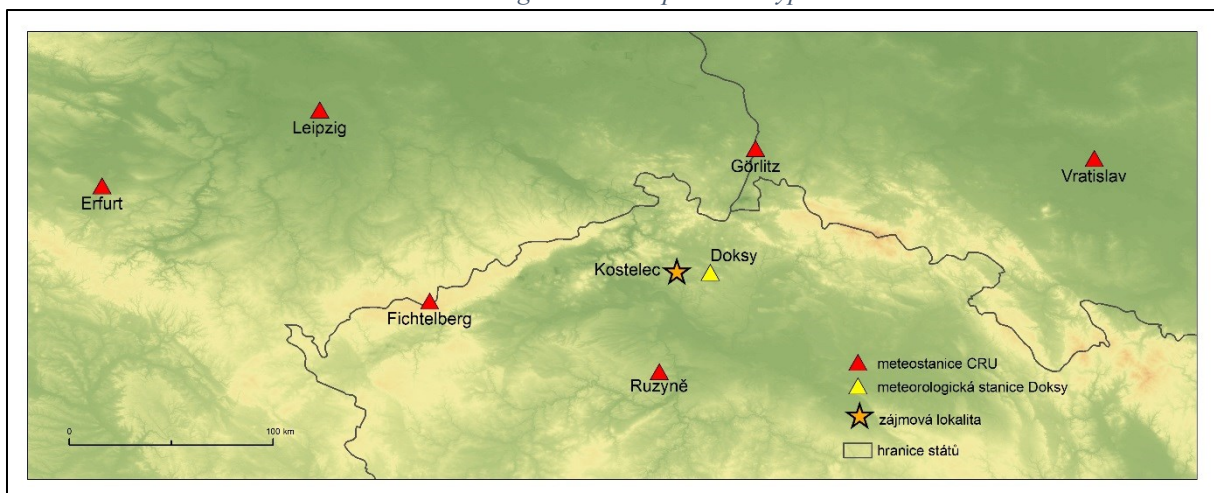
Nejbližší meteorologická stanice zájmové lokalitě Kosteleckých borů je v Doksech, kde je k dispozici teplotní i srážková řada od roku 1961. Od ČHMÚ byly tyto řady zakoupeny v podobě měsíčních průměrných hodnot. Vzhledem k tomu, že má tato řada celkově pouze 56 let, bylo potřeba ji prodloužit. K tomu byla použita klimatická data stažená z Climatic Research Unit (CRU TS 3.1) (Mitchell and Jones 2005). Tato data jsou v síti 0,5° dostupná pro celý svět a jsou získávána interpolací z meteorologických stanic. Pomocí aplikace KNMI Climate

Explorer (<https://climexp.knmi.nl/start.cgi>) byly získány klimatické řady teplot, srážek za roky 1901–2016 pro okno 13° 30′–14° a 49° 50′–50°. Pomocí regresního modelu byly staniční data z Doks prodloužena do minulosti až do roku 1901 (obrázek 10), kdy byl počet stanic, z nichž byla gridová data interpolována, dostatečný (obrázek 11). Jako index sucha byl použit SPEI (Standardised Precipitation-Evapotranspiration Index), který byl spočítán z měsíčních průměrných teplot a srážek v programu R Studio (R Core Team 2018) s doplňujícím balíkem SPEI (Vicente-Serrano et al. 2010).

Obrázek 10: Koefficienty determinace R^2 mezi daty staničními a CRU



Obrázek 11: Meteorologické stanice použité k výpočtu dat CRU



6.3.2 Krkonoše

Za Krkonoše byla použita klimatická data ze stanice Sněžka polského hydrometeorologického ústavu. Srážková řada je zde k dispozici v rozsahu 1889–2006 s devítiletou pauzou mezi lety 1986 až 1994. Tato proluka byla zaplněna regresí na základě dat ze Szrenicze. Konec této řady do roku 2017 byl doplněn daty z <http://www.meteomanz.com/sy4?l=1&ind=12510&y1=2000>. Teplotní data polského HMÚ

byla k dispozici od roku 1882 do 2013. Konec řady byl opět převzat ze stránek meteomanz.com. Z těchto dat byly opět stejným způsobem vypočteny měsíční hodnoty SPEI.

6.4 Polohopisná data

Lokální souřadnice poloh stromů byly usazeny do geografického systému pomocí nástroje Spatial Adjustment v programu ArcMap 10.5.1 na základě bodů zaměřených přesnou GPS Trimble. Digitální model reliéfu pro veškeré plochy byl vytvořen z dat leteckého laserového skenování DMR 5. generace (poskytovaného ČÚZK) funkcí Topo to Raster. U krkonošských lokality byl výsledný rastr shlazen medián filtrem kvůli přílišné přesnosti. Na základě takto vytvořeného DMR byl spočten TWI (Topographic Wetness Index) a funkcí Zonal statistics as Table byla každému stromu přisouzena jeho hodnota (obrázek 48 v příloze).

6.5 Kompetiční index

Na základě práce Contreras et al. (2011) byl k výpočtu kompetičního indexu stromů použit vzdálenostně závislý index, který poprvé publikoval Hegyi (1974). Tento index je definován vzorcem:

$$CI_i = \sum_{j=1}^{N_i} \frac{d_j}{d_i} \frac{1}{D_{ij}}$$

Kde N_i označuje počet stromů v zadaném okruhu, v tomto případě pěti metrů. d_i je DBH počítaného stromu, d_j odpovídá DBH kompetitoru a D_{ij} je vzdálenost obou stromů. K výpočtu tohoto indexu byl vytvořen script v programu Python. Výsledky zachycuje obrázek 47 v příloze.

6.6 Zpracování vzorků

Pořízené vývrty byly v deskách ponechány přibližně po dobu jednoho týdne. Následně byly vzorky nalepeny na dřevěné lišty tak, aby odpovídaly pozici ve stromu, tedy příčnému řezu. Dalším krokem bylo jejich zbroušení. To bylo nejdříve prováděno na pásové brusce brusnými papíry se zrnitostí 80 až po jemnější 320. Ručně byly nakonec veškeré vzorky zbroušeny velmi jemným papírem se zrnitostí 600, díky čemuž byly jasně rozeznatelné i velmi úzké letokruhy.

Takto připravené vrty byly naskenovány s vysokým rozlišením 1200 dpi. Šířky letokruhů byly následně měřeny pomocí programu WinDENDRO Density 2009b (Regent Instruments Inc 2011). Automaticky detekované letokruhy byly vizuálně ověřeny a v případě nutnosti opraveny. Takto vznikly křivky šířek letokruhů veškerých vzorků, které ovšem ještě

nebyly jasně datovány. Ke křížovému datování jednotlivých sérií byl použit program PAST 4 (Knibbe 2004).

Veškeré letokruhové série byly dále v programu R (R Core Team 2018) s doplňujícím balíkem dplR (Bunn 2008) oříznuty na rok 2017. Následně byly vždy jižní a východní vrt každého stromu zprůměrovány, aby se omezil vliv variability růstu v rámci stromu. Výsledné série byly standardizovány kvůli odstranění věkového trendu (Cook and Kariukstis 1990). Pro detrendování byla použita metoda spline s délkou okna 70 let a letokruhové indexy byly počítány jako poměry. Pro spočtení chronologií byl použit robustní průměr, který odstraní odlehlé hodnoty. Pro každou studovanou lokalitu vznikly dvě letokruhové chronologie, jedna standardní a druhá reziduální, tedy s odstraněnou autokorelací (Fritts 1976).

6.6.1 Metody použité k zjištění individual growth response

Pro zjištění shodnosti průběhu jednotlivých sérií navzájem byly v programu R (R Core Team 2018) spočteny hodnoty klouzavé vícenásobné korelace (R_{bar}) a to v 30letém okně s překryvem jednoho roku. Tato statistika je počítána jako průměrná korelace mezi veškerými sériemi v zadaném časovém okně. Díky klouzavým hodnotám se jedná o dobrý ukazatel společného signálu sérií, a tedy i síly chronologie v čase. Nutno podotknout, že R_{bar} je silně závislý na množství sérií v dané roce (Speer 2010).

Dále byl z detrendovaných sérií vybrán interval na všech lokalitách pokrytý dostatečným množstvím sérií (1978–2017). Na tomto intervalu byla spočtena analýza hlavních komponent (PCA) pro každou lokalitu zvlášť. Výsledné z-skóry jednotlivých stromů na prvních čtyřech hlavních komponentách byly korelovány s DBH, kompetičním indexem (CI) a TWI. První čtyři komponenty byly následně pomocí doplňujícího balíku treeclim (Zang and Biondi 2015) v R korelovány s klimatickými proměnnými (průměrné měsíční teploty, měsíční sumy srážek a měsíční hodnoty SPEI) od června předešlého roku do září aktuálního.

Pro jednotlivé stromy byly dále spočteny korelace s PC2, na základě toho byly rozděleny do tří kategorií podle reakce (pozitivní, nesignifikantní, negativní). Ze sérií se stejnou reakcí byly poté vytvořeny „responder chronologie“ (Tumajer et Tremel 2017), které byly dále opět korelovány s klimatem. Mimo to byly rozdíly v hodnotách DBH, TWI a CI stromů tvořících jednotlivé responder chronologie testovány pomocí analýzy variance (ANOVA).

Následně byl ze sérií vyňat delší společný interval 1936–2017 charakterizován dostatkem stromů na všech lokalitách, pro který byla počítána klouzavá PCA ve 30letých

oknech s posunem jednoho roku. Zde byl zjišťován trend v množství vysvětlené variability na prvních čtyřech komponentách.

Pro zjištění prostorové autokorelace stromů, byla v ArcMap každému stromu přiřazena jeho korelace s PC1–4. Na těchto datech bylo spočteno Moranovo I (Anselin 2005) a jeho p-hodnota.

6.6.2 Metody použité k zjištění divergence phenomenon

Pro stanovení vztahu letokruhů a klimatu byly mezi stanovištními standardními chronologiemi a klimatickými proměnnými spočteny hodnoty klouzavých korelací v 35letém okně s posunem jednoho roku. Z chronologií byly vybrány části, které dosahovaly EPS nad 0,85 a klimatické proměnné byly teploty, srážky a index sucha SPEI. Korelace byly počítány od května předchozího roku do září aktuálního pomocí DendroClim 2002 (Biondi and Waikul 2004) Pro lokalitu Bílé Labe byly zjišťovány korelace v období 1911–2017, pro Modrý důl 1895–2017 a u kosteleckých stanovišť v okně 1902–2017.

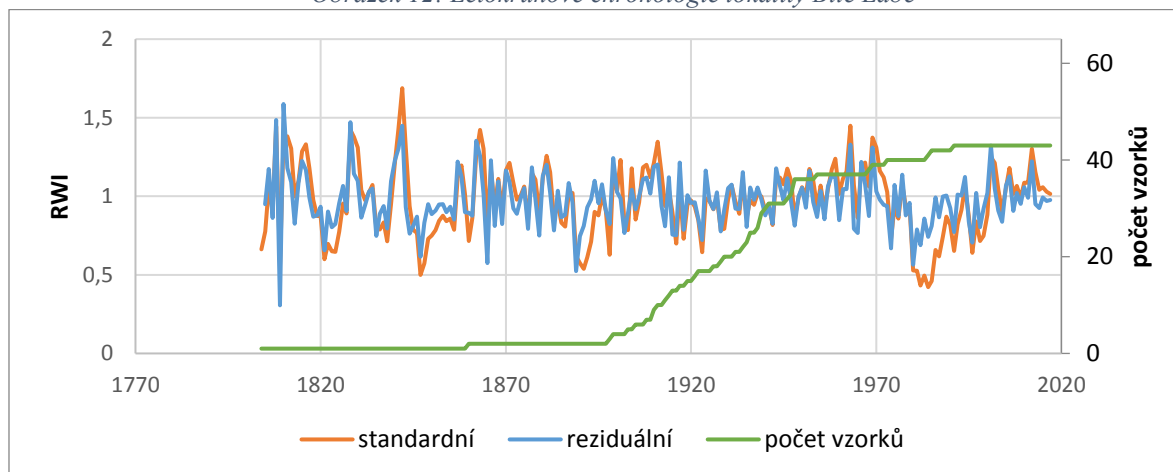
Z detrendovaných sérií byly následně vybrány dva intervaly po 22 letech (1996–2017 a 1974–1995) zajišťující dobré pokrytí velkým počtem stromů. Pakliže určitý strom nepokrýval celé okno jednoho intervalu, byl vyčleněn z obou. Následně byly na úrovni každého stromu vypočteny korelační koeficienty se srážkami, teplotami a SPEI od předešlého května do aktuálního září. Korelační koeficienty byly párovým t-testem porovnávány mezi oběma časovými intervaly.

7. Výsledky

7.1 Charakteristiky chronologií

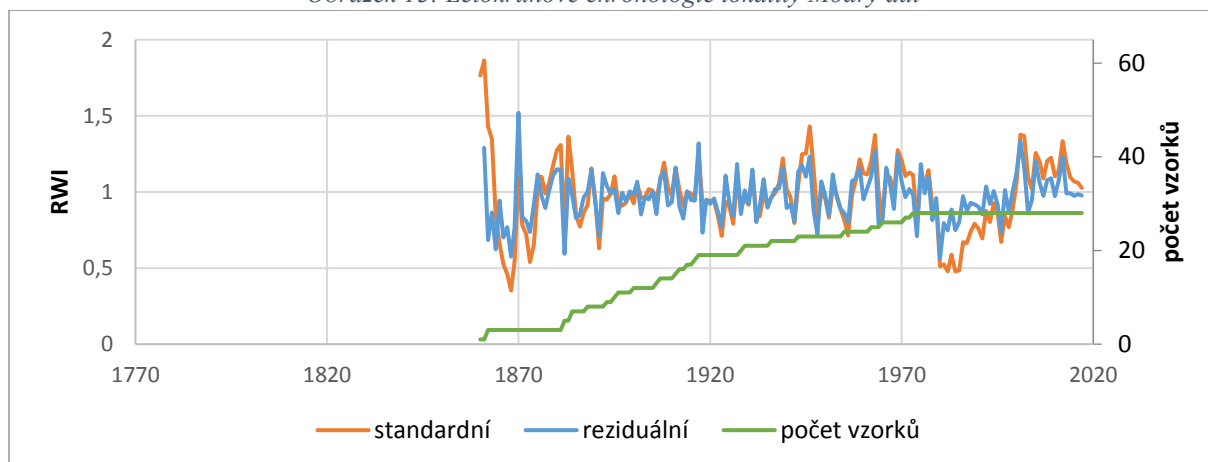
Letokruhová chronologie smrku z Údolí Bílého Labe je podle EPS spolehlivá až od roku 1920. Ve druhé polovině zachycují indexy několik výrazných signatur. Jako pozitivní se projeví roky 1963 a 1969, negativní dopad měly roky 1923, 1965 a 1974. V 80. letech minulého století zachycují obě varianty (standardní především) silnou růstovou depresi. Od roku cca 2000 jsou letokruhy opět okolo průměru. Z obrázku 12 je vidět, že na lokalitě se vyskytuje jen malé množství starých jedinců a až od roku 1900 počet stromů plynule stoupá. Průměrně jsou šířky letokruhů smrkových lokalit okolo 1,4 mm, což je přibližně dvakrát více než u borových (tabulka 2).

Obrázek 12: Letokruhové chronologie lokality Bílé Labe



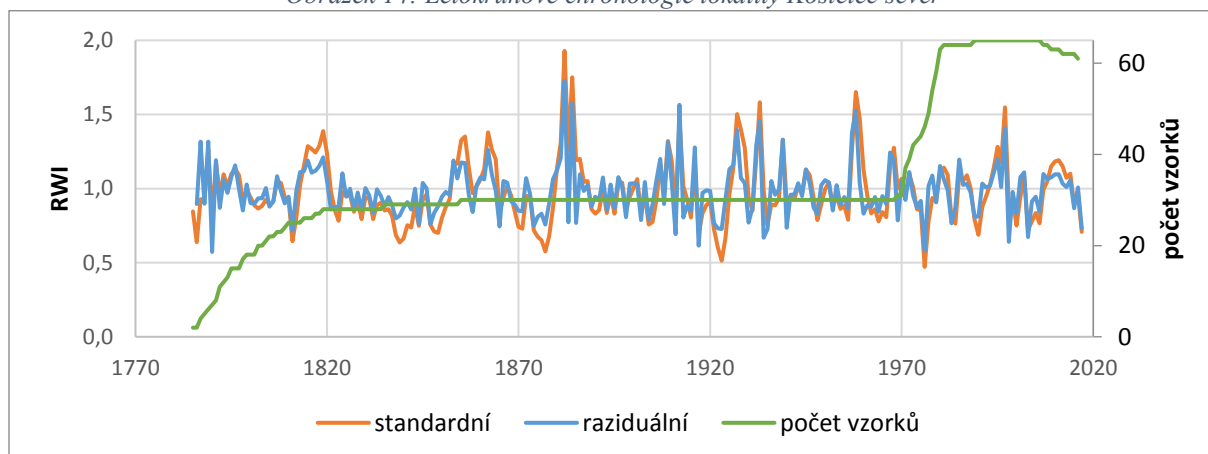
Chronologie z Modrého dolu jsou nejkratší ze všech zkoumaných lokalit, první letokruh je zaznamenán teprve v roce 1860, EPS se dostává nad hranici 0,85 v roce 1910. Všeobecně je průběh chronologií velmi podobný s těmi z Bílého Labe. Do 40. let minulého století jsou letokruhové indexy charakterizovány variabilitou bez výrazných extrémů a poté se objevují signatury, které lze vysledovat na obou krkonošských stanovištích (+ 1946, 1963, 2002, - 1923, 1942, 1965, 1974). Negativní signaturou, která se ovšem v Bílém Labi neprojevila je rok 1956 (obrázek 13). Období již zmiňovaných 80. let je charakteristické velmi úzkými letokruhy. I zde je vidět, že od začátku tisíciletí se stromy vrátily k normálu. Modrý důl je lokalita s nejmenším počtem zastoupených stromů, jejichž zastoupení směrem do minulosti plynule klesá.

Obrázek 13: Letokruhové chronologie lokality Modrý důl



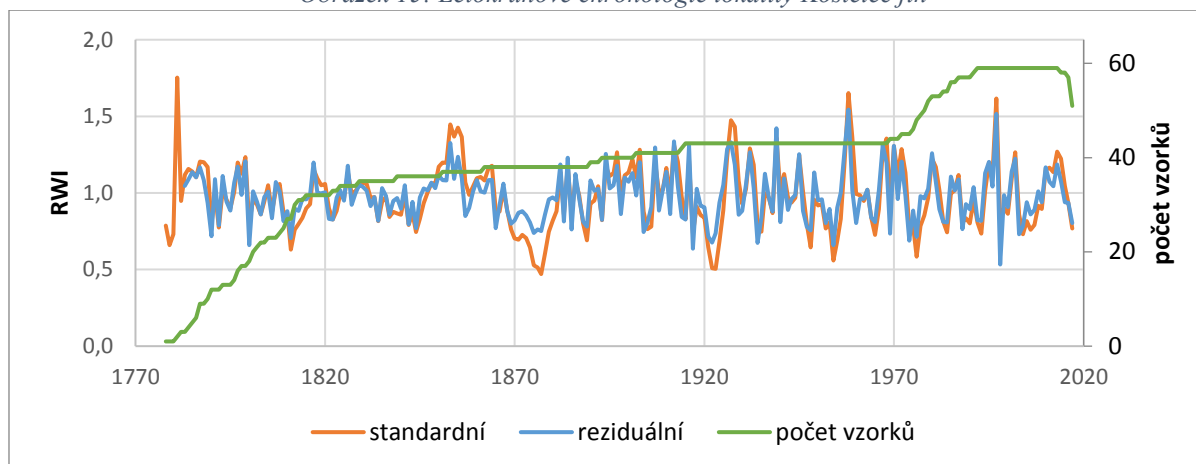
Z obrázku 14 je patrné, že na kostelecké severní lokalitě jsou dvě věkové skupiny stromů. Jednak staré borovice sahající až do roku 1785 a pak mladí jedinci, kteří se zde etablovali v 70. letech 20. století. Obě borové chronologie jsou kvalitní a spolehlivé již od roku 1830. Nejvýraznějšími signaturami jsou roky 1882 a 1884, které jižní lokalita naopak nijak nezachycuje. Další můžeme uvést 1856, 1862, 1912, 1927, 1933, 1958 a 1997. Z negativních signatur jsou výrazné 1839, 1877, 1923, 1976 a 1998. Jak je patrné z tabulky 2, severní lokalita vykazuje průměrně větší šířky letokruhů než jižní, přibližně 0,7 mm. Co se týče meziroční variability letokruhů (mean sensitivity) jsou všechna stanoviště srovnatelná (tabulka 2).

Obrázek 14: Letokruhové chronologie lokality Kostelec sever



U jižní lokality Kostelce je patrné rovnoměrnější zastoupení stáří stromů i když i zde je od 70. let minulého století patrný nárůst počtu jedinců (obrázek 15). Na rozdíl od severní plochy, kde nebyly patrné žádné dlouhodobé propady šířek letokruhů, zde je v 70. letech 19. století vidět výrazný pokles s minimem v roce 1877. Ten zaregistrovaly i stromy na severní ploše, ovšem ne tak markantně. Ve většině pointer years se obě lokality shodují, kladné 1856, 1927, 1958, 1997 a záporné 1923, 1976, 1998.

Obrázek 15: Letokruhové chronologie lokality Kostelec jih



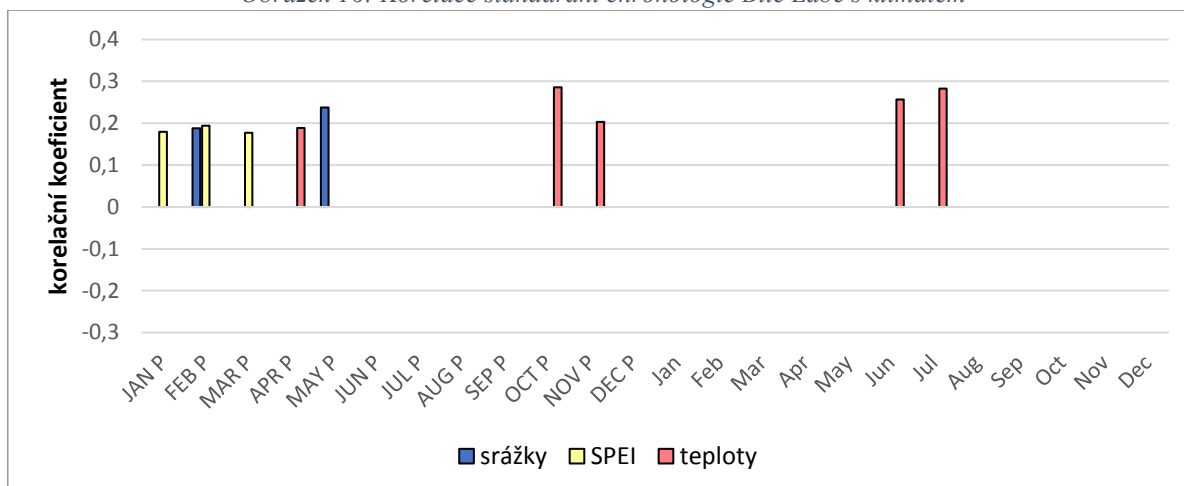
Tabulka 2: Popisné statistiky chronologií

	Průměrná šířka letokruhu (mm)	Směrodatná odchylka (mm)	Mean sensitivity
KOJ st	0,5505	0,3015	0,1633
KOJ res	0,5080	0,1272	0,2146
KOS st	0,7684	0,4605	0,1564
KOS res	0,6975	0,2240	0,2183
BL st	1,4909	0,5243	0,1607
BL res	1,4111	0,4103	0,2211
MD st	1,4222	0,5077	0,1615
MD res	1,3398	0,2719	0,1976

7.1.1 Klimatický signál chronologií

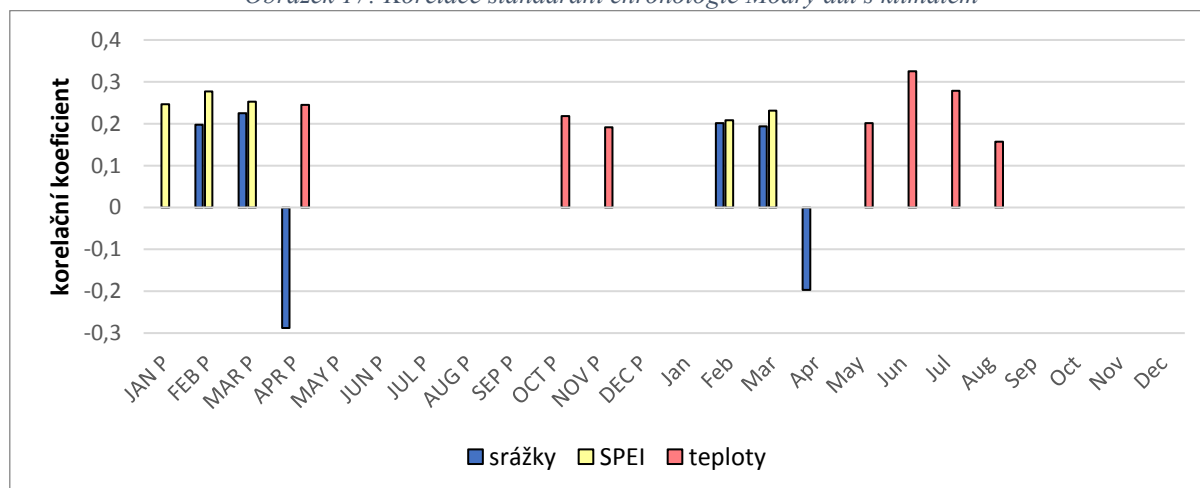
Na lokalitě Bílé Labe jsou limitujícím faktorem růstu stromů teploty, a to na podzim předešlého roku (říjen, listopad) a v létě aktuálního (červen, červenec), ovšem korelační koeficienty nepřesáhly hodnotu 0,3. Řada slabších (pod 0,2), nicméně statisticky významných korelací byla zaznamenána s indexem sucha od ledna do března předešlého roku (obrázek 16). Také srážky se v předcházejícím roce mají vliv, konkrétně v únoru a květnu.

Obrázek 16: Korelace standardní chronologie Bílé Labe s klimatem



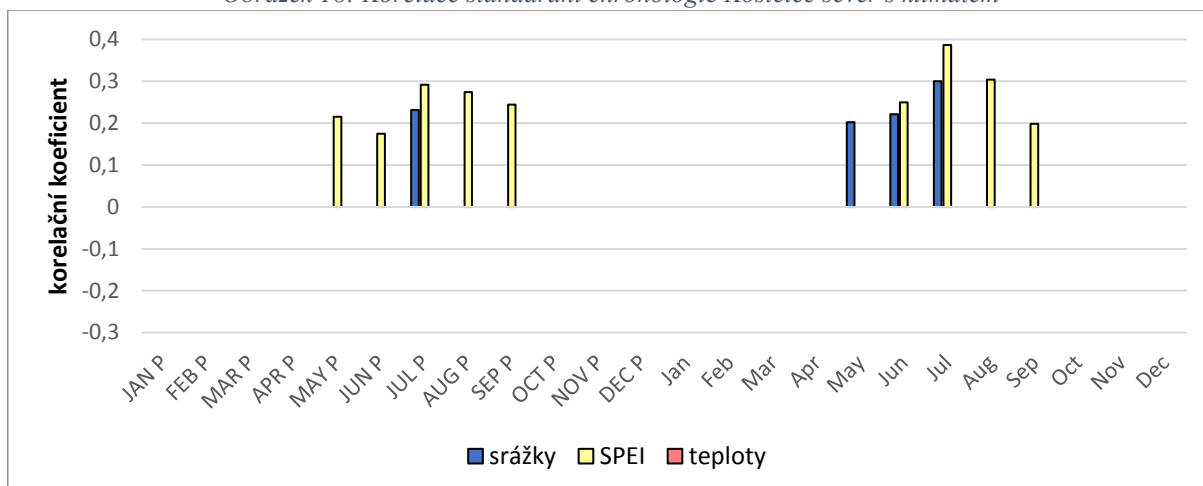
V Modrém dole vykazovaly chronologie silnější vztah ke klimatu, nicméně v zásadě podobný jako v Bílém Labi (obrázek 17). I zde se ukázaly teploty ke konci předešlého roku, a především v létě aktuálního (v červnu 0,32) jako nejdůležitější faktor. Reakce na index sucha SPEI byly zaznamenány opět od ledna do března minulého roku a slabě navíc v únoru a březnu aktuálního. Významně odlišný je na obou lokalitách vliv srážek. Zatímco v Bílém Labi se ukázaly významné pouze v předešlém únoru a květnu, stromy z Modrého dolu na ně pozitivně reagují v únoru a březnu a negativně v dubnu, a to jak v předešlém, tak v současném roce.

Obrázek 17: Korelace standardní chronologie Modrý důl s klimatem



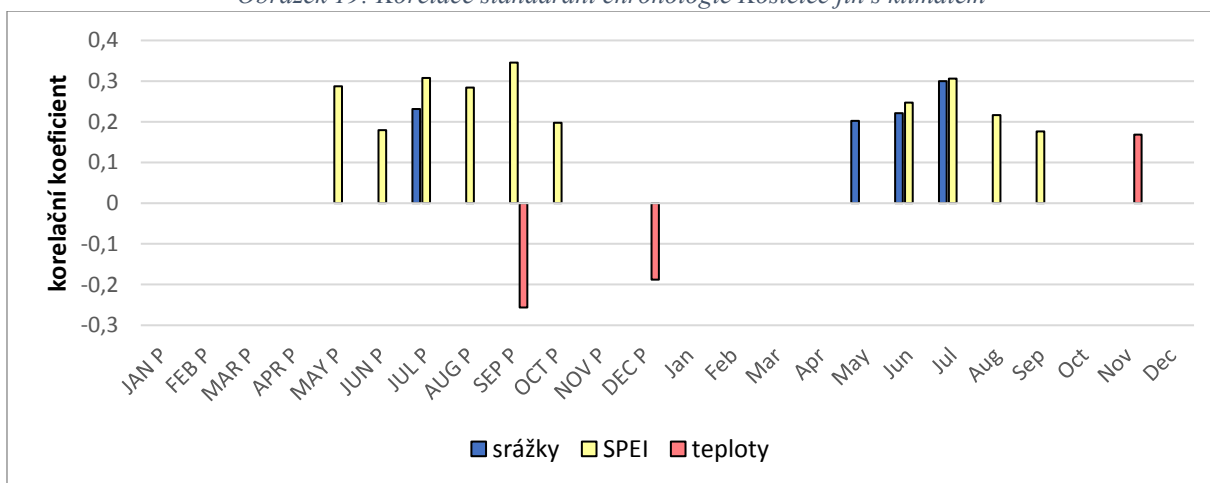
Chronologie severní lokality Kostelce vykazují nejsilnější klimatický signál, kde se zcela jasně projevuje vliv indexu sucha od června do září v obou letech, který kulminuje v červenci (aktuální rok 0,38). Je zde patrný i vliv letních srážek, který víceméně kopíruje korelace se SPEI (obrázek 18).

Obrázek 18: Korelace standardní chronologie Kostelec sever s klimatem



U jižní kostelecké lokality je patrné velmi podobné ovlivnění klimatem, ale jsou zde určité rozdíly (obrázek 19). Dopad indexu sucha i srážek je v podstatě stejný, ovšem silnějších korelací zde SPEI dosahuje v předešlém roce. Na této lokalitě se projevuje i vliv teplot, které v září a prosinci minulého roku vykazují negativní ovlivnění a v listopadu aktuálního slabě pozitivní.

Obrázek 19: Korelace standardní chronologie Kostelec jih s klimatem



7.2 Individuální růstová variabilita

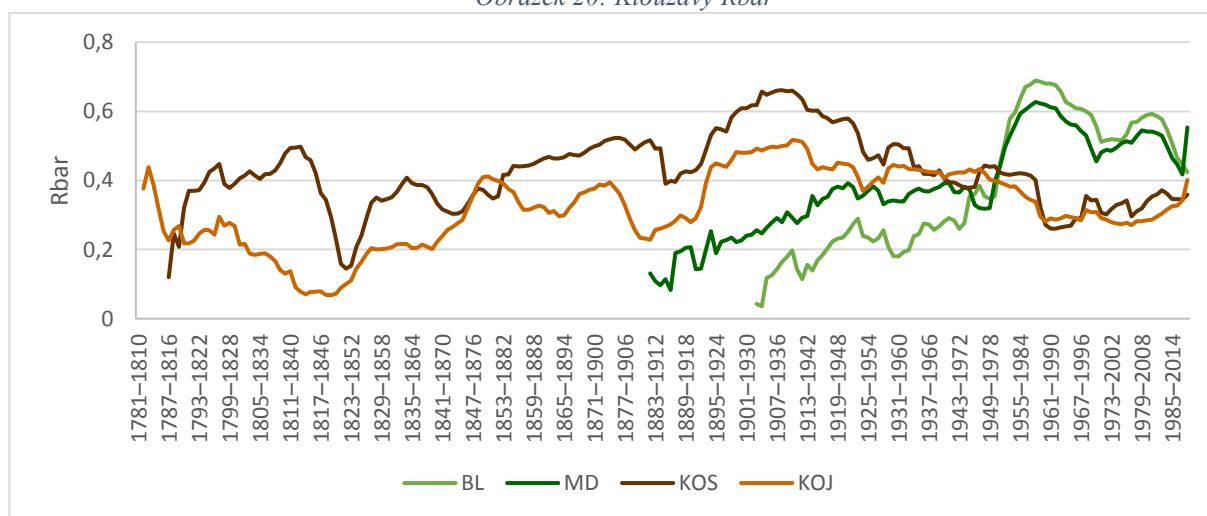
7.2.1 Klouzavé korelace mezi sériemi (Rbar)

Z hodnot klouzavého Rbar je vidět, že stromy na zkoumaných lokalitách v průběhu svého růstu nevykazují vždy společný růstový trend. Krkonošské lokality sice všeobecně vykazují spíše nárůst společné korelace v čase, ale v průběhu se vyskytuje řada často výrazných odchylek (obrázek 20). Celkově je průběh klouzavého Rbar na obou těchto lokalitách velmi podobný. Zpočátku růstu jsou vidět na obou lokalitách nízké mezisériové korelace, které se ovšem postupem času zvyšují. V letech 1951–1988 dochází k prudkému nárůstu Rbar až přes 0,6 a následně je vidět pokles směrem k časovému úseku 1970–1999. Poté zaznamenáváme

nárůst k hodnotám okolo 0,6 a opět pokles směrem do současnosti. V posledních pár letech je ovšem u Modrého dolu opět vidět nárůst mezisériové korelace.

U kosteleckých lokalit je vidět, že po dlouhou dobu reagovaly stromy mezi stanovišti velmi rozdílně, později přibližně od roku 1870 lze pozorovat podobný trend a od 30. let 20. století jsou hodnoty Rbar na obou stanovištích velice podobné. Na severní lokalitě jsou všeobecně vidět vyšší mezisériové korelace než u jižní. Zpočátku je u KOS zřetelný rychlý vzestup Rbar a poté výrazný pokles na hodnoty pod 0,2 v letech 1823–1852. Od té doby má přes řadu menších poklesů stoupající trend, který vrcholí v období 1909–1938. Následně dochází dlouhodobému poklesu Rbar, pouze v posledních pár letech zaznamenáváme lehké zvýšení. Jižní lokalita Kostelce má v podstatě podobný vývoj Rbar, až na prvních několik let. Na počátku byly mezisériové korelace vcelku vysoké, zatímco stromy severní lokality začínaly na nízkých číslech Rbar. Nicméně stejně jako na KOS došlo přibližně ve 20. letech 19. století k poklesu Rbar a poté k dlouhodobému nárůstu, který vrcholí 1913–1942. Následně dlouhé období s klesajícím trendem a v současnosti lehký nárůst.

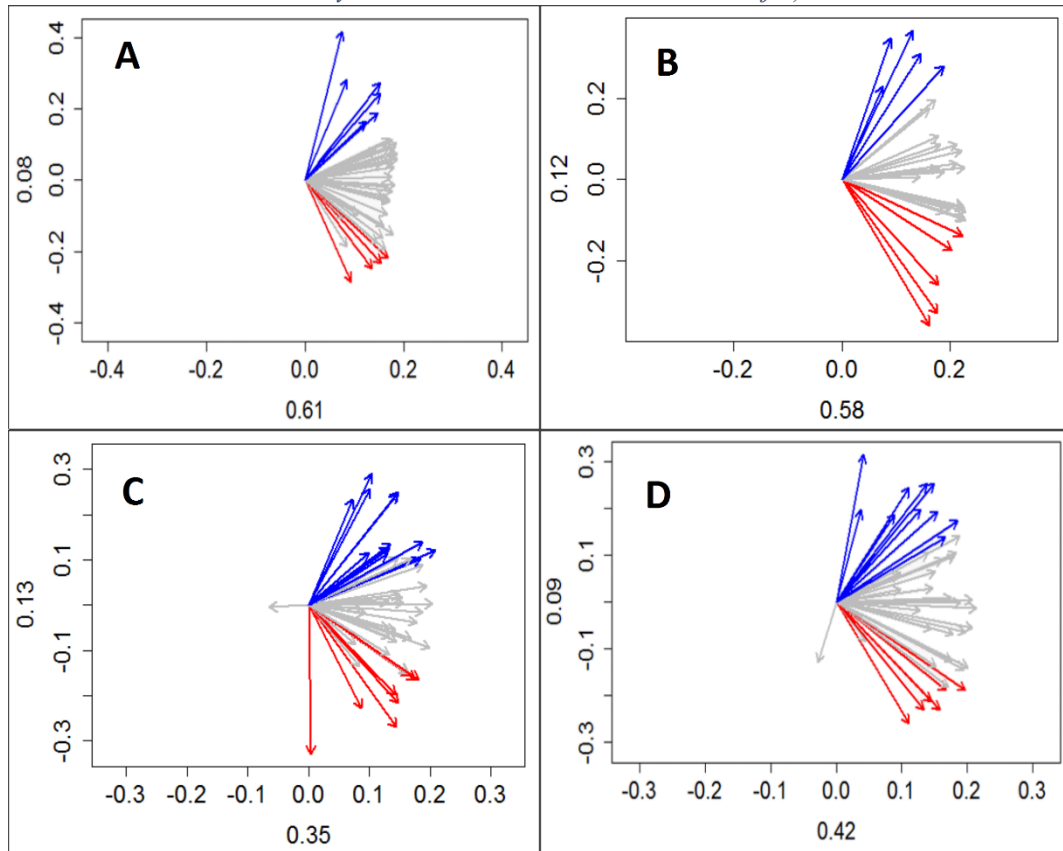
Obrázek 20: Klouzavý Rbar



7.2.2 Analýza hlavních komponent

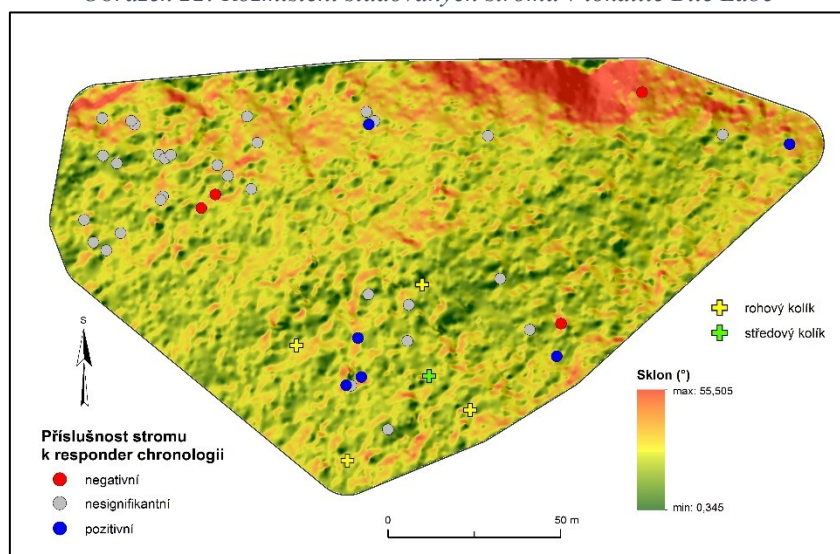
Celkově menší variabilitu růstu vykazují krkonošské lokality (obrázek 21), kde jsou veškeré stromy v prvním a čtvrtém kvadrantu grafu a mají na prvních dvou komponentách přes 60 % vysvětlené variability (na PC1–4 přes 80 %). Naproti tomu kostelecká stanoviště se nad 60 % dostávají až na prvních čtyřech komponentách a stromy na jejich biplotech zasahují až do třetího kvadrantu.

Obrázek 21: Biploty PCA a rozdělení stromů do responder chronologií dle korelace s PC2. Červené vykazují zápornou reakci, modré pozitivní a šedé nesignifikantní, p hodnota 0,05 %. (A-Bílá Labe, B-Modrý důl, C-Kostelec sever, D-Kostelec jih)



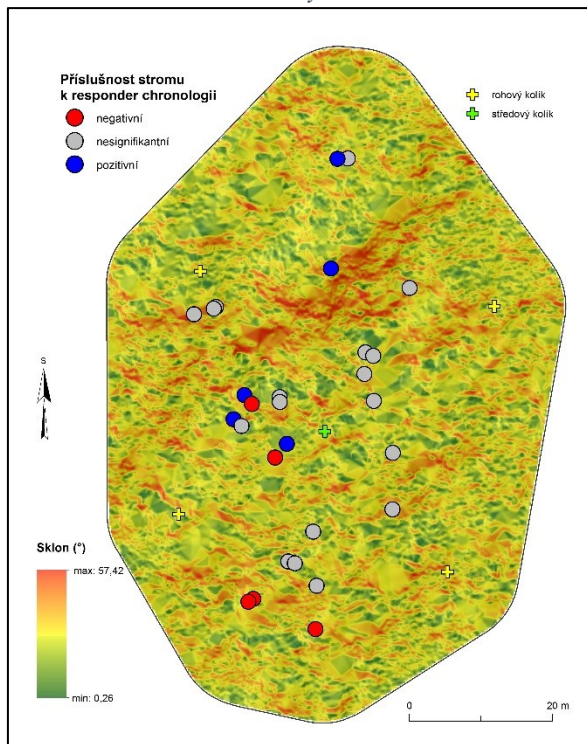
Z obrázku 22 je patrné, že naprostá většina studovaných stromů v lokalitě Bílé Labe vykázala nesignifikantní korelaci s PC2 a tyto stromy jsou především rozmístěny v nižší části plochy. U pozitivně a negativně reagujících stromů není patrný jasný prostorový pattern.

Obrázek 22: Rozmístění studovaných stromů v lokalitě Bílé Labe



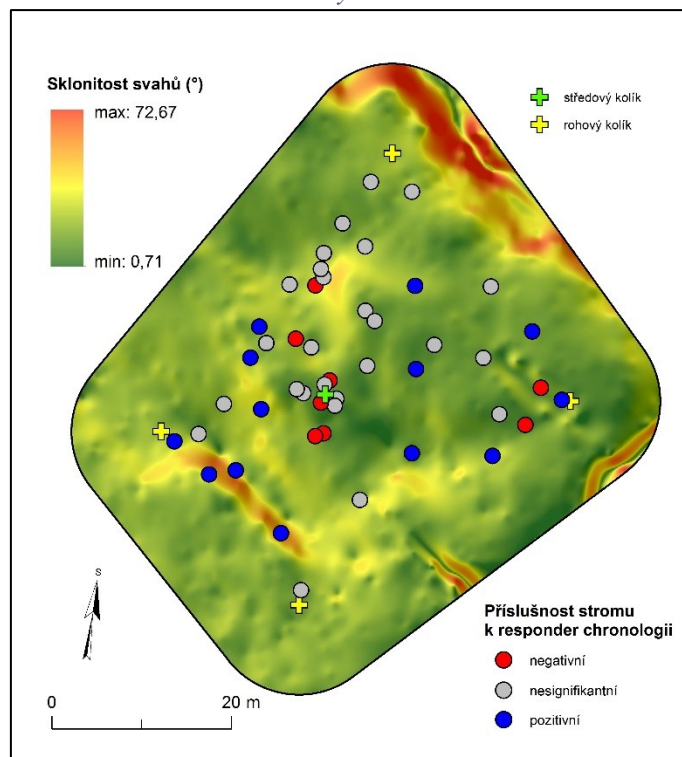
V Modrém dole jsou stromy pozitivní chronologie lokalizovány především ve vyšší části studované plochy a negativní naopak níže (obrázek 23). Nesignifikantní stromy jsou po celé ploše, ovšem primárně se jedná o střední část lokality.

Obrázek 23: Rozmístění studovaných stromů v lokalitě Modrý důl



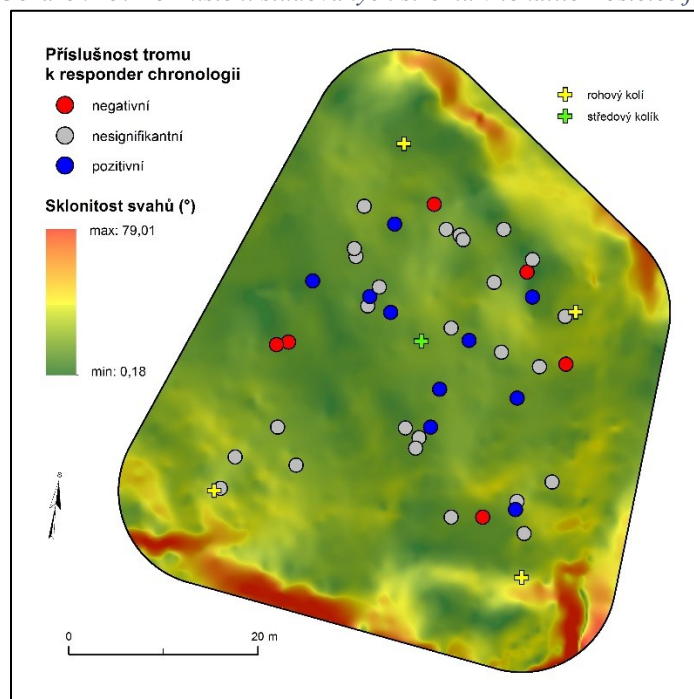
Na severní lokalitě Kostelce je patrné, že nesignifikantně reagující stromy jsou sice po celé ploše, ale nejvíce jich je v jejím severním cípu. Stromy negativní chronologie jsou především uprostřed území a dva se nalézají ve východním rohu (obrázek 24). Na pozitivních stromech není vidět prostorová závislost rozmístění, jsou po celé ploše, krom severního rohu.

Obrázek 24: Rozmístění studovaných stromů v lokalitě Kostelec sever



Negativně reagující stromy lokality Kostelec jih jsou rozmístěny spíše podél okraje zájmové plochy, zatímco pozitivní se nachází více v centrální části. Jak je vidět z obrázku 25, nesignifikantní stromy se nachází v jihozápadním rohu a pak rovnoměrně po celé ploše.

Obrázek 25: Rozmístění studovaných stromů v lokalitě Kostelec jih



Co se týče korelací z-skórů stromů na PC1–4 s TWI, CI a BDH, výsledky jsou vidět v tabulce 3. S první a třetí komponentou byla zjištěna vždy pouze jedna signifikantní korelace

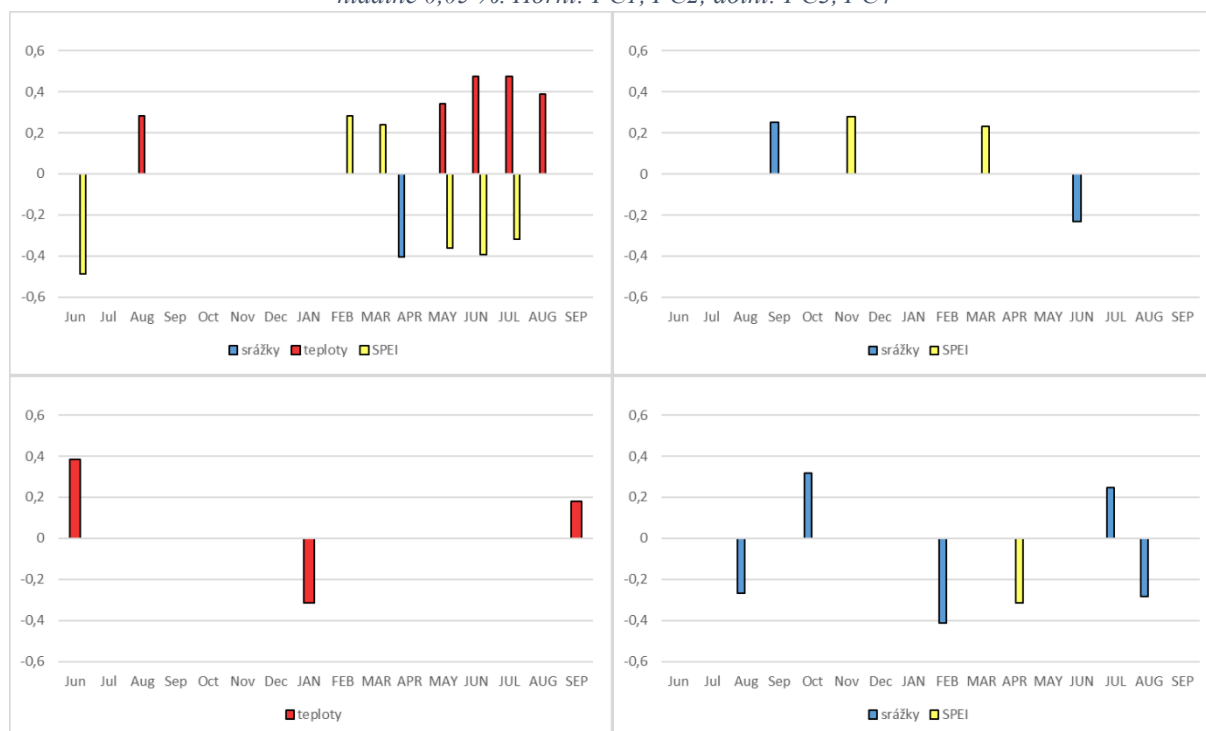
(vždy pozitivní), zatímco druhá a čtvrtá vykazaly každá hned tři (z toho dvě záporné). Nejčastěji byly zaznamenány korelace s DBH, vztah s TWI se ukázal statisticky významný jen ve dvou případech s kompetičním indexem pouze jednou. Nejčastěji s těmito proměnnými korelovaly stromy na lokalitách Bílé Labe a Kostelec sever, Modrý důl i Kostelec jih mají pouze jednu významnou korelaci, a to s DBH na druhé komponentě.

Tabulka 3: Korelace z-skórů stromů na PC1–4 s kompetičním indexem (CI), DBH a TWI. Červené korelace jsou statisticky významné na hladině 0,05 %.

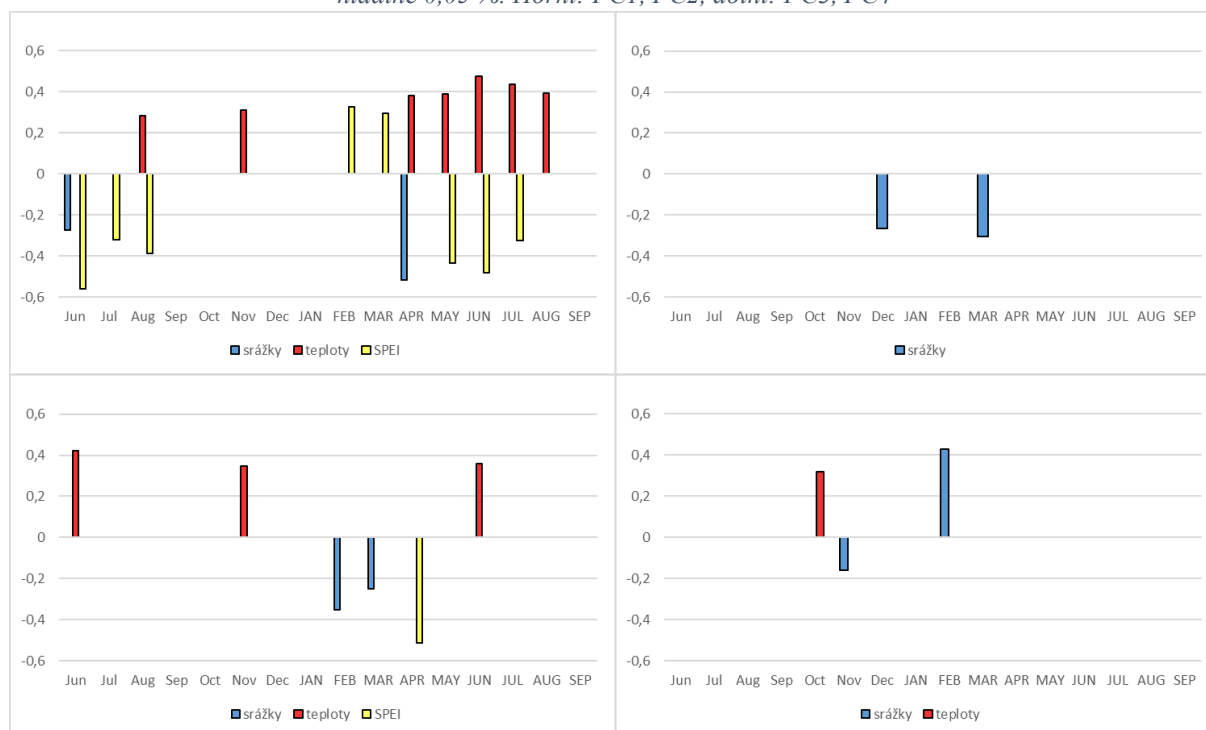
	BL			MD		
	CI	DBH	TWI	CI	DBH	TWI
PC1	0,291	-0,223	0,238	0,027	0,536	-0,131
PC2	-0,081	-0,264	-0,056	0,300	-0,468	-0,093
PC3	-0,043	0,038	0,467	0,047	0,137	-0,304
PC4	0,458	-0,392	0,290	-0,269	-0,237	0,304
	KOS			KOJ		
	CI	DBH	TWI	CI	DBH	TWI
PC1	0,046	0,113	0,185	-0,136	-0,288	0,160
PC2	-0,174	0,567	0,089	-0,081	-0,414	-0,192
PC3	0,121	0,037	0,057	0,237	0,120	0,081
PC4	0,222	-0,026	-0,307	0,007	-0,083	-0,006

Vzhledem k tomu, že klimatické proměnné nejvíce korelují s první hlavní komponentou (obrázky 26 až 29) je jasné, že hlavním faktorem ovlivňujícím růst stromů na všech lokalitách je právě klima. Smrkové lokality vykazují nejsilnější korelace s teplotami v různých měsících, především od dubna do srpna (korelace až 0,47). Na obou krkonošských lokalitách koreluje první komponenta často velmi silně též se SPEI. Především se jedná o období od února do července, kdy jsou korelace nejprve slabě pozitivní a od konce jara do července silně negativní. Silně záporná korelace se SPEI, jasně patrná na obou stanovištích, je v červenci předchozího roku (r až -0,56). Se srážkami se ukázalo jen málo signifikantních korelací s PC1, nicméně záporná korelace v dubnu se projevila na obou lokalitách a v Bílém Labi dosahovalo r hodnoty až -0,52. Korelace s ostatními komponentami jen málokdy přesahují 0,4, ale některé silnější se shodují na obou lokalitách. Korelace PC2 s teplotami června předchozího roku je v Bílém Labi i Modrém dole okolo 0,4. Významná korelace je zaznamenána u Modrého dolu, kdy korelační koeficient PC3 s dubnovými hodnotami SPEI dosahuje -0,51. Celkově se dá prohlásit, že obě lokality vykazují velmi podobné ovlivnění klimatickými proměnnými, ale stromy v Modrém dole mají ke klimatu všeobecně o něco silnější vztah než smrky v Bílém Labi.

Obrázek 26: Korelační koeficienty mezi hlavními komponentami PCI–4 lokality **Bilé Labe** a klimatickými proměnnými (modře srážky, červeně teploty, žlutě SPEI). Zobrazeny jsou pouze korelace statisticky významné na hladině 0,05 %. Horní: PC1, PC2, dolní: PC3, PC4



Obrázek 27: Korelační koeficienty mezi hlavními komponentami PCI–4 lokality **Modrý důl** a klimatickými proměnnými (modře srážky, červeně teploty, žlutě SPEI). Zobrazeny jsou pouze korelace statisticky významné na hladině 0,05 %. Horní: PC1, PC2, dolní: PC3, PC4



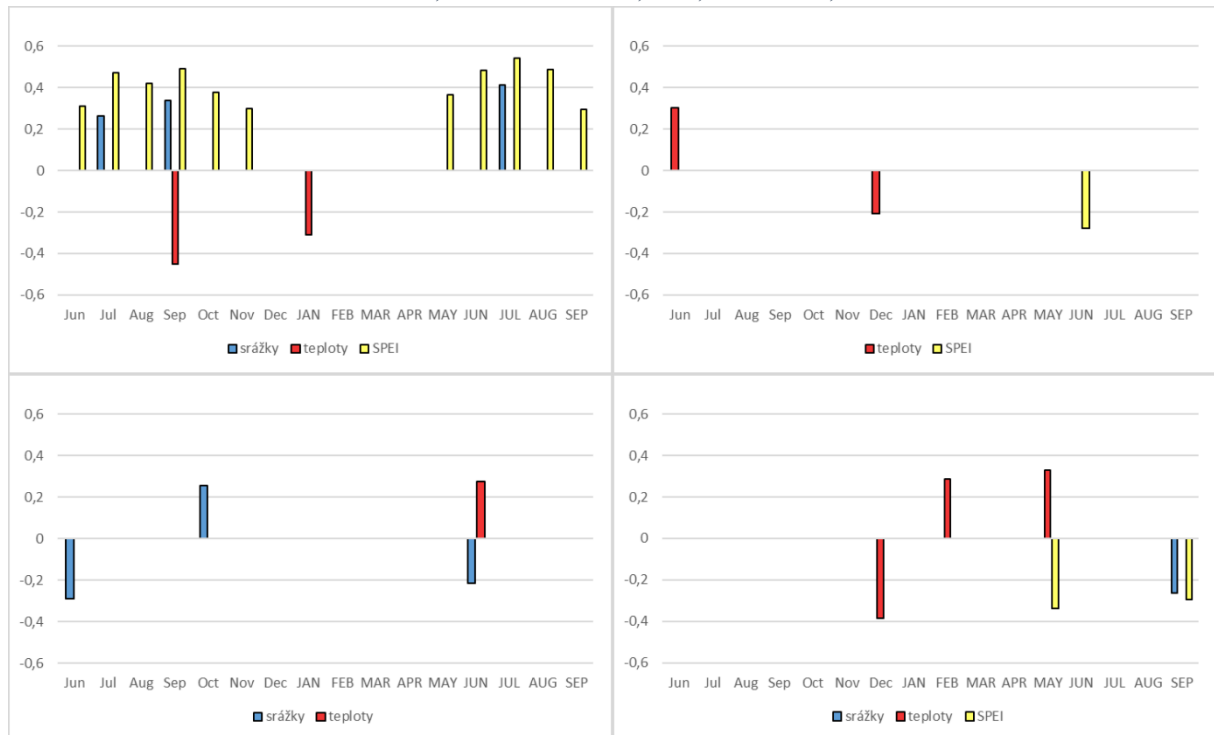
U kosteleckých lokalit lze též pozorovat řadu podobných rysů. Zde se ukazuje vztah první komponenty s klimatem ještě silnější než v Krkonoších. Naprosto zásadním faktorem pro růst stromů je zde index sucha. Na obou lokalitách jsou korelace nad 0,3 se SPEI od června do

října předchozího roku a poté od května do září roku aktuálního, které jsou celkově o něco vyšší a vrcholí v červenci, kdy u severní lokality přesahuje korelace 0,6. Teplotní ovlivnění je všeobecně nevýrazné, ale v září předchozího roku vykazují obě lokality negativní korelaci s PC1 okolo -0,48. Srážky korelují s PC1 sice častěji, ale zase slaběji. Obě stanoviště vykazují pozitivní vliv červencových srážek ($r=0,4$), dále je zde slabší korelace severní lokality se srážkami v květnu a jižního stanoviště se srážkami v červenci a září minulého roku. Jako u smrkových ploch, i zde se korelace s ostatními komponentami vyskytují zřídka a jsou slabé. Jen málo jich přesahuje korelační koeficient 0,3 a přes 0,4 se dostává pouze korelace PC4 s červnovými teplotami na severní ploše. Mezi oběma stanovišti neexistuje stejná korelace s jinou komponentou než s první. Dá se říci, že obě lokality též vykazují velmi podobné klimatické ovlivnění, ale u severní lokality je vztah ke klimatu silnější než u jižní. Korelační koeficienty s PC1 jsou o něco vyšší a zároveň je u jižního stanoviště výrazně více signifikantních korelací s ostatními komponentami, které ovšem ve velmi málo případech přesahují hodnotu 0,3 a to jen těsně.

Obrázek 28: Korelační koeficienty mezi hlavními komponentami PC1–4 lokality **Kostelec sever** a klimatickými proměnnými (modře srážky, červeně teploty, žlutě SPEI). Zobrazeny jsou pouze korelace statisticky významné na hladině 0,05 %. Horní: PC1, PC2, dolní: PC4

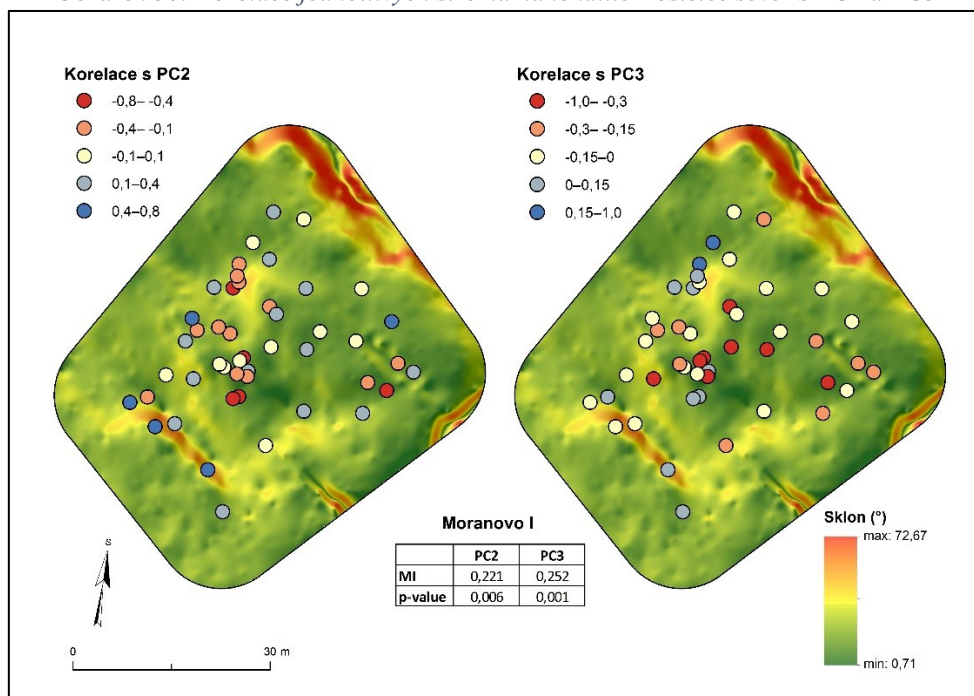


Obrázek 29: Korelační koeficienty mezi hlavními komponentami PC1–4 lokality **Kostelec jih** a klimatickými proměnnými (modře srážky, červeně teploty, žlutě SPEI). Zobrazeny jsou pouze korelace statisticky významné na hladině 0,05 %. Horní: PC1, PC2, dolní: PC3, PC4



U severní lokality Kostece se ukázaly signifikantní hodnoty Moranova I s PC2 a PC3 (obrázek 30), ovšem maximální hodnoty byly 0,25. U krkonošských lokalit nebyly nalezeny žádné významné hodnoty Moranova I.

Obrázek 30: Korelace jednotlivých stromů na lokalitě Kostelec sever s PC2 a PC3

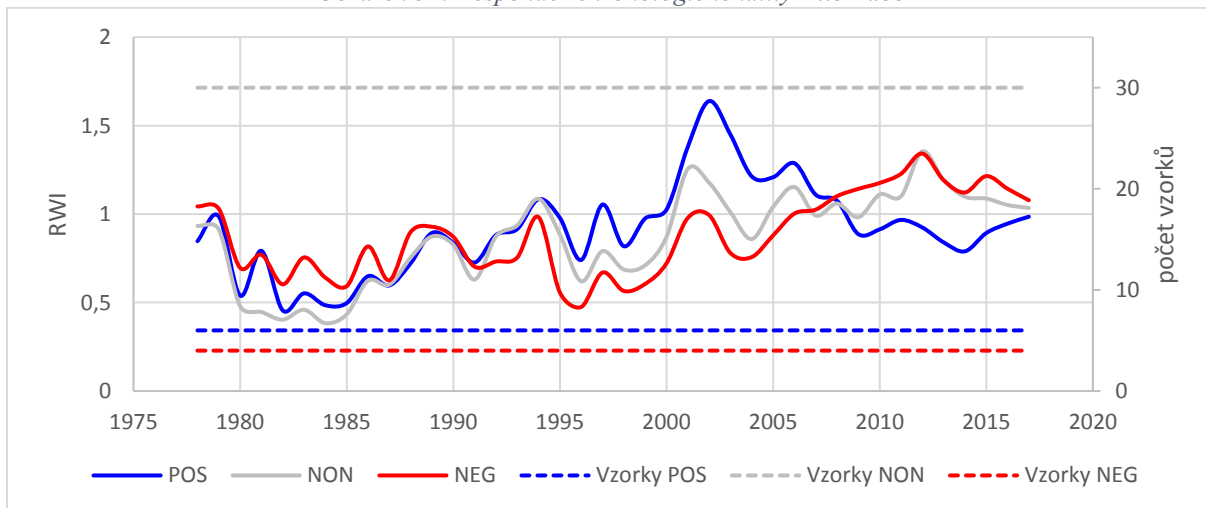


7.2.3 Responder chronologie

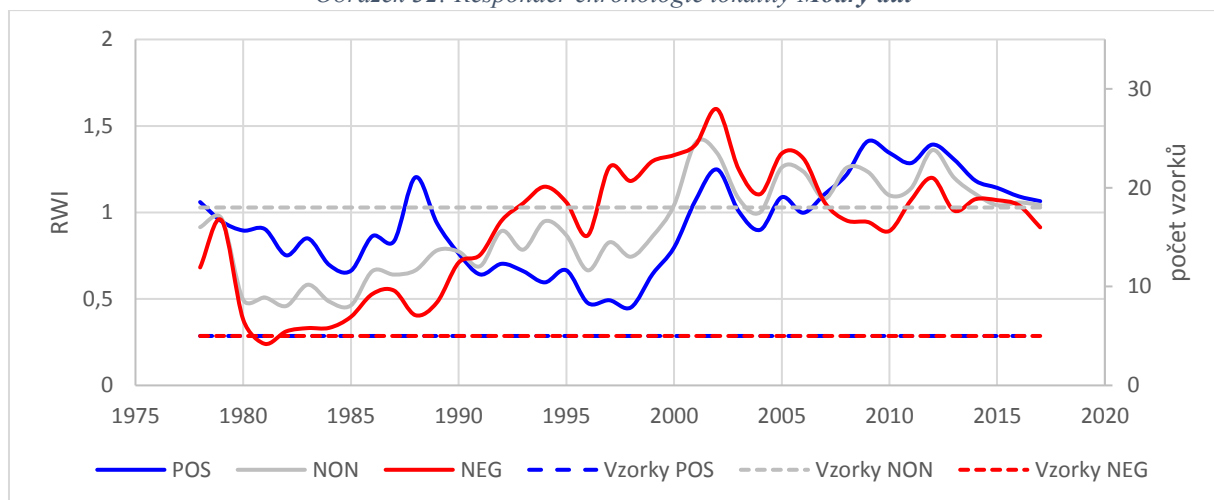
Na obrázku 21 je vidět, které stromy byly použity k vytvoření jednotlivých responder chronologií. Většina stromů samozřejmě vykazuje nesignifikantní korelaci s PC2, protože jsou primárně rozloženy okolo PC1, nicméně každou z responder chronologií tvoří nejméně 4 série a více. Z obrázků 31 až 34 je vidět, že NON chronologie tvoří většinou jakýsi průměr růstu stromů, protože se zpravidla pohybují mezi pozitivními a negativními. Nedá se ovšem říci, že by POS chronologie vykazovaly permanentně vyšší růst než NEG, či naopak, na každém stanovišti se chronologie alespoň dvakrát významně kříží.

Na lokalitě Bílé Labe je vidět, že po většinu zkoumaného období (tedy 1978–2017) vykazují POS a NEG chronologie téměř souběžný růstový trend a shodují se v řadě významných let (pointer years). Z obrázku 31 je evidentní, že rok 2002 byl pro růst stromů velice pozitivní, což se projevuje též v Modrém dole. Na obou stanovištích se POS a NEG chronologie dvakrát kříží, a to ve stejných letech (1990 a 2008). Na rozdíl od Bílého Labe, chronologie z Modrého dolu reagují poměrně rozdílně. Méně často vykazují souběžný trend a jsou mezi nimi často značné rozdíly v šířkách letokruhů. Teprve v posledních několika letech cca od roku 2011 vykazují všechny podobný růst, jak je vidět na obrázku 32.

Obrázek 31: Responder chronologie lokality *Bílé Labe*

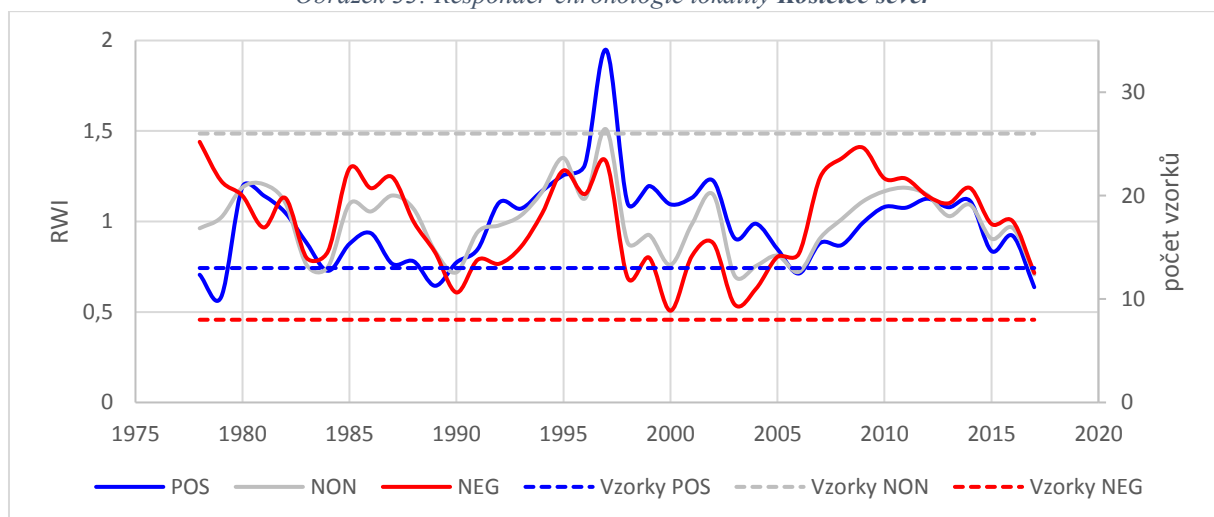


Obrázek 32: Responder chronologie lokality **Modrý důl**

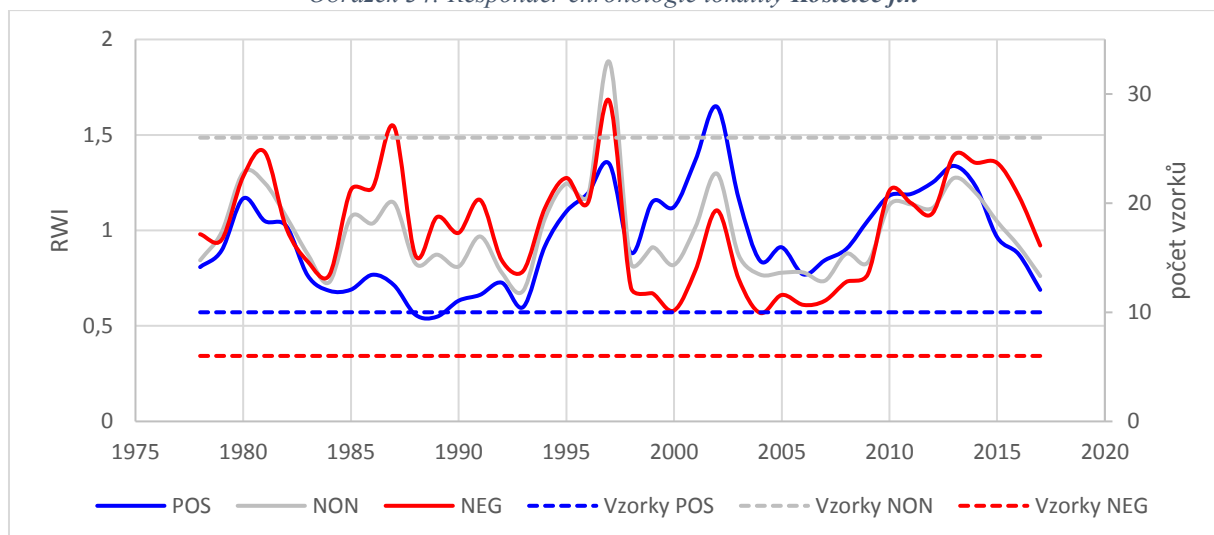


Kostelec sever vykazuje poměrně podobný růstový trend POS a NEG chronologií po celou dobu zkoumaného období. Občas jsou v celku značné rozdíly mezi šířkami letokruhů chronologií v jednotlivých letech, ale v řadě let se téměř shodují. Stejně jako u smrkových lokalit zde dochází ke křížení chronologií v roce 1990, druhé je v roce 2006 (obrázek 33). Na jižním stanovišti sice chronologie reagují poměrně podobně, ovšem téměř permanentně jsou velké rozdíly mezi šířkami letokruhů POS a NEG chronologií. Jako jediná ze všech lokalit vykazuje křížení chronologií ve zcela jiných letech a to 1998 a 2013. V roce 1997 veškeré chronologie na obou lokalitách zachycují velice výrazný pozitivní pointer year (obrázek 34). Dalšími kladnými pointery jsou roky 1987, který byl v Krkonoších spíše negativní a 2002, který byl naopak výrazně pozitivní. Na obou lokalitách se jako nepříznivý projevil rok 2000.

Obrázek 33: Responder chronologie lokality **Kostelec sever**



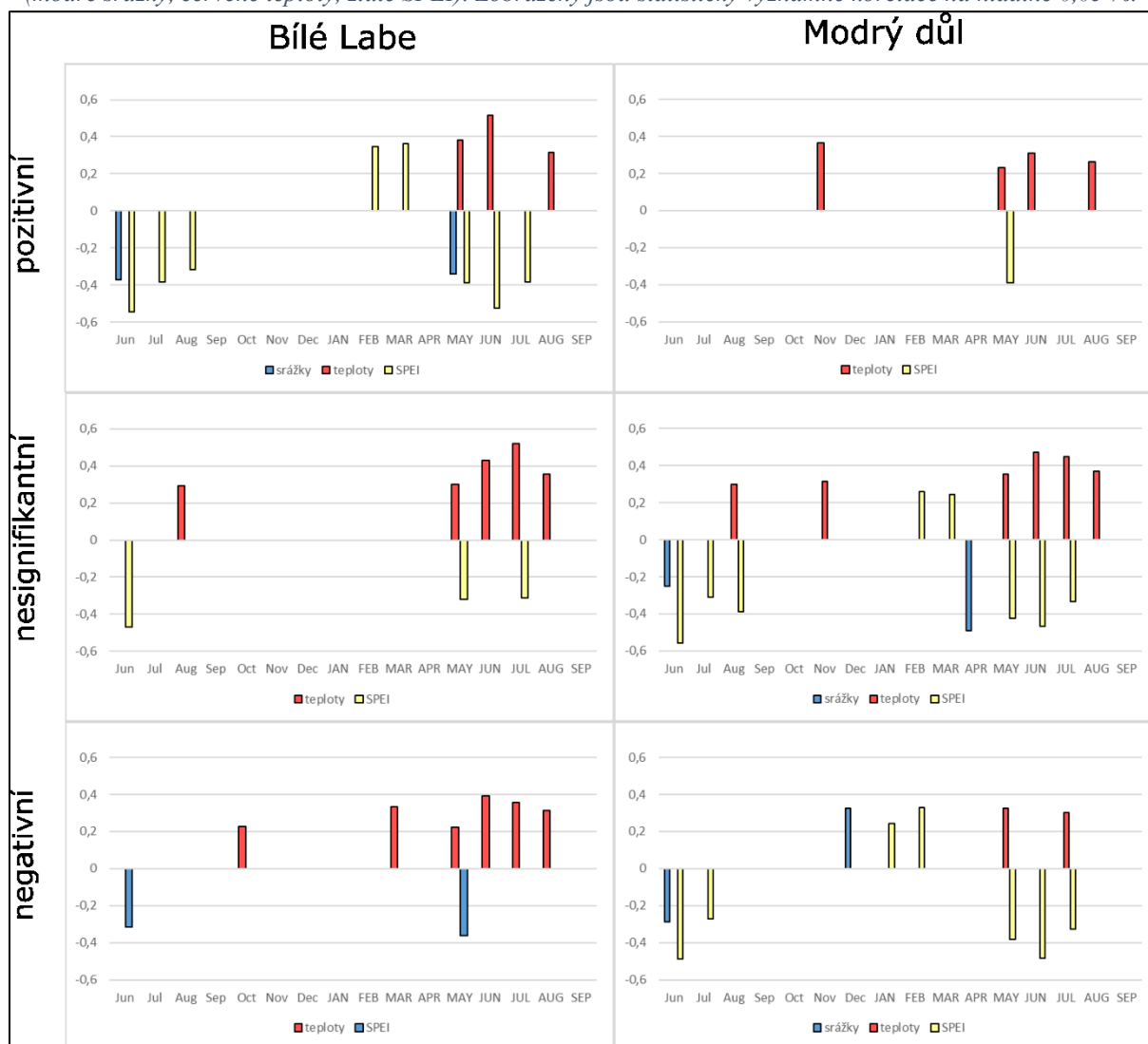
Obrázek 34: Responder chronologie lokality *Kostelec jih*



Na obrázku 35 je vidět, že v reakcích jednotlivých responder chronologií na klima jsou patrné jisté rozdíly. Pozitivní chronologie z Bílého Labe zaznamenává silné záporné korelace především se SPEI v letních měsících předchozího a aktuálního roku. Těž srážky jsou evidentně negativním faktorem. Naopak letní teploty se projevují jako velice příznivý faktor růstu stromů, což zaznamenávají korelace i s ostatními chronologiemi. NON chronologie kladně koreluje s teplotami a záporně se SPEI, ale nevykazuje jakoukoli signifikantní korelaci se srážkami. Naproti tomu NEG chronologie pozitivně reaguje na teploty, záporně na srážky, ale nijak nezachycuje vliv indexu sucha.

Na lokalitě Modrý důl se také vyskytují rozdíly v reakcích jednotlivých responder chronologií na klima. POS chronologie vykazuje celkově poměrně malé klimatické ovlivnění. Na obrázku je vidět několik kladných korelací se srážkami a jedna se SPEI z nichž žádná nepřesahuje korelační koeficient 0,4. Negativní chronologie velmi slabě koreluje s teplotami (pouze dvě letní korelace okolo 0,3). Největší vliv (záporný) má index sucha během letních měsíců, a to především v červnu. Jediná chronologie, která vykázala silnější ovlivnění teplotami (přes 0,4) je chronologie NON. Ovšem i přes to vykazuje silnější a častější vztah s indexem sucha (0,56 v červnu předchozího roku) a dokonce i dubnové srážky se zdají být významnějším faktorem.

Obrázek 35: Korelační koeficienty responder chronologií z krkonošských lokalit s klimatickými proměnnými (modře srážky, červeně teploty, žlutě SPEI). Zobrazeny jsou statisticky významné korelace na hladině 0,05 %.

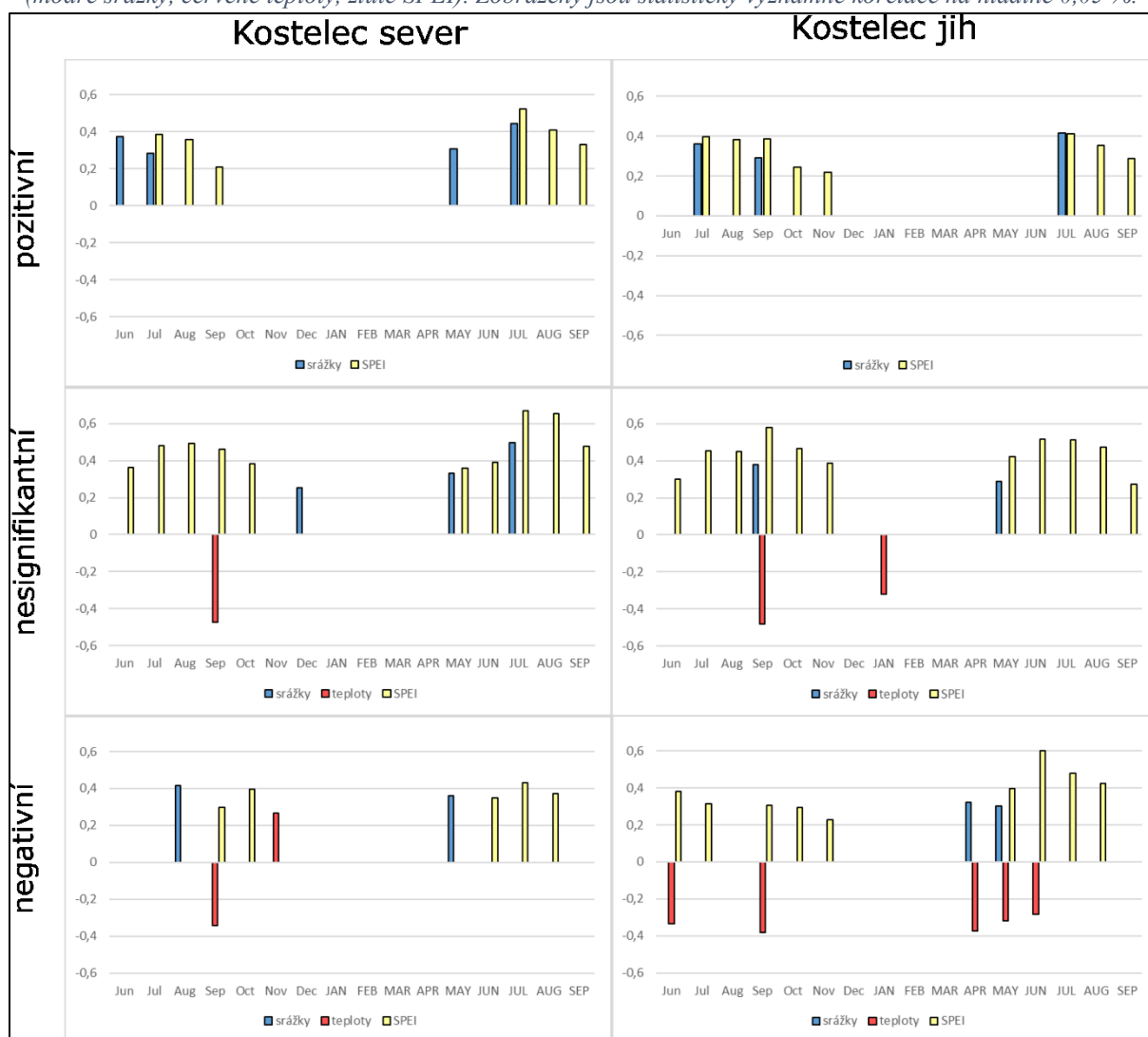


Výsledky korelací mezi jednotlivými responder chronologiemi a klimatickými proměnnými se na kosteleckých lokalitách ukázaly být navzájem velmi podobné (obrázek 36). Jediným rozdílem je reakce na teplotní poměry, kdy se u severní lokality nacházíme pouze dvě záporné v předchozím září, a jednu dokonce kladnou v listopadu předchozího roku. Naopak na jižním stanovišti pozorujeme celou řadu jasně záporných teplotních korelací. Opět se projevuje nepříznivý dopad teplot v předchozím září, k čemuž se přidává též červen a poté duben až červen aktuálního roku.

Pozitivní chronologie na obou stanovištích nevykázaly žádnou reakci s teplotami, pouze řadu silných korelací se SPEI a srážkami v letních měsících předchozího i aktuálního roku. Chronologie tvořené stromy s nesignifikantní korelací s PC2 vykazují velice podobné reakce. V letních měsících velice silné korelace s indexem sucha, ovšem srážkových korelací je o něco méně. Zde se již projevuje jisté teplotní ovlivnění. Na obou lokalitách NON chronologie

negativně reaguje s teplotami v září předchozího roku. NON a POS chronologie se shodují v korelacích se SPEI od června do srpna a již zmiňované negativní reakci na teploty v minulém září. NEG chronologie jižního stanoviště ukazuje řadu záporných korelací s teplotami, zatímco severní lokalita zachycuje zmiňovanou pozitivní reakci v předchozím listopadu. Zatímco na jižní ploše je pro NEG chronologii jasně nejdůležitějším faktorem index sucha v červnu, u severní lokality jsou srážky v předchozím srpnu podobně významné jako SPEI v letních měsících.

Obrázek 36: Korelační koeficienty responder chronologií z kosteleckých lokalit s klimatickými proměnnými (modře srážky, červeně teploty, žlutě SPEI). Zobrazeny jsou statisticky významné korelace na hladině 0,05 %.

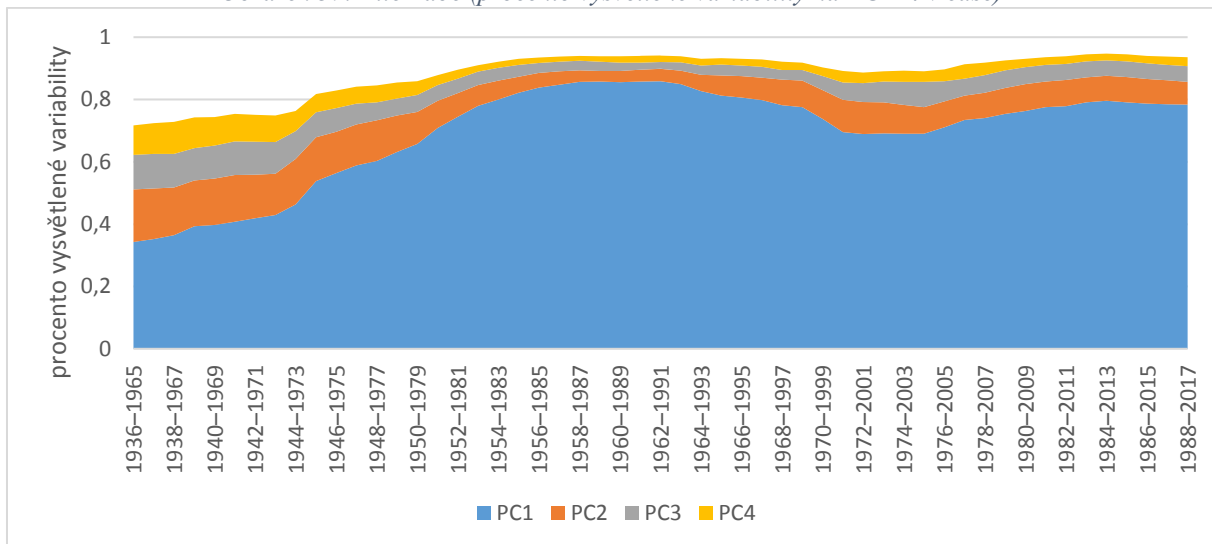


Test ANOVA rozdílů DBH, TWI a CI mezi jednotlivými responder chronologiemi neukázal na krkonošských lokalitách žádné signifikantní hodnoty. Pouze u lokality Kostelec sever se lišilo DBH jednotlivých responder chronologií. Negativní chronologie jsou v tomto případě tvořeny mladými stromy s menším průměrem kmene, zatímco pozitivní výrazně většími.

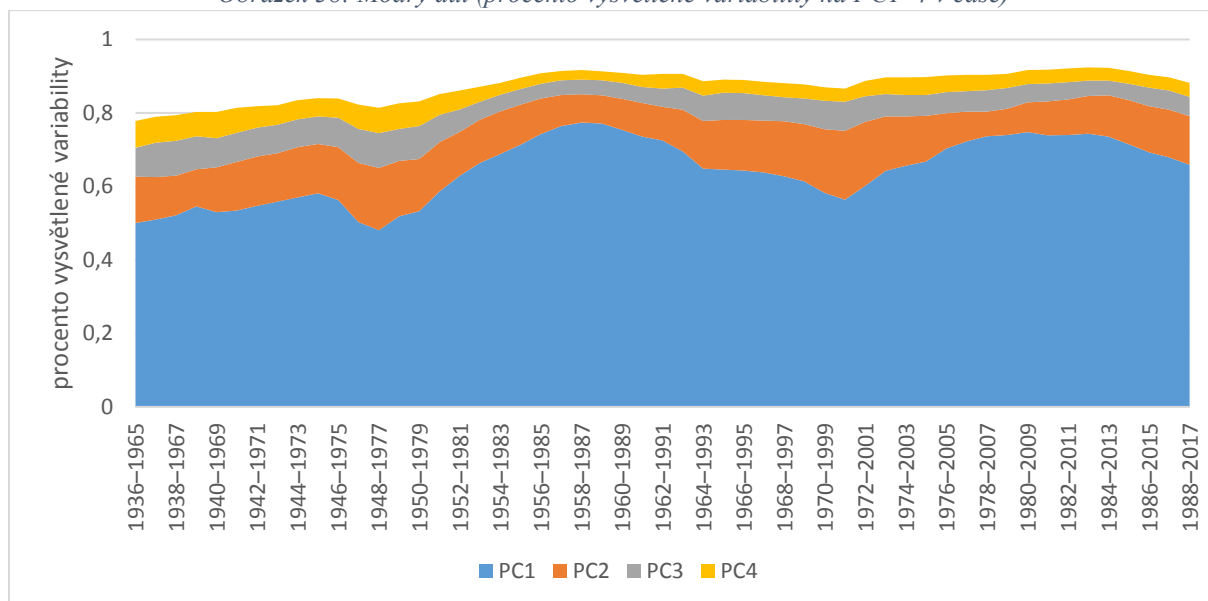
7.2.4 Klouzavá analýza hlavních komponent

Procento vysvětlené variability na jednotlivých hlavních komponentách poměrně dobře kopíruje výsledky klouzavého Rbar (obrázky 37 až 40). U smrkových lokalit je patrný pozvolný nárůst vysvětlené variability s výrazným propadem v intervalu 1970–1999, který se mírně projevuje též u jižní lokality Kostelce. Naopak u kosteleckých stanovišť je směrem do současnosti patrný spíše lehký pokles vysvětlené variability. U krkonošských i kosteleckých lokalit vždy jedna vykazuje pozvolné změny, zatímco na druhé jsou patrné náhlé a rychlé propady či nárůsty vysvětlené variability. Lokalita Bílého Labe vykazuje pozvolný nárůst až do maxima v intervalu 1957–1986, následně již zmiňovaný pokles v letech 1970–1999 a opět nárůst do současnosti. Modrý důl oproti tomu zaznamenává tři zásadní propady v jinak jasně se zvyšujícím trendu vysvětlené variability, což může souviset s věkovou strukturou a disturbancemi. První je v intervalu s počátečním rokem 1948, následně 1970 a poslední je současnost. U jižní lokality Kostelce se v celém průběhu neprojevují prudké výrazné změny, naopak na severním stanovišti se vyskytuje hned několik významných eventů změn vysvětlené variability. Konkrétně se jedná o pozitivní intervaly s počátečním rokem 1946 a 1967, negativní propady jsou významné u období 1957 a 1976. Nejvyšší hodnoty vysvětlené variability na PC1 jsou ve všech případech v intervalu 1957–1986. Na stanovišti KOJ není toto maximum příliš výrazné, ale u ostatních se jedná o poměrně jasný pík.

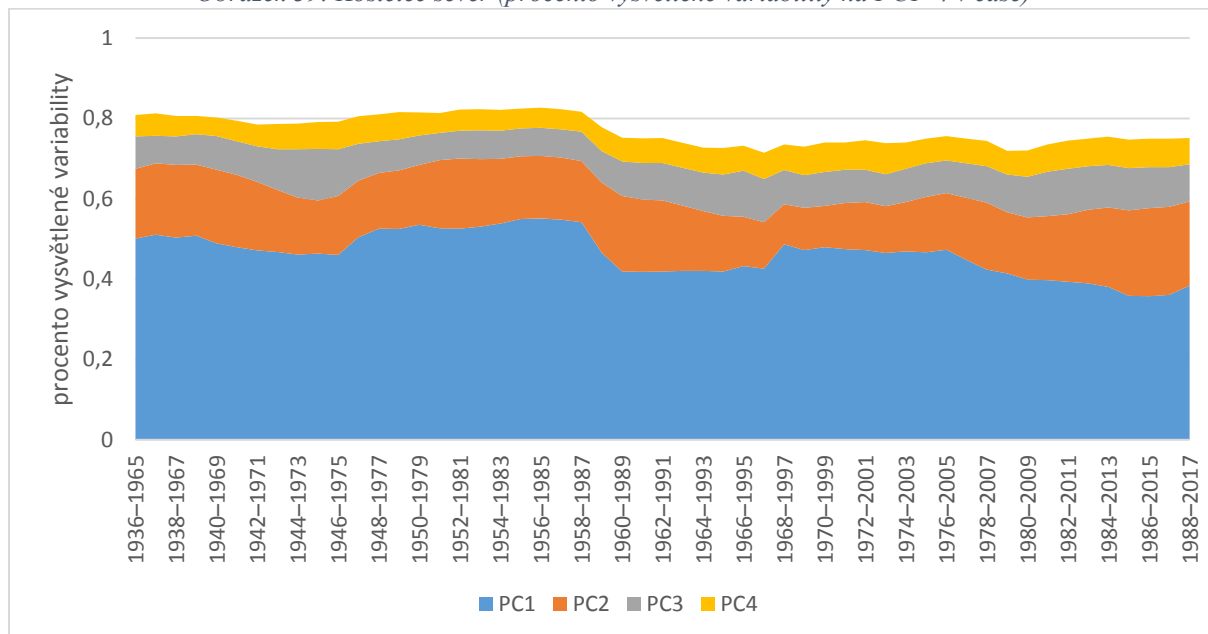
Obrázek 37: Bílé Labe (procento vysvětlené variability na PC1–4 v čase)



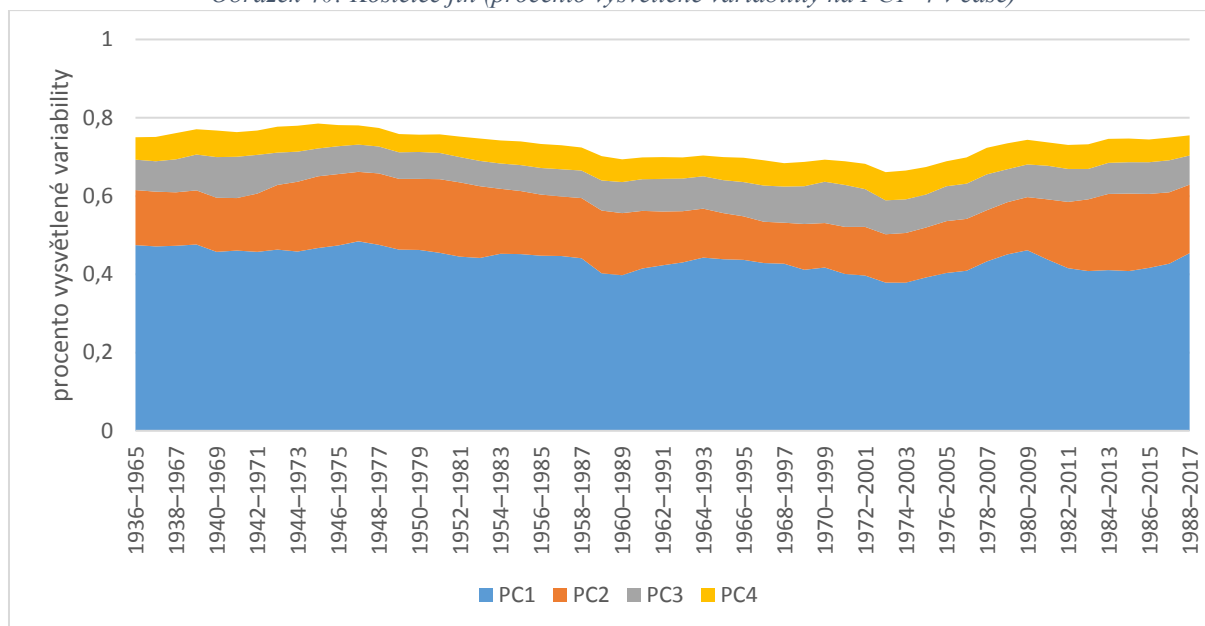
Obrázek 38: Modrý důl (procento vysvětlené variability na PCI-4 v čase)



Obrázek 39: Kostelec sever (procento vysvětlené variability na PCI-4 v čase)



Obrázek 40: Kostelec jih (procento vysvětlené variability na PC1–4 v čase)

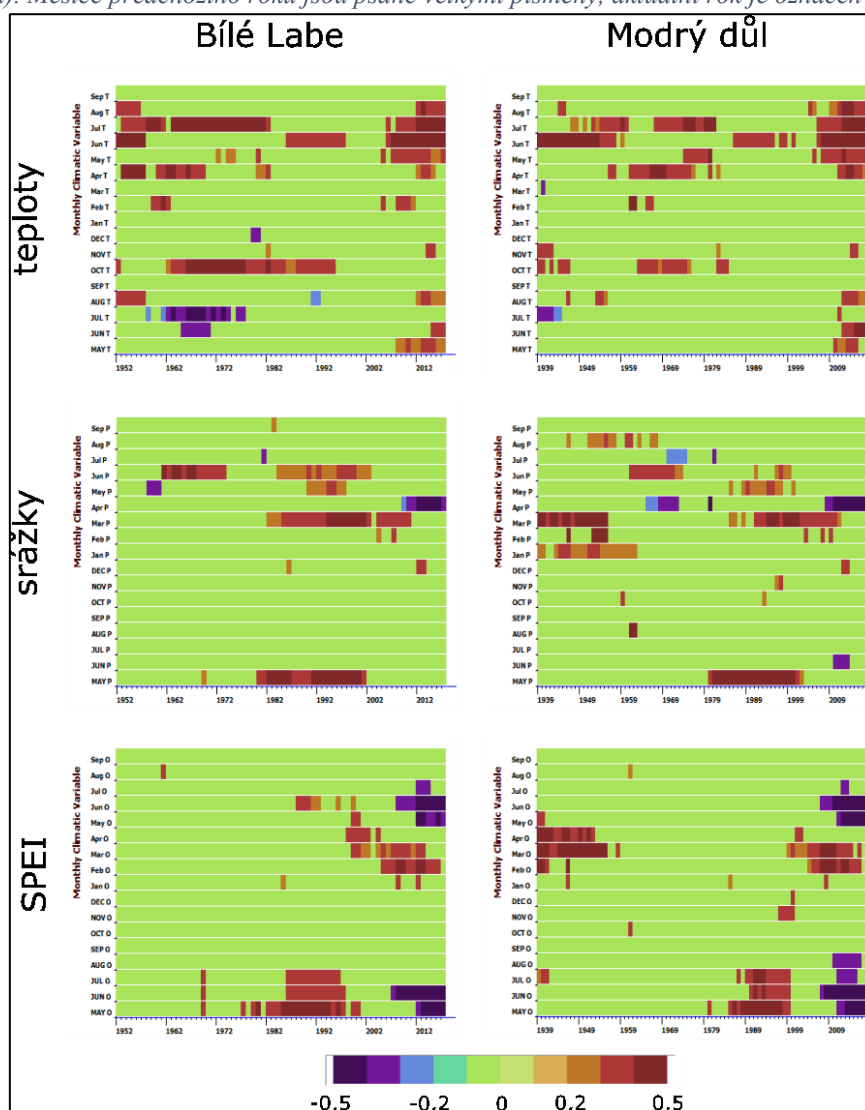


7.3 Nestabilita klimatického signálu

7.3.1 Klouzavé korelace chronologií s klimatem

V krkonošském Údolí Bílého Labe lze vidět měnící se korelaci šířek letokruhů se srážkami v březnu (Mar P). Tento vztah nejprve od roku cca 1950 sílil, ale v roce 2003 začal postupně slábnout, a nakonec se vytratil zcela. Podobnou situaci můžeme též pozorovat v Modrém dole. Na obrázku 41 je vidět, že obě lokality též zaznamenávají poměrně silný vztah se srážkami v květnu předchozího roku (MAY P), který ovšem od roku 2000 také mizí. Co se týče vztahu s teplotami, které jsou všeobecně hlavní řídící proměnnou růstu stromů v Krkonoších, i zde se nestabilita klimatického signálu projevuje. V Údolí Bílého Labe se projevují červencové teploty jako nejvýznamnější faktor, ovšem ve 50. letech minulého století přešel tento vztah spíše na červnové teploty, a to přibližně až do roku 2000. Naopak v Modrém dole jsou dlouhodobě významnější červnové teploty, které se od 40. let vytrácí a nahrazují je červencové. Od roku přibližně 1970 vypadají korelace na obou stanovištích velice podobně, zásadní faktor růstu jsou teploty od dubna do srpna, z nichž nejsilnější jsou červnové. Na severní lokalitě (Bílé Labe) byly v minulosti evidentně významné teploty předešlého října, a to po dlouhou dobu v letech 1920–1995. Tento vztah postupem času slábl, až se vytratil zcela. Na index sucha SPEI smrky v Krkonoších všeobecně moc nereagují, ale na obou stanovištích se od 50. let do roku cca 2000 projevil v květnu předešlého roku jako kladný faktor růstu. Směrem do současnosti ovšem korelace klesají a aktuálně dosahují silně záporných hodnot.

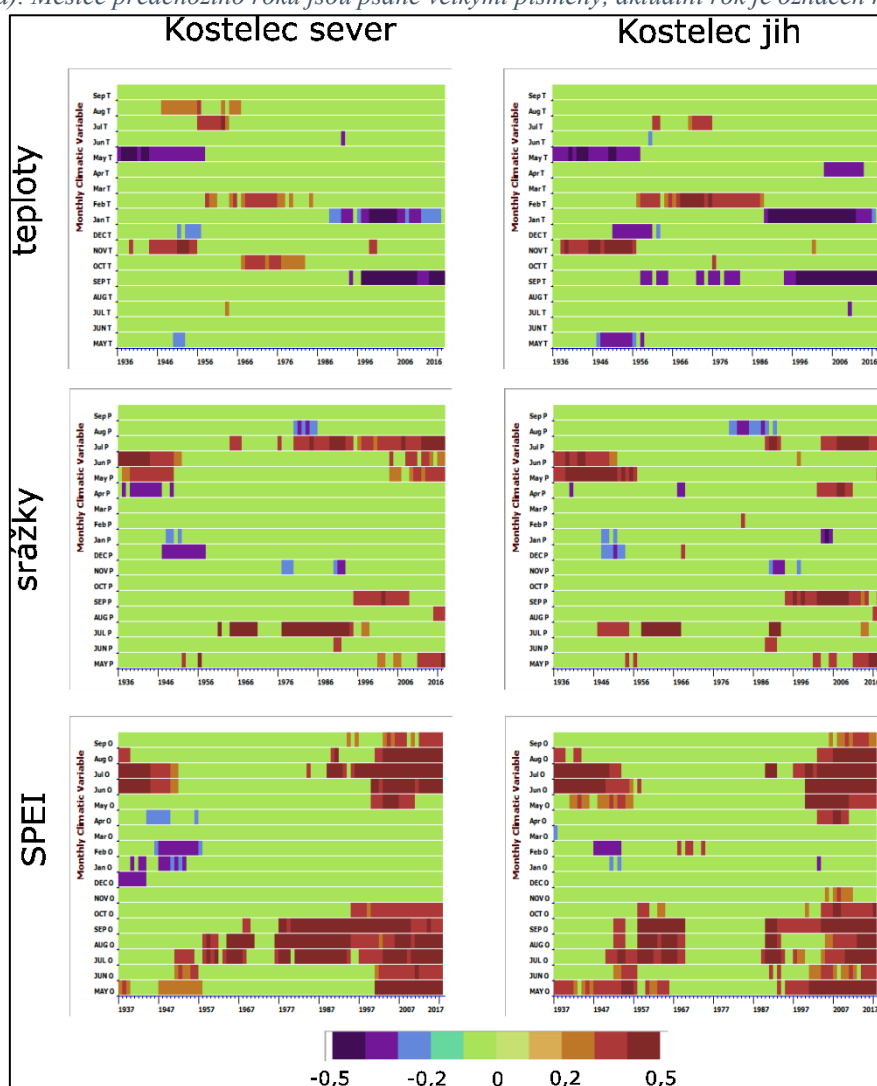
Obrázek 41: Klouzavé korelace krkonošských standardních chronologií s klimatem (roky označují poslední rok 35letého okna). Měsíce předchozího roku jsou psané velkými písmeny, aktuální rok je označen malým písmem.



Klouzavé korelace klimatických dat s kokořinskými chronologiemi (obrázek 42) také vykazují některé divergence ve vztahu ke klimatu. Ukazuje se, že v minulosti (minimálně 1901–1950) měly významný vliv srážky v květnu a červnu, a to na obou stanovištích. Později tento vztah vymizel, ovšem u severní lokality se v posledních letech opět začíná projevovat. Severní plocha také zaznamenává poměrně dlouhý vztah (1925–2000) se srážkami minulého července, který se během let změnil v nesignifikantní. Na jižní lokalitě reagují borovice od 60. let na srážky předchozího září. Tato vazba sice v současnosti stále existuje, ale evidentně slabne. Korelace s teplotami v čase vykazují na obou lokalitách velice podobný průběh. Do roku 1960 jsou významně záporným faktorem květnové teploty, poté přibližně do roku 1990 se zásadní proměnnou stávají únorové teploty, ovšem pozitivně. Od té doby až do současnosti zaznamenáváme silně záporné korelace s teplotami v září předchozího roku a lednu aktuálního. Pro růst borovic na Kostelci je zcela jasně limitujícím faktorem růstu sucho během letních

měsíců aktuálního i předchozího roku. V průběhu celého zkoumaného období s ním zaznamenáváme nejčastější a nejsilnější korelace. Ovšem ani zde není klimatický signál úplně stabilní. Jasně se zde projevují určitá období, kdy vliv SPEI silně poklesává. Na jižní lokalitě se jedná o časové okno přibližně 1935–1990 pro rok předchozí a 1925–1995 pro aktuální. Na severní lokalitě se hodnoty SPEI v létě předchozího roku, zejména v červenci, projevují jako kladný faktor růstu po většinu sledovaného období. Na obou stanovištích se projevil pozitivní vliv SPEI v červnu a červenci, který se plynule vytratil přibližně v 50. letech a v 90. se opět objevil a projevuje se stále až do současnosti.

Obrázek 42: Klouzavé korelace kokořinských standardních chronologií s klimatem (roky označují poslední rok 35letého okna). Měsíce předchozího roku jsou psané velkými písmeny, aktuální rok je označen malým písmem.



7.3.2 Změna klimatického signálu na úrovni stromů

Reakce stromů na jednotlivé klimatické proměnné se evidentně v čase mění, jak ukazují p hodnoty párového t-testu v tabulkách 4 a 5. Veškerá stanoviště vykázala vždy nejméně změn u proměnných kladně ovlivňujících růst. Naopak u záporně působících faktorů zaznamenáváme

změny reakce výrazně častěji. Celkově se změny reakcí stromů na klima projevují více na smrku v Krkonoších než na kosteleckých borovicích.

Obě krkonošské lokality vykázaly téměř stejné změny, jak ukazuje tabulka 4. Ukázalo se, že vztah stromů k teplotám se všeobecně moc nezměnil a když tak zpravidla posílil. Pouze pár jedinců vykázalo signifikantní rozdíly, zatímco u srážek je na obou lokalitách vidět přibližně třetina stromů, které změnila svou reakci, a to především do záporných hodnot (tabulky 6 a 7 v příloze). Zcela evidentně se v porovnávání časových oknech (1996–2017 a 1974–1995) proměnila reakce stromů na SPEI negativním způsobem. V Modrém dole se ukázaly statisticky významné rozdíly korelací šířek letokruhů s indexem sucha u 75 % stromů a v Údolí Bílého Labe u 67 %.

Tabulka 4: P hodnoty párového t-testu mezi stromy a klimatem na krkonošských lokalitách. Červené pole P hodnota označuje teploty, modré srážky a žluté SPEI. Statisticky významné hodnoty na hladině 5 % jsou červeně podbarveny.

Bílé Labe				Modrý důl			
	P hodnota	P hodnota	P hodnota		P hodnota	P hodnota	P hodnota
BL11	0,5267	0,3248	0,2534	MoD01	0,8716	0,0050	0,0000
BL14	0,1287	0,0855	0,0013	MoD02	0,7689	0,0151	0,0002
BL15	0,6984	0,2257	0,1049	MoD03	0,7037	0,0709	0,0286
BL18	0,5297	0,1584	0,0445	MoD04	0,7324	0,0822	0,0071
BL26	0,5347	0,7191	0,8258	MoD05	0,4518	0,0908	0,0012
BL32	0,1619	0,7047	0,9516	MoD06	0,0795	0,5455	0,9242
BL39	0,2287	0,6947	0,4417	MoD07	0,0136	0,0023	0,0000
BL42	0,3229	0,3764	0,2801	MoD08	0,1431	0,2563	0,1397
BL49	0,1198	0,0161	0,0004	MoD09	0,0651	0,0267	0,0032
BL50	0,9221	0,4490	0,1767	MoD10	0,6186	0,7884	0,8930
BL51	0,0979	0,7694	0,8571	MoD11	0,0105	0,1586	0,0028
BL52	0,2053	0,9872	0,3163	MoD12	0,0696	0,1506	0,0303
BL53	0,1540	0,0082	0,0002	MoD13	0,2603	0,0152	0,0004
BL54	0,8989	0,0031	0,0000	MoD14	0,0045	0,1505	0,0028
BL55	0,6041	0,7614	0,4799	MoD15	0,4204	0,0989	0,0035
BL56	0,5247	0,0276	0,0014	MoD16	0,0293	0,6459	0,6537
BL57	0,0582	0,0132	0,0000	MoD17	0,2352	0,0312	0,0035
BL58	0,5796	0,1767	0,0136	MoD18	0,1737	0,0738	0,0086
BL59	0,1464	0,0022	0,0000	MoD19	0,9042	0,0881	0,0073
BL60	0,5714	0,0648	0,0049	MoD20	0,6220	0,0749	0,0130
BL61	0,3451	0,3586	0,2230	MoD21	0,3255	0,2573	0,7477
BL62	0,5129	0,0244	0,0022	MoD22	0,2052	0,2037	0,3584
BL63	0,1214	0,1085	0,0145	MoD23	0,0241	0,2220	0,1558
BL64	0,0587	0,0051	0,0001	MoD24	0,1853	0,1171	0,0109
BL65	0,8644	0,0507	0,0081	MoD25	0,8048	0,1572	0,0022
BL66	0,3396	0,0636	0,0034	MoD26	0,0067	0,1516	0,0066

BL67	0,6328	0,1044	0,0444	MoD27	0,0431	0,0687	0,0016
BL68	0,0170	0,0031	0,0000	MoD28	0,6110	0,0493	0,0004
BL69	0,3152	0,0532	0,0042				
BL70	0,0033	0,0183	0,0028				
BL71	0,4662	0,0587	0,0222				
BL72	0,6600	0,0420	0,0046				
BL73	0,0979	0,0121	0,0012				
BL74	0,9584	0,1060	0,0622				
BL75	0,2894	0,0223	0,0001				
BL76	0,0803	0,0843	0,0122				
BL77	0,0293	0,0009	0,0000				
BL78	0,0463	0,2226	0,0275				
BL79	0,8114	0,5602	0,3127				
BL80	0,4295	0,0848	0,0037				

Kostecké lokality také vykázaly podobné reakce mezi sebou, ovšem stromy na severní ploše vykazují změnu častěji u všech proměnných. Na rozdíl od krkonošských ploch zde největší změny v reakci na klima vykazují stromy u teplot (KOS 40 %, KOJ 27 %) ve smyslu zvětšení negativních korelací (tabulky 8 a 9 v příloze). Určitá negativní změna je vidět též u indexu sucha, kde je signifikantní p hodnota přibližně u třetiny stromů na obou stanovištích. Jasně nejméně se proměnila reakce stromů na srážkové poměry, což je patrné z tabulky 5. Na severní lokalitě vykázaly změnu pouze tři jedinci a na jižní dokonce ani jeden.

Tabulka 5: P hodnoty párového t-testu mezi stromy a klimatem na kokořínských lokalitách. Červené pole P hodnota označuje teploty, modré srážky a žluté SPEI. Statisticky významné hodnoty na hladině 5 % jsou červeně podbarveny.

Kostelec sever				Kostelec jih			
	P hodnota	P hodnota	P hodnota		P hodnota	P hodnota	P hodnota
KOS02	0,2314	0,2422	0,0213	KOJ01	0,5459	0,9181	0,2349
KOS03	0,5611	0,0214	0,0007	KOJ03	0,1924	0,8114	0,6222
KOS04	0,0002	0,3583	0,9582	KOJ05	0,6565	0,2699	0,9703
KOS05	0,8311	0,0589	0,0051	KOJ06	0,0035	0,4241	0,9789
KOS07	0,0002	0,0715	0,0000	KOJ07	0,0171	0,6769	0,8158
KOS08	0,9835	0,0229	0,0115	KOJ08	0,6586	0,7745	0,0326
KOS09	0,9309	0,1692	0,0044	KOJ09	0,0320	0,6936	0,9551
KOS10	0,0296	0,1936	0,3246	KOJ10	0,8732	0,9561	0,6751
KOS16	0,0000	0,7877	0,0019	KOJ11	0,1706	0,1260	0,1935
KOS17	0,2364	0,9042	0,6449	KOJ12	0,0423	0,3053	0,2283
KOS18	0,0122	0,7027	0,4132	KOJ13	0,6779	0,7686	0,1026
KOS19	0,0431	0,9853	0,7934	KOJ14	0,4870	0,0933	0,0030
KOS20	0,0023	0,8245	0,8942	KOJ15	0,1757	0,2171	0,0247
KOS23	0,0023	0,1294	0,0000	KOJ16	0,2803	0,1190	0,0283

KOS24	0,0002	0,9559	0,0593	KOJ17	0,9831	0,7530	0,8043
KOS25	0,0752	0,8798	0,0782	KOJ18	0,5094	0,6222	0,5864
KOS26	0,2506	0,4636	0,4806	KOJ19	0,1533	0,7765	0,8212
KOS27	0,0000	0,2612	0,6031	KOJ24	0,0078	0,6412	0,7448
KOS31	0,0024	0,9129	0,8613	KOJ26	0,0595	0,7303	0,1204
KOS32	0,0596	0,0875	0,0163	KOJ28	0,0417	0,2318	0,0507
KOS33	0,0296	0,6202	0,9881	KOJ29	0,0003	0,3968	0,0056
KOS39	0,6991	0,4545	0,0147	KOJ32	0,3311	0,2311	0,0443
KOS41	0,0146	0,0124	0,0031	KOJ33	0,5342	0,1535	0,0256
KOS44	0,2484	0,7322	0,1178	KOJ36	0,2169	0,2371	0,3948
KOS45	0,0122	0,9663	0,9780	KOJ37	0,0067	0,7057	0,0162
KOS48	0,9159	0,6190	0,8437	KOJ38	0,2892	0,8572	0,1519
KOS49	0,4400	0,9493	0,4286	KOJ39	0,1281	0,6287	0,1456
KOS55	0,1982	0,5247	0,6063	KOJ40	0,1111	0,5948	0,2829
KOS56	0,0079	0,4701	0,0065	KOJ50	0,1968	0,4034	0,1031
KOS57	0,4084	0,7686	0,6004	KOJ51	0,1518	0,7502	0,2988
KOS58	0,1842	0,6711	0,4188	KOJ52	0,1010	0,4639	0,7342
KOS59	0,4417	0,9203	0,7453	KOJ53	0,9285	0,0702	0,0000
KOS60	0,0643	0,8961	0,8895	KOJ54	0,2535	0,2149	0,2456
KOS62	0,0535	0,6926	0,1862	KOJ56	0,3155	0,5036	0,3068
KOS63	0,8145	0,8023	0,3048	KOJ58	0,0013	0,3920	0,0094
KOS64	0,5055	0,7070	0,4223	KOJ59	0,4544	0,9466	0,2402
KOS65	0,2086	0,2077	0,0006	KOJ60	0,0002	0,4515	0,9229

8. Diskuse

8.1 Klimatický signál chronologií

Zjištěný klimatický signál smrkových chronologií poměrně dobře odpovídá výsledkům jiných prací. Zásadní příznivý vliv červnových a červencových teplot na růst smrku v Krkonoších potvrzuje řada autorů (Tremel et al. 2015, Tremel et al. 2012, Kroupová 2002, Wilczyński et al. 2004). Pozitivní vliv mají též teploty předešlého října a aktuálního května (Sander et al. 1995). Na obou lokalitách se ukázaly kladné korelace s teplotami předešlého listopadu, což uvádí i Janda (2008) a pozitivní vliv srážek minulého února (Ponocná et al. 2016). Na severní lokalitě měly srážky výrazně menší vliv než v Modrém dole. Index sucha SPEI pozitivně ovlivňuje růst stromů na obou lokalitách od ledna do března minulého roku, ovšem poměrně slabě a ve studiích ani nebývá analyzován. Celkově nejsou zjištěné korelační vztahy nijak vysoké (max 0,32), vyšších koeficientů by se pravděpodobně dosáhlo u korelací se sezónními průměry, případně se silněji proloženými chronologiemi, nebo chronologiemi tvořenými starými stromy (Cook and Kairiukstis 1990).

Výsledné vztahy s klimatickými proměnnými z Kostelce se také shodují s poznatky z jiných studií. Nejdůležitějším faktorem je pro borovice dostupná vlhkost. Vysoké korelace zaznamenané na obou stanovištích se srážkami od května do července zachycují jak Mácová (2008), tak Lehečková (2013). Šířkám letokruhových indexů nejlépe odpovídají hodnoty indexu sucha SPEI v letních měsících (květen až září) v aktuálním i předchozím roce růstu, přičemž korelace kulminují v červenci. Podobných výsledků dosáhla též Lehečková (2013), která uvádí kladný vliv indexu sucha PDSI v některých případech už od ledna do srpna. V podstatě veškeré práce na borovici lesní uvádí nízké, případně záporné ovlivnění teplotami, kromě teplot v únoru (Lehečková 2013, Feliksik & Wilczyński 2009, Mácová 2008). Na našich lokalitách jsou teploty skutečně méně významným faktorem růstu stromů, ovšem pozitivní vliv únorových teplot se neprojevil. Na jižní kostelecké lokalitě se ukázal negativní dopad teplotních poměrů v předešlém září, který potvrzuje Lehečková (2013).

Na základě klimatického signálu letokruhových chronologií, který odpovídá výsledkům jiných studií z různých lokalit, se dá říci, že studované lokality dobře charakterizují dané ekosystémy.

8.2 Projevy individuální růstové variability

8.2.1 Individuální růstová variabilita v čase

Výsledky klouzavého Rbar a PCA v Krkonoších jsou v dobré shodě s prací Ponocná et al. (2018). V 50. letech je vidět nízká koherence růstu stromů, limitující vliv teplot v těchto

oblastech zřejmě nebyl tehdy tak významný, protože se jednalo o druhé nejteplejší období zachycené v chronologiích. Mimo to ve 40. a 50. letech došlo k úplnému ukončení pastvy a sklizení sena což vedlo k větším zásahům do lesa (Tremel et al. 2016, Kozak 2003). Snížení tlaku pastvy mohlo vést k větší variabilitě růstu stromů v 50. letech. Maximum mezisériových korelací a vysvětlené variability na PC v 70. letech bylo pravděpodobně způsobeno silným stresem životního prostředí ve formě kyselé depozice síry a dusíku, které působily jako společný limitující faktor růstu (Ponocná et al. 2018). Od 90. let koherence opět klesá, což může být způsobeno narůstajícími teplotami, ovšem v porovnání s 50. lety je stále vyšší. Podobný vývoj reakcí stromů zachytili Ponocná et al. (2018) i v jiných Sudetských pohořích. Obě lokality mají podobný průběh koherence růstu, ovšem na lokalitě Modrý důl je vidět v 50. letech výraznější propad vysvětlené variability i Rbar oproti lokalitě Bílé Labe. Teoreticky je možné, že se zde projevil vliv expozice svahu a že vysoké teploty způsobující divergenci působily více na jižně orientované lokalitě.

Borové lokality vykazují navzájem podobný průběh Rbar i vysvětlené variability na PC1–4. Maximum mezisériových korelací je zachyceno na počátku 20. století, kdy korelace překračují hodnotu 0,6, od té doby je vidět dlouhodobý pokles koherence růstu, což potvrzují výsledky práce Lehečková (2013). Zatímco jižní lokalita má poměrně hladký průběh Rbar, severní lokalita vykazuje hned několik rychlých výkyvů, které jsou dobře patrné i na výsledcích klouzavé PCA. Teoreticky je možné, že tyto změny jsou způsobeny změnami ve věkové struktuře porostu. Na severní lokalitě jsou jasně patrné dvě věkové skupiny stromů, z nichž mladší se etablovala v 70. letech, kdy je na průběhu Rbar i klouzavé PCA vidět rychlé zvýšení divergence. Přibližně v 80. letech se mezisériové korelace sice opět zvýšily, nicméně od té doby již nepřesáhly hodnotu 0,4. Současná vysoká variabilita růstu borovic může být způsobená klimatickými změnami, na které ne všechny stromy reagují stejně. U řady jedinců došlo k prohloubení negativní reakce na teploty a přibližně třetina změnila svůj vztah k indexu sucha.

8.2.2 Míra individuální růstové variability

Z výsledků analýzy hlavních komponent a na základě informací z jiných studií se zdá, že u kosteleckých borovic je variabilita růstu spíše vyšší a na smrcích v Krkonoších naopak nižší, než je obvykle pozorováno. Často bývá na první hlavní komponentě vysvětleno přibližně 50 % celkové variability a na druhé okolo 10 % (Buras et al. 2018a, Galván et al. 2014, Oberhuber and Kofler 2000). Na borových lokalitách vysvětluje první hlavní komponenta výrazně pod 50 % celkové variability (KOS 35 %, KOJ 42 %) a druhá obvyklých 10 %. Podobně nízká čísla udává pouze Tumajer et Tremel (2017), kteří na PC1 dosáhli cca 40 % a na

PC2 15 %. U krkonošských smrků je na první komponentě vysvětleno až 60 % a na druhé opět přibližně 10 %. Vyššího procenta vysvětlené variability dosáhli pouze Fang et al. (2012), kdy PC1 obsahovala 70 % obsažené informace. Tyto rozdíly mohou být způsobeny například věkovou strukturou porostu. Na kosteleckých lokalitách (především na severní) jsou dvě věkově odlišné skupiny, zatímco krkonošská stanoviště mají vyrovnané zastoupení různě starých stromů. V analyzovaném období 1978–2017 se navíc stále v Krkonoších projevoval vliv kyselé depozice, který působil jako společný stresový faktor růstu stromů, zvyšující jejich koherenci (Ponocná et al. 2018). Určité odlišnosti mohou být také způsobeny použitými metodickými postupy. Letokruhová data byla pouze detrendována a neprošla transformací, je tedy možné, že poté by byly výsledky poněkud odlišné, protože poté by byla data homoskedastická (jejich rozptyly by nebyly heterogenní).

8.2.3 Vysvětlení individuální růstové variability

Na základě výsledků se dá říci, že PC1 obsahuje informaci o klimatickém signálu letokruhů a PC2 zčásti popisuje variabilitu velikosti stromů (DBH). Klimatické proměnné s druhou komponentou korelují na všech lokalitách pouze velice zřídka a slabě, kromě toho se nikdy nejedná o hlavní řídicí faktory. Naopak s velikostí stromu dosahuje na většině studovaných lokalit středně silných statisticky signifikantních korelací. U severní lokality Kostelce se navíc projevil prokazatelný rozdíl v DBH mezi responder chronologiemi, které byly vyčleněny podle korelace s PC2. Množství vysvětlené variability na druhé hlavní komponentě se mezi lokalitami výrazně neliší, nicméně na borových stanovištích bylo o něco vyšší. To může být vysvětleno výskytem dvou různých věkových skupin, což se odráží v PC2.

Růstové trendy responder chronologií nejsou všeobecně nijak zásadně rozdílné. NON chronologie jsou zpravidla jakýmsi průměrem růstu stromů, přičemž POS a NEG chronologie oscilují okolo nich (Tumajer et Treml 2017). Z klimatického signálu responder chronologií ze severní lokality Kostelce je vidět, že mladší jedinci tvořící negativní chronologie reagují na rozdíl od starších i na teplotní poměry v předchozím září a listopadu. U jižní lokality nejsou rozdíly ve velikosti stromů responder chronologií tak výrazné, nicméně se projevil podobný efekt vlivu teplot na NEG chronologie. Rozdíly v klimatickém signálu různých věkových skupin stromů potvrzují též Carrer et Urbinati (2004). Na krkonošských smrcích jsou sice patrné rozdíly mezi negativními a pozitivními chronologiemi v klimatickém signálu, ovšem, nelze je vysvětlovat velikostí, či stářím stromu.

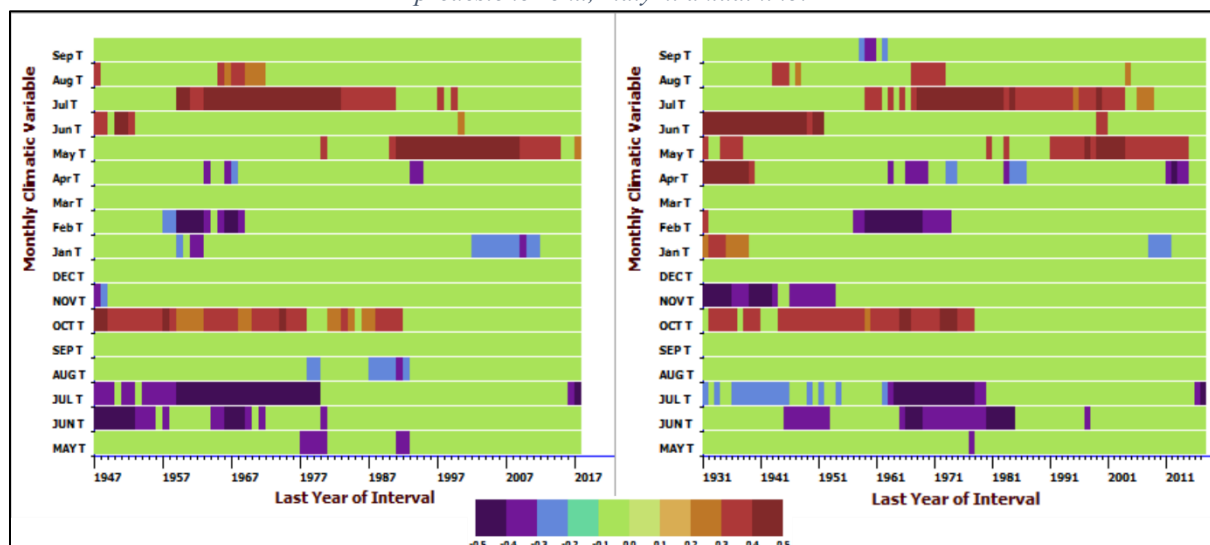
Předpoklad prostorové autokorelace se všeobecně nepotvrdil. U severní kostelecké lokality sice reakce stromů na PC2 a 3 vykazují prostorové závislosti, ty ovšem nejsou nijak vysoké a jedná se pouze o tyto dva případy.

Hypotéza vlivu individuálních proměnných na rozdílné růstové trendy v porostu nebyla zamítnuta. Nebyla sice zjištěna závislost všeobecně platná pro veškeré lokality, nicméně všechny zkoumané proměnné (topografické podmínky, velikost stromu a kompetiční index) zaznamenaly s hlavními komponentami jisté statisticky signifikantní vztahy. Vliv velikosti stromu se projevil na všech lokalitách, většinou na PC2, ale i na jiných komponentách a přibližně vysvětluje necelých 10 % variability růstu.

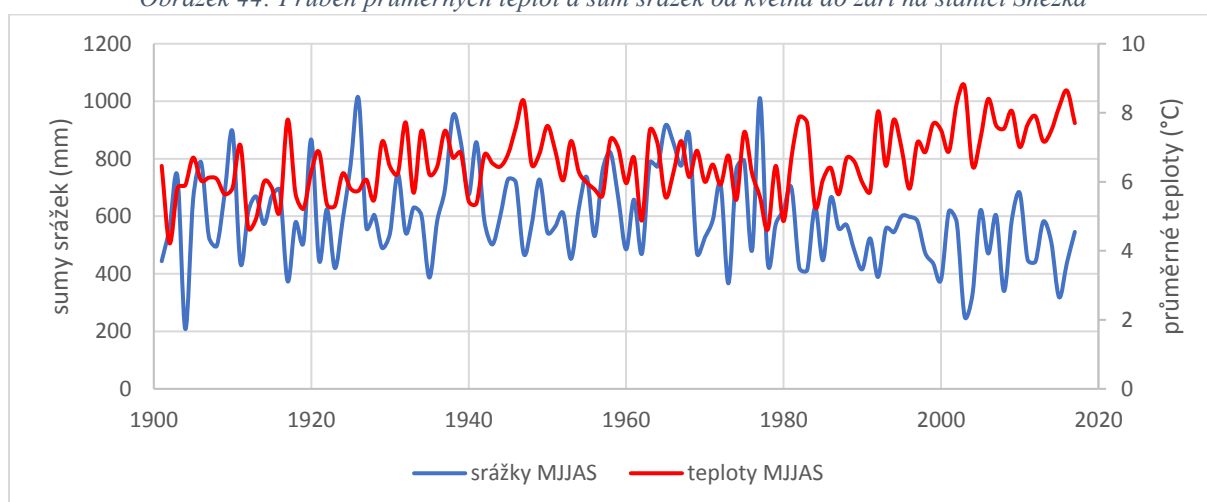
8.3 Projevy nestability klimatického signálu

Klouzavé korelace stanovištních standardních chronologií s klimatem u smrkových lokalit ukazují silný vliv červencových teplot až do 50. let minulého století. Tento vztah poté mizí a stromy reagují spíše na červnové teploty, což potvrzuje též Ponocná et al. (2018). Důvodem mohou být již zmiňované vysoké teploty v 50. letech (obrázek 44). V 80. letech je na chronologiích patrný silný propad šířek letokruhů a také pokles korelačních koeficientů s teplotami. V té době byly zdejší lesy zasaženy imisemi, z nichž především síra a dusík měly silně negativní dopad na růst stromů (Kolář et al. 2015). V minulosti byl růst smrků řízen především červnovými a červencovými teplotami, zatímco v současnosti se ukazuje vliv teplot přes většinu vegetační sezóny (od května do srpna). Nicméně červnové a červencové teploty mají stále zásadní význam (Ponocná et al. 2018). Nabízí se ovšem otázka, zda tyto sílící letní korelace nejsou pouze statistickým artefaktem rostoucího trendu jak letokruhových, tak teplotních časových řad. Na standardních chronologiích je vidět od 80. let nárůst letokruhových indexů, který se na reziduálních neprojevuje tak výrazně. V kombinaci s narůstajícími teplotami mohou tyto trendy vyústit v rostoucí korelace. Tomu nahrává i jiný trend v klouzavých korelacích s reziduálními chronologiemi (tj. chronologiemi bez trendu) (obrázek 43) ve smyslu slabšího vlivu teplot směrem do současnosti. Červnové teploty se v těchto případech neprojevily vůbec a korelace s červencovými spíše poklesávají. Výraznější vliv se ukázal u květnových teplot, který nicméně aktuálně také slábne. V současnosti se v Krkonoších výrazně negativně projevuje vliv indexu sucha SPEI v květnu a červnu aktuálního i předchozího roku. Pravděpodobně se jedná o důsledek nižších srážkových úhrnů a vyšších teplot (obrázek 44), které ústí ve větší a častější sucha než dříve.

Obrázek 43: Klouzavé korelace reziduálních chronologií krkonošských lokalit s detrendovanými teplotami (50letým splinem) v 35letém okně (vlevo Bílé Labe, vpravo: Modrý důl). Velkými písmeny jsou psané měsíce předešlého roku, malými aktuálního.



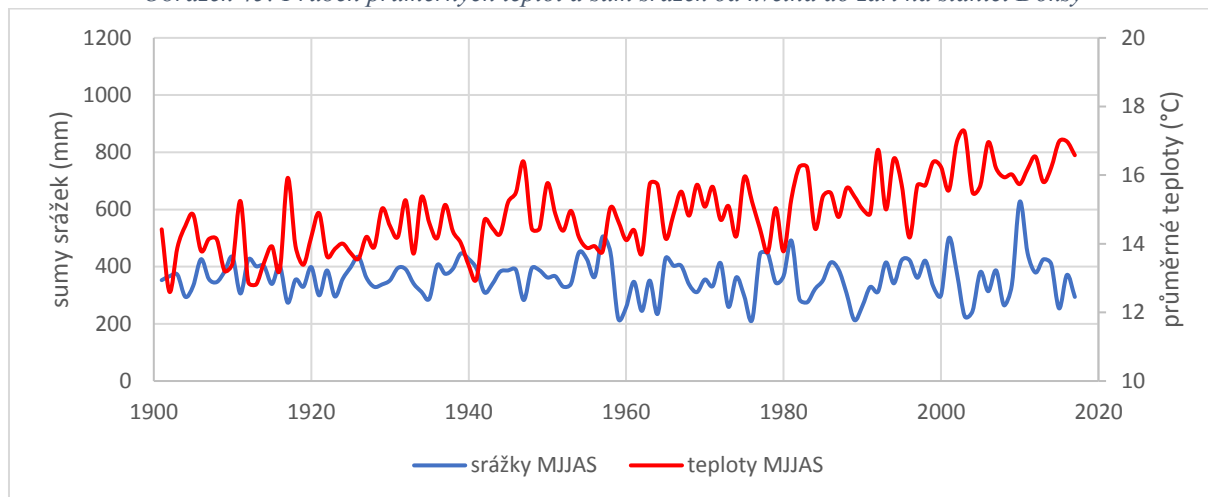
Obrázek 44: Průběh průměrných teplot a sum srážek od května do září na stanici Sněžka



Výsledky klouzavých korelací na kosteleckých chronologiích jsou v poměrně dobré shodě s prací Lehečkové (2013). Ta zachytila u borovic na Kokořínsku silný vliv srážek v červenci, a to přes celé zkoumané období (1902–2009). Na borových lokalitách je tento vztah slabší a signifikantní až přibližně od 60. let 19. stol a od té doby stále roste. V té době je na průběhu srážek vidět pokles jejich množství a zvýšení meziroční variability (obrázek 45). Obě studie zachycují také pozitivní dopad květnových a červnových srážek cca do roku 1950, který byl poměrně výrazně teplý a od té doby teploty stále stoupají. Často pozorované jsou kladné korelace borovic s teplotami v únoru (Máková 2008, Lehečková 2013). Ty byly zachyceny též na obou studovaných lokalitách, ovšem od 50. let se tato vazba již neprojevuje. Přesně v této době začaly mít teploty v lednu a předešlém září silně negativní dopad, což může být způsobeno tím, že narůstající teploty jsou již příliš vysoké. Na několika stanovištích pozorovala Lehečková

(2013) kladný vliv červencových a srpnových teplot, což se projevilo i na našich lokalitách, nicméně velmi slabě a stejně tak tomu bylo i v případě záporného vlivu lednových srážek. Určité rozdíly ve výsledcích obou prací mohou být způsobeny odlišnými délkami pohyblivého korelačního okna. V poslední době je na obou borových lokalitách patrný nárůst pozitivního vlivu indexu sucha a srážek, a naopak prohloubení negativního dopadu teplot.

Obrázek 45: Průběh průměrných teplot a sum srážek od května do září na stanici Doksy



Výsledky párového t-testu korelačních koeficientů jednotlivých stromů s klimatem rovněž ukázaly, že stromy v posledních letech mění své reakce na klima. U faktorů, které kladně ovlivňují růst stromů na dané lokalitě bylo vždy zjištěno pouze několik jedinců, kteří vykázali změnu. Naopak u záporně působících klimatických proměnných změnila svou reakci většina stromů na stanovišti. Je pravděpodobné, že se zvyšujícími se teplotami jimi smrky budou méně limitovány a budou reagovat více na vlhkostní poměry. U borovic lze očekávat vyšší nepříznivý vliv narůstajících teplot, které budou navíc způsobovat větší sucha a stromy tak budou limitovány výlučně srážkovými poměry. Na klouzavých korelacích chronologií lze již nyní pozorovat sílící vztah borovic ke srážkám v aktuálním červenci (Lehečková 2013) a předešlém září.

Změny odezvy na klima se projevily více na horském smrku v Krkonoších než v borových ekosystémech nízkých poloh. Tyto rozdíly byly v minulosti způsobeny kyselou depozicí a v současnosti změnou klimatických podmínek (Ponocná et al. 2018). Borovice byly v minulosti limitované suchem a dnes jsou limitované suchem ještě více. Naopak smrk ve vysokých polohách byl dříve limitován teplotními poměry, ovšem v současnosti tato vazba slábne a projevuje se dopad sucha.

9. Závěr

Výsledky této práce poukazují na existenci individuální růstové variability na všech zkoumaných lokalitách, přičemž u zkoumaných borových ekosystémů je růstová variabilita relativně větší, zatímco u horských smrčín na horní hranici lesa v Krkonoších je nižší. Z dílčích faktorů, které mohou vysvětlit individuální růstovou variabilitu má největší význam velikost jedince. Ostatních faktory (mikrorelief, kompetice, vzájemná poloha stromů) mohou mít v určitých případech vliv také, ale celkově je jejich význam malý. Na studovaných lokalitách se prokázal výskyt subpopulací stromů s poněkud odlišnými reakcemi na klima, z nichž u některých byly zjištěny rozdíly ve velikosti participujících stromů. Individuální růstová variabilita je v čase proměnlivá, přičemž na tyto časové změny mají vliv různé faktory. Jedná se o výkyvy klimatických proměnných limitujících růst, dynamika věkové struktury lesa, kdy se mohou změnit kompetiční vztahy jednotlivých stromů, znečišťování životního prostředí lidskou činností apod.

Na všech lokalitách se v letokruhových datech projevila nestabilita klimatického signálu a dle předpokladů byla u smrku ztepilého vyšší. Aktuálně je růst smrku na horní hranici lesa v Krkonoších příznivě ovlivněn vyššími teplotami v červnu a červenci, ovšem ve zvýšené míře začíná i zde růst reagovat na indikátory limitace nedostatku vláhy. Vyšší teploty způsobují větší sucho, které má na růst naopak negativní dopad. Růst borovic na Kokořínsku je dlouhodobě limitován suchem v letních měsících, přičemž tento vztah se stává spíše silnějším.

Tato diplomová práce tedy ukázala především vyšší míru uniformity růstu smrku na horní hranici lesa než u borovice v nížinných borových porostech. U smrku na druhou stranu dochází ke změně klimatického signálu z teplotně-limitovaného na smíšený, zatímco u borovice se klimatické řízení růstu v zásadě nemění.

10. Literatura

- Adamovič J., Mikuláš R., Cílek V. (2010): Atlas pískovcových skalních měst České a Slovenské republiky. Academia, Praha, 460 s.
- Allen K.J., Villalba R., Lavergne A., Palmer J. G., Cook E.C., Fenwick P., Drew D.M, Turney C.S.M., Baker P.J. (2018): A comparison of some simple methods used to detect unstable temperature responses in tree-ring chronologies. *Dendrochronologia* 48 (2018) 52–73 s.
- Andreu-Hayles L., D'Arrigo R., Anchukaitis K. J., Beck P. S. A., Frank D., Goetz S. (2011): Varying boreal forest response to Arctic environmental change at the Firth River, Alaska. *Environmental Research Letters* 6(045503), 10 s.
- Anselin L. (2005): Exploring Spatial Data with GeoDa™: A Workbook. University of Illinois, Urbana-Champaign, 244 s.
- Babst F., Alexander M. R., Szejner P., Bouriaud O., Klesse S., Roden J., Ciais P., Poulter B., Frank D., Moore D. J. P., Trouet V. (2014): A tree-ring perspective on the terrestrial carbon cycle. *Oecologia* 176, 307–322 s.
- Balatka B., Kalvoda J. (2006): Geomorfologické členění reliéfu Čech. Kartografie Praha, Praha, 79 s.
- Bína J., Demek J. (2012): Z nížin do hor: geomorfologické jednotky České republiky. Academia, Praha, ISBN 978-802-0020-260, 343 s.
- Büntgen U., Frank D., Wilson R., Carrer M., Urbinati C., Esper J (2008): Testing for tree-ring divergence in the European Alps. *Global Change Biology* 14, 2443–2453.
- Büntgen U., Wilson R., Wilmking M., Niedzwiedz T., Bräuning A (2009): The 'Divergence Problem' in tree-ring research. 9 s.
- Buras A., van der Maaten-Theunissen M., van der Maaten E., Ahlgrimm S., Hermann P., Simard S., Heindrich I., Helle G., Unterseher M., Schnittler M., Eusemann P., Wilmking M. (2016): Tuning the Voices of a Choir: Detecting Ecological Gradients in Time-Series Populations. *PLoS ONE* 11(7): e0158346.
- Buras A., Schunk Ch., Zeiträg C, Herrmann C., Kaiser L., Lemme H., Straub Ch., Taeger S., Gößwein S., Klemmt H-J., Menzel A. (2018a): Are Scots pine forest edges particularly prone to drought-induced mortality?. *Environmental Research Letters* 13, 025001, 11 s.
- Buras et al. (2018b): Introducing the Individualistic Growth Response network (IGR). Poster at TRACE 2018.

- Businský R., Velebil J. (2011): Borovice v České republice: výsledky dlouhodobého hodnocení rodu *Pinus* L. v kultuře v České republice = Pines in the Czech Republic: results from the long-term evaluation of the genus *Pinus* L. cultivated in the Czech Republic. Výzkumný ústav Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví, Průhonice, ISBN 978-808-5116-908, 180 s.
- Carrer M. (2011): Individualistic and Time-Varying Tree-Ring Growth to Climate Sensitivity. *PLoS ONE* 6(7): e22813, 8 s.
- Carrer M. Urbinati C. (2004): Age-dependent tree-ring growth responses to climate in *Larix decidua* and *Pinus cembra*. *Ecology*, Vol. 85, No. 3, 730-740 s.
- Cílek V. (2007): Climate, microclimate and paleoclimate of sandstone areas of Central and Northern Bohemia (Czech republic). In: Härtel H., Cílek V., Herben T., Jackson A., Williams R. (eds.): *Sandstone landscapes*. Academia, Praha, s. 97–103.
- Contreras M. A., Affleck D., Chung W. (2011): Evaluating tree competition indices as predictors of basal area increment in western Montana forests. *Forest Ecology and Management* 262, 1939–1949 s.
- Cook E. R., Kairiukstis L. A. (eds.) (1990): *Methods of dendrochronology: applications in the environmental science*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London, 394 s.
- Culek M., Grulich V., Laštůvka Z., Divíšek J. (2013): *Biogeografické regiony České republiky*. Masarykova univerzita, Brno, ISBN 978-80-210-6693-9, 448 s.
- D'Arrigo R., Kaufmann R. K., Davi N., Jacoby G. C., Laskowski Ch., Myneni R. B., Cherubini P. (2004): Thresholds for warming-induced growth decline at elevational tree line in the Yukon Territory, Canada. *Global Biogeochem. Cycles*, 18, GB3021, 8 s.
- D'Arrigo R., Wilson R., Jacoby G. (2006): On the long-term context for late twentieth century warming. *Journal of geophysical research*, 111, D03103, 12 s.
- D'Arrigo R., Wilson R., Liepert B., Cherubini P. (2007): On the 'Divergence Problem' in Northern Forests: A review of the tree-ring evidence and possible causes. *Global and Planetary Change*, 60, 289-305 s.
- D'Arrigo R., Davi N., Jacoby G., Wilson R., Wiles G. (2014): *Dendroclimatic Studies: Tree Growth and Climate Change in Northern Forests*. Wiley, Washington D.C., 88 s.
- Dearborn K. D., Danby R. K. (2018): Climatic drivers of tree growth at tree line in Southwest Yukon change over time and vary between landscapes. *Climatic Change* 150, 211–225 s.
- Demek J., Balatka B., Czudek T., Láznička Z., Linhart J., Loučková J., Panoš V., Raušer J., Seichterová H., Sládek J., Stehlík O., Štecl O., Vlček V. (1965): *Geomorfologie českých zemí*. Nakladatelství Československé akademie věd, Praha, 335 s.

- Demek J., Balatka B., Buček T., Czudek T., Dědečková M., Hrádek M., Ivan A., Lacina J., Loučková J., Raušer J., Stehlík O., Sládek J., Vaněčková L., Vašátko J. (1987): Zeměpisný lexikon ČSR Hory a nížiny. Academia, Praha, 584 s.
- Driscoll W. W., Wiles G. C., D' Arrigo R. D., Wilmking M. (2005): Divergent tree growth response to recent climatic warming, Lake Clark National Park and Preserve, Alaska. *GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS*, 32, L20703, 4 s.
- Durrant T. H., de Rigo D., Caudullo G. (2016): *Pinus sylvestris* in Europe: distribution, habitat, usage and threats. In: San-Miguel-Ayán J., de Rigo D., Caudullo G., Durrant T.H., Mauri A. (Eds.): *European Atlas of Forest Tree Species*. Publication Office of the European Union, Luxembourg, ISBN 978-92-79-52833-0, 204 s.
- Esper J., Frank D. (2009): Divergence pitfalls in tree-ring research. *Climatic Change* 94, 261–266 s.
- Fang K., Gou X., Chen F., Li Y., Zhang F., Kazmer M. (2012): Tree growth and its association with climate between individual tree-ring series at three mountain ranges in north central China. *Dendrochronologia* 30, 113–119 s.
- Fajron A., Filer D. (2013): *An atlas of world's conifers an analysis of their distribution, biogeography, diversity and conservation status*. Brill, Boston, ISBN 978-900-4211-803, 512 s.
- Feliksik E., Wilczyński S. (2009): THE EFFECT OF CLIMATE ON TREE-RING CHRONOLOGIES OF NATIVE AND NONNATIVE TREE SPECIES GROWING UNDER HOMOGENOUS SITE CONDITIONS. *GEOCHRONOMETRIA* 33, 49-57 s.
- Fousek J., Štrusa J. (2007): *Krkonoše-příroda, historie, život*. Baset, Praha, 836 s.
- Friedrichs D. A., Neuwirth B., Winiger M., Löffler J. (2009): Methodologically induced differences in oak site classifications in a homogeneous tree-ring network. *Dendrochronologia* 27, 21–30 s.
- Fritts H. C. (1976): *Tree Rings and Climate*. Academic Press, London, New York, San Francisco, 567 s.
- Galván J. D., Camarero J. J., Gutierréz E. (2014): Seeing the trees for the forest: drivers of individual growth responses to climate in *Pinus uncinata* mountain forests. *Journal of Ecology* 102, 1244–1257 s.
- Hegyí F. (1974): A simulation model for managing jack pine stands. In: Fries, J. (Ed.), *Proceedings of IUFRO meeting S4.01.04 on Growth models for tree and stand simulation*, Royal College of Forestry, Stockholm, 74-90 s.

- Chytrý M., Kučera T., Kočí M., Grulich V., Lustyk P. (eds) (2010): Katalog biotopů České republiky. Agentura ochrany přírody a krajiny ČR, Praha, ISBN 978-80-87457-03-0, 447 s.
- Janda M. (2008): LETOKRUHOVÁ CHRONOLOGIE SMRKU PRO VÝCHODNÍ KRKONOŠE. Diplomová práce, Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, Praha, 79 s.
- Jeník J. (1961): Alpínská vegetace Krkonoš, Králického Sněžníku a Hrubého Jeseníku. Nakladatelství Československé akademie věd, Praha, 409 s.
- Jiao L., Jiang Y., Zhang W-T., Wang M-Ch., Zhang L-N., Zhao S-D. (2015): Divergent responses to climate factors in the radial growth of *Larix sibirica* in the eastern Tianshan Mountains, northwest China. *Trees* 29(6), 1673-1986 s.
- Kolář T., Čermák P., Oulehle F., Trnka M., Štěpánek P., Cudlín P., Hruška J., Büntgen U., Rybníček M. (2015): Pollution control enhanced spruce growth in the “Black Triangle” near the Czech–Polish border. *Science of the Total Environment* 538, 703–711 s.
- Kozak J. (2003): Forest Cover Change in the Western Carpathians in the Past 180 Years: A Case Study in the Orawa Region in Poland. *Mountain Research and Development* 23, 369–375 s.
- Kroupová M. (2002): Dendroecological study of spruce growth in regions under long-term air pollution load. *JOURNAL OF FOREST SCIENCE*, 48, 12, 536–548 s.
- Lavergne A., Daux V., Villalba R., Barichivich J. (2015): Temporal changes in climatic limitation of tree-growth at upper treeline forests: Contrasted responses along the west-to-east humidity gradient in Northern Patagonia. *Dendrochronologia* 36, 49–59 s.
- Lebourgeois F., Mérian P., Courdier F., Ladier J., Dreyfus P. (2012): Instability of climate signal in tree-ring width in Mediterranean mountains: a multi-species analysis. *Trees* 26, 715–729 s.
- Lehečková E. (2013): Citlivost letokruhových řad borovice lesní (*Pinus sylvestris*) ke klimatickým parametrům. Diplomová práce, Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, Praha, 107 s.
- Ložek V., Kubíková J., Šprynar P. (2005): Chráněná území ČR: Střední Čechy, svazek 13. AOPK, Praha, 902 s.
- Mácová M. (2008): Dendroclimatological comparison of native *Pinus sylvestris* and invasive *Pinus strobus* in different habitats in the Czech Republic. In: Härtel H., Cílek V., Herben T., Jackson A., Williams R. (eds.): *Sandstone landscapes*. Academia, Praha, s. 97–103.
- Martín-Benito D., del Río M., Cañellas I. (2010): Black pine (*Pinus nigra* Arn.) growth divergence along a latitudinal gradient in Western Mediterranean mountains. *Annals of Forest Science* 67 (4), 401–413 s.

- Melvin T. (2004): Historical growth rates and changing climatic sensitivity of boreal conifers. Doctoral thesis, University of East Anglia, 271 s.
- Mitchell T. D., Jones P. D. (2005): An Improved Method of Constructing a Database of Monthly Climate Observations and Associated High-Resolution Grids. *International Journal of Climatology* 25(6): 693–712 s.
- Montpellier E. E., Soulé P. T., Knapp P. A., Shelly J. S. (2018): Divergent growth rates of alpine larch trees *Larix lyallii* Parl in response to microenvironmental variability. *ARCTIC, ANTARCTIC, AND ALPINE RESEARCH* 50, 1, e1415626, 9 s.
- Neuhäuslová Z., Blažková D., Grulich V., Husová M., Chytrý M., Jeník J., Jirásek J., Kolbek J., Kropáč Z., Ložek V., Moravec J., Prach K., Rybníček K., Rybníčková E., Sádlo J. (1998): Mapa potenciální přirozené vegetace České republiky. Academia, Praha, 341 s.
- Oberhuber W., Kofler W. (2000): Topographic influences on radial growth of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) at small spatial scale: responses to climate in *Pinus uncinata* mountain forests. *Plant Ecology* 146, 231–240 s.
- Pisaric M. F. J., Carey S. K., Kokelj S. V., Youngblut D. (2007): Anomalous 20th century tree growth, Mackenzie Delta, Northwest Territories, Canada. *GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS*, VOL. 34, L05714.
- Ponocná T., Spyt B., Kaczka R., Büntgen U., Treml V. (2016): Growth trends and climate responses of Norway spruce along elevational gradients in East-Central Europe. *Trees* 30, 1633–1646 s.
- Ponocná T., Chuman T., Rydval M., Urban G., Migala K., Treml V. (2018): Deviations of treeline Norway spruce radial growth from summer temperatures in East-Central Europe. *Agricultural and Forest Meteorology* 253–254, 62–70 s.
- Porter T. J., Pisaric M. F. J. (2011): Temperature-growth divergence in white spruce forests of Old Crow Flats, Yukon Territory, and adjacent regions of northwestern North America. *Global Change Biology* 17, 3418–3430 s.
- Potočka J., Vaněk J. (2006): Krkonošská rašeliniště. Správa KRNAP, Vrchlabí, 32 s.
- Quitt E. (1971): Klimatické oblasti Československa. *Studia geographica* 16, Geografický ústav Československé akademie věd, Brno, 73 s.
- Rabbel I., Neuwirth B., Bogena H., Diekkrüger B. (2018): Exploring the growth response of Norway spruce (*Picea abies*) along a small scale gradient of soil water supply. *Dendrochronologia* 52, 123–130 s.
- Rozas V. (2005): Dendrochronology of pedunculate oak (*Quercus robur* L.) in an old-growth pollarded woodland in northern Spain: tree-ring growth responses to climate. *Annals of forest science* 62, 209–218 s.

- Salzer M. W., Larson E. R., Bunn A. G., Hughes M. K. (2014): Changing climate response in near-treeline bristlecone pine with elevation and aspect. *Environmental Research Letters*, 9, 114007, 8 s.
- Sander C., Eckstein D., Kyncl J., Dobrý J. (1995): The growth of spruce (*Picea abies* (L) Karst) in the Krkonoše-(Giant) Mountains as indicated by ring width and wood density. *Annals of Forest Science*, 52, 401–410 s.
- Sedláček M., Mackovčín P., Faltysová H. (2002): Chráněná území ČR: Královehradecko, svazek 5. AOPK, Praha, 356 s.
- Soukupová L., Kociánová M., Jeník J., Sekyra J. (1995): Arctic-alpine tundra in the Krkonoše, the Sudetes. *Opera Corcontica* 32, 5–88 s.
- Speer, J. H. (2010): *Fundamentals of Tree Ring Research*, The University of Arizona Press, Tuscon, 324 s.
- Stine A. R., Huybers P. (2014): Arctic tree rings as recorders of variations in light availability. *Nature communications* 5, 3836, 9 s.
- Svoboda P. (1953): *Lesní dřeviny a jejich porosty, část 1. Státní zemědělské nakladatelství, Praha*, 411 s.
- Tardif J., Camarero J. J., Ribas M., Gutiérrez E. (2003): SPATIOTEMPORAL VARIABILITY IN TREE GROWTH IN THE CENTRAL PYRENEES: CLIMATIC AND SITE INFLUENCES. *Ecological Monographs*, 73(2), 241–257 s.
- Tolasz R. (ed.), (2007): *Atlas podnebí Česka. ČHMÚ, Praha, Olomouc*, 255 s.
- Treml V., Ponocná T., Büntgen U. (2012): Growth trends and temperature responses of treeline Norway spruce in the Czech-Polish Sudetes Mountains. *Climate research*, 55, 91–103 s.
- Treml V., Ponocná T., King G. M., Büntgen U. (2015): A new tree-ring-based summer temperature reconstruction over the last three centuries for east-central Europe. *International Journal of Climatology* 35, 3160–3171 s.
- Treml V., Šenfeldr M., Chuman T., Ponocná T., Demková K. (2016): Twentieth century treeline ecotone advance in the Sudetes Mountains (Central Europe) was induced by agricultural land abandonment rather than climate change. *Journal of Vegetation Science* 27, 1209–1221 s.
- Trouillier M., van der Maaten-Theunissen M., Harvey J. E., Würth D., Schnittler M., Wilmking M. (2018): Visualizing Individual Tree Differences in Tree-Ring Studies. *Forests* 9, 216, 14 s.
- Tumajer J., Treml V. (2017): Influence of artificial alteration of groundwater level on vessel lumen area and tree-ring width of *Quercus robur*. *Trees* 31, 6, 1945–1957 s.

- Úradníček L., Maděra P., Kolibáčová S., Koblížek J., Šefl J. (2001): Dřeviny České republiky. Maticesnická, Písek, 334 s.
- Wang X., Zhang M., Ji Y., Li Z., Li M., Zhang Y. (2017): Temperature signals in tree-ring width and divergent growth of Korean pine response to recent climate warming in northeast Asia. *Trees* 31, 415–427 s.
- Wilczyński S., Feliksik E., Wertz B. (2004): DIVERSIFICATION OF CLIMATIC REQUIREMENTS OF NORWAY SPRUCE (PICEA ABIES (L.) KARST.) IN THE UPPER FOREST ZONE. *EJPAU* 7 (2), Dostupné Online: <http://www.ejpau.media.pl/volume7/issue2/forestry/art-01.html>
- Wilmking M., Singh J. (2008): Eliminating the “divergence problem” at Alaska’s northern treeline. *Climate of the Past Discussions* 4, 741–759 s.
- Wilmking M., D' Arrigo R. D., Jacoby G. C., Juday G. P. (2005): Increased temperature sensitivity and divergent growth trends incircumpolar boreal forests. *GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS*, 32, L15715, 5 s.
- Zhang Y., Wilmking M., Gou X. (2008): Changing relationships between tree growth and climate in Northwest China. *Plant Ecology* 201, 1, 39–50 s.
- Zhang Y., Wilmking M. (2010): Divergent growth responses and increasing temperature limitation of Qinghai spruce growth along an elevation gradient at the northeast Tibet Plateau. *Forest Ecology and Management* 260, 1076–1082 s.

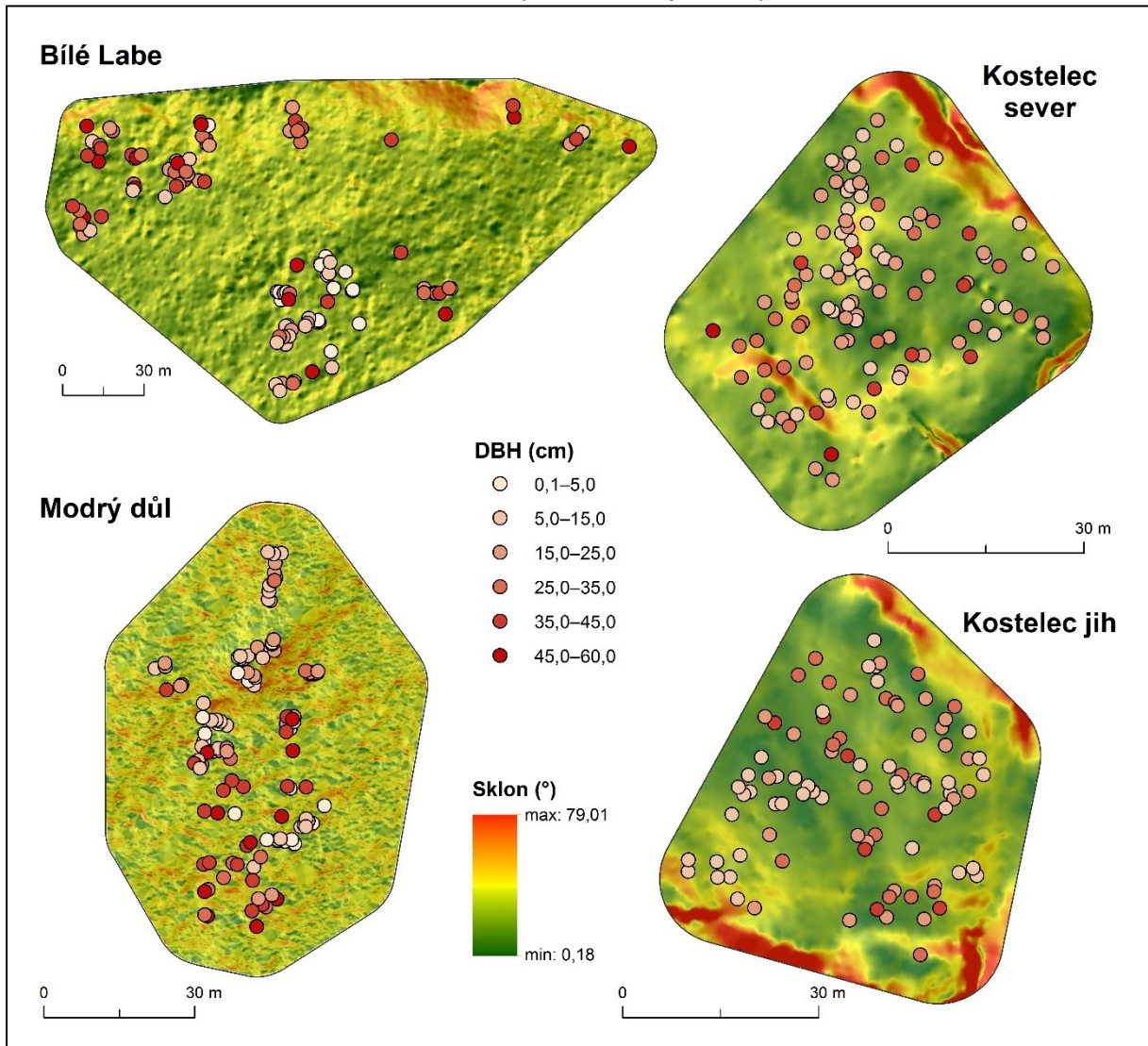
Programy:

- Biondi F., Waikul K. (2004): DENDROCLIM2002: A C++ program for statistical calibration of climate signals in tree-ring chronologies. *Computers & Geosciences*, 30, s. 303–311.
- Bunn A. G. (2008): A dendrochronology program library in R (dplR). *Dendrochronologia* 26, 115–124 s.
- Knibbe, B. (2004): PAST 4. Brunn, SCIEM.
- R Core Team (2018). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Regent Instruments Inc (2011). <http://www.regentinstruments.com>. Accessed 19 Oct 2016
- Vincente-Serrano S. M., Beguería S., López-Moreno J. (2010): A Multiscalar Drought Index Sensitive to Global Warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index. *JOURNAL OF CLIMATE* 23, 23 s.

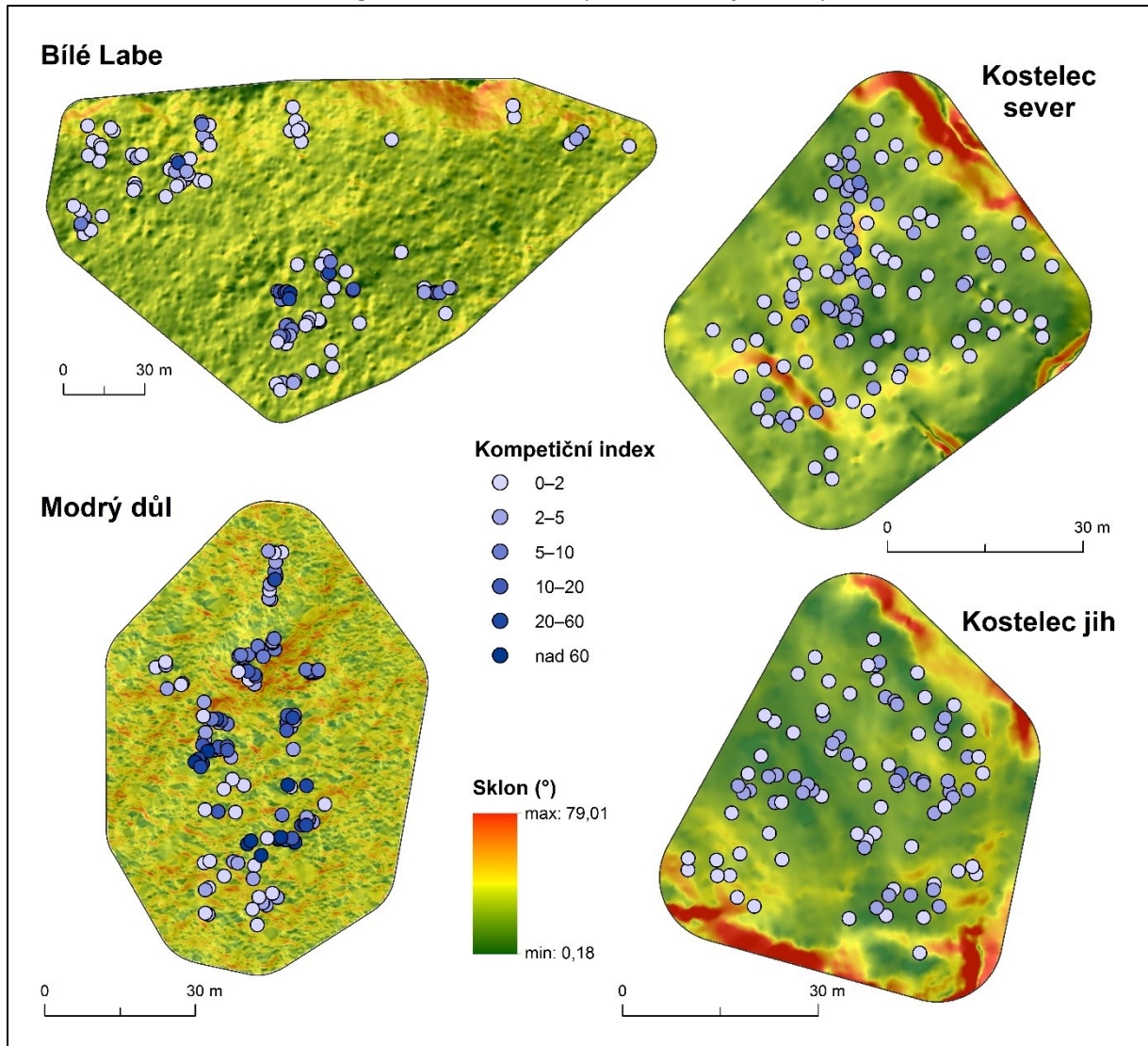
Zang Ch., Biondi F. (2015): treeclim: an R package for the numerical calibration of proxy-climate relationships. *Ecography* 38, 1–6 s.

11. Přílohy

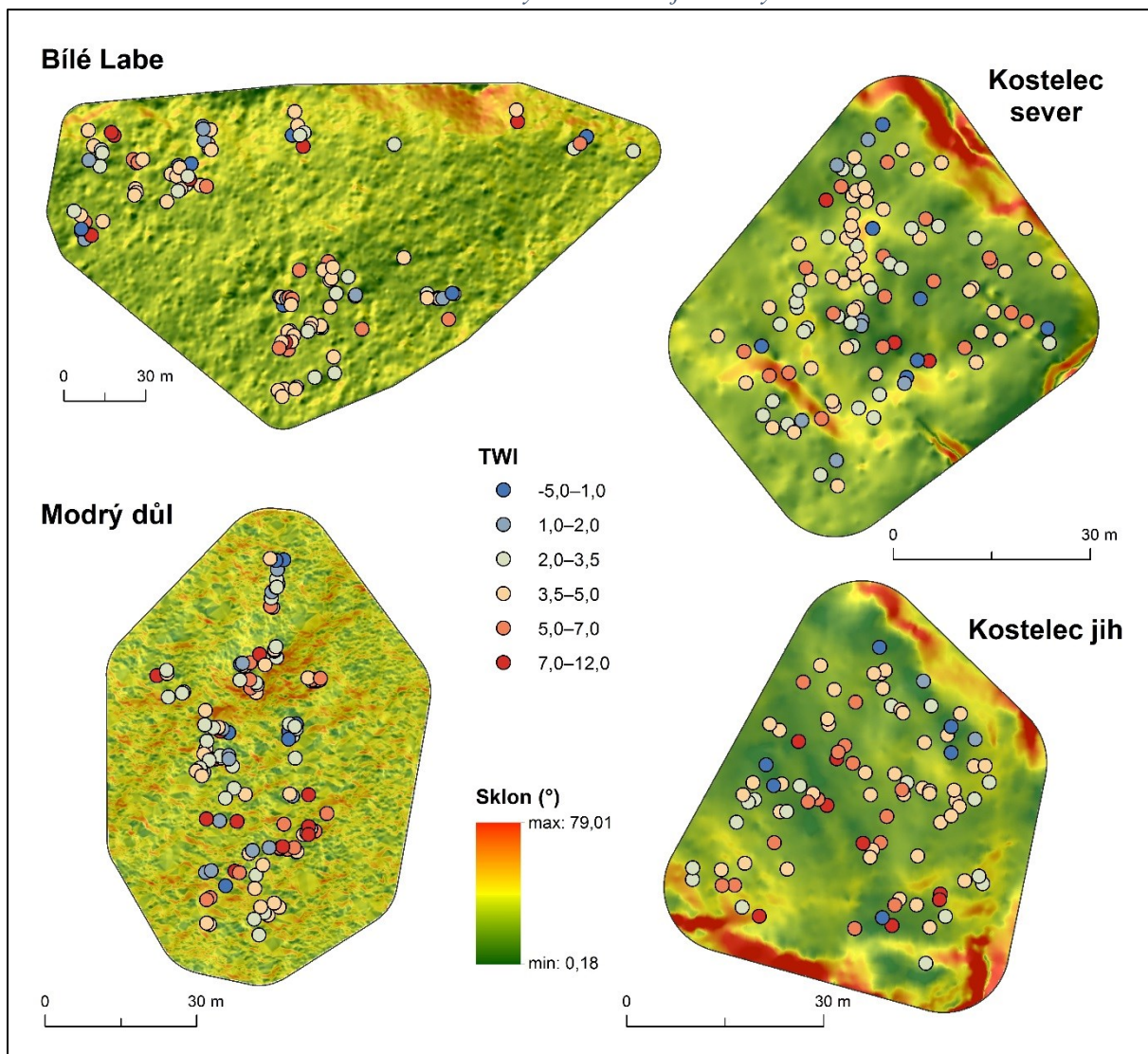
Obrázek 46: DBH studovaných stromů na jednotlivých lokalitách



Obrázek 47: Kompetiční index studovaných stromů na jednotlivých lokalitách



Obrázek 48: TWI studovaných stromů na jednotlivých lokalitách



Tabulka 6: Změna korelačních koeficientů stromů lokality Bílé Labe s klimatickými proměnnými (červená=teploty, modrá=srážky, žlutá SPEI). Zobrazeny jsou pouze stromy se signifikantní změnou reakce na hladině 0,05 %.

Strom	Období	květe n p	červen p	červene c p	srpen p	září p	říjen p	listopa d p	prosin ec p	leden	únor	březen	duben	květen	červen	červen ec	srpen	září
OBL68	1974–1995	-0,133	0,075	-0,269	-0,050	-0,250	-0,079	-0,047	-0,135	0,144	0,326	0,142	-0,401	-0,312	0,199	-0,157	-0,202	0,022
	1996–2017	0,019	0,227	0,337	0,130	0,320	0,028	0,581	0,231	-0,415	-0,108	0,298	0,188	-0,098	0,143	0,526	0,173	0,156
OBL70	1974–1995	-0,031	-0,013	-0,200	-0,126	-0,140	0,159	-0,194	-0,003	-0,249	-0,296	0,108	-0,385	-0,110	-0,137	-0,546	-0,257	-0,245
	1996–2017	-0,145	0,128	0,352	0,102	0,308	0,014	0,596	0,173	-0,338	-0,129	0,220	0,251	-0,228	0,098	0,538	0,082	0,175
OBL77	1974–1995	-0,225	-0,155	-0,188	-0,395	-0,145	0,073	-0,079	0,004	0,207	0,331	0,056	-0,269	-0,044	0,223	-0,241	-0,302	-0,118
	1996–2017	0,243	0,004	0,032	0,161	0,227	0,122	0,540	0,064	-0,331	-0,094	0,288	-0,079	0,108	0,079	0,544	0,274	0,032
OBL78	1974–1995	0,008	-0,113	-0,213	-0,574	-0,122	0,432	0,057	0,010	0,050	-0,036	0,098	-0,059	0,153	0,593	-0,106	-0,308	-0,015
	1996–2017	0,186	0,143	0,167	0,150	0,097	0,091	0,433	0,050	-0,199	-0,060	0,254	0,180	0,118	0,176	0,575	0,226	0,152
Strom	Období	květe n p	červen p	červene c p	srpen p	září p	říjen p	listopa d p	prosin ec p	leden	únor	březen	duben	květen	červen	červen ec	srpen	září
OBL49	1974–1995	0,223	0,108	0,312	0,019	0,021	0,368	0,366	0,293	0,117	-0,148	0,347	0,011	0,121	-0,079	0,214	0,227	0,178
	1996–2017	-0,331	-0,292	-0,272	-0,006	0,067	-0,025	0,084	-0,031	0,101	0,269	0,230	0,092	-0,365	0,028	-0,219	0,113	0,177
OBL53	1974–1995	0,364	0,095	-0,063	0,030	-0,286	0,218	0,308	0,476	0,148	-0,004	0,545	-0,230	0,176	0,093	0,046	0,190	0,171
	1996–2017	0,186	0,063	-0,230	-0,008	-0,107	-0,341	-0,155	-0,030	-0,083	-0,036	-0,036	-0,017	0,072	0,200	-0,253	0,130	-0,151
OBL54	1974–1995	0,251	0,027	0,114	0,089	-0,030	0,250	0,135	0,377	0,334	-0,132	0,498	-0,079	0,225	0,061	0,052	0,189	0,285
	1996–2017	0,075	-0,045	-0,165	0,170	-0,173	-0,301	-0,119	0,183	-0,004	0,004	-0,146	-0,061	-0,004	0,121	-0,116	0,215	-0,146
OBL56	1974–1995	0,104	0,057	0,074	-0,050	-0,013	0,402	0,228	0,462	0,310	-0,269	0,592	0,003	0,105	0,230	0,187	0,024	0,235
	1996–2017	-0,124	0,037	-0,067	-0,207	-0,024	-0,218	-0,229	-0,010	0,023	0,201	0,034	0,251	-0,169	0,077	-0,280	0,354	-0,075
OBL57	1974–1995	0,499	0,371	0,246	-0,081	-0,206	0,741	0,205	0,394	0,062	-0,223	0,295	-0,005	0,262	0,017	0,312	0,244	0,029
	1996–2017	0,141	0,086	-0,175	0,101	-0,033	-0,270	-0,153	0,042	0,012	-0,020	-0,168	-0,074	0,047	0,135	-0,177	0,217	-0,134
OBL59	1974–1995	0,381	0,124	0,119	-0,025	-0,024	0,368	0,290	0,346	0,125	-0,181	0,419	-0,038	0,012	0,130	0,102	0,082	0,350
	1996–2017	0,149	0,084	-0,187	-0,066	-0,221	-0,167	-0,199	0,048	0,024	-0,091	-0,070	-0,177	0,164	0,250	-0,197	0,008	-0,233
OBL62	1974–1995	0,351	0,173	0,172	-0,016	-0,109	0,513	0,217	0,488	0,213	-0,235	0,406	-0,024	0,345	0,210	0,223	0,124	0,109
	1996–2017	0,150	-0,070	0,090	0,018	0,026	0,016	-0,164	0,150	-0,039	0,097	-0,209	0,083	-0,054	0,247	0,230	0,166	-0,195
OBL64	1974–1995	0,366	0,113	0,071	0,138	-0,041	0,386	0,116	0,466	0,263	-0,457	0,540	0,162	0,188	0,228	-0,073	-0,077	0,186

	1996–2017	-0,051	0,120	0,093	-0,055	-0,209	-0,197	-0,275	0,230	0,068	-0,076	-0,054	0,061	-0,173	0,116	-0,291	0,066	-0,126
OBL68	1974–1995	0,238	0,314	0,107	-0,091	0,131	0,464	0,324	0,340	-0,052	-0,334	0,217	0,291	0,227	0,248	0,395	0,091	0,010
	1996–2017	0,046	-0,031	-0,340	0,087	-0,199	-0,264	-0,103	-0,064	0,087	-0,055	-0,051	-0,179	0,157	0,127	-0,271	0,111	-0,219
OBL70	1974–1995	0,233	-0,009	0,037	0,261	-0,076	0,045	0,155	-0,183	-0,105	-0,207	-0,336	0,239	0,506	0,205	0,163	0,361	0,131
	1996–2017	0,142	0,087	-0,146	0,085	-0,279	-0,041	-0,076	-0,044	0,025	-0,256	-0,184	-0,271	0,204	0,258	-0,142	0,134	-0,102
OBL72	1974–1995	0,148	-0,015	0,135	-0,005	0,018	0,272	0,135	0,256	0,235	-0,330	0,390	0,141	0,084	0,168	0,107	0,059	0,266
	1996–2017	-0,168	-0,144	-0,030	-0,041	-0,006	-0,175	-0,241	0,185	0,129	0,274	0,026	0,072	-0,248	0,158	-0,226	0,254	-0,138
OBL73	1974–1995	0,256	0,095	0,121	0,129	-0,001	0,253	0,232	0,464	0,036	-0,185	0,388	-0,076	0,306	0,173	0,025	0,145	0,184
	1996–2017	-0,196	-0,209	-0,145	0,014	0,110	-0,130	-0,114	0,136	-0,022	0,326	0,196	-0,111	-0,224	0,020	-0,204	0,279	-0,147
OBL75	1974–1995	0,480	0,268	0,058	0,097	-0,203	0,347	0,236	0,584	0,241	-0,116	0,577	-0,116	0,241	0,099	0,117	0,068	0,112
	1996–2017	0,142	-0,036	-0,185	0,221	0,052	-0,434	-0,051	0,073	-0,137	0,067	-0,175	0,103	-0,134	0,180	-0,180	0,285	-0,141
OBL77	1974–1995	0,450	0,189	0,235	0,047	0,001	0,353	0,270	0,362	-0,019	-0,051	0,176	0,038	0,156	0,253	0,313	0,177	0,232
	1996–2017	0,127	0,127	-0,104	0,075	-0,146	-0,153	-0,212	0,051	0,014	0,024	-0,152	0,077	0,043	0,175	-0,165	0,135	-0,109
Strom	Období	květe n p	červen p	červene c p	srpen p	září p	říjen p	listopa d p	prosinc ec p	leden	únor	březen	duben	květen	červen ec	srpen	září	
OBL14	1974–1995	0,133	-0,039	-0,055	0,003	0,045	0,191	0,020	0,176	0,440	0,402	0,394	0,068	0,059	0,013	-0,034	0,030	0,137
	1996–2017	-0,360	-0,127	-0,075	0,037	-0,133	-0,113	-0,318	-0,235	0,016	0,004	-0,045	-0,105	-0,129	0,273	0,010	0,025	-0,155
OBL18	1974–1995	0,153	-0,056	0,091	0,030	0,082	0,130	0,358	0,468	0,550	0,464	0,365	0,176	0,216	0,054	0,101	0,120	0,230
	1996–2017	-0,026	-0,366	-0,285	0,114	0,384	0,288	0,028	-0,088	0,264	0,440	0,461	0,421	-0,107	-0,344	-0,340	0,113	0,221
OBL49	1974–1995	0,222	0,099	0,289	0,205	0,205	0,165	0,448	0,467	0,417	0,274	0,173	0,069	0,122	-0,058	0,078	0,145	0,334
	1996–2017	-0,238	-0,528	-0,394	-0,320	-0,169	-0,075	-0,071	-0,054	0,167	0,246	0,404	0,319	-0,034	-0,118	-0,295	-0,088	-0,041
OBL53	1974–1995	0,132	0,079	0,132	0,039	-0,098	0,002	0,167	0,488	0,532	0,502	0,357	0,073	0,062	-0,052	0,056	0,105	0,186
	1996–2017	-0,214	-0,114	-0,069	-0,171	-0,277	-0,309	-0,420	-0,443	-0,086	-0,023	0,054	-0,051	0,018	0,146	-0,128	-0,087	-0,238
OBL54	1974–1995	0,157	0,005	0,104	0,076	0,086	0,163	0,237	0,375	0,463	0,462	0,339	0,073	0,186	0,048	0,068	0,108	0,258
	1996–2017	-0,465	-0,318	-0,105	-0,021	-0,135	-0,156	-0,373	-0,136	0,255	0,201	0,142	-0,119	-0,117	0,054	-0,065	0,078	-0,069
OBL56	1974–1995	0,032	-0,055	0,070	0,028	0,049	0,208	0,475	0,553	0,543	0,400	0,273	0,096	0,177	0,104	0,199	0,162	0,193
	1996–2017	-0,267	-0,180	-0,042	-0,179	-0,224	-0,340	-0,291	-0,336	-0,058	0,164	0,275	0,321	0,143	0,135	-0,285	0,019	-0,049
OBL57	1974–1995	0,032	-0,055	0,070	0,028	0,049	0,208	0,475	0,553	0,543	0,400	0,273	0,096	0,177	0,104	0,199	0,162	0,193
	1996–2017	-0,393	-0,212	-0,045	-0,027	-0,114	-0,126	-0,305	-0,285	0,115	0,118	0,127	-0,108	-0,100	0,079	-0,112	0,005	-0,117

OBL58	1974–1995	0,082	-0,122	-0,064	-0,108	-0,080	0,039	0,180	0,403	0,548	0,569	0,446	0,000	0,116	0,046	0,083	0,072	0,087
	1996–2017	-0,263	-0,172	0,023	0,042	-0,017	-0,178	-0,252	-0,241	0,147	0,194	0,124	0,001	-0,162	0,120	-0,054	0,214	0,059
OBL59	1974–1995	0,315	0,195	0,250	0,086	0,065	0,129	0,372	0,445	0,407	0,291	0,190	0,032	0,055	-0,014	0,073	0,119	0,267
	1996–2017	-0,301	-0,118	-0,043	-0,181	-0,327	-0,292	-0,377	-0,251	0,019	0,033	0,068	-0,195	-0,062	0,143	-0,022	-0,100	-0,339
OBL60	1974–1995	-0,061	-0,122	0,144	0,040	-0,073	0,016	0,237	0,539	0,433	0,351	0,198	0,090	0,163	-0,049	-0,144	-0,139	-0,091
	1996–2017	-0,408	-0,444	-0,209	-0,123	-0,071	-0,110	-0,269	-0,228	0,179	0,282	0,319	0,070	-0,108	-0,056	-0,202	-0,049	-0,130
OBL62	1974–1995	0,251	0,161	0,266	0,124	0,052	0,187	0,437	0,587	0,481	0,371	0,156	0,010	0,285	0,199	0,291	0,229	0,242
	1996–2017	-0,452	-0,387	0,087	0,082	0,119	0,054	-0,013	0,091	0,094	0,174	0,101	0,008	-0,092	0,223	0,203	0,351	0,086
OBL63	1974–1995	0,226	0,096	0,183	0,080	0,179	0,232	0,350	0,194	0,196	0,036	0,088	-0,088	-0,038	-0,009	0,138	0,257	0,363
	1996–2017	-0,474	-0,240	-0,009	-0,019	-0,128	-0,239	-0,387	-0,152	0,128	0,253	0,153	0,041	-0,048	0,280	0,048	0,052	-0,156
OBL64	1974–1995	0,000	0,021	0,183	0,142	0,125	0,291	0,285	0,398	0,441	0,256	0,127	0,082	0,321	0,237	0,048	-0,055	-0,053
	1996–2017	-0,507	-0,187	0,082	0,039	-0,147	-0,292	-0,402	-0,149	0,200	0,204	0,177	-0,014	-0,065	0,017	-0,273	-0,196	-0,275
OBL65	1974–1995	0,095	0,014	0,183	0,069	0,083	0,175	0,407	0,490	0,382	0,155	0,011	0,049	0,234	0,192	0,169	0,070	0,063
	1996–2017	-0,526	-0,262	0,103	0,071	-0,058	-0,153	-0,194	0,086	0,229	0,301	0,169	-0,022	-0,189	0,166	0,048	0,158	-0,036
OBL66	1974–1995	0,146	0,068	0,264	0,075	0,004	0,022	0,376	0,538	0,343	0,136	-0,020	0,024	0,159	0,117	0,192	0,186	0,196
	1996–2017	-0,266	-0,138	0,110	0,167	0,050	-0,030	-0,123	0,022	0,133	0,194	0,079	-0,019	-0,296	0,038	-0,133	0,119	-0,005
OBL67	1974–1995	0,009	-0,059	0,120	0,021	-0,043	-0,005	0,262	0,474	0,454	0,432	0,292	0,190	0,085	-0,112	-0,108	-0,048	0,061
	1996–2017	-0,238	-0,076	0,131	-0,031	-0,221	-0,318	-0,398	-0,224	0,086	0,069	0,036	-0,156	0,005	0,320	0,134	0,196	-0,001
OBL68	1974–1995	0,150	0,180	0,282	0,151	0,125	0,248	0,610	0,509	0,305	0,032	-0,107	0,082	0,380	0,350	0,454	0,371	0,320
	1996–2017	-0,366	-0,238	-0,263	-0,252	-0,339	-0,208	-0,341	-0,282	0,071	0,047	0,135	-0,164	-0,058	0,044	-0,127	-0,131	-0,283
OBL69	1974–1995	0,076	-0,020	0,059	0,001	-0,007	0,054	0,300	0,458	0,440	0,333	0,197	0,063	0,058	0,000	0,012	0,027	0,115
	1996–2017	-0,434	-0,396	-0,197	0,034	0,050	0,024	-0,225	-0,127	0,298	0,368	0,396	0,095	-0,133	-0,175	-0,389	-0,062	-0,143
OBL70	1974–1995	0,157	0,151	0,062	0,102	0,117	0,174	0,029	-0,092	-0,091	-0,290	-0,260	-0,099	0,337	0,466	0,430	0,429	0,438
	1996–2017	-0,295	-0,141	-0,050	-0,058	-0,256	-0,128	-0,266	-0,110	0,107	-0,023	-0,004	-0,384	-0,150	0,126	0,041	0,044	-0,143
OBL71	1974–1995	0,136	0,013	0,142	0,044	0,121	0,246	0,337	0,353	0,317	0,098	0,012	0,068	0,300	0,287	0,153	0,081	0,116
	1996–2017	-0,378	-0,379	-0,044	-0,109	-0,116	-0,325	-0,409	-0,264	0,176	0,338	0,365	0,232	0,073	0,160	-0,049	0,220	0,100
OBL72	1974–1995	0,132	-0,010	0,097	0,020	0,094	0,162	0,301	0,316	0,340	0,192	0,146	0,051	0,176	0,120	0,116	0,110	0,202
	1996–2017	-0,525	-0,468	-0,132	-0,111	-0,075	-0,167	-0,240	-0,118	0,181	0,388	0,388	0,248	-0,044	0,061	-0,211	0,035	-0,110
OBL73	1974–1995	0,073	0,018	0,175	0,162	0,158	0,229	0,333	0,430	0,378	0,260	0,079	0,015	0,209	0,157	0,148	0,141	0,192

	1996–2017	-0,441	-0,530	-0,272	-0,196	-0,071	-0,037	-0,101	-0,027	0,198	0,366	0,460	0,247	-0,122	-0,188	-0,290	-0,005	-0,090
OBL75	1974–1995	0,222	0,236	0,314	0,187	0,006	0,155	0,277	0,567	0,576	0,543	0,322	0,104	0,194	0,037	0,104	0,072	0,130
	1996–2017	-0,182	-0,157	-0,071	0,028	0,003	-0,115	-0,360	-0,393	0,083	0,105	0,071	0,000	-0,107	0,103	-0,159	0,078	-0,072
OBL76	1974–1995	0,276	0,030	-0,029	-0,058	0,138	0,072	0,019	-0,082	0,133	0,228	0,295	0,132	0,031	0,109	0,088	0,223	0,345
	1996–2017	-0,327	-0,310	-0,277	0,024	0,097	0,170	0,080	-0,059	0,017	0,208	0,273	0,308	-0,182	-0,132	-0,355	-0,105	-0,096
OBL77	1974–1995	0,362	0,318	0,428	0,288	0,250	0,239	0,370	0,422	0,313	0,243	0,055	0,070	0,128	0,179	0,344	0,380	0,424
	1996–2017	-0,426	-0,204	0,016	0,034	-0,131	-0,144	-0,300	-0,195	-0,004	0,068	0,072	-0,032	-0,032	0,153	-0,094	-0,027	-0,154
OBL78	1974–1995	0,193	0,127	0,283	0,189	0,232	0,051	-0,041	0,015	0,103	0,041	0,041	0,035	-0,036	-0,049	-0,146	-0,021	0,130
	1996–2017	-0,371	-0,270	-0,137	0,002	-0,045	-0,005	-0,168	-0,094	0,118	0,139	0,140	-0,145	-0,191	0,173	-0,003	0,026	-0,253
OBL80	1974–1995	0,009	-0,262	-0,159	-0,104	0,015	0,123	0,231	0,388	0,563	0,495	0,424	0,040	0,123	0,015	-0,009	-0,017	0,098
	1996–2017	-0,255	-0,365	-0,249	-0,060	-0,055	-0,139	-0,322	-0,268	0,203	0,358	0,352	0,118	-0,148	-0,105	-0,234	0,109	0,092

Tabulka 7: Změna korelačních koeficientů stromů lokality Modrý důl s klimatickými proměnnými (červená=teploty, modrá=srážky, žlutá SPEI). Zobrazeny jsou pouze stromy se signifikantní změnou reakce na hladině 0,05 %.

Strom	Období	květen p	červen p	červenec p	srpen p	září p	říjen p	listopad p	prosinec p	leden	únor	březen	duben	květen	červen	červenec	srpen	září
MoD07	1974–1995	-0,123	0,097	0,008	-0,258	0,143	0,025	0,021	-0,096	0,047	0,242	-0,121	-0,267	-0,068	0,162	-0,274	-0,350	-0,080
	1996–2017	-0,065	0,150	0,389	0,079	0,128	0,133	0,569	0,135	-0,238	0,012	0,370	0,290	-0,127	0,018	0,480	0,200	0,103
MoD11	1974–1995	0,064	0,250	-0,480	-0,296	0,078	0,123	-0,047	-0,163	-0,437	-0,025	-0,175	-0,355	-0,160	0,167	-0,373	-0,626	0,074
	1996–2017	0,049	0,135	0,296	0,153	0,103	-0,008	0,488	0,066	-0,411	-0,184	0,248	0,336	-0,113	0,003	0,561	0,140	0,188
MoD14	1974–1995	-0,023	-0,084	-0,070	0,183	0,216	-0,411	-0,165	0,011	0,054	0,247	-0,067	-0,205	-0,068	-0,138	-0,280	-0,041	0,074
	1996–2017	-0,254	0,164	0,542	-0,090	0,266	0,344	0,440	0,530	0,099	0,206	0,346	0,240	0,066	0,246	0,335	0,050	0,013
MoD16	1974–1995	-0,103	-0,230	-0,043	-0,353	-0,127	0,545	0,191	-0,063	-0,285	-0,239	0,016	-0,218	0,127	0,300	-0,326	-0,395	-0,346
	1996–2017	0,296	-0,208	-0,078	-0,061	-0,064	0,349	-0,235	-0,126	0,172	0,112	0,228	0,160	0,629	0,016	0,083	0,187	-0,095
MoD23	1974–1995	-0,081	-0,047	0,206	0,140	-0,149	-0,214	0,084	0,101	0,138	0,286	-0,009	0,100	0,115	0,468	0,277	-0,002	-0,009
	1996–2017	0,189	-0,236	-0,569	0,035	-0,159	0,008	-0,423	-0,150	0,138	0,011	-0,167	-0,265	0,331	-0,236	-0,341	-0,022	-0,010
MoD26	1974–1995	-0,219	-0,301	-0,151	0,084	0,397	-0,263	-0,132	0,066	0,001	-0,015	-0,268	-0,125	0,099	-0,165	-0,022	-0,136	0,155

	1996–2017	0,185	0,000	0,102	0,183	0,161	0,195	0,224	0,095	-0,256	-0,112	0,226	0,126	0,253	0,074	0,496	0,230	0,027
MoD27	1974–1995	-0,332	-0,255	-0,126	-0,365	0,013	0,100	-0,219	0,031	0,326	0,267	0,001	-0,143	-0,062	0,027	-0,157	-0,149	-0,109
	1996–2017	0,359	0,073	-0,148	0,013	0,302	0,178	0,234	0,168	-0,247	-0,039	0,341	-0,122	0,199	-0,113	0,480	0,217	-0,096
Strom	Období	květe n p	červe n p	červen ec p	srpen p	září p	říjen p	listopa d p	prosin ec p	leden	únor	březen	duben	květen	červen	červen ec	srpen	září
MoD01	1974–1995	0,166	-0,052	0,132	-0,039	-0,007	0,184	0,291	0,535	0,267	-0,069	0,569	0,047	0,098	0,029	-0,001	0,199	0,247
	1996–2017	-0,308	-0,302	-0,387	0,172	0,025	-0,307	0,033	0,145	0,079	0,401	0,181	-0,204	-0,115	-0,112	-0,222	0,153	-0,078
MoD02	1974–1995	0,355	0,155	0,175	0,015	-0,112	0,350	0,398	0,434	0,198	-0,103	0,463	-0,034	0,168	0,039	0,230	0,153	0,124
	1996–2017	-0,136	-0,204	-0,209	0,049	0,079	-0,196	-0,158	0,231	0,056	0,414	0,144	-0,428	0,133	0,080	-0,087	0,167	-0,143
MoD07	1974–1995	0,548	0,073	0,298	0,083	-0,224	0,399	0,134	0,214	0,106	-0,162	-0,021	0,117	0,322	0,244	0,273	0,171	0,227
	1996–2017	0,284	0,067	-0,261	0,164	-0,156	-0,188	0,022	-0,178	-0,018	-0,247	-0,231	-0,216	0,317	0,365	-0,095	0,055	-0,112
MoD09	1974–1995	0,611	-0,092	0,153	0,138	-0,316	0,518	0,160	0,295	0,157	-0,267	0,270	-0,238	0,359	0,264	-0,063	0,226	0,227
	1996–2017	-0,178	-0,223	-0,278	0,017	-0,244	-0,185	-0,176	-0,022	0,289	0,145	0,067	0,044	0,039	0,285	-0,225	0,010	-0,108
MoD13	1974–1995	0,381	0,186	0,113	-0,059	-0,082	0,379	0,184	0,479	-0,052	-0,014	0,270	-0,165	0,141	0,314	0,102	0,063	0,156
	1996–2017	-0,043	-0,108	-0,187	0,210	-0,085	-0,164	-0,074	0,065	0,136	0,130	-0,032	-0,360	0,146	0,186	-0,254	0,236	-0,188
MoD17	1974–1995	0,232	-0,045	-0,037	0,068	0,072	0,083	0,338	0,467	0,114	0,138	0,584	-0,187	0,018	0,080	-0,082	0,196	0,323
	1996–2017	0,037	-0,079	-0,199	-0,012	0,114	-0,295	-0,081	-0,010	-0,055	0,262	-0,024	-0,062	0,017	0,215	0,032	0,216	0,013
MoD28	1974–1995	0,320	0,047	0,429	-0,039	-0,316	0,565	0,215	0,400	0,220	-0,259	0,286	0,007	0,334	0,084	0,325	0,225	0,007
	1996–2017	0,216	0,146	0,135	0,030	-0,118	-0,224	-0,121	0,165	-0,188	-0,159	-0,152	0,313	-0,058	0,212	0,119	0,075	-0,019
Strom	Období	květe n p	červe n p	červen ec p	srpen p	září p	říjen p	listopa d p	prosin ec p	leden	únor	březen	duben	květen	červen	červen ec	srpen	září
MoD01	1974–1995	0,103	-0,084	0,082	0,029	0,076	0,054	0,269	0,486	0,575	0,524	0,327	0,280	0,286	0,081	-0,040	-0,063	0,053
	1996–2017	-0,374	-0,560	-0,500	-0,300	-0,157	-0,075	-0,200	-0,072	0,320	0,395	0,474	0,221	-0,174	-0,309	-0,306	-0,127	-0,111
MoD02	1974–1995	0,270	0,161	0,297	0,155	0,062	0,119	0,404	0,585	0,551	0,429	0,264	0,106	0,181	0,008	0,137	0,134	0,245
	1996–2017	-0,330	-0,470	-0,301	-0,210	-0,065	-0,038	-0,147	-0,032	0,231	0,424	0,437	0,105	-0,206	-0,160	-0,031	0,074	-0,048
MoD03	1974–1995	0,074	-0,036	-0,063	-0,149	-0,170	0,059	0,310	0,385	0,381	0,221	0,157	0,087	0,415	0,352	0,242	0,212	0,263
	1996–2017	-0,436	-0,485	-0,171	-0,072	0,035	-0,047	-0,083	0,072	0,267	0,475	0,446	0,329	-0,126	-0,093	-0,353	0,054	-0,058
MoD04	1974–1995	0,148	0,009	-0,011	-0,106	-0,138	0,053	0,317	0,472	0,474	0,352	0,229	-0,107	0,272	0,213	0,242	0,178	0,171
	1996–2017	-0,341	-0,513	-0,307	-0,307	-0,188	-0,138	-0,062	-0,035	0,060	0,324	0,503	0,439	0,081	-0,126	-0,339	0,008	-0,005

MoD05	1974–1995	0,351	0,247	0,383	0,180	0,076	0,121	0,428	0,647	0,522	0,381	0,162	0,053	0,228	0,118	0,203	0,110	0,119
	1996–2017	-0,076	-0,343	-0,297	-0,057	0,039	0,084	-0,134	-0,261	0,125	0,173	0,285	0,024	-0,127	-0,074	-0,084	0,201	0,147
MoD07	1974–1995	0,416	0,300	0,393	0,217	0,148	0,132	0,129	0,306	0,225	0,156	-0,017	-0,048	0,231	0,288	0,370	0,355	0,396
	1996–2017	-0,096	-0,041	-0,096	-0,088	-0,201	-0,082	-0,206	-0,270	-0,067	-0,204	-0,166	-0,434	-0,156	0,227	0,157	0,067	-0,161
MoD09	1974–1995	0,362	0,178	0,252	0,077	0,046	0,196	0,200	0,374	0,320	0,206	0,090	-0,210	0,079	0,108	0,109	0,122	0,144
	1996–2017	-0,471	-0,455	-0,354	-0,321	-0,340	-0,263	-0,398	-0,265	0,107	0,224	0,363	0,140	0,073	0,191	-0,075	-0,103	-0,271
MoD11	1974–1995	0,089	0,244	0,424	0,406	0,339	0,250	0,246	0,082	-0,040	-0,263	-0,229	-0,066	0,263	0,217	0,358	0,336	0,344
	1996–2017	-0,295	-0,290	-0,263	-0,174	-0,221	-0,033	-0,159	-0,101	0,189	0,132	0,175	-0,318	-0,272	-0,012	-0,033	0,027	-0,188
MoD12	1974–1995	-0,102	-0,200	-0,090	-0,107	-0,143	-0,025	0,243	0,402	0,436	0,434	0,390	0,011	-0,027	-0,247	-0,129	-0,085	-0,027
	1996–2017	-0,114	-0,166	-0,142	-0,078	-0,029	-0,197	-0,271	-0,162	0,338	0,387	0,280	0,047	-0,267	-0,254	-0,187	-0,119	-0,127
MoD13	1974–1995	0,338	0,321	0,345	0,147	0,054	0,123	0,332	0,461	0,303	0,292	0,065	0,008	0,006	0,077	0,179	0,179	0,155
	1996–2017	-0,434	-0,411	-0,239	-0,069	-0,086	0,003	-0,185	-0,070	0,212	0,258	0,278	-0,117	-0,210	-0,045	-0,122	0,001	-0,173
MoD14	1974–1995	0,201	0,250	0,239	0,045	-0,166	-0,020	0,108	0,312	0,016	-0,056	-0,252	-0,271	0,282	0,447	0,566	0,507	0,355
	1996–2017	0,097	-0,092	-0,354	-0,119	-0,195	-0,053	-0,319	-0,453	0,129	-0,050	0,104	-0,264	-0,201	-0,111	-0,098	-0,138	0,010
MoD15	1974–1995	0,334	0,274	0,251	0,040	-0,040	0,022	0,204	0,293	0,228	0,292	0,197	-0,078	-0,130	-0,133	0,072	0,216	0,298
	1996–2017	-0,177	-0,183	-0,236	-0,187	-0,152	-0,025	-0,115	-0,199	0,067	0,033	-0,015	-0,293	-0,318	0,246	0,290	0,226	-0,131
MoD17	1974–1995	0,108	-0,061	0,029	0,013	0,073	0,138	0,291	0,415	0,487	0,502	0,367	0,232	0,061	-0,044	-0,068	-0,004	0,122
	1996–2017	-0,167	-0,315	-0,161	-0,187	-0,083	-0,148	-0,174	-0,312	-0,029	0,131	0,206	0,119	-0,112	0,082	0,053	0,227	0,113
MoD18	1974–1995	0,383	0,169	0,295	0,176	0,240	0,254	0,356	0,365	0,378	0,190	0,130	-0,122	0,151	0,117	0,236	0,275	0,382
	1996–2017	-0,289	-0,381	-0,161	-0,193	-0,108	-0,307	-0,308	-0,220	0,134	0,389	0,398	0,386	0,001	0,145	0,009	0,172	0,093
MoD19	1974–1995	0,085	-0,090	0,044	0,070	0,141	0,310	0,345	0,526	0,631	0,472	0,306	0,087	0,297	0,131	0,054	-0,076	-0,046
	1996–2017	-0,238	-0,275	0,013	-0,035	0,068	-0,125	-0,170	-0,162	0,112	0,240	0,212	0,117	-0,044	0,216	0,078	0,162	-0,057
MoD20	1974–1995	0,281	0,198	0,223	0,146	0,175	0,336	0,336	0,395	0,479	0,346	0,231	0,054	0,208	0,124	0,040	0,013	0,116
	1996–2017	-0,257	-0,478	-0,236	-0,187	-0,011	-0,006	0,017	0,226	0,319	0,550	0,540	0,318	-0,229	-0,228	-0,154	0,170	0,037
MoD24	1974–1995	0,402	0,320	0,392	0,185	0,070	0,133	0,312	0,526	0,453	0,297	0,138	-0,100	0,188	0,069	0,103	0,092	0,181
	1996–2017	-0,353	-0,418	-0,118	0,016	0,135	0,014	-0,117	-0,052	0,220	0,421	0,432	0,210	-0,085	-0,113	-0,279	0,094	-0,058
MoD25	1974–1995	0,217	0,168	0,240	0,051	-0,048	-0,014	0,319	0,491	0,407	0,488	0,318	0,187	-0,130	-0,137	0,080	0,161	0,235
	1996–2017	-0,139	-0,281	-0,256	-0,045	-0,010	-0,058	-0,311	-0,320	0,164	0,259	0,309	0,066	-0,062	-0,075	-0,116	0,083	0,036
MoD26	1974–1995	0,251	0,500	0,473	0,314	0,018	0,095	0,121	0,174	0,026	0,071	-0,001	-0,150	-0,030	-0,036	0,193	0,239	0,208

	1996–2017	-0,402	-0,291	-0,141	-0,185	-0,206	-0,133	-0,140	-0,126	0,110	0,187	0,260	0,035	-0,070	0,022	-0,157	-0,078	-0,183
MoD27	1974–1995	0,303	0,387	0,408	0,306	0,156	0,060	0,229	0,373	0,261	0,300	0,101	0,231	0,018	-0,003	0,213	0,245	0,314
	1996–2017	-0,336	-0,404	-0,229	-0,163	-0,191	-0,112	-0,216	-0,161	0,072	0,262	0,375	0,208	-0,011	0,126	-0,078	0,119	0,102
MoD28	1974–1995	0,269	0,140	0,398	0,235	0,145	0,104	0,322	0,578	0,462	0,334	0,139	-0,035	0,200	0,079	0,250	0,240	0,295
	1996–2017	-0,286	-0,025	0,250	0,197	-0,005	-0,179	-0,290	-0,110	0,058	-0,028	-0,087	-0,042	0,043	0,219	0,096	0,167	0,073

Tabulka 8: Změna korelačních koeficientů stromů lokality Kostelec sever s klimatickými proměnnými (červená=teploty, modrá=srážky, žlutá SPEI). Zobrazeny jsou pouze stromy se signifikantní změnou reakce na hladině 0,05 %.

Strom	Období	květen p	červen p	červenec p	srpen p	září p	říjen p	listopad p	prosinec p	leden	únor	březen	duben	květen	červen	červenec	srpen	září
KOS04	1974–1995	-0,040	0,231	0,207	-0,079	-0,189	-0,055	0,390	-0,226	-0,064	0,067	0,197	-0,051	-0,019	0,052	0,414	0,234	0,112
	1996–2017	-0,472	-0,128	0,037	-0,379	-0,265	0,113	0,091	-0,299	0,024	-0,057	-0,192	-0,079	-0,344	-0,137	-0,149	-0,232	-0,319
KOS07	1974–1995	-0,076	-0,061	-0,426	-0,494	-0,387	0,246	0,176	0,017	-0,471	-0,264	-0,099	-0,360	-0,109	-0,206	-0,551	-0,444	-0,102
	1996–2017	-0,110	0,312	0,421	0,008	0,115	-0,103	0,543	0,346	0,288	0,100	0,183	0,344	-0,149	0,183	0,396	0,011	0,164
KOS10	1974–1995	0,046	0,142	-0,144	-0,229	-0,345	0,010	0,117	0,306	-0,382	-0,158	-0,036	0,138	0,249	0,078	0,008	-0,025	-0,098
	1996–2017	-0,332	-0,360	-0,353	-0,077	-0,582	0,273	-0,093	-0,361	-0,015	0,133	-0,094	-0,392	-0,097	-0,320	-0,224	-0,082	-0,303
KOS16	1974–1995	0,223	0,021	0,396	0,395	0,023	-0,265	0,032	0,192	0,185	0,104	0,067	0,349	0,094	-0,161	0,470	0,572	-0,057
	1996–2017	-0,290	-0,233	-0,422	0,016	-0,612	0,037	-0,068	-0,606	-0,308	-0,292	-0,463	-0,438	-0,305	-0,311	-0,211	-0,235	-0,255
KOS18	1974–1995	0,209	0,245	-0,347	-0,124	-0,174	-0,179	-0,124	0,158	-0,473	-0,132	-0,145	0,064	0,026	0,206	0,086	-0,125	0,318
	1996–2017	-0,110	-0,154	-0,298	0,009	-0,321	0,028	-0,139	-0,270	-0,304	-0,493	-0,360	-0,015	-0,465	-0,646	-0,123	-0,038	-0,195
KOS19	1974–1995	-0,113	-0,168	-0,224	0,080	0,113	-0,585	-0,103	0,322	-0,110	0,088	-0,076	0,000	0,015	-0,095	0,124	0,223	0,288
	1996–2017	-0,464	-0,306	-0,090	-0,021	-0,365	0,183	0,003	-0,368	-0,237	-0,110	-0,101	-0,420	-0,176	-0,247	-0,343	0,085	-0,258
KOS20	1974–1995	0,011	0,223	0,020	0,218	-0,088	-0,302	0,176	-0,042	0,029	-0,027	0,293	0,115	0,066	0,015	0,385	0,566	0,317
	1996–2017	-0,317	-0,286	-0,412	-0,014	-0,202	-0,053	-0,099	-0,219	-0,042	0,276	0,049	-0,306	0,068	-0,158	-0,367	-0,106	-0,026
KOS23	1974–1995	-0,139	0,250	0,072	0,274	0,282	-0,387	-0,084	0,012	0,295	0,119	0,070	0,102	0,170	-0,052	0,104	0,452	0,006
	1996–2017	-0,060	-0,382	-0,260	0,046	-0,321	0,233	-0,329	-0,443	-0,209	-0,003	-0,173	-0,333	0,112	-0,212	-0,533	0,170	-0,330
KOS24	1974–1995	0,269	0,143	0,214	-0,055	0,138	-0,104	-0,032	0,249	0,060	0,226	0,313	0,101	-0,101	-0,184	0,287	0,378	-0,053

	1996–2017	-0,193	-0,287	0,087	-0,081	-0,251	0,158	-0,343	-0,473	-0,169	-0,349	-0,344	-0,214	-0,196	-0,115	-0,490	-0,084	-0,409
KOS27	1974–1995	-0,021	0,212	0,156	-0,047	-0,084	0,116	0,107	-0,280	-0,135	0,077	0,122	0,190	0,178	0,089	0,296	0,262	0,364
	1996–2017	-0,109	-0,113	-0,308	-0,008	-0,447	-0,375	-0,224	-0,499	-0,282	-0,226	-0,400	0,100	-0,287	-0,254	-0,557	-0,185	-0,214
KOS31	1974–1995	0,030	0,310	-0,251	-0,123	-0,165	-0,240	-0,048	0,096	-0,224	0,047	0,121	-0,059	-0,020	0,242	0,054	0,133	0,159
	1996–2017	-0,340	-0,171	-0,338	-0,167	-0,612	-0,140	-0,075	-0,556	-0,082	-0,018	0,079	-0,135	-0,091	-0,253	-0,401	0,023	-0,180
KOS33	1974–1995	-0,094	0,254	-0,305	-0,189	-0,224	-0,182	0,042	0,041	-0,272	-0,027	0,266	-0,179	-0,142	-0,058	-0,031	0,200	0,233
	1996–2017	-0,267	-0,355	-0,383	-0,054	-0,501	0,137	-0,126	-0,459	-0,114	0,050	-0,026	-0,300	0,016	-0,335	-0,343	0,020	-0,070
KOS41	1974–1995	-0,074	0,146	-0,131	-0,254	-0,394	-0,310	0,317	0,206	-0,290	0,036	0,033	-0,036	-0,072	0,059	0,101	0,000	0,118
	1996–2017	-0,455	-0,371	-0,128	-0,094	-0,454	0,134	-0,089	-0,444	-0,247	0,079	-0,133	-0,422	-0,206	-0,152	-0,388	-0,073	-0,311
KOS45	1974–1995	0,139	0,141	-0,254	-0,075	-0,222	-0,374	-0,002	0,400	-0,285	0,027	0,040	-0,013	-0,041	-0,075	0,124	0,272	0,242
	1996–2017	-0,268	-0,266	-0,426	0,098	-0,595	0,024	0,027	-0,561	-0,233	-0,147	-0,082	-0,346	0,010	-0,322	-0,373	0,062	-0,152
KOS56	1974–1995	0,198	0,188	0,243	0,343	-0,105	-0,249	0,126	0,097	-0,010	-0,012	0,027	0,300	-0,020	-0,123	0,461	0,554	0,125
	1996–2017	-0,176	-0,472	-0,343	0,082	-0,486	0,324	-0,125	-0,491	-0,163	0,141	-0,013	-0,617	0,186	-0,162	-0,218	0,170	-0,141
Strom	Období	květen p	červen p	červenec p	srpen p	září p	říjen p	listopad p	prosinec p	leden	únor	březen	duben	květen	červen	červenec	srpen	září
KOS03	1974–1995	0,173	0,144	0,020	0,484	0,649	-0,213	0,048	0,186	-0,222	0,293	0,489	0,248	0,064	0,272	0,138	0,128	0,428
	1996–2017	0,209	0,077	-0,280	0,263	-0,036	-0,184	0,130	0,006	-0,217	0,118	-0,031	-0,155	0,336	0,124	0,205	0,145	-0,020
KOS08	1974–1995	0,191	0,012	0,202	0,431	0,459	-0,069	0,063	0,071	-0,144	0,244	0,428	0,225	0,106	0,110	0,170	0,316	0,368
	1996–2017	0,275	0,262	-0,144	0,089	-0,078	-0,081	-0,121	-0,149	-0,221	-0,145	-0,030	0,087	0,211	0,463	0,119	0,083	-0,110
KOS41	1974–1995	0,154	-0,017	0,251	0,282	0,463	0,218	-0,068	0,197	0,096	-0,024	0,447	0,239	0,271	0,171	0,338	0,102	0,395
	1996–2017	0,432	0,083	-0,301	0,144	0,027	-0,179	0,036	-0,056	-0,515	0,080	-0,159	0,120	0,169	0,197	0,255	0,037	-0,066
Strom	Období	květen p	červen p	červenec p	srpen p	září p	říjen p	listopad p	prosinec p	leden	únor	březen	duben	květen	červen	červenec	srpen	září
KOS02	1974–1995	0,453	0,101	0,283	0,431	0,674	0,647	0,410	0,176	0,149	0,156	0,252	0,241	0,540	0,374	0,542	0,540	0,549
	1996–2017	0,531	0,353	0,334	0,225	0,224	0,213	0,088	0,019	0,014	-0,058	-0,169	0,012	0,317	0,346	0,653	0,632	0,567
KOS03	1974–1995	0,341	0,252	0,160	0,402	0,626	0,613	0,260	0,015	0,029	0,155	0,292	0,464	0,514	0,326	0,233	0,293	0,359
	1996–2017	0,233	0,110	0,054	0,108	0,075	0,184	-0,010	0,019	-0,083	-0,089	-0,083	-0,057	0,136	0,259	0,425	0,331	0,217
KOS05	1974–1995	0,380	0,248	0,470	0,619	0,768	0,724	0,432	0,182	0,112	0,202	0,344	0,368	0,501	0,179	0,416	0,521	0,556
	1996–2017	0,349	0,355	0,323	0,264	0,140	0,176	0,014	-0,029	-0,187	-0,180	-0,080	0,115	0,327	0,518	0,649	0,490	0,241

KOS07	1974–1995	0,316	0,085	0,164	0,221	0,424	0,337	0,105	-0,163	-0,111	-0,104	-0,033	0,004	0,243	0,168	0,327	0,417	0,433
	1996–2017	-0,235	-0,306	-0,328	-0,085	-0,117	0,043	-0,147	-0,099	-0,006	-0,086	-0,177	-0,497	-0,280	-0,122	-0,087	-0,052	-0,113
KOS08	1974–1995	0,233	0,055	0,231	0,438	0,611	0,576	0,191	-0,038	-0,046	0,123	0,311	0,443	0,484	0,201	0,185	0,333	0,449
	1996–2017	0,129	0,261	0,304	0,117	-0,023	0,063	-0,103	-0,222	-0,455	-0,381	-0,236	-0,098	0,159	0,555	0,523	0,381	0,031
KOS09	1974–1995	0,467	0,063	0,100	0,269	0,516	0,502	0,220	-0,165	0,009	0,030	0,238	0,172	0,534	0,338	0,272	0,283	0,299
	1996–2017	0,492	0,277	0,082	0,075	0,262	0,250	0,162	-0,263	-0,210	-0,207	-0,099	0,344	0,103	0,295	0,096	0,095	0,084
KOS16	1974–1995	-0,085	-0,034	-0,198	-0,119	-0,127	-0,070	0,079	0,120	0,143	-0,023	-0,008	0,096	0,362	0,435	0,004	-0,146	-0,200
	1996–2017	0,314	0,128	0,304	0,127	0,230	0,081	0,062	0,014	0,058	0,090	-0,009	0,255	0,380	0,555	0,568	0,612	0,378
KOS23	1974–1995	-0,081	0,068	0,118	0,054	-0,154	-0,393	-0,139	0,013	-0,056	-0,052	-0,023	-0,041	-0,158	-0,177	0,044	-0,032	-0,089
	1996–2017	0,381	0,294	0,239	0,127	0,165	0,069	0,032	-0,074	0,088	0,284	0,231	0,431	0,254	0,265	0,357	0,216	0,154
KOS32	1974–1995	0,123	0,277	0,245	0,194	0,204	0,282	0,040	0,261	0,142	0,175	-0,176	-0,161	-0,023	0,166	0,083	0,055	-0,159
	1996–2017	0,031	0,022	0,069	-0,019	0,149	0,082	0,096	-0,036	-0,051	-0,275	-0,243	-0,060	-0,055	0,143	0,126	0,138	-0,096
KOS39	1974–1995	0,501	0,311	0,392	0,525	0,668	0,641	0,218	0,073	0,051	0,299	0,512	0,460	0,489	0,163	0,488	0,569	0,633
	1996–2017	0,294	0,080	0,400	0,419	0,320	0,194	-0,060	0,023	0,132	0,349	0,106	0,085	0,185	0,318	0,628	0,732	0,428
KOS41	1974–1995	0,406	0,123	0,297	0,393	0,587	0,668	0,405	0,229	0,137	0,216	0,311	0,338	0,671	0,395	0,446	0,374	0,410
	1996–2017	0,508	0,494	0,287	0,062	0,063	0,146	0,057	-0,085	-0,287	-0,231	-0,274	0,106	0,223	0,446	0,473	0,347	0,186
KOS56	1974–1995	0,135	0,046	-0,064	-0,023	0,017	0,025	0,102	0,128	0,083	0,054	0,089	0,176	0,357	0,424	0,167	0,003	-0,136
	1996–2017	0,495	0,392	0,399	0,340	0,367	0,321	0,281	0,053	-0,105	-0,007	-0,076	0,428	0,219	0,434	0,331	0,343	0,226
KOS65	1974–1995	0,457	0,247	0,170	0,233	0,344	0,138	0,182	0,048	0,141	0,186	0,347	0,347	0,400	0,293	0,672	0,585	0,421
	1996–2017	0,199	0,236	0,279	0,054	-0,085	-0,124	-0,132	-0,117	-0,345	-0,108	0,052	0,354	0,283	0,507	0,431	0,315	0,199

Tabulka 9: Změna korelačních koeficientů stromů lokality Kostelec jih s klimatickými proměnnými (červená=teploty, modrá=srážky, žlutá SPEI). Zobrazeny jsou pouze stromy se signifikantní změnou reakce na hladině 0,05 %.

Strom	Období	květe n p	červe n p	červene c p	srpen p	září p	říjen p	listopa d p	prosinc ec p	leden	únor	březen	duben	květen	červen	červen ec	srpen	září
KOJ06	1974–1995	0,064	0,057	-0,112	-0,162	-0,238	0,087	0,138	0,206	-0,352	0,081	0,157	0,100	-0,021	-0,249	0,256	0,305	0,338
	1996–2017	-0,224	-0,250	-0,424	-0,015	-0,530	0,161	-0,048	-0,590	-0,292	-0,034	-0,070	-0,597	0,023	-0,154	-0,311	0,193	-0,205

KOJ07	1974–1995	-0,323	-0,384	-0,195	-0,022	0,086	-0,335	-0,073	0,269	0,322	0,145	0,081	-0,249	-0,204	-0,052	-0,125	-0,037	0,104
	1996–2017	0,159	0,050	0,247	-0,013	-0,145	0,119	0,354	-0,018	0,346	-0,087	0,152	0,037	0,064	0,069	0,287	0,674	-0,013
KOJ09	1974–1995	-0,082	0,097	-0,176	-0,074	-0,015	-0,179	-0,060	0,101	-0,350	-0,113	0,105	0,050	0,225	0,282	0,194	0,291	0,266
	1996–2017	-0,174	-0,325	-0,371	0,097	-0,420	0,256	0,014	-0,398	-0,224	0,050	0,043	-0,485	0,133	-0,193	-0,175	0,130	-0,211
KOJ12	1974–1995	-0,088	0,235	-0,330	-0,198	-0,014	-0,083	0,046	-0,030	-0,429	-0,150	0,146	-0,328	-0,072	0,057	-0,081	0,046	0,201
	1996–2017	-0,361	-0,405	-0,242	-0,022	-0,473	0,093	0,135	-0,509	-0,209	-0,087	-0,190	-0,401	-0,305	-0,290	-0,059	-0,005	-0,173
KOJ24	1974–1995	0,300	-0,030	-0,048	-0,036	-0,259	-0,087	-0,081	0,178	-0,306	-0,133	-0,059	0,236	0,146	0,043	0,217	0,218	-0,002
	1996–2017	-0,060	-0,225	-0,069	0,034	-0,145	0,295	-0,112	-0,158	-0,177	-0,392	-0,360	-0,043	-0,170	-0,436	-0,312	-0,059	-0,475
KOJ28	1974–1995	0,218	0,037	0,142	0,075	0,206	-0,132	-0,080	0,242	-0,116	0,213	-0,183	-0,130	-0,211	0,165	0,443	0,027	0,128
	1996–2017	-0,123	-0,227	-0,243	-0,082	-0,532	0,298	0,080	-0,591	-0,241	0,050	0,046	-0,622	-0,039	-0,060	0,046	0,272	-0,163
KOJ29	1974–1995	0,027	0,491	0,230	0,105	0,056	-0,335	0,151	-0,006	0,096	0,215	0,172	0,018	-0,113	0,097	0,383	0,258	0,039
	1996–2017	-0,120	-0,386	-0,296	-0,058	-0,341	0,248	-0,293	-0,493	-0,242	-0,239	-0,346	-0,267	-0,111	-0,459	-0,461	-0,046	-0,411
KOJ37	1974–1995	0,285	0,393	0,153	0,220	-0,174	0,034	0,181	0,064	-0,271	-0,349	-0,251	0,111	0,111	0,112	0,051	-0,179	-0,405
	1996–2017	-0,248	-0,463	-0,093	0,076	-0,294	0,328	-0,338	-0,307	-0,141	-0,372	-0,320	-0,040	-0,097	-0,402	-0,525	-0,084	-0,430
KOJ58	1974–1995	0,003	-0,098	0,090	0,214	0,206	-0,127	0,068	0,023	0,038	0,110	0,052	0,195	0,038	-0,219	0,358	0,554	0,701
	1996–2017	-0,142	-0,164	-0,200	-0,024	-0,603	0,032	0,003	-0,531	-0,051	0,144	-0,342	-0,449	-0,221	-0,098	-0,161	-0,026	-0,316
KOJ60	1974–1995	-0,052	0,143	0,143	-0,013	-0,027	-0,335	0,065	0,217	0,041	0,401	0,159	0,090	0,038	0,057	0,369	0,413	0,125
	1996–2017	-0,432	-0,161	-0,141	-0,291	-0,393	-0,005	0,073	-0,446	0,034	0,024	-0,122	-0,323	-0,210	-0,109	-0,217	-0,054	-0,112
Strom	Období	květe n p	červe n p	červene c p	srpen p	září p	říjen p	listopa d p	prosinc ec p	leden	únor	březen	duben	květen	červen	červen ec	srpen	září
KOJ08	1974–1995	0,614	0,297	0,367	0,407	0,602	0,494	0,299	0,177	0,198	0,239	0,235	0,172	0,572	0,422	0,552	0,370	0,274
	1996–2017	0,398	0,312	0,469	0,516	0,516	0,445	0,306	0,149	-0,030	0,040	-0,209	0,226	0,131	0,477	0,403	0,379	0,135
KOJ14	1974–1995	0,511	0,035	0,030	0,107	0,426	0,173	0,079	-0,118	-0,087	-0,056	0,038	0,151	0,389	0,401	0,277	0,151	0,129
	1996–2017	0,461	0,318	0,429	0,505	0,537	0,446	0,309	0,102	0,036	0,078	-0,134	0,252	0,220	0,483	0,392	0,419	0,188
KOJ15	1974–1995	0,386	-0,010	-0,084	-0,136	0,087	-0,049	0,062	0,069	0,116	-0,041	-0,078	-0,142	0,310	0,561	0,430	0,223	0,038
	1996–2017	0,512	0,538	0,489	0,387	0,375	0,341	0,266	0,014	-0,145	-0,145	-0,255	0,280	0,273	0,568	0,416	0,334	0,169
KOJ16	1974–1995	0,176	-0,111	-0,217	-0,099	0,097	0,050	0,070	0,026	0,098	0,084	0,147	0,264	0,254	0,426	0,460	0,484	0,303
	1996–2017	0,371	0,321	0,539	0,471	0,341	0,189	0,084	-0,006	-0,073	0,023	-0,042	0,322	0,443	0,637	0,504	0,532	0,339
KOJ29	1974–1995	0,125	-0,162	0,088	0,133	0,158	0,117	0,153	0,134	0,065	0,086	0,216	0,204	0,383	0,191	0,175	0,049	0,101

	1996–2017	0,518	0,457	0,534	0,292	0,232	0,042	0,052	0,002	0,000	0,043	0,093	0,433	0,606	0,626	0,674	0,576	0,450
K0J32	1974–1995	0,371	0,008	0,164	0,320	0,651	0,488	0,476	0,139	0,101	-0,064	-0,020	0,206	0,595	0,569	0,518	0,434	0,315
	1996–2017	0,433	0,416	0,541	0,260	0,276	0,107	-0,033	-0,307	-0,294	-0,138	-0,240	0,170	0,328	0,554	0,395	0,335	0,127
K0J33	1974–1995	0,175	0,080	-0,045	0,130	0,370	0,385	0,211	0,171	0,243	0,129	-0,078	0,100	0,325	0,383	0,221	0,192	0,158
	1996–2017	0,266	0,334	0,363	0,118	0,076	0,147	-0,084	-0,267	-0,382	-0,370	-0,475	-0,314	0,024	0,409	0,218	0,209	0,031
K0J37	1974–1995	0,110	-0,132	-0,204	-0,093	-0,014	-0,124	-0,021	-0,302	-0,152	-0,019	0,433	0,265	0,313	0,196	0,301	0,382	0,429
	1996–2017	0,587	0,438	0,266	0,055	0,083	0,021	0,048	-0,023	0,042	-0,013	0,004	0,165	0,447	0,259	0,537	0,478	0,532
K0J53	1974–1995	0,327	-0,145	0,135	0,278	0,590	0,466	0,382	0,188	0,168	0,126	0,091	0,353	0,686	0,558	0,443	0,340	0,302
	1996–2017	0,123	0,090	0,163	-0,016	0,128	0,103	0,132	-0,205	-0,076	-0,124	-0,047	0,096	0,394	0,333	0,081	0,103	0,168
K0J58	1974–1995	0,110	0,035	0,203	0,056	0,008	0,056	0,060	0,329	0,142	0,166	-0,275	-0,221	-0,248	-0,041	-0,101	-0,296	-0,557
	1996–2017	0,223	0,245	0,219	0,159	0,227	0,169	0,199	0,026	0,019	-0,097	-0,144	0,194	0,189	0,530	0,324	0,182	0,034