

Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta

Katedra fyzické geografie a geoekologie

Studijní program: Geografie

Studijní obor: Fyzická geografie a geoekologie



Diplomová práce

DENDROKLIMATOLOGIE ARKTICKÝCH KEŘŮ

DENDROCLIMATOLOGY OF ARCTIC SHRUBS

Bc. Martin Lexa

Školitel:

Mgr. Václav Treml, Ph.D.

Praha, 2015

Zadání diplomové práce

Téma práce: Dendroklimatologie arktických keřů

Cíle práce:

1. Analyzovat mikroskopické a makroskopické charakteristiky stavby dřeva jalovce
2. Určit jejich vztah ke klimatickým proměnným
3. Zhodnotit význam arktických keřů pro klimatickou rekonstrukci

Použité pracovní metody, zájmové území, datové zdroje:

Zájmové území: Údolí Gangasdalen uvnitř jordu Jarfjord, severovýchodní Norsko

Metody: Odběr a zpracování dendrochronologického materiálu, softwarové zpracování mikroskopických snímků a kvantifikace anatomických parametrů, korelace s klimatem

Datové zdroje: Vlastní naměřená data, klimatická data z gridové databáze CRU-ts, srovnávací chronologie z databáze ITRDB

Datum zadání: 27. 2. 2014

Jméno studenta: Martin Lexa

Podpis studenta:

Jméno vedoucího práce: Václav Tremel

Podpis vedoucího práce:

Abstrakt

Práce se věnuje vlivu klimatických charakteristik na mikroskopickou stavbu dřeva jalovce. Dendrochronologie jako metoda naráží v arktických oblastech na své limity. Právě v těchto oblastech je však nedostatečná síť klimatických a meteorologických stanic s dostatečně dlouhými řadami klimatických parametrů. V současnosti proto stoupá zájem o studium arktických keřů, které se mohou vyskytovat i za severní hranicí lesa. V údolí Gangasdalen v oblasti fjordu Jarfjord v severovýchodním Norsku bylo v polovině srpna roku 2014 odebráno 33 disků z keřů jalovce, na kterých byly mikroskopicky měřeny šířky letokruhů. Z 26 jedinců, které se podařilo křížově datovat, byla vytvořena hlavní chronologie. Na vybraných osmi vzorcích byly ve spolehlivém období chronologie měřeny pomocí programu WinCell anatomické charakteristiky dřeva a to jak pro celý letokruh, tak zvláště pro jeho jarní a letní část. Jednalo se o plochu lumen, šířku buněčných stěn, počet buněk v letokruhu a šířku letokruhu či jeho částí. Bylo zjištěno, že šířka letokruhu nemusí mít vždy nutně nejvyšší závislost na klimatu a tedy nemusí být nejlepší klimatické proxy. Nejvyšších závislostí dosahoval počet buněk v letokruhu na letních teplotách, naopak nejnižší závislost na klimatu vykazovaly plochy lumen.

Klíčová slova: arktické keřky, dendroklimatologie, mikroskopická analýza, anatomické charakteristiky, severovýchodní Norsko

Abstract

Thesis focuses on the influence of climate on microscopic structure of anatomic features in juniper wood. Dendrochronology as a method reaches its limits in the Arctic regions. Insufficient network of meteorological stations providing sufficiently long series of climatological data is the reason of increasing interest in studying Arctic shrubs, which can occur even beyond the latitudinal forest line. Thirty-three discs from juniper shrubs were collected in Gangasdalen valley on the banks of Jarfjord fjord in the August 2014. The master chronology was developed from 26 cross-dated samples. Eight carefully chosen samples were used for microscopic measurement of wood anatomic features during the reliable period of the main chronology using WinCell Wood Cell Anatomy software. Lumen area, wall thickness, number of cells and tree ring (its part) width were measured for both whole ring, and for earlywood and latewood. It was found that ring width does not necessarily have the highest dependency on climate and therefore may not always be the best climatic proxy. The highest dependency reached the number of cells, which was generally positively correlated with summer temperatures. On the other hand, lumen area shows the lowest dependency on climate.

Key words: Arctic shrubs, dendroclimatology, microscopic analysis, anatomic features, northeastern Norway

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu použité literatury.

V Praze dne:

Podpis:

Poděkování

V první řadě bych chtěl poděkovat Mgr. Václavu Tremlovi za vedení práce, hodnotné rady a připomínky a pomoc v laboratoři. Dále bych rád poděkoval Mgr. Ing. Jiřímu Lehejčkovi a Bc. Matěji Romanovi za pomoc při odběru vzorků v terénu. Také bych rád poděkoval Paulu Eriku Aspholmovi za vtipování lokality pro odběr vzorků a Mgr. Janu Tumajerovi za hodnotné rady při softwarové analýze preparátů. V neposlední řadě bych rád poděkoval rodině za podporu během celého studia i během psaní práce.

Výzkum, který vedl k těmto výsledkům, získal finanční prostředky ze sedmého rámcového programu Evropské unie [FP7 / 2007-2013] na základě grantové dohody č. 262693 [INTERACT].

Obsah

1	Úvod.....	7
2	Dendrochronologie arktických keřů.....	8
2.1	Specifika tvroby dřeva, růstu keřů.....	8
2.2	Tvorba letokruhových chronologií růstu arktických keřů.....	12
2.3	Chronologie arktických keříků.....	13
2.4	Klimatický signál.....	15
2.5	Charakteristika jalovce.....	17
3	Fyzickogeografická charakteristika.....	20
3.1	Místo odběru vzorků.....	20
3.2	Geologie a geomorfologie.....	20
3.3	Klima a vodstvo.....	22
3.4	Půdy.....	24
3.5	Vegetace.....	25
4	Metodika.....	27
4.1	Odběr vzorků.....	27
4.2	Laboratorní zpracování.....	28
4.3	Analytická část.....	31
4.4	Statistická část.....	33
5	Výsledky.....	35
5.1	Chronologie Jalovce.....	35
5.2	Vliv klimatu na šířky letokruhů.....	37
5.3	Chronologie jednotlivých parametrů.....	41
5.4	Korelace anatomických parametrů s klimatem.....	47
5.5	Analýza hlavních komponent.....	55
6	Diskuze.....	58
6.1	Vliv klimatu na šířky letokruhů hlavní chronologie jalovce.....	58
6.2	Vzájemné korelace jednotlivých anatomických charakteristik.....	60
6.3	Vliv klimatu na anatomické charakteristiky.....	62
6.4	Srovnání hlavní chronologie jalovce s prostorově nejbližšími chronologiemi.....	65
7	Závěr.....	67
8	Seznam literatury.....	68
10	Přílohy.....	77
11	Seznam obrázků.....	78
12	Seznam tabulek.....	80

1 Úvod

Od roku 1906 do roku 2005 se teplota zemského povrchu zvýšila téměř o tři čtvrtiny stupně celsia IPCC (2007). Změny průměrných teplot však nejsou na celé planetě rovnoměrné. Jednou z oblastí, kterých se změny dotýkají nejvíce, je Arktida, kde teplota v současné době roste až o 0,5 °C za desetiletí, což je pětinasobek oproti globálnímu průměru (IPCC, 2014). Toto může mít vliv například na změnu plochy a objemu arktických ledovců či změnu struktury vegetace a polohy severní hranice lesa.

Právě tyto oblasti velmi často nedisponují dostatečně hustou sítí klimatických stanic s dostatečně dlouhými řadami klimatických parametrů. Proto jsou zde velmi cenné informace získané jinými metodami, než přímým měřením klimatických parametrů. Právě dendrochronologie využívá metody, které nám může pomoci získat požadovaná data (Kolischuk, 1990). Dendrochronologie však v těchto oblastech také naráží na své limity, jako jsou severní hranice lesa a absence výskytu stromů za ní. V poslední době proto vzrůstá zájem o studium arktických keříků jako klimatického proxy, neboť se mohou do jisté míry vyskytovat i za touto hranicí. Výzkum metod extrakce klimatických informací arktických keříků je však zatím prakticky v začátcích, protože větší pozornost začala být věnována arktickým a alpským keříkům až v polovině minulé dekády (Schweingruber a kol., 2013b). Obvyklé dendrochronologické metody však nemohou být slepě aplikovány na problematiku arktických keříků, protože se vyznačují celou řadou specifík a jejich výzkum naráží na mnohá omezení, kterými se v klasické dendrochronologii není třeba zabývat. Existují zde také technické, ekonomické a ekologické limity týkající se sběru, zpracování a analýzy dostatečně velkého počtu vzorků, což omezuje vznik dobře replikovatelných a dostatečně dlouhých chronologií (Schweingruber a kol., 2013). Jen velmi málo prací využívá i jiných proxy než jen šířek letokruhů, jako jsou například parametry buněk xylému a je potřeba dalších výzkumů v této oblasti.

Jalovec je jednou z dřevin, která se vyskytuje v těchto oblastech a která nebyla podrobena bližšímu výzkumu. Další výhodou jalovce je, že se oproti jiným druhům jedná o dlouhožijící rostlinu. Cílem této práce je zjistit, jak klima ovlivňuje stavbu dřeva jalovce na mikroskopické úrovni, do jaké míry jsou konkrétní anatomické parametry závislé na klimatických faktorech a zdali je možné je využít pro rekonstrukci klimatu.

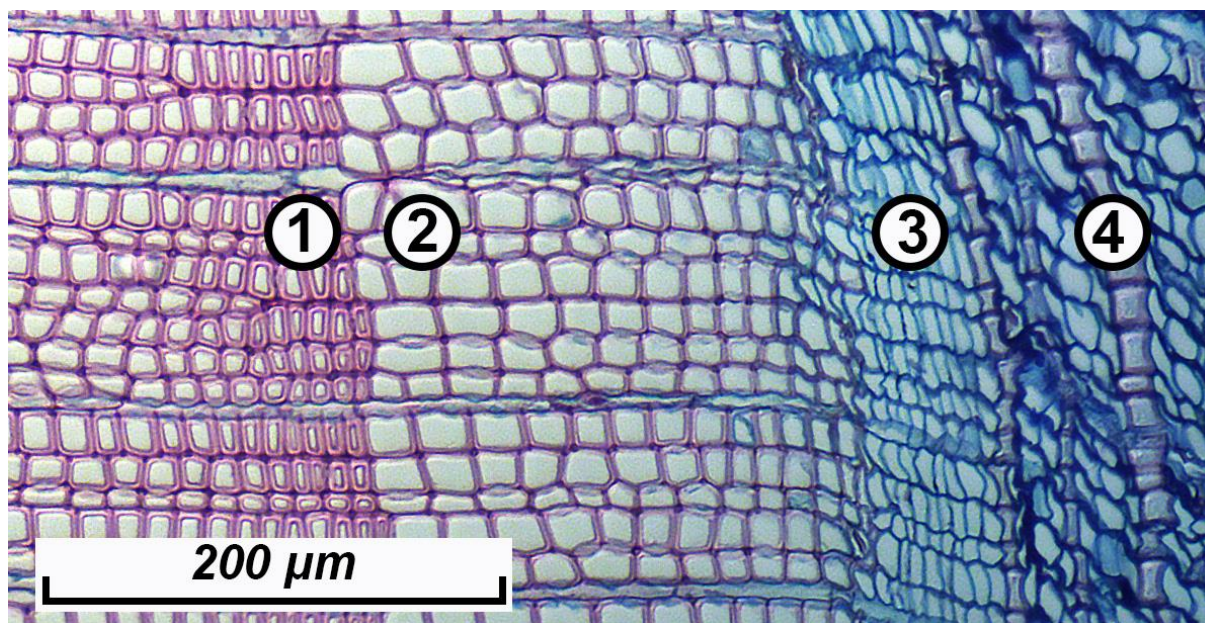
2 Dendrochronologie arktických keřů

2.1 Specifika tvorby dřeva, růstu keřů

Dendrochronologie jako věda už déle než století využívá celou řadu charakteristik dřeva, které je možné kvantifikovat, a to jak na makroskopické, tak na mikroskopické úrovni (Schweingruber, 1996). Podle Wimmera (2002) se charakteristiky, které mohou být měřeny či počítány, dělí na kontinuální a diskontinuální. Ke kontinuálním charakteristikám patří šířka letokruhu, podíl pozdního dřeva, hustota dřeva, podíl dřevných paprsků a jejich výška, tloušťka stěny, průměr buňky a délka libriformních vláken atd. Z diskontinuálních charakteristik se jedná o výskyt a rozmístění pryskyřičných kanálků, mrazových letokruhů, radiálních trhlin, fluktuací hustoty, falešných letokruhů, hojivého pletiva či kompresního dřeva (Wimmer, 2002).

Z anatomického hlediska se od sebe liší dřevo listnatých a jehličnatých stromů a keřů. Anatomická stavba dřeva jehličnanů je jednodušší a pravidelnější, než stavba dřeva listnáčů, které jsou vývojově mladší. Jehličnany se vyznačují menším počtem anatomických elementů. Listnáče mají až na výjimky tzv. heteroxylní dřevo (vodivými elementy jsou cévy i cévice), naopak jehličnany mají tzv. homoxylní dřevo (vodivými elementy jsou pouze cévice, cévy se nevyskytují) (Kozłowski a Pallardy, 1997).

Díky činnosti sekundárního meristému (kambia) vzniká sekundární xylém a sekundární floém. Diferenciace buněk je řízena hormonálně v závislosti na zásobních látkách (Davies, 2004) a odráží v sobě exogenní faktory, jakými jsou množství srážek, teplota, světlo, vítr, omezenost prostoru pro růst kořenů, mechanická poškození částí rostliny či znečištění atmosféry a půdy (Schweingruber, 1996). Splynutím pruhů prokambia s parenchymatickými buňkami dřevných paprsků vzniká dutý kambiální válec. Dělením buněk kambia dostředným směrem vzniká sekundární xylém (deuteroxylém), naopak při dělení buněk směrem odstředným vzniká sekundární floém (deuterofloém). Tímto procesem jsou vytvářeny otevřené cévní svazky (Vaganov, 2006). Xylém je určen především k transportu vody, organických a anorganických látek od kořenů až po vrchol rostliny, zatímco floém je specializován na transport asimilátů. Zralé buňky xylému v konečné fázi lignifikují (Votrubová, 2010; Zákřavská 2013). Dále se zaměřím již pouze na stavbu dřeva jehličnanů, jelikož jalovec, kterým se tato práce zabývá, patří právě do této kategorie.

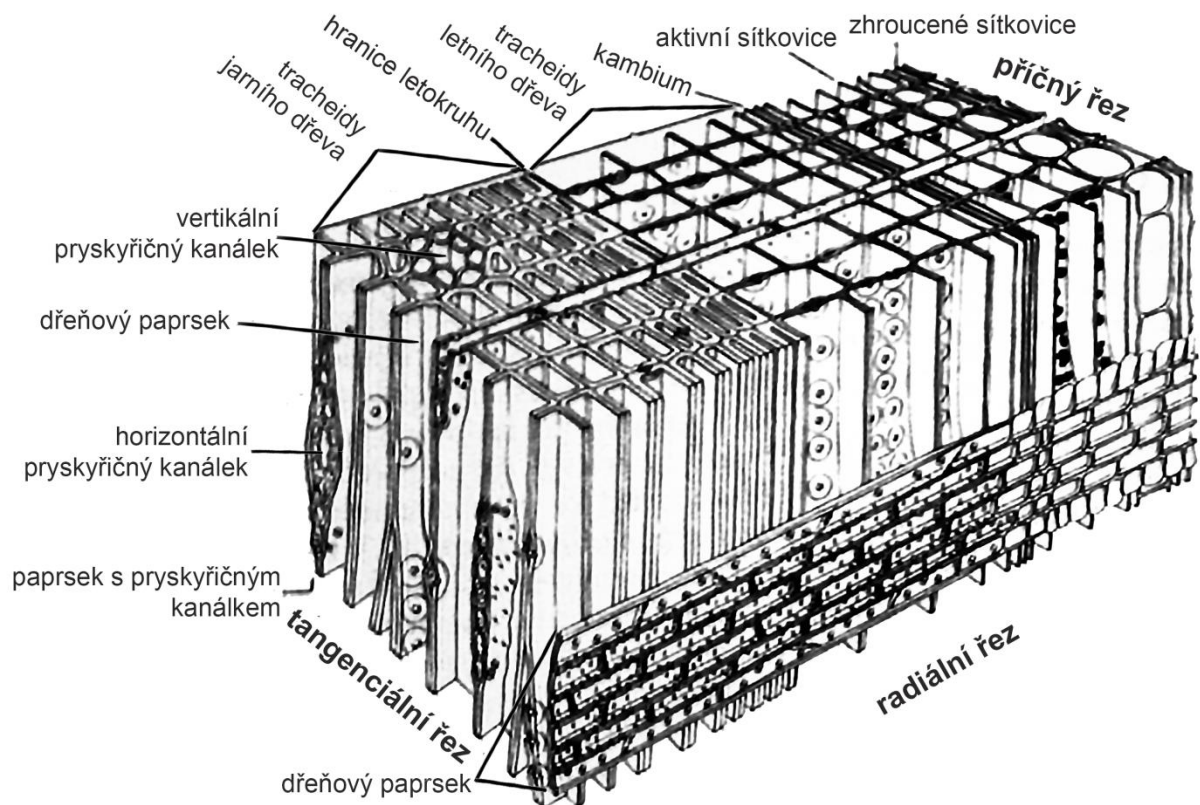


Obr. 1: Mikroskopický snímek radiálního řezu jalovcem: 1 – tracheidy letního dřeva;
2 – tracheidy jarního dřeva; 3 – kambium; 4 – floém;

Na makroskopické úrovni je možné na radiálním řezu dřevem jehličnanů (sekundární xylémem) pozorovat letokruhy, dřevové paprsky, pryskyřičné kanálky a suky. Pouhým okem jsou nejlépe pozorovatelné letokruhy. Letokruh je vrstva dřeva pozorovatelná na radiálním řezu jako jeden z mnoha koncentrických kruhů, vzniklý dělivou činností buněk kambia během jednoho vegetačního období (Carlquist, 2001). Již na makroskopické úrovni je v rámci letokruhů patrné rozdělení na jarní a letní dřevo. Jarní dřevo tvořené na počátku vegetačního období se kvůli růstu větších buněk s tenčími stěnami vyznačuje nižší hustotou, v důsledku čehož se na makroskopické úrovni jeví jako světlejší. Obvykle je větší část letokruhu tvořena právě jarním dřevem (earlywood). Letní dřevo (latewood) je naopak tmavší v důsledku vyšší hustoty dřeva způsobené růstem menších buněk s tlustšími stěnami (Schweingruber a Bass, 1990).

Na mikroskopických preparátech pak můžeme v rámci sekundárního xylému pozorovat jednotlivé typy buněk, kterými je letokruh tvořen (viz obr. 2). Hlavní část dřevní hmoty jehličnanů (obvykle přes 90 %) tvoří takzvané cévice neboli tracheidy (Vaganov, 2006; Borovikov a Ugolev, 1989). Tracheidy se dělí na tracheidy jarního dřeva, letního dřeva a přechodové zóny. Tracheidy jarního dřeva mají tenkou buněčnou stěnu, jsou kratší a širší s oblými konci a mají hlavně vodivou funkci. Naopak tracheidy letního dřeva mají funkci spíše opěrnou a jejich buňky mají tlustší buněčnou stěnu, jsou užší a delší a mají špičaté konce (Sperry a kol., 2006, Vaganov, 2006) Přechodová zóna mezi jarním a letním dřevem

je tvořena tracheidami, jejichž radiální průměr a tloušťka stěn se výrazně nemění (Vaganov, 2006). Pro oddělení jarního od letního dřeva se používá Morkovo kritérium (Denne, 1989) které je blíže vysvětleno v metodické části.



Obr. 2: Mikroskopická stavba dřeva jehličnanů (Huber, 1961)

Ve dřevě se vyskytují také ležaté tracheidy, které mohou být součástí tzv. dřeňových paprsků. Tyto tracheidy jsou menší a kratší než podélné. Dřeňové paprsky mohou být tvořeny buď jen parenchymatickými buňkami (homocelulární), nebo parenchymatickými buňkami a ležatými tracheidami (heterocelulární). Konkrétně jalovce mají homocelulární dřeňové paprsky. Dřeňové paprsky mohou být tvořeny jednou (jednovrstevné) či více vrstvami buněk (vícevrstevné). Funkcí dřeňových paprsků je rozvod vody a živin v horizontálním směru a odvod odpadu od aktivních buněk poblíž vaskulárního kambia do odumřelých buněk xylému, které poté tvoří tzv. jádrové dřevo (opakem jádrového dřeva je běl, což je vrstva několika aktivních letokruhů poblíž kambia) (Kozłowski a Pallardy, 1997). U většiny jehličnanů se vyskytují pryskyřičné kanálky (u listnáčů se nevyskytují vůbec), které se mohou

být jak ve vertikálním, tak v horizontálním směru. Kanálky mají ve vnitřním obvodu vrstvu tenkostěnných či tlustostěnných epitelových buněk vylučujících pryskyřici. Tyto kanálky se však v některých jehličnanech nevyskytují, u nás se jedná například o tis, jedli či jalovec, kterým se konkrétně tato práce zabývá. Naopak se právě u jalovce vyskytuje podélný dřevní (axiální) parenchym uložený ve vertikálním směru. Je rozptýlen v pletivu a plní zásobní funkci (Wilson a White, 1986). V jalovci se vyskytuje buďto ve formě jednotlivých buněk nebo v tangenciálních skupinkách.

Většina dendrochronologických studií je založena na datech z jehličnatých a listnatých stromů mírného pásma. Ovšem v regionech, kde stromy buď zcela chybí, nebo se vyskytují jen ojediněle, je možné využít i jiné dlouhověkové formy rostlin vykazující roční přírůsty, mezi něž patří například dlouhověkové byliny, jejich kořenové bulvy a samozřejmě keřiky, které mají obecně nižší požadavky na stanoviště (Woodcock a Bradley, 1994). Keře, na rozdíl od stromů, nemají jeden hlavní kmen, ale buď pod zemí, nebo nízko nad zemí, se rozdělují na vícero kmenů či kmínků. Podmínky prostředí determinují jak velikost radiálního přírůstu, tak proporce a distribuci vodivých, podpěrných a zásobních elementů. Reakcí na specifické růstové podmínky je modifikace těchto růstových schémat. Zatímco u některých taxonů jsou změny dramatické, u jiných mohou být jen minimální. Schopnost adaptace anatomických parametrů na specifické růstové podmínky se tedy pravděpodobně váže k taxonu (Schweingruber a kol., 2013). Specifikem dřeva keřů a keřiků rostoucích v extrémních klimatických podmínkách bývají chybějící dřevň, extrémně úzké letokruhy (i jen jedna řada buněk), úplně či částečně chybějící letokruhy, častý výskyt mrazových letokruhů a velmi často excentrický růst (Woodcock a Bradley, 1994; Schweingruber a kol., 2005; Bär a kol., 2006). Dřeviny rostoucí v podmínkách sezónního klimatu běžně tvoří jeden letokruh za rok. Rostliny, které však rostou ve stresových podmínkách, nemusí dokončit tvorbu letokruhu v rámci celého kmene až ke kořenovému krčku, což může mít za následek kontinuálně chybějící letokruhy právě ve spodní části kmene. Počet chybějících letokruhů se tedy zvyšuje s klesající výškou vzorkování na kmeni. Počet chybějících letokruhů koreluje s kambiálním stářím, délkou kmene či defoliací způsobenou herbivory. Kambium může být neaktivní až 18 let a přitom zůstat stále funkční (Wilmking a kol., 2012)

Na mikroskopické úrovni se nízké keřiky liší od vyšších forem. Plocha listů a množství půdní vláhy pravděpodobně určuje plochu vodivých elementů. Zatímco u vyšších jedinců (v případě listnatých keřiků) se často objevují cévy, u extrémně zakrslých forem můžou zcela chybět, také u taxonů, které disponují sklerenchimatickými libriformními vlákny

mohou tyto zcela chybět. Mnoho druhů vytváří sklerenchimatická libriformní vlákna jen za optimálních růstových podmínek, za tvrdších podmínek je jejich růst značně či úplně omezen, neboť potřeba stability má pravděpodobně menší prioritu než transport vody a ukládání karbohydrátů. Variabilita dřevových paprsků je extrémně vysoká, jsou typické na jednotlivých stanovištích s optimálními podmínkami, ale také mohou zcela chybět nebo anatomicky splývat s axiálním parenchymatem. Ačkoli se parenchyma vyskytuje zejména u vyšších jedinců, jeho struktura může souviset také s mechanickým stresem. Množství a rozložení axiálního parenchymatu, libriformních vláken a cév je velmi variabilní a může být závislé na vitalitě rostliny. Zatímco vitální rostliny tvoří typické vzory, jedinci rostoucí za stresových podmínek redukuje v první řadě počet libriformních vláken a až poté počet cév. Tento proces se nazývá parenchymatizace a v jejím důsledku se může celá tkáň daného letokruhu skládat pouze z parenchymatických buněk (Schweingruber a kol., 2013).

2.2 Tvorba letokruhových chronologií růstu arktických keřů

Jedná se o složitý proces o několika částech. Nejprve je nutné provést výběr vhodné lokality a odběr vzorků, je dobré si všimnout mikrotopografické pozice, sklonu svahu, struktury vegetace a přítomnosti periglaciálních procesů (Bär a kol., 2006). Jednotlivé vzorky by od sebe měly být prostorově dostatečně vzdálené na to, abychom předešli dvojnásobnému či několikanásobnému odběru geneticky identických klonů (Hallinger a kol., 2010). Většina studií pracuje s řádově desítkami vzorků a autoři využívají k prodloužení chronologie také mrtvé dřevo (Hallinger a kol., 2010; Blok a kol., 2011). Podle Kolischuka (1990) je minimální počet analyzovaných jedinců deset.

Poté následuje laboratorní příprava a křížové datování vzorků. Tradiční metody měření šířek letokruhů, jako je například měření na měřícím stole pod binárním mikroskopem (Vaganov, 2006), v případě arktických keříků mnohdy selhávají. Pokud je však kvalita vzorku dostatečná pro daný účel, je možné provést křížové datování pouze na smirkovém papírem zbroušených discích, které jsou naskenovány nebo vyfoceny pod mikroskopem. Je potřeba postupovat od nejhrubších k nejjemnějším smirkovým papírům až do té doby, než jsou dostatečně rozlišitelné jednotlivé buňky. Většinou je ale nutné vytvořit mikropreparáty z jednotlivých disků o tloušťce do 60 μm (Schweingruber a kol., 2005) a pro analýzu jiných anatomických charakteristik, než jen parametrů letokruhů jako celků (případně parametrů cév), je lepší snažit se mít vzorky co nejtenčí, například Bär a kol. (2006) používá tloušťku

preparátu 12 – 15 μm či Buchwal a kol. (2013) 15 – 20 μm . Pokud se jedná o extrémně malé keříky, je možné vytvořit mikropreparáty nebo zbrošené disky z celého kmínku. V takovém případě je pro účely křížového datování nejlepší použít vždy 2 – 10 celých disků rovnoměrně rozmístěných po těle rostliny (Woodcock a Bradley, 1994). Dále případně následuje obarvení preparátů různými metodami či výroba trvalých preparátů (Bär a kol., 2006, Buchwal a kol. 2013), způsob pro obarvení a trvalou preparaci použitý v této práci je popsán v metodické části. Podle Halingera a kol. (2010) je vhodné z dalších dendrochronologických analýz vyloučit ztrouchnivělé vzorky, vzorky s velkými jizvami či s extrémně excentrickým růstem.

Další částí procesu je samotné křížové datování pomocí různých programů (PAST, COFECHA). Délka ročních přírůstů by měla být měřena minimálně ve dvou směrech od (Hallinger a kol., 2010), které jsou od sebe odděleny minimálně 90° (v případě dvou směrů), což je z toho důvodu, že ve směru různých os se mohou lišit počty chybějících letokruhů. Je dobré měřit letokruhy směrem od okraje k centru disku (Kolischuk, 1990). Kvůli detekci chybějících letokruhů jsou často srovnávány přírůsty v rámci různých směrů na disku, dále v rámci disků jednoho jedince z různých výšek a nakonec mezi jedinci navzájem (Schweingruber a kol., 1990b). Pro identifikaci chybějícího letokruhu by měl být letokruh identifikován minimálně na dvou dalších vzorcích a to jako úzký letokruh (Woodcock a Bradley, 1994). V místě chybějícího letokruhu by měl být do chronologie vložen letokruh s minimálním možným přírůstem (Bär a kol., 2006).

Dále je potřeba odstranit neklimatické trendy z naměřených růstových řad. Nejčastěji jsou pomocí programu ARSTAN kvůli odstranění věkového trendu a variací mezi jedinci jednotlivé série vyděleny funkčními odhady trendů, kterými jsou například zhlazovací spline (Bär a Löffler., 2007), negativní exponenciální křivka (Zongshan, 2013) či lineární regrese (Blok a kol., 2011). Po detrendování jsou jednotlivé série zpravidla zprůměrovány do hlavní chronologie.

2.3 Chronologie arktických keříků

Přítomnost letokruhů v arktických keřících byla v některých pracích využita již v předminulém století a na počátku století minulého, první práce se zaměřovaly na vliv nízkých arktických teplot na snížený radiální přírůst a dlouhověkost rostlin ((Kraus 1873, Kihlmann 1890, Rosenthal, 1904; Kanngieser, 1906) in Schweingruber a kol., 2013b).

Až na několik prací ((Good 1927; Molisch a Fulling 1938; Press a kol. 1998) in Schweingruber a kol., 2013b) výzkum v oblasti arktických keřů poté po většinu minulého století prakticky stagnoval. Větší pozornosti se arktickým keřům dostalo až během minulé dekády (Schweingruber a kol., 2013b). Rozrůstající vědecká komunita se v současnosti zaměřuje hlavně na odhalování klimatologických a ekologických informací uchovaných v letokruzích a to nejen na základě terénních studií, ale také pomocí experimentálních metod (Bär a kol., 2006, 2008; Bär a Löffler, 2007; Blok a kol., 2011; (Schweingruber a Poschlod, 2005; Schmidt a kol., 2006;; Hallinger a kol., 2010; Myers-Smith a kol., 2011; Buizer a kol., 2012; Weijers a kol., 2012) in Schweingruber a kol., 2013b; Jørgensen a kol., 2014; Büntgen a kol., 2015; Hollesen a kol., 2015).

Ačkoli existuje spousta prací zabývajících se studiem arktických keřů, jen v málokterých je využíváno jiného způsobu extrakce dat než měření šířek letokruhů. Pokud se využívají jiné charakteristiky, tak většinou jen k usnadnění identifikace letokruhů. Pravděpodobně je tomu tak proto, že i ony samotné letokruhy arktických keřů jsou mnohdy již tak dost špatně identifikovatelné, přičemž je zde velký výskyt chybějících letokruhů, výskyt neúplných letokruhů či velmi úzkých letokruhů o jedné či několika řadách buněk, což způsobuje problémy zejména při křížovém datování. Ze všech dalších anatomických charakteristik, které je možné kvantifikovat, jsou využívány nejspíš pouze poměry velikosti cév (Buchwal a kol., 2013).

Většina studií, které zkoumají klima a jeho vliv na anatomickou stavbu dřeva arktických keřů, se téměř výhradně omezuje na počty a šířky letokruhů, případně na výskyt chybějících či částečně chybějících letokruhů. Další charakteristiky, jako je velikost cév a cévic a jejich hustota či rozmístění, jsou využívány pouze pro identifikaci letokruhů ze stejného roku (Buchwal a kol., 2013; Woodcock a Bradley, 1994) - tato metoda je primárně využívána při studiu tropických dřevin (Wils a kol. 2009, 2010), avšak pro odlišení letokruhů arktických keřů je také vhodná, protože se v nich vyskytuje velké množství chybějících či částečně chybějících letokruhů (13,6 % částečně chybějících a 11,2 % zcela chybějících) (Buchwal a kol., 2013). Raybeck a Henry (2005) využívá pro odlišení jednotlivých ročních přírůstků jizev, které po sobě v kmínku zanechávají listy, konkrétně u keřů kasiope šupinového-čtyřhranného (*Cassiope tetragona*). Existují však i studie, které se kromě šířek letokruhů zabývají i charakteristikami cév, případně cévic (Bär a kol., 2008). V některých keřích se mohou cévy vyskytovat kontinuálně (Schweingruber a kol., 2005). Zajímavou studií je i studie Bär a kol. (2005), ve které byla měřena nikoli pouze šířka

jednotlivých přírůstů, ale celá plocha letokruhů v rámci celého disku radiálního řezu rostlinou, což je však využíváno opět pouze pro usnadnění křížového datování, k tomuto bylo využito vektorizace letokruhů v prostředí softwaru ArcGIS.

Existují i další práce, které však nejsou zaměřeny přímo na dendroklimatologii. Gärtner-Roer a kol. (2013) se zabývá keříky vrby švýcarské (*Salix helvetica*) rostoucími na pohybujícím se permafrostu. Tato práce se věnuje keříkům především z dendrogeomorfologického hlediska, zaměřuje se na kořeny těchto keříků, které jsou ovlivňovány jak mechanickým stresem při již zmíněném pohybu permafrostu, tak teplotou povrchu, ve kterém rostou. Byly kvantifikovány velikosti cév v kořenech těchto keříků, přičemž hlavní pozornost nebyla upřena k jednotlivým letokruhům, ale k rozdílům charakteristik cév v jednotlivých kořenech. Výsledky ukázaly jasné rozdíly ve velikosti cév mezi kořeny keříků rostoucích na aktivním a neaktivním povrchu a také rozdíly v termálním režimu způsobujícím rozdíly v teplotě půdy blízko povrchu. Problematice chybějících letokruhů na 13 druzích keříků, rostoucích pod různými typy stresových podmínek, mezi nimiž je i jalovec, se věnuje Wilmking a kol. (2012).

2.4 Klimatický signál

Existuje mnoho abiotických faktorů ovlivňující růst dřevin. Mezi ně patří například světlo (orientace svahu), teplota, srážky, vítr, živiny, omezenost prostoru dostupného pro kořenový systém, mechanická poškození rostlin či znečištění půdy a vzduchu. Hlavním faktorem ovlivňujícím variabilitu šířky letokruhů je však teplota, dále pak srážky (Schweingruber, 1996).

Podle Rossiho a kol. (2008) stromy na severní a alpské hranici výskytu jednotlivých stromů mohou přežít pouze, jsou-li denní minimální teploty vyšší než 4 – 5 °C minimálně po dobu 3 měsíců nezávisle na teplotách vyskytujících se ve zbytku roku. Kambiální aktivita je koordinována s fotoperiodou a dělení xylemu je koncentrováno do první části růstu, proto produkce dřeva kulminuje koncem června, kdy je den nejdelší (Antonova a Stasova, 1997; Heinrichs a kol., 2007; Rossi a kol., 2006, 2008). Zamezením vysoké produkce dřeva během léta je zaručen dostatek času, aby nově zformované tracheidy dokončili diferenciaci, tvorbu stěn buněk letního dřeva a lignifikaci. V lokalitách na hranici výskytu stromů byla pozorována kambiální aktivita po dobu 2 – 2,5 měsíce a diferenciacie xylémových buněk

po dobu 100 až 110 dní (Rossi a kol., 2008). Denní růstové odezvy jehličnanů souvisí spíše s minimálními než s maximálními teplotami a proto spíše tyto ovlivňují délku růstové periody (Richardson a Dinwoodie, 1960; Deslauriers a kol., 2003; Rossi a kol., 2008). Körner (2003) zjistil, že dělení buněk probíhalo v rozmezí teplot 10 – 25 °C zhruba konstantní rychlostí (50 hodin), ale doba dělení téměř exponenciálně vzrostla na 150 hodin při snížení teploty z 10 °C na 5 °C. Při teplotách kolem 1 – 2 °C se doba dělení blížila k nekonečnu. Obvykle bývá zjednodušeně růstové období vymezeno jako souvislé období s průměrnými denními teplotami vyššími než 5 °C (ARossi a kol., 2008; Körner, 2003; Blok a kol., 2011). Paulsen a Körner (2014) definují minimální délku růstové sezony stromů na 94 dnů. Podle Körnera (2012) jsou však keřiky na rozdíl od stromů schopny přežít i sezonu, kdy jsou celoročně pod sněhovou pokrývkou, a pouhých 45 dní jim stačí k dokončení sezónního růstového cyklu.

Nejvíce tedy ovlivňují růst dřevin letní teploty, avšak klimatické podmínky jarní sezóny jsou také důležité. Brzké a teplé jaro může prodloužit růstovou sezonu a podpořit formaci jarního dřeva (Schmidt a kol., 2006; Zongshan a kol., 2013), avšak extrémně vysoké letní teploty nemusí vždy znamenat větší přírůsty (Bär, 2008). Naopak chladná zima může způsobit odumření kořenového systému a v důsledku jarního tání zkrátit růstovou sezonu (Schmidt a kol.). Důležité jsou také zimní srážky zajišťující půdní vláhu během jarní sezony (Zalatan a Gajewski, 2006). Podzim je také důležitý protože probíhá akumulace zásobních látek (Wood, 1986).

Ke korelaci s průměrnými měsíčními teplotami a sumami měsíčních srážek používají Zalatan a Gajewski (2006) Pearsonův korelační koeficient. V této studii prováděné na vrbě aljašské (*salix alaxensis*) na hladině statistické významnosti $\alpha = 0,05$ přírůsty co se týče teplot, nekorelovaly s žádným měsícem předchozího ani daného roku, zato se srážkami korelovaly pozitivně za leden a prosinec předchozího roku a březen daného roku, což si autoři vysvětlují tím, že dostatek sněhových srážek v zimním období zajistí při jarním tání dostatek půdní vláhy. Dále například ve studii (Buchwal a kol., 2013), která se věnuje vlivu teploty na růst vrby polární (*Salix polaris*) na Svalbardu, bylo nejvyšší korelace s teplotou dosaženo u chronologie kořenového krčku – na hladině statistické významnosti $\alpha = 0,05$ přírůsty pozitivně korelují s průměrnými teplotami měsíců června, července a srpna (0,70). Přírůsty naopak na statistické hladině významnosti $\alpha = 0,01$ negativně korelují se srážkami ve stejném období (-0,39). Frekvence chybějících letokruhů negativně koreluje s teplotami v témže období (-0,45) pro chronologii nadzemní části keřiku a $r = -0,53$ pro chronologii podzemní části keřiku. Frekvence částečně chybějících letokruhů naopak pozitivně koreluje

s květnovými teplotami jak v podzemní tak v nadzemní části keřiku. Blok a kol. (2011) provádí korelace s pětidenními průměrnými teplotami, neboť měsíční průměry považují za nedostatečné. Pro vrbu (*salix pulchra*) vychází na hladině statistické významnosti $\alpha = 0,01$ jako signifikantní korelace s počtem dní růstové sezony (které vymezuje jako dny s průměrnou teplotou vyšší než 5 °C (0,42), korelace s raně letními teplotami (0,73) a s letními teplotami (0,52), pro břízu trpasličí (*betula nana*) pak s raně letními teplotami (0,46) a se srážkami předchozího léta (0,42).

2.5 Charakteristika jalovce

Jalovec (*Juniperus communis*) se vyskytuje se ve formě stálezelených, neopadavých a pomalu rostoucích vzpřímených či plazivých keřů či keříků, ale může se vyskytovat i v podobě nízkých stromů. Kmen je větvený už od země nebo se větví od několika centimetrů nad zemí. Má zpočátku téměř hladkou, načervenalou hnědou kůru, která se později zabarvuje do šedo-hněda, podélně praská a šupinovitě až vláknitě se odlupuje. Z mladých trojhranných výhonků s úzkými, podélnými lištami, vyrůstají šedozelené listy jehlicovitého tvaru, které jsou jeden až dva centimetry dlouhé, jeden až dva milimetry široké, a zpravidla se vyskytují v trojčetných přeslenech. Jsou rovné, čárkovité až kopinaté, na konci tupé až mírně pichlavé, uprostřed mají bílý pruh a po okrajích zelené proužky (Úradníček a Maděra, 2001; Bollinger, 2005).

Třída:	Jehličnany (Pinopsida)
Řád:	Borovicovité (Pinales)
Čeleď:	Cypřišovité (Cupressaceae)
Rod:	Jalovec (<i>Juniperus</i>)

Tab. 1: Systematické zařazení jalovce

Mají květy s odděleným pohlavím, jen vzácně se vyskytují v oboupohlavní formě. Na podzim se květy objevují jednotlivě uprostřed větévek v paždí jehlicovitých přeslenů. Samčí šištice tvoří několik přeslenů, jsou malé, asi 4 – 5 mm dlouhé, žluté, a skládají se ze tří šupinovitých tyčinek, zatímco samičí šištice jsou tvořeny několika trojčetnými přesleny podlouhle zašpičatělých šupin, jsou velmi drobné, asi 2 mm dlouhé a mají zelenou barvu. Plody jalovce, tzv. jalovčinky, přibližně o velikosti hrachu (průměr 6 – 9 mm), mají namodralou až černohnědou barvu, krátkou stopku a jsou velmi aromatické. Proto jsou tyto

plody nezdávka využívány v gastronomii jako přísada jídel ze zvěřiny a ryb, či kvůli svému typickému aromatu při výrobě alkoholických nápojů (slovenská borovička). Světle hnědá semena jsou zhruba 5 mm velká, nepravidelně trojhranná, lesklá, bezkřídlá a mají tvrdou slupku (Bollinger, 2005).

Podle Kozakiewiczze a Zyczkowského (2015) jsou hlavní složkou mikroskopické stavby jalovce krátké (průměrná délka 2,5 mm) a tenkostěnné tracheidy (tloušťka stěn od 2,4 μm v jarním dřevě po 4,2 μm ve dřevě letním). Dominance tohoto typu strukturních elementů má vliv na fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva, které má díky této stavbě nízký objemový koeficient smrštění (10,2 %), takže dřevo nemá tendenci praskat a deformovat se. Ve srovnání například s borovicí lesní (520 kg/m^3) má jalovec ve stavu vysušení na vzduchu o něco vyšší hustotu (562 kg/m^3) (Kozakiewicz a Zyczkowského, 2015). Procentuální obsah tracheid ve dřevě jalovce je 91,7 %, dřevných paprsků 6,3 % a 0,2 % dřevního parenchymu (Borovikov a Ugolev, 1989).



Obr. 3: Keř jalovce (juniperus communis)

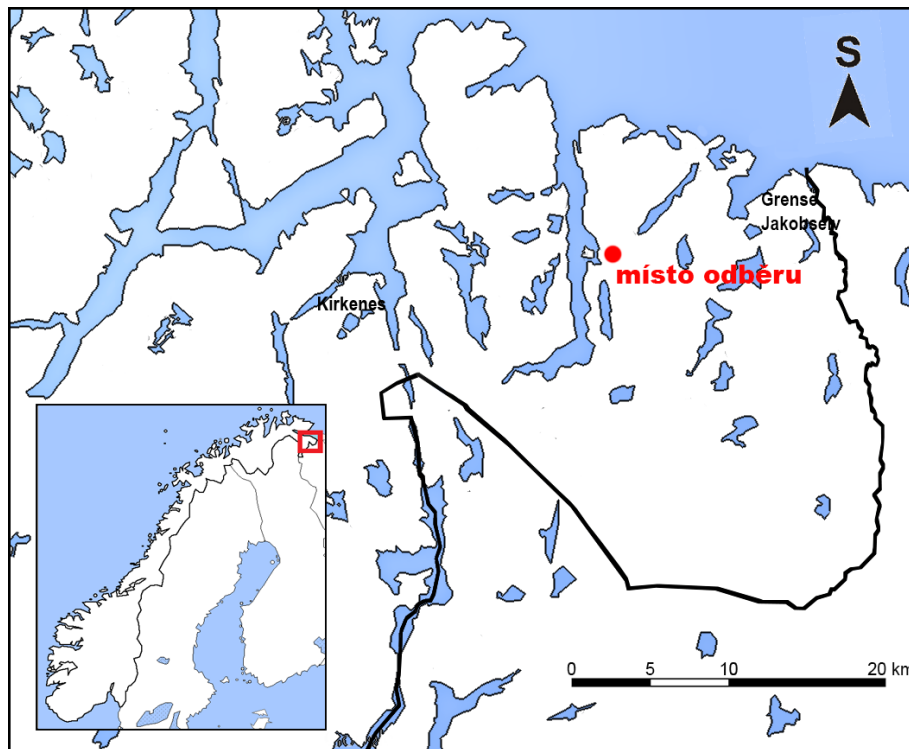
Jalovec je známý svým širokým rozšířením a nízkými požadavky na stanoviště. Může se vyskytovat od zcela vysychavých mělkých po vlhké půdy s nadbytkem vláhy či dokonce na rašeliništích. Je téměř nezávislý na půdním složení a na geologickém podloží, snáší dobře kyselou i zásaditou půdu, proto se vyskytuje jak na vápencích, tak na chudých pískách. Avšak jedná se o vysoce světlomilnou rostlinu, která je schopna odolat jen slabému zastínění. Roste vždy na slunci a hlavně tam, kde je konkurence ostatních dřevin oslabena, tedy na pastvinách, ve světlinách lesů, na vřesovištích, na skalnatých svazích a na písčinách a to od nížin

až po vyšší horské polohy subalpínského stupně (Úradníček a Maděra, 2001). Vyskytuje se v Evropě, Asii, některé poddruhy se vyskytují i v Severní Americe, jeho výskyt je doložen i v Americe. Roste od subtropů až po subpolární oblasti, ovšem v teplejších oblastech pouze v horách (Kubát a Hrouda, 2002). Jedná se o dlouhověkou rostlinu. Nejvyšší věk byl zjištěn u mrtvého dřeva jedince jalovce západoamerického (*Juniperus occidentalis*) rostoucího v pohoří Sierra Nevada v Californii v USA, podle databáze starých stromů „OldList“ (Rocky Mountain Tree-Ring Research, 2013) byl v době smrti strom starý 2675 let (Miles a Worthington, 1998).

3 Fyzickogeografická charakteristika

3.1 Místo odběru vzorků

Vzorky dřeva byly odebrány poblíž osady Lanabukt ($69^{\circ} 44' 28''$, $30^{\circ} 27' 48''$) v kraji Finnmark na severozápadě Norska, která se nachází uvnitř fjordu Jarfjord na pobřeží Barentsova moře, konkrétně v údolí Gangasdalen potoka Ganga v přibližné výšce 80 m n. m.

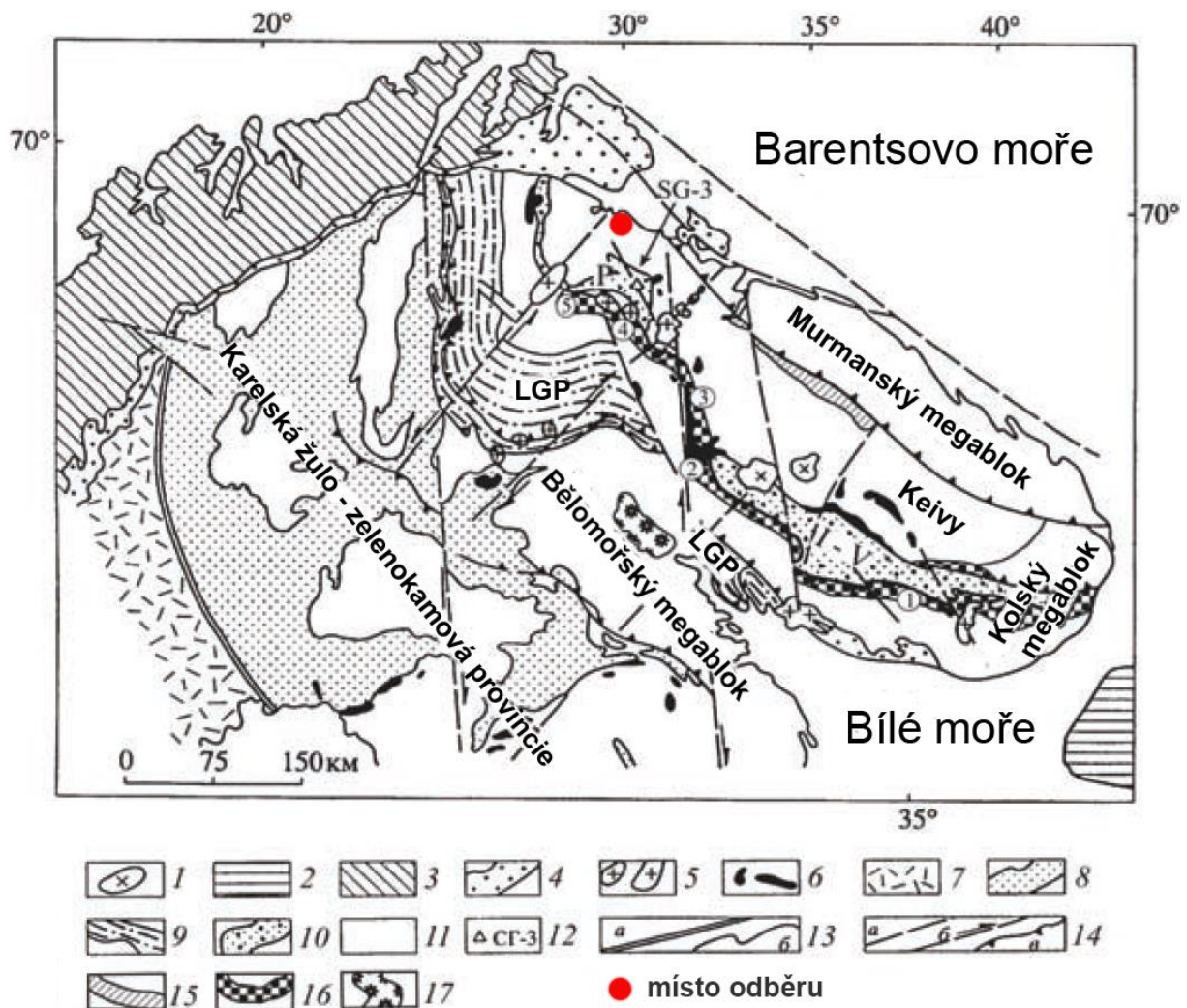


Obr. 4: Pozice místa odběru vzorků

3.2 Geologie a geomorfologie

Území je součástí Baltského štítu, který, je tvořen nejstaršími horninami na evropském kontinentě. Jedná se o starý prekambriový štít, tloušťka kontinentální kůry na něm dosahuje do padesáti kilometrů (Mooney a kol., 1998). Je tvořen hlavně obnaženými krystalinickými horninami prekambriového stáří – archaické a proterozoické ruly a zelenokamové pásy, které prošly více stádii metamorfózy. Baltský štít je rozdělen na pět regionálně-geologických oblastí, přičemž zájmové území se nachází na kolském masivu, který je zároveň jeho nejstarší částí. Na severozápadě a jihovýchodě ho překrývají sedimenty svrchního prekambria, na východě, v oblasti průlivu mezi Bílým a Barentsovým mořem, se noří pod platformní sedimenty (Mísař, 1987). Místo odběru se konkrétně nachází na šedých slabě páskovaných

rulách s migmiatickými ložisky amfibolitů (Geological Survey of Norway, Berggrun N50) proterozoického stáří (Filatova, 2012). Na obr. 5 můžeme vidět tektonickou stavbu okolí místa odběru.



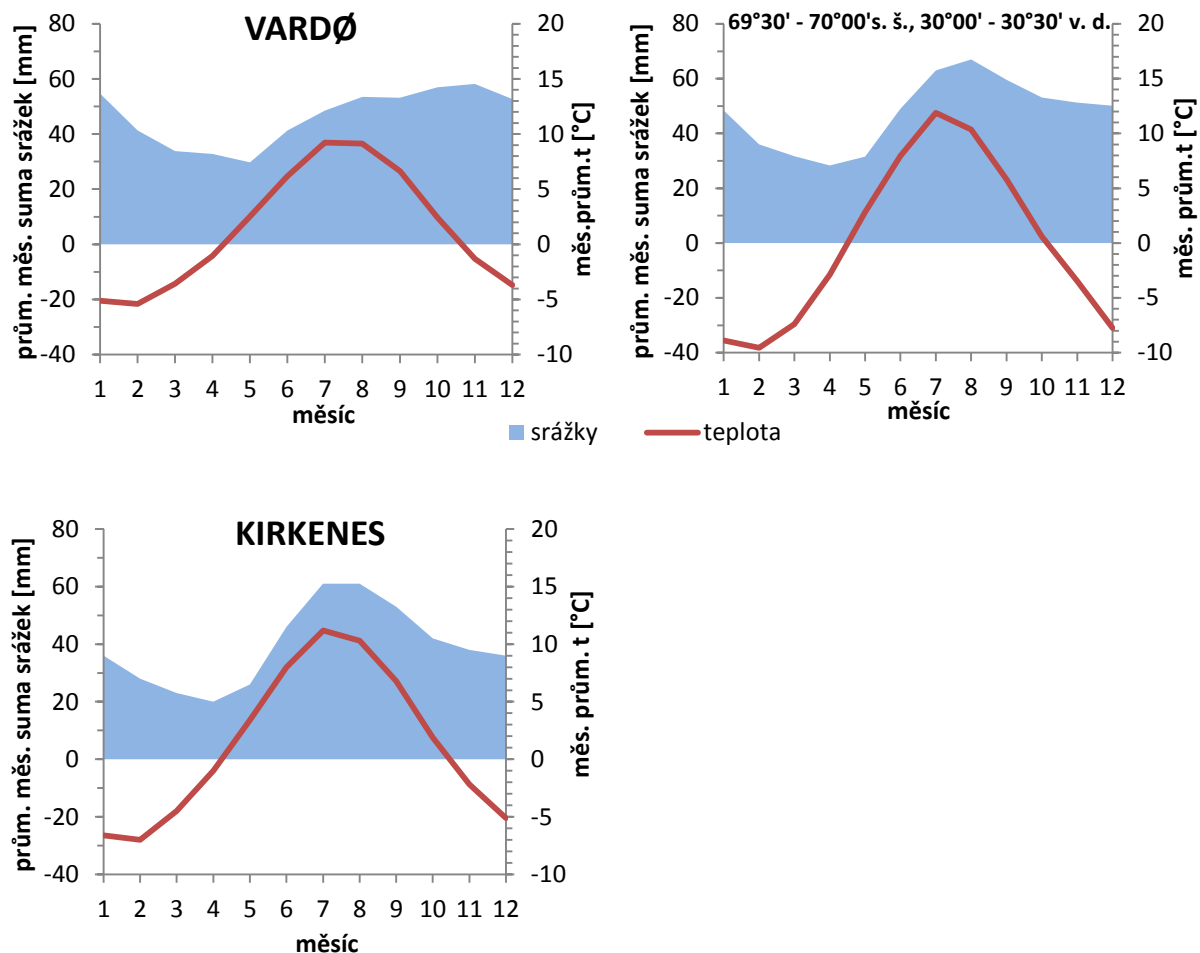
Obr. 5: Tektonická struktura severovýchodní části Baltského štítu. Paleozoikum: 1 – alkalické masivy, 2 – platformní pokryv, 3 – Norské Kaledonidy, 4 – pozdně proterozoické sedimentační formace. Rané proterozoikum: 5 – granitické plutony, 6 – masivy bazických a ultrabazických hornin. Sedimentárně-vulkanické komplexy: 7 – Svekofenidy, 8 – Karelidy. 9 – Laponský granulitový pás, 10 – pečenžsko-imandrijsko-varzužský paleorift, 11 – žulo-rulové podloží proterozoických struktur. 12 – kolský vrt, 13 – geologická hranice, 14 – zlom. Zelenokamové pásy archaického stáří: 15 – kolmzero-voronský, 16 – tersko-albrežský, 17 – Yonský. Čísla v kroučcích: 1 – Těřský, 2 – Voče Lambina, 3 – Olenogorsk, 4 – Allarečka, 5 – Kaskama.

Ať již se jedná o vznik fjordů či jiné projevy působení ledovce na povrch, toto území jím bylo velmi ovlivněno. Naposledy byl povrch pokryt kontinentálním ledovcem při Viselském glaciálu. Ústup ledovce dokládá přítomnost morény Gaisského substadia (cca 1 km jižně) a hlavního Tromsko-Lyngenského substadia (cca 7 km jižně) (Evans, 2002). Stáří první zmiňované datuje Stokes a kol. (2014) na 13 ka ($\pm 0,5$) BP, druhé, která je mladší, na 12,1 ka ($\pm 0,3$) BP. V blízkém okolí místa odběru se podle Farbrotta a kol. (2013) nevyskytuje souvislá vrstva permafrostu.

3.3 Klima a vodstvo

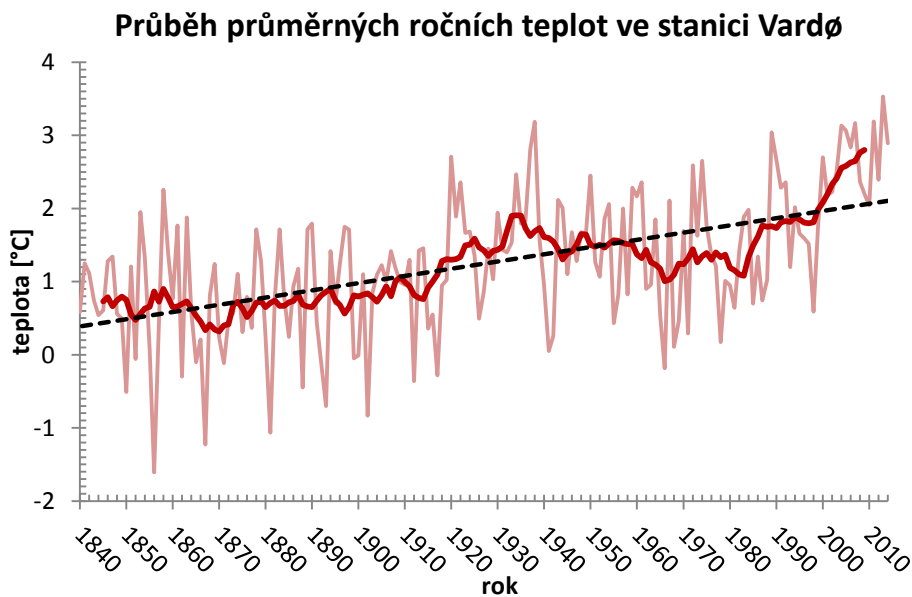
Vědeckou obcí je široce přijímán názor, že transport teplé vody Gofským proudem, který se dále v oblasti severního Atlantiku rozděluje na Irmingerův, Severoatlantický a Norský proud, a silné západní větry (řízené teplou vodou Gofského proudu) jsou hlavním důvodem, proč jsou zimy v západní Evropě mnohem mírnější než zimy ve srovnatelných šířkách Severní Ameriky (Seager a kol., 2002). Průměrná roční teplota se v severovýchodním Norsku v kraji Finnmark pohybuje od 1,5 °C na pobřeží po -2,5 °C ve vnitrozemí, roční suma srážek se pohybuje od 300 po 500 mm (Hofgaard a kol., 2012), klimaticky se region řadí k severní boreální až arkticko-alpínské zóně s oceánickým vlivem na severním pobřeží a kontinentálním vlivem ve vnitrozemí (Moen a kol., 1999). Ačkoli leží severní část Norska blízko k arktické zóně, zůstává během celého roku téměř celé její pobřeží nepokryto sněhem a ledem (Rasmusen a Turner, 2003). Nezamrzá ani přístav Vardø, ve kterém se rovněž nachází i nejbližší meteorologická stanice, která poskytuje data do databáze CRU-ts. Data z této stanice byla stažena a byl vytvořen klimadiagram pro období 1961 – 1990. Dále byla stažena data pro oblast mezi 69° 30' – 70° 00' s. š. a 30° 00' -30° 30' v. d., kde se nachází místo odběru. Z těchto dat byl rovněž vytvořen klimadiagram pro stejné období. Vardø má dle Köppena polární klima (ET) blízké oceánickému (Cfc) a subarktickému (Dfc) (Peel, 2007), avšak ani v nejteplejším měsíci nedosahuje 10 °C (KNMI Climate Explorer), což je minimální teplota umožňující růst stromů, izotherma 10 °C je také hranicí arktické oblasti (Archibold, 2013). Na klimadiagramech (obr. 6) je možno vidět, že okolí místa odběru vzorků má o něco kontinentálnější klima, existují zde větší rozdíly mezi průměrnou teplotou nejchladnějšího a nejteplejšího měsíce či v ročním rozložení srážek. Ačkoli průměrná roční teplota v místě odběru je podle databáze CRU-ts 0 °C na rozdíl od Varda, kde se jedná o hodnotu 1,3 °C, přesahují teploty dvou nejteplejších měsíců 10 °C, což potvrzuje i klimadiagram pro Kirkenes

(Climate-Data.org), který se rovněž vyznačuje větší o něco větší kontinentalitou a to především kvůli své poloze.



Obr. 6: Klimadiagram pro Vardø, Kirkenes a pro místo odběru. Roční průměrná suma srážek pro Vardø činí 557 mm, pro Kirkenes 470 mm a pro místo odběru 569 mm (data z interpolace). Průměrná roční teplota Varda je 1,31 °C, Kirkenes 1,26 °C a místa odběru 0,0 °C (interpolováno).

Během periody 1906 – 2005 se podle IPCC (2007) zvýšila globální průměrná teplota povrchu Země (země i oceán) o $0,74 \pm 0,18$ °C, přičemž rychlost oteplování se ve druhé polovině periody téměř zdvojnásobila. Zvyšování průměrné roční teploty je viditelné na datech ze stanice Vardø (70° 22' 14" s. š., 31° 6' 27" v. d.), jehož nepřerušovaná řada měření teplot sahá až do roku 1840. Při proložení průměrných ročních teplot lineárním trendem zjistíme, že průměrná teplota se zvýšila o 1,7 °C.



Obr. 7: Průběh průměrných teplot ve stanici Vardø od roku 1840, jejich jedenáctiletý klouzavý průměr a spojnice trendu (lineární)

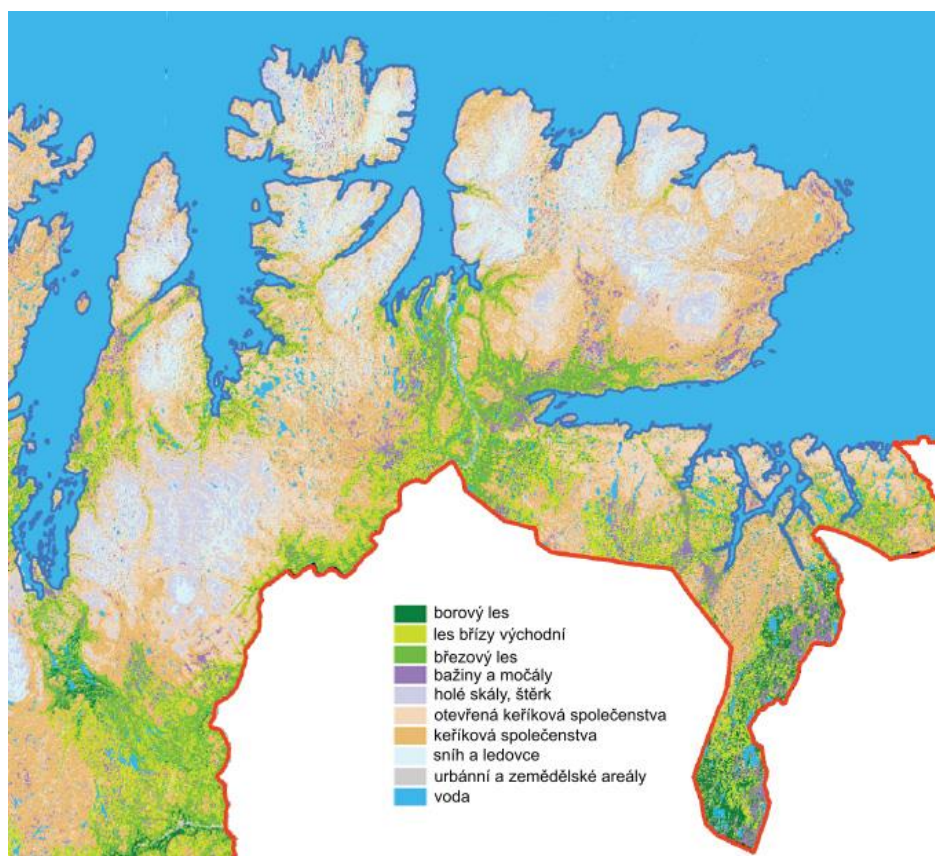
Řeky v kraji Finnmark jsou krátké až středně dlouhé, jejich průtok je závislý na srážkách a jeho maximum je v době tání sněhu (Tockner a kol., 2009). V kraji Finnmark je také několik ledovců, konkrétně dva ledovce s plochou nad 10 km² (Andreassen a kol., 2012), ty však neovlivňují hydrologický režim v místě odběru.

3.4 Půdy

Dominantním půdním typem Fennoskandie jsou podzoly, které se vyvíjely na hrubě texturovaných silikátových horninách prekambričského Baltského štítu, jakými jsou zvětralá žula nebo rula. Ve velké míře je také zastoupen glaciální, fluviální a eolické materiál pocházející také z těchto hornin. Kromě toho je pomalu se rozkládající opadanka jehličnatých stromů a vřesovištních keřkových společenstev zdrojem agresivních fulvokyselin, které také stimulují podzolizaci. V horských či kamenitých oblastech převládají mělké půdy jako leptosoly, histosoly či glejosoly (ve špatně odvodněných depresích). Naproti tomu se kryosoly díky efektu Atlantického proudu vyskytují pouze ve východní části poloostrova Kola. Ve studované oblasti se konkrétně vyskytuje podzol typický (Anisimov a Jones, 2010).

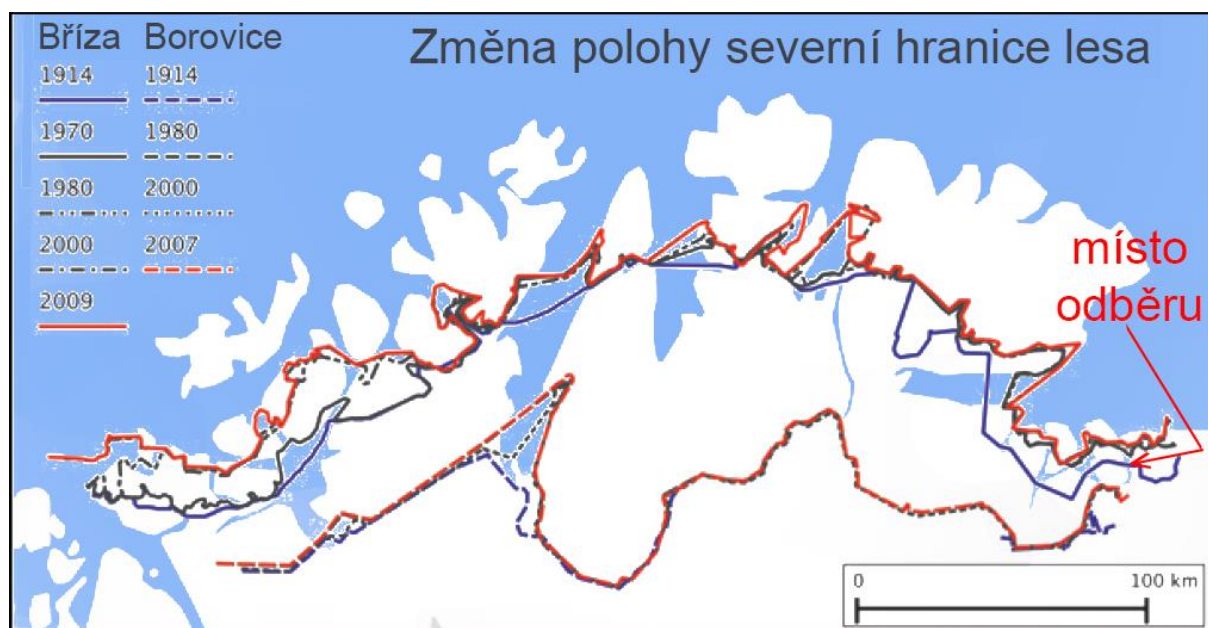
3.5 Vegetace

V kraji Finnmark se nachází několik druhů vegetačního pokryvu. Jehličnaté lesy se rozkládají hlavně na jihu, v kontinentálních částech kraje, a zabírají největší oblasti podél hlavních řek. Například řeka Pasvik je charakteristická dobře vyvinutým borovým lesem. Velké plochy zabírá také březový les tvořený hlavně břizou pýřitou (*Betula pubescens* Ehrh.), který je ve své hustější podobě charakteristický hlavně na březích fjordů. Typicky horská vegetace se zde setkává s pobřežními druhy rostlin. Březový les se vyznačuje otevřenou přízemní vrstvou s dominancí různých druhů vřesů a lišejníků (Isaksen a kol., 2008). Právě v tomto typu stanoviště se nachází i místo odběru vzorků. Diferenciace v horském pásmu je analogií k nízkému, střednímu a vysokému alpínskému pásmu. Vřesovištní společenstva s uzavřeným vegetačním krytem charakterizují nízké alpínské pásmo, střední alpínské pásmo se vyznačuje rozptýlenější vegetací kvůli drsnějším podmínkám a vysoké alpínské pásmo typické holými skálami, kamennými moři a šterkem, umožňuje růst jen nejodolnějším druhům cévnatých rostlin, mechům a lišejníků (Isaksen a kol., 2008).



Obr. 8: Mapa vegetace v oblasti (Isaksen a kol., 2008)

Sezona růstu arktických keřů začíná na 0 °C – 5 °C. V této oblasti teploty toto rozmezí překračují od července do září (Liston a kol., 2002). Ze studie Hofgaard a kol. (2012), která se zabývá změnou polohy severní hranice lesa na území severního Norska, konkrétně v kraji Finnmark, vyplývá, že místo mého odběru vzorků se nachází před severní hranicí březového lesa, avšak za hranicí lesa borového. Data pro určení polohy hranice lesa pro účely této studie vznikla digitalizací Národní lesnické mapy Norska z roku 1914, panchromatických snímků pro období sedmdesátých let, využitím vegetačních map založených na satelitních snímcích z let 1998–2002 a snímků z Landsatu pro období 1978-1980 a 2006-2009 (Hofgaard a kol., 2012). Právě v místech, kde byl odběr prováděn, se však v minulosti poloha hranice březového lesa měnila, konkrétně se posouvala směrem k severu. Z přiložené mapy (obr. 9) je však patrné, že v roce 1914 se zkoumané území nacházelo na hranici březového lesa, od roku 1980 se však již definitivně nacházelo před touto hranicí. Po celé zkoumané období je místo odběru vzorků definitivně daleko za severní hranicí borového lesa.



Obr. 9: Změna polohy severní hranice borového a březového lesa na území severního Norska (Hofgaard et al., 2013; upraveno)

4 Metodika

4.1 Odběr vzorků

Odběr dendrologických vzorků v zájmovém území proběhl v polovině srpna roku 2014 na severní hranici výskytu jalovce obecného (*Juniperus communis*). Na stanovišti byly odebrány vzorky z celkem dvaceti osmi keřů. Snahou při výběru bylo postihnout co nejstarší jedince. Ruční pilkou byly odebrány příčné řezy pokud možno v bázi keře tak, aby bylo letokruhovou posloupností zachyceno co nejdelší období, čímž bylo usnadněno pozdější křížové datování (Reardon a kol., 2008). Kvůli nepravidelnému růstu keřů byla zvolena metoda odběru příčných řezů. Příčné řezy skýtají možnost výběru studovaného výseku a také vždy protínají střed kmene (Bär a kol., 2006). Roli také hrál stav dřeva. Z výběru byly vyloučeny vzorky silně postižené hnilobou. Obvod kmene se pohyboval zhruba od osmi do čtyřiceti centimetrů. Keře na stanovišti rostly vzpřímeně a to až do výšky přibližně 1,2 m.



Obr. 10: Odběr disků z jalovce na stanovišti



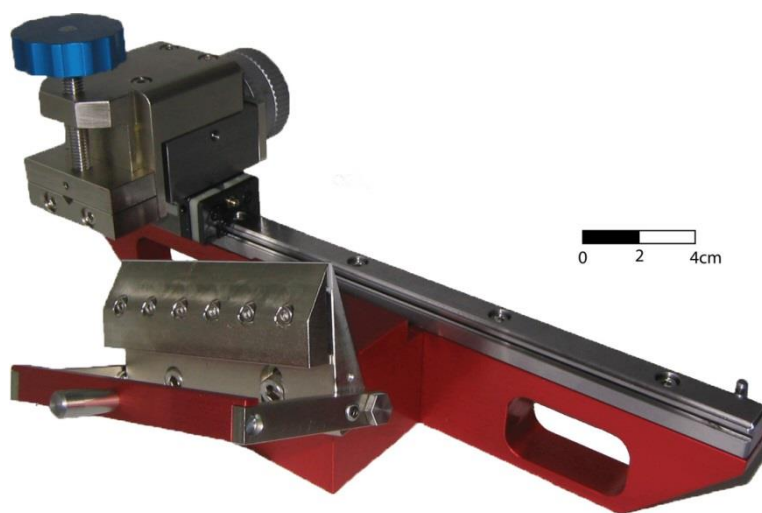
Obr. 11: Foto některých jedinců jalovce z místa odběru

4.2 Laboratorní zpracování

Z příčných řezů byly pomocí nože a kladiva vytvořeny asi půlcentimetrové výseky, které vždy tvořily nejdelší možnou spojnicí středu jádra s okrajem příčného řezu (tedy s borkou, pokud se zachovala). Pokud byly výseky moc dlouhé, byly nožem šikmo na směr růstu letokruhů rozděleny na více částí tak, aby se několik letokruhů v obou částech vzorku opakovalo a bylo je možné na sebe vzájemně při křížovém datování a dalších analýzách navázat. Výseky byly pak dále ve svěráku seříznuty jemnou ruční pilkou kolmo k růstu letokruhů a umístěny na několik minut do kádinky s vodou, aby dřevo změklo. Dále byly výseky upevněny do mikrotomu a potřeny roztokem škrobu kvůli kvalitnějšímu řezu (Gärtner a kol., 2014). Poté byly pomocí ručního lehkého mikrotomu s vyměnitelnými noži GLS1-mikrotome (obr. 12) vytvořeny preparáty o tloušťce přibližně 15 mikrometrů, které byly umístěny na podložní sklíčko a dočasně zafixovány pomocí glycerolu (Gärtner a kol., 2014).

Následujícím postupem, který popisuje například Bär a kol. (2006) nebo Buchwal a kol. (2013), byly vytvořeny trvalé preparáty, které byly pro zvýšení kontrastu mezi lumeny tracheid a lignifikovanými buněčnými stěnami obarveny. Nejprve byly vzorky propláchnuty

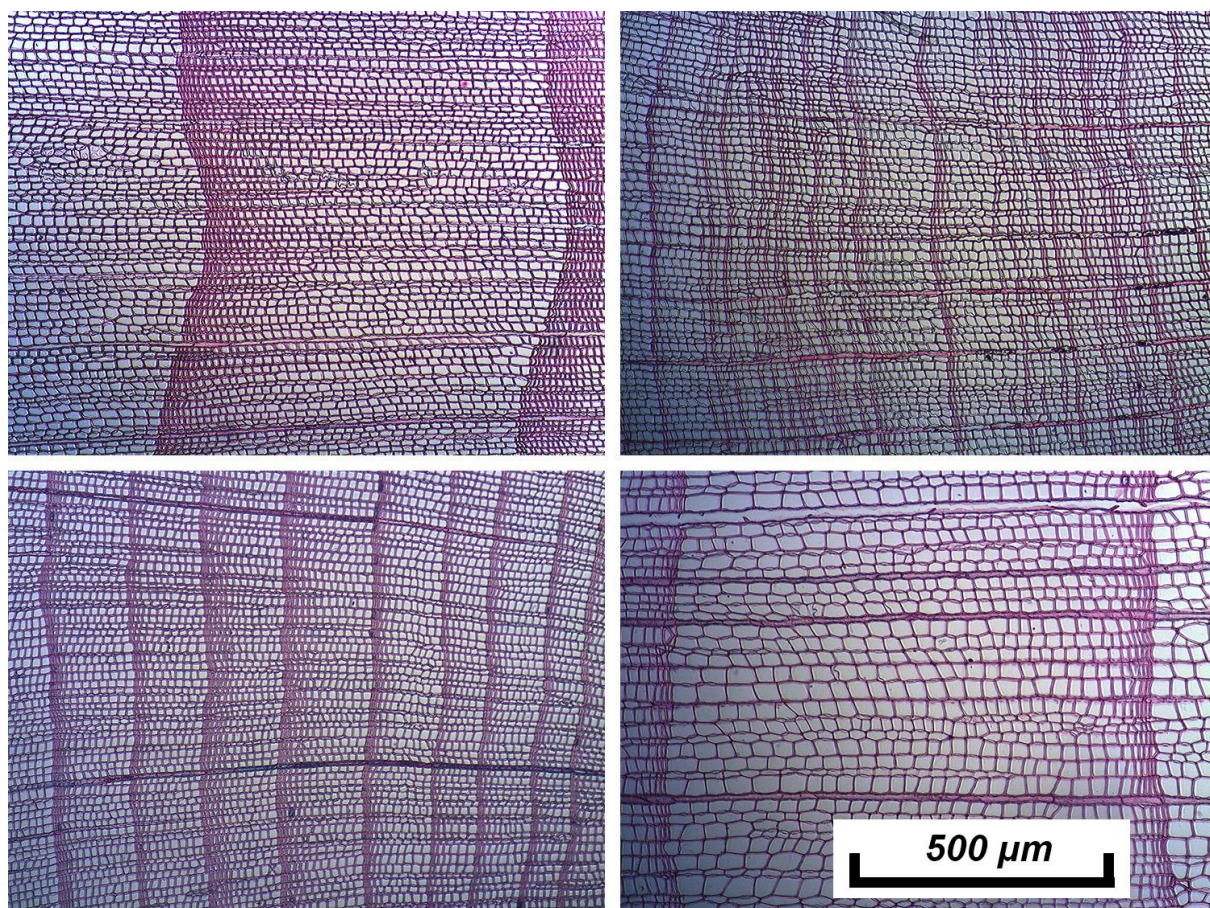
proudem vody od glycerolu. Pro odvodnění vzorků byla použita vzestupná alkoholová řada (roztok ethanolu o koncentracích 50%, 70%, 90%, 96% a 100%) a následně xylén. Každým roztokem alkoholu byl preparát nejprve proudem z pipety propláchnut a poté v něm byl ještě na tři minuty ponechán, aby se vzorek lépe odvodnil. Nakonec byl pro detekci zbylé vody ve vzorku a pro dokonalejší odvodnění použit xylén. Pokud by vzorek nebyl dostatečně odvodněn, projevilo by se to zbledáním xylénu. Následně byly preparáty obarveny směsí roztoků safraninu a Astra-modře (1:1), která na ně byla aplikována na dobu pěti minut. Kvůli dehydrataci a odstranění přebytečného barviva (zvýšení kontrastu mezi lignifikovanými buněčnými stěnami, které na sebe vážou barvivo, a lumeny cévic), byly obarvené preparáty opět propláchnuty vzestupnou alkoholovou řadou a xylénem. Nakonec byl pro trvalou fixaci preparátu aplikován kanadský balzám, na který bylo umístěno nadložní sklíčko zatížené magnety či svorkami, a preparáty byly umístěny do elektrické trouby s teplotou nastavenou na šedesát stupňů celsia a ponechány zde vždy minimálně po dobu dvanácti hodin, aby kanadský balzám zaschl. Poté byly vytaženy a za pomoci žiletky z nich byl odstraněn přebytečný zaschlý kanadský balzám.



Obr. 12: GLS1-microtome (Gärtner a kol., 2014)

Pro další práci, zejména v programu WinCell, bylo nutné vzorky zdigitalizovat. Vzorky byly zachyceny digitální kamerou Lumenara INFINITY1-5 přes mikroskop INTRACO MICRO pomocí programu INFINITY CAPTURE. Snímky byly zachycovány při stonásobném optickém zvětšení. Bylo využito maximálního rozlišení kamery. Jednotlivé snímky tedy disponují rozlišením 2592 x 1944 pixelů. Délka jednoho pixelu odpovídá 0,44 μm ve skutečnosti. Snímky byly uloženy do formátu BMP, který využívá bezztrátovou kompresi. Na mikroskopu byla přibližně na polovinu nastavena clona osvětlení preparátu

a byly použity polarizační filtry pro zvýšení kontrastu mezi buněčnými stěnami a lumeny. Focení letokruhů probíhalo vždy v jedné řadě od okraje (borky) do středu jádra se snahou vyhnout se nepravidelnostem a zvláštnostem v růstu. Jednotlivé snímky měly vždy vzájemně minimálně 50% překryv, aby bylo možné celou sérii snímků spojit v jeden panoramatický snímek a dodatečně identifikovat pořadí letokruhů a přiřadit k nim roky jejich růstu. V některých případech však souvislý sled snímků od okraje až do středu řezu nebylo možné realizovat z důvodu nevyhovující kvality preparátu (roztržení, jizva, lokálně zvýšená tloušťka), a proto bylo nutné řadu navzájem se překrývajících snímků přerušit a navázat v jiné části shodného letokruhu. Dalším problémem byl nerovnoměrný jas snímků. Snímky byly nejsvětější uprostřed a směrem ke krajům se ztmavovaly (ztmavení bylo u všech snímků daného vzorku vždy konstantní). Tento problém však byl odstraněn pomocí funkce Bandpass Filter v programu ImageJ. Snímky také byly ořezány či pootočený tak, aby se nacházely v horizontální rovině kolmé na průběh hranic letokruhů.



Obr. 13: Příklad digitálních snímků mikrosekcí při přibližně stonásobném zvětšení

4.3 Analytická část

Ze sérií snímků byly v programu Microsoft ICE vytvořeny kompozitní snímky, na kterých byly vyznačeny letopočty. Pomocí těchto kompozitních snímků, které usnadňovaly prostorovou orientaci na preparátu, byly identifikovány a pojmenovány (po letopočtech na nich se nacházejících letokruhů) všechny snímky tak, aby se každý letokruh nacházel minimálně na jednom snímku. V programu Wincell byla nejprve provedena kalibrace pro použité zvětšení pomocí kalibrační stupnice nasnímané přes mikroskop stejnou kamerou a při stejném zvětšení, jaké bylo použito při focení letokruhů. Bylo zjištěno, že délka stěny pixelu na snímku odpovídá 0,44 μm ve skutečnosti. Pomocí funkce „*path*“, která počítá délky vyznačených linií a zapisuje je do textového souboru, byly změřeny šířky letokruhů na všech preparátech (celkem 33). Z jednotlivých textových souborů byla pomocí extenze XLCCell programu Microsoft Excel vytažena data o šířkách letokruhů. Z těchto dat byly vytvořeny soubory letokruhových sérií ve formátu Heidelberg (*.fh), které byly importovány do programu PAST4, v němž byly křížově datovány. Pro porovnání byly využity dvě chronologie získané z blízkého okolí zájmového území. Jedná se o chronologie borovice lesní (*Pinus sylvestris*) od Briffy (1984), která pokrývá období od roku 1532 do roku 1983 a byla složena z dvaadvaceti sérií, a od Meriläinen a kol. (2002), která pokrývá období od roku 1622 do roku 2001 a byla složena ze čtyřiačtyřiceti sérií. Tato data byla stažena z databáze ITRDB (The International Tree-Ring Data Bank). Zdaleka ne všechny vzorky se však podařilo křížově datovat. V programu Arstan byly ze všech vzorků, které se křížově datovat podařilo, vytvořeny standardní a reziduální chronologie, celkově se podařilo křížově odatovat 26 z 33 vzorků. Pro detrend byl zvolen sedmdesátiletý spline odpovídající délce sérií. Pro statistiku running r-bar bylo zvoleno třicetileté okno s patnáctiletým překryvem. Z tohoto byl vypočten parametr EPS (Expressed Population Signal) (Wigley a kol., 1984).

Přes portál KNMI Climate Explorer (KNMI Climate Explorer) byly z databáze CRU-ts staženy měsíční průměrné teploty od roku 1901 do roku 2013 pro zájmové území. V programu DendroClim 2002 byly provedeny klouzavé korelace a korelace pro celé období standardní a reziduální chronologie s měsíčními průměrnými, maximálními a minimálními teplotami a srážkami v zájmovém území, z nichž bylo zjištěno, ve kterém období se vyskytují statisticky významné korelace. Anatomické analýzy byly prováděny jen na letokruzích ze spolehlivého období. Také byly vypočteny odezvy chronologie na již zmíněné klimatické proměnné. Funkce odezvy (Response Function Analysis) využívá k determinaci vztahu mezi

klimatickou proměnnou a růstu stromu několikanásobnou regresi proměnných z analýzy hlavních komponent (Biondi a Waikul, 2004). Obecným vyjádřením funkce odezvy je rovnice

$$W_i = \sum_{j=1}^J a_j T_{ij} + \sum_{k=1}^K b_k P_{ik} + \sum_{l=-m}^{-1} c_l W_l,$$

kde i je rovno počtu let kalibrační periody od 1 do N , W_i je letokruhový index v roce i , T_{ij} je datum teploty (teplotní proměnná i v roce j), a_j je koeficient teplotních proměnných, P_{ik} je datum srážek, b_k jsou koeficienty srážkových proměnných, W_l je počet zaostávajících šířek letokruhů pro m předchozích let a c_l je koeficient pro W (Briffa a Cook, 1990).

Dalším krokem byl výběr vzorků pro anatomické analýzy. Z dosavadních informací byla pro usnadnění rozhodování vytvořena pracovní tabulka, která shrnovala údaje o jednotlivých vzorcích. Jednalo se o informace, zda vzorek končil rokem odběru (2014), obsahoval chybějící nebo naopak falešné letokruhy (z křížového datování) či obsahoval sporné úseky, ve kterých bylo obtížné určit hranici mezi jednotlivými letokruhy. Pomocí této tabulky a vizuálního porovnání snímků bylo vybráno osm nejvhodnějších vzorků pro další analýzy. Osm vybraných vzorků tedy neobsahovalo sporné úseky letokruhů, falešné, ani chybějící letokruhy a vyznačovalo se rovněž rovnoměrnou tloušťkou preparátu, který neobsahoval příliš poškozená místa.

Na vzorcích byla měřena plocha lumen buněk a šířky buněčných stěn a počty buněk a to jak pro celý letokruh, tak zvlášť pro jarní a letní dřevo, dále pak byly měřeny šířky letokruhů a šířky jarního a letního dřeva. Nejprve bylo nutné zjistit polohu hranice mezi jarním a letním dřevem v rámci jednotlivých letokruhů. Pomocí funkce „*path*“ s nastavením „*ring boundaries*“ byly vymezeny hranice letokruhů. Uvnitř hranic byly vytvořeny regiony pomocí funkce „*create ring regions*“, v rámci kterých byly poloautomaticky vymezeny lumény buněk. Rozeznání lumenů od buněčných stěn probíhalo v programu WinCell pomocí barevných trénovacích množin. V rámci každého vzorku byly tedy programu nadefinovány minimálně tři barvy odpovídající lumenům a minimálně tři barvy odpovídající buněčným stěnám. Po vymezení regionů byla vždy nastavena prahová hodnota tak, aby byly lumény vizuálně ohraničeny přesně, a to zvlášť v rámci každého regionu. Pomocí funkce „*path*“ s nastavením „*touch/center*“ byla vybranou řadou buněk vedena linie. Funkce zjišťuje u každé buňky tyto parametry: radiální průměr lumenu (LRD - šířka lumenu na horizontální linii procházející lumenem) a radiální tloušťku stěny (WRT - šířka levé a pravé buněčné stěny, což je vždy polovina vzdálenosti dvou sousedních lumenů taktéž ležící na horizontální linii).

Z těchto parametrů program automaticky vypočítal Morkovo kritérium pro každou buňku, což je podíl čtyřnásobku radiální tloušťky buněčné stěny a radiálního průměru lumenu. Tento podíl určuje hranici mezi jarním a letním dřevem, pokud je větší než 1, náleží buňka k letnímu dřevu a naopak (Denne, 1989). Výpočet v programu probíhal podle vzorce (dvojnásobek součtu levé a pravé WRT)/(LRD), tedy podle Denneho (1989) vzorce. Všechny údaje byly opět zapisovány do textového souboru, ze kterého byly následně vyfiltrovány pomocí již zmíněné extenze Excelu XLCell. Následně byla pro každý letokruh identifikována hraniční buňka letního dřeva. Hranice však nebyla vždy jednoznačná. Někdy se mezi buňkami jarního dřeva „*earlywood*“ objevila jedna či několik buněk dřeva letního „*latewood*“. Za hraniční byla tedy považována první buňka letního dřeva, která byla ve směru růstu dále následována již jen buňkami letního dřeva. Poté bylo vždy zjištěno pořadí této buňky v rámci letokruhu.

Znovu byly vymezeny hranice pomocí funkce „*path*“ s nastavením „*ring boundaries*“, ale tentokrát jak mezi letokruhy, tak mezi jarním a letním dřevem. Nyní byly opět totožným způsobem vymezeny regiony a v nich znovu vymezeny lumény buněk, avšak, jak už bylo řečeno, zvláště pro letní a pro jarní dřevo. V analýze byly zjišťovány průměrné hodnoty následujících parametrů: plocha lumen, součet tloušťky buněčné stěny nalevo a napravo od buňky, počet buněk v řadě a šířka letokruhu (či jeho části) a to vždy jak pro celý letokruh, tak zvláště pro jarní a pro letní dřevo. Všechna data program zapisoval do textového souboru, ze kterého byla opět roztríděna pomocí extenze XLCell. Tato extenze třídí data z textového souboru do jednotlivých listů v Excelu a to podle toho, jestli se týkají buněk (cells), celých letokruhů (rings) či cest (paths), což velmi usnadňuje následnou práci s daty. Pomocí nástroje kontingenční tabulka byly získány průměrné hodnoty vybraných proměnných v jednotlivých letech od roku 1950 do roku 2014 jak pro jarní a letní dřevo, tak pro celé letokruhy.

4.4 Statistická část

V Excelu byl vytvořen graf každé proměnné a zobrazen její lineární trend, jehož koeficient r^2 nejlépe vystihoval rozložení dat. Z rovnic lineárních trendů byly vypočteny hodnoty těchto trendů v jednotlivých letech a následně odečteny od reálných hodnot. Ne všechny zkoumané proměnné se vždy řídí lineárním trendem, bereme-li v úvahu letokruhy od dřene k podkornímu letokruhu, avšak žádná nebyla zkoumána od počátku růstu keře, ale vždy až od roku 1950, proto mohl být trend takto aproximován. Pro každý vzorek byla vypočtena korelační matice srovnávající vzájemné závislosti jednotlivých proměnných.

Korelační matice pro všechny vzorky byly vzájemně porovnány a byly zjištěny statisticky významné korelace vyskytující se současně ve všech vzorcích.

Jednotlivé detrendované řady anatomických parametrů byly zprůměrovány. Takto získané hodnoty byly podrobeny analýze hlavních komponent (PCA) v programu Canoco, protože jednotlivé anatomické znaky spolu značně korelovaly. Vznikly 4 nové proměnné, které jsou lineárními kombinacemi původních proměnných.

Proměnné (původní i z PCA) byly poté korelovány s průměry denních minimálních, průměrných a maximálních teplot a měsíčními úhrny srážek a to pro každou hodnotu dané proměnné vždy od června minulého roku po září roku současného v programu Dendroclim 2002. Byly také vypočteny klouzavé korelace (dvaatřicetileté korelační okno).

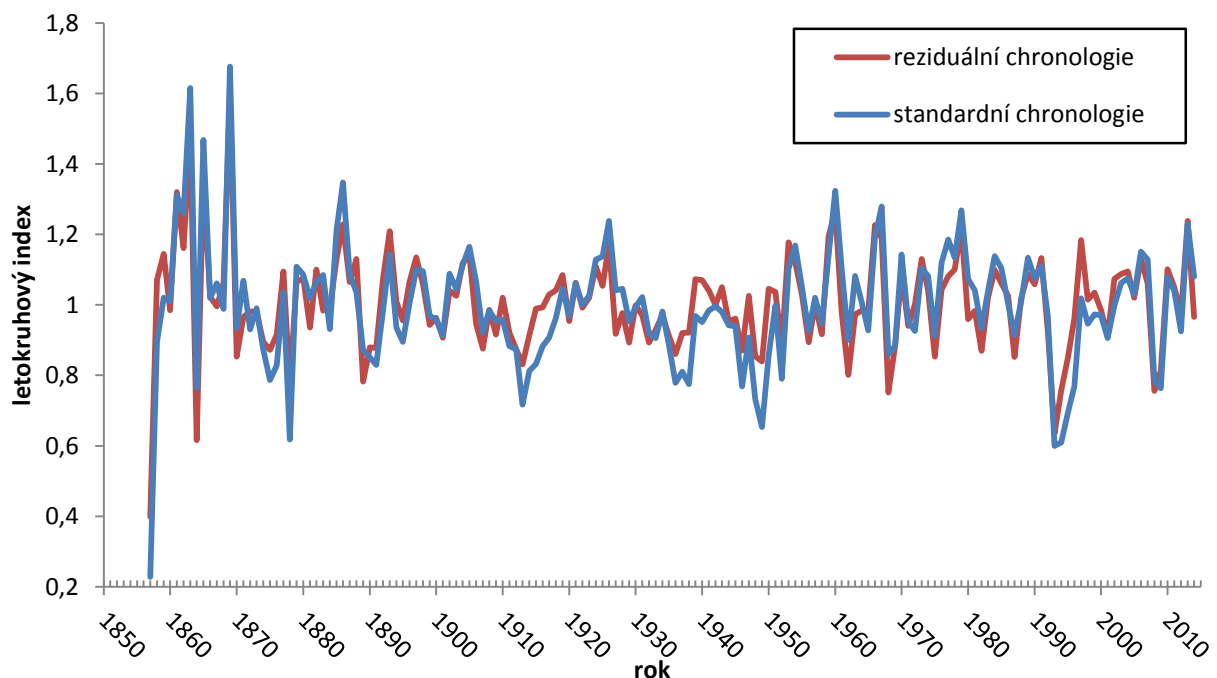
5 Výsledky

5.1 Chronologie jalovce

Chronologie jalovce (*Juniperus communis*) byla vytvořena z celkem 26 vybraných naměřených sérií, které se podařilo křížově datovat. Nejstarší vzorkovaný jedinec měl první datovaný letokruh v roce 1857. Průměrná šířka letokruhu ze všech měřených letokruhů vybraných sérií byla 345 μm se směrodatnou odchylkou 260 μm , průměr průměrných šířek letokruhů jednotlivých sérií byl 361 μm se směrodatnou odchylkou 111 μm . Průměrná citlivost sérií je pro reziduální chronologii 0,153 a pro standardní 0,154.

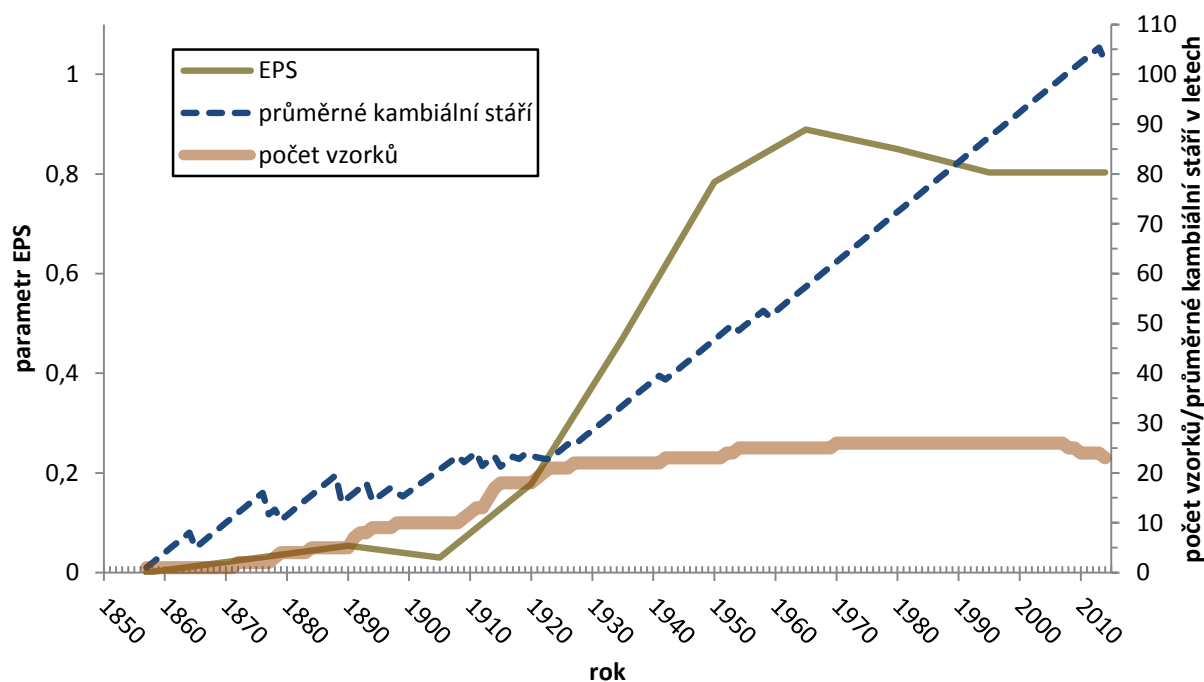
počet let	střední index	sm. odch.	koef. šikmosti	koef. špičatosti	prům. citlivost	sériová korelace
158	5,069	1,571	0,528	2,709	0,122	0,854

Tab. 2: Základní popisné charakteristiky chronologie

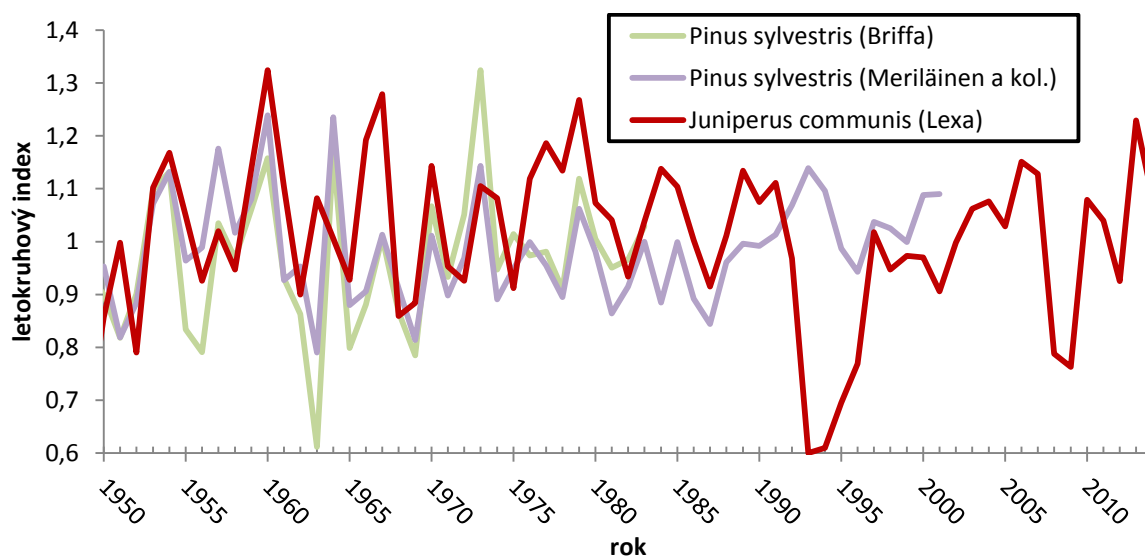


Obr. 14: Standardní a reziduální chronologie jalovce

Graf na obr. 15 ukazuje hodnotu EPS (Expressed population signal), která kvantifikuje, jak dobře reprezentuje chronologie založená na konečném počtu odebraných jader hypotetickou ideální chronologií (Wigley a kol., 1984; Garcíá-Suárez a kol., 2009). Dle Wigleyho a kol. (1984) je vhodné používat chronologii, pokud je parametr EPS vyšší než 0,85, což se bohužel u chronologie jalovce nepodařilo dosáhnout v dostatečně dlouhém období, proto byla použita mezní hodnota EPS snížena na 0,8 a byla použita ta část chronologie, jejíž hodnota EPS je vyšší než 0,8, což platí od padesátých let minulého století (zaokrouhлено na desetiletí). Dále tedy byla používána část chronologie od roku 1950 (v tomto období, se také vyskytovaly statisticky významné klouzavé koralece s klimatem, viz níže). V programu PAST byla porovnána souběžnost vytvořené chronologie s prostorově nejbližšími chronologiemi Briffy (1984) a Meriläinen a kol. (2002). Chronologie Meriläinen a Briffy jsou za celé období souběžné na 76 %, což je signifikantní na hladině $\alpha = 0,001$. Za celé období je chronologie jalovce s Briffovou chronologií borovice souběžná na 59 %, což je signifikantní na hladině $\alpha = 0,05$, a s chronologií Meriläinen na 55 %, což signifikantní není. Pokud se však zaměříme pouze na spolehlivé období od roku 1950, je chronologie jalovce s Briffovou na 77 %, což je signifikantní na hladině $\alpha = 0,001$, a s chronologií Meriläinen na 64 %, což je signifikantní na hladině $\alpha = 0,05$.



Obr. 15: Počet vzorků, jejich průměrné kambiální stáří a parametr EPS chronologie



Obr. 16: Srovnání studovaného úseku chronologie jalovce s chronologiemi borovice lesní (*Pinus sylvestris*) Briffy a Meriläinena a kol.

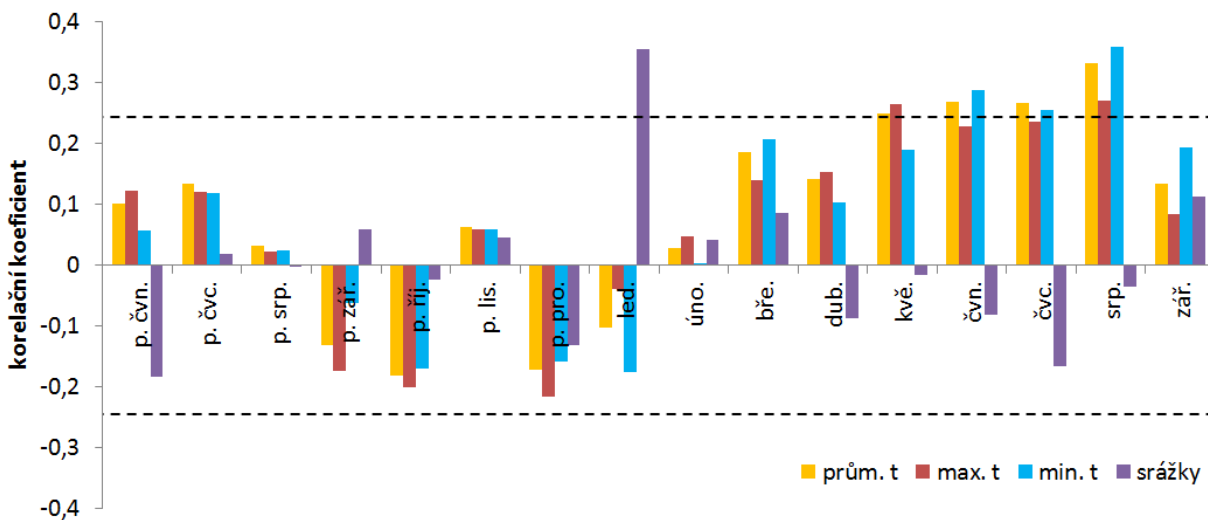
5.2 Vliv klimatu na šířky letokruhů

Spolehlivá část výsledné chronologie byla korelována s průměrnými měsíčními teplotami (obr. 17), měsíčními průměry denních maximálních a minimálních teplot a s měsíčními úhrny srážek za období 1950 – 2013. Je pracováno s tou chronologií, která měla, co se týče korelací s klimatem lepší výsledky, tedy chronologií standardní, a to i v případě klouzavých korelací. Na hladině statistické významnosti $\alpha = 0,05$ chronologie koreluje s průměrnými teplotami od května do srpna (nejvyšší korelace je za červenec a to 0,33), s maximálními teplotami od května do července (nejvyšší korelace v květnu, a to 0,33), s minimálními teplotami od července do srpna (vůbec nejvyšší dosažená korelace, v srpnu, a to 0,37) a se srážkami negativně za červen předchozího roku (-0,29) a pozitivně za září (0,27). Co se odezvy týče (obr. 19), tak ta je signifikantní pouze pro minimální teplotu, a to negativně za leden (-0,26) a pozitivně za srpen (0,27). Jinak je obecně vidět, že chronologie negativně koreluje s teplotami na podzim a v zimním období (výjimkou je listopad) a naopak pozitivně v letním období. U srážek lze snad jen pozorovat, že negativně korelují s letními teplotami. Na obrázku 18 je vidět, že se chronologie vytvořená z vybraných

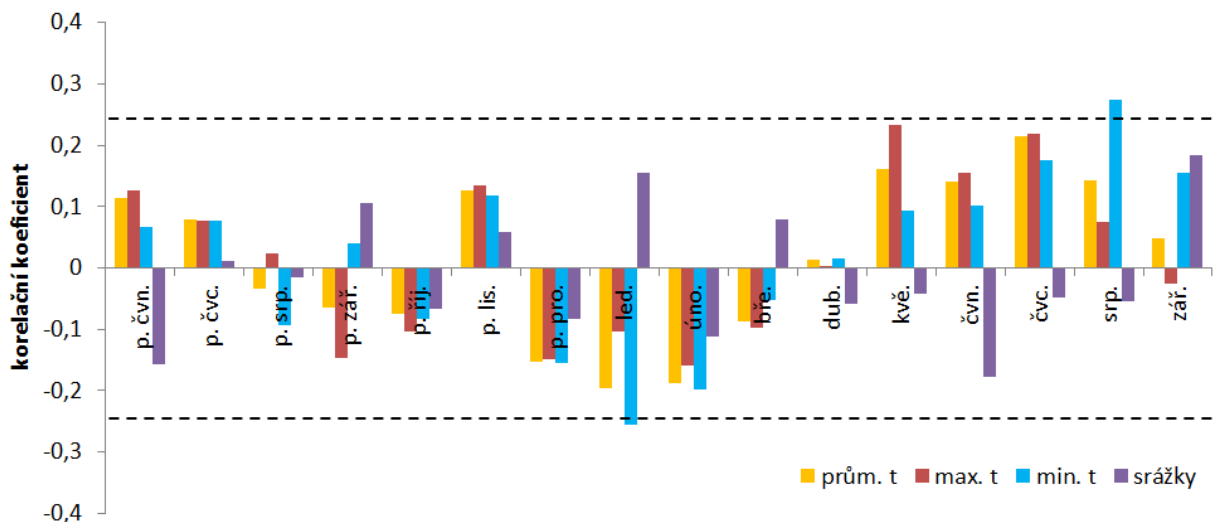
osmi vzorků v korelacích s klimatem příliš neodlišuje. Jedinou výraznější odlišností je signifikance korelace srážek s lednovou teplotou.



Obr. 17: Korelace spolehlivé části hlavní chronologie se srážkami a s průměrnými, maximálními a minimálními měsíčními teplotami. Vodorovné osy vyznačují statistickou hladinu významnosti $\alpha = 0,05$.

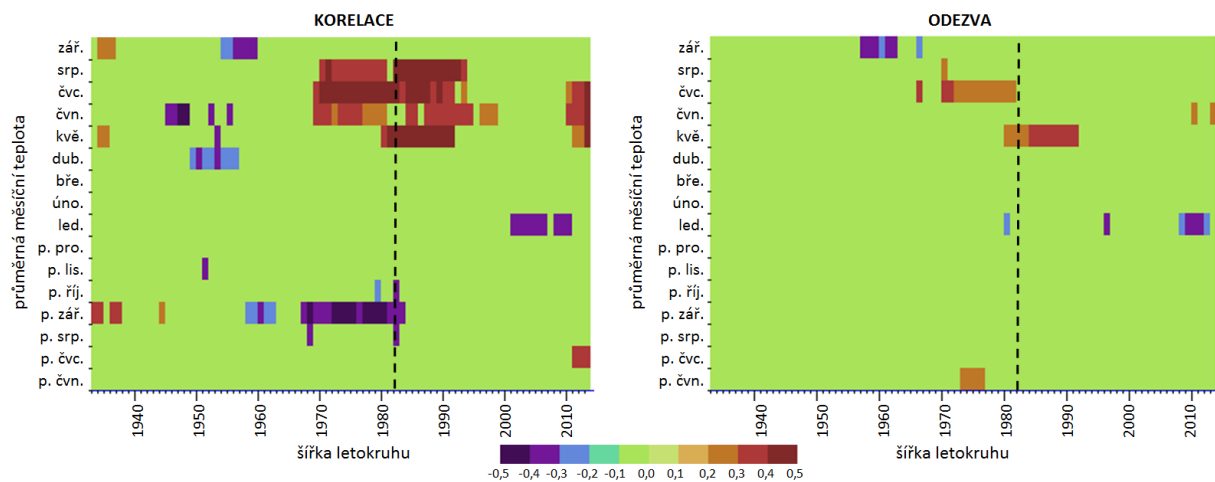


Obr. 18: Vzorky vybrané pro anatomické analýzy – korelace ve spolehlivé části chronologie se srážkami a s průměrnými, maximálními a minimálními měsíčními teplotami. Vodorovné osy vyznačují statistickou hladinu významnosti $\alpha = 0,05$.

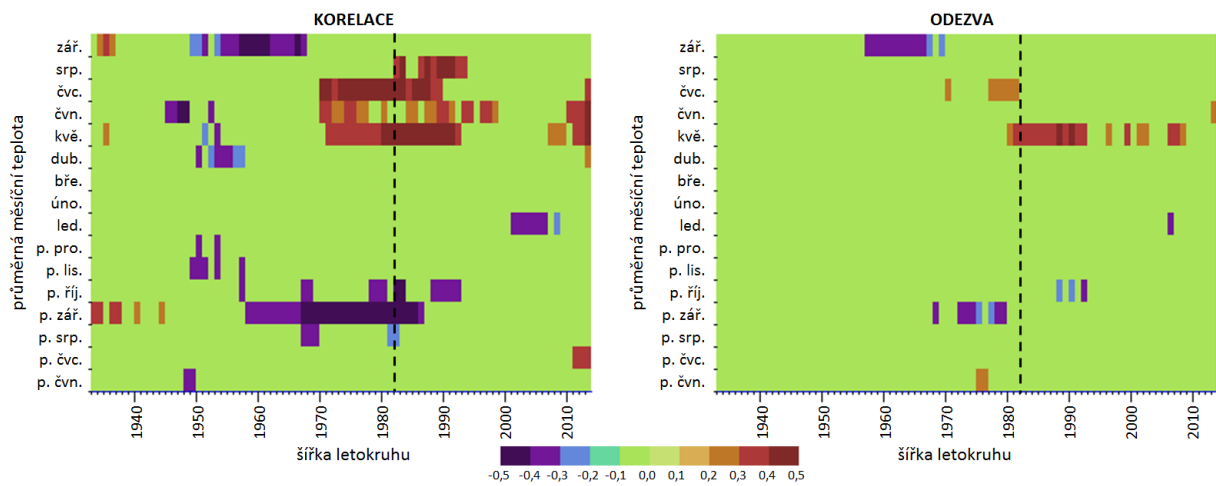


Obr. 19: odezvy spolehlivé části hlavní chronologie se srážkami a s průměrnými, maximálními a minimálními měsíčními teplotami. Vodorovné čárkované osy vyznačují statistickou hladinu významnosti $\alpha = 0,05$.

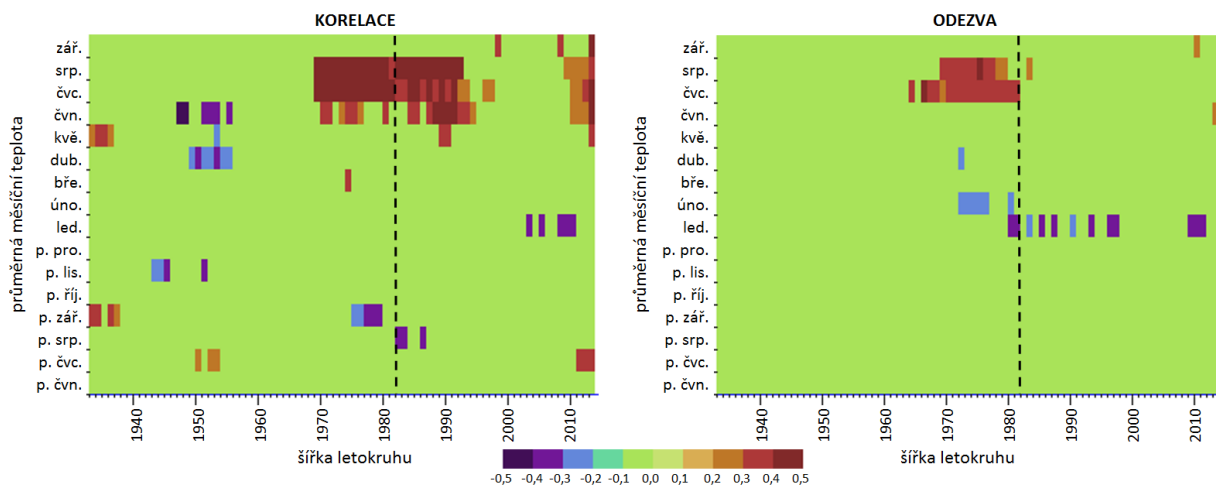
Pro ilustraci je na následujících grafech zobrazena klouzavá korelace od roku 1901, avšak čárkovanou svislou čarou je označena její spolehlivá část. Daný rok vždy v grafu označuje poslední rok dvaatřicetiletého korelačního okna. Korelace s teplotou však nejsou stejné za celé období, ale nejsilnější jsou vždy na jeho začátku a konci, prostřední okna nekorelují. Tyto korelace se, až na minimální teploty, projevují i v odezvách.



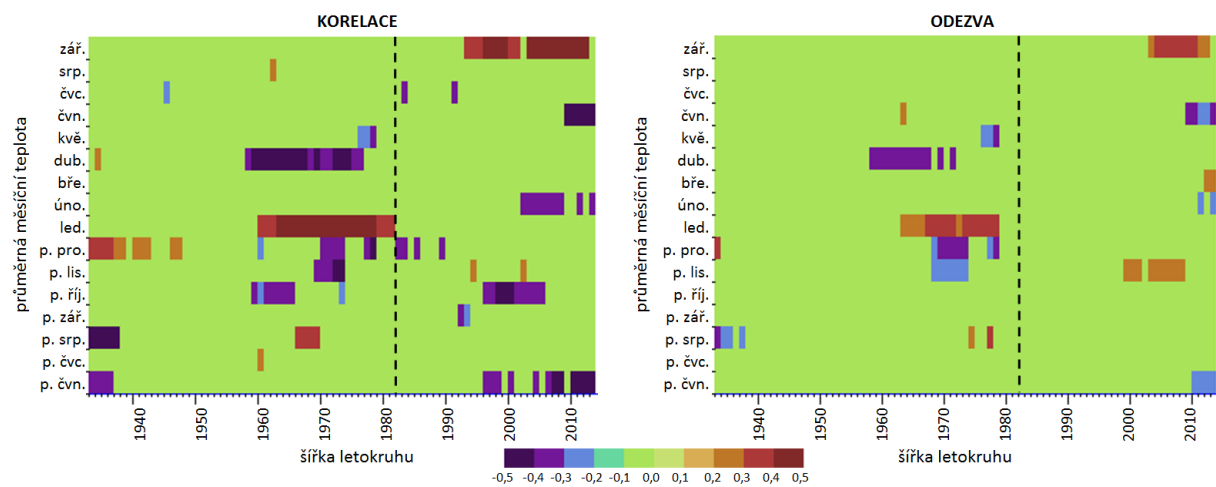
Obr. 20: Klouz. korel. a odezvy chron. jalovce s měs. prům. t od roku 1901 do roku 2013



Obr. 21: Klouz. kor. a odezvy chron. jalovce s měs. prům. max. den. t od r. 1901 do r. 2013



Obr. 22: Klouz. kor. a odezvy chron. jalovce s měs. prům. min. den. t od r. 1901 do r. 2013



Obr. 23: Klouz. kor. a odezvy chron. jalovce s úhrny měs. srážek od r. 1901 do r. 2013

U klouzavých korelací se srážkami je nejvíce patrná korelace s těmi zářiovými, která se projevila i v odezvě, na rozdíl od negativní korelace se srážkami předchozího října.

5.3 Chronologie jednotlivých parametrů

Výsledkem jsou průměrné chronologie plochy lumen tracheid, součtu šířky levé a pravé buněčné stěny, počtu buněk v letokruhu a šířky letokruhů a to vždy jak pro celý letokruh, tak pro jarní a pro letní dřevo, pro 8 vybraných vzorků, na kterých byly prováděny analýzy pro období 1950 – 2013. Statistické ukazatele rozložení dat jednotlivých proměnných jsou v příloze č. 1.

vzorek	lumen	lumen e. d.	lumen l. d.	stěny	stěny j. d.	stěny l. d.	počet b.	počet b. j. d.	počet b. l. d.	šířka	šířka j. d.	šířka l. d.
1	0,18	0,01	0,01	0,27	0,09	0,23	0,06	0,09	0,22	0,10	0,06	0,29
2	0,45	0,41	0,01	0,46	0,63	0,00	0,13	0,18	0,00	0,28	0,32	0,00
3	0,74	0,75	0,19	0,11	0,12	0,01	0,00	0,01	0,03	0,11	0,13	0,00
4	0,00	0,00	0,01	0,04	0,06	0,09	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01
5	0,81	0,78	0,57	0,00	0,02	0,03	0,60	0,61	0,10	0,72	0,72	0,12
6	0,11	0,10	0,00	0,35	0,18	0,41	0,17	0,19	0,01	0,16	0,19	0,03
7	0,29	0,34	0,21	0,00	0,07	0,02	0,05	0,04	0,03	0,05	0,05	0,01
8	0,37	0,56	0,41	0,00	0,06	0,05	0,37	0,20	0,30	0,40	0,25	0,26

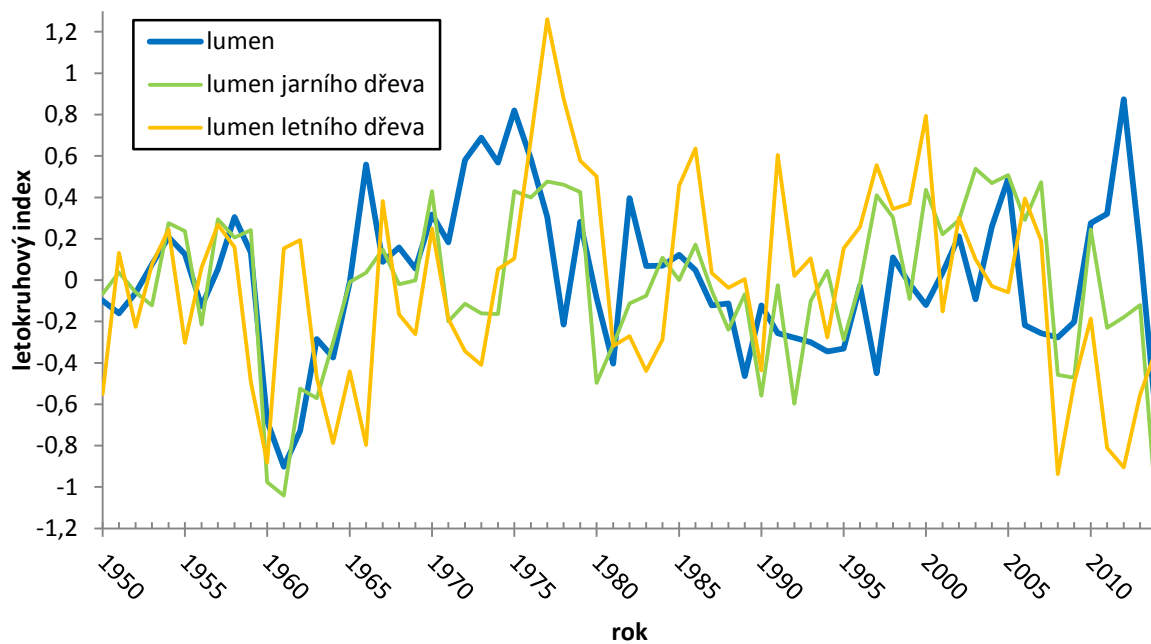
Tab. 3: Hodnota koeficientu determinace (R^2) lineárního trendu jednotlivých řad anatomických parametrů

Tabulka 3 koeficientu determinace zobrazuje, jak dobře je rozložení dat aproximováno lineární funkcí. Čím je hodnota R^2 vyšší, tím lépe lineární funkce data aproximuje. Nejvyšších hodnot R^2 obecně dosahují data průměrné plochy lumen, nejnižších počet buněk letního dřeva.

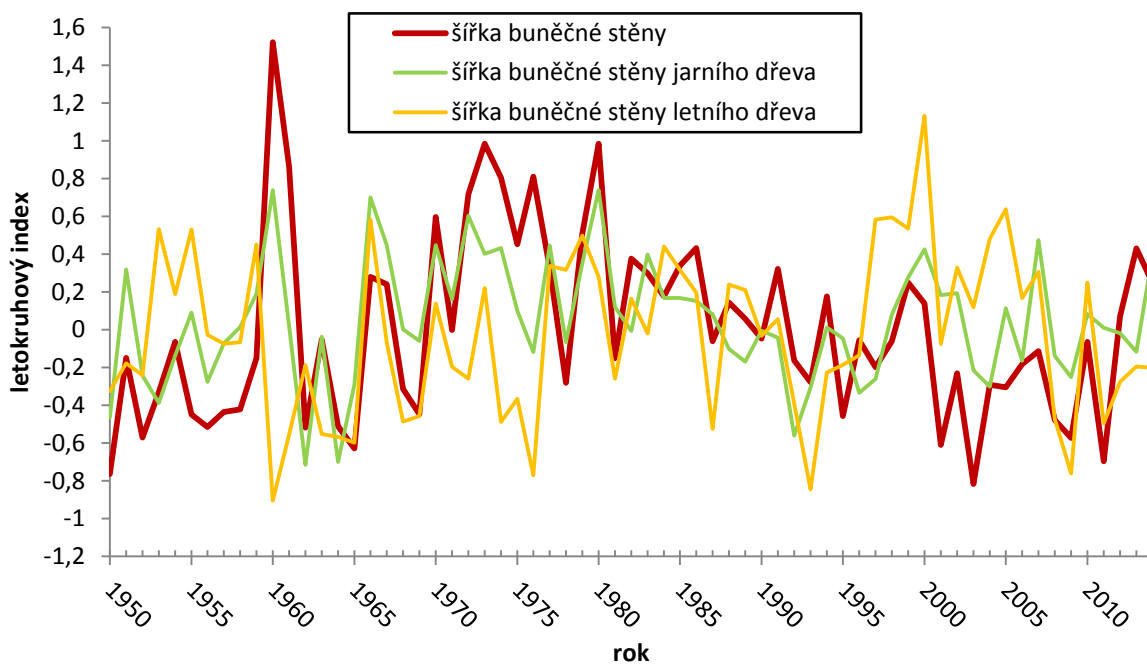
vzorek	lumen	lumen e. d.	lumen l. d.	stěny	stěny j. d.	stěny l. d.	počet b.	počet b. j. d.	počet b. l. d.	šířka	šířka j. d.	šířka l. d.
1	-0,44	-0,12	-0,07	0,05	0,02	0,05	0,07	-0,05	0,12	1,66	-0,84	2,49
2	1,25	1,33	0,13	0,08	0,09	0,01	0,16	0,16	0,00	5,50	5,47	0,03
3	2,54	3,00	0,41	-0,01	-0,02	-0,01	0,00	0,03	-0,03	2,01	2,08	-0,07
4	0,00	-0,02	0,07	0,02	0,02	0,05	-0,05	-0,01	-0,03	-0,54	0,10	-0,64
5	7,35	7,88	2,01	0,00	0,02	-0,02	0,48	0,44	0,05	15,5	14,7	0,80
6	-1,35	-1,13	-0,01	0,03	0,02	0,07	-0,22	-0,21	-0,01	-6,32	-6,68	0,36
7	1,37	1,68	0,60	0,00	0,02	-0,02	0,15	0,11	0,04	3,20	2,91	0,29
8	0,76	1,33	0,66	0,00	-0,02	-0,02	0,46	0,20	0,26	9,12	4,43	4,69

Tab. 4: Směrnice lineárního trendu (v jednotkách dané veličiny za rok – plocha lumen [$\mu\text{m}^2/\text{rok}$]; šířka b. stěn [$\mu\text{m}/\text{rok}$]; počet buněk [N/rok]; šířka letokruhu nebo jeho části [$\mu\text{m}/\text{rok}$])

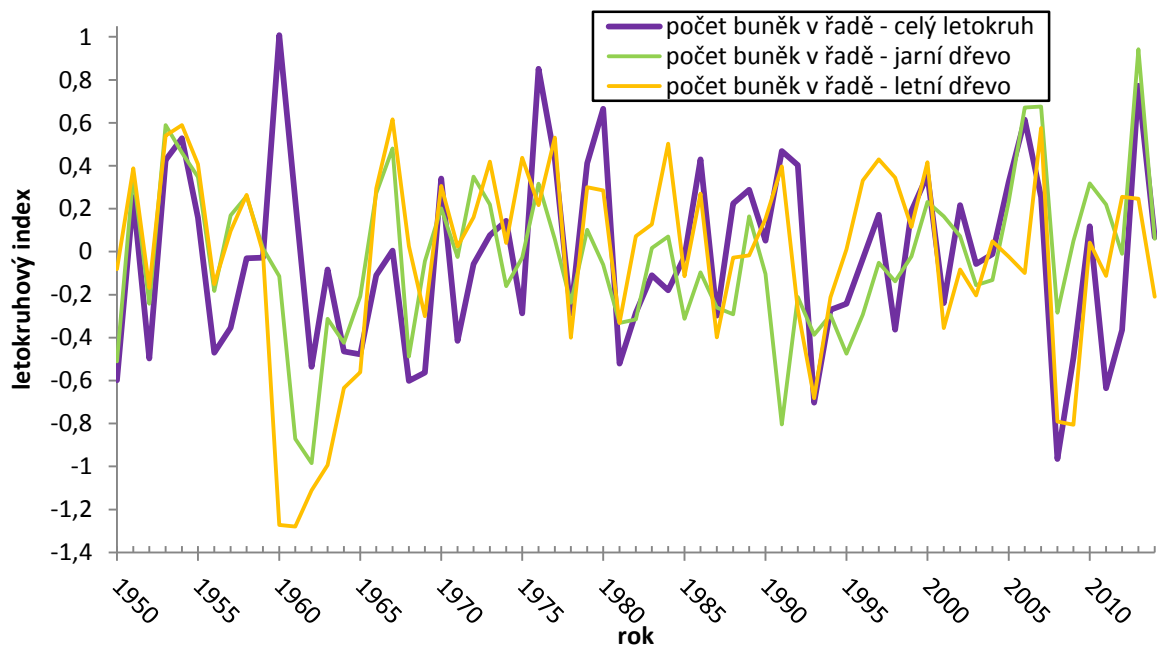
Tabulka 4 ukazuje směrnice lineárního trendu, což znamená, jakou má lineární trend dat tendenci a jaká je její míra. Následující grafy pak zobrazují průběh chronologií jednotlivých anatomických parametrů. Ve všech grafech je patrný extrém z roku 1960 a 2003, přičemž v grafu plochy lumen (obr. 24) tracheid je první zmiňovaný zobrazen inverzně. Graf na obr. 28 srovnává průběh anatomických parametrů jednotlivých letokruhů. Je patrné, že nejpodobnější jsou si křivky šířky letokruhu a počtu buněk, dále pak šířky buněčných stěn. Zcela odlišná je křivka lumen tracheid. Poslední graf na obr. 29 srovnává spolehlivou část hlavní chronologie s průměrnou šířkou letokruhů z vybraných osmi vzorků, přičemž je patrné, že se tyto dvě od sebe příliš neliší.



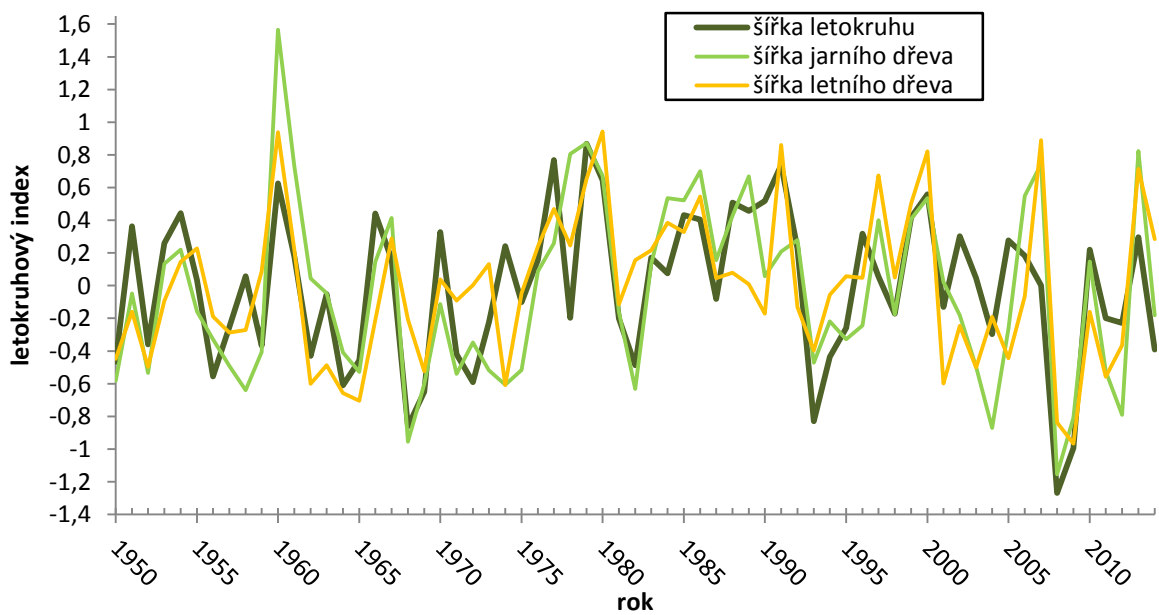
Obr. 24: Chronologie plochy lumen tracheid



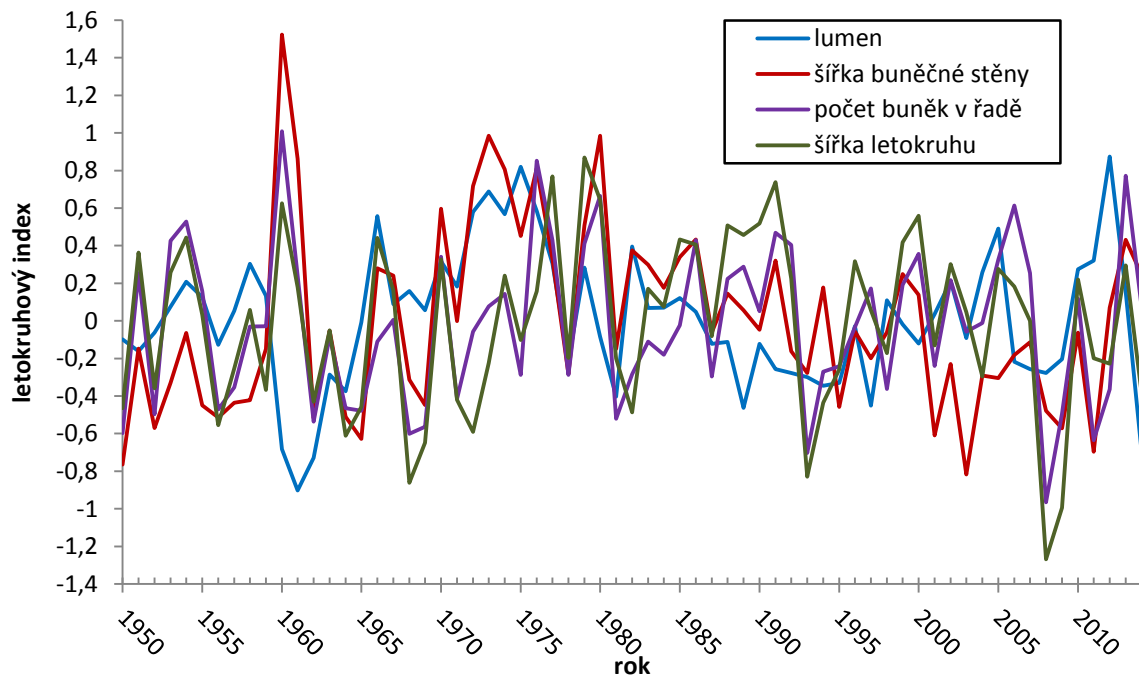
Obr. 25: Chronologie šířky buněčné stěny



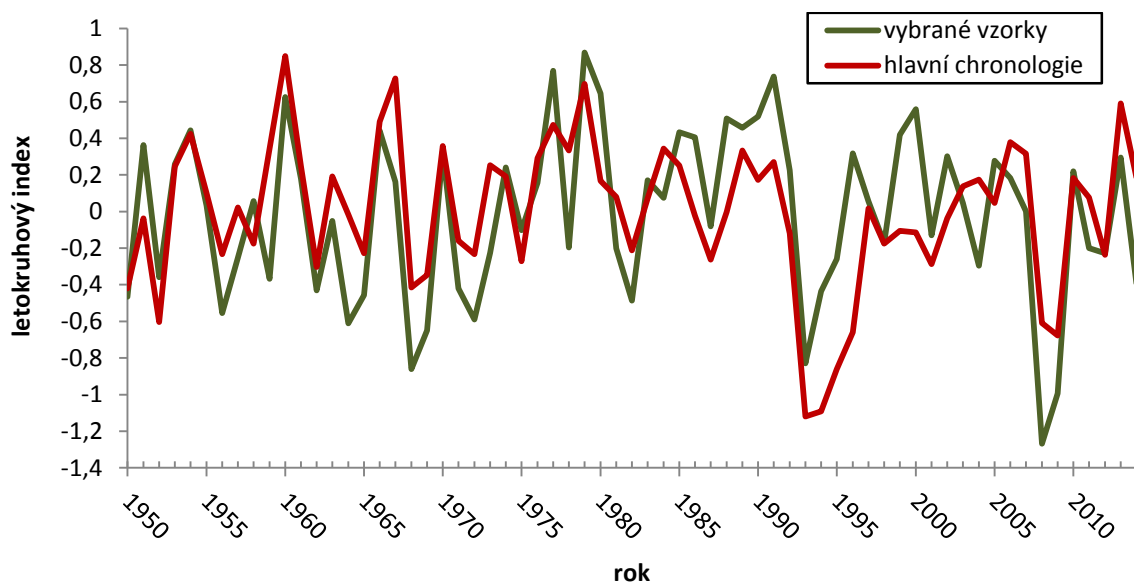
Obr. 26: Chronologie počtu buněk v řadě



Obr. 27: Chronologie šířek letokruhů (jejich částí)

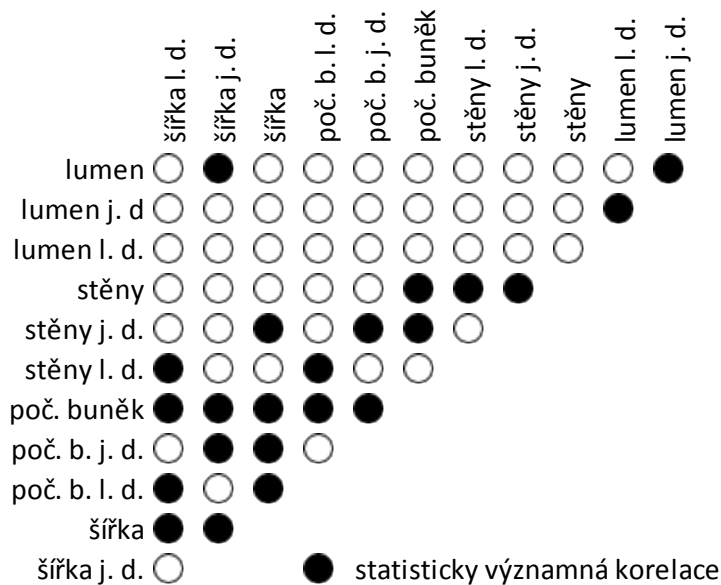


Obr. 28: Srovnání průběhů chronologií anatomických parametrů pro celý letokruh



Obr. 29: Srovnání průběhu hlavní chronologie šířek letokruhů s chronologií vytvořenou z vybraných osmi vzorků

Následující tabulka 5 shrnuje, jak spolu jednotlivé parametry vzájemně korelují. Jsou v ní vyznačeny korelace významné na hladině statistické významnosti $\alpha = 0,05$, které se vyskytují u všech osmi vzorků zároveň.



Tabulka 5: Statisticky významné korelace společné pro všech 8 vzorků ($\alpha = 0,05$)

Ve většině případů spolu vzájemně korelují proměnné daného parametru pro celý letokruh a jeho jarní a letní část. Kromě těchto korelací se však vyskytují i korelace mezi parametry. Je to korelace velikosti lumen se šířkou jarního dřeva, šířky buněčných stěn s počtem buněk v řadě v letokruhu, šířky buněčných stěn v jarním dřevě s počtem buněk v letokruhu a s počtem buněk v jarním dřevě, počtu buněk v řadě se šířkou letokruhu i se šířkou jarního a letního dřeva a počet buněk jarního dřeva se šířkou letokruhu a šířkou jarního dřeva.

5.4 Korelace anatomických parametrů s klimatem

Byly vypočteny korelace (a odezvy) průměrných chronologií buněčných parametrů s řadami průměrných měsíčních teplot pro zkoumané území.

	p. čvn.	p. čvc.	p. srp.	p. zář.	p. říj.	p. lis.	p. pro.	led.	úno.	bře.	dub.	kvě.	čvn.	čvc.	srp.	zář.
lumen	-0,09	0,11	-0,07	0,10	-0,01	0,01	0,09	-0,13	-0,09	0,01	0,00	-0,01	0,02	0,18	0,02	-0,06
lumen j. d.	-0,07	-0,05	-0,03	-0,02	0,00	0,09	0,02	-0,09	-0,09	0,06	-0,02	0,00	-0,10	0,00	0,14	-0,12
lumen l. d.	-0,01	-0,01	0,02	-0,15	-0,22	-0,07	-0,09	-0,15	-0,06	0,09	-0,17	-0,18	-0,07	-0,24	-0,01	-0,19
stěny	-0,07	0,11	-0,01	-0,10	-0,30	-0,11	-0,09	-0,12	-0,01	0,17	0,05	0,09	0,25	0,36	0,21	0,01
stěny j. d.	-0,05	0,03	0,02	-0,16	-0,25	-0,10	0,04	-0,22	-0,19	0,03	0,06	-0,10	0,18	0,27	0,18	0,03
stěny l. d.	-0,06	0,05	0,03	0,07	0,08	-0,05	-0,08	-0,13	-0,11	-0,01	-0,03	0,01	0,17	0,08	0,15	-0,02
poč. buněk	0,02	0,14	0,05	-0,05	-0,08	0,13	-0,05	0,03	0,07	0,18	0,24	0,28	0,46	0,33	0,46	0,18
poč. b. j. d.	0,07	-0,04	-0,09	0,02	0,03	0,17	0,14	0,11	-0,09	0,04	0,27	0,29	0,39	0,23	0,43	0,23
poč. b. l. d.	-0,03	-0,04	0,02	0,03	-0,07	-0,08	0,03	-0,10	-0,03	0,16	0,03	-0,06	0,12	-0,02	0,23	-0,08
šířka	0,06	0,09	-0,06	-0,07	-0,07	-0,04	-0,16	-0,15	-0,04	0,06	0,15	0,10	0,30	0,20	0,27	0,19
šířka j. d.	0,03	-0,07	-0,13	-0,12	-0,10	0,04	-0,20	-0,10	-0,12	0,04	0,07	0,25	0,33	0,10	0,18	0,17
šířka l. d.	-0,06	-0,04	0,01	-0,10	-0,20	-0,02	-0,09	-0,14	-0,08	0,18	0,00	0,09	0,17	0,09	0,22	0,00

Tabulka 6: Korelace průměrných chronologií buněčných parametrů s průměrnými teplotami (zeleně jsou vyznačeny korelace signifikantní na hladině $\alpha=0,05$)

	p. čvn.	p. čvc.	p. srp.	p. zář.	p. říj.	p. lis.	p. pro.	led.	úno.	bře.	dub.	kvě.	čvn.	čvc.	srp.	zář.
lumen	-0,08	0,10	-0,02	0,12	-0,01	0,00	0,06	-0,12	-0,11	0,00	0,02	0,00	-0,03	0,15	0,01	-0,05
lumen j. d.	-0,05	-0,06	0,01	0,04	-0,01	0,09	0,04	-0,07	-0,05	0,08	-0,02	0,00	-0,09	0,03	0,13	-0,09
lumen l. d.	0,04	0,03	0,06	-0,07	-0,15	0,02	-0,04	-0,06	0,00	0,14	-0,08	-0,09	0,02	-0,16	0,04	-0,08
stěny	-0,05	0,08	0,05	-0,04	-0,20	-0,04	-0,05	-0,12	-0,09	0,05	0,00	0,06	0,11	0,22	0,09	-0,08
stěny j. d.	-0,02	0,05	0,09	-0,09	-0,14	-0,05	0,06	-0,18	-0,22	-0,04	0,09	-0,09	0,11	0,20	0,11	-0,01
stěny l. d.	-0,03	0,03	0,05	0,10	0,06	-0,02	-0,07	-0,11	-0,14	-0,01	-0,04	-0,03	0,12	0,07	0,12	-0,03
poč. buněk	0,02	-0,01	0,05	-0,05	-0,11	0,12	-0,08	-0,07	-0,08	0,01	0,07	0,09	0,24	0,11	0,25	-0,01
poč. b. j. d.	0,07	-0,16	-0,09	0,00	-0,04	0,12	0,09	0,02	-0,20	-0,06	0,14	0,11	0,23	0,02	0,25	0,05
poč. b. l. d.	-0,01	-0,09	0,03	0,07	-0,04	-0,03	0,04	-0,08	-0,07	0,14	0,04	-0,09	0,08	-0,06	0,19	-0,09
šířka	0,09	0,05	-0,04	-0,02	-0,04	-0,04	-0,14	-0,16	-0,12	-0,02	0,09	-0,01	0,18	0,07	0,14	0,09
šířka j. d.	0,11	-0,06	-0,07	-0,08	-0,08	0,06	-0,15	-0,08	-0,17	-0,01	0,03	0,14	0,25	-0,01	0,08	0,07
šířka l. d.	-0,01	-0,05	0,05	-0,03	-0,14	0,05	-0,05	-0,11	-0,11	0,14	-0,02	0,05	0,11	0,02	0,15	-0,05

Tabulka 7: Odezva průměrných chronologií buněčných parametrů na průměrné měsíční teploty (zeleně jsou vyznačeny korelace signifikantní na hladině $\alpha=0,05$)

Nejvyšších závislostí dosáhly počty buněk v řadě v letokruhu, korelační koeficient dosahuje hodnoty 0,46 pro teploty v červenci a v srpnu. Korelační koeficient je signifikantní od května až po srpen a dosahuje hodnoty 0,46 v červenci a srpnu. Dále se projevila závislost tloušťky buněčných stěn na průměrných teplotách od června a července, negativně pak koreluje s teplotou října předchozího roku. Signifikantní byla dle očekávání také korelace šířky letokruhu, konkrétně v červnu a srpnu, větší korelaci však vykazovala šířka jarní části

letokruhu, konkrétně pro měsíce květen a červen. Signifikantní odezvu mají pouze čtyři parametry a to počet buněk v letokruhu na průměrnou teplotu měsíce června a paradoxně srpna, počet buněk jarního dřeva na teplotu srpna a šířka jarního dřeva na teplotu června.

	p. čvn.	p. čvc.	p. srp.	p. zář.	p. říj.	p. lis.	p. pro.	led.	úno.	bře.	dub.	kvě.	čvn.	čvc.	srp.	zář.
lumen	-0,03	0,14	-0,07	0,11	-0,03	0,07	0,09	-0,18	-0,13	0,03	0,01	-0,01	0,05	0,23	0,08	-0,03
lumen j. d.	-0,05	-0,02	-0,04	0,05	-0,03	0,13	0,01	-0,06	-0,11	0,10	0,02	-0,02	-0,12	0,06	0,15	-0,11
lumen l. d.	0,01	-0,01	0,00	-0,13	-0,22	-0,02	-0,08	-0,11	-0,05	0,08	-0,14	-0,16	-0,07	-0,18	-0,02	-0,19
stěny	0,00	0,17	0,00	-0,13	-0,29	-0,09	-0,10	-0,10	0,01	0,12	0,01	0,14	0,24	0,39	0,23	0,01
stěny j. d.	0,01	0,10	0,05	-0,18	-0,26	-0,10	-0,02	-0,19	-0,19	-0,01	0,03	-0,05	0,19	0,31	0,22	0,04
stěny l. d.	-0,04	0,07	0,02	0,05	0,04	-0,07	-0,10	-0,09	-0,12	-0,03	0,00	-0,01	0,18	0,12	0,10	-0,04
poč. buněk	0,01	0,13	0,05	-0,08	-0,10	0,15	-0,07	0,07	0,07	0,11	0,20	0,27	0,40	0,32	0,43	0,15
poč. b. j. d.	0,08	0,00	-0,05	-0,01	-0,01	0,23	0,08	0,12	-0,15	0,02	0,24	0,24	0,32	0,23	0,45	0,22
poč. b. l. d.	0,00	-0,03	0,06	0,04	-0,11	-0,03	0,03	-0,08	-0,09	0,13	0,03	-0,09	0,11	-0,01	0,25	-0,06
šířka	0,07	0,06	-0,04	-0,09	-0,09	-0,05	-0,17	-0,11	-0,03	0,01	0,15	0,12	0,29	0,18	0,23	0,15
šířka j. d.	0,06	-0,05	-0,08	-0,18	-0,12	0,02	-0,25	-0,04	-0,12	0,00	0,06	0,29	0,31	0,10	0,16	0,10
šířka l. d.	-0,03	-0,01	0,05	-0,15	-0,24	-0,02	-0,13	-0,07	-0,07	0,13	0,00	0,11	0,16	0,13	0,25	-0,03

Tabulka 8: Korelace prům. chronologií b. parametrů s průměrnými maximálními teplotami (zeleně jsou vyznačeny korelace signifikantní na hladině $\alpha=0,05$)

	p. čvn.	p. čvc.	p. srp.	p. zář.	p. říj.	p. lis.	p. pro.	led.	úno.	bře.	dub.	kvě.	čvn.	čvc.	srp.	zář.
lumen	-0,04	0,13	-0,05	0,13	-0,01	0,06	0,07	-0,15	-0,15	0,01	0,02	-0,02	-0,01	0,18	0,04	-0,05
lumen j. d.	-0,05	-0,02	-0,02	0,08	-0,03	0,13	0,02	-0,06	-0,08	0,09	0,01	-0,02	-0,11	0,07	0,12	-0,11
lumen l. d.	0,05	0,03	0,03	-0,06	-0,16	0,04	-0,03	-0,03	0,02	0,12	-0,07	-0,08	0,01	-0,13	0,03	-0,09
stěny	0,02	0,11	0,07	-0,08	-0,21	-0,04	-0,07	-0,08	-0,05	0,01	-0,04	0,10	0,11	0,27	0,11	-0,09
stěny j. d.	0,05	0,10	0,11	-0,10	-0,16	-0,06	0,02	-0,16	-0,20	-0,06	0,04	-0,04	0,11	0,23	0,14	0,00
stěny l. d.	0,00	0,04	0,03	0,07	0,04	-0,06	-0,07	-0,08	-0,13	-0,04	0,00	-0,03	0,14	0,09	0,07	-0,06
poč. buněk	0,03	-0,01	0,05	-0,10	-0,12	0,10	-0,07	0,01	-0,05	-0,04	0,04	0,13	0,23	0,13	0,24	-0,03
poč. b. j. d.	0,10	-0,10	-0,06	-0,04	-0,06	0,15	0,07	0,06	-0,24	-0,09	0,08	0,11	0,21	0,05	0,28	0,06
poč. b. l. d.	0,00	-0,03	0,06	0,04	-0,11	-0,03	0,03	-0,08	-0,09	0,13	0,03	-0,09	0,11	-0,01	0,25	-0,06
šířka	0,11	0,00	-0,01	-0,07	-0,06	-0,07	-0,12	-0,11	-0,08	-0,06	0,09	0,04	0,20	0,06	0,13	0,06
šířka j. d.	0,13	-0,07	-0,02	-0,15	-0,10	0,02	-0,16	0,00	-0,14	-0,03	0,01	0,23	0,25	0,00	0,06	0,04
šířka l. d.	0,02	-0,05	0,10	-0,08	-0,18	0,01	-0,08	-0,04	-0,07	0,08	-0,03	0,09	0,11	0,06	0,16	-0,07

Tabulka 9: Odezva. prům. chronologií b. parametrů na průměrné maximální teploty (zeleně jsou vyznačeny korelace signifikantní na hladině $\alpha=0,05$)

Oproti průměrným teplotám s měsíčními průměry maximálních denních teplot navíc negativně koreluje šířka jarního dřeva s teplotami za předchozí prosinec, dále pak šířka letního dřeva s teplotami v srpnu, některé z těchto korelací se projeví i v odezvách, kterých je signifikantních daleko víc než v případě průměrných teplot.

	p. čvn.	p. čvc.	p. srp.	p. zář.	p. říj.	p. lis.	p. pro.	led.	úno.	bře.	dub.	kvě.	čvn.	čvc.	srp.	zář.
lumen	-0,16	0,09	-0,05	0,08	0,00	-0,03	0,09	-0,09	-0,07	0,01	-0,01	-0,01	-0,02	0,10	-0,09	-0,07
lumen j. d.	-0,11	-0,07	0,02	-0,04	0,00	0,04	0,01	-0,11	-0,09	0,05	-0,05	0,00	-0,08	-0,06	0,10	-0,07
lumen l. d.	-0,02	-0,02	0,02	-0,16	-0,21	-0,10	-0,10	-0,18	-0,07	0,12	-0,16	-0,19	-0,04	-0,28	0,02	-0,14
stěny	-0,13	0,02	-0,03	-0,08	-0,28	-0,10	-0,06	-0,16	-0,02	0,20	0,07	-0,02	0,25	0,25	0,11	-0,02
stěny j. d.	-0,10	-0,08	-0,03	-0,11	-0,24	-0,08	0,08	-0,25	-0,17	0,08	0,10	-0,17	0,19	0,19	0,08	0,00
stěny l. d.	-0,10	0,03	0,03	0,11	0,09	-0,03	-0,07	-0,15	-0,10	0,03	-0,04	0,04	0,15	0,03	0,15	0,04
poč. buněk	0,03	0,13	0,06	-0,01	-0,08	0,12	-0,05	-0,04	0,06	0,20	0,24	0,23	0,48	0,29	0,42	0,20
poč. b. j. d.	0,05	-0,08	-0,10	0,07	0,04	0,14	0,17	0,08	-0,04	0,05	0,29	0,30	0,42	0,19	0,35	0,23
poč. b. l. d.	-0,07	-0,05	-0,04	0,01	-0,04	-0,10	0,05	-0,11	0,00	0,18	0,05	-0,03	0,14	-0,03	0,13	-0,07
šířka	0,03	0,11	-0,08	-0,02	-0,06	-0,03	-0,15	-0,20	-0,03	0,10	0,15	0,04	0,30	0,21	0,27	0,23
šířka j. d.	0,01	-0,11	-0,17	-0,03	-0,09	0,07	-0,16	-0,17	-0,13	0,07	0,09	0,15	0,34	0,07	0,18	0,23
šířka l. d.	-0,06	-0,10	-0,06	-0,02	-0,18	0,00	-0,06	-0,22	-0,09	0,22	0,00	0,03	0,20	0,02	0,14	0,03

Tabulka 10: Korelace prům. chronologií b. parametrů průměrnými minimálními teplotami (zeleně jsou vyznačeny korelace signifikantní na hladině $\alpha=0,05$)

	p. čvn.	p. čvc.	p. srp.	p. zář.	p. říj.	p. lis.	p. pro.	led.	úno.	bře.	dub.	kvě.	čvn.	čvc.	srp.	zář.
lumen	-0,15	0,08	0,01	0,09	0,00	-0,05	0,09	-0,08	-0,05	0,01	0,04	0,01	-0,04	0,10	-0,07	-0,04
lumen j. d.	-0,08	-0,05	0,06	0,00	0,00	0,06	0,05	-0,09	-0,05	0,07	-0,04	0,01	-0,05	0,00	0,11	-0,06
lumen l. d.	0,04	0,03	0,07	-0,08	-0,13	0,00	-0,06	-0,09	-0,03	0,17	-0,10	-0,10	0,04	-0,18	0,05	-0,04
stěny	-0,10	0,02	0,03	-0,02	-0,19	-0,01	-0,03	-0,14	-0,10	0,10	0,07	-0,01	0,14	0,13	0,04	-0,06
stěny j. d.	-0,07	-0,03	0,04	-0,05	-0,14	-0,02	0,10	-0,18	-0,21	0,03	0,16	-0,13	0,14	0,12	0,07	-0,01
stěny l. d.	-0,08	0,03	0,05	0,14	0,07	-0,01	-0,06	-0,13	-0,13	0,04	-0,05	-0,02	0,10	0,02	0,13	0,02
poč. buněk	0,02	0,00	0,02	0,02	-0,10	0,14	-0,09	-0,14	-0,11	0,07	0,09	0,04	0,26	0,06	0,25	0,06
poč. b. j. d.	0,06	-0,17	-0,16	0,07	-0,02	0,10	0,13	-0,02	-0,16	-0,03	0,18	0,11	0,23	0,01	0,23	0,05
poč. b. l. d.	-0,03	-0,07	-0,02	0,07	0,00	-0,05	0,07	-0,10	-0,03	0,18	0,06	-0,06	0,09	-0,06	0,10	-0,07
šířka	0,07	0,09	-0,06	0,04	-0,03	-0,02	-0,15	-0,22	-0,14	0,04	0,11	-0,05	0,16	0,05	0,17	0,16
šířka j. d.	0,09	-0,06	-0,13	0,02	-0,08	0,09	-0,14	-0,14	-0,18	0,04	0,07	0,06	0,24	-0,03	0,13	0,13
šířka l. d.	-0,01	-0,05	-0,03	0,03	-0,12	0,06	-0,03	-0,17	-0,12	0,21	0,01	0,01	0,15	-0,05	0,11	-0,01

Tabulka 11: Odezva prům. chronologií b. parametrů na průměrné minimální teploty (zeleně jsou vyznačeny korelace signifikantní na hladině $\alpha=0,05$)

U minimálních teplot se navíc objevuje negativní korelace června s velikostí lumen letního dřeva (-0,28), která však nemá signifikantní odezvu a negativní korelace ledna se stěnami jarního dřeva (-0,25), která rovněž nemá signifikantní odezvu.

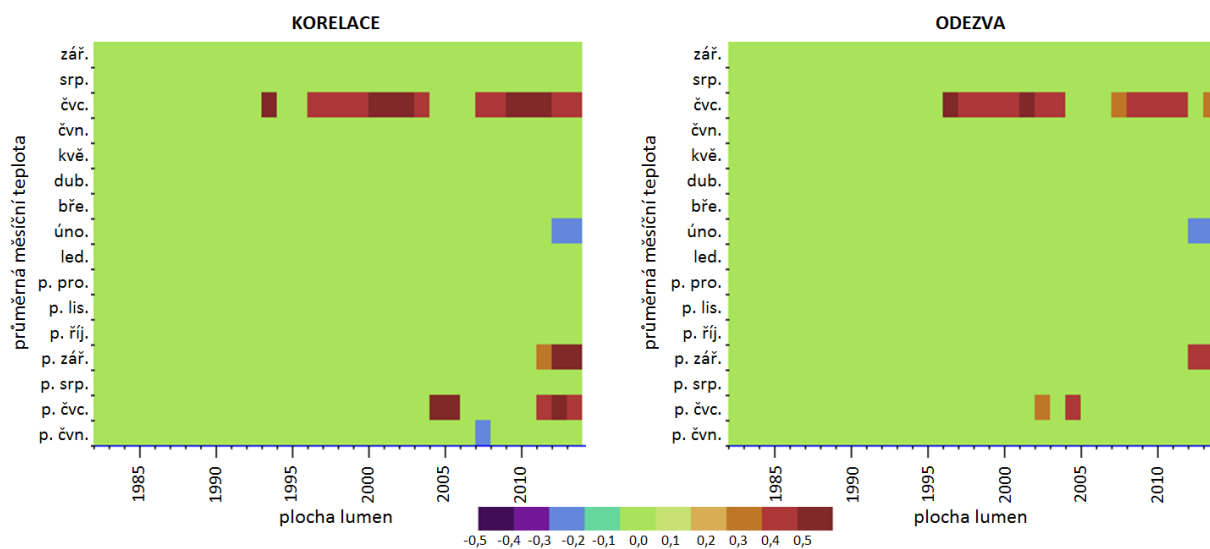
	p. čvn.	p. čvc.	p. srp.	p. zář.	p. říj.	p. lis.	p. pro.	led.	úno.	bře.	dub.	kvě.	čvn.	čvc.	srp.	zář.
lumen	-0,16	0,05	0,11	0,15	0,05	0,02	-0,06	-0,26	-0,06	-0,13	-0,07	0,08	-0,11	0,12	-0,11	0,26
lumen j. d.	-0,11	0,09	-0,04	-0,12	0,12	-0,02	-0,11	0,07	0,18	0,08	0,13	0,17	-0,13	0,07	-0,03	0,16
lumen l. d.	-0,07	-0,14	-0,03	-0,18	-0,06	0,04	-0,14	0,04	0,04	0,11	0,16	-0,09	0,06	-0,23	-0,03	0,07
stěny	-0,13	-0,10	0,15	0,28	-0,01	-0,02	-0,08	0,06	-0,12	-0,16	-0,14	-0,20	-0,04	-0,20	-0,11	0,18
stěny j. d.	-0,21	-0,15	0,12	0,24	0,00	-0,09	-0,19	-0,04	-0,07	-0,02	0,02	-0,21	-0,09	-0,21	-0,05	0,16
stěny l. d.	-0,18	-0,06	0,05	-0,18	0,06	0,00	-0,10	0,14	0,10	0,17	0,30	0,14	-0,17	-0,01	-0,06	0,12
poč. buněk	-0,25	0,01	0,05	0,16	-0,08	-0,01	-0,12	0,18	-0,08	0,01	-0,08	-0,13	-0,20	-0,02	-0,01	0,06
poč. b. j. d.	-0,18	0,18	-0,05	0,14	0,08	0,02	-0,23	0,04	-0,07	0,11	0,11	-0,01	-0,28	0,12	-0,05	-0,03
poč. b. l. d.	-0,24	-0,05	-0,06	-0,01	0,15	0,14	-0,16	0,05	-0,02	-0,01	0,22	0,02	-0,07	-0,02	-0,09	0,16
šířka	-0,20	0,00	0,12	-0,01	-0,12	0,09	-0,12	0,13	-0,01	0,11	0,00	0,00	-0,13	-0,06	-0,08	0,07
šířka j. d.	0,04	0,06	0,00	0,08	-0,04	-0,01	-0,13	0,25	-0,03	0,15	0,14	-0,13	-0,14	-0,09	-0,03	-0,11
šířka l. d.	-0,06	-0,03	-0,06	0,16	0,13	-0,05	-0,18	0,26	-0,02	0,08	0,12	-0,17	0,01	-0,26	-0,10	0,04

Tabulka 12: Korelace prům. chronologií b. parametrů s měsíčními úhrny srážek (zeleně jsou vyznačeny korelace signifikantní na hladině $\alpha=0,05$)

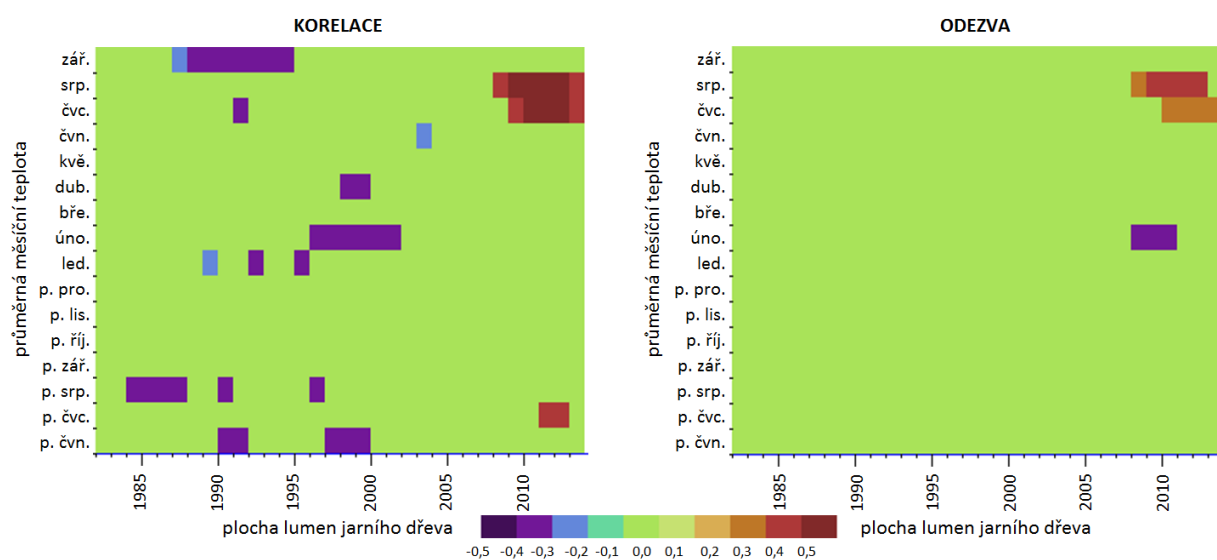
	p. čvn.	p. čvc.	p. srp.	p. zář.	p. říj.	p. lis.	p. pro.	led.	úno.	bře.	dub.	kvě.	čvn.	čvc.	srp.	zář.
lumen	-0,08	0,05	0,06	0,15	0,12	-0,01	-0,08	-0,21	0,01	-0,06	-0,04	0,07	-0,08	0,14	-0,13	0,22
lumen j. d.	-0,11	0,05	-0,03	-0,10	0,12	-0,02	-0,11	0,03	0,17	0,05	0,15	0,12	-0,12	0,06	-0,03	0,19
lumen l. d.	-0,05	-0,13	0,01	-0,18	-0,05	0,05	-0,10	0,04	0,07	0,09	0,15	-0,05	0,04	-0,22	0,01	0,07
stěny	-0,03	-0,11	0,15	0,26	0,07	0,00	-0,05	0,09	-0,06	-0,10	-0,08	-0,16	-0,04	-0,15	-0,13	0,11
stěny j. d.	-0,12	-0,13	0,13	0,20	0,10	-0,06	-0,14	-0,01	0,00	0,02	0,07	-0,17	-0,09	-0,17	-0,07	0,12
stěny l. d.	-0,18	-0,11	0,06	-0,17	0,07	-0,03	-0,10	0,12	0,12	0,14	0,29	0,10	-0,18	-0,03	-0,07	0,16
poč. buněk	-0,17	0,00	0,03	0,12	-0,01	0,02	-0,07	0,16	-0,05	0,02	-0,03	-0,14	-0,17	0,02	-0,05	0,01
poč. b. j. d.	-0,14	0,16	-0,06	0,12	0,10	0,01	-0,18	0,03	-0,06	0,07	0,10	-0,03	-0,27	0,11	-0,08	-0,01
poč. b. l. d.	-0,20	-0,06	-0,03	0,00	0,15	0,09	-0,14	0,06	0,04	-0,01	0,19	0,03	-0,10	-0,04	-0,09	0,16
šířka	-0,15	-0,02	0,09	-0,03	-0,08	0,10	-0,09	0,12	0,02	0,11	0,03	-0,04	-0,11	-0,02	-0,08	0,05
šířka j. d.	0,05	0,04	0,01	0,07	-0,03	0,01	-0,09	0,21	-0,04	0,09	0,11	-0,13	-0,16	-0,07	-0,04	-0,08
šířka l. d.	-0,03	-0,07	-0,01	0,15	0,16	-0,05	-0,12	0,21	-0,02	0,04	0,13	-0,12	-0,05	-0,23	-0,09	0,06

Tabulka 13: Odezva prům. chronologií b. parametrů na řady min. měsíčních teplot (zeleně jsou vyznačeny korelace signifikantní na hladině $\alpha=0,05$)

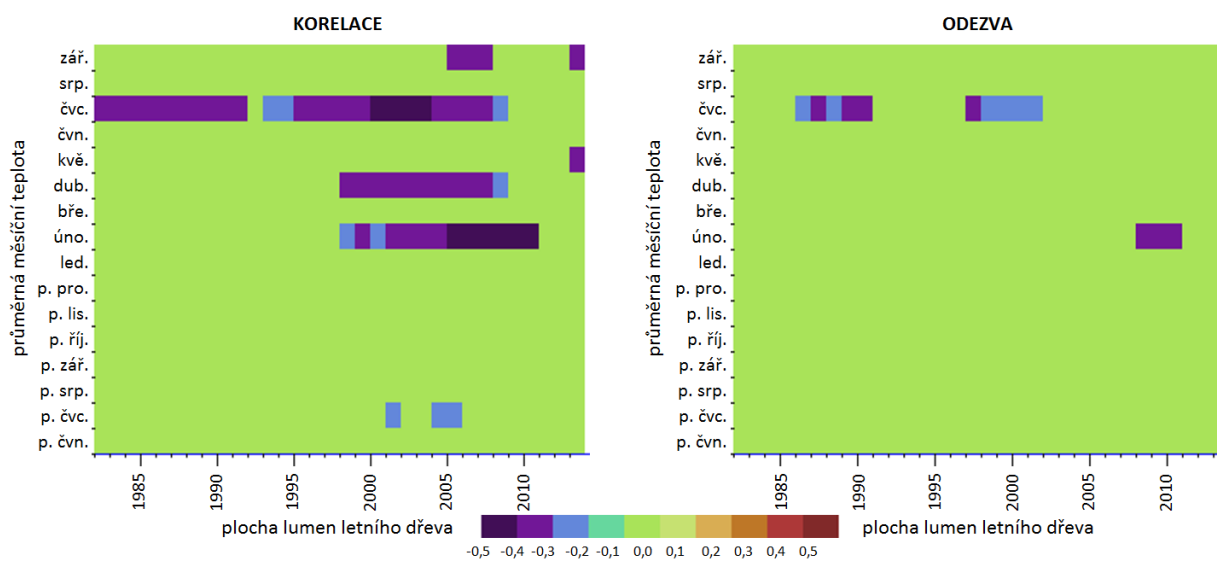
Nejvyšší korelace dosahují stěny letního dřeva se srážkami v dubnu (0,30), které se projevily také v odezvě (0,29). Dále významně korelují šířky buněčných stěn se srážkami předchozího září (0,28), což se rovněž projevilo i v odezvě (0,26) a negativně počet buněk jarního dřeva s červnovými srážkami (-0,28), odezva je (-0,27).



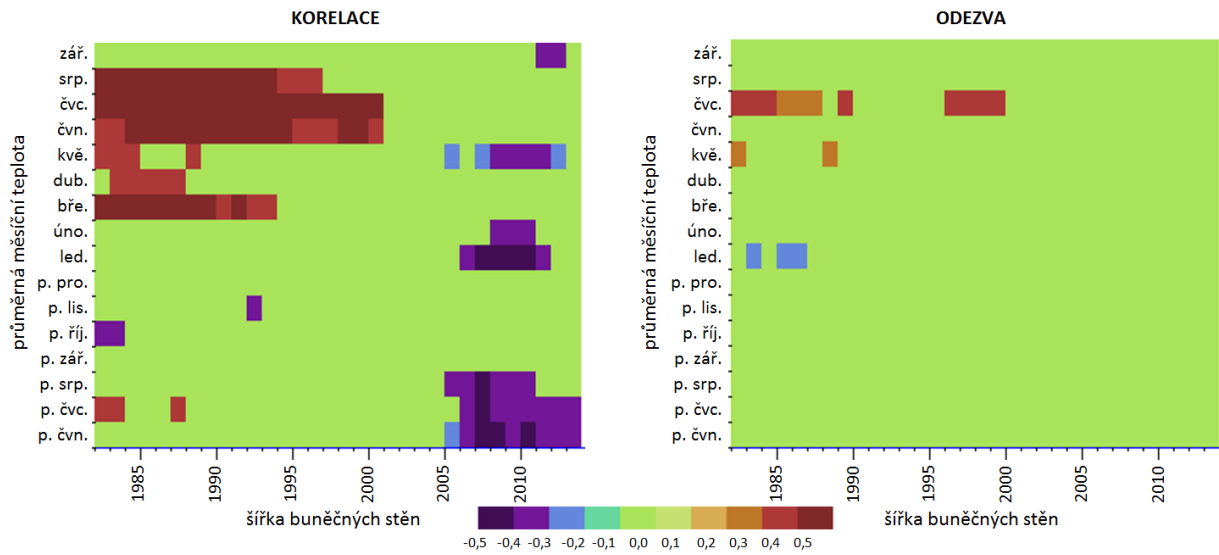
Obr. 30: Klouzavá korelace a odezva chronologie plochy lumen na průměrné měsíční teploty



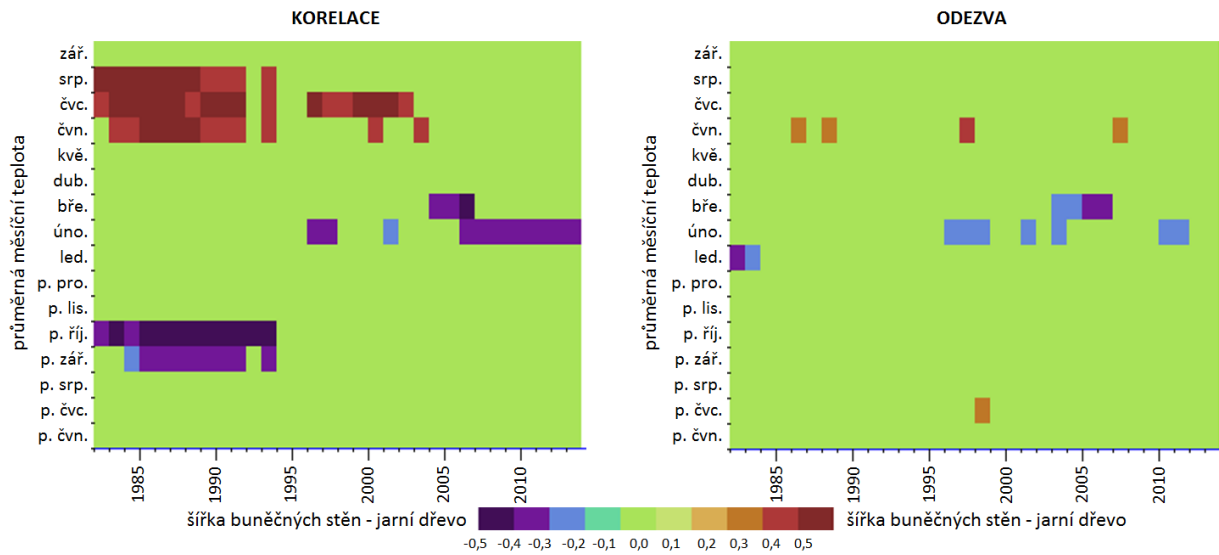
Obr. 31: Klouz. kor. a odezva chronologie plochy lumen v jar. dřevě na prům. měs. teploty



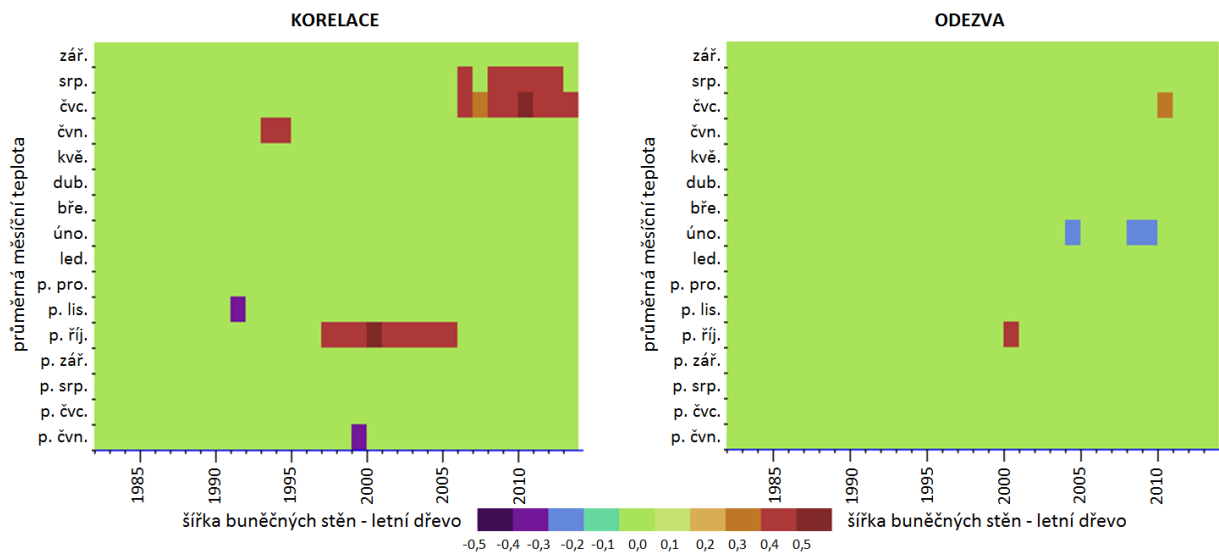
Obr. 32: Klouz. korelace a odezva chronologie plochy lumen v let. dřevě na prům. měs. teploty



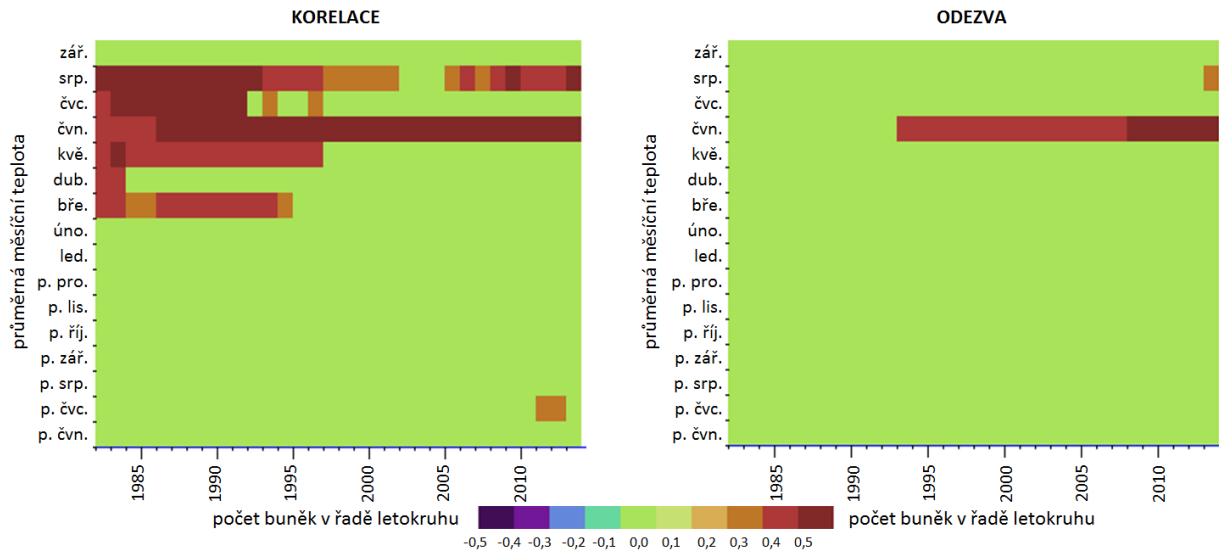
Obr. 33: Klouz. kor. a odezva chronologie šířky buněčných stěn na průměrné měsíční teploty



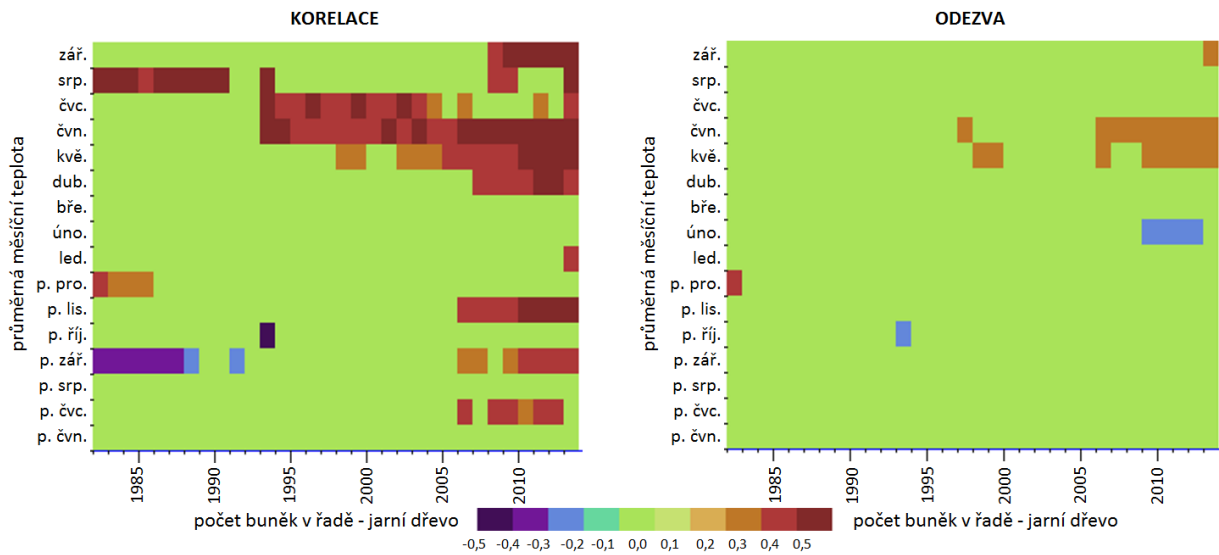
Obr. 34: Klouz. kor. a odezva chronologie šířky bun. stěn v jar. dřevě na prům. měs. teploty



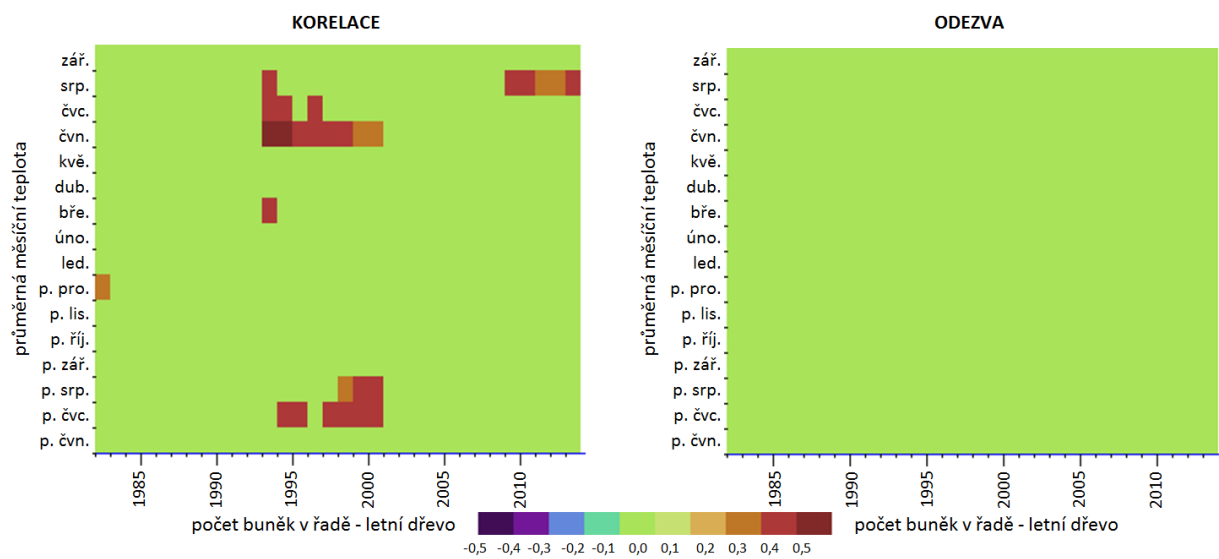
Obr. 35: Klouz. kor. a odezva chronologie šířky bun. stěn v letním dřevě na prům. měs. teploty



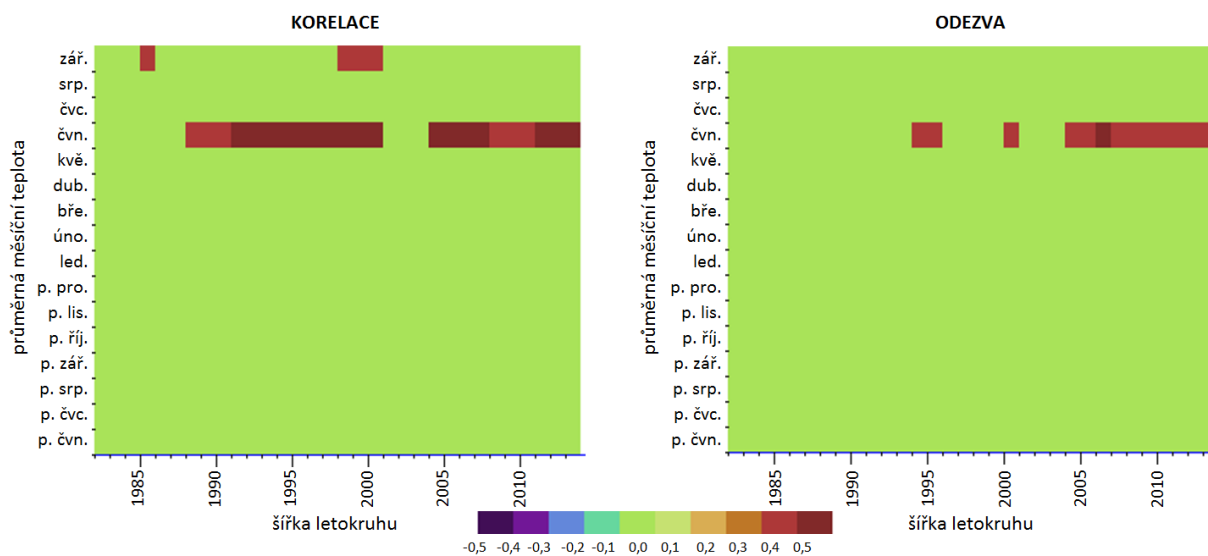
Obr. 36: Klouz. korelace a odezva chronologie počtu buněk v řadě na prům. měsíční teploty



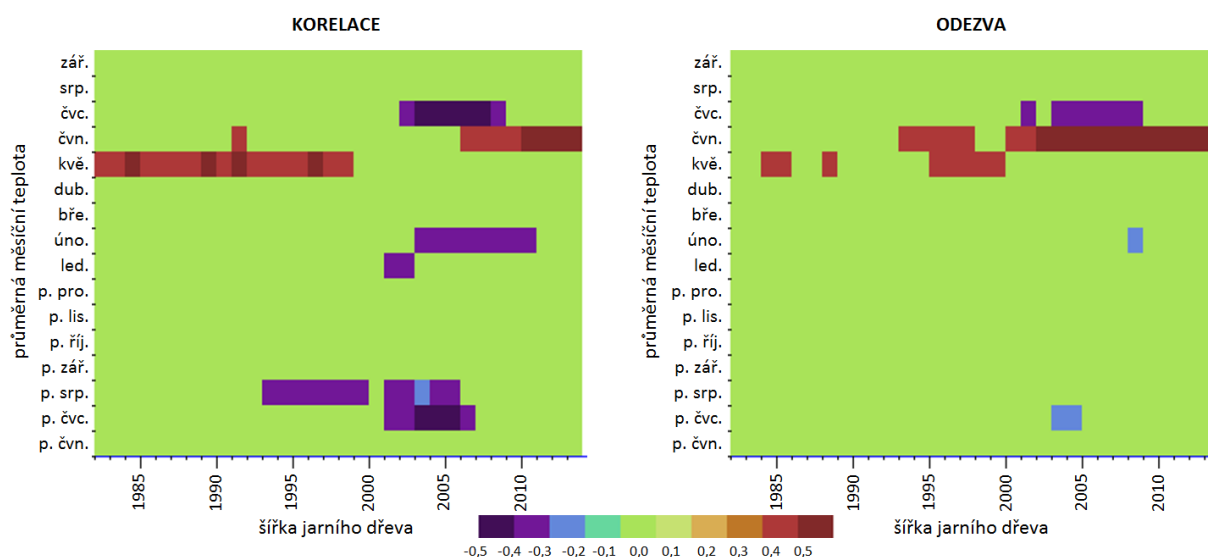
Obr. 37: Klouz. kor. a odezva chronologie počtu b. v řadě v jar. dřevě na prům. měs. teploty



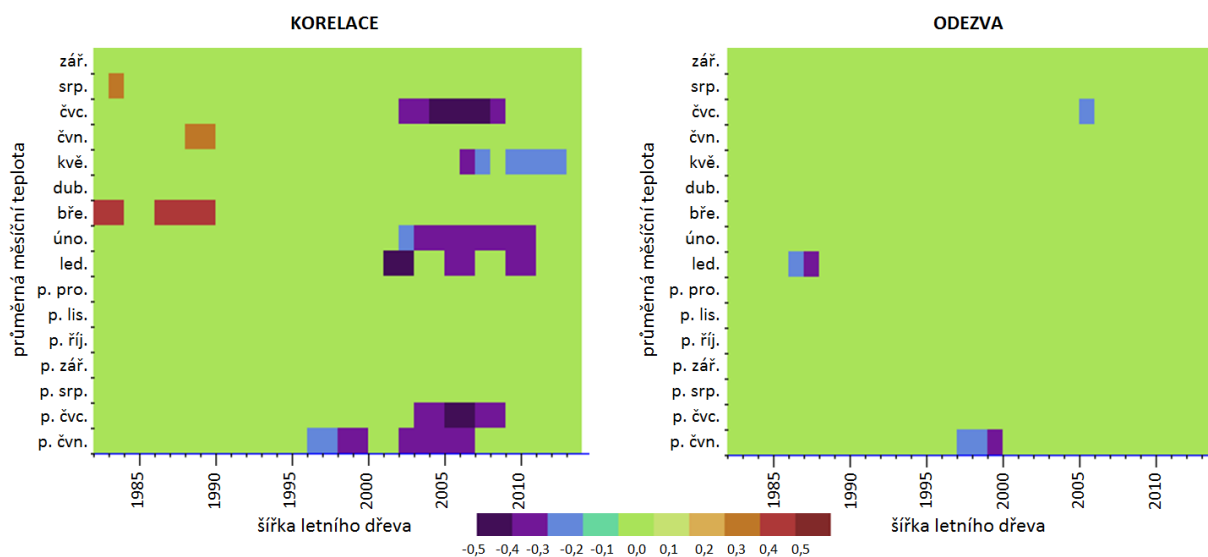
Obr. 38: Klouz. kor. a odezva chronologie počtu b. v řadě v let. dřevě na prům. měs. teploty



Obr. 39: Klouzavá korelace a odezva chronologie šířky letokruhu na prům. měsíční teploty



Obr. 40: Klouzavá korelace a odezva chronologie šířky jarního dřeva na prům. měs. teploty



Obr. 41: Klouzavá korelace a odezva chronologie šířky letního dřeva na prům. měs. teploty

Co se týče klouzavých korelací, vykazují poměrně silnou závislost počet buněk v řadě v letokruhu v červnu a v srpnu. Červnová závislost je konstantní a vyskytuje se ve všech dvaatřicetiletých korelačních oknech. A existuje zde i silná odezva. V případě jarního dřeva se závislost počtu buněk v řadě přesouvá postupně ze srpna až k dubnu a v posledních korelačních cyklech se objevuje ve více měsících, avšak odezva se souvisle ve více cyklech nevyskytuje. Další souvislou korelací se silnou závislostí vyskytující se téměř ve všech cyklech je korelace šířky letokruhů s teplotou v měsíci červnu. Vysoká je také korelace s šířkou jarního dřeva, ta však v první polovině období koreluje s teplotou měsíce května, ve druhé pak s teplotou v červnu, analogicky je tomu tak i u odezvy, která je dokonce souvislejší než u šířky celého letokruhu. Signifikantní korelace vychází ještě pro plochu lumen, která koreluje s teplotou července, což se obdobně projevuje i v odezvě. Plocha lumen letního dřeva celkem silně a souvisle negativně koreluje s teplotami v červenci. Šířka buněčných stěn silně koreluje zhruba v první polovině zkoumaného období s teplotami června, července a srpna, podobná je i odezva. Obdobná situace je i u korelace šířek jarního dřeva, ale korelace jsou o něco slabší.

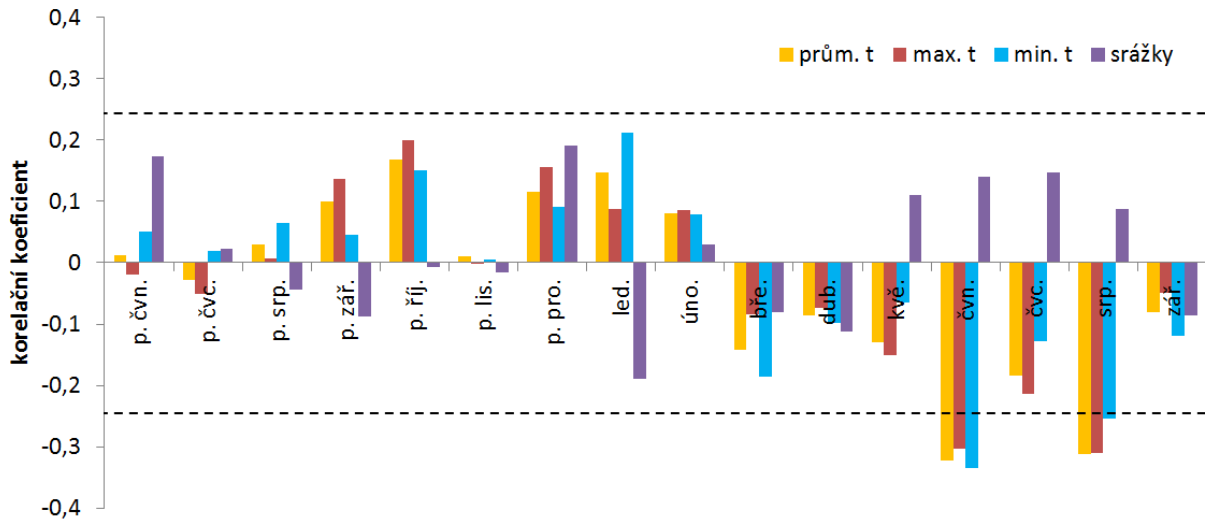
5.5 Analýza hlavních komponent

Pomocí analýzy hlavních komponent (Principal Component Analysis) byly lineární kombinací stávajících proměnných anatomických charakteristik vypočteny čtyři nové proměnné vysvětlující největší část rozptylu.

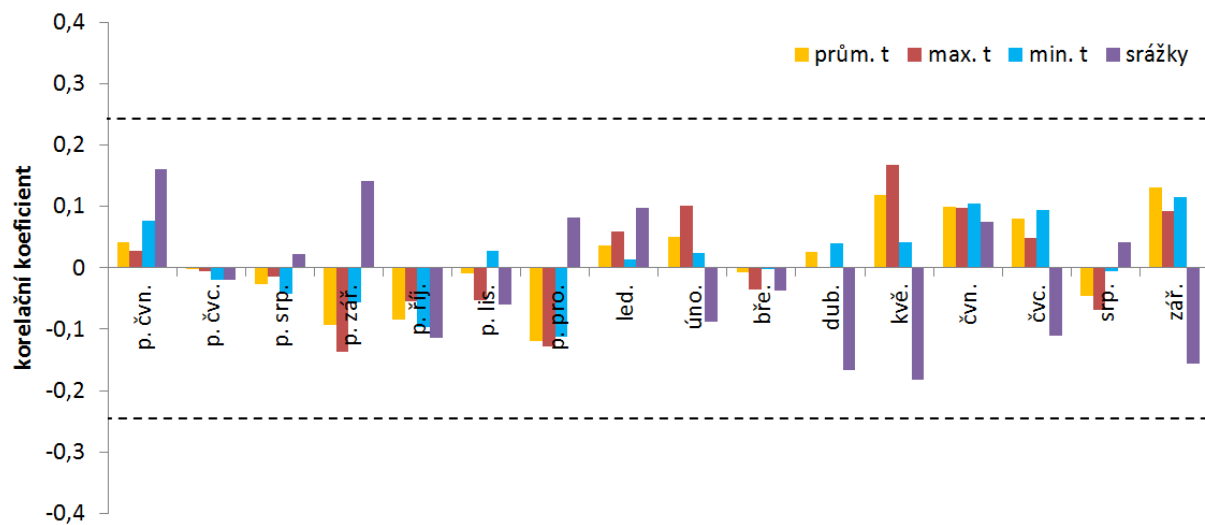
		PCA1	PCA2	PCA3	PCA4
EIGENVALUE		0,4431	0,2008	0,1183	0,0652
KORELAČNÍ KOEFICIENT	lumen	-0,1079	-0,6832	0,5835	-0,1559
	lumen j. d.	-0,2966	-0,7985	-0,2120	-0,0593
	lumen l. d.	-0,5907	-0,2089	-0,5471	-0,4730
	stěny	-0,6383	0,3956	0,5405	-0,3287
	stěny j. d.	-0,5507	0,0220	0,5379	-0,0954
	stěny l. d.	-0,5762	-0,5182	-0,2520	0,1707
	poč. buněk	-0,8547	0,1639	0,0826	0,1449
	poč. b. j. d.	-0,4170	-0,4332	0,3407	0,5408
	poč. b. l. d.	-0,5493	-0,7167	0,1719	-0,0228
	šířka	-0,8697	0,0550	-0,0591	0,1023
	šířka j. d.	-0,7978	0,4455	-0,2203	0,2304
	šířka l. d.	-0,8678	0,1703	-0,0096	-0,1068

Tabulka 14: Zátěže anatomických proměnných na osách PCA

Tabulka 14 zobrazuje korelaci proměnných z PCA analýzy s původními proměnnými, jejichž lineární kombinací vznikly. Hodnota eigenvalue znamená, jak velkou část variability daná proměnná zachycuje. Následující grafy zobrazují korelaci jednotlivých proměnných z analýzy hlavních komponent s měsíčními klimatickými proměnnými.



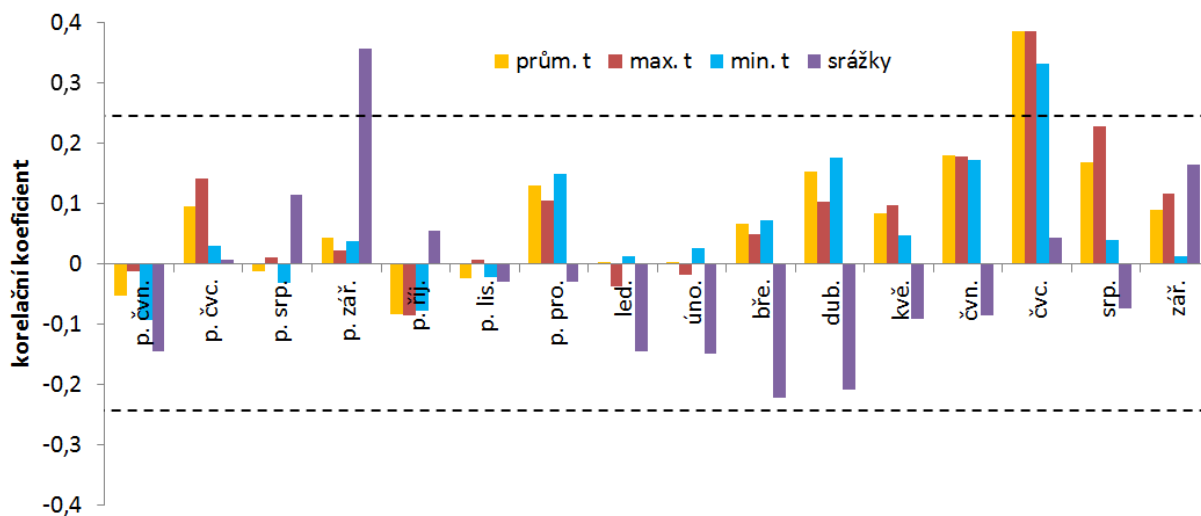
Obr. 42: Korelace proměnné PCA1 s měsíčními klimatickými charakteristikami (čárkovanou čarou vyznačena hladina $\alpha = 0,05$)



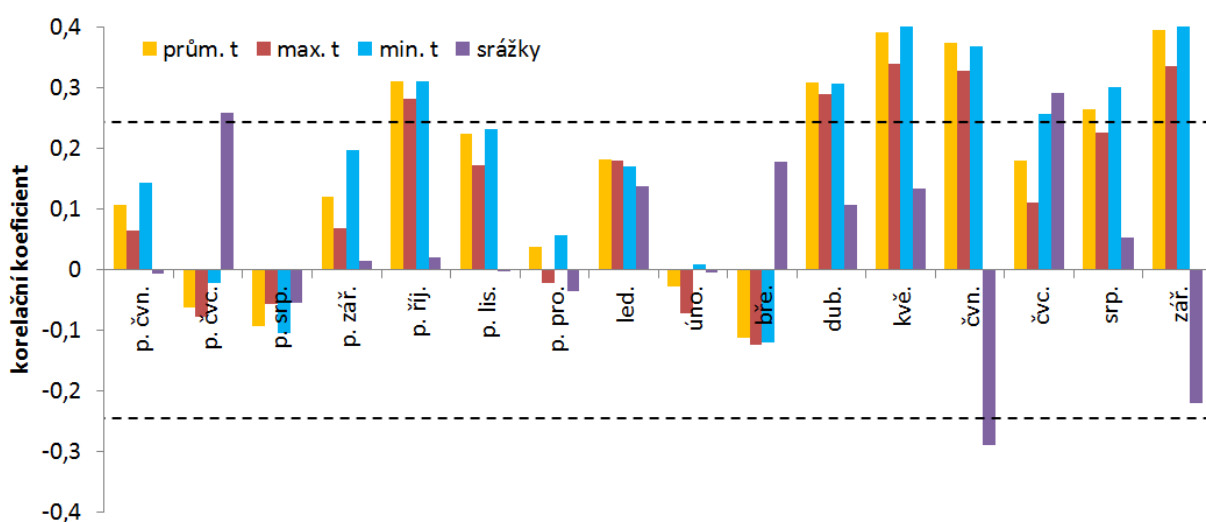
Obr. 43: Korelace proměnné PCA2 s měsíčními klimatickými charakteristikami (čárkovanou čarou vyznačena hladina $\alpha = 0,05$)

Proměnná PCA1, která zachycuje největší část rozptylu a na které se nejvíc podílí charakteristiky šířky letokruhu, počtu buněk v letokruhu a dále pak šířka buněčných stěn, signifikantně negativně koreluje s letními teplotami, konkrétně s teplotami června a srpna a to jak pro průměrné, tak pro maximální i minimální teploty. Zato proměnná PCA2, na které

se podílí nejvíc plocha lumen, nemá s klimatickými měsíčními parametry žádnou signifikantní korelaci.



Obr. 44: Korelace proměnné PCA3 s měsíčními klimatickými charakteristikami (čárkovanou čarou vyznačena hladina $\alpha = 0,05$)



Obr. 45: Korelace proměnné PCA4 s měsíčními klimatickými charakteristikami (čárkovanou čarou vyznačena hladina $\alpha = 0,05$)

Proměnná PCA3, na které se nejvíc podílí buněčné charakteristiky (plocha lumen a šířka buněčných stěn), signifikantně koreluje červencovými teplotami. Také signifikantně koreluje se srážkami z předchozího září. Poslední proměnná PCA4, na které se nejvíc podílí počet buněk jarního dřeva, koreluje signifikantně s teplotami v letním období, s teplotami předchozího října a se srážkami předchozího července. Negativně pak koreluje se srážkami z června daného roku.

6 Diskuze

6.1 Vliv klimatu na šířky letokruhů hlavní chronologie jalovce

Výzkum závislostí růstových a anatomických parametrů arktických keřů na klimatických charakteristikách má velký význam hlavně pro paleoklimatologii, neboť oblasti, kde se tyto keřky vyskytují, jsou nejvíce postiženy změnou klimatu a zároveň trpí nedostatkem dostatečně dlouhých a nepřerušovaných klimatických datových řad. Snahou je tedy co nejlépe popsat a kvantifikovat tyto vztahy a závislosti, aby naměřená klimatická data mohla být úspěšně extrapolována do minulosti a to i v oblastech za hranicí lesa (Hallinger, 2010).

Teplota je jedním z nejvýznamnějších faktorů působících na keřky během vegetačního období, což je zmiňováno v mnoha dalších studiích (Grace a Norton, 1990; Blok a kol., 2011; Samusevich, 2014), neboť hraje důležitou roli při většině fyziologických procesů probíhajících v dřevinách, jakými jsou například fotosyntéza, transpirace, dělení buněk či jejich diferenciace (Kozłowski a Pallardy, 1997). Pro zjednodušení bych chtěl nejprve uvést, že všechny dále uváděné korelace byly testovány na hladině statistické významnosti $\alpha = 0,05$.

Spolehlivá část výsledné chronologie obecně pozitivně koreluje s teplotami v letním období a negativně se zimními teplotami, z čehož statisticky významné jsou však pouze korelace pro teploty letního období. Co se týče odezvy, tak ta je v letním období signifikantní pouze na minimální teploty v srpnu, avšak navíc je signifikantní na minimální teploty v lednu. Dle očekávání je pro růst dřeva jalovce důležitá letní teplota. Signifikantní odezva na minimální teploty měsíce srpna je pravděpodobně způsobena prodloužením růstové sezóny při vyšších minimálních teplotách (Vaganov, 2006). Zajímavá je negativní korelace se zimními teplotami, která však není signifikantní, ačkoliv signifikantní je negativní odezva na lednové teploty. Dřeviny obvykle se zimními teplotami korelují pozitivně, hlavně s minimálními (Pederson a kol., 2004). Zimní teploty jsou důležité hlavně při vysvětlování meziroční variace šířek letokruhů na hranici lesa. Jemné kořeny v nižších vrstvách půdy, které bývají aktivní mnohdy až do pozdního podzimu, nemusí být až do nejchladnějšího měsíce v roce zcela promrzlé a noční mraz na nich může způsobit poškození. Defoliace, odumření pupenů a poškození kořenů může způsobit snížení či vyčerpání zásob karbohydrátů a snížit růstový potenciál stromu pro nadcházející sezónu (Pederson a kol., 2004). Studené zimy jsou

navíc často doprovázeny opožděným táním sněhu, což může zkrátit vegetační období v následující sezoně a tím snížit roční přírůst (Vaganov a kol., 1999; Peterson a Peterson, 2001). Negativní korelace se zimními teplotami může být vysvětlena rapidním zvýšením respirační aktivity rostliny při vyšších zimních teplotách, což může vést k vyšším ztrátám asimilovaného uhlíku jako zdroje energie, a tím negativně ovlivnit velikost přírůstu (Edwards a Hanson, 1996; Zongshan a kol., 2013). S tímto fenoménem negativních korelací s teplotami pozdní zimy se setkal i Zongshan a kol. (2013). Kromě toho v době, kdy by byla dřevina za normálních okolností ve vegetačním klidu, pokračuje ve své fyziologické aktivitě, což může mít za následek ztrátu mrazuvzdornosti a odumírání kořenů při mrazových epizodách. V důsledku takových zranění je strom následující sezonu přecitlivělý na stresové události (Boyce, 1995).

Co se srážek týče, ty mají signifikantní korelace se zářím, což je vzhledem již k ukončené činnosti kambia (Vaganov, 2006) nelogické, a negativní korelace s předchozím červnem. Jinak v případě korelací srážek nejsou patrné ani žádné trendy. Rovněž nebyla zaznamenána žádná signifikantní odezva. To znamená, že jde nejspíše jen o statistický artefakt mezi klimatickými proměnnými. Domnívám se, že rozlišení srážek z gridové databáze CRU-ts je příliš hrubé na to, aby dokázalo dostatečně vystihnout průběh srážek na stanovišti. Větší roli dle mého názoru budou hrát topografie a mikroklimatické podmínky, čemuž nahrává i fakt, že stanoviště se nachází uvnitř fjordu. Dalším argumentem je, že srážky nejsou na lokalitě limitujícím faktorem. Jejich roční suma je srovnatelná se sumou srážek v Praze (nad 500 mm/rok), rozdíl je však v jejich rozložení, kdy není takový rozdíl mezi zimní a letní polovinou roku. Naopak evapotranspirace je zde řádově nižší (Quiaozhen, 2011), takže rostliny mají dostatek vláhy.

Co se klouzavých korelací týče, je vidět, že vzorky korelují s teplotami letních měsíců (červen, červenec, srpen) obecně a května (nekoreluje pouze u minimálních teplot), a to od korelačního okna končícího přibližně v roce 1970 (tedy korelační okno 1939 -1970) až po korelační okno končící rokem 1994. Dále se pak tyto korelace projevují v několika posledních korelačních oknech. Vysoká korelace v nespolehlivé části chronologie je pravděpodobně způsobena zvyšujícím se podílem letokruhů ze spolehlivé části chronologie při posouvání korelačního okna. Co se odezvy týče, v případě průměrných a maximálních teplot je jasně vidět, že ta je signifikantní pouze pro spolehlivou část chronologie. Srážkám bych opět nepřikládal větší váhu, nejvyšších korelací po nejdelsí období dosahují v září

daného roku, kdy srážky už nemohou mít v daném roce na růst keře velký vliv, neboť kambiální činnost již byla ukončena (Vaganov, 2006) a nemají signifikantní odezvu.

Jedním z hlavních extrémů křivky spolehlivé části chronologie je minimum v roce 1993, který se vyznačoval růstem úzkých letokruhů, avšak nemá žádné opodstatnění v klimatických datech a navíc se nevyskytuje v chronologiích, které pocházejí z anatomických parametrů vybraných osmi vzorků ani v chronologii borovice lesní Meriläinen a kol. (2002), pravděpodobně tedy bude způsoben nějakým efektem, který se projevil pouze na stanovišti nebo v jeho blízkém okolí. Dalším výrazným extrémem je vrchol v roce 1960. Růstová sezóna byla teplotně velmi nadprůměrná. Teplota v červenci dokonce vystoupala na 16,05 °C, což je nejvyšší průměrná měsíční teplota za období 1901 - 2013 (za toto období jsou k dispozici data z gridové databáze CRU-ts). Oproti klimatickému normálu (1961 – 1990) byla červnová teplota dokonce o 3,2 °C vyšší. Průměrná roční teplota byla oproti klimatickému normálu vyšší o 0,7 °C. Tento vrchol se vyskytoval i v chronologiích borovice lesní, se kterými byla chronologie jalovce srovnávána.

6.2 Vzájemné korelace jednotlivých anatomických charakteristik

Hlavní náplní práce byla kvantifikace anatomických charakteristik a jejich korelace s klimatem. Nejprve však bylo potřebné zjistit, jak jsou jednotlivé proměnné korelovány mezi sebou. Anatomické charakteristiky byly měřeny na osmi vybraných vzorcích. Pro detrendování dat anatomických charakteristik byl použit lineární trend, který v mnoha případech velmi dobře aproximuje jejich rozložení (tab. 3). Jedná se například o plochu lumen a až na několik jedinců o šířku letokruhu. Obecně lze však říci, že více než jednotlivé charakteristiky navzájem se v rámci těchto lišili jedinci mezi sebou. Také lze pozorovat, že trend nemá vždy v rámci jednotlivých anatomických charakteristik stejnou tendenci, což může být způsobeno například již zmiňovanými sekvencemi velmi úzkých letokruhů. Zároveň je nutné podotknout, že ve většině případů klesající trendy nedosahují tak vysokých hodnot, jako trendy stoupající, a že se většinou jedná o případy, kdy data mají velký rozptyl a lineární funkce špatně aproximuje jejich rozložení, což je vyjádřeno koeficientem determinace. Panyushkina a kol. (2003) se domnívá, že růstový trend není u šířky buněčných stěn a plochy lumen na rozdíl od šířek letokruhů závislý na kambiálním stáří.

Dále byly vzájemně korelovány letokruhové indexy jednotlivých anatomických charakteristik pro celý letokruh a jeho jarní a letní část. Je logické, že spolu vzájemně často korelují proměnné daného parametru pro celý letokruh a pro jeho jarní, případně letní část. Při pohledu na srovnání průběhu chronologií pro celý letokruh na obr. 28 je patrné, že nejvíce se odlišuje křivka chronologie plochy lumen tracheid, což potvrzuje i tabulka 5. Plocha lumen za celý letokruh koreluje jen s plochou lumen v jarním dřevě a se šířkou jarního dřeva a dále spolu vzájemně koreluje jen plocha lumen jarního a letního dřeva. Nejvíce s ostatními anatomickými charakteristikami koreluje počet buněk v letokruhu, který koreluje se všemi charakteristikami, kromě charakteristik plochy lumen a šířek stěn letního dřeva. K podobnému závěru došla i Panyushkina a kol. (2003), která na modřínu Cajanderově (*Larix cajanderi*) zjišťovala korelace počtu buněk v letokruhu s klimatem. Podle ní počet buněk v letokruhu nejsilněji koreluje s šířkou letokruhu, velikostí tracheid jarního dřeva a šířkou buněčných stěn letního dřeva. Poslední zmiňovaná korelace však u jalovce signifikantní nebyla. Šířka jarního dřeva koreluje s celkovou šířkou letokruhu, avšak nekoreluje s šířkou letního dřeva. Obdobně je tomu i ve studii Ziaca a kol. (2014), zabývající se vlivem klimatu na anatomii dřeva jehličnanů ve Velké pánvi v USA. Vysoké korelace mezi šířkou jarního dřeva a šířkou letokruhu byly na jehličnanech pozorovány jak v temperátní zóně (Liang a kol., 2013), v mesické zóně (Martin-Benito a kol., 2012), tak na suchých stanovištích (DeSoto a kol., 2013). To že spolu nekorelují šířka letokruhu a šířka letního dřeva, je pravděpodobně způsobeno tím, že šířka jarního dřeva ve většině případů tvořila podstatnou část letokruhu, zatímco šířka letního dřeva měla na celkovou šířku letokruhu daleko menší vliv.

To, že proměnné šířky letokruhu (jeho částí), počtu buněk a šířek buněčných stěn spolu často korelují, ukázala i analýza hlavních komponent (Tabulka X.). Analýza hlavních komponent je transformace, která se využívá k dekorelaci dat. Pomáhá redukovat datové soubory obsahující velké množství proměnných vytvořením nových proměnných, které jsou lineárními kombinacemi těch původních. Tyto lineární kombinace jsou voleny tak, aby reprezentovaly co největší možnou část variability dat (Wilks, 2006). S první osou (PCA1), zachycující největší část variability (44,3%), jsou nejvíce korelovány právě tyto proměnné, přičemž proměnné týkající se lumenů vykazují jen velmi nízkou korelaci. Naopak s druhou osou (PCA2), vysvětlující 20,1% variability, jsou nejvíce korelovány proměnné týkající se plochy lumen. Druhá osa však navíc celkem silně (-0,72) koreluje i s počtem buněk letního dřeva. Se třetí osou pak nejvíce korelují parametry týkající se anatomických proporcí

tracheid, tedy proměnná šířky buněčných stěn a plochy lumen, což vysvětluje fakt, že tyto proměnné spolu fyziologicky úzce souvisí (Vaganov, 2006; Cuny a kol., 2014).

Ve srovnání s hlavní chronologií je ve všech průměrných křivkách anatomických parametrů kromě křivky plochy lumen také patrný vrchol v roce 1960, způsobený teplotně výrazně nadprůměrnou sezonou. Právě u plochy lumen se však vrchol projevil inverzně, tedy jako minimum, což znamená, že bylo vytvořeno daleko větší množství buněk se širšími stěnami avšak menšími lumeny. Obvykle je také vztah mezi šířkou (plochou) lumen a šířkou buněčných stěn popisován jako inverzní, avšak podrobnější měření ukazují, že vztah mezi komponentami tracheid může být daleko složitější (Vaganov, 2006), což je pravděpodobně důvodem, proč mezi těmito parametry nebyla zaznamenána ani negativní, ani pozitivní korelace. Podle Forda a Robardse (1976), kteří zkoumali vztah mezi průměrem tracheid a tloušťkou stěn v jarním dřevě smrku sitky (*Picea sitchensis*) mají větší buňky širší stěny a naopak. Dále, v tranzitní zóně, se pak radiální průměr tracheid zmenšuje, zatímco tloušťka buněčných stěn se zvětšuje, avšak přibližně v polovině růstu letního dřeva tloušťka buněčné stěny dosáhne svého maxima a začíná se zmenšovat spolu s radiálním průměrem lumenu (Vaganov, 2006).

6.3 Vliv klimatu na anatomické charakteristiky

Výsledky korelace klimatu s anatomickými parametry ukázaly, že šířka letokruhu nemusí mít vždy největší vypovídající hodnotu a tedy nemusí být vždy nejvhodnějším klimatickým proxy. Šířka letokruhů jako proxy mnohdy selhává právě u arktických keříků.

Nejvyšších korelací dosáhly počty buněk v letokruhu (popřípadě v jarním dřevě) v řadě s letními teplotami (min., max. i prům.), přičemž absolutně nejvyšší korelace bylo dosaženo u červnových minimálních teplot (0,48) s počtem buněk za celý letokruh, což se potvrdilo i u odezvy. Klouzavé korelace byly sice prováděny pouze pro průměrné teploty, ale i tak ukazují, že korelace červnových teplot jsou vysoké v celém zkoumaném období. Naproti tomu klouzavá odezva, která se zároveň snaží odstranit autokorelaci, je silná pouze pro červen. Silně korelují také počty buněk jarního dřeva, které začínají obvykle významně korelovat už od května (až na max. teploty), přičemž nejvyšší korelace byla zaznamenána v srpnu u průměrných (0,43) a maximálních teplot (0,45), což je ovšem paradoxní, neboť srpnové teploty daného roku nemohou mít žádný vliv na počet buněk

v jarním dřevě. Tento paradox bude pravděpodobně způsoben korelacemi mezi měsíčními teplotami navzájem. Navíc tato srpnová korelace, ač je silná, se nachází pouze v několika korelačních oknech na počátku období a pak se postupně přesouvá až do dubna, což je logické, protože jarní teploty mají na formování jarního dřeva největší vliv (Kozłowski, 1997). Naproti tomu podle Panyushkiny a kol. (2003) sice celkový počet buněk v letokruhu sice pozitivně koreluje s červnovými teplotami, zato však negativně koreluje s teplotami květnovými. Podle Lupiho a kol. (2010) je počet buněk letokruhu vázán na dřívější start a pozdní konec růstové sezony, což má zároveň vliv i na šířku letokruhu. Podle Gregoryho (1971) je průměrný radiální průměr tracheid z dlouhodobého hlediska víceméně konstantní a proto jsou spolu šířka letokruhu a počet buněk v letokruhu v úzkém lineárním vztahu. Dle mého názoru však právě radiální průměr lumen, na kterém je závislá i zkoumaná plocha lumen, s letními teplotami v případě jalovce z této lokality signifikantně nekoreluje, a proto ubírá na vypovídací hodnotě i šířce letokruhu, kterou ovlivňuje. Navíc, šířka jarní části dřeva dosahuje vyšších korelací (max., min. i prům. teploty) než šířka celého letokruhu. Podle Xua (2013), který zkoumal vliv klimatu na anatomické charakteristiky smrku štětinatého (*Picea crassifolia*) v severovýchodní Číně, koreluje šířka letokruhu signifikantně s teplotou v červenci, což je obdobné, jako u jalovce. Avšak zatímco v případě šířky celého letokruhu se klouzavá korelace drží pouze v červnu, v případě jarního dřeva se za zkoumané období přesouvá z května do června.

Pokud srovnáme letokruhovou křivku hlavní chronologie s letokruhovou křivkou vytvořenou z osmi vybraných vzorků, zjistíme, že rapidní snížení počtu vzorků prakticky nemá vliv na její průběh. Nutno ovšem podotknout, že zatímco křivka hlavní chronologie nejvíce korelovala (pokud nebudeme brát v úvahu nelogickou korelaci se srpnovými teplotami) s květnovými a červencovými maximálními teplotami (0,33), křivka z vybraných osmi vzorků nejvíce koreluje s červnovými minimálními teplotami (0,30) a nejvyšší odezvu má na červnové maximální teploty. Potenciálním problémem je možnost, že rozdíly v korelacích mezi anatomickými parametry a šířkou letokruhů jsou dány rozdílností korelací mezi celým souborem a osmi vybranými vzorky. Proto byla vypočtena korelace osmi vybraných vzorků přímo z hlavní chronologie (použity byly hodnoty z měření šířek celých letokruhů) s klimatem (obr. 18). Ač se korelace lišily zejména signifikancí (v případě vybraných osmi bylo méně signifikantních korelací), jejich roční průběh byl velmi podobný.

Velikost tracheid (průměr lumen a tloušťka stěny) obecně pozitivně koreluje s teplotami pozdního jara a léta (Antonova a Stasova, 1997; Wang a kol., 2002; Panyushkina

a kol., 2003). Protože buněčné parametry odpovídají podmínkám v čase jejich vzniku, jsou daleko méně autokorelované, než například šířka letokruhu či počet buněk v letokruhu (Deslaurier a Morin, 2004). Pokud se podíváme na šířky buněčných stěn, zjistíme, že ty skutečně nejlépe korelují opět s teplotami v letním období (kromě letního dřeva), ale navíc se zde vyskytují i významné negativní korelace s předchozím říjnem, které však nejsou při pohledu na klouzavé korelace zastoupeny v celém období, ale pouze na začátku. Obecně pozdimní teploty naopak s šířkou buněčných stěn korelují pozitivně, protože napomáhají ukládání karbohydrátů (Wood, 1986). Podle Panyushkiny a kol. (2003) nejlépe koreluje šířka buněčných stěn letního dřeva s teplotami od července do září. Podle Yashua a kol. (2000), který se zabýval tloušťkou buněčných stěn několika posledních tracheid letního dřeva na smrku Glehnově (*Picea glehnii*), korelují tyto pozitivně s teplotou června a července a negativně s teplotou února a března.

Jediným anatomickým parametrem, který se výrazně odlišuje od ostatních, je plocha lumen. Až na negativní korelaci minimálních červencových teplot s plochou lumen letního dřeva (-0,28), která však nemá významné odezvu, se zde žádná významné korelace lumen s klimatem nevyskytuje. Podle Wang a kol. (2002), který se zabýval smrkem černým (*Picea mariana*) na severní hranici lesa v Kanadě, by však i lumen měl korelovat s letními teplotami. Až při pohledu na klouzavou korelaci je patrné, že průměrná plocha lumen v rámci celého letokruhu pozitivně koreluje s červencovou teplotou, což se však v celkové korelaci významně neprojevilo. Parametry lumen ovšem velmi dobře reagují na množství vláhy a tedy potenciálně i na srážky (Ziaco, 2014). Je to způsobeno tím, že lumen tracheid, jehož hlavní funkcí je rozvod vody, je přímo svázán s hydratací rostliny (Sperry a kol., 2006; Votrubová, 2010). Jak už bylo řečeno, vlaha není v oblasti limitujícím faktorem, což může být vysvětlením pro takto nízké korelace. Klouzavá korelace plochy lumen letního dřeva dosahuje celkem vysokých hodnot prakticky za celé období, což může být způsobeno tím, že pokud je červencová teplota nízká, tvoří se v letním dřevě buňky s tlustšími stěnami a menšími lumeny a naopak, pokud je teplota vyšší, tvoří se delší dobu buňky s relativně většími lumeny a užšími stěnami (Vaganov, 2006).

Co se srážek týče, sice se vyskytují významné korelace, ovšem žádná korelace se nevyskytuje ani dva měsíce následující po sobě navzájem (což ovšem může být i způsobeno nízkou mírou korelace mezi srážkami jednotlivých měsíců navzájem). Navíc se většinou jedná o nelogické korelace, jako je například velikost lumen se srážkami září (0,26) či korelace šířek buněčných stěn letního dřeva s teplotou v dubnu (0,30), která se projevila

i v odezvě (0,29) což je dle mého názoru způsobeno specifickými srážkovými podmínkami na lokalitě lišícími se od interpolace z databáze CRU-ts. Naopak celkem logická je pozitivní korelace se srážkami předchozího září (0,28), které mohou pozitivně ovlivnit ukládání zásobních látek pro nadcházející sezonu, která se projevila i v odezvě (0,26). Červnové srážky negativně korelují s počtem buněk jarního dřeva (-0,28), což se projevilo i v odezvě (-0,27). Tyto korelace však mohou být způsobeny i korelací srážek s teplotami. Podle Panyushkiny a kol. (2003) se, co se počtu buněk týče, žádná statisticky významná korelace s klimatem nevyskytuje, avšak šířka buněčných stěn jarního i letního dřeva signifikantně negativně korelují se srážkami v květnu a šířka buněčných stěn jarního dřeva negativně koreluje se srážkami v červenci. Podle Xua a kol. (2013) koreluje negativně tloušťka stěn se srážkami v květnu.

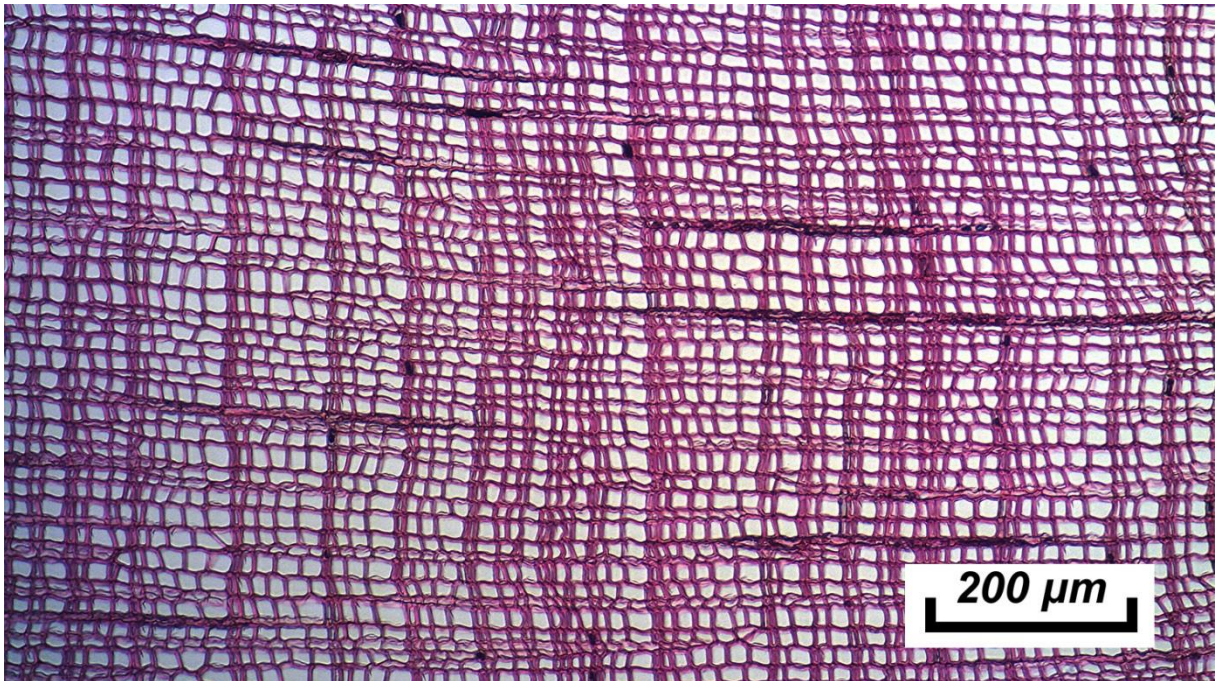
Co se týče anatomických charakteristik, většinou špatně korelují charakteristiky letního dřeva. Může to být způsobeno tím, že software WinCell si ne vždy dokázal stoprocentně poradit s měřením charakteristik buněk v této oblasti, neboť byly mnohdy barevně i jasově špatně rozlišitelné, řádově se jednalo o několik posledních tracheid letokruhu.

6.4 Srovnání hlavní chronologie jalovce s prostorově nejbližšími chronologiemi

Hlavní chronologie růstu jalovce je spolehlivá až od padesátých let minulého století, kdy se EPS blíží hodnotě 0,8. Chronologie je také do jisté míry souběžná s chronologiemi Briffy (1984) a Meriläinen a kol. (2002) až právě od tohoto období. Je to pravděpodobně způsobeno odlišností materiálu, který byl studován. Zatímco již zmiňovaní autoři tvořili chronologie borovice lesní, což je strom, studovaná chronologie byla tvořena na keřících jalovce. Jalovec ve formě arktického keříku poskytuje daleko náročnější materiál pro křížové datování, a to právě kvůli již zmíněným specifikům arktických keřů, jako jsou částečně či úplně chybějící letokruhy nebo vysoká míra excentricity (Woodcock, 1994; Schweingruber, 2005; Bär, 2006).

Na některých preparátech z některých jedinců se nacházely velmi špatně identifikovatelné letokruhy či dokonce celé úseky velmi špatně identifikovatelných letokruhů. Tyto chyby nejsou zpočátku velké, ale kumulují se s rostoucí délkou chronologie směrem do minulosti, což může být právě důvodem toho, že chronologie jalovce se liší od již

zmiňovaných chronologií borovice lesní v období před padesátými léty, kdy nakumulované chyby byly pravděpodobně již dostatečně velké na to, aby znemožnily správné křížové datování. Tuto domněnku potvrzují i nízké klouzavé korelace chronologie s teplotami ve stejném období, což se potvrdilo jak u průměrných, tak u maximálních a minimálních měsíčních průměrů teplot. Řešením by mohlo být použití postupu z kapitoly 2.2, tzn. odebrat více disků z každého jedince v různých výškách keře, v rámci kterých srovnávat přírůsty v různých směrech, dále srovnat přírůsty jednotlivých disků mezi sebou a nakonec přírůsty mezi jedinci navzájem. Tento přístup by mohl výrazně napomoci právě při odhalování chybějících či mrazových letokruhů (Schweingruber a kol., 1990b).



Obr. X: Úsek preparátu se sekvencí velmi úzkých letokruhů

Dalším důvodem nespolehlivosti chronologie před rokem 1950 by mohlo být využití nejdelší osy každého jedince pro tvorbu chronologie, tedy osy s nejvyšší excentricitou, což bylo prováděno kvůli usnadnění práce s anatomickými parametry. Tato práce se však primárně nevěnuje budování chronologie, ale analýze anatomických charakteristik, proto byla použita pouze její spolehlivá část, která je navíc souběžná s prostorově blízkými chronologiemi borovice lesní, a postup tvorby chronologie byl takto zjednodušen.

7 Závěr

Výzkum byl prováděn na keřících jalovce (*Juniperus communis*) odebraných v oblasti fjordu Jarfjord na severozápadě Norska. Tato lokalita byla vybrána kvůli vlivu atlantického klimatu, potenciálnímu využití materiálu v paleoklimatologii a kvůli své poloze na severní hranici lesa. Celkem bylo odebráno 32 vzorků, z čehož 26 se podařilo křížově datovat. Vznikla tak hlavní chronologie, která byla následně korelována s klimatem.

Hlavním smyslem práce bylo zjistit, zdali kromě šířky letokruhů mohou být i jiné anatomické charakteristiky dřeva jalovce na radiálním řezu rostlinou využitelné pro rekonstrukci klimatu v oblastech na nebo za severní hranicí lesa. Výsledky ukazují na lepší vypovídací hodnotu některých parametrů než samotných šířek letokruhů. Ukázalo se, že počet buněk v řadě koreloval s letními teplotami dokonce lépe než šířka letokruhu a to jak v rámci osmi vybraných vzorků, tak dokonce i lépe než parametr šířky letokruhu z hlavní chronologie. Nejvyšší korelace dosáhl počet buněk s minimálními červnovými teplotami. Signifikantních korelací dosahovala také šířka buněčných stěn. Nejnižších korelací dosahovala plocha lumen tracheid, která je závislá spíše na srážkách, neboť hlavní funkcí tracheid je transport vody vodu tělem rostliny (Sperry a kol., 2006; Votrubová, 2010). Ukázalo se, že na růst keřů na lokalitě měly obecně největší vliv maximální průměrné měsíční teploty.

Do budoucna by si tato problematika zasloužila hlubší výzkum zejména na více lokalitách a spojený s odběrem více disků z jednoho jedince. Moje diplomová práce poukázala na značný potenciál anatomických parametrů letokruhů arktických keřů v dendroklimatologii.

8 Seznam literatury

- ANDREASSEN, L. M., S. H. WINSVOLD, F. P. HAUSBERG a J. E. Hausberg. *Norwegian Water Resources and Energy Directorate*, 2012 [cit. 2015-08-07]. ISBN 978-82-410-0826-9.
- ANISIMOV, O. a A. JONES. *Soil atlas of the northern circumpolar region: an initiative of the European Union to support the International polar year 2007-2008, activity no. 1210 under IPY expression of intent*. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2010, 1 atlas (144 s.). ISBN 9789279097706.
- ANTONOVA, G. F. a V. STASOVA. Effects of environmental factors on wood formation in larch (*Larix sibirica* Ldb.) stems. *Trees* [online]. 1997, **11**(8): 462-468 [cit. 2015-08-12]. DOI: 10.1007/pl00009687.
- ARCHIBOLD, O. W. *Ecology of World Vegetation*. Dordrecht: Springer Verlag, 2013. ISBN 9789401040082.
- BÄR, A., J. LÖFFLER, A. BRÄUNING. Methodological approach for dendroecological analysis of dwarf shrubs-A contribution to ecosystem reconstructions in the Norwegian Scandes. *Edited by: Ingo Heinrich, Holger Gärtner, Michel Monbaron, Gerhard H. Schleser*, 2005, 114-119.
- BÄR, A., A. BRÄUNING a J. LÖFFLER. Dendroecology of dwarf shrubs in the high mountains of Norway – A methodological approach. *Dendrochronologia* [online]. 2006, **24**(1): 17-27 [cit. 2015-07-27]. DOI: 10.1016/j.dendro.2006.05.001.
- BÄR, A. a J. LÖFFLER. Ecological process indicators used for nature protection scenarios in agricultural landscapes of SW Norway. *Ecological Indicators* [online]. 2007, **7**(2): 396-411 [cit. 2015-08-03]. DOI: 10.1016/j.ecolind.2006.04.001.
- BÄR, A., R. PAPE, A. BRÄUNING a J. LÖFFLER. Growth-ring variations of dwarf shrubs reflect regional climate signals in alpine environments rather than topoclimatic differences. *Journal of Biogeography* [online]. 2008, **35**(4): 625-636 [cit. 2015-08-02]. DOI: 10.1111/j.1365-2699.2007.01804.x.
- BIONDI, F. a K. WAIKUL. DENDROCLIM2002: A C++ program for statistical calibration of climate signals in tree-ring chronologies. *Computers & Geosciences* [online]. 2004, **30**(3): 303-311 [cit. 2015-08-09]. DOI: 10.1016/j.cageo.2003.11.004.
- BLOK, D., U. SASS-KLAASSEN, G. SCHAEPMAN-STRUB, M. M. P. D. HEIJMANS, P. SAUREN a F. BERENDSE. What are the main climate drivers for shrub growth in Northeastern Siberian tundra? *Biogeosciences* [online]. 2011, **8**(5): 1169-1179 [cit. 2015-08-03]. DOI: 10.5194/bg-8-1169-2011.
- BOROVIKOV, A. M. a B. N. UGOLEV. *Spravočnik po drevesině*. Moskva: Lesnaja promyšlennoš', 1989, 296 s. ISBN 5-7120-0137-3
- BOYCE, R. L. Patterns of foliar injury to red spruce on Whiteface Mountain, New York, during a high-injury winter. *Canadian Journal of Forest Research* [online]. 1995, **25**(1): 166-169 [cit. 2015-08-10]. DOI: 10.1139/x95-019.
- BRIFFA, K. ITRDB FINL061. In: *International tree ring database* [online]. 1984 [cit. 2015-08-07]. Dostupné z: <https://www.ncdc.noaa.gov/paleo/study/2857>

- BRIFFA, K. R.; COOK, E. R. Methods of response function analysis. *Methods of dendrochronology*, 1990, 240-247. ISBN: 978-94-015-7879-0.
- BÜNTGEN, U., L. HELLMANN, W. TEGEL, S. NORMAND, I. MYERS-SMITH, A. V. KIRDYANOV, D. NIEVERGELT a F. H. SCHWEINGRUBER. Temperature-induced recruitment pulses of Arctic dwarf shrub communities. *Journal of Ecology* [online]. 2015, **103**(2): 489-501 [cit. 2015-08-03]. DOI: 10.1111/1365-2745.12361.
- BOLLINGER, M. *Keře*. Vyd. 2. V Praze: Knižní klub, 2005, 287 s. Průvodce přírodou (Knižní klub). ISBN 80-242-1364-8.
- BUCHWAL, A., G. RACHLEWICZ, P. FONTI, P. CHERUBINI a H. GÄRTNER. Temperature modulates intra-plant growth of *Salix polaris* from a high Arctic site (Svalbard). *Polar Biology* [online]. 2013, **36**(9): 1305-1318 [cit. 2015-07-27]. DOI: 10.1007/s00300-013-1349-x.
- BUIZER, B., S. WEIJERS, P. M. BODEGOM, I. G. ALSOS, P. B. EIDASEN, J. BREDA, M. KORTE, J. RIJCKEVORSEL a J. ROZEMA. Range shifts and global warming: ecological responses of *Empetrum nigrum* L. to experimental warming at its northern (high Arctic) and southern (Atlantic) geographical range margin. *Environmental Research Letters* [online]. 2012, **7**(2) [cit. 2015-08-03]. DOI: 10.1088/1748-9326/7/2/025501.
- CARLQUIST, S. J. *Comparative wood anatomy: systematic, ecological, and evolutionary aspects of dicotyledon wood*. 2nd, completely rev. ed. New York: Springer, 2001, X, 448 p. ISBN 3540411739.
- CUNY, H. E., C. B. K. RATHGEBER, D. FRANK, P. FONTI a M. FOURNIER. Kinetics of tracheid development explain conifer tree-ring structure. *New Phytologist* [online]. 2014, **203**(4): 1231-1241 [cit. 2015-08-11]. DOI: 10.1111/nph.12871.
- DAVIES, P. J. Regulatory factors in hormone action: Level, location and signal transduction. In: *Plant Hormones*. Springer Netherlands, 2010. p. 16-35. DOI: 10.1007/978-1-4020-2686-7_2.
- DENNE, M. P. Definition of Latewood According to Mork (1928). *IAWA Journal* [online]. 1989, **10**(1): 59-62 [cit. 2015-08-07]. DOI: 10.1163/22941932-90001112.
- DESLAURIERS, A., H. MORIN, C. URBINATI a M. CARRER. Daily weather response of balsam fir (*Abies balsamea* (L.) Mill.) stem radius increment from dendrometer analysis in the boreal forests of Quebec (Canada). *Trees - Structure and Function* [online]. 2003, **17**(6): 477-484 [cit. 2015-08-05]. DOI: 10.1007/s00468-003-0260-4.
- DESLAURIERS, A. a H. MORIN. Intra-annual tracheid production in balsam fir stems and the effect of meteorological variables. *Trees* [online]. 2004, **19**(4): 402-408 [cit. 2015-08-12]. DOI: 10.1007/s00468-004-0398-8.
- DESOTO, L., M. CRUZ a P. FONTI. Intra-annual patterns of tracheid size in the Mediterranean tree *Juniperus thurifera* as an indicator of seasonal water stress. *Canadian Journal of Forest Research* [online]. 2011, **41**(6): 1280-1294 [cit. 2015-08-10]. DOI: 10.1139/x11-045.
- EDWARDS, N. T. a P. J. HANSON. Stem respiration in a closed-canopy upland oak forest. *Tree Physiology* [online]. 1996, **16**(4): 433-439 [cit. 2015-08-09]. DOI: 10.1093/treephys/16.4.433.
- EVANS, D. J. A., R. BRICE, J. D. HANSOM a W. BRIAN WHALLEY. Geomorphology and style of plateau icefield deglaciation in fjord terrains: the example of Troms-Finnmark,

- north Norway. *Journal of Quaternary Science* [online]. 2002, **17**(3): 221-239 [cit. 2015-07-25]. DOI: 10.1002/jqs.675.
- FARBROT, H., K. ISAKSEN, B. ETZELMÜLLER a K. GISNÅS. Ground Thermal Regime and Permafrost Distribution under a Changing Climate in Northern Norway. *Permafrost and Periglacial Processes* [online]. 2013, **24**(1): 20-38 [cit. 2015-07-26]. DOI: 10.1002/ppp.1763. ISSN 10456740. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1002/ppp.1763>
- FILATOVA, V. T. Mobile-permeable zones in the basement of the North-Eastern Baltic Shield and conditions of their location. *Geophysical Journal*. 2012, **34**(1).
- FORD, E. D., A. W.ROBARDS. Short term variation in tracheid development in the early wood of *Picea sitchensis*. *Leiden botanical series*, 1976, **3**(1): 212-221.
- Geological Survey of Norway. *Berggrunn N50*. Dostupné z: <http://geo.ngu.no/kart/berggrunn/>
- GARCÍA-SUÁREZ, A. M., C. J. BUTLER a M. G. L. BAILLIE. Climate signal in tree-ring chronologies in a temperate climate: A multi-species approach. *Dendrochronologia* [online]. 2009, **27**(3): 183-198 [cit. 2015-07-25]. DOI: 10.1016/j.dendro.2009.05.003.
- GÄRTNER, H., S. LUCCHINETTI a F. H. SCHWEINGRUBER. New perspectives for wood anatomical analysis in dendrosciences: The GSL1-microtome. *Dendrochronologia* [online]. 2014, **32**(1): 47-51 [cit. 2015-08-07]. DOI: 10.1016/j.dendro.2013.07.002.
- GÄRTNER-ROER I., I. HEINRICH a H. R. GÄRTNER. Wood anatomical analysis of Swiss willow (*Salix helvetica*) shrubs growing on creeping mountain permafrost. *Dendrochronologia* [online]. 2013, **31**(2): 97-104 [cit. 2015-07-30]. DOI: 10.1016/j.dendro.2012.09.003.
- GOOD, R. C. R. *The genus Empetrum L.* J. Linn. Soc. Bot. 1927. 47: 489–523.
- GRACE, J., D. A. NORTON. Climate and growth of *Pinus sylvestris* at its upper altitudinal limit in Scotland: evidence from tree growth-rings. *The Journal of Ecology*, 1990, 601-610.
- GREGORY, R. A. Cambial activity in Alaskan white spruce. *American Journal of Botany*, 1971, 160-171.
- HALLINGER, M., M. MANTHEY a M. WILMKING. Establishing a missing link: warm summers and winter snow cover promote shrub expansion into alpine tundra in Scandinavia. *New Phytologist* [online]. 2010, **186**(4): 890-899 [cit. 2015-08-03]. DOI: 10.1111/j.1469-8137.2010.03223.x.
- HALLINGER, M., M. MANTHEY a M. WILMKING. Establishing a missing link: warm summers and winter snow cover promote shrub expansion into alpine tundra in Scandinavia. *New Phytologist* [online]. 2010, **186**(4): 890-899 [cit. 2015-08-04]. DOI: 10.1111/j.1469-8137.2010.03223.x.
- HEINRICHS, D. K., J. C. TARDIF a Y. BERGERON. Xylem production in six tree species growing on an island in the boreal forest region of western Quebec, Canada. *Canadian Journal of Botany* [online]. 2007, **85**(5): 518-525 [cit. 2015-08-05]. DOI: 10.1139/b07-041.
- HOFGAARD, A., H. TØMMERVIK, G. REES a F. HANSSSEN. Latitudinal forest advance in northernmost Norway since the early 20th century. *Journal of Biogeography* [online]. 2012, **40**(5): 938-949 [cit. 2015-07-25]. DOI: 10.1111/jbi.12053.
- HOLLESEN, J., A. BUCHWAL, G. RACHLEWICZ, B. U. HANSEN, M. O. HANSEN, O. STECHER a B. ELBERLING. Winter warming as an important co-driver for *Betula nana*

- growth in western Greenland during the past century. *Global Change Biology* [online]. 2015, **21**(6): 2410-2423 [cit. 2015-08-03]. DOI: 10.1111/gcb.12913.
- HUBER, B. *Grundzüge der Pflanzenanatomie: Versuch einer zeitgemässen Neudarstellung*. Berlin: Springer, 1961, 243 p.
- ISAKSEN, K., H. Farbrot., L. H. Blikra, B. Johansen, J. L. Sollid a T. Eiken. Five year ground surface temperature measurements in Finnmark, Northern Norway. In: *Proceedings*. 2008. p. 789-794.
- JØRGENSEN, R. H., M. HALLINGER, S. AHLGRIMM, J. FRIEMEL, J. KOLLMANN a H. MEILBY. Growth response to climatic change over 120 years for *Alnus viridis* and *Salix glauca* in West Greenland. *Journal of Vegetation Science* [online]. 2014, **26**(1): 155-165 [cit. 2015-08-03]. DOI: 10.1111/jvs.12224.
- JUDD, W. S. *Plant systematics: a phylogenetic approach*. 2nd ed. Sunderland, Mass., U. S. A.: Sinauer Associates, 2002, XVI, 576 p. ISBN 0878934030.
- KANNGIESSER F. *Über Lebensdauer von Zwergsträuchern aus hohen Höhen des Himalaya*. *Vierteljahrs. Naturf. Ges. Zürich*, 1914, 58: 198–202.
- KIHLMAN, Alfred Oswald. *Pflanzenbiologische studien aus russisch Lappland: ein Beitrag zur Kenntniss der regionalen Gliederung an der polaren Waldgrenze*. Weilin & Göös, 1890.
- KOLISCHUK, V. G. Dendroclimatological study of prostrate woody plants. In: Cook, E. R., Kairiukstis, L. A., (eds.) *Methods of Dendrochronology*. Applications in the environmental sciences. 1990, Kluwer, Dordrecht, Boston, London. p. 51-55.
- KÖRNER, Ch. Carbon limitation in trees. *Journal of Ecology* [online]. 2003, **91**(1): 4-17 [cit. 2015-08-12]. DOI: 10.1046/j.1365-2745.2003.00742.x.
- KÖRNER, Ch. Treelines Will be Understood Once the Functional Difference Between a Tree and a Shrub Is. *AMBIO* [online]. 2012, **41**(S3): 197-206 [cit. 2015-08-12]. DOI: 10.1007/s13280-012-0313-2.
- KOZAKIEWICZ, P., W. ZYCZKOWSKI. Physical and mechanical properties and anatomy of common juniper (*Juniperus communis* L.) wood. *SYLVAN*, 2015, **159**(2): 151-159 [cit. 2015-07-25].
- KOZLOWSKI, T. a S. G. PALLARDY. *Physiology of woody plants*. 2nd ed. San Diego: Academic Press, 1997, XIV, 411 p. ISBN 012424162x.
- KRAUS, G. *Über Alter und Wachstumsverhältnisse ostgrönländischer Holzgewächse*. *Botanische Zeitung*, 1873, 33: 513-518.
- KUBÁT, K., L. HROUDA a kol. *Klíč ke květeně České republiky*. Vyd. 1. Praha: Academia, 2002, 927 s. ISBN 9788020008367.
- LISTON, G. E., J. P. MCFADDEN, M. STURM a R. A. PIELKE. Modelled changes in arctic tundra snow, energy and moisture fluxes due to increased shrubs. *Global Change Biology* [online]. 2002, **8**(1): 17-32 [cit. 2015-08-12]. DOI: 10.1046/j.1354-1013.2001.00416.x.
- LIANG, W., I. HEINRICH, S. SIMARD, G. HELLE, I. D. LINAN a T. HEINKEN. Climate signals derived from cell anatomy of Scots pine in NE Germany. *Tree Physiology* [online]. 2013, **33**(8): 833-844 [cit. 2015-08-10]. DOI: 10.1093/treephys/tpt059.
- LUPI, C., H. MORIN, A. DESLAURIERS a S. ROSSI. Xylem phenology and wood production: resolving the chicken-or-egg dilemma. *Plant, Cell & Environment* [online]. 2010, **33**(10): 1721-1730 [cit. 2015-08-13]. DOI: 10.1111/j.1365-3040.2010.02176.x.

- MARTIN-BENITO, D., H. BEECKMAN a I. CAÑELLAS. Influence of drought on tree rings and tracheid features of *Pinus nigra* and *Pinus sylvestris* in a mesic Mediterranean forest. *European Journal of Forest Research* [online]. 2012, **132**(1): 33-45 [cit. 2015-08-10]. DOI: 10.1007/s10342-012-0652-3.
- MERILÄINEN, J., M. LINDHOLM, M. TIMONEN a M. ERONEN. ITRDB FINL047. In: *International tree ring database* [online]. 2002 [cit. 2015-08-07]. Dostupné z: <https://www.ncdc.noaa.gov/paleo/study/3994>
- MILES, D. H., M. J. WORTHINGTON. Sonora Pass junipers from California USA: Construction of a 3500-year chronology. In: *Dendrochronology and Environmental Trends. Proceedings of the International Conference*. 1998. p. 17-21.
- MÍSAŘ, Zdeněk. *Regionální geologie světa*. Vyd. 1. Praha: Academia, 1987, 705 s.
- MOEN, A., A. LILLETHUN a A. ODLAND. *Vegetation*. Hønefoss: Norwegian Mapping Authority, 1999, 1 atlas (200 p.). ISBN 8279450009.
- MOLISCH, H. a E. H. FULLING. *The longevity of plants: (Die lebensdauer der pflanze)*. New York: The translator, 1938, 226 p.
- MOONEY, W. D., G. LASKE, T. G. MASTERS. CRUST 5.1: A global crustal model at 5×5. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth (1978–2012)* [online]. 1998, **103**(B1): 727-747 [cit. 2015-07-25]. DOI: 10.1029/97jb02122
- MYERS-SMITH, I. H., B. C. FORBES, M. WILMKING, M. HALLINGER, T. LANTZ, D. BLOK, K. D. TAPE, M. MACIAS-FAURIA, U. SASS-KLAASSEN, a kol. Shrub expansion in tundra ecosystems: dynamics, impacts and research priorities. *Environmental Research Letters* [online]. 2011, **6**(4) [cit. 2015-08-03]. DOI: 10.1088/1748-9326/6/4/045509.
- PANYUSHKINA, I. P., M. K. HUGHES, E. A. VAGANOV a M. A. R. MUNRO. Summer temperature in northeastern Siberia since 1642 reconstructed from tracheid dimensions and cell numbers of *Larix cajanderi*. *Canadian Journal of Forest Research* [online]. 2003, **33**(10): 1905-1914 [cit. 2015-08-12]. DOI: 10.1139/x03-109.
- PAULSEN, J. a Ch. KÖRNER. A climate-based model to predict potential treeline position around the globe. *Alpine Botany* [online]. 2014, **124**(1): 1-12 [cit. 2015-08-12]. DOI: 10.1007/s00035-014-0124-0.
- PEDERSON, N., E. R. COOK, G. C. JACOBY, D. M. PETEET a K. L. GRIFFIN. The influence of winter temperatures on the annual radial growth of six northern range margin tree species. *Dendrochronologia* [online]. 2004, **22**(1): 7-29 [cit. 2015-08-09]. DOI: 10.1016/j.dendro.2004.09.005
- PEEL, M. C., B. L. FINLAYSON, T. A. MCMAHON. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions* *Discussions*, 2007, **4**(2): 439-473 [cit. 2015-07-25]. DOI: 10.5194/hess-11-1633-2007
- PETERSON, D. W. a D. L. PETERSON. Mountain hemlock growth response to climatic variability at annual and decadal time scales. *Ecology* [online]. 2001, **82**(12): 3330-3345 [cit. 2015-08-09]. DOI: 10.1890/0012-9658(2001)082[3330:mhgrtc]2.0.co;2.
- PRESS, M. C., J. A. POTTER, M. J. W. BURKE, T. V. CALLAGHAN a J. A. LEE. Responses of a subarctic dwarf shrub heath community to simulated environmental change. *Journal of Ecology* [online]. 1998, **86**(2): 315-327 [cit. 2015-08-03]. DOI: 10.1046/j.1365-2745.1998.00261.x.

- QIAOZHEN, M., Z. MAOSHENG a S. RUNNING. HOME NUMERICAL TERRADYNAMIC SIMULATION GROUP. *MODIS Global Evapotranspiration Project (MOD16)* [online]. 2011 [cit. 2015-08-10]. Dostupné z: <http://www.ntsug.umd.edu/project/mod16>
- RASMUSEN, E., J. TURNER. *Polar lows: mesoscale weather systems in the polar regions*. Cambridge: Cambridge University Press, 2003, XI, 612 s. ISBN 0521624304.
- RAYBACK, S. A. a G. H. R. HENRY. Dendrochronological Potential of the Arctic Dwarf-Shrub *Cassiope tetragona*. *Tree-Ring Research* [online]. 2005, **61**(1): 43-53 [cit. 2015-08-02]. DOI: 10.3959/1536-1098-61.1.43.
- REARDON, B. A., G. T. PEDERSON, C. J. CARUSO a D. B. FAGRE. Spatial Reconstructions and Comparisons of Historic Snow Avalanche Frequency and Extent Using Tree Rings in Glacier National Park, Montana, U.S.A. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research* [online]. 2008, **40**(1): 148-160 [cit. 2015-07-27]. DOI: 10.1657/1523-0430(06-069)[reardon]2.0.co;2.
- RICHARDSON, S. D., J. M. Dinwoodie. Studies on the physiology of xylem development. I. The effect of night temperature on tracheid size and wood density in conifers. II. Some effects of light intensity, daylength and provenance on wood density and tracheid length in *Picea sitchensis*. III. Effects of tempe. *Journal of the Institute of Wood Science*, 1960, 6; 7; 12.
- ROSENTHAL M. Über die Ausbildung der Jahrringe an der Grenze des Baumwachstums in den Alpen. Inaug. Diss., Berlin, 1904.
- ROSSI, S., A. DESLAURIERS, T. ANFODILLO, H. MORIN, A. SARACINO, R. MOTTA a M. BORGHETTI. Conifers in cold environments synchronize maximum growth rate of tree-ring formation with day length. *New Phytologist* [online]. 2006, **170**(2): 301-310 [cit. 2015-08-05]. DOI: 10.1111/j.1469-8137.2006.01660.x.
- ROSSI, S., A. DESLAURIERS, J. GRIÇAR, J. W. SEO, C. B. K. RATHGEBER, T. ANFODILLO, H. MORIN, T. LEVANIC, P. OVEN, a kol. Critical temperatures for xylogenesis in conifers of cold climates. *Global Ecology and Biogeography* [online]. 2008, **17**(6): 696-707 [cit. 2015-08-05]. DOI: 10.1111/j.1466-8238.2008.00417.x.
- SAMUSEVICH, A. *Climatic signal in tree ring series of mountain pine*. Praha, 2014. Dostupné také z: <https://is.cuni.cz/webapps/zzp/detail/133207/16122776>. Diplomová práce. Univerzita Karlova v Praze. Vedoucí práce Václav Treml.
- SEAGER, R., D. S. BATTISTI, J. YIN, N. GORDON, N. NAIK, A. C. CLEMENT a M. A. CANE. Is the Gulf Stream responsible for Europe's mild winters? *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* [online]. 2002, **128**(586): 2563-2586 [cit. 2015-07-26]. DOI: 10.1256/qj.01.128.
- SCHMIDT, N. M., C. BAITTINGER a M. C. FORCHHAMMER. Reconstructing Century-long Snow Regimes Using Estimates of High Arctic *Salix arctica* Radial Growth. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research* [online]. 2006, **38**(2): 257-262 [cit. 2015-08-03]. DOI: 10.1657/1523-0430(2006)38[257:racsue]2.0.co;2.
- SCHWEINGRUBER, F. H., P. BASS. *Anatomy of European woods : an atlas for the identification of European trees, shrubs, and dwarf shrubs*. Bern: Verlag P. Haupt, 1990. ISBN 3258042586.

- SCHWEINGRUBER, F. H., D. ECKSTEIN, F. SERRE-BACHET, O. BRÄKER. Identification, presentation and interpretation of event years and pointer years in dendrochronology. *Dendrochronologia*, 1990b. 8: 9-38.
- SCHWEINGRUBER, F. H. *Tree rings and environment dendroecology*. Berne: Paul Haupt Publishers, 1996, 609 s. ISBN 3258054584.
- SCHWEINGRUBER, Fritz a Peter POSCHLOD. *Growth Rings in Herbs and Shrubs: life span, age determination and stem anatomy*. Birmensdorf: Swiss Federal Research Institute WSL, 2005. ISBN 1424-5108.
- SCHWEINGRUBER, F. H., A. BÖRNER, E. D. SCHULZE a M. KÜCHLER. *Atlas of stem anatomy in herbs, shrubs and trees: Volume 2*. London: Springer, 2013, VII, 415 p. ISBN 364220435x.
- SCHWEINGRUBER, F. H., S. BRAUN, D. NIEVERGELT, L. HELLMANN, W. TEGEL a U. BÜNTGEN. Evaluating the wood anatomical and dendroecological potential of arctic dwarf shrub communities. *IAWA Journal* [online]. 2013b, **34**(4): 485-497 [cit. 2015-08-03]. DOI: 10.1163/22941932-00000039.
- SPEER, J. H., T. W. SWETNAM, B. E. WICKMAN a A. YOUNGBLOOD. Changes in Pandora moth outbreak dynamics during the past 622 years. *Ecology* [online]. 2001, **82**(3): 679-697 [cit. 2015-08-10]. DOI: 10.1890/0012-9658(2001)082[0679:cipmod]2.0.co;2.
- SPERRY, J. S., U. G. HACKE a J. PITTERMANN. Size and function in conifer tracheids and angiosperm vessels. *American Journal of Botany* [online]. 2006, **93**(10): 1490-1500 [cit. 2015-07-29]. DOI: 10.3732/ajb.93.10.1490.
- STOKES, C. R., G. D. CORNER, M. C. M. WINSBORROW, K. HUSUM a K. ANDREASSEN. Asynchronous response of marine-terminating outlet glaciers during deglaciation of the Fennoscandian Ice Sheet. *Geology* [online]. 2014, **42**(5): 455-458 [cit. 2015-07-25]. DOI: 10.1130/g35299.1.
- TOCKNER, K., C. T. ROBINSON a U. UEHLINGER. *Rivers of Europe*. 1st ed. Amsterdam: Elsevier, 2009, xvi, 700 s. ISBN 978-0-12-369449-2.
- ÚŘADNÍČEK, L. a P. MADĚRA. *Dřeviny České republiky*. Písek: Matice lesnická, 2001, 333 s. ISBN 80-86271-09-9.
- VAGANOV, E. A., M. K. HUGHES, A. V. KIRDYANOV, F. H. SCHWEINGRUBER a P. P. SILKIN. Influence of snowfall and melt timing on tree growth in subarctic Eurasia. *Nature* [online]. 1999, **400**(6740): 149-151 [cit. 2015-08-09]. DOI: 10.1038/22087.
- VAGANOV, E. A. M. *Growth dynamics of conifer tree rings images of past and future environments*. Expanded, enhanced and updated ed. Berlin: Springer, 2006. ISBN 9783540312987.
- VOTRUBOVÁ, O. *Anatomie rostlin*. 3., přeprac. vyd. Praha: Karolinum, 2010, 192 s. ISBN 978-80-246-1867-8.
- WANG, L., S. PAYETTE a Y. BÉGIN. Relationships between anatomical and densitometric characteristics of black spruce and summer temperature at tree line in northern Quebec. *Canadian Journal of Forest Research* [online]. 2002, **32**(3): 477-486 [cit. 2015-08-12]. DOI: 10.1139/x01-208.
- WEIJERS, S., I. GREVE ALSOS, P. BRONKEN EIDSEN, R. BROEKMAN, M. J. J. E. LOONEN a J. ROZEMA. No divergence in *Cassiope tetragona*: persistence of growth response along a latitudinal temperature gradient and under multi-year experimental

- warming. *Annals of Botany* [online]. 2012, **110**(3): 653-665 [cit. 2015-08-03]. DOI: 10.1093/aob/mcs123.
- WIGLEY, T. M. L., K. R. BRIFFA, P. D. JONES. On the average value of correlated time series, with applications in dendroclimatology and hydrometeorology. *Journal of climate and Applied Meteorology*, 1984, **23**(2): 201-213 [cit. 2015-07-25]. DOI: 10.1175/1520-0450(1984)023<0201:OTAVOC>2.0.CO;2
- WILKS, D. S. *Statistical methods in the atmospheric sciences*. 2nd ed. Amsterdam: Academic Press, 2006, XVII, 627 s. International geophysics series, v. 91. ISBN 0127519661.
- WILMKING, M., M. HALLINGER, R. BOGAERT, T. KYNCL, F. BABST, W. HAHNE, G. P. JUDAY, M. LUIS, K. NOVAK a kol. Continuously missing outer rings in woody plants at their distributional margins. *Dendrochronologia* [online]. 2012, **30**(3): 213-222 [cit. 2015-08-12]. DOI: 10.1016/j.dendro.2011.10.001.
- WILS, T. H. G., I. ROBERTSON, Z. ESHETU, U. G. W. SASS-KLAASSEN a M. KOPROWSKI. Periodicity of growth rings in *Juniperus procera* from Ethiopia inferred from crossdating and radiocarbon dating. *Dendrochronologia* [online]. 2009, **27**(1): 45-58 [cit. 2015-08-02]. DOI: 10.1016/j.dendro.2008.08.002.
- WILS, T. H. G., U. G. W. SASS-KLAASSEN, Z. ESHETU, A. BRÄUNING, A. GEBREKIRSTOS, C. COURALET, I. ROBERTSON, R. TOUCHAN, M. KOPROWSKI, a kol. Dendrochronology in the dry tropics: the Ethiopian case. *Trees* [online]. 2010, **25**(3): 345-354 [cit. 2015-08-02]. DOI: 10.1007/s00468-010-0521-y.
- WILSON, K. a D. WHITE. *The anatomy of wood, its diversity and variability*. London: Stobart, 1986, 309 p. ISBN 0854420347.
- WIMMER, R. Wood anatomical features in tree-rings as indicators of environmental change. *Dendrochronologia* [online]. 2002, **20**(1-2): 21-36 [cit. 2015-07-28]. DOI: 10.1078/1125-7865-00005.
- WOOD, B. W. Cold injury susceptibility of pecan as influenced by cultivar, carbohydrates, and crop load. *HortScience*, 1986, **21**(2): 285-286.
- WOODCOCK, H., R. S. BRADLEY. *Salix arctica* (Pall.): its potential for dendroclimatological studies in the High Arctic. *Dendrochronologia*, 1994, **12**(1): 11-22.
- XU, J., L. U. Jianxiong, B. A. O. Fucheng, R. EVANS a G. M. DOWNES. Climate response of cell characteristics in tree rings of *Picea crassifolia*. *Holzforschung* [online]. 2013, **67**(2) [cit. 2015-08-13]. DOI: 10.1515/hf-2011-0144.
- YASUE, K., R. FUNADA, O. KOBAYASHI a J. OHTANI. The effects of tracheid dimensions on variations in maximum density of *Picea glehnii* and relationships to climatic factors. *Trees* [online]. 2000, **14**(4): 223-229 [cit. 2015-08-13]. DOI: 10.1007/pl00009766.
- ZÁKRAVSKÁ, Š. *Vliv orientace svahu na sezónní růst stromů v ekotonu horní hranice lesa* [online]. Praha, 2013 [cit. 2015-08-02]. Dostupné z: <https://is.cuni.cz/webapps/zzp/detail/89365/15907438/>. Diplomová práce. Univerzita Karlova. Vedoucí práce Václav Tremel.
- ZALATAN, R., K. GAJEWSKI. Dendrochronological potential of *Salix alaxensis* from the Kuujua River area, western Canadian Arctic. *Tree-Ring Research*, 2006, **62**(2): 75-82.
- ZIACO, E., F. Biondi, S. Rossi a A. Deslauriers. Climatic influences on wood anatomy and tree-ring features of Great Basin conifers at a new mountain observatory. *Applications in plant sciences*, 2014, **2**(10).

Zongshan, L., Z. Li, G. Liu, B. Fu, Q. Zhang, K. Ma a N. Pederson. The growth-ring variations of alpine shrub *Rhododendron przewalskii* reflect regional climate signals in the alpine environment of Miyaluo Town in Western Sichuan Province, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, **33**(1): 23-31.

Webové zdroje:

Climate-Data.org: *Climate: Kirkenes* [online]. [cit. 2015-07-26]. Dostupné z: <http://en.climate-data.org/location/8593/>

CRU *TS* v. 3.22 [online]. [cit. 2015-08-13]. Dostupné z: <http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/hrg/>

IPCC - The Intergovernmental Panel on Climate Change. *Climate Change 2007: Working Group I: The Physical Science Basis* [online]. 2007 [cit. 2015-07-26]. Dostupné z: https://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/tssts-3-1-1.html

IPCC - The Intergovernmental Panel on Climate Change. *Climate Change 2014: Synthesis Report* [online]. 2014 [cit. 2015-07-26]. Dostupné z: http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5_SYR_FINAL_All_Topics.pdf

KNMI Climate Explorer [online]. [cit. 2015-07-26]. Dostupné z: <http://climexp.knmi.nl>

METEOROLOGISK INSTITUT. *Yr.no* [online]. 2015 [cit. 2015-08-07]. Dostupné z: http://www.yr.no/place/Norway/Finnmark/S%C3%B8r-Varanger/Kirkenes/detailed_statistics.html

OldList. *Rocky Mountain Tree-Ring Research* [online]. 2013 [cit. 2015-08-02]. Dostupné z: <http://www.rmtrr.org/oldlist.htm>

10 Přílohy

vzorek	stat. veličina	lumen	lumen e. d.	lumen l. d.	stěny	stěny j. d.	stěny l. d.	počet b.	počet b. j. d.	počet b. l. d.	šířka	šířka j. d.	šířka l. d.
1	průměr	115,7	155,2	73,9	8,6	7,2	9,7	20,4	9,4	11,0	349,7	188,5	161,2
	sm. odch.	19,4	19,9	13,6	1,7	1,3	2,1	5,2	3,4	5,0	99,6	66,6	87,9
	šikmost	0,3	0,2	-0,1	0,9	0,6	0,9	0,4	0,6	0,9	0,3	0,4	0,7
	špičatost	-0,7	-0,1	-0,3	1,0	0,6	0,8	-0,1	0,4	0,9	-0,3	0,1	0,1
2	průměr	180,9	217,3	75,4	22,1	24,1	15,9	25,9	18,7	7,2	498,8	414,7	84,1
	sm. odch.	34,9	39,3	22,5	2,2	2,2	2,8	8,4	7,3	3,1	196,2	183,4	48,2
	šikmost	-0,3	-0,2	2,0	0,1	0,1	0,3	0,2	0,5	0,8	0,4	0,7	1,2
	špičatost	-0,4	-0,2	6,7	-0,4	-0,2	0,6	-0,3	0,3	0,2	-0,4	0,2	1,8
3	průměr	192,2	224,5	76,4	5,1	4,7	6,4	17,9	13,0	4,8	306,1	256,9	49,1
	sm. odch.	56,0	65,7	18,1	0,8	0,9	1,1	6,3	5,2	1,9	117,2	107,2	24,2
	šikmost	-0,1	-0,2	-0,2	0,3	0,3	0,2	0,2	0,1	0,8	-0,2	-0,1	0,8
	špičatost	-0,7	-0,7	-0,2	0,5	0,3	0,0	0,4	0,2	0,2	-0,2	-0,4	0,1
4	průměr	132,5	183,1	65,1	7,4	6,1	8,9	20,6	10,0	10,6	343,6	210,4	133,1
	sm. odch.	30,5	38,0	17,0	2,2	1,5	2,9	10,9	4,4	7,9	188,5	93,6	124,4
	šikmost	-0,3	-0,2	0,5	2,0	0,8	1,1	2,2	0,9	3,2	2,0	0,9	3,3
	špičatost	-0,3	-0,5	-0,6	7,9	0,9	2,2	7,8	1,3	14,6	5,9	0,9	14,8
5	průměr	279,4	335,5	113,0	7,0	6,6	7,5	21,3	15,3	6,0	502,7	430,9	71,8
	sm. odch.	152,1	166,1	49,7	2,1	2,3	2,4	11,7	10,4	2,8	339,9	322,7	42,8
	šikmost	0,5	0,6	1,0	0,0	-0,2	0,3	0,1	0,4	0,9	0,3	0,4	1,1
	špičatost	-0,9	-0,8	0,5	-0,9	-1,1	-0,2	-0,6	-0,2	1,0	-0,7	-0,6	1,1
6	průměr	418,7	493,1	134,7	6,8	6,7	7,1	27,1	21,3	5,8	735,1	656,6	78,6
	sm. odch.	70,5	73,2	33,4	1,0	0,9	1,9	9,3	8,5	2,0	277,6	268,0	37,7
	šikmost	0,2	0,4	0,5	0,5	-0,3	2,6	0,6	0,6	1,4	0,3	0,4	1,7
	špičatost	-0,5	-0,4	-0,3	0,6	-0,4	12,4	0,5	0,6	2,6	0,1	0,0	4,4
7	průměr	185,7	230,9	77,8	7,0	6,3	8,5	26,5	17,5	9,1	523,6	412,7	110,9
	sm. odch.	47,8	54,6	24,7	1,5	1,3	2,3	13,0	10,3	4,5	278,6	246,0	72,7
	šikmost	-0,9	-1,0	0,8	0,2	-0,8	0,9	0,2	0,8	0,9	0,3	0,6	1,6
	špičatost	0,5	0,8	2,9	1,9	2,0	1,1	-0,2	0,7	1,5	-0,4	0,2	3,7
8	průměr	102,4	130,8	53,1	7,7	6,6	9,4	21,7	11,4	10,3	359,5	222,4	137,1
	sm. odch.	23,47	33,74	19,6	1,5	1,5	1,9	14,1	8,3	9,0	274,3	166,6	172,4
	šikmost	-0,14	0,137	0,6	0,1	0,1	0,1	0,8	1,4	1,9	1,0	1,2	2,7
	špičatost	-0,54	-0,69	-0,0	2,0	1,7	0,1	-0,1	2,4	4,42	0,9	0,9	10,3
průměr	průměr	178,6	218,9	74,4	8,0	7,6	8,1	20,2	13,0	7,2	402,1	310,3	91,8
	sm. odch.	118,2	136,9	37,4	5,9	6,6	4,1	8,2	6,3	3,5	201,3	189,6	49,8
	šikmost	0,8	0,7	-0,4	1,8	2,3	-0,2	-2,2	-0,9	-0,9	-0,5	0,3	-0,5
	špičatost	1,5	2,8	4,5	5,8	-0,5	8,1	8,6	2,7	6,7	7,8	-0,3	1,3

Příloha č. 1: Tabulka statistických charakteristik anatomických proměnných

11 Seznam obrázků

- Obr. 1: Mikroskopický snímek radiálního řezu jalovcem:
- Obr. 2: Mikroskopická stavba dřeva jehličnanů
- Obr. 3: Keř jalovce (*juniperus communis*)
- Obr. 4: Pozice místa odběru vzorků
- Obr. 5: Tektonická struktura severovýchodní části Baltského štítu
- Obr. 6: Klimadiagram pro Vardø, Kirkenes a pro místo odběru
- Obr. 7: Průběh průměrných teplot ve stanici Vardø od roku 1840
- Obr. 8: Mapa vegetace v oblasti
- Obr. 9: Změna polohy severní hranice borového a březového lesa na území severního Norska
- Obr. 10: Odběr disků z jalovce na stanovišti
- Obr. 11: Foto některých jedinců jalovce z místa odběru
- Obr. 12: GLS1-microtome
- Obr. 13: Příklad digitálních snímků mikrosekcí při přibližně stonásobném zvětšení
- Obr. 14: Standardní a reziduální chronologie jalovce
- Obr. 15: Počet vzorků, jejich průměrné kambiální stáří a parametr EPS chronologie
- Obr. 16: Srovnání studovaného úseku chronologie jalovce s chronologiemi borovice lesní (*Pinus sylvestris*) Briffy a Meriläinen a kol.
- Obr. 17: Korelace spolehlivé části hlavní chronologie se srážkami a s průměrnými, maximálními a minimálními měsíčními teplotami.
- Obr. 18: Vzorky vybrané pro anatomické analýzy – korelace ve spolehlivé části chronologie se srážkami a s průměrnými, maximálními a minimálními měsíčními teplotami.
- Obr. 19: odezvy spolehlivé části hlavní chronologie se srážkami a s průměrnými, maximálními a minimálními měsíčními teplotami.
- Obr. 20: Klouz. korel. a odezvy chron. jalovce s měs. prům. t od roku 1901 do roku 2013
- Obr. 21: Klouz. kor. a odezvy chron. jalovce s měs. prům. max. den. t od r. 1901 do r. 2013
- Obr. 22: Klouz. kor. a odezvy chron. jalovce s měs. prům. min. den. t od r. 1901 do r. 2013
- Obr. 23: Klouz. kor. a odezvy chron. jalovce s úhrny měs. srážek od r. 1901 do r. 2013
- Obr. 24: Chronologie plochy lumen tracheid
- Obr. 25: Chronologie šířky buněčné stěny
- Obr. 26: Chronologie počtu buněk v řadě
- Obr. 27: Chronologie šířek letokruhů (jejich částí)

- Obr. 28: Srovnání průběhů chronologií anatomických parametrů pro celý letokruh
- Obr. 29: Srovnání průběhu hlav. chron. šířek letokruhů s chron. vytvořenou z vybr. 8 vzorků
- Obr. 30: Klouzavá korelace a odezva chronologie plochy lumen na průměrné měsíční teploty
- Obr. 31: Klouz. kor. a odezva chronologie plochy lumen v jar. dřevě na prům. měs. teploty
- Obr. 32: Klouz. kor. a odezva chronologie plochy lumen v let. dřevě na prům. měs. teploty
- Obr. 33: Klouz. kor. a odezva chronologie šířky buněčných stěn na průměrné měsíční teploty
- Obr. 34: Klouz. kor. a odezva chronologie šířky bun. stěn v jar. dřevě na prům. měs. teploty
- Obr. 35: Klouz. kor. a odezva chron. šířky bun. stěn v letním dřevě na prům. měs. teploty
- Obr. 36: Klouz. korelace a odezva chronologie počtu buněk v řadě na prům. měsíční teploty
- Obr. 37: Klouz. kor. a odezva chronologie počtu b. v řadě v jar. dřevě na prům. měs. teploty
- Obr. 38: Klouz. kor. a odezva chronologie počtu b. v řadě v let. dřevě na prům. měs. teploty
- Obr. 39: Klouzavá kor. a odezva chronologie šířky letokruhu na průměrné měsíční teploty
- Obr. 40: Klouzavá kor. a odezva chronologie šířky jarního dřeva na prům. měsíční teploty
- Obr. 41: Klouzavá korelace a odezva chronologie šířky letního dřeva na prům. měsíční teploty
- Obr. 42: Korelace proměnné PCA1 s měsíčními klimatickými charakteristikami
- Obr. 43: Korelace proměnné PCA2 s měsíčními klimatickými charakteristikami
- Obr. 44: Korelace proměnné PCA3 s měsíčními klimatickými charakteristikami
- Obr. 45: Korelace proměnné PCA4 s měsíčními klimatickými charakteristikami

12 Seznam tabulek

Tab. 1: Systematické zařazení jalovce

Tab. 2: Základní popisné charakteristiky chronologie

Tab. 3: Hodnota koeficientu determinace (R^2) lineárního trendu jednotlivých řad anatomických parametrů

Tab. 4: Směrnice lineárního trendu

Tabulka 5: Statisticky významné korelace společné pro všech 8 vzorků

Tabulka 6: Korelace průměrných chronologií buněčných parametrů s průměrnými teplotami

Tabulka 7: Odezva prům. chronologií buněčných parametrů na průměrné měsíční teploty

Tabulka 8: Korelace prům. chronologií b. parametrů s průměrnými maximálními teplotami

Tabulka 9: Odezva. prům. chronologií b. parametrů na průměrné maximální teploty Tabulka

10: Korelace prům. chronologií b. parametrů průměrnými minimálními teplotami

Tabulka 11: Odezva. prům. chronologií b. parametrů na průměrné minimální teploty

Tabulka 12: Korelace prům. chronologií b. parametrů s měsíčními úhrny srážek

Tabulka 13: Odezva. prům. chron. b. parametrů na řadami min. měsíčních teplot

Tabulka 14: Zátěže anatomických proměnných na osách PCA