

PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA UNIVERZITY KARLOVY
katedra fyzické geografie a geoekologie

**LETOKRUHOVÁ CHRONOLOGIE SMRKU
PRO VÝCHODNÍ KRKONOŠE**
(diplomová práce)

Bc. Martin Janda
vedoucí práce: Mgr. Václav Tremel, Ph.D.
Praha 2008

Praha, 28.4. 2008

Prohlašuji, že jsem zadanou diplomovou práci vypracoval sám a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje.

Martin Janda

.....

ABSTRACT

Presented thesis is focused on the development of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) dendrochronologic standard for the high elevation zone of the Eastern Krkonoše Mts.. Samples were taken from individuals growing either in supramontane forest or in the treeline ecotone. Additional increment cores were sampled in old cottages and chalets. Various elements of roof constructions and timbering were the source of dendrochronologic material. Aim of the thesis was to develop long and reliable tree-ring chronology using standardisation techniques which retain also lower frequency climate variations.

Two standard tree-ring chronologies were developed – first using double detrending standardisation (DD, 1792-2006), second using regional curve standardisation (RCS, 1811-1970). Analyzed historic material significantly differs from tree-ring curves derived from standing trees, thus achieving the composite chronology was impossible. Cottage no. 9 in Svoboda nad Úpou is with its origin after AD 1711 outstanding among thirteen successfully dated historic buildings. Both RCS even DD chronologies retain lower frequency variations. DD chronology can be successfully used in events and some buildings dating. Response function analysis was made using monthly instrumental records from the Sněžka meteorological station. Growth of Norway spruce is more strongly related to mean summer temperature (June – August) than to other thermal and precipitation variables. More significantly correlating RCS chronology and more robust DD chronology were calibrated against that temperature record using simple scaling method. Resultant dendroclimatic reconstruction seems to be a good estimate of historical high elevation summer temperatures in the Eastern Krkonoše Mts..

PŘEDMLUVA

Předložená diplomová práce je výsledkem úsilí, které, ač nenavázalo přímo na bakalářskou práci, bylo naplňováno neméně zajímavou a rozmanitou činností. Zaměřil jsem se na oblast mne důvěrně známou, východní Krkonoše. Jde o region, který se zároveň vyznačuje dlouhou tradicí fyzickogeografického výzkumu. Práce na tuto tradici navazuje a snaží se ji obohatit uplatněním dendrochronologických přístupů. Velký podíl na tom mají níže uvedené osoby, kterým patří poděkování i za to, že se pro mě dendrochronologie stala víc než pouhou „povinností“.

Na prvním místě patří velký dík Václavu Tremlovi, který mě zasvětil do teoretických i praktických základů dendrochronologie a práci od začátku do konce vedl na diskuzním základu. Pavlu Klimešovi děkuji za pomoc ve výběru krkonošských chalup a bud pro odběr historických vzorků a konzultaci řady dalších problémů. Kromě něj děkuji také majitelům všech ostatních jedinečných stavení za umožnění přístupu a bezproblémového odběru vývrtů. Dále bych rád poděkoval Tomáši Kynclovi za zodpovězení závažných dendrochronologických otázek i poskytnutí smrkových standardů, Otakaru Schwarzovi za sdělení informací o nejstarších krkonošských smrkových porostech, Ivanu Sládkovi a Jiřímu Kastnerovi pak za pomoc při shánění klimatických dat a konzultaci některých klimatických aspektů práce. Poděkování směřuji také Správě Krkonošského národního parku za vydání povolení k výzkumné činnosti a IMGW ve Wrocławu za poskytnutí klimatických dat z meteorologické stanice na Sněžce. V neposlední řadě velice děkuji manželce a svým nejbližším, bez jejichž podpory a pomoci by zdárný průběh práce byl nemožný.

OBSAH

ABSTRACT	3
PŘEDMLUVA	4
OBSAH	5
1. ÚVOD	9
2. DENDROCHRONOLOGIE A DENDROKLIMATOLOGIE	11
2.1. VÝZNAM DENDROCHRONOLOGIE VE FYZICKÉ GEOGRAFII	11
2.2. TLOUŠŤKOVÝ RŮST – FYZIOLOGICKÝ ZÁKLAD	11
2.3. SBĚR A ZPRACOVÁNÍ DENDROCHRONOLOGICKÝCH DAT	12
2.3.1. ÚČEL DENDROCHRONOLOGICKÉ PRÁCE A JEHO SOUVISLOSTI	12
2.3.2. KŘÍŽOVÉ DATOVÁNÍ	13
2.3.3. ODDĚLENÍ CÍLOVÉHO SIGNÁLU OD ŠUMU, STANDARDIZACE	14
2.3.4. STANDARDNÍ CHRONOLOGIE A HODNOCENÍ JEJÍ SÍLY	19
2.3.5. PRVOTNÍ ANALÝZA LETOKRUHOVÉ CHRONOLOGIE	22
2.4. DENDROKLIMATICKÁ REKONSTRUKCE	22
2.4.1. RŮSTOVÁ ODEZVA NA KLIMA	23
2.4.2. KALIBRACE	25
2.4.3. VERIFIKACE	26
2.4.4. VLASTNÍ REKONSTRUKCE	27
2.5. ASPEKTY VYUŽITÍ HISTORICKÝCH VZORKŮ	27
3. MATERIÁL A METODY	29
3.1. STUDOVANÉ ÚZEMÍ	29
3.2. ODBĚR VZORKŮ	29
3.2.1. ODBĚR VZORKŮ ZE STOJÍCÍCH STROMŮ	29
3.2.2. ODBĚR VZORKŮ Z DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ CHALUP A BUD	30
3.3. PŘEVOD NA KŘIVKY LETOKRUHOVÝCH SÉRIÍ	31
3.4. DATOVÁNÍ	31
3.5. POSOUZENÍ HISTORICKÝCH DAT	32
3.6. TVORBA STANDARDNÍ CHRONOLOGIE	33
3.7. ANALÝZA SIGNATUR („POINTER VALUES“)	34
3.8. ANALÝZA FUNKCE ODEZVY	34
3.9. DENDROKLIMATICKÁ KALIBRACE A VERIFIKACE	36

3.10. DENDROKLIMATICKÁ REKONSTRUKCE A POROVNÁNÍ SE STŘEDOEVROPSKÝMI ZÁZNAMY	37
<u>4. VÝSLEDKY</u>	<u>39</u>
4.1. DATOVÁNÍ	39
4.2. POSOUZENÍ HISTORICKÝCH DAT	40
4.3. STANDARDNÍ CHRONOLOGIE	41
4.4. ANALÝZA SIGNATUR („POINTER VALUES“)	45
4.5. ANALÝZA FUNKCE ODEZVY	48
4.6. KALIBRACE A VERIFIKACE	51
4.7. DENDROKLIMATICKÁ REKONSTRUKCE	54
4.8. POROVNÁNÍ REKONSTRUKCE SE STŘEDOEVROPSKÝMI ZÁZNAMY	56
<u>6. DISKUZE</u>	<u>60</u>
<u>7. ZÁVĚR</u>	<u>65</u>
<u>8. LITERATURA</u>	<u>67</u>

PŘÍLOHY

SEZNAM TABULEK UMÍSTĚNÝCH V TEXTU

Tab. 1. Popis zdrojů vytvořených standardních chronologií	42
Tab. 2. Základní charakteristika sérií tvořících standardní chronologie	43
Tab. 3. Základní statistická charakteristika standardních chronologie	43
Tab. 4. Signatury standardních chronologií a jejich možná klimatické vysvětlení	47
Tab. 5. Parametry kalibrace pomocí regresní analýzy	51
Tab. 6. Parametry kalibrace pomocí škálování	51
Tab. 7. Verifikační statistika regresních modelů založených na DD chronologii	51
Tab. 8. Verifikační statistika regresních modelů založených na RCS chronologii	52
Tab. 9. Verifikační statistika škálovacích modelů založených na DD chronologii	52
Tab. 10. Verifikační statistika škálovacích modelů založených na RCS chronologii	53
Tab. 11. Parametry definitivní kalibrace pomocí škálování	54
Tab. 12. Verifikační statistika definitivních modelů v kalibračním období	54
Tab. 13. Porovnání DD a RCS rekonstrukcí pro období 1811-1966	56
Tab. 14. Souhrn vztahů mezi rekonstruovanými a porovnávanými teplotními řadami	59

SEZNAM OBRÁZKŮ UMÍSTĚNÝCH V TEXTU

Obr. 1. Nejstarší smrk ztepilý (<i>Picea abies</i> (L.) Karst.) z lokality Střední hora, začátek růstu před rokem 1687	10
Obr. 2. Pruská meteorologická stanice na Sněžce (1900-1976)	35
Obr. 3. Polská meteorologická stanice na Sněžce (1976-)	35
Obr. 4. Ověření homogenity srážkoměrné pozorovací řady ze Sněžky (1888-2006)	36
Obr. 5. Přehled 132 odatovaných sérií dále uplatněných	39
Obr. 6. Porovnání průměrné šířky letokruhu a citlivosti vyjádřené aritmetickým průměrem a intervalem spolehlivosti na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ mezi soubory upravených sérií ze stojících stromů a historických sérií (a, b) a mezi soubory upravených sérií ze stojících stromů a sérií z bývalé České boudy (c, d)	41
Obr. 7. Biologické růstové populace	42
Obr. 8. Série „Hugershoffovy populace“ pro RCS standardizaci	42
Obr. 9. DD chronologie 1792-2006	44
Obr. 10. RCS chronologie 1811-1970	44
Obr. 11. Rozdíl indexových hodnot chronologií DD-RCS	44

Obr. 12. Plovoucí 30leté EPS standardních chronologií	44
Obr. 13. Signatury DD chronologie	46
Obr. 14. Signatury RCS chronologie	46
Obr. 15. Růstová odezva DD chronologie na teplotní proměnné	48
Obr. 16. Růstová odezva RCS chronologie na teplotní proměnné	49
Obr. 17. Růstová odezva DD a RCS chronologie na srážkové proměnné	49
Obr. 18. Plovoucí korelace mezi DD chronologií a průměrnou teplotou VI-VIII	50
Obr. 19. Plovoucí korelace mezi RCS chronologií a průměrnou teplotou VI-VIII	50
Obr. 20. Řada průměrných teplot VI-VIII rekonstruovaná na základě DD chronologie a zhlazená 5letým klouzavým průměrem	55
Obr. 21. Řada průměrných teplot VI-VIII rekonstruovaná na základě RCS chronologie a zhlazená 5letým klouzavým průměrem	55
Obr. 22. Plovoucí 11leté korelace mezi rekonstruovanými řadami (DD, RCS)	56
Obr. 23. Porovnání výsledných rekonstrukcí s výsledky dendroklimatické rekonstrukce ŠTĚPÁNKOVÉ (1996)	57
Obr. 24. Porovnání výsledných rekonstrukcí s evropskou teplotní řadou (LUTERBACHER et al. 2004)	57
Obr. 25. Porovnání výsledných rekonstrukcí s alpskými teplotními řadami	58
Obr. 26. Porovnání výsledných rekonstrukcí s instrumentálními teplotními řadami meteorologických stanic Kremsmünster a Hohenpeissenberg	58
Obr. 27. Porovnání výsledných rekonstrukcí s instrumentálními teplotními řadami meteorologických stanic Wrocław a Praha-Klementinum	59

1. ÚVOD

Vědní disciplíně dendrochronologii sice dávají výstižné pojmenování všeobecně známá, původně řecká slova, avšak její záběr v současné době jednoznačnosti jejich výkladu jistě neodpovídá. „Studium letokruhů za účelem datování událostí“ (BITVINSKAS cit. in DRÁPELA – ZACH 1995) je, při pohledu na nynější rozmanité spektrum předních světových publikací, definici dendrochronologie mnohem vzdálenější než Frittsovo pojetí (cit. in DRÁPELA – ZACH 1995). Podle něj je samotné datování letokruhů pouze jednou ze součástí dendrochronologie, zatímco celý obor je daleko širší a jsou do něj zahrnovány aplikační vazby na různé vědy, dávající vznik samostatným dendrochronologickým disciplínám. Dendrochronologie stojí na pomezí oborů rostlinné fyziologie, jež odkrývá podstatu tvorby letokruhů, rostlinné ekologie v nejširším slova smyslu, tedy s vazbou na přírodní vědy o teoretickém (dílčí disciplíny fyzické geografie) i praktickém (lesnické vědy) základu, statistiky, která umožňuje matematickou interpretaci a srozumitelné propojení poznatků fyziologie a ekologie dřevin, a v neposlední řadě i historických věd a stavitelství. Důkazem významné vazby na fyzickou geografii je orientace dílčích dendrochronologických disciplín, jako je dendroklimatologie, dendroekologie (v užším slova smyslu) a dendrogeomorfologie.

Regionální dendrochronologické standardy v České republice stále ještě nejsou propracovány, největší přízvi se proto těší klasická dendrochronologie zaměřená na sběr materiálu a datování. V horských regionech schází dostatečně spolehlivé datové základy, které jsou nezbytné pro konkrétně aplikované studium letokruhů. Například evropská síť teplotních rekonstrukcí na základě letokruhového přírůstu je značně koncentrovaná v oblasti Alp a dále Skandinávie, nedostatek chronologií v ostatních horských regionech snižuje její hodnotu (BÜNTGEN et al. 2007). Dostupné letokruhové chronologie smrku ztepilého dosud vytvořené v Krkonoších pochází z úzce vymezené oblasti, svahů Labského dolu (zdroj: <http://www.ngdc.noaa.gov>), a byly využity k interpretacím dendroekologickým (SANDER et al. 1995) a dendroklimatologickým (ŠTĚPÁNKOVÁ 1996).

Hlavním cílem diplomové práce je vytvoření co nejdelší a nejspolehlivější standardní chronologie smrku ztepilého (*Picea abies* (L.) Karst.) pro vysoké polohy při hranici lesa ve východních Krkonoších. Mezi dílčí cíle patří:

- zahrnutí historických dat, vzorků odebraných z konstrukcí starých bud a chalup, a vytvoření kompozitní standardní chronologie,
- určení stáří některých významných památek krkonošské architektury,
- zachycení dlouhodobějších klimatických výkyvů v chronologii aplikací odpovídajících standardizačních metod,
- ověření růstové odezvy na klima a její stability ve 20. století,
- dendroklimatická rekonstrukce teplot panujících ve vrcholových krkonošských polohách s využitím dlouhé řady horských meteorologických pozorování z vrcholu Sněžky.

Následující kapitola rešeršní formou pojednává o teoretických základech dendrochronologie a dendroklimatologie, uvádí z této oblasti výsledky aktuálních vědeckých bádání, a přirozeným způsobem tak naznačuje směřování ve vlastní práci.

Obr. 1. Nejstarší smrk ztepilý (*Picea abies* (L.) Karst.) z lokality Střední hora, začátek růstu před rokem 1687



Zdroj: autor

2. DENDROCHRONOLOGIE A DENDROKLIMATOLOGIE

2.1. VÝZNAM DENDROCHRONOLOGIE VE FYZICKÉ GEOGRAFII

Přímá pozorování dlouhodobých environmentálních změn jsou velmi řídká, a proto je nezbytné používat nepřímé indikátory – přírodní archivy uchovávající informace o přírodním prostředí dob minulých. Jedná se o sedimentární záznamy (marinní, lakustrinní, terestrické), geomorfologické jevy, speleotémy, vrstvy ledovcových štítů a ledovců a roční vrstvičky vytvářené činností živých organismů, zejména korály a rostlinami s druhotně tloušťnacími pletivy (BRADLEY 1999). Některé z těchto rostlin tvoří výrazně odlišené roční vrstvy dřeva – letokruhy. Co se týká spíše kratších časových měřítek, jsou právě letokruhy a jejich studium nejlépe propracovaným a nejdostupnějším zdrojem velmi přesných informací (VAGANOV – HUGHES – SHASHKIN 2006, PAULING – LUTERBACHER – WANNER 2003). Proces tvorby a diferenciacie buněk v meristémeh dřevin je ovlivňován celým souborem faktorů víceméně stálých (poloha, klima, půda) stejně jako proměnných (počasí, vlhkost v půdě, minerální výživa, konkurenční vztahy) až náhodných (vichřice, sesuvy, infekce a napadení). Letokruhy tak rozhodně nenesou jediný typ informace, a proto je pro co nejpřesnější interpretaci nezbytné rozvíjení dílčích disciplín dendrochronologie. SCHWEINGRUBER (1996) v souvislosti s tím uvádí několik témat a oblastí, ve kterých studium letokruhů nabývá obrovské důležitosti – dopad antropogenního znečištění v hustě obydlených oblastech či blízkosti zdrojů emisí, vliv environmentálních podmínek na stromový růst ve 20. století, letokruhy jako indikátory procesů nepříznivě ovlivňujících zdraví stromů, letokruhové vzorky jako záznamy stresové historie či globální dendroklimatologie.

2.2. TLOUŠŤKOVÝ RŮST – FYZIOLOGICKÝ ZÁKLAD

Základním předpokladem dendrochronologie je existence radiálního přírůstu a vlastnost stromů rostoucích v sezónním klimatu vytvářet jednoznačně oddělené a datovatelné vrstvy dřeva – letokruhy (MELVIN 2004, DRÁPELA – ZACH 1995). Růst se děje činností dělivého pletiva kambia, z jehož buněk se směrem dovnitř, do dřene, vytváří nová dřevní hmota (směrem ven pak nová vrstva borky). Jestliže je prvním typem cyklické aktivity kambia střídání období růstu a období klidu, pak dále v hierarchii stojí tvorba relativně širokých, tenkostěnných buněk v první části vegetačního období (jarní či časné dřevo) a v části druhé naopak relativně úzkých, tlustostěnných buněk (letní či pozdní dřevo). Z jen nejhruběji nastíněné podstaty růstu a jeho faktorů vyplývá, že kromě klasické veličiny, kterou

je šířka letokruhu, lze zjišťovat i jiné letokruhové parametry rázu obecného (např. maximální hustota pozdního dřeva, detailní parametry zjistitelné morfometrickou analýzou tracheidogramů) či specifického (jizvy, traumatické kanálky, stresem vyvolané ostatní strukturní změny pletiv) (COOK – KAIRIUKSTIS 1990). V souvislosti s tím je na místě poznámka – v celé kapitole 2 se rozumí letokruhovou proměnnou šířka letokruhu (pokud v ojedinělých případech ne, je to výslovně uvedeno).

Nejlépe rozeznatelná hranice letokruhu je na vzorcích z jehličnanů, o něco hůře lze poznat letokruhy kruhovitě pórovitých listnáčů (např. dub, jasan) a již velmi obtížné je rozlišení růstových vrstviček u roztroušeně pórovitých listnáčů (např. buk, bříza, javor, lípa) (DRÁPELA – ZACH 1995).

Smrk ztepilý ve vyšších polohách střední Evropy vykazuje první tloušťkový přírůst začátkem května, ke kulminaci dochází v průběhu měsíce července, o měsíc později je přírůst již minimální, a končí v září (KAMLEROVÁ – SCHEJBALOVÁ 2006). Z oblasti extrémních podmínek růstu, horní hranice lesa v rakouských Alpách, uvádí GINDL (1999), že na počátku srpna je dosaženo ve smrku až 90% ročního tloušťkového přírůstu.

2.3. SBĚR A ZPRACOVÁNÍ DENDROCHRONOLOGICKÝCH DAT

2.3.1. Účel dendrochronologické práce a jeho souvislosti

Snad v každé dendrochronologické práci je poukázáno na významnost počátečních rozhodnutí autora. Těmi jsou volba regionu, místa, druhu a konkrétních stromů (COOK – KAIRIUKSTIS 1990). V tomto stylu pokračuje LA MARCHE et al. (cit. in COOK – KAIRIUKSTIS 1990) – „autor přitom uplatňuje své zkušenosti a zohledňuje účel práce ... výsledná přesnost či nepřesnost, například co se týká kvality letokruhové chronologie, je pak obrazem zejména těchto skutečností“.

Pro vybraný úkol, který většinou sleduje jen jeden z významných faktorů růstu, je třeba volit odpovídající místo (region). V případě snahy o dlouhou a klimaticky (teplotně) citlivou standardní chronologii jím jsou horské oblasti, zejména v okolí horní hranice lesa. V podstatě jen zde zbyly ekosystémy s přirozeným vývojovým cyklem (VACEK et al. 2006), proto lze jedince porostů ve stadiu optima až rozpadu považovat za možný zdroj nejdelších letokruhových vzorků. Jedná se také o typ území, kde rostou stromy na klimatické hranici svého rozšíření, a kde tedy klimatické veličiny, v tomto případně teplota ve vegetačním období, vysoce podmiňují variabilitu letokruhů (COOK – KAIRIUKSTIS 1990, KÖRNER 1999). TESSIER et al. (1997) potvrzuje, že většina nejdelších chronologií založených na živých

stromech a použitých pro rekonstruování klimatu pochází ze stromů rostoucích blízko hranice lesa. Současně je ale nezbytné uvědomit si ty z vlastností horských oblastí, které potenciálně přináší problémy práci dendroklimatologa. Jsou jimi rychlé změny ekologických podmínek na krátké vzdálenosti, podobně proměnlivé klima (mikro/mezo měřítko) i nedostatky technického rázu (nedostatek meteorologických stanic, krátké záznamy). Zároveň je v těchto oblastech morfologie letokruhů silně poznamenána extrémními podmínkami, častým jevem je silná výstřednost či chybějící letokruhy (SCHWEINGRUBER 1996).

Místo pro odběr dendrochronologických dat by mělo být, v souvislosti s přesně specifikovaným cílem výzkumu, vždy co nejhomogennější. To platí jak pro „ideální“ případy, kdy výzkum probíhá v jediné konkrétní lokalitě, kde je nejsnazší zachycení jedné populace (→homogenita), tak (a zejména) pro mnohem častější případy složitějších dendrochronologických studií, kdy je třeba pro odběr dostatečně vysokého počtu vzorků nutno vyhledat a využít více lokalit, stanovišť. Stejnorodost napříč stanovišti znamená stejnou vývojovou historii, v přeneseném významu odpovídající si sociální postavení využívaných stromů. Pro dendroklimatologii, tedy získání společného klimatického signálu, jsou klíčoví dominantní či kodominantní jedinci mezernatých porostů, čímž je zaručen minimální vliv kompetice (COOK – KAIRIUKSTIS 1990).

Význačným parametrem každé chronologie je druh, který ji tvoří. Je třeba posoudit několik aspektů – od rozlišitelnosti letokruhů přes „dostatečnou“ dlouhověkost a citlivost ke studovanému faktoru až k samotné regionální dostupnosti. V mnoha případech jednoznačné umístění výzkumné lokality předurčí cílený druh bez možnosti dalších úprav. Na dendrochronologicky nejtradičnějších územích Eurasie a severní Ameriky tvoří chronologie druhy rodů *Pinus*, *Picea*, *Larix*, *Quercus* či *Pseudotsuga*. Klimaticky nejcitlivějším druhem východní polokoule je taxon *Larix* (COOK – KAIRIUKSTIS 1990). Horské chronologie ke klimatickým rekonstrukcím v širším středoevropském prostoru stojí hlavně na družích *Picea abies*, *Larix decidua*, *Pinus cembra* a *Abies alba* (FRANK – ESPER 2005a).

2.3.2. Křížové datování

Po odběru dendrochronologického materiálu a jeho základním zpracování do matematicky uchopitelné podoby křivek letokruhových sérií (blíže v kapitole 3) nastává fáze, kdy dendrochronolog přiřazuje každému letokruhu kalendářní rok vzniku a při této práci si vypomáhá vzájemným srovnáváním jednotlivých sérií – proto se hovoří o křížovém datování („crossdating“). Uplatnění křížového datování po fázi měření vzorků odpovídá zákonitostem

evropské dendrochronologické školy, na rozdíl od amerického směru, kde se vzorky datují ještě před měřením a který vychází od A.E. Douglassa, původně astronoma považovaného za zakladatele dendrochronologie (COOK – KAIRIUKSTIS 1990). Jako výrazný opěrný bod pro datování často slouží dřívější regionálně příslušné standardní chronologie (samozřejmě pro druh totožný se zpracovávaným) a více či méně přesné záznamy nejvýznamnějších faktorů letokruhového přírůstu. Mezi další obecná doporučení patří i alespoň přibližná znalost stáří vzorku, zvláště ocenitelná při datování historických materiálů. Zkušenosti z mnoha laboratoří ukazují, že spolehlivé křížové datování je možné při délce letokruhové sekvence minimálně 40 let. Je třeba přitom nespolehat jen na práci počítače; ač přináší subjektivní pohled, je vlastní práce dendrochronologa nezbytná, jak výstižně uvádí opět COOK – KAIRIUKSTIS (1990):

„Je snadné měřit délku letokruhů a používat počítač také ke křížovému datování, aniž bychom provedli vizuální kontrolu letokruhu a datování – toto ale není dendrochronologie.“

Nejčastějším problémem při přesném datování letokruhových sérií je výskyt anomálních (falešné, zdvojené) letokruhů, popřípadě „výskyt“ letokruhů chybějících. V takových situacích jsou zkušenosti dendrochronologa dvojnásob cenné. Při požadavku na zjištění přesného stáří stromu je třeba dále uvažovat neúplnost vzorků (→extrapolace směrem do dřene) a odhadnout dobu růstu k dosažení výšky odběru vzorku (SCHWEINGRUBER 1996).

2.3.3. Oddělení cílového signálu od šumu, standardizace

Fyziologický princip letokruhového přírůstu výstižně přenesl do matematické roviny Cook svojí koncepcí lineárního složeného modelu (COOK 1985). Ten považuje jakoukoliv letokruhovou sérii za lineární agregát několika neznámých subsérií faktorů růstu. Hodnota šířky jakéhokoliv letokruhu je potom vyjádřena následovně:

$$R_t = A_t + C_t + \delta DI_t + \delta D2_t + E_t,$$

kde:

A_t ... složka letokruhu daná věkovým trendem růstu (stárnutím)

C_t ... složka letokruhu daná obecným = klimatickým ovlivněním růstu

DI_t ... složka letokruhu daná jedinečným, endogenním ovlivněním růstu

$D2_t$... složka letokruhu daná stanovištním, exogenním ovlivněním růstu

(δ ... binární indikátor absence/prezence)

E_t ... složka letokruhu daná náhodnými odchylkami růstu, nevysvětlenými předchozími faktory růstu

Účelem dendrochronologické práce je zpravidla dopracovat se ke konkrétní podobě (průběhu) jednoho z faktorů růstu. Ostatní faktory se narozdíl od cílového signálu považují za šum. Jelikož se šum obecně významnou měrou podílí na formování původních letokruhových hodnot, jeho minimalizace je jedním z více nelehkých úkolů dendrochronologie. Tato práce stojí nejbližší dendroklimatologické disciplíně, a proto bude dále pojednáno o odstranění dílčích složek šumu v souvislosti s extrahováním souhrnného klimatického signálu:

○ A_t

Každá letokruhová série je v celé své délce ovlivněna věkově podmíněnou modifikací růstu, tj. zejména ztenčováním letokruhů s narůstajícím stářím stromu. Věkový trend, označovaný také jako nízkofrekvenční šum (MELVIN 2004), je důsledkem jednak samotného principu stárnutí, jednak nutnosti pokrýt narůstající obvod „stále stejným“ množstvím kambia. Odhad a odstranění tohoto růstového trendu z letokruhových sérií je tradiční procedurou označovanou jako standardizace, popřípadě detrendování (má poněkud užší smysl než standardizace; viz kapitola 2.3.3.1.).

○ $DI_t, D2_t$

Prakticky neexistuje způsob, jak z již získané letokruhové série odečíst vliv těchto faktorů růstu – jedinou možností jejich minimálního podílu na šumu jsou podložená rozhodnutí dendrochronologa při sběru výchozího materiálu. Tak se například pro sběr volí dominantní jedinci, kteří netrpí na základě kompetičních vztahů (eliminace složky DI_t), nebo stanoviště, kde nedošlo ke známým kalamitám (eliminace složky $D2_t$).

○ E_t

Náhodné odchylky růstu už ze své podstaty jsou stálíci letokruhových sérií, jejich odstranění jako jediného faktoru je zcela nemožné, a vytváří šum i v těch jinak nejpropracovanějších chronologiích.

Na závěr je nezbytné dodat, že zprůměrování detrendovaných letokruhových sérií (sérií letokruhových indexů) při tvorbě standardní „místní“ chronologie přirozeným způsobem minimalizuje jedinečně či lokálně dosud existující odchylky růstu a podtrhuje uniformitu klimatického faktoru, jehož anomálie jsou společné prostorově rozsáhlým regionům (TESSIER et al. 1997).

2.3.3.1. STANDARDIZACE

Prvním a nejdůležitějším krokem standardizace je odhad věkového růstového trendu, jeho odstranění z letokruhové série je již rutinně (a nutno říci, že téměř bez výjimky počítačově) probíhající operací. Metodám stanovení věkového trendu (jednoduše standardizačním metodám) se v rozsáhlejších publikacích věnují obsáhlé rozборы (COOK – KAIRIUKSTIS 1990, MELVIN 2004), v dílčích studiích pak jsou vyzdviženy jejich hlavní vlastnosti vedoucí k jejich aplikaci či zamítnutí. Rozdělují se podle toho, zda umožní či neumožní vyjádřit variabilitu v časových měřítkách delších než jsou individuální letokruhové série – u metod přizpůsobujících se letokruhové křivce („curve-fitting“) výsledek nedokáže vyjádřit nízkofrekvenční variabilitu a naopak tomu je u těch nepřizpůsobujících se (MELVIN 2004).

Volbě metody standardizace tak musí předcházet jednoznačná definice zájmového signálu (BRIFFA et al. cit. in COOK – KAIRIUKSTIS, 1990). Prvně zmíněná skupina metod je tradiční a nejrozmanitější, je přijímáno její vnitřní dělení na metody deterministické a stochastické (COOK – KAIRIUKSTIS 1990). Druhá skupina je sice málo početná, opírá se zejména o metodu RCS, ale v současnosti nejvíce diskutovaná v souvislosti se schopností uchovat ve výsledných chronologiích chod dlouhodobých klimatických oscilací (ESPER et al. 2003, MELVIN 2004).

Metody přizpůsobující se letokruhové křivce

Aplikace těchto metod probíhá v následujících krocích (COOK – KAIRIUKSTIS 1990, MELVIN 2004): (1) pro každý strom (vzorek) je odhadnuta křivka růstového trendu vztaženého k věku (neboli očekávaná růstová křivka = křivka růstu při uplatnění průměrných podmínek), (2) hodnoty tohoto nízkofrekvenčního šumu jsou odstraněny z naměřených hodnot vypočtením letokruhových indexů; index je, při respektování nestacionarity původních sérií (lokální rozptyl je proporční vůči lokálnímu průměru) a snaze o její nápravu, vypočítán jako podíl skutečně naměřené hodnoty (šířky) letokruhu a odpovídající očekávané hodnoty, série letokruhových indexů je pak stacionární (průměr série blízký hodnotě 1,0 a nezávislý, relativně konstantní rozptyl) a (3) vhodná k tomu, aby byla s dalšími zprůměrována do podoby indexů průměrné, standardní chronologie, čímž je navíc minimalizován vysokofrekvenční šum.

Letokruhové indexy získané aplikací rozdílu při své podstatě podávají zkreslené informace, východiskem je uplatnění „power“ transformace na původních sériích (COOK – PETERS cit. in ESPER et al. 2003), která stabilizuje rozptyl, a umožňuje tak výpočet

reziduálních indexů v přirozených, stacionárních sériích. Faktor volby mezi dvěma vhodnými metodami kalkulace indexů představují např. FRANK – ESPER – COOK (2006) – u dlouho žijících stromů s úzkými letokruhy by užití podílu znamenalo znehodnocení výsledných křivek (na druhou stranu lze aplikací reziduálů očekávat vyšší potřebu stabilizace rozptylu).

V časných obdobích dendrochronologie probíhal odhad očekávané růstové křivky velmi jednoduše – graficky od oka byl zhlazen průběh naměřených hodnot (DOUGLASS cit. in MELVIN 2004). Od doby počítačových aplikací probíhá vše dokonaleji – *s t o c h a s t i c k é* („data-adaptive“) metody vytváří očekávané růstové křivky uplatněním *nízkofrekvenčních digitálních filtrů* (symetrický filtr s lichým počtem vstupních hodnot posouvající se podél série, tedy v podstatě klouzavý vážený průměr), *kubických zhlazujících splinů* (jednostranný, sahající do minulosti, kauzální filtr s váhovým faktorem α , fyziologicky přesnější), popřípadě *koridorového* přístupu nebo *diferencování* na původních datech. Podobně pro každý vzorek zvlášť, ale s využitím a priori definovaných lineárních i nelineárních matematických funkcí, jež jsou na základě metody nejmenších čtverců „ukotveny“ ke každé sérii (funkce je regresní), umožňují odhad věkového růstového trendu *d e t e r m i n i s t i c k é* metody. Zde je často používanou metodou *Hugershoffova metoda*, kde dendrochronolog volí z hierarchie nejtypičtějších funkcí tu nejprizpůsobenější dané letokruhové křivce (první je tzv. Hugershoffova funkce = negativní exponenciála s počátečním nárůstem). Zmínit zbývá s l o ž e n ý standardizační postup, *dvojitě detrendování*, kdy nejprve proběhne standardizace deterministickou metodou (nejčastěji negativní exponenciála), následována kubickým (nízkofrekvenčním) zhlazením sérií indexů. Považuje se za metodu z této skupiny s nejvyšším potenciálem pro zachování nízkofrekvenčních oscilací (LUCKMAN cit. in TESSIER et al. 1997, BRÁZDIL et al. 2002).

Zmíněný podstatný nedostatek této skupiny metod, nemožnost zachytit nízkofrekvenční variabilitu, má dvě příčiny. Zaprvé se hovoří doslova o „kletbě délky série“ („segment length curse“) – stromy, ač rostou za různě příznivých klimatických podmínek, mají ve výsledku shodný průměr indexů, a perioda dlouhodobých oscilací chronologie je automaticky zkrácena na průměrnou hodnotu délky dílčích sérií. Zadruhé samotná podstata stochastických i deterministických metod, snaha o co nejpresnější proložení funkce časovou řadou, ještě dále zvyšuje frekvenci nejdelších trendových výkyvů. Dříve bylo toto omezení řešeno konstrukcí chronologií pouze z nejstarších dostupných stromů, v současnosti bývá řešením, i když ne dokonalým, použití standardizačních metod založených na regionální křivce věkového růstového trendu (MELVIN 2004).

Metoda RCS

Návrh k eliminaci výše uvedených nedostatků podal již v roce 1967 Mitchell, avšak rozhodujícím impulsem pro zařazení standardizace pomocí regionální křivky (RCS), jako metody minimálně rovnocenné vůči ostatním, klasickým metodám, do dendrochronologické praxe byla práce Briffy a kolektivu z roku 1992 (MELVIN 2004). Ještě COOK - KAIRIUKSTIS (1990) tuto metodu nedoporučují pro dendroklimatické studie a řadí ji pouze mezi ostatní metody. Nezávislost křivky průměrného růstu je významnou odpovědí na principiální omezení standardizačních metod přizpůsobujících se letokruhovému křivce. Konkrétní hodnota očekávaného růstového trendu je průměrem šířek letokruhů všech stromů z dané lokality či regionu pro odpovídající si konkrétní stáří letokruhu. Jednotlivé, jednotně věkově usazené série kolektivně popisují změny růstu s věkem pro daný druh, místo či region (ESPER et al. 2003). Ukázalo se, že při výpočtu regionální křivky je statisticky nevýznamnou chybou přiřazovat počátkům jednotlivých sérií stáří 1 rok (ESPER et al. 2003, WILSON et al. 2004) – dendrochronolog je tak ušetřen řešení problému velmi četné výstřednosti vývrtů. Definitivní regionální křivka, jako produkt dvojitého váženého průměru (ESPER et al. 2003), bývá ještě výsledkem zhlazení vhodnou matematickou funkcí. Série indexů, počítaných nejčastěji pomocí podílu individuální hodnoty a věkově si odpovídající průměrné, regionální hodnoty, má dlouhodobý trend, aritmetický průměr uvnitř série i napříč sériemi je jedinečně proměnný, a výsledná chronologie, tvořená identicky jako u předchozích metod, tak může být nositelem dlouhodobé variability v časových měřítcích i přesahujících délku chronologie (COOK et al. cit. in MELVIN 2004). WILSON et al. (2004) při tvorbě kompozitní smrkové chronologie ověřili, že RCS metoda je schopna zachytit nízkofrekvenční trendy i při zahrnutí sérií kratších 50 let. Co se týká indexové kalkulační metody, ESPER et al. (2003) nefavorizují žádnou a naopak doporučují vyzkoušet jak poměry, tak reziduály bez i s „power“ transformací.

Proti velmi hodnotnému kladu popisované metody však, bohužel, stojí vícero ne nepodstatných omezení. MELVIN (2004) kromě nich uvádí i návrhy k jejich odstranění, za nejvýznamnější považují:

- Průměrný růstový trend (regionální křivka) není se 100% jistotou obrazem stárnutí stromu, je logicky znehodnocen obecným (klimatickým) řízením růstu jednotlivých sérií. ⇒ MELVIN (2004) představuje úpravu založenou na použití křivek „bez signálu“, jinak se náprava spatřuje v rovnoměrnosti rozložení vzorků po časové ose (ESPER, et al. 2007), kdy je největší šance na vzájemné vyrušení klimaticky příznivých a nepříznivých období.

- Systematickou chybu generuje v chronologiích RCS metoda vyhodnocující vzorky odebrané v průběhu jednoho období, což je téměř ve všech případech. Výstižně se tento problém nazývá „chyba plynoucí z převahy současných vzorků“ („modern sample bias“), kdy je, klimaticky příznivé, období nedávné až současné zastoupeno prakticky ve všech věkových třídách letokruhových sérií a jeho vliv v regionální křivce, díky snižujícímu se pokrytí času staršími třídami, roste směrem k vyššímu věku. V chronologii jsou pak předcházející období podhodnocena (nepřirozený vzestupný trend je zmírněn určitou tendencí k průměrnosti nejmodernějšího období). ⇒ MELVIN (2004) navrhuje jako východisko metodu BFM („nejlépe sedící průměry“), která počítá průměr až po vzájemném hodnotovém přiblížení sérií. Vzhledem k tomu, že se jedná v podstatě jen o rozvedení prvního problému, je řešením dodržování alespoň přibližné vyrovnanosti časového rozptýlení všech, tedy i nejstarších, věkových kategorií.
- Přes propracovanou strategii odběru dendrochronologických vzorků obsahují jednotlivé série obtížně vysvětlitelnou nejen vysoko-, ale i nízkofrekvenční variabilitu. Tím je narušena jistota průměrné křivky jako nástroje pro odečítání obecného (→ klimatického) řídicího signálu. ⇒ Logickým řešením je maximalizace počtu letokruhových sérií – ve statisticky kvalitním a koherentním souboru je minimem pro stabilní chronologii 40 sérií (ESPER et al. 2003); navržená metoda BFM umožňuje snížit objem dat.

Nezbytnou podmínkou uplatnění RCS metody je příslušnost všech vzorků k jednotné „biologické růstové populaci“ bez výjimky, tedy napříč všemi časovými obdobími (ESPER et al. 2003).

MELVIN (2004) zároveň představuje nově vyvinuté metody standardizace, blízké originální RCS a zahrnující výše uvedená zlepšení (MRCS, SARCS), popřípadě zcela samostatné a s propracovaným fyziologickým základem (PBS). Detrendovací metoda RCS je někdy označována za složenou, stejně je tomu i u metody Age-Banding (BRIFFA et al. cit. in ESPER et al. 2007) s podobnými vlastnostmi.

2.3.4. Standardní chronologie a hodnocení její síly

O standardní chronologii se jednoduše hovoří jako o chronologii průměrné, v případě jedinečné lokalizace jako o chronologii místní (stanovištní). Logika zprůměrování dílčích sérií do jediné byla popsána již v předchozích kapitolách. Nástrojem koncentrujícím obecný signál je tradičně *aritmetický průměr* nebo *dvojitý vážený robustní průměr* („biweight robust

mean“). Posledně jmenovaný omezuje vliv extrémních hodnot ve výpočtu a je primárně určený pro chronologie ze zapojeného lesa. Pokud se výrazné (disturbanční) extrémy nevyskytují, postačí uplatnění aritmetického průměru (COOK – KAIRIUKSTIS 1990). V praxi je však tento postup poměrně ojedinělý (BRIFFA et al. 1998c).

Síla (spolehlivost) standardní chronologie (→klimatického signálu) je v podstatě mírou komplexní podobnosti jednotlivých komponent. Pro produkci robustní průměrné chronologie je třeba obecně více sérií letokruhových šířek než sérií maximální hustoty dřeva, důvod spočívá v jejich vyšší variabilitě (WILSON – LUCKMAN 2003). Již jeden z klasiků dendrochronologie, SCHULMAN (cit. in COOK – KAIRIUKSTIS 1990), popsal problém výrazného nárůstu směrodatné odchylky kolem průměrné hodnoty chronologie v souvislosti se snížením počtu vzorků, běžně k tomu dochází již při počtu 5 až 10 dílčích sérií. Je na místě popsat dvě obecné primární statistické charakteristiky takto málo replikovaných období. Pokud zahrnují vzorky z různých lokalit, nastává při relativně nízkých hodnotách průměrné mezisériové korelace právě nárůst rozptylu (směrodatné odchylky) kolem průměru. Pokud zahrnují vzorky z jedné lokality (což je v případě nejstarších stromů časté), nastává při relativně vysokých hodnotách průměrné mezisériové korelace nárůst amplitudy oscilací a naopak snížení vzájemné variability. V prvním případě má část chronologie nízkou spolehlivost (dále popsáno), a tak je vhodné ji oříznout; ve druhém případě je dobré učinit totéž, jelikož existující vysoká spolehlivost není při pokrytí jediným místem „oprávněná“. Z toho přeneseně vyplývá nemožnost vytvořit perfektní indikátor kvality chronologií zahrnující změnu statistické významnosti se změnou počtu vzorků. ESPER et al. (2003) ve své modelové studii označují 5 až 6 vzorků během některých (počátečních) period, což je nejčastěji aplikovaná mez pro provedení oříznutí, jako dostatečné množství pro produkci relativně robustního odhadu nízkofrekvenčního signálu.

Kolísavý průběh rozptylu uvnitř chronologií a tím způsobená modelace výsledných výkyvů pouze jako důsledek časových změn průměrné mezisériové korelace (a počtu vzorků) je důvod pro časté uplatnění procesu stabilizace variance při výpočtu chronologií (FRANK – ESPER – COOK 2006). Právě tito autoři na reálných datech ukázali, že vylepšená metoda stabilizace (nově zohledňující právě časové změny korelace) nepřináší eliminaci popisovaného jevu – proto dostačuje klasický postup (zabudovaný např. ve standardizačním programu ARSTAN) založený na průměrné mezisériové korelaci a kolísajícím počtu vzorků (OSBORN cit. in FRANK – ESPER – COOK 2006).

Nejpoužívanějším ukazatelem kvantifikujícím míru, do které je jednotný chronologický signál vyjádřen po zprůměrování všech sérií, je *vyjádřený populační signál*

EPS (Expressed Population Signal; WIGLEY et al. 1984). Základními komponentami je koeficient průměrné mezisériové korelace r (čím vyšší, tím chronologie bližší hypoteticky perfektní chronologii) a průměrný (průměr ze všech let) počet všech sérií t (totožný efekt). Vyjádření vzorcem –

$$EPS = r / [r+(1-r)/t]$$

– je převodem ukazatele SNR („poměr signálu k šumu“; $SNR = tr / (1-r)$) do jasně ohraničené koeficientové podoby ($EPS = SNR / 1+SNR$). Spodní mez statisticky akceptovatelné kvality chronologie je $EPS=0,85$ (WIGLEY et al. 1984). EPS je možno počítat jak pro celou chronologii, tak pro její určité úseky pomocí plovoucích korelačních oken (např. WILSON et al. 2004, WILSON – ELLING 2004, BÜNTGEN et al. 2005). WILSON – LUCKMAN (2003) konstatují, že průměrný počet stromů (*Picea engelmannii*) pro dílčí $EPS>0,85$ je 10. RCS chronologie obecně zahrnuje více šumu v porovnání s klasicky vyvinutými chronologiemi, jelikož zahrnutý korelační koeficient je zatížen spíše podobností meziročních oscilací, vyšší u klasicky detrendovaných chronologií (WILSON et al. 2004, ESPER et al. 2001). Dalším ukazatelem síly chronologie je *standardní chyba* (SE), jejímž základem jsou komponentní rozptyly z analýzy variance ANOVA. Zjednodušeným analogem počítání EPS po úsecích je parametr *SSS* (Subsample Signal Strength; WIGLEY et al. 1984). Obecně přijatelná maximálně 15% nejistota se promítá do kritické hodnoty *SSS*, jež je také 0,85. BÜNTGEN et al. (2006a) vypočítali kromě jiného také variační koeficient.

Prakticky všechny výše uvedené parametry spoléhají na korelační koeficient, z jehož statistických vlastností ale plyne omezení (ESPER et al. 2001). Již byla zmíněna jeho nižší citlivost vůči podobnostem nízkofrekvenčního rázu. Nejnověji byl vyvinut parametr *NET*, který je konstruován tak, že spolehlivost chronologie je známa pro její jednotlivé roky. Výpočet je následující: $NET_j = v_j + (1-G_j) \dots v_j$ – variační koeficient roku j , G_j – souběžnost (synchronní změna průběhu) v roce j . Parametr tak zohledňuje jak blízkost hodnot, tak trendovou podobnost. Minimální, ideálně dosažitelnou je hodnota 0, kritickou hodnotou naprosté nespolehlivosti je 1. Autorům se v článku podařilo na příkladu vyvrátit původně očekávanou obavu, že negativní signatury chronologie (nárůst variačního koeficientu) mohou vytvářet ve výsledcích určitou chybu (vyšší v_j je kompenzováno extrémně vysokou hodnotou G_j). Výhody parametru *NET*, jako možnost výpočtu pro jednotlivé roky, vyšší důraz na nízké frekvence a tvoření dvěma dostačujícími, nezávislými a jednoduchými komponentami (využívají např. BÜNTGEN et al. 2006a), se bohužel přímo nepromítají do nabídky ARSTANu.

2.3.5. Prvotní analýza letokruhové chronologie

Průměrné chronologie nebo i samostatné letokruhové série bývají předmětem analýzy zaměřené na extrémní hodnoty. Takový přístup není samozřejmě vyhrazen pouze pro dendroklimatologicky orientovanou činnost, a je víceméně na autorovi, jak bude vyhledané extrémy interpretovat. Na druhou stranu je třeba si uvědomit, že extrémní hodnoty standardní chronologie, která je vyjádřením klimatického působení, nemohou být interpretovány jinak než v souvislosti s extrémními klimatickými událostmi. Nejběžněji je popisovaným hodnotám přiřazováno označení „pointer years“. SCHWEINGRUBER (1996) upozorňuje na zmatky v různých označeních a odpovídajících definicích, a předkládá uspořádaný výklad těchto termínů, jimž v češtině obecně přísluší pojmenování signatura.

Pokud jsou při nezávislém posuzování jednotlivých vzorků shledány význačné letokruhy, nazývají se „event years“ (negativní – maximálně 40% hodnoty průměru předchozích pěti let) nebo „pointer years“, to však jen, když je středem zájmu celý soubor a extrémní hodnoty jsou přítomny v několika sériích (minimálně 20% vzorků, stromů). Naproti tomu „pointer values“ se nejčastěji odvozují již z průměrných křivek, překračují nebo klesají pod definované hraniční hodnoty. Přestože SCHWEINGRUBER (1996) upozorňuje na individuální definici v souvislosti s použitými statistickými metodami atd., je běžnou mezí dvojnásobek směrodatné odchylky po obou stranách průměru (např. HUGHES cit. in SCHWEINGRUBER 1996). Náhlá růstová změna znamená obecně posloupnost čtyř a více extrémních hodnot.

2.4. DENDROKLIMATICKÁ REKONSTRUKCE

Dostatečně robustní chronologie, jejichž tvorba splňuje požadavky na zdůraznění klimatického signálu, mohou být použity ke klimatickým rekonstrukcím. Nejjednodušší je samozřejmě jejich přímá interpretace, správnější je ale, pokud existuje statisticky významná a stabilní spojitost mezi danou charakteristikou letokruhů a určitou klimatickou proměnnou, převod letokruhové křivky na přímý průběh klimatické proměnné. Prediktorem je nejčastěji maximální hustota pozdního dřeva letokruhu nebo šířka letokruhu. Denzitometrie je jedna z nejspolehlivějších metod pro rekonstrukci letních teplot na severní polokouli, pro rekonstrukci srážek je naopak lepší šířka letokruhů (COOK – KAIRIUKSTIS 1990). Letokruhová data v podobě maximální hustoty pozdního dřeva jsou oproti klasické šířce letokruhů nositeli (1) silnějšího druhově a místně nezávislého obecného signálu, (2) vyšších korelací s klimatickými daty a (3) vyšší krátkodobé a nižší dlouhodobé variability (FRANK – ESPER

2005a, BRIFFA et al. 2002). Přesto jsou chronologie letokruhových šírek používány k teplotním rekonstrukcím velice často, zejména díky mnohem jednoduššímu zpracování i výraznějšímu nízkofrekvenčnímu signálu (WILSON – LUCKMAN 2003). Letokruhy obecně se považují za nejkvalitnější proxy záznam k rekonstrukci letních teplot v euroatlantické oblasti, zejména ve vyšších polohách a severní polovině Evropy (PAULING – LUTERBACHER – WANNER 2003).

2.4.1. Růstová odezva na klima

Koncept funkce odezvy bývá v dendroklimatologii používán pro vymezení vztahu letokruh – klima. Vícenásobná regresní analýza, jež přiřazuje klimatickým proměnným regresní koeficienty značící sílu ovlivnění stromového růstu, bývá doplňována nebo i nahrazována jednoduchou korelační analýzou. Znaménka, velikosti a významnost korelačních koeficientů charakterizují klimatické řízení života dřevin zcela dostatečně (BRIFFA et al. 2002).

Dendrochronolog tak nejpozději po vytvoření průměrné chronologie musí vyhledat a správně zvolit vztažná klimatická data. Podle SCHWEINGRUBERA (1996) by meteorologické stanice a údaje z nich pocházející měly splňovat následující parametry:

- blízkost zdrojových lokalit chronologie a stanice včetně podobnosti prostředí a umístění v reliéfu (v extrémních podmínkách vysokých pohoří je síť stanic velmi řídká; problémy přináší „inverze“ prostředí – např. zapojený les x otevřené okolí stanice – a polohy – např. horní partie svahů x stanice na dně údolí),
- dostatečná délka a kontinuita záznamu,
- stálost přístrojové lokalizace, metod záznamu a kalkulace meteorologických dat,
- možnost vytvoření průměrné regionální klimatické řady z vícero „správných“ meteorologických stanic.

Funkce odezvy jsou platné pouze při časové stálosti pozorovaných vztahů a ovlivnění růstu pouze jedním z klimatických faktorů (SCHWEINGRUBER 1996). Komplexita a nelinearita klimatického ovlivnění růstu v reálném přírodním prostředí však nemůže být plně zachycena (FRITTS – LOFGREN – GORDON 1980), a tak správnost funkce odezvy a navazujících modelů narušuje například neuvažování extrémních krátkodobých událostí (např. jarní mrazy, extrémní sucha, zimní klimatické extrémy) (TESSIER et al. 1997, BÜNTGEN et al. 2007). Analogicky MÄKINEN et al. (2002) upozorňují, že změny průměrných teplot a srážek v souvislosti s klimatickými změnami budou ovlivňovat stromový růst méně než možné změny extremity a frekvence extrémních stresových faktorů. Vzhledem k těmto celkem

vážným argumentům je překvapivé, že tomuto opatrnějšímu pojetí relativně bližší rekonstruování klimatu pomocí maximálních teplot letních měsíců (WILSON – LUCKMAN 2003) stojí osamoceno mezi ostatními dendroklimatickými rekonstrukcemi. WILSON – LUCKMAN (2003) na základě svých výsledků upřednostňují maximální před průměrnými teplotami a doporučují provádět (korelaci a) kalibraci na rozmanitějším souboru teplotních proměnných. Ale zpět k nesporným komplikacím obecného rázu. Častá autokorelace uvnitř letokruhových chronologií, problém, ke kterému, po hlubším zamyšlení očekávaně, dosud neexistuje jednotný přístup, je přímým a v podstatě všeobjímajícím ztělesněním načrtnuté komplexity (FRITTS – LOFGREN – GORDON 1980).

Nejnovější dendroklimatologické příspěvky regionálního až globálního pokrytí správně věnují mnoho pozornosti ověření uniformity nejsilnějších vztahů letokruh – klima (bohužel lze zkoumat pouze často dosti krátká období s meteorologickým záznamem). Uplatňují se plovoucí korelace o délce okna 11, 30 či 51 let (BRÁZDIL et al. 2002, WILSON – ELLING 2004, BÜNTGEN et al. 2006b). Tak například BRIFFA et al. (1998b, 1998c) zjistili na rozsáhlém souboru dat maximální hustoty letokruhů z vyšších zeměpisných šířek severní polokoule (zejména V Sibiř a V Severní Ameriky) významné snížení teplotní citlivosti stromového růstu, konkrétně zhruba od poloviny oteplujícího se 20. století. Z těchto zjištění vyplývá zásadní doporučení buď chronologie opravit o neklimatický zdroj „chyby“ (acidifikace, zvýšení radiace UV-B, depozice N), nebo provádět následující kalibraci bez takto znehodnocených období, což ale zkrácením datového pokrytí snižuje spolehlivost celé rekonstrukce. Jinak hrozí určité nadhodnocení rekonstruovaných teplot. Ve smrkové chronologii nízkých poloh Bavorského lesa s předpokladem pro rekonstrukci srážek byla zhruba od poloviny 60. let 20. století sledována změna růstové odezvy, s nevýznamnými korelacemi od konce 70. let, pravděpodobně jako důsledek regionální depozice SO₂ (WILSON – ELLING 2004). Kalibrační období pro navazující rekonstrukci bylo ukončeno právě rokem 1978. BÜNTGEN et al. (2006) odhalují v dlouhé švýcarské alpské smrkové chronologii nejen aktuální (částečně od roku 1850, definitivně od roku 1900 pokles r pod hodnoty na 90% hladině významnosti) změnu (snížení) v odezvě růstu na teploty letních měsíců a naopak nárůst těsnosti vztahu mezi růstem a srážkami, což prý potvrzují i jiné chronologie odlišných druhů. Autoři to považují za obraz složité fyziologie smrku a uvádí vysvětlení, že idealizovaná lineární odezva supramontánního smrku na teplotu může nad určitou hranicí (kolem 13°C) selhávat a následně pravděpodobně nastupuje teplotně indukovaný stres ze sucha jako faktor řídící šířku letokruhů. Výsledkem je rozhodnutí RCS chronologii nepoužít pro dendroklimatickou rekonstrukci. I WILSON – LUCKMAN (2003) našli na zpracovávaném

souboru pro vysoké polohy Britské Kolumbie náznaky změny růstové odezvy, pokles růstové citlivosti ve 20. století je přítomen také v severoitalských chronologiích modřínu opadavého (CARRER - URBINATI 2006). BRÁZDIL et al. (2002) po zjištění výrazného snížení citlivosti letokruhového přírůstu u *Abies alba*, nejpravděpodobněji v důsledku kombinace vlivů extrémně suchých roků se znečištěním ovzduší, zvolili jako „východisko“ kalibraci pro období do poloviny 50. let. Naopak v Západních Karpatech BÜNTGEN et al. (2007) neobjevili nestabilitu v odezvě růstu na klima, zvláště ve vysokých polohách při hranici lesa.

Správnost základního strategického přístupu k horní hranici lesa jako ideálnímu zdroji teplotních rekonstrukcí letních měsíců obecně ukazují konkrétně například FRANK – ESPER (2005), když popisují nárůst korelací se vzrůstající nadmořskou výškou až k nejvyšším hodnotám u přirozené hranici lesa, nejmarkantněji u smrku ztepilého. Přímo variabilitě růstové odezvy smrku ztepilého na klima s měnící se nadmořskou výškou se věnuje práce z různorodých poloh Bavorského lesa (WILSON – HOPFMUELLER 2001). 14 místních chronologií rozdělují do 3 výškových skupin s lišícím se klimatickým ovlivněním (podobně např. MÄKINEN et al. 2002) – nejnižší (370-680 m) rostoucí smrk významně pozitivně koreluje se srážkami, smrk středních poloh (780-970 m) vykazuje pouze slabé a nejednoznačné korelace, ale má více variability společně se skutečně horským smrkem (1070-1420 m), jehož letokruhové šířky naopak významně pozitivně korelují s teplotami (IV, VI, VII). Nejsilnější vazba růstu na teploty byla shledána ve výškách nad 1300 m n. m. a jako obecná spodní hranice pro původ sérií, jež je možno ještě využít pro tvorbu chronologií k teplotním rekonstrukcím, byla stanovena výška maximálně 300 m pod klimatickou hranicí lesa. Většina pozitivních korelací vůči jedné proměnné (průměrná teplota) přitom zároveň znamená negativní korelace vůči proměnné druhé (průměrný srážkový úhrn), a proto WILSON – HOPFMUELLER (2001) upozorňují na nedokonalost korelační analýzy, odhalující relativně přísně inverzní vztahy. Vysvětlení pro významné korelace šířek letokruhů a průměrných teplot časných letních měsíců podává BÜNTGEN et al. (2006b): „Teploty v průběhu první části vegetačního období, spolu s vodními zásobami v předchozím roce, jsou klíčové pro tvorbu časného dřeva, které tvoří většinu celkové šířky letokruhu.“

2.4.2. Kalibrace

Modelování nejtěsnějších vztahů je kalibrací, přesně řečeno tvorbou přenosové funkce. Vzhledem k tomu, že je snahou takto formulovaný vztah před jeho konečným použitím, rekonstrukcí, ještě verifikovat, lze rozdělit kalibraci na prvotní (zasazena právě do dále zmíněného křížového kalibračně-verifikačního schématu) a konečnou (výstupem je

model pro klimatickou rekonstrukci na základě celé chronologie). Nejčastěji používanou metodou je (vícenásobná) regresní analýza, kdy je klima v lineárním vztahu vůči variacím stromového růstu. Prediktory musí být dobře korelovány s prediktantem, ale minimálně vůči sobě navzájem, v krajních případech při vysokém počtu a vzájemné korelaci je vhodné je nahradit hlavními komponentami. Aby nedošlo ke ztrátě amplitudy z důvodu regresní chyby, BÜNTGEN et al. (2007) aktuálně zvolili jako kalibrační metodu jednoduché škálování průměrných chronologií k meteorologickým datům.

ESPER et al. (2005) věnují celý svůj příspěvek porovnání těchto dvou odlišných kalibračních metod. Podle nich konkrétní přístup ke tvorbě teplotních proxy záznamů má výrazný dopad na absolutní rekonstruovanou teplotní amplitudu. Ta je v případě lineární regrese, pod vlivem metody nejmenších čtverců, redukována, přesně se rovná amplitudě získané ze škálování vynásobené Pearsonovým korelačním koeficientem mezi proxy a instrumentálním záznamem z kalibrační periody. Na druhou stranu škálování, které znamená srovnání průměru a směrodatné odchylky letokruhové chronologie s odpovídajícími hodnotami naměřené teplotní řady, má sklon nadhodnocovat rozptyl výsledné rekonstrukce. Odpověď, jakou metodu použít, záleží na komplexním zhodnocení individuální situace (ESPER et al. 2005).

2.4.3. Verifikace

Správnost statistického kalibračního modelu bývá ověřována výpočtem verifikační statistiky, jež měří míru podobnosti mezi nezávislými odhady klimatu pomocí modelu a odpovídajícími instrumentálními daty z období mimo kalibraci (COOK – KAIRIUKSTIS 1990). Takovému postupu v praxi nejčastěji odpovídá křížové kalibračně-verifikační schéma, kdy jsou klimatická data a odpovídající část letokruhové chronologie již při kalibraci rozdělena na dvě shodně rozsáhlé části (TESSIER et al. 1997).

Jednoduchou variantou verifikační statistiky je *korelační koeficient*, jeho výpočet je sice snadný, ale v tomto případě je nedostatkem jeho necitlivost vůči rozdílům průměru a rozptylu proměnných. *Test znaménka* také není komplexní, počítá množství situací, kdy je směr vychýlení od průměrů společný oběma souborům, nezohledňuje tak hodnotovou blízkost dvou proměnných (čím nižší hodnota výsledku, tím bližší si řady jsou). Ač se zdá být složitějším parametrem, klade *test součinnového rozdílu* („product means test“; podstatu výpočtu blíže uvádí např. ŠTĚPÁNKOVÁ (1996); vyšší hodnota aplikovaného t-testu znamená výraznější vztah mezi řadami) také důraz na podobnosti variability.

Redukci chyby (RE) považují COOK - KAIRIUKSTIS (1990) za vysoce citlivou míru spolehlivosti, která hraje ve verifikaci hlavní roli. Platí, že hodnota 1, jež je nejvyšší možnou (interval $(-\infty; 1>$), znamená zcela perfektní odhad a obecně všechny kladné hodnoty znamenají určitou správnost modelu. Pro pochopení výstižnosti redukce chyby je zásadní interpretovat tento parametr jako součet hodnoty RISK (srovnávací míra variability a zároveň přenesené vyjádření blízkosti absolutních hodnot; ideálně -1 , dobré, když pod $-0,5$), BIAS (přeneseně vyjadřuje podobnost trendu, souběžnost, zjednodušený test znaménka; vyšší hodnota znamená vyšší shodu) a COVAR (síla korelace odhadů a pozorovaných hodnot). Jednotlivé komponenty RE mohou být užity k přesné diagnostice charakteristik rekonstrukce. *Koeficient dostatečnosti* (CE) je přísný parametr podobný redukci chyby, vyskytující se v některých novějších pracích.

2.4.4. Vlastní rekonstrukce

Po proběhnutí úspěšné verifikace následuje rozhodnutí, zda data pro definitivní kalibraci upravit (oříznout), nebo ponechat (prosté sloučení obou dílčích období pro společnou kalibraci). Rekonstrukční výsledky jsou graficky vyjadřovány nejčastěji v podobě anomálií vůči průměru dané proměnné v období 20. století a jako zhlazené. I když jsou chronologie i kalibrační model dobře propracovány, existuje poměrně vysoká nejistota směrem do minulosti. Nejkritičtější a velmi diskutovaná je nemožnost verifikace dlouhodobých klimatických výkyvů v chronologiích dosahujících délek mnoha stovek let (ESPER et al. 2007).

2.5. ASPEKTY VYUŽITÍ HISTORICKÝCH VZORKŮ

V dendroklimatologii, jako jednom z nejvýznamnějších odvětví zabývajících se holocenními klimatickými změnami, je všeobecnou snahou vytvářet co nejdále do minulosti sahající letokruhové chronologie. Mnoho z nejdélejších světových chronologií významným způsobem staví na sériích získaných ze subfosilních materiálů, např. v Irsku či Německu (BRADLEY 1999). V oblastech, kde takové možnosti nejsou, je prakticky jedinou náhradou původní dřevěný materiál historických budov. Co se týká Evropy, kde je jednak množství takových zdrojů, jednak hojně již získaných historických sérií (a také značný vědecký zájem), považují WILSON et al. (2004) jejich řídké využívání ke klimatickým rekonstrukcím za dosti překvapivé. Obecně přitom stačí „jen“ úspěšné křížové datování historických sérií napříč těmi současnými. Pokud se tak děje, je to důsledek jen a pouze obecně přítomného signálu, místně,

či spíše výškově (WILSON – HOPFMUELLER 2001) společného klimatického řízení stromového růstu, a vážný důkaz původu (WILSON et al. 2004). Statistickým potvrzením vzájemné spojitosti historických a aktuálních dat je blízká hodnota průměrné šířky letokruhu a citlivosti (zhruba první diference letokruhových šířek). V případě dostupnosti rozsáhlejších datových souborů se vytváří přímo historické chronologie, jež jsou pro období překryvu korelovány vůči klasickým chronologiím ze stojících stromů a při významné míře sdílené variability mohou být s těmito chronologiemi sloučeny do jediné, kompozitní chronologie (BÜNTGEN et al. 2006, WILSON – TOPHAM 2004).

Nejvíce překážek stojí proti vytvoření složené letokruhové chronologie pro vysoké nadmořské výšky, použitelné dále pro teplotní rekonstrukce. V polohách zhruba nad 1050 m (kambiálně teplotně senzitivních) je ve středoevropských středohorách již znatelný nedostatek skutečně historických staveb (WILSON – HOPFMUELLER 2001). Úspěšnou, ale netradiční a poměrně pracnou alternativou je využití letokruhových sérií snímaných na starých smyčcových nástrojích (WILSON – TOPHAM 2004). Ve střední Evropě dosahují nejstarší jedinci dendrochronologicky cenných druhů maximálního stáří prvních stovek let, a proto je úspěšné využití historického materiálu zásadní jak pro překročení dosavadních časových limitů, tak zvýšení spolehlivosti regionálních dendroklimatických rekonstrukcí. Předložená práce je reakcí na tuto velkou výzvu.

3. MATERIÁL A METODY

3.1. STUDOVANÉ ÚZEMÍ

Diplomová práce zaměřuje svůj dendrochronologický pohled na území nejvyššího sudetského pohoří. Krkonoše jako významný přírodní a kulturně historický region na severu České republiky představují oblast vysokého stupně ochrany. Reliéf národního parku je výsledkem dlouhodobého geologického a geomorfologického vývoje, geologicky ve stavbě zájmového území jako součásti krkonošsko-jizerského krystalinika převažují minerálně chudé krystalické břidlice a žuly. Na české poměry neobvyklé výškové rozdíly dávají vzniknout klimatické, půdní a ekosystémové stupňovitosti, jejíž jednoznačnost je komplikována působením anemo-orografických systémů Mumlavy, Bílého Labe a Úpy (JENÍK 1961). Alpínské trávníky, subarktická rašeliniště, společenstva karů, porosty kleče a vysokohorské smrkové lesy patří mezi nejvzácnější prvky rozmanité krkonošské bioty. Při své pestrosti zároveň Krkonoše představují prostředí s častým výskytem extrémních i nepříznivých událostí, mezi nimiž v posledních desetiletích výrazně vystupuje imisně ekologické zatížení lesních ekosystémů (VACEK et al. 2006).

3.2. ODBĚR VZORKŮ

Odběr vzorků probíhal v průběhu měsíců května až listopadu roku 2007 v jednotlivých lokalitách regionu východních Krkonoš. Vzorky byly odebírány ze smrku ztepilého (*Picea abies* (L.) Karst.) a různých prvků dřevěných stavebních konstrukcí. Vzorky se rozumí zejména vývrty, jež byly odebírány pomocí přírůstových nebozezů Haglůf tří různých velikostí (délek 20 cm, 40 cm a 50 cm). Ojedinelou součástí výchozího datového souboru je několik kmenových kotoučů, jmenovitě se jedná o vzorky z dřevěných konstrukcí bývalé České boudy na Sněžce.

3.2.1. Odběr vzorků ze stojících stromů

Stěžejní náplní práce v terénu byl odběr vývrtů zdravých živých, popřípadě již mrtvých, ale stále ještě stojících jedinců smrku ztepilého. Celkem bylo v původních porostech supramontánních smrčín a smrkových porostech v ekotonu horní hranice lesa úspěšně odebráno 121 vývrtů tohoto druhu (Obr. 1, Tab. 1 v kapitole Přílohy).

Výběr stromů byl podřízen cíli práce – důraz byl kladen na co nejmohutnější smrkové jedince při hranici lesa, popřípadě dominantní až kodominantní jedince v zapojených

porostech. Aby mohla být uskutečněna standardizace pomocí metody RCS, byly získány vývrtky také z mladších jedinců, pokud možno co nejméně kompetičně ovlivněných. Vývrtky byly odebírány kolmo na podélnou osu kmene ve standardní výčetní výšce, tj. 1,3 m nad patou kmene. V několika případech se zejména z důvodu omezených podmínek pro umístění vrtu hodnota odběrové výšky od té standardní liší (nepovažuje se za důvod významný pro provedení úprav). Do vytypovaných jedinců přitom bylo vrtáno tak, aby vzorek nebyl znehodnocen přítomností reakčního (tlakového) dřeva, tedy nejčastěji ve směru po vrstevnici, a také aby se neprojevovaly další, osobité a na první pohled patrné lokální faktory (např. větvení). Převažoval odběr vývrtů v počtu 1 vývrt na 1 strom. Více vývrtů ze stromu bylo provedeno pouze, pokud bylo vizuálně shledáno narušení letokruhové série, např. tvorbou reakčního dřeva či značnou excentricitou. Získané vzorky byly popsány a uloženy do ochranného přenosného obalu. Závěrem se provedla písemná a fotografická dokumentace a lokalizace odběrového místa pomocí GPS přijímače.

3.2.2. Odběr vzorků z dřevěných konstrukcí chalup a bud

Za účelem rozšíření datového souboru se uskutečnil odběr dendrochronologických vzorků také v nejstarších dochovaných krkonošských stavbách (Obr. 1, Tab. 1 v kapitole Přílohy). Převážně vnitřní dřevěné konstrukce krovů a dřevěné prvky roubení tak poskytly celkem 47 vývrtů a kmenových kotoučů použitelných pro další zpracování.

Vybrané chalupy a boudy se považují za nejstarší ve východních Krkonoších (KLIMEŠ ústní sdělení, Veselý výlet). Jak naznačují obecné zachované dobové informace, popřípadě ojedinělé zprávy od dnešních majitelů, je u těchto historických staveb oprávněné předpokládat, že zdrojem stavebního materiálu byly lesní porosty v bezprostředním okolí. Zároveň byl kladen důraz na vysoko položené boudy a chalupy. Neodstranitelnou neznámou však v každém případě je sociální status stromu jako zdroje vzorku, neznámá odběrová výška problémem podle KYNCLA (ústní sdělení) není. Vrtáno bylo do nejstarších trámů (vizuálně na místě vyhodnoceno) různých typů dřevěných konstrukcí. Předpokládá se, že určité znaky nepůvodnosti trámu (např. nevyplněné zářezy) nejsou znehodnocením (pochází-li z jiné stavby, byla taková časově předcházející anebo prostorově blízká současné). Odběr vývrtů a bezprostředně následující úkony byly jinak prováděny analogicky jako u stojících stromů.

3.3. PŘEVOD NA KŘIVKY LETOKRUHOVÝCH SÉRIÍ

Úspěšně odebrané a přepravené vzorky se po návratu z terénu stabilizovaly do dřevěných lišt v horizontální poloze odpovídající přirozené (případně o 180° obrácené). Zbroušením a zhlazením povrchu se připravila rovnoběžná rovina, na které bylo v laboratoři provedeno měření šířek letokruhů. To se uskutečnilo pomocí binokulárního mikroskopu a posuvného měřicího stolu (TimeTable) s poloautomatickým odečítáním hodnot o přesnosti 0,01 mm, propojeného s osobním počítačem a dendrochronologickou aplikací PAST 4 (KNIBBE 2004). Vznikly tak křivky jednotlivých letokruhových sérií, doposud ještě ne jednoznačně umístěné na časové ose. Vývrtů pocházejících ze stojících stromů bylo takto naměřeno 109, historických vzorků bylo úspěšně naměřeno všech 47.

3.4. DATOVÁNÍ

Letokruhové série byly individuálně posuzovány, znamená to upřednostnění vizuální synchronizace nad čistě počítačem řízeným křížovým datováním.

Nejprve byl proveden výběr významných roků, tzv. signatur („pointer years“ v nejobecnějším pojetí), pro datování sérií ze stojících stromů pro krkonošskou oblast. Základem byly dendrochronologické práce KROUPOVÉ (2002) a SANDERA et al. (1995) včetně jimi vytvořené a hodnocené průměrné chronologie z oblasti Labského dolu (zdroj: <http://www.ngdc.noaa.gov>). Tyto signatury jsou čistě letokruhové – jedná se o lokální minima ročního přírůstu, letokruhy vytvořené v letech 1843, 1891, 1906, 1923, 1942, 1956, 1974 a 1980. Navíc bylo v rámci vizuální synchronizace využito celého průběhu zmíněné standardní chronologie pro vizualizaci souběžnosti s konkrétní datovanou letokruhovou sérií. Kontrolou chybějících a falešných letokruhů se datovací procedura skončila.

Podmínkou úspěšného datování historických sérií obecně je maximalizace počtu podpůrných údajů. Proto se využilo dosavadních výsledků práce a odatovaný soubor sérií ze stojících stromů posloužil pro konstrukci pomocné, ještě ne detailně propracované standardní chronologie. Data byla převedena do programu ARSTAN (COOK – KRUSIC 2006), kde byla standardizována klasickou metodou (růstová Hugershoffova funkce) a následně pomocí funkce robustního průměru sjednocena do konečné podoby. Pomocí tohoto meziprojektu byly za další signatury označeny úzké letokruhy z let 1835 a 1821. Dalšími podklady křížového datování historických letokruhových sérií byly:

- Kynclova standardní chronologie nížinného smrku pro Čechy 1151-2005, především signatury 1694 a 1699,

- historické zprávy o počasí (SVOBODA – VAŠKŮ – CÍLEK 2003), podrobná kombinovaná (rekonstrukce a instrumentální data) teplotní řada pro období 1500-2003 a oblast Alp (CASTY et al. 2005) a evropského kontinentu (LUTERBACHER et al. 2004), souhrn ovlivnění klimatu, jakož i stromového růstu, na severní polokouli vulkanickými erupcemi v období 1400-1997 (BRIFFA et al. 1998a) – jako výsledek nejvýraznější klimatické signatury 1708-9, 1740, 1815-16 a zejména poslední dekáda 17. století,
- u většiny horských chalup znalost přibližného stáří (KLIMEŠ ústní sdělení, Veselý výlet),
- již úspěšně časově usazené, místně blízké historické letokruhové série či jejich průměry,
- vůbec nejstarší a nejdelší série ze stojícího smrku.

3.5. POSOUZENÍ HISTORICKÝCH DAT

Dále bylo nezbytné posoudit, zda je možné historickými vzorky obohatit soubor sérií ze stojících stromů, a dát tak vzniknout kompozitní chronologii. Jak bylo nastíněno v předchozích kapitolách (2.4.1, 2.5), rozhodujícím faktorem je úspěšné křížové datování spolu se statistickou podobností obou souborů, „historického“ a „současného“, v parametrech průměrné šířky letokruhu a citlivosti. Vzhledem k tomu, že datování historických vzorků bylo založeno na více podkladech a i statistická podobnost může mít své rezervy v zachycení společného klimatického řízení růstu, byl pro posouzení využit ještě jeden parametr. Je jím lokalizace vzorků do 300 výškových metrů pod hranicí lesa. Jedná se o faktor, jehož smysl v podstatě odpovídá primárnímu faktoru. Je tak zaručena vysoká spolehlivost srovnávací analýzy, na níž navazuje vyvinutí teplotně citlivé standardní chronologie.

Ze souboru odatovaných historických vzorků byla odstraněna data získaná ze staveb ležících níže než 1000 m n.m.. U obou souborů byly pro překrývající se období vypočítány následující statistické parametry – průměrná šířka letokruhu upravených (= oříznutých) sérií a citlivost upravených sérií vyjádřeny aritmetickým průměrem souboru spolu s odpovídajícími hodnotami spolehlivosti na hladině $\alpha = 0,05$.

Pro potvrzení výsledků posuzování vzájemné podobnosti se navíc přikročilo k vytvoření dvou průměrných chronologií pro série ze stojících stromů pro historické série, jež byly pro období překryvu navzájem korelovány, taktéž v prostředí programu ARSTAN. Byl vypočítán celkový korelační koeficient i korelační koeficienty pro 30leté plovoucí okno s 5letým krokem. Průměrné chronologie byly vytvořeny s použitím detrendování dle

Hugershoffovy funkce, výpočtem letokruhových indexů jako podílů, bez autoregresního modelování, robustním zprůměrováním standardizovaných sérií, bez stabilizace rozptylu a oříznutím periody s méně než dvěma sériemi.

Na závěr této části práce byla provedena ještě jedna srovnávací analýza, s totožným postupem, pouze historický soubor byl nahrazen souborem pěti sérií odebraných z konstrukcí bývalé České boudy na Sněžce.

3.6. TVORBA STANDARDNÍ CHRONOLOGIE

Vzhledem k dílčímu cíli práce, kterým je v chronologii maximálně zachytit také dlouhodobější klimatické trendy, se přistoupilo k použití odpovídajících standardizačních technik. Z klasických metod se jedná o dvojité detrendování, druhým přístupem je standardizace pomocí regionální křivky (RCS).

Prvním krokem při dvojitě detrendování (DD) je uplatnění deterministické metody. Zde se využila v podstatě Hugershoffova metoda, kdy byla ke standardizování letokruhových sérií programem ARSTAN nejprve nabídnuta Hugershoffova funkce. Vzhledem k její flexibilitě (hodí se k vyjádření růstového trendu nejen sérií s počátečním nárůstem a následujícím exponenciálním poklesem) bylo použito jiné matematické funkce málo časté – jednalo se zejména o horizontální linii proloženou průměrnou hodnotou série, popřípadě o čistou negativní exponenciální funkci. Poměrově počítané letokruhové indexy tvořící „nové“ série byly dále zhlazeny kubickým splinem. Při tomto stochastickém přístupu byla nastavena délka filtru na hodnotu 67% délky konkrétní série a frekvenční odezva 50% (tj. odstranění poloviny amplitudy sériového signálu).

Provedení standardizace metodou RCS si vyžádalo bližší průzkum dendrochronologických dat. S ohledem na to, že vliv výrazných neklimatických faktorů růstu způsobuje znehodnocení regionální křivky, a tím i výsledné RCS chronologie, pro potřeby této standardizace bylo přikročeno k oříznutí všech sérií bez výjimky o hodnoty růstu po roce 1970. 70. a 80. léta totiž vykazují extrémně nízké hodnoty letokruhového přírůstu, což je efekt zejména působení kyselých imisí (KROUPOVÁ 2002, VACEK et al. 2006). Takový postup je v souladu s tvrzením, že náhlé růstové změny je snahou v dendroklimatologii eliminovat (buď prostřednictvím speciálních statistických filtrů, nebo úplným vyřazením vzorků dané doby), pokud víme, že jejich původ není klimatický (COOK – KAIRIUKSTIS 1990). Provedl se subjektivní rozbor biologických růstových populací včetně rozdělení všech letokruhových sérií do skupin dle charakteristického růstového trendu. Pro každou takto vytvořenou třídu

bylo dále graficky vyjádřeno rozmístění sérií na časové ose a na základě toho vyhodnocena rovnoměrnost časového pokrytí a rozptýlení všech věkových tříd. Nejpočetnější a zároveň nejrovnoměrněji se projevující populace se pak stala jediným souborem, pro který byla provedena úprava délek sérií (oříznutí letokruhových hodnot od určitého stáří za účelem minimalizace „chyby plynoucí z převahy současných vzorků“), a v této podobě postoupila do fáze vlastní standardizace metodou RCS. Výstřednost vývrtů byla uvažována jen v několika extrémních případech.

Shodně nastavené parametry obou standardizačních procedur byly následující: výpočet indexů poměrově, bez autoregresního modelování sérií, dvojitě vážený robustní průměr pro zprůměrování, Briffova stabilizace rozptylu výsledné chronologie, výpočet EPS a průměrné mezisériové korelace (r_{bar}) ve 30letých oknech pohybujících se v 5letých intervalech. Regionální křivka pro tvorbu RCS chronologie se vypočítala pomocí robustního průměru a následného zhlazení kubickým splinem o délce 10% křivky. Automaticky byla pomocí programu ARSTAN vygenerována základní statistika zpracovávaných dat ve všech podstatných fázích. Obě chronologie byly ihned po vytvoření oříznuty o období tvořené méně než pěti dílčími sériemi.

3.7. ANALÝZA SIGNATUR („POINTER VALUES“)

Výsledné letokruhové chronologie se staly předmětem analýzy extrémních hodnot, signatur. Toto pojetí znamená, že po stanovení meze (odchylka od průměrné hodnoty indexu o velikosti kladného a záporného dvojnásobku směrodatné odchylky) byly vyhledány konkrétní „pointer values“. Těm se po studiu dobových záznamů o počasí (LOKVENC 1978, JIRASEK 1915, DEMUTH 1901, PETRÁK 1891) a pozorovací řady ze Sněžky z let 1881-2006 přiřadily odpovídající klimatické okolnosti. Výsledky této analýzy se dají považovat za určitou verifikaci průměrných chronologií.

3.8. ANALÝZA FUNKCE ODEZVY

Růstová odezva na klimatické podmínky, tedy závislost letokruhové šířky na konkrétní klimatické veličině, byla zjišťována korelační analýzou (Pearsonův korelační koeficient) pro obě chronologie a celou řadu teplotních a srážkových proměnných.

Jelikož podmínky v mezernatých porostech v nadmořských výškách okolo 1300 m jsou bližší extrémním krkonošským vrcholovým polohám než poměrně nízko položeným údolím, zjišťovala se odezva růstu vzhledem k meteorologické pozorovací řadě ze Sněžky. Ta

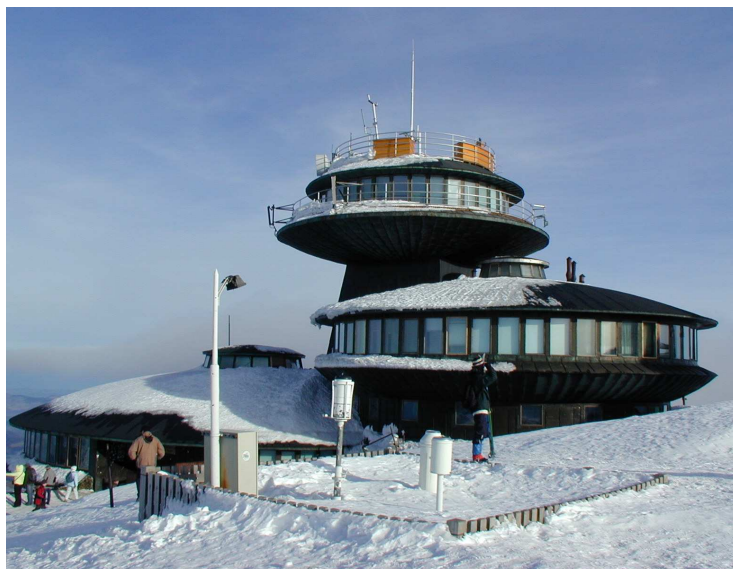
je navíc jednoznačně nejdelší v celém regionu Krkonoš. Historie prvních pozorování na nejvyšším sudetském vrcholu sahá až do první poloviny 19. století, pravidelná pozorování pak začala 1. července 1880 (PETRÁK 1891, GŁOWICKY 1998). Co se týká měření teploty, změna umístění termometrů v roce 1900 měla značný dopad v podobě narušení homogenity pozorovací řady – z blízkosti kapličky sv. Vavřince (2 m nad zemí, 1599 m n.m.) byly měřicí přístroje k 1.6. přemístěny na střechu (15,9 m nad zemí, 1616 m n.m.) nově postavené pruské meteorologické observatoře (Obr. 2). Teplotní řada je dle analýzy GŁOWICKÉHO (1998) homogenní a plně použitelná pro období 1901-1995, to znamená i přes další změnu pozice (do 23.10. 1976 na novém objektu polské stanice, Obr. 3, ve výšce 14 m nad zemí a 1617 m n.m.) či tři různé metody kalkulace průměrné denní teploty v dané periodě. Bohužel pro srážkoměrné údaje nejsou obdobné informace či vyhodnocení k dispozici, proto se předpokládá analogická situace. Jednoduché ověření homogenity pomocí metody dvojných součtových čar (Obr. 4) neukazuje na narušení po roce 1901. U obou veličin tak byly korelace počítány pro období 1901-1970; RCS chronologie rokem 1970 končí, DD chronologie zahrnuje antropogenně ovlivněné období (viz kapitola 4.3.), pro něž by byl výpočet, při znalosti těchto skutečností a vzhledem ke snaze o rekonstrukci klimatu do minulosti, nesprávný.

Obr. 2. Pruská meteorologická stanice na Sněžce (1900-1976)



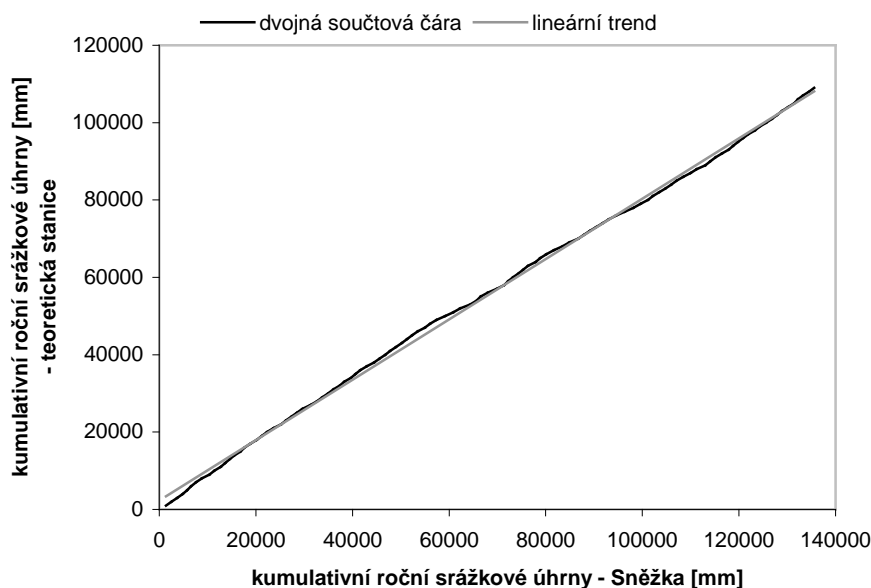
Zdroj: Veselý výlet

Obr. 3. Polská meteorologická stanice na Sněžce (1976-)



Zdroj: autor

Obr. 4. Ověření homogenity srážkoměrné pozorovací řady ze Sněžky (1888-2006)



Zdroj dat: IMGW Wrocław

Na druhé straně vůči prostým letokruhovým indexům průměrných chronologií stojí teplotní a srážkové proměnné (průměry a úhrny). Korelace byly zjišťovány standardně pro měsíce roku předcházejícího danému indexu (březen až prosinec) a měsíce roku růstu (leden až září) (COOK – KAIRIUKSTIS 1990). Navíc byly s hodnotami přírůstu korelovány údaje za předchozí rok (průměrná teplota i srážkový úhrn) a v případě teplot také průměry aktuálního léta (VI-VII, VI-VIII), z průměrných měsíčních hodnot vycházející délka a suma teplot vegetačního období (kalkulované denní teploty nad 5°C) do srpna, popřípadě další přirozeně utvořené proměnné. Hladina významnosti korelačních koeficientů se nastavila na $\alpha = 0,05$ a pro doplnění také na $\alpha = 0,001$. Za účelem prozkoumání stability nejsilnějších nalezených vztahů byly vypočítány a graficky znázorněny 11leté a 30leté plovoucí korelační koeficienty s krokem 1 rok a významností nastavenou taktéž na hladině $\alpha = 0,05$. U DD chronologie se uskutečnil výpočet včetně moderního období.

3.9. DENDROKLIMATICKÁ KALIBRACE A VERIFIKACE

V diplomové práci se uplatnilo klasické křížové kalibračně-verifikační schéma. Indexové hodnoty chronologií a odpovídající záznamy nejsilněji korelované klimatické proměnné byly pro období 1901-1970 (v upravené podobě na základě předchozích kroků)

rozděleny na dvě poloviny a pro každou takto stanovenou kalibrační periodu byla namodelována přenosová funkce (TESSIER et al. 1997).

Došlo k použití jak regresní analýzy, kdy teplotní proměnná vychází z lineární regresní rovnice, tak jednoduchého škálování (ESPER et al. 2005). Při škálování byl pro vyrovnání průměru a směrodatné odchylky letokruhové chronologie odpovídajícím hodnotám teplotní řady uplatněn následující postup:

- průměry v daném kalibračním období byly vyrovnány (hodnota 1) převedením obou řad na jednotnou stupnici pomocí prostého vydělení hodnot průměrem řady,
- pro takto sestavené řady byla zjištěna směrodatná odchylka,
- úprava směrodatné odchylky letokruhové řady vycházela z předpokladu, že podíl rozdílu mezi letokruhovou hodnotou a průměrem odpovídá právě směrodatné odchylce řady (šlo tedy o odvození členu HODNOTAnová z rovnice ve tvaru:
$$(HODNOTApůvodní-PRŮMĚR)/SMODCHpůvodní = (HODNOTAnová-PRŮMĚR)/SMODCHnová$$
),
- odvozené teploty verifikačního (samozřejmě i kalibračního) období jsou výsledkem vynásobení hodnoty definitivně upravené řady letokruhových indexů (vztažení k letokruhovému průměru a směrodatným odchylkám kalibračního období) a průměrné teploty kalibračního období.

Získaným modelem byl odhadnut chod teplotní proměnné pro celé zájmové období, aby mohl být nezávisle verifikován vůči skutečnému záznamu.

Výše uvedené výpočty byly prováděny v MS Excel. Po převedení do textových souborů byly analyzovány ve verifikačního modulu VFY komplexního dendrochronologického programu Dendrochronology Program Library (HOLMES 1994). Pro DD i RCS chronologii (přesně řečeno na nich postavených odhadech) proběhl výpočet dvakrát, pro obě kalibračně-verifikační dvojice. Zjišťovanými parametry, podle kterých byla vyhodnocena vhodnost jednotlivých modelů (kalibračních metod a výchozích chronologií), byly: rozdíl průměrných hodnot a směrodatných odchylek, korelační koeficient, test znaménka, test součinného rozdílu, redukce chyby a její komponenty RISK, BIAS a COVAR (bližší obecné charakteristiky uvedeny v kapitole 2.4.3.).

3.10. DENDROKLIMATICKÁ REKONSTRUKCE A POROVNÁNÍ SE STŘEDOEVROPSKÝMI ZÁZNAMY

Po zhodnocení verifikačních výsledků se přistoupilo k vlastní teplotní rekonstrukci. Statisticky nejvhodnější model byl přizpůsoben definitivnímu, „dlouhému“ kalibračnímu

období, pro nějž byla vypočtena verifikační statistika. Pro doplnění bylo to samé učiněno i pro pozorovací řadu ze Sněžky zhlazenou 5letým klouzavým průměrem a odpovídající výsledně namodelovaný průběh teplot totožně zhlazený. Celý zbytek průměrné chronologie byl podle definitivního kalibračního vztahu převeden na průběh průměrných letních teplot v nejvyšších polohách východních Krkonoš.

Výsledná dendroklimatická rekonstrukce byla na závěr porovnána s různými typy záznamu klimatických charakteristik. Nejprve to byly výsledky dendroklimatické rekonstrukce ŠTĚPÁNKOVÉ (1996). Jde o dosud jedinou krkonošskou rekonstrukci z Labského dolu, založenou na maximální hustotě pozdního dřeva smrku ztepilého a rekonstruuující průměrnou teplotu letního půlroku, měsíců dubna až září. Z tohoto důvodu zde není předpoklad přílišné shody, a takové porovnání je proto pouze orientační. Druhým typem jsou již přesné a odpovídající kontinentální a regionální teplotní křivky – kombinovaná teplotní řada pro Evropu (LUTERBACHER et al. 2004; kombinace dat instrumentálních a rekonstruovaných na základě letokruhů a $\delta^{18}\text{O}$ z ledovců) a čistě instrumentální teplotní řada pro dva subregiony Alp (zdroj: <http://www.zamg.ac.at>; GAR severovýchod do 1500 m n.m. a GAR vysoké polohy nad 1500 m n.m.). Posledním typem pak jsou sekulární záznamy z jednotlivých meteorologických stanic, jejichž bližší popis a hrubé posouzení homogenity udávají Tab. 2 a 3 v Přílohách. Teplotní řady byly porovnávány, ve zhlazeném stavu (5leté klouzavé průměry) a vyjádřené jako teplotní anomálie vůči průměru řady (nejčastěji 1901-1960), pro kompletní překryvné období pomocí Pearsonova korelačního koeficientu. Soulad či nesoulad v kratších periodách zde vyvinuté rekonstrukce a srovnávané řady pak odhalily plovoucí 11leté korelace.

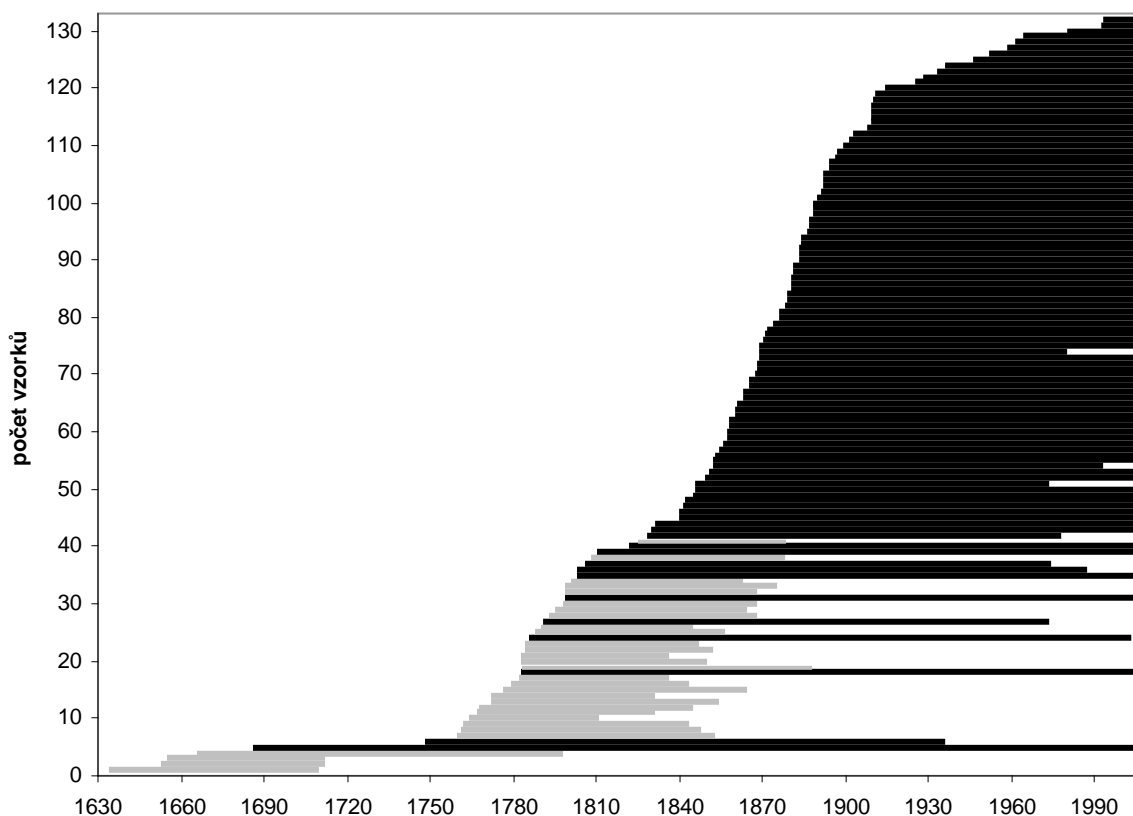
4. VÝSLEDKY

4.1. DATOVÁNÍ

Z celkem 109 naměřených sérií ze stojících stromů prošlo úspěšně datovací procedurou 106 sérií. U 14 sérií se přitom zasáhlo do průběhu letokruhové křivky přidáním letokruhu, popřípadě sloučením dvou letokruhů. Pro stromy, z nichž byl odebrán větší počet vzorků, byla uvažována vždy nejdelší série a zbylé byly vyřazeny (celkem 3 série). Dvě série tvořící významné frakce stejnosměrného vrtnu stromem byly sloučeny do jediné. Výsledných 102 sérií pokrývá období mezi roky 1687 až 2006 (jejich prostorovou lokalizaci udává Tab. 1 v kapitole 4.3.).

Z původních 47 naměřených historických sérií se nejprve vyřadilo 9 obtížně datovatelných sérií o délce 50 a méně let. Celkem bylo úspěšně odatováno 32 sérií, z nichž pouze u dvou došlo k úpravě (přidání letokruhu). Dvě série jako kratší duplikáty z jednoho zdrojového stromu byly odstraněny. Definitivních je proto 30 sérií, jež pokrývají období mezi roky 1635 až 1887.

Obr. 5. Přehled 132 odatovaných sérií dále uplatněných
(černě jsou znázorněny série ze stojících stromů, šedě historické série)



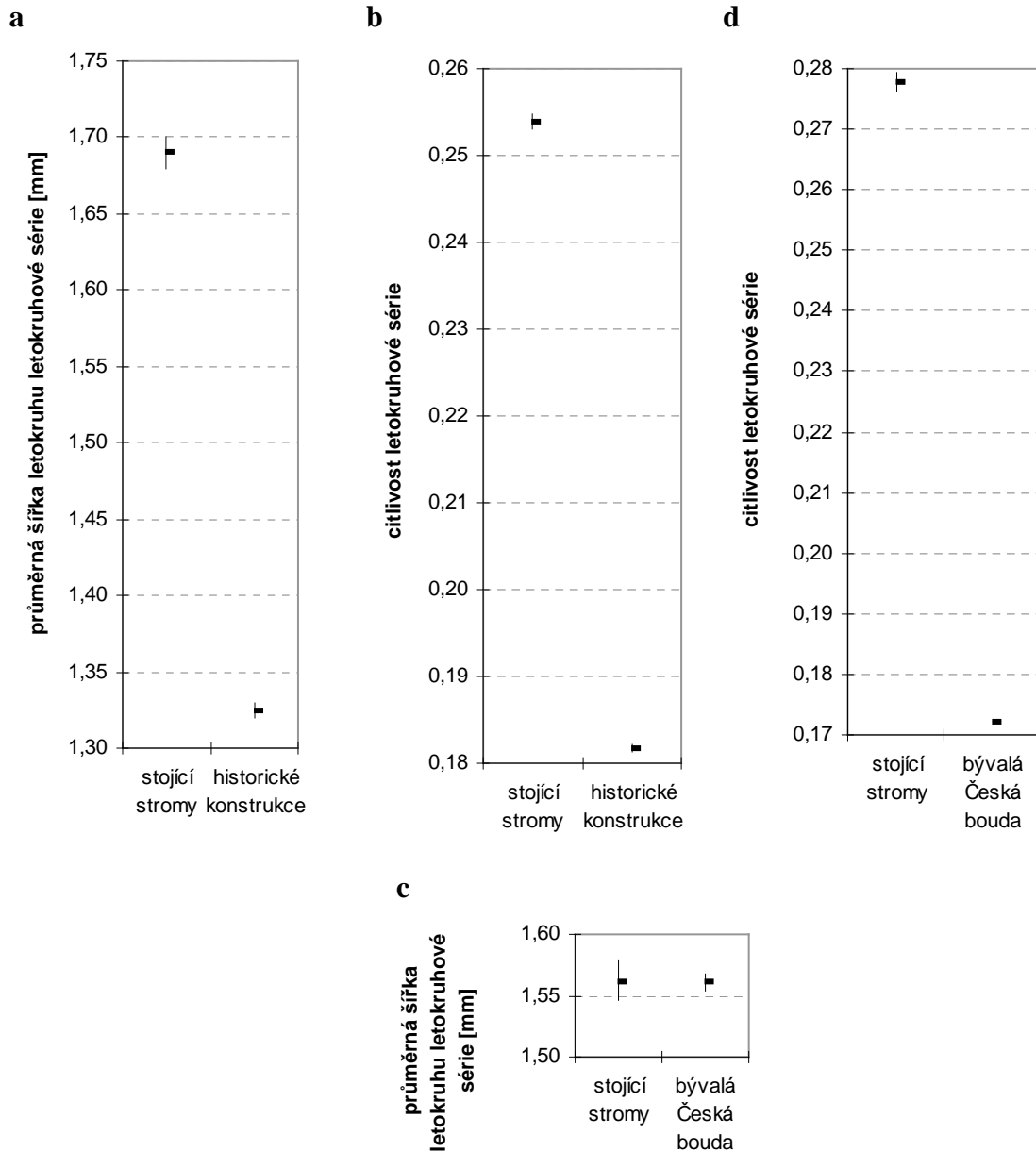
Úspěšně byl datován přibližný vznik třinácti horských bud a chalup (Tab. 4 v kapitole Přílohy). Zřejmě nejstarší východokrkonoskou chalupou, se zcela původní strukturou krovu, je stavení ve Svobodě nad Úpou s číslem popisným 9, jež bylo postaveno po roce 1711.

4.2. POSOUZENÍ HISTORICKÝCH DAT

Oříznutý soubor letokruhových sérií ze stojících stromů, překrývající se s historickými vzorky v období 1687-1887, se vyznačoval přítomností mnoha velmi krátkých a mladých sérií zhruba po roce 1850. To by narušilo průměrnou hodnotu sériových ukazatelů (průměrná šířka letokruhu, citlivost). Proto se přikročilo k dodatečné úpravě tohoto souboru pro výpočet. Všechny oříznuté série kratší 46 let (délka rovná délce nejkratší historické série) byly z tohoto souboru odebrány, čímž se navíc oba soubory vzájemně vyrovnaly co do počtu sérií (17). Tímto úkonem nebylo dotčeno koncentrování nejdelších upravených sérií v prvním souboru, což se nepovažuje za významnou chybu. Podobně byly upraveny série ze stojících stromů i pro doplňující analýzu ve vztahu k vzorkům z vysoko položené bývalé České boudy (překryv 1794-1867, nejkratší historická série 61 let → úprava sérií ze stojících stromů, uvažování dat pro překryvné období pouze od nejmladší řady před rokem 1794 po řady se začátkem do roku 1807 → totožný počet 5 sérií).

Mezi historickými letokruhovými sériemi a letokruhovými řadami ze stojících stromů existuje pouze velmi nízká vzájemná podobnost (Obr. 6). Hodnota korelačního koeficientu mezi průměrnou chronologií pro stojící stromy (1749-2006, $r_{bar} = 0,327$ a $EPS = 0,961$, standardní odchylka = 0,215) a průměrnou chronologií pro historické vzorky (1763-1877, $r_{bar} = 0,130$ a $EPS = 0,600$, standardní odchylka = 0,109) je rovna 0,228, přičemž 30leté plovoucí korelace s 5letým krokem se pohybují mezi 0,119 a 0,649. Přes statistickou významnost ($\alpha = 0,05$) nelze v žádném případě hovořit o dostatečné podobnosti. Co se týká podobnosti souborů „stojící stromy“ a „bývalá Česká bouda“, značný rozdíl v citlivosti zcela zastírá podobnost průměrných šířek letokruhů. Průměrná chronologie pro Českou boudu (1796-1867, $r_{bar} = 0,348$ a $EPS = 0,715$, standardní odchylka = 0,162) navíc nekoreluje s překrývající se částí chronologie ze stojících stromů ($r = 0,128$, 30leté plovoucí korelace se pohybují od 0,009 do 0,268). Ač jsou chronologie málo robustní, za zmínku jistě stojí i rozdílnost v jejich vlastní variabilitě. Žádný ze získaných historických vzorků tak nebude dále použit. Kompozitní východokrkonoskou standardní chronologii není možné z analyzovaného materiálu vyvinout.

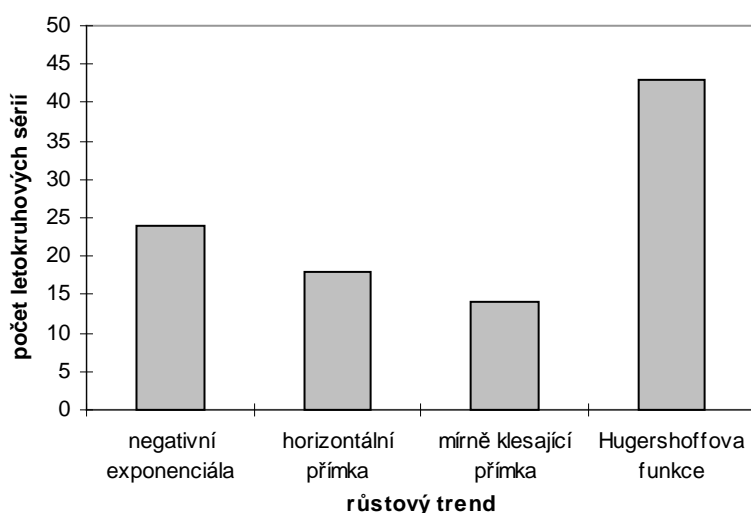
Obr. 6. Porovnání průměrné šířky letokruhu a citlivosti vyjádřené aritmetickým průměrem a intervalem spolehlivosti na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ mezi soubory upravených sérií ze stojících stromů a historických sérií (a, b) a mezi soubory upravených sérií ze stojících stromů a sérií z bývalé České boudy (c, d)



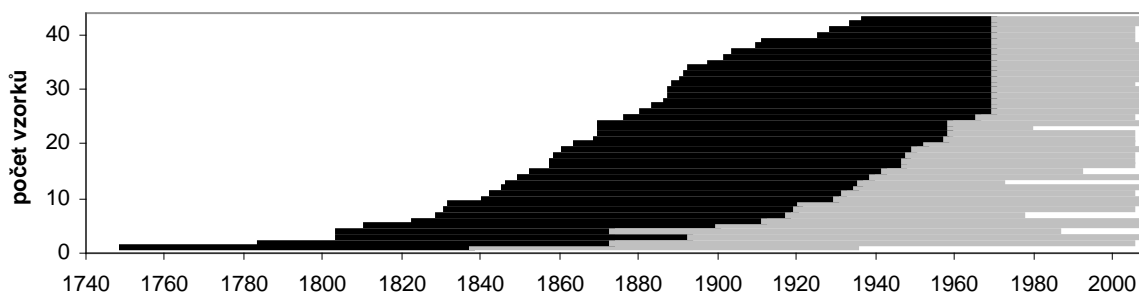
4.3. STANDARDNÍ CHRONOLOGIE

Už po průzkumu charakteristických růstových trendů letokruhových sérií je zřejmé, že pokud má být uplatněna RCS metoda, tak jedině na souboru letokruhových sérií odpovídajících Hugerhoffově funkci (Obr. 7, ESPER et al. 2003 ... minimálně 40 sérií). Bez ohledu na to je tato populace zároveň tou nejrovnoměrněji se projevující.

Obr. 7. Biologické růstové populace



Obr. 8. Série „Hugershoffovy populace“ pro RCS standardizaci
(černě jsou znázorněny série po konečné úpravě, šedě jejich oříznuté části)



Tab. 1. Popis zdrojů vytvořených standardních chronologií

kód	lokality	DD chronologie		RCS chronologie	
		počet sérií	časové rozpětí	počet sérií	časové rozpětí
1	Černá hora	9	1831-2006	4	1831-2006
2	Čertovo návrší - Z svah	5	1804-2006	3	1804-2006
3	Liščí hora - Liščí jáma	5	1853-2006	1	1870-2006
4	Liščí hora - SV svah	5	1861-2006	0	---
5	Luční hora - Z svahy	5	1787-2006	2	1898-2006
6	Obří hřeben - J svah	3	1882-2006	1	1893-2006
7	Růžová hora - J svah	10	1858-2006	4	1858-2006
8	Růžová hora - V svah, níže	4	1804-2006	3	1804-2006
9	Růžová hora - V svah, výše	5	1800-2006	1	1853-1992
10	Růžová hora - Z svah	3	1823-2006	2	1823-2006
11	sedlo Růžová h.-Sněžka - V svah	2	1881-2006	0	---
12	Sněžka - JZ svah	3	1847-2006	1	1847-1972
13	Sněžka - Prostřední hora	13	1687-2006	7	1749-2006
14	Stoh	3	1871-2006	0	---
15	Stříbrné návrší - JZ svah	5	1784-2006	2	1784-2005
16	Studniční hora - J svah	4	1842-2005	2	1870-2005
17	Studniční hora - V svah	6	1857-2006	3	1881-2006
18	Svorová hora	9	1864-2006	6	1864-2006
19	Zadní Planina - S svah	3	1888-2006	1	1888-2006
		Σ	102	Σ	43

Tab. 2. Základní charakteristika sérií tvořících standardní chronologie

parametr	DD chronologie RCS chronologie	
počet sérií	102	43
časové rozpětí	1687-2006	1749-1970
průměrná délka série (roky)	129	81
průměrná šířka letokruhu (mm)	1,571	1,992
průměrná citlivost	0,219	0,203

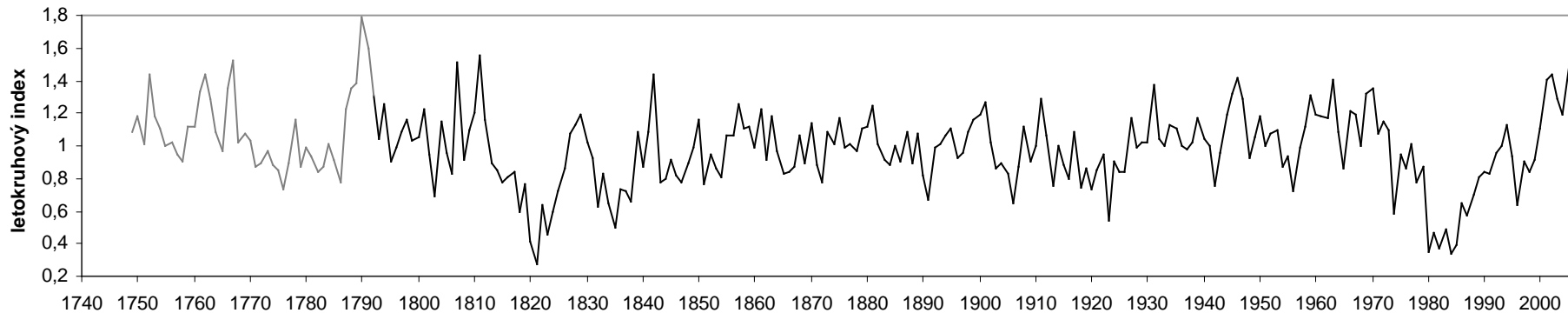
Vytvořená RCS chronologie, přestože je výrazně méně robustní než DD chronologie, je postavena na téměř všech lokalitách. Obě chronologie jsou prostorově koncentrovány do širší oblasti Lvího dolu. Poměrně velký rozdíl průměrné šířky letokruhu je dán věkovou rozdílností sérií tvořících obě chronologie (viz dále Obr. 2, 3 a 4 v Přílohách).

DD chronologie budovaná alespoň 5 sériemi pokrývá 215 let, od roku 1792 do roku 2006. RCS chronologie je kratší, období mezi roky 1811 a 1970 je dlouhé „pouze“ 160 let. Rozdíl indexových hodnot chronologií (Obr. 11) je celkem mírný, nejvíce se chronologie liší zhruba v první třetině vzájemného překryvu. Ze základní statistiky (Tab. 3) je nejzajímavější rozdílnost chronologií v parametrech směrodatná odchylka a citlivost, naznačující tak vyšší důraz na meziroční výkyvy v případě DD chronologie. Přesto je nutno podle Obr. 9 a 10 uznat, že nejen RCS, ale i DD chronologie velmi dobře vykazuje střednědobé (klimatické) trendy. Je tím potvrzena správnost výběru metody dvojitého detrendování ke standardizaci.

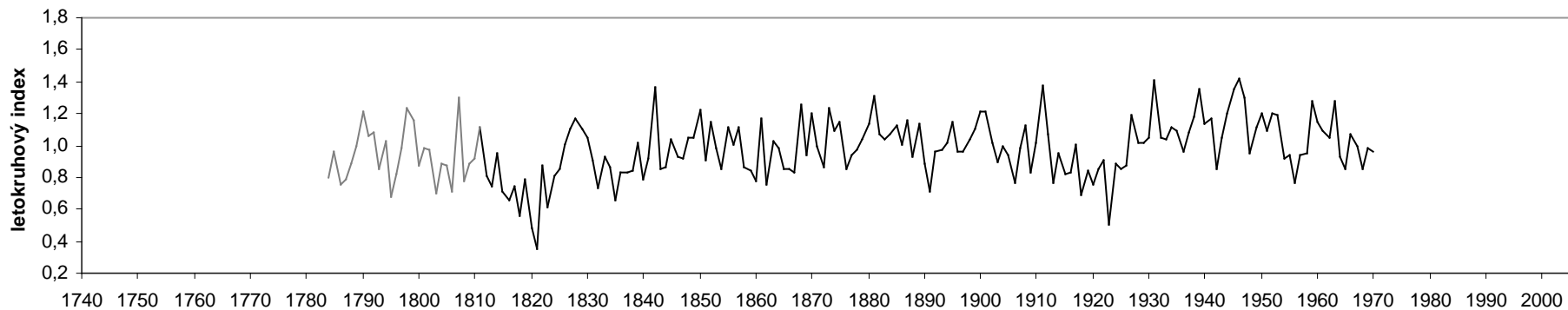
Tab. 3. Základní statistická charakteristika standardních chronologií

parametr	DD chronologie RCS chronologie	
	1792-2006	1811-1970
průměrný letokruhový index	0,967	0,983
směrodatná odchylka	0,232	0,184
citlivost	0,185	0,168
autokorelační koeficient 1.řádu	0,586	0,431
	1749-2006	1784-1970
průměrná mezisériová korelace	0,345	0,186
celkové EPS	0,964	0,807

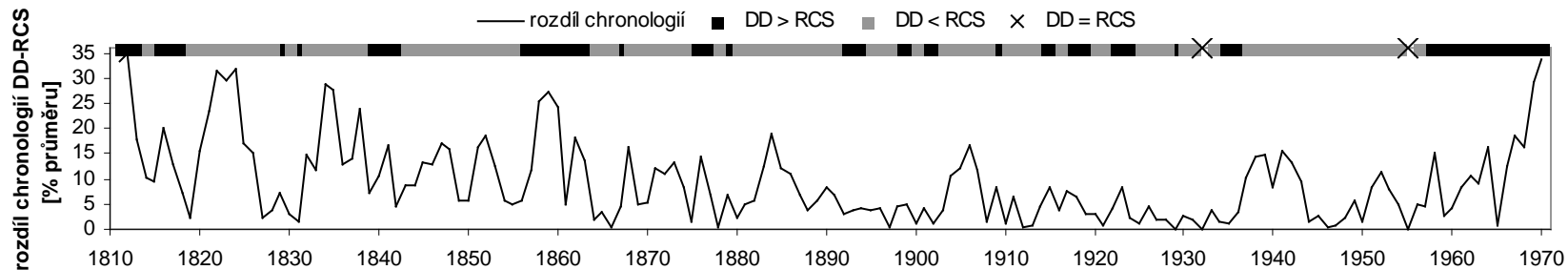
Obr. 9. DD chronologie 1792-2006 (šedě je vyjádřeno období 1749-1792 s pokrytím 2 až 4 sériemi)



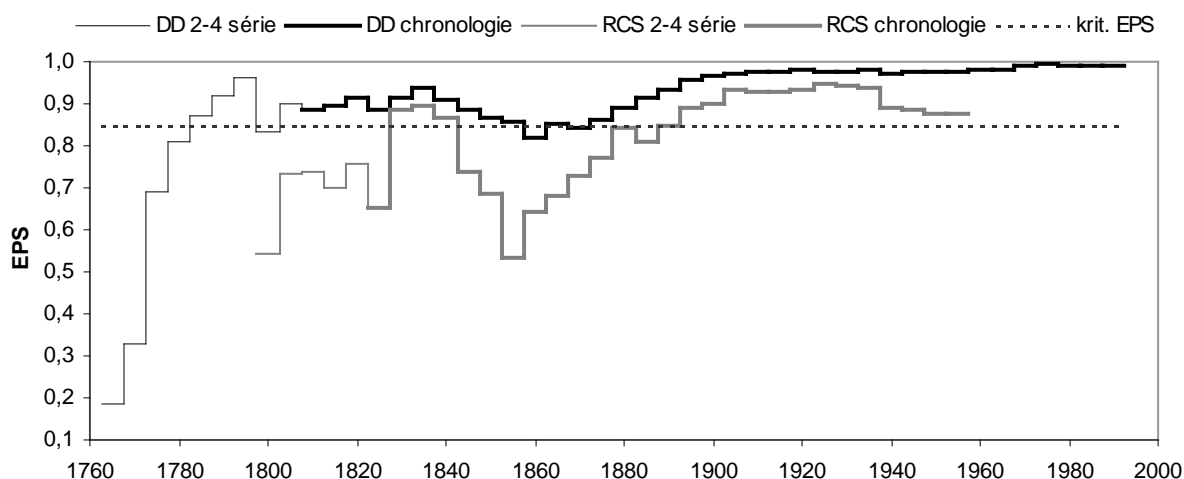
Obr. 10. RCS chronologie 1811-1970 (šedě je vyjádřeno období 1784-1811 s pokrytím 2 až 4 sériemi)



Obr. 11. Rozdíl indexových hodnot chronologií DD-RCS



Obr. 12. Plovoucí 30leté EPS standardních chronologií



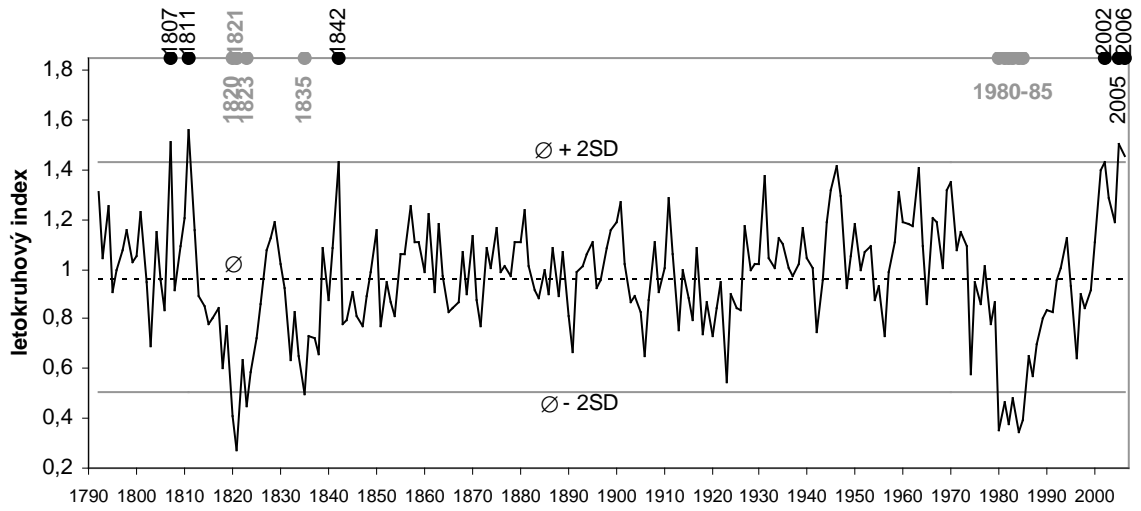
Parametr EPS, jako ukazatel kvality, spolehlivosti chronologie, výrazně převyšuje kritickou mez u DD chronologie. Hodnotu 0,964 lze označit za vynikající, dílčí série chronologie mají jednotný signál. V případě RCS chronologie je jak EPS, tak v něm zahrnutá průměrná mezisériová korelace o dost nižší. Tento stav vyplývá z podstaty RCS standardizace a z formulace EPS, jež dává vyšší důraz na krátkodobou variabilitu, nikoliv z menšího množství vzorků. Proto nelze brát podlimitní hodnotu 0,807 jako překážku dalšího využití RCS chronologie – dále budou uvažovány obě standardní chronologie. Nejslabším segmentem obou chronologií je zhruba třetí čtvrtina 19. století.

4.4. ANALÝZA SIGNATUR („POINTER VALUES“)

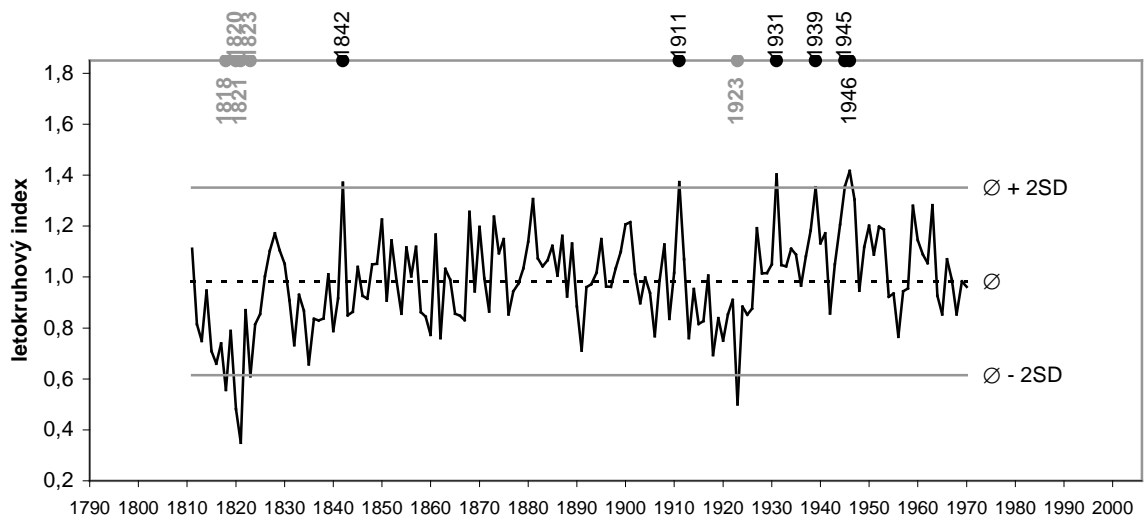
Výskyt extrémních hodnot letokruhového přírůstu se při pohledu na obě chronologie velmi dobře shoduje, konkrétně definované signatury (viz kapitola 3.7.) pak samozřejmě vykazují menší shodu mezi chronologiemi (Obr. 13 a 14).

U všech signatur kromě jediné (pozitivní 2006) existuje určité klimatické vysvětlení. Pouze u dvou záporných signatur (1818 u RCS, 1982 u DD) je klimatické vysvětlení jednoznačně rozporné. Mezi obdobími v roce, kterých se písemný nebo instrumentální záznam týká, tvoří většinu léto a jaro. Četnost teplotních a srážkových vysvětlení je podobná, nelze tedy jednoznačně určit primární klimatickou proměnnou. Tyto výsledky potvrzují, že signál obou standardních chronologií je skutečně signálem klimatickým.

Obr. 13. Signatory DD chronologie



Obr. 14. Signatory RCS chronologie



Tab. 4. Signatury standardních chronologií a jejich možná klimatické vysvětlení (záznam ze Sněžky znamená překročení směrodatné odchylky od průměru dané proměnné z let 1901-60, při použití adverbia „velmi“ překročení dvojnásobku odchylky, roční období jsou tříměsíční)

DD	RCS	záznam o počasí	zdroj
<i>negativní signatury</i>			
1818		"rok 1818 se označuje jako úrodný" "rok 1817 přes krátké léto úrodný"	JIRASEK 1915 JIRASEK 1915
1820	1820	povodeň	DEMUTH 1901
1821	1821	"24. června umrzl při prudké chumelenici na Pomezních boudách pastýř"	PETRÁK 1891
1823	1823	povodeň "v prosinci 1822 se dostavila krutá zima" - V. Úpa "rok 1822 měl tak teplý a suchý podzim, až stromy začaly rašit" - V. Úpa	DEMUTH 1901 JIRASEK 1915 JIRASEK 1915
1835		léto roku 1835 řazeno mezi suchá a horká; rok 1835 bohatý, úrodný rok 1834 - dlouhotrvající sucho	JIRASEK 1915 DEMUTH 1901
1923		velmi chladné léto nízké jarní a letní srážky	Sněžka*
1980		chladné jaro i léto vysoké jarní srážky	Sněžka*
1981		teplé jaro, chladný předchozí rok vysoké letní srážky, nízké jarní srážky	Sněžka*
1982		teplé léto	Sněžka*
1983		teplé jaro i léto, teplý předchozí rok nízké letní srážky, nízké srážky předchozí rok	Sněžka*
1984		chladné léto, teplý předchozí rok	Sněžka*
1985		chladná zima	Sněžka*
<i>pozitivní signatury</i>			
1807		léto roku 1807 (i 1806) řazeno mezi suchá a horká	JIRASEK 1915
1811		léto roku 1811 řazeno mezi suchá a horká	JIRASEK 1915
1842	1842	"v roce 1842 bylo jaro a léto neobyčejně horké a suché" rok 1841 řazen mezi horké a suché	JIRASEK 1915 JIRASEK 1915
1911		nízké letní srážky, vysoké srážky předchozí rok	Sněžka*
1931		teplý předchozí rok	Sněžka*
1939		teplé léto velmi vysoké jarní srážky, vysoké srážky předchozí rok	Sněžka*
1945		teplé jaro vysoké zimní a jarní srážky	Sněžka*
1946		velmi teplé jaro velmi vysoké zimní srážky, velmi vysoké srážky předchozí rok	Sněžka*
2002		velmi teplé léto, teplé jaro	Sněžka*
2005		---	Sněžka*
2006		velmi teplé léto	Sněžka*

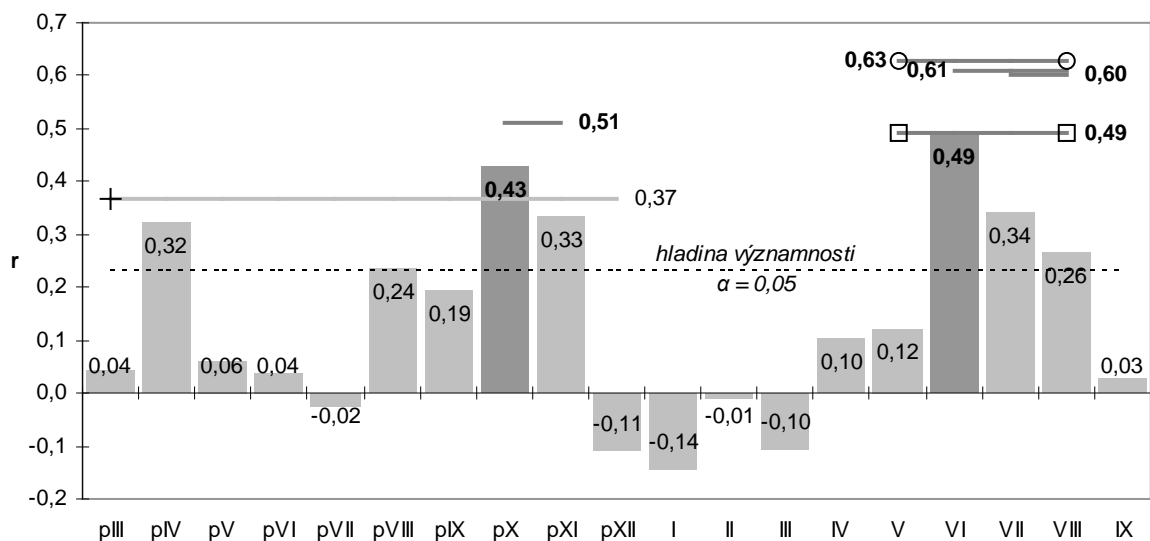
*Zdroj dat: GŁOWICKI (1998), IMGW Wrocław

4.5. ANALÝZA FUNKCE ODEZVY

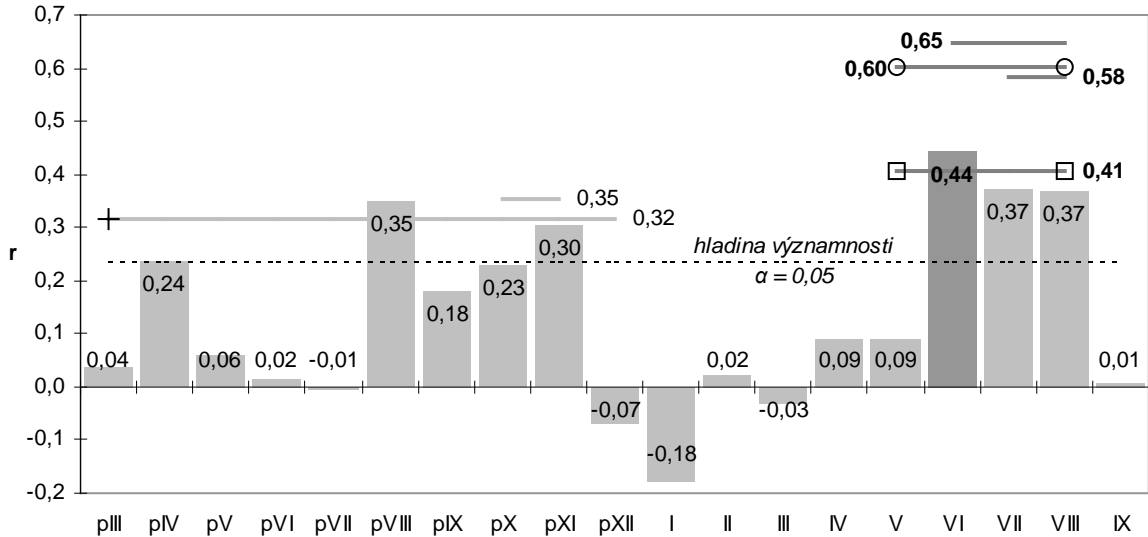
Odezva letokruhového přírůstu, představovaného standardními chronologiemi, vůči klimatu let 1901 až 1970 se v hlavních rysech u DD a RCS chronologie shoduje. Vůdčím klimatickým faktorem růstu jsou průměrné teploty vzduchu. Významně, avšak velmi málo, korelující proměnnou je v případě srážek pouze úhrn předchozího května, zatímco významně korelujících měsíčních teplotních proměnných je sedm (DD), respektive šest (RCS). Nejsilněji reaguje smrk na letní teploty – z měsíčních proměnných je to průměrná teplota června (u obou chronologií korelující významně na hladině významnosti 0,001), z dlouhodobějších veličin pak vůbec nejsilněji korelující ($r = 0,65$) průměrná teplota měsíců června, července a srpna u RCS chronologie a suma teplot ve vegetačním období do srpna u DD chronologie. Vzhledem k velmi vysokému korelačnímu koeficientu „průměrné letní teploty“ také u DD chronologie a skutečnosti, že vegetační období v této práci vychází právě a pouze z měsíčních průměrů, je průměrná teplota měsíců června až srpna tou proměnnou, která bude pomocí obou chronologií dále rekonstruována. Zároveň výsledky naznačují potenciál teplotní sumy ve vegetačním období, avšak pouze při jeho dokonalém pojetí.

RCS chronologie vykazuje jednoznačnější reakci na teploty, soustředící se do léta roku růstu. DD chronologie velmi významně ($\alpha = 0,001$) koreluje také s průměrnou teplotou předcházejícího podzimu (X-XI).

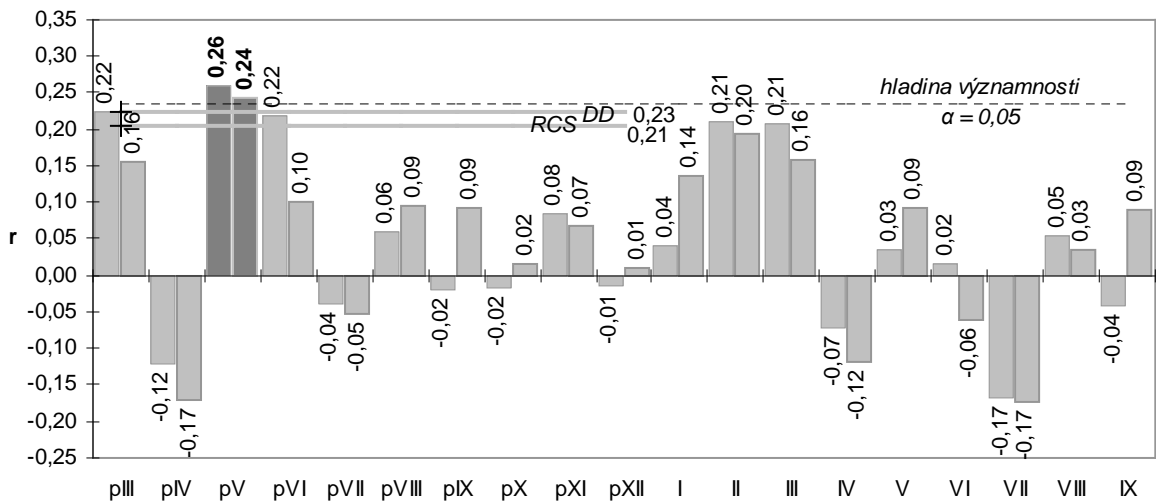
Obr. 15. Růstová odezva DD chronologie na teplotní proměnné (sloupce zastupují průměrné měsíční teploty, horizontální linie označují vždy průměr daných měsíců, pouze linie začínající znaménkem + přísluší předchozímu roku, linie ohraničené kolečkem a čtvercem představují sumu teplot a délku vegetačního období ($>5^{\circ}\text{C}$) do srpna včetně; tmavěji značené proměnné korelují významně na hladině významnosti $\alpha = 0,001$)



Obr. 16. Růstová odezva RCS chronologie na teplotní proměnné (sloupce zastupují průměrné měsíční teploty, horizontální linie označují vždy průměr daných měsíců, pouze linie začínající znaménkem + přísluší předchozímu roku, linie ohraničené kolečkem a čtvercem představují sumu teplot a délku vegetačního období (>5°C) do srpna včetně; tmavěji značené proměnné korelují významně na hladině významnosti $\alpha = 0,001$)



Obr. 17. Růstová odezva DD a RCS chronologie na srážkové proměnné (levý sloupec zastupuje korelace DD chronologie, pravý korelace RCS chronologie a měsíčního úhrnu srážek, horizontální linie začínající znaménkem + přísluší předchozímu roku; tmavěji značené proměnné korelují významně na hladině významnosti $\alpha = 0,05$)

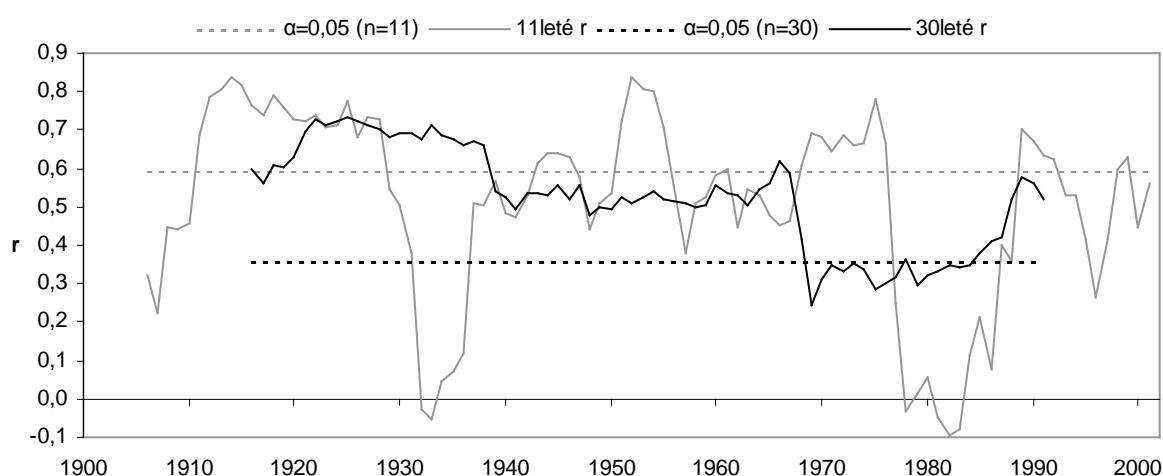


Výpočet plovoucích korelací ukazuje na nestabilitu růstové citlivosti vůči průměrné teplotě měsíců června až srpna. Na úrovni 30letých korelací je vidět, že k určitému oslabení dochází již na začátku 40. let 20. století. Statisticky významný propad se pak odehrává na konci 60. let (1969, Obr. 18), což potvrzuje správnost všech předchozích rozhodnutí spojených s neuvažováním období po roce 1970. Tento fakt je příčinou dalšího zvýšení opatrnosti tím, že v navazující kalibraci (obou chronologií) bude uvažováno období původní

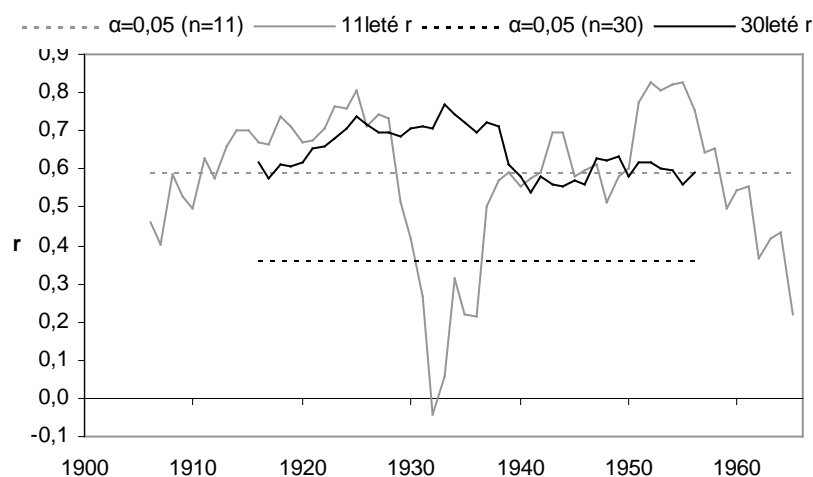
(1901-1970) v mírně zkrácené podobě – 1901 až 1966 (1966 je poslední rok před nástupem poklesového trendu). Opětovnému zvýšení odezvy přírůstu na letní teploty během druhé poloviny 80. let není přikládán takový význam, aby byla perioda na toto navazující uvažována pro verifikaci, natož kalibraci. 11leté korelace odhalují kromě tzv. imisní epizody extrémní necitlivost vůči letním teplotám také ve 30. letech. Vzhledem k tomu, že je výskyt takových jevů přirozený a projevuje se jen krátkodobě, není mu přikládán takový význam, aby znemožnil provedení dendroklimatické rekonstrukce.

V období stabilní citlivosti 1901-1966 dosahují korelace průměrné letní teploty se šířkami letokruhů podle DD chronologie hodnoty 0,62, podle RCS chronologie pak nejvyšší hodnoty 0,66. Tato nejvýznamnější klimatická proměnná tak vysvětluje 38%, respektive 44% variability standardních chronologií.

Obr. 18. Plovoucí korelace mezi DD chronologií a průměrnou teplotou VI-VIII



Obr. 19. Plovoucí korelace mezi RCS chronologií a průměrnou teplotou VI-VIII



4.6. KALIBRACE A VERIFIKACE

Ač vychází RCS chronologie nesporně jako ta s nejvyšší vazbou na průměrné letní teploty, je předmětem kalibrace a verifikace spolu s ní také robustnější DD chronologie.

Tab. 5. Parametry kalibrace pomocí regresní analýzy

kalibrační období	chronologie	regresní rovnice	korelační koeficient r	vysvětlená variabilita [%]
1901 - 1933	DD	$y = 2,7298x + 4,6398$	0,577	33,3
	RCS	$y = 2,7159x + 4,6257$	0,588	34,6
1934 - 1966	DD	$y = 2,362x + 5,3786$	0,511	26,1
	RCS	$y = 2,9822x + 4,6641$	0,614	37,7

Tab. 6. Parametry kalibrace pomocí škálování

kalibrační období	chronologie	aritmetický průměr		směrodatná odchylka *	
		letokruhové řady	teplotní řady	letokruhové řady	teplotní řady
1901 - 1933	DD	0,945	7,22	0,187	0,116
	RCS	0,955		0,189	
1934 - 1966	DD	1,084	7,94	0,151	0,095
	RCS	1,098		0,142	

pozn.: * po vyrovnání průměrů

Tab. 7. Verifikační statistika regresních modelů založených na DD chronologii (tučně zvýrazněné hodnoty jsou významné na hladině významnosti $\alpha = 0,05$)

statistický ukazatel	1901 - 1933		1934 - 1966	
průměr (Skut. --- Odhad.)	7,221	7,220	7,938	7,598
sm. odchylka (S. --- O.)	0,847	0,489	0,770	0,454
korelační koeficient r	0,5778		0,5097	
test znaménka	8		6	
test součin. rozdílu	2,473	→	3,2902	
RE	0,3339		0,5003	
RISK	-0,3335		-0,3149	
BIAS	0		0,4977	
COVAR	0,6674		0,3175	
průměr (Skut. --- Odhad.)	7,221	7,611	7,938	7,939
sm. odchylka (S. --- O.)	0,847	0,424	0,770	0,394
korelační koeficient r	0,5772		0,5102	
test znaménka	9		10	
test součin. rozdílu	3,946	←	2,2607	
RE	0,4873		0,2603	
RISK	-0,2321		-0,2614	
BIAS	0,3875		0	
COVAR	0,3319		0,5217	

Tab. 8. Verifikační statistika regresních modelů založených na RCS chronologii (tučně zvýrazněné hodnoty jsou významné na hladině významnosti $\alpha = 0,05$)

statistický ukazatel	1901 - 1933		1934 - 1966	
průměr (Skut. --- Odhad.)	7,221	7,221	7,938	7,608
sm. odchylka (S. --- O.)	0,847	0,499	0,770	0,431
korelační koeficient r	0,5882		0,6149	
test znaménka	8		9	
test součin. rozdílu	2,9829	→	4,9038	
RE	0,346		0,5701	
RISK	-0,3468		-0,3033	
BIAS	0		0,5097	
COVAR	0,6929		0,3637	
průměr (Skut. --- Odhad.)	7,221	7,513	7,938	7,940
sm. odchylka (S. --- O.)	0,847	0,548	0,770	0,473
korelační koeficient r	0,5878		0,6142	
test znaménka	10		9	
test součin. rozdílu	3,9683	←	3,0289	
RE	0,551		0,3772	
RISK	-0,3896		-0,3768	
BIAS	0,5035		0	
COVAR	0,4372		0,754	

Tab. 9. Verifikační statistika škálovacích modelů založených na DD chronologii (tučně zvýrazněné hodnoty jsou významné na hladině významnosti $\alpha = 0,05$)

statistický ukazatel	1901 - 1933		1934 - 1966	
průměr (Skut. --- Odhad.)	7,221	7,220	7,938	7,875
sm. odchylka (S. --- O.)	0,847	0,847	0,770	0,786
korelační koeficient r	0,5764		0,5103	
test znaménka	8		6	
test součin. rozdílu	2,4547	→	3,2828	
RE	0,1527		0,4686	
RISK	-1,0003		-0,9425	
BIAS	0		0,8614	
COVAR	1,153		0,5497	
průměr (Skut. --- Odhad.)	7,221	7,298	7,938	7,938
sm. odchylka (S. --- O.)	0,847	0,829	0,770	0,770
korelační koeficient r	0,5763		0,5107	
test znaménka	9		10	
test součin. rozdílu	3,9472	←	2,2518	
RE	0,5183		0,0212	
RISK	-0,8884		-1,0003	
BIAS	0,7584		0	
COVAR	0,6482		1,0214	

Tab. 10. Verifikační statistika škálovacích modelů založených na RCS chronologii (tučně zvýrazněné hodnoty jsou významné na hladině významnosti $\alpha = 0,05$)

statistický ukazatel	1901 - 1933		1934 - 1966	
průměr (Skut. --- Odhad.)	7,221	7,221	7,938	7,879
sm. odchylka (S. --- O.)	0,847	0,847	0,770	0,731
korelační koeficient r	0,587		0,6132	
test znaménka	8		9	
test součin. rozdílu	2,9671	→	4,9043	
RE	0,1738		0,6076	
RISK	-1,0005		-0,8746	
BIAS	0		0,8674	
COVAR	1,1743		0,6149	
průměr (Skut. --- Odhad.)	7,221	7,246	7,938	7,938
sm. odchylka (S. --- O.)	0,847	0,891	0,770	0,769
korelační koeficient r	0,5869		0,6131	
test znaménka	10		9	
test součin. rozdílu	3,9655	←	2,9983	
RE	0,4986		0,2266	
RISK	-1,0308		-0,999	
BIAS	0,8198		0	
COVAR	0,7096		1,2257	

Verifikační statistika je téměř u všech hodnot (63 ze 64 případů) ukazatelů se zjistitelnou statistickou významností ($\alpha = 0,05$), v kalibračním i verifikačním období, u odhadnutých řad podle obou chronologií i na základě obou kalibračních metod, významná. U všech modelů je verifikační statistika (korelační koeficient) pro kalibraci a verifikaci ve shodném období velmi podobná, což také potvrzuje jejich platnost. Vyrovnanost verifikační statistiky v obou verifikačních obdobích je vyšší u modelů založených na RCS chronologii než na DD chronologii (rozdílnost testu součinného rozdílu oproti rozdílnosti korelačního koeficientu a testu znaménka). Co se týká podobnosti skutečných a odhadnutých hodnot průměru a směrodatné odchylky teplotních řad ve verifikačním období, jako přesnější jednoznačně vychází kalibrace pomocí škálování. Nejvyšší hodnoty dvou nejvýznamnějších parametrů, korelačního koeficientu a redukce chyby, ve verifikačním období jsou dosaženy u regresního a škálovacího RCS modelu. Všechny dílčí komponenty redukce chyby ukazují na významnější verifikaci v případě škálovacích kalibračních metod.

Tímto dochází k potvrzení RCS chronologie jako nejvhodnějšího zdroje pro teplotní rekonstrukci a škálování jako relativně nejpřesnější kalibrační metody. Přesto je následující rekonstrukce provedena též na základě DD chronologie.

4.7. DENDROKLIMATICKÁ REKONSTRUKCE

Verifikační statistika konečných modelů v definitivním kalibračním období 1901-1966 je v souladu s předchozími zjištěními. Po doplňkovém zhlazení skutečně naměřených a odhadnutých teplotních řad je vůdčí postavení RCS škálovacího modelu ještě zvýrazněno (korelace odhadnutých a skutečných hodnot rovna 0,86 je velmi dobrá), pouze výrazný pokles parametru RISK pod hodnoty -1 upozorňuje na očekávané zvýšené nebezpečí nadhodnocení teplotní amplitudy rekonstruovaných řad, jež budou dále předmětem hodnocení právě ve zhlazeném stavu.

Tab. 11. Parametry definitivní kalibrace pomocí škálování

kalibrační období	chronologie	aritmetický průměr		směrodatná odchylka *	
		letokruhové řady	teplotní řady	letokruhové řady	teplotní řady
1901 - 1966	DD	1,015	7,58	0,181	0,115
	RCS	1,027		0,178	

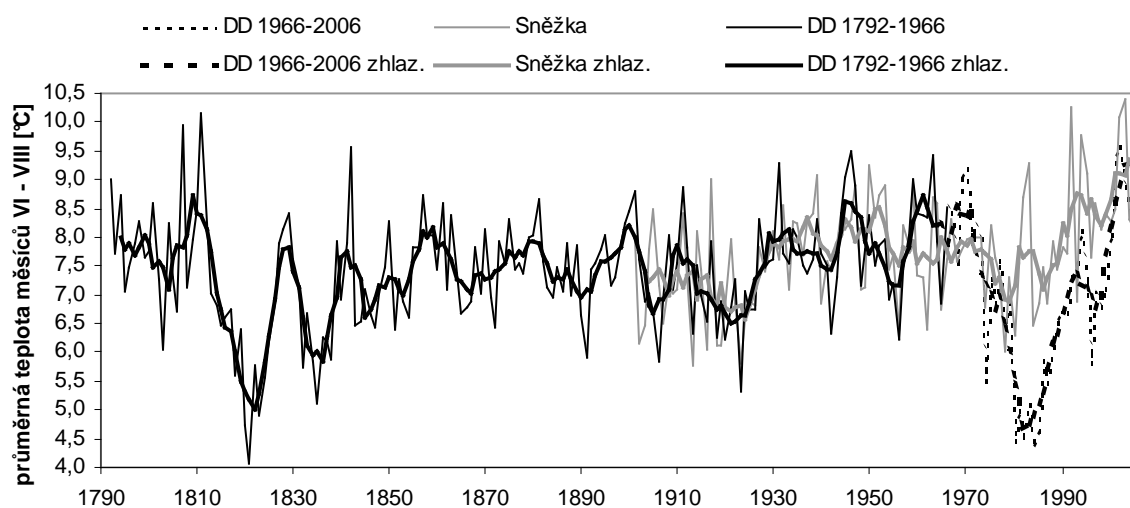
pozn.: * po vyrovnání průměrů

Tab. 12. Verifikační statistika definitivních modelů v kalibračním období (tučně zvýrazněné hodnoty jsou významné na hladině významnosti $\alpha = 0,05$)

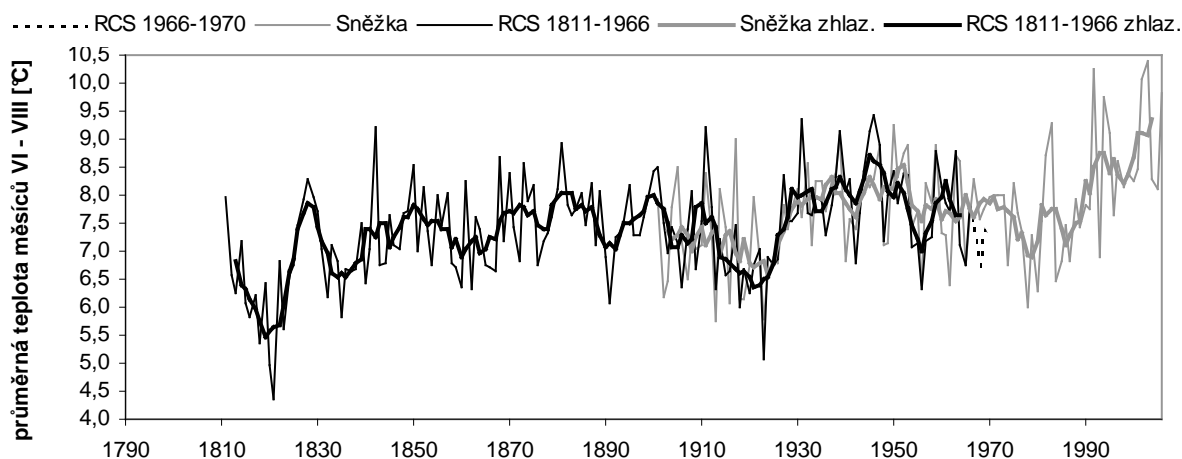
statistický ukazatel	DD chronologie	RCS chronologie		
průměr (Skut. --- Odhad.)	7,579	7,579	7,579	7,579
sm. odchylka (S. --- O.)	0,881	0,881	0,881	0,881
korelační koeficient r		0,6162		0,6635
test znaménka		18		20
test součin. rozdílů		4,0926		4,8694
RE		0,2326		0,327
RISK		-0,9997		-0,9999
BIAS		0		0
COVAR		1,2323		1,327
<i>řady zhlazené 5letým klouzavým průměrem</i>				
průměr (Skut. --- Odhad.)	7,593	7,556	7,593	7,578
sm. odchylka (S. --- O.)	0,481	0,584	0,481	0,606
korelační koeficient r		0,731		0,8587
test znaménka		12		9
test součin. rozdílů		5,8243		6,2975
RE		0,2956		0,5753
RISK		-1,4788		-1,5886
BIAS		0		0
COVAR		1,7745		2,1639

Na obr. 20 je dobře vidět nesoulad teplot odvozených z DD chronologie a těch skutečně naměřených – začíná v průběhu 70. let, ale pokračuje i v 90. letech; opatrný přístup k periodě od konce 80. let je podle toho oprávněný. Porovnání obou rekonstruovaných řad v podstatě jen doplňuje porovnání čistých chronologií (kapitola 4.3.). Maximální nesoulad ve třetí čtvrtině 19. století časově odpovídá výskytu nejnižších hodnot EPS. Rekonstrukce podle RCS chronologie stejně jako chronologie samotná vykazuje nižší variabilitu (Tab. 13), po shlédnutí grafických vyjádření (Obr. 20 a 21) je zřejmé, že v krátkodobém, ne už ve střednědobém časovém měřítku.

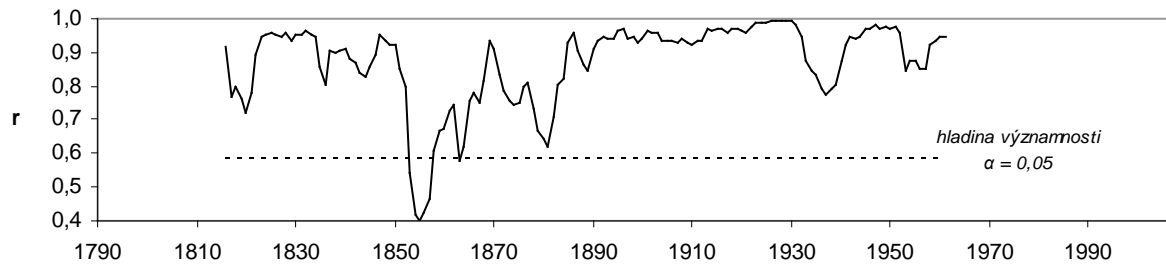
Obr. 20. Řada průměrných teplot VI-VIII rekonstruovaná na základě DD chronologie a zhlazená 5letým klouzavým průměrem



Obr. 21. Řada průměrných teplot VI-VIII rekonstruovaná na základě RCS chronologie a zhlazená 5letým klouzavým průměrem



Obr. 22. Plovoucí 11leté korelace mezi rekonstruovanými řadami (DD, RCS)



Tab. 13. Porovnání DD a RCS rekonstrukcí pro období 1811-1966

statistický ukazatel	DD rekonstrukce	RCS rekonstrukce
aritmetický průměr [°C]	7,35	7,37
směrodatná odchylka [°C]	0,973	0,883
korelační koeficient r		0,856
min. 11letá korelace		0,401 (1855)
max. 11letá korelace		0,996 (1928)

4.8. POROVNÁNÍ REKONSTRUKCE SE STŘEDOEVPROSKÝMI ZÁZNAMY

Rekonstruované řady průměrných teplot měsíců června až srpna, zejména na základě letokruhových dat zpracovaných RCS standardizací, považuji za dostatečně věrohodný analog teplotních podmínek panujících ve vrcholových polohách východních Krkonoš. Celkový korelační koeficient (Tab. 14) je hlavním parametrem srovnání rekonstrukcí a vybraných záznamů středoevropských letních teplot.

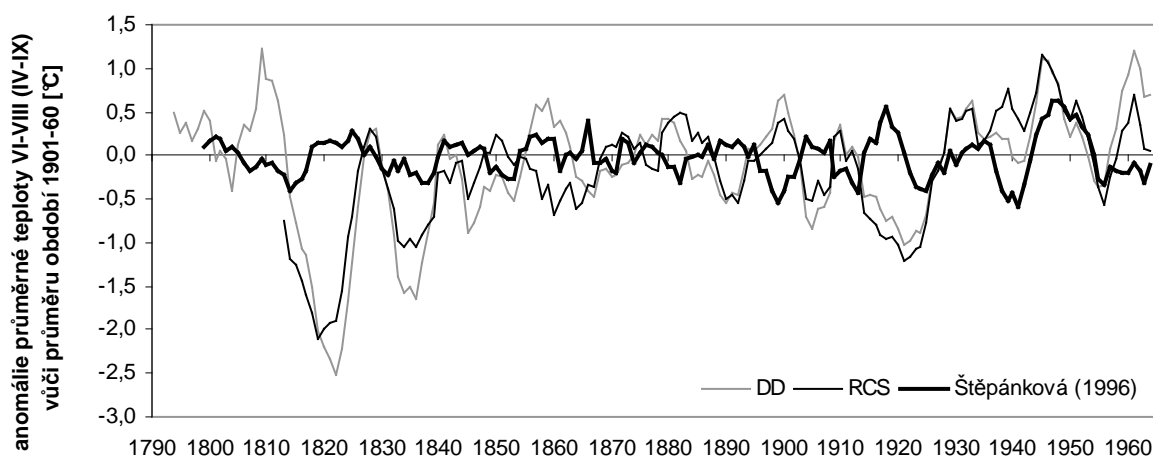
Autorem získané řady rekonstruovaných teplot vykazují minimální podobnost s rekonstrukcí ŠTĚPÁNKOVÉ (1996). Ta je platná pro letní půlrok a byla vytvořena na základě maximální hustoty pozdního dřeva. Z regionálních teplotních řad je těm východokrkonoským trendově nejbližší nejnovější celoevropská řada. Z průměrných alpských instrumentálních záznamů existují vyšší celkové korelace u severovýchodního subregionu nižších nadmořských výšek. Absolutně nejvyšší souhlas s rekonstrukcemi jeví dlouhodobý instrumentální záznam z hornorakouské stanice Kremsmünster. Ze stanic prostorově nejbližších zkoumané oblasti, bohužel velkoměstských, vykazuje vyšší příbuznost polská Wrocław než Praha. Co se týká rozdílů mezi rekonstrukcemi, teplotní řada podle RCS chronologie silněji koreluje se záznamy z jednotlivých meteorologických stanic, zatímco rekonstrukce založená na DD chronologii jeví vyšší soulad s průměrnými řadami.

Průměrné 11leté korelace při porovnání s celkovým r ukazují na charakter stability vztahu mezi rekonstrukcí a skutečně zaznamenanou teplotní řadou. Jak znázorňuje i Obr. 24, relativně dobrý soulad s rekonstrukcemi (zejména DD) si v celé své délce drží evropská

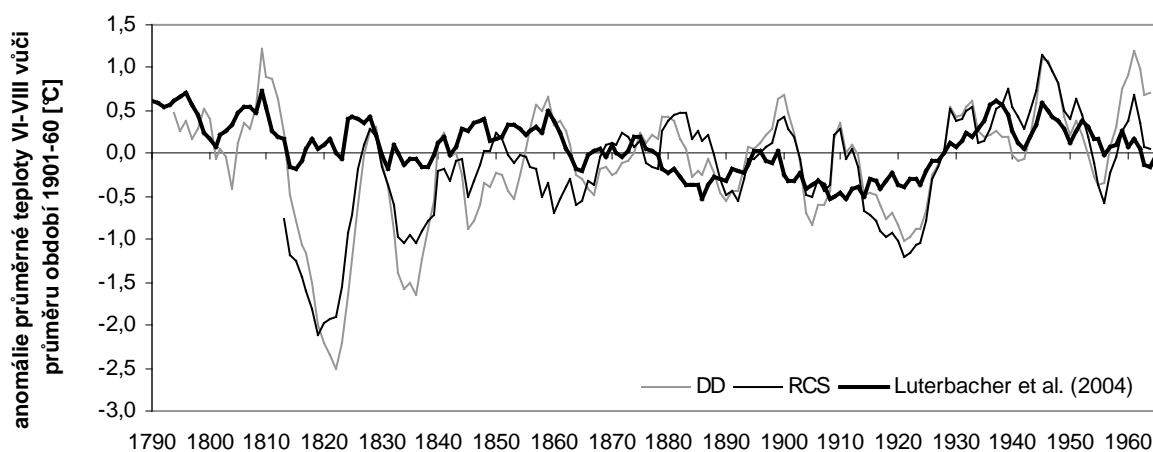
teplotní řada. Větší rozkolísanost je patrná u jednotlivých staničních záznamů. Velmi výrazně jsou výsledky vymezeny mezi oběma typy rekonstrukcí - výsadní postavení má zde DD rekonstrukce s velkou většinou nejvyšších hodnot.

Znázorněný vztah rekonstruovaných řad k ostatním záznamům středoevropských letních teplot v 19. a 20. století ukazuje na meziregionální klimatickou proměnlivost. Velká většina celkových korelací mezi rekonstruovanými a srovnávacími řadami je statisticky významná ($\alpha = 0,05$). Ač je statistická významnost v případě korelování dlouhých řad značně zavádějící, určitým způsobem jsou tyto výsledky, zároveň při pohledu na grafické vyjádření a shodu v nejhrubším měřítku, jakousi dodatečnou verifikací obou rekonstruovaných krkonošských teplotních řad.

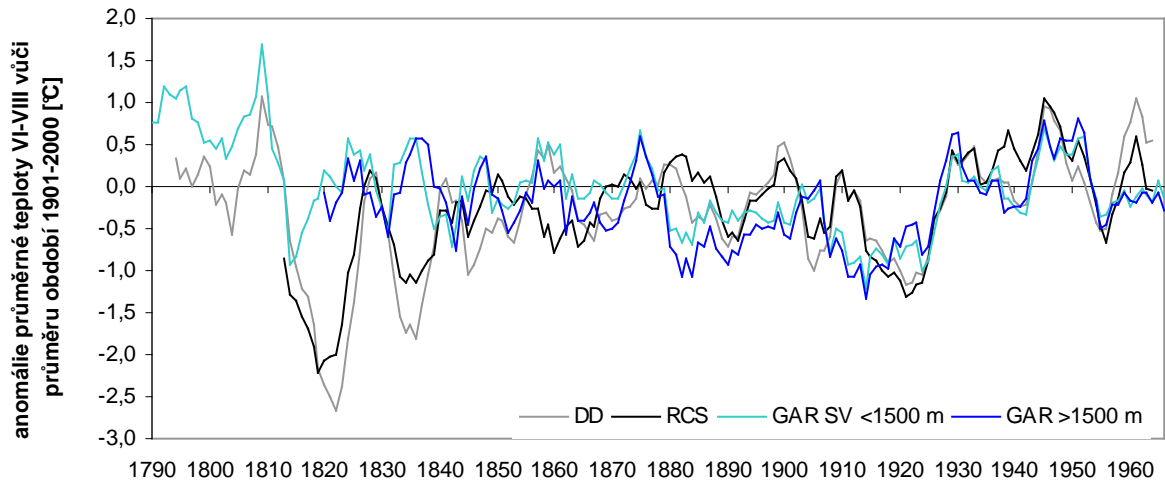
Obr. 23. Porovnání výsledných rekonstrukcí s výsledky dendroklimatické rekonstrukce ŠTĚPÁNKOVÉ (1996) (řady jsou zhlazeny 5letým klouzavým průměrem)



Obr. 24. Porovnání výsledných rekonstrukcí s evropskou teplotní řadou (LUTERBACHER et al. 2004) (řady jsou zhlazeny 5letým klouzavým průměrem)

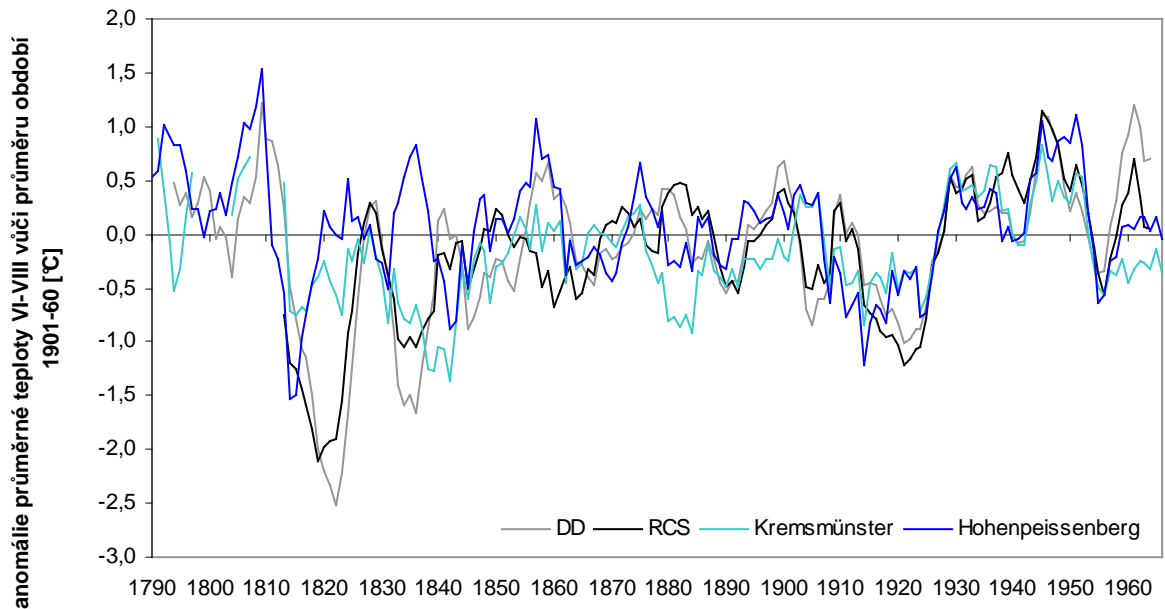


Obr. 25. Porovnání výsledných rekonstrukcí s alpskými teplotními řadami (řady jsou zhlazeny 5letým klouzavým průměrem, rekonstrukční průměr 1901-2000 je průměrem meteorologické stanice Sněžka)



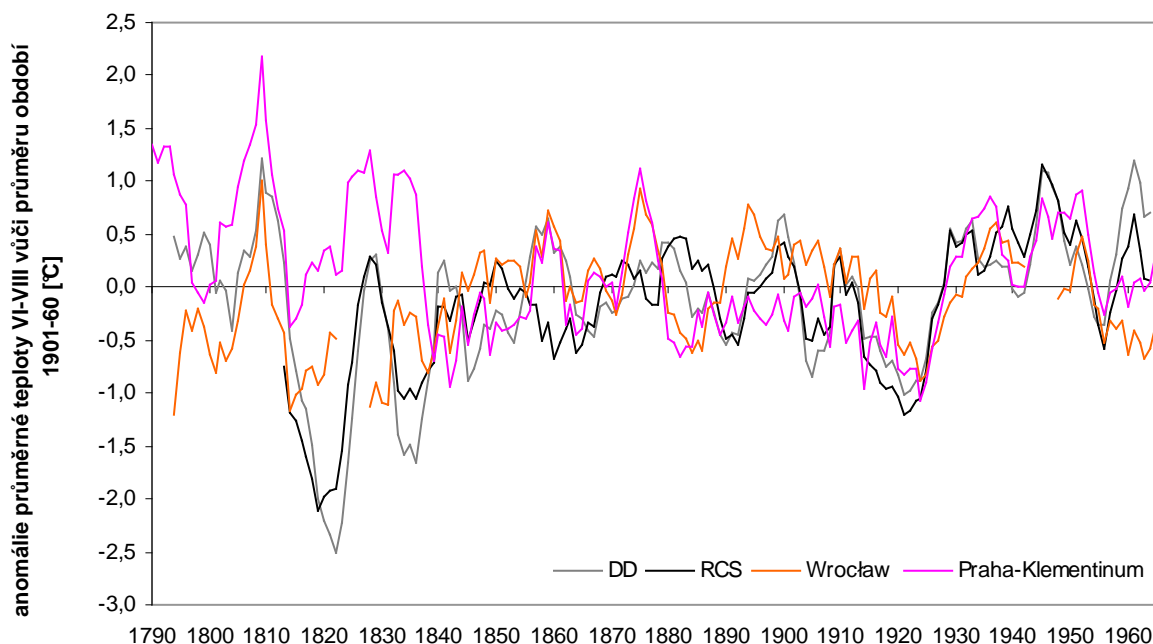
Zdroj dat: <http://www.zamg.ac.at>

Obr. 26. Porovnání výsledných rekonstrukcí s instrumentálními teplotními řadami meteorologických stanic Kremsmünster a Hohenpeissenberg (řady jsou zhlazeny 5letým klouzavým průměrem)



Zdroj dat: <http://www.ncdc.noaa.gov>

Obr. 27. Porovnání výsledných rekonstrukcí s instrumentálními teplotními řadami meteorologických stanic Wrocław a Praha-Klementinum (řady jsou zhlazeny 5letým klouzavým průměrem)



Zdroj dat: <http://www.ncdc.noaa.gov>, <http://eca.knmi.nl>

Tab. 14. Souhrn vztahů mezi rekonstruovanými a porovnávanými teplotními řadami (podtržení vyjadřuje vyšší korelace z rekonstrukcí)

porovnávaná řada	RCS rekonstrukce		DD rekonstrukce	
	celkové r	Ø 11leté r	celkové r	Ø 11leté r
ŠTĚPÁNKOVÁ (1996)	0,023	-0,128	0,009	0,003
LUTERBACHER et al. (2004)	0,294	0,230	<u>0,317</u>	<u>0,297</u>
GAR severovýchod <1500 m *	0,242	0,043	<u>0,270</u>	<u>0,224</u>
GAR >1500 m *	<u>0,221</u>	0,020	0,134	<u>0,187</u>
Hohenpeissenberg **	<u>0,413</u>	0,069	0,333	<u>0,221</u>
Kremsmünster **	<u>0,505</u>	<u>0,258</u>	0,436	0,214
Praha-Klementinum *****	0,176	0,118	<u>0,201</u>	<u>0,274</u>
Wrocław **	<u>0,427</u>	0,051	0,316	<u>0,257</u>

Zdroj dat: *<http://www.zamg.ac.at>, **<http://www.ncdc.noaa.gov>, ***<http://eca.knmi.nl>

6. DISKUZE

Úspěšně odatovaný historický materiál bohužel nebylo možné využít, a tak vznikly dvě nekompozitní standardní chronologie smrku. Ty je možné v budoucnu použít jako dobrý podklad pro datování přírodních událostí či vzniku některých staveb zhruba během posledních 200 let. Zároveň jsou dobrým analogem chodu průměrných letních teplot v nejvyšších polohách východních Krkonoš.

Největším problémem v datovací proceduře bezpochyby bylo křížové datování historických vzorků. Na první pokus došlo k úspěšné dataci pouze vývrtů a kotoučů z bývalé České boudy a některých výše položených chalup (Černá Hora, Pec pod Sněžkou – Modrý důl). Další datování historických vzorků vyžadovalo více podpůrných údajů, nejen letokruhových chronologií, a bylo tak subjektivnější. Umístění sérií ze stojících stromů v čase je díky odběru v jasně definovaném časovém okamžiku jednoznačné. Určité chyby ve výsledných chronologiích může vytvářet pouze nepřesné vyhodnocení chybějících a falešných letokruhů.

Posouzení příbuznosti historických vzorků z poloh nad 1000 m n.m. vůči sériím ze stojících stromů přineslo jasné výsledky – tato data nejsou vhodná k vytvoření robustní chronologie. Jestliže skutečně platí výchozí předpoklad, že pro konstrukci krovů a roubení starých horských staveb se využívaly přísně lokální zdroje, znamenají výsledky následující – (1) dřevěný materiál byl odebírán převážně ze zapojených, relativně mladých porostů, charakterem značně odlišných od nejvýše položených dlouhověkých smrkových lesů s mezernatou strukturou, anebo (2) v Krkonoších existuje ostřejší vertikální proměnlivost charakteristik letokruhů než v jiných středoevropských středohorách (WILSON – HOPFMUELLER 2001), a tedy hranice pro klimaticky (teplotně) citlivý dendrochronologický materiál leží blíže horní hranici lesa. Dříve deklarovaná obava, že se nelze vyhnout zisku vzorků z nedominujících, kompetičně ovlivněných jedinců, se podle toho plně potvrdila. I WILSON – HOPFMUELLER (2001) uvádějí z Bavorského lesa zvýšenou teplotní citlivost v polohách nad 1300 m n.m., na takřka skokovitý nárůst citlivosti a teplotního omezení růstu stromů při hranici lesa upozorňují PAULSEN – WEBER – KÖRNER (2000). Doplnující analýza uvažující historické série z vrcholu Sněžky, ač vychází ještě z menšího datového souboru, umocňuje výslednou interpretaci. Ani tento historický materiál totiž nevykazuje podobnost se

vzorky ze stojících smrků. Pomineme-li riziko možné nepůvodnosti materiálu (podle KLIMEŠE-ústní sdělení mohly být spolu s již použitými konstrukčními prvky ze staré Pomezni boudy na vrchol Sněžky taktéž dopraveny „čerstvé“ trámy), ukazuje se, že ne všechna data z oblasti hranice lesa jsou použitelná. I zde je významnou neznámou sociální postavení zdrojových stromů. V tomto smyslu mohou mít obecně kompozitní horské chronologie např. v alpské oblasti (BÜNTGEN 2006a, BÜNTGEN 2006b) svá slabší místa. Ačkoliv se v současnosti zavádějí nové přístupy k získávání historických vzorků (WILSON – TOPHAM 2004), je nejspíš vyvinutí dlouhé robustní kompozitní chronologie pro vysoké polohy Krkonoš v budoucnu nepravděpodobné.

Obě uplatněné standardizační metody mají vysoký potenciál k zachování dlouhodobějších klimatických oscilací ve výsledných chronologiích (BRÁZDIL et al. 2002, ESPER – FRANK – LUTERBACHER 2007) – výsledky provedené standardizace to potvrzují. Vytvořená RCS chronologie je, podle podlimitního EPS a nižšího množství zdrojových sérií, spornější než chronologie vyvinutá metodou dvojitého detrendování. Podíl na tom má relativní komplikovanost dílčích předstandardizačních úkonů, jež sledují cíl co nejideálnější chronologie. Klíčový parametr EPS však svou formulací přirozeně podhodnocuje spolehlivost RCS chronologií, zahrnutý korelační koeficient totiž dává vyšší důraz na krátkodobou než střednědobou variabilitu, jež je zdůrazněna v RCS chronologiích. To dává podporu dalšímu využití RCS chronologie. V souladu s tím je i v podstatě jediný srovnatelný příklad z literatury, kde BÜNTGEN et al. (2006b) pracují s kompozitní, asi 900 let dlouhou smrkovou RCS chronologií, jež je budována více než 200 sériemi a má EPS rovno 0,80.

U obou chronologií byl synchronně zaznamenán nejslabší segment plovoucích 30 letých EPS ve třetí čtvrtině 19. století. Díky podobnému průběhu u DD i RCS chronologie nemůže být vysvětlen nejvyšší koncentrací nejmladší věkové třídy v dotčeném období v případě DD chronologie. Vysvětlením tak asi může být zvýšená rozdílnost lokalit, které jsou zdrojem dat pro danou periodu.

Ačkoliv pouze dvě striktně definované negativní signatury autorem vyvinutých chronologií odpovídají obecně vymezeným negativním signaturám chronologií z Labského dolu (SANDER et al. 1995, <http://www.ngdc.noaa.gov>), obecně výrazné oscilace jsou těmto dendrochronologickým souborům společné. Podobně jako u chronologií z Labského dolu, je u DD a RCS chronologie zajímavá „absence“, respektive ne tak výrazný projev významně nízkého letokruhové přírůstu v letech 1815-1816 a 1912. Ty jsou totiž dobře zachyceny

v mnoha středoevropských (KYNCL et al. cit. in ŠTĚPÁNKOVÁ 1996) i kontinentálních (např. BRIFFA et al. 1998a) dendrochronologických materiálech a souvisí se známými erupcemi sopek Tambora a Katmai. Podle průběhu DD i RCS chronologie lze říci, že ovlivnění růstu ve zmíněných letech nastalo, avšak úplného minima dosáhlo až několik let poté, v kombinaci s ostatními růstovými faktory. PÍSEK – BRÁZDIL (2006) v souladu s tím uvádějí, že v lokálních středoevropských instrumentálních teplotních řadách není vliv vulkanických erupcí, zejména tropických, tak výrazný jako například v průměrných kontinentálních záznamech. Přiřazování historických písemných záznamů o počasí a semikvantitativně vyjádřených záznamů ze stanice Sněžka jednotlivým negativním i pozitivním signaturám obou chronologií má své rezervy zejména v nejstarším popisovaném období. Často nejsou písemné zprávy prostorově specifikovány nebo je velmi pravděpodobné, že pochází z oblasti krkonošského podhůří. Proto například růstový rok 1818, kdy je záznam o počasí v rozporu s letokruhovým přírůstem, nelze definitivně brát jako neklimaticky vysvětlitelný. Podle popisované analýzy se jeví jako rozporný jednoznačně také rok 1982, z té doby je však dobře známo neklimatické ovlivnění růstové aktivity (KROUPOVÁ 2002).

Přes komplexitu klimatického ovlivnění stromového růstu, kterou analýza signatur dobře zachycuje, lze z výsledků vyčíst zvýšenou roli podmínek v průběhu vegetačního období. Jedná se o určitou podporu výsledků navazující analýzy růstové odezvy na klima a rekonstruovaných teplotních řad, zvláště když se uváží, že právě na extrémních hodnotách šířek letokruhů mají zvýšený podíl klimatické extrémy specifitějšího rázu (TESSIER et al. 1997).

Aplikované jednoduché korelační metody dostačují k analýze odezvy letokruhového přírůstu na klima (BRIFFA et al. 2002). Nejvýznamnější nalezené vztahy souhlasí s výsledky analýz funkce odezvy u všech známých chronologií smrku pocházejících jak z Krkonoš (SANDER et al. 1995, ŠTĚPÁNKOVÁ 1996), tak Bavorského lesa (WILSON – TOPHAM 2004), Karpat (BÜNTGEN et al. 2007), Alp (BÜNTGEN et al. 2006b, FRANK – ESPER 2005a, WILSON – TOPHAM 2004) i kanadské Britské Kolumbie (WILSON – LUCKMAN 2003). Nejvyšší korelace šířky letokruhů s průměrnými letními teplotami a červnovým teplotním průměrem jsou zdůvodňovány důležitostí teplot v průběhu první části vegetačního období (v horských polohách od května) pro tvorbu časného dřeva, které tvoří většinu celkové šířky letokruhu (BÜNTGEN et al. 2006). Existence relativně vysoké pozitivní závislosti růstu na příznivých podzimních teplotách odpovídá významu teplého října a listopadu (prodloužení období intenzivní asimilace, podpora kořenových mykorrhiz a dospění jehlic a pupenů před nástupem

zimního stresu) pro formování prvních buněk časného dřeva (TRANQUILLINI 1979, BÜNTGEN et al. 2007).

Výsledky analýzy stability růstové odezvy vůči letním teplotám též odpovídají dosud publikovaným pracím. Podle SANDERA et al. (1995) poklesl letokruhový přírůst na JZ svahu Labského dolu již v roce 1965 (zde je rokem 1966 ukončeno období umožňující dendroklimatickou kalibraci) a ke zlepšení zdravotního stavu a zvýšení přírůstu dochází koncem 80. let, v 90. letech podle KROUPOVÉ (2002) už opět letokruhy výrazně reagují na klima (opětovně zvýšení korelací letokruhových šířek a průměrných letních teplot na konci 80. let). Jediným podstatnějším problémem je zjištěná necitlivost vůči průměrným letním teplotám ve 30. letech. Vysvětlení tohoto jevu je velmi složité, musel by být proveden podrobný rozbor klimatických i neklimatických podmínek té doby. V roce 1934, který je třetím nejteplejším rokem z pozorovací řady 1881-2006 meteorologické stanice na Sněžce (GŁOWICKI 1998, IMGW Wrocław), bylo suché, ale velmi teplé jaro a také teplé léto. To se mohlo na stromech projevit tak, že vlivem výrazného vlhkostního deficitu nereagovaly odpovídajícím způsobem na vysoké teploty ve vegetačním období. Vzhledem k tomu, že výskyt takových extrémních jevů je přirozený a projevuje se jen krátkodobě na růstové odezvě, nezamezuje provedení teplotní rekonstrukce.

Korelace letních teplot a letokruhových šířek dosahují obdobných hodnot jako v případě imisně neovlivněných období dosavadních krkonošských chronologií (SANDER et al. 1995, ŠTĚPÁNKOVÁ 1996). Oproti dendroklimatologické práci ŠTĚPÁNKOVÉ (1996) bylo pro kalibraci letokruhových šířek vůči letním teplotám využito významně delší období nepoznamenané imisními vlivy.

Vhodnějším přístupem ke kalibraci bylo shledáno škálování (ESPER et al. 2005, BÜNTGEN et al. 2007), a to i přesto, že skýtá poměrně vysoké nebezpečí nadhodnocení teplotní amplitudy v rekonstruované řadě. Definitivní kalibrací pro dendroklimatickou rekonstrukci prošla jak RCS, tak DD chronologie. Prvně jmenovaná reaguje sice silněji na průměrnou teplotu měsíců června až srpna, avšak je v porovnání s klasicky vyvinutou chronologií méně robustní. Teplotní rekonstrukce na základě DD chronologie byla pro definitivní vyjasnění růstové odezvy v Krkonoších od konce 80. let 20. století prodloužena až do roku 2006. Jak naznačuje grafické porovnání s instrumentálním záznamem ze Sněžky, opět relativně vysoké plovoucí korelace jsou neoprávněné – vlivem vysoké trendové podobnosti je zakryta změněná růstová odezva, která se do „původní“ podoby vrací nejspíš až koncem 90. let. Diskuze by nebyla úplnou, kdyby došlo k opomenutí vlastností použitých klimatických

dat ze Sněžky. Vrcholový charakter meteorologické stanice použité k analýze funkce odezvy i tvorbě přenosové funkce může tyto výsledky do určité míry poznamenávat (MIGAŁA 2005). Z požadavků na správnost vztažných klimatických záznamů, které uvádí SCHWEINGRUBER (1996), však kromě nevytvoření průměrné regionální klimatické řady splňují data ze Sněžky všechny – blízkost vůči zdrojovým lokalitám chronologie i relativní podobnost prostředí, dostatečná délka, kontinuita i homogenita záznamu.

Závěrečné porovnání rekonstruovaných teplotních řad se skutečně naměřenými teplotami je ovlivněno řadou faktorů. Nesoulad teplotních rekonstrukcí na základě obou zde vyvinutých standardních chronologií a teplotní rekonstrukce ŠTĚPÁNKOVÉ (1996) je očekávaný. Jde o dosud jedinou krkonošskou rekonstrukci z Labského dolu, založenou na maximální hustotě pozdního dřeva smrku ztepilého a rekonstruující průměrnou teplotu letního půlroku, měsíců dubna až září. Průměrné kontinentální a regionální teplotní řady jsou znehodnoceny redukcí teplotní amplitudy. U záznamů pocházejících z nejdéle fungujících a pro tento účel nejvhodnějších střeoevropských meteorologických stanic není zcela definitivně ošetřena homogenita. Týká se to zejména velkoměstských observatoří Praha-Klementinum a Wrocław. Teplotní řady z těchto stanic mají k rekonstruovaným řadám nižší vztah než záznamy z Hohenpeissenbergu a Kremsmünsteru. Pro toto zjištění lze najít vysvětlení také ve vyšším významu podobnosti charakteru prostředí v okolí stanice než vzdálenosti mezi stanicí a nejvyššími polohami Krkonoš. Kontrastující velmi dobrý soulad rekonstruovaných a instrumentálních záznamů ve 20. století oproti situaci v 19. století nelze vysvětlovat nekvalitní dendroklimatickou rekonstrukcí nebo změnou regionálních rozdílů. Rekonstruované teplotní řady jsou v podstatě pozorováním ze Sněžky, které má po celou dobu stejný, standardní metodický základ, zatímco u srovnávacích řad se mohou v 19. století projevovat specifické metodické přístupy, odlišné od standardních, zaváděných od počátku 20. století (KASTNER ústní sdělení). Podobnost regionálního klimatu Krkonoš a vztažných lokalit je tak možná vyšší. Na druhou stranu rozdílnost rekonstruovaných a srovnávacích, zejména instrumentálních řad může být do určité míry zcela přirozená. Klima střeoevropského prostoru se v extrémním horském prostředí projevuje s razancí odlišnou od nižších poloh (MIGAŁA 2005). Odlišnost korelačních výsledků u RCS a DD rekonstrukcí bohužel nelze jednoznačně interpretovat.

7. ZÁVĚR

Diplomová práce se zabývala tvorbou dendrochronologického standardu smrku ztepilého (*Picea abies* (L.) Karst.) pro vysoké polohy při hranici lesa ve východních Krkonoších. Náplní práce byla rovněž klimatická interpretace vytvořeného standardu. Byly vyvinuty dvě standardní chronologie letokruhových šířek lišící se použitými standardizačními metodami. Chronologie, při jejíž tvorbě se použila klasická metoda dvojitého detrendování (DD), je budována 102 letokruhovými sériemi a po oříznutí období tvořeného méně než pěti sériemi pokrývá periodu 1792-2006. Chronologie vytvořená na základě standardizace pomocí regionální křivky (RCS) je založena na 43 upravených sériích odpovídajících růstové Hegershoffově funkci a je platná pro období 1811-1970.

Vytvořené chronologie nejsou kompozitní, budují je tedy pouze vzorky odebrané ze stojících jedinců smrku ztepilého. Analyzovaný historický materiál, vzorky odebrané z konstrukčních prvků krovů a roubení starých bud a chalup, vykazuje velmi nízkou podobnost s dendrochronologickým materiálem ze stojících stromů. Podle mého názoru je pravděpodobné, že stavební materiál byl odebírán převážně ze zapojených, relativně mladých porostů, charakterem odlišných od nejvýše položených smrkových lesů s mezernatou strukturou. Také u historických vzorků pravděpodobně pocházejících z oblasti horní hranice lesa shledávám vysoké riziko nepoužitelnosti vlivem neověřitelného sociálního postavení zdrojových stromů.

Úspěšně byl datován přibližný vznik třinácti horských bud a chalup. Zřejmě nejstarší východokrkonoskou chalupou, se zcela původní strukturou krovu, je stavení ve Svobodě nad Úpou s číslem popisným 9, jež bylo postaveno po roce 1711.

Aplikované standardizační metody patří mezi nejúčinnější co se týká zachycení středně- až dlouhodobých klimatických oscilací. Střednědobé výkyvy jsou dobře vyjádřeny nejen v RCS chronologii, ale i DD chronologii. Druhá jmenovaná zachycuje výrazněji meziroční variabilitu růstu, a proto má vyšší potenciál pro budoucí praktické využití – datování událostí a některých staveb.

Zjištěná odezva růstu smrku ztepilého při hranici lesa na klimatické podmínky odpovídá dosud známým poznatkům. Nejtěsnější vazba existuje mezi šířkami letokruhů a průměrnými teplotami měsíců června až září. Nestabilita růstové odezvy na klima v průběhu 20. století, způsobená kyselou depozicí v horských ekosystémech v 70. a 80. letech, byla

ověřena a dále se ukázalo, že stromy začaly reagovat odpovídajícím způsobem nejspíš až koncem 90. let.

Pomocí obou standardních chronologií byla provedena dendroklimatická rekonstrukce. Přesnější metodou kalibrace letokruhové chronologie vůči teplotnímu záznamu z meteorologické stanice na Sněžce je škálování. Takto získaný chod průměrných letních teplot ve vrcholových krkonošských polohách v průběhu zhruba posledních dvou století považuji za dostatečně věrohodný. Porovnání průběhu průměrných letních teplot naznačuje existenci regionálních klimatických rozdílů mezi Krkonošemi a srovnávanými oblastmi. Nejvýznamnější vztah k rekonstruovaným řadám vykazuje instrumentální řada z dolnorakouské stanice Kremsmünster.

8. LITERATURA

- BRADLEY, R.S. *Paleoclimatology: reconstructing climates of the quaternary*. 2nd edition. San Diego : Academic Press, 1999. 613 s. ISBN 0-12-124010-X.
- BRÁZDIL, R., et al. Fir tree-ring reconstruction of March-July precipitation in southern Moravia (Czech Republic), 1376-1996. *Climate Research*, 2002, vol. 20, no. 3, s. 223-239. ISSN 1616-1572.
- BRÁZDIL, R., et al. Rekonstrukce teploty vzduchu teplého půlroku v oblasti Krkonoš na základě letokruhů smrku v období 1804-1989. *Geografie – Sborník ČGS*, 1997, roč. 102, č. 1, s. 3-16. ISSN 1210-115X.
- BRIFFA, K.R., et al. Tree-ring width and density data around the Northern Hemisphere: Part 1, local and regional climate signals. *The Holocene*, 2002, vol. 12, no. 6, s. 737-757. ISSN 1477-0911.
- BRIFFA, K.R., et al. Influence of volcanic eruptions on Northern Hemisphere summer temperature over the past 600 years. *Nature*, 1998a, vol. 393, no. 6684, s. 450-455. ISSN 1476-4687.
- BRIFFA, K., et al. Reduced sensitivity of recent tree-growth to temperature at high northern latitudes. *Nature*, 1998b, vol. 391, no. 6668, s. 678-682. ISSN 1476-4687.
- BRIFFA, K.R., et al. Trees tell of past climates: but are they speaking less clearly today? *Philosophical Transactions: Biological Sciences*, 1998c, vol. 353, no. 1365, s. 65-73. ISSN 1471-2970.
- BÜNTGEN, U., et al. Growth responses to climate in a multi-species tree-ring network in the Western Carpathian Tatra Mountains, Poland and Slovakia. *Tree Physiology*, 2007, vol. 27, no. 5, s. 689-702. ISSN 1568-2544.
- BÜNTGEN, U., et al. Summer temperature variations in the European Alps, A.D. 755-2004. *Journal of Climate*, 2006a, vol. 19, no. 11, s. 5606-5623. ISSN 0894-8755.
- BÜNTGEN, U., et al. Growth climate response shift in a long subalpine spruce chronology. *Trees – Structure and Function*, 2006b, vol. 20, no. 1, s. 99-110. ISSN 1432-2285.
- BÜNTGEN, U., et al. A 1052-year tree-ring proxy for Alpine summer temperatures. *Climate Dynamics*, 2005, vol. 25, no. 2-3, s. 141-153. ISSN 1432-0894.
- CARRER, M. – URBINATI, C. Long-term change in the sensitivity of tree-ring growth to climate forcing in *Larix decidua*. *New Phytologist*, 2006, vol. 170, no. 4, s. 678-682. ISSN 1469-8137.

- CASTY, C., et al. Temperature and precipitation variability in the European Alps since 1500. *International Journal of Climatology*, 2005, vol. 25, no. 14, s. 1855-1880. ISSN 1097-0088.
- COOK, E.R. – KAIRIUKSTIS, L.A. *Methods of dendrochronology: Applications in the environmental science*. 1st edition. Dordrecht : Kluwer, 1990. 394 s. ISBN 0-7923-0586-8.
- COOK, E.R. *A time series approach to tree ring standardization*. Tucson, 1985. 171 s. Dissertation at Graduate College, University of Arizona. Supervised by Harold Fritts.
- DEMUTH, J. *Der politische Bezirk Trautenau*. 1. Auflage. Trautenau : Verlag des Trautenauer Bezirkslehrer-Vereins, 1901.
- DRÁPELA, K. – ZACH, J. *Dendrometrie (Dendrochronologie)*. 1. vydání. Brno : Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 1995. 149 s.
- ESPER, J. – FRANK, D.C. – LUTERBACHER, J. On selected issues and challenges in dendroclimatology. In *A Changing World. Challenges for Landscape Research*. Kienast, F. – Wildi, O. – Ghosh, S. (ed.). 1st edition. Berlin: Springer, 2007. s. 113-132. ISBN 978-1-4020-4434-2.
- ESPER, J., et al. Effect of scaling and regression on reconstructed temperature amplitude for the past millenium. *Geophysical Research Letters*, 2005, vol. 32, no. 7. ISSN 0094-8276.
- ESPER, J. – FRANK, D. – WILSON, R. Climate reconstructions: low-frequency ambition and high-frequency ratification. *EOS*, 2004, vol. 85, no. 12, s. 113-120. ISSN 0096-3941.
- ESPER, J., et al. Test of the RCS method for preserving low-frequency variability in long tree-ring chronologies. *Tree-Ring Research*, 2003, vol. 59, no. 2, s. 81-98. ISSN 1536-1098.
- ESPER, J. – NEUWIRTH, B. – TREYDTE, K. A new parameter to evaluate temporal signal strength of tree-ring chronologies. *Dendrochronologia*, 2001, vol. 19, no. 1, s. 93-102. ISSN 1125-7865.
- FRANK, D. – ESPER, J. – COOK, E. On variance adjustments in tree-ring chronology development. In *Tree rings in archaeology, climatology and ecology*. Heinrich, I., et al. (ed.). TRACE, 2006, vol. 4, s. 56-66.
- FRANK, D. – WILSON, R. – ESPER, J. Synchronous variability changes in Alpine temperature and tree-ring data over the past two centuries. *Boreas*, 2005, vol. 34, no. 4, s. 498-505. ISSN 0300-9483.

- FRANK, D. – ESPER, J. Characterization and climate response patterns of a high-elevation, multi-species tree-ring network in the European Alps. *Dendrochronologia*, 2005a, vol. 22, no. 2, s. 107-121. ISSN 1125-7865.
- FRANK, D. – ESPER, J. Temperature reconstructions and comparisons with instrumental data from a tree-ring network for the European Alps. *International Journal of Climatology*, 2005b, vol. 25, no. 11, s.1437-1454. ISSN 1097-0088.
- FRITTS, H.C. – LONGFREN, G.R. – GORDON, G.A. Past climate reconstructed from tree-rings. *Journal of Interdisciplinary History*, 1980, vol. 10, no. 4, s. 773-793. ISSN 1530-9169.
- GINDL, W. Climatic significance of light rings in timberline spruce, *Picea abies*, Austrian Alps. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 1999, vol. 31, no. 3, s. 242-246. ISSN 1523-0430.
- GŁOWICKI, B. Wieloletnia seria pomiarów temperatury powietrza na Śnieżce. In *Geoekologiczne problemy Karkonoszy. Materiały z sesji naukowej w Przesiece 15-18 X 1997*. Poznań: Acarus, 1998. s. 114-123.
- HENDL, J. *Přehled statistických metod zpracování dat*. 1. vydání. Praha : Portál, 2004. 582 s. ISBN 80-7367-123-9.
- JENÍK, J. *Alpínská vegetace Krkonoš, Králického Sněžníku a Hrubého Jeseníku: Teorie anemo-orografických systémů*. 1. vydání. Praha : Nakladatelství ČSAV, 1961. 412 s.
- JIRASEK, F.J. *Volks- und Heimatkunde des politischen Bezirkes Hohenelbe*. 1. Auflage. Hohenelbe : Verlag des Ausschusses der Heimatkunde, 1915. 458 s.
- KAMMLEROVÁ, K. – SCHEJBALOVÁ, H. Vliv klimatických faktorů na sezónní dynamiku tloušťkového přírůstu smrku ztepilého. In *Fenologická odezva proměnlivosti podnebí*. Rožnovský, J. – Litschmann, T. – Vyskot, I. (ed.). 1. vydání. Praha: ČHMÚ, 2006. ISBN 80-86690-35-0.
- KÖRNER, CH. *Alpine plant life: Functional plant ecology of high mountain ecosystems*. 1st edition. Berlin : Springer, 1999. 338 s. ISBN 3-540-65054-7.
- KROUPOVÁ, M. Dendroecological study of spruce growth in regions under long-term air pollution load. *Journal of Forest Science*, 2002, vol. 48, no. 12, s. 536-548. ISSN 1212-4834.
- LOKVENC, T. *Toulky krkonošskou minulostí*. 1. vydání. Hradec Králové : Kruh, 1978. 268 s.
- LUTERBACHER, J., et al. European seasonal and annual temperature variability, trends, and extremes since 1500. *Science*, 2004, vol. 303, no. 5663, s. 1499-1503. ISSN 1095-9203.

- MÄKINEN, H. Radial growth variation of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) across latitudinal and altitudinal gradients in central and northern Europe. *Forest Ecology and Management*, 2002, vol. 171, no. 3, s. 243-259. ISSN 0378-1127.
- MELVIN, T.M. *Historical growth rates and changing climatic sensitivity of boreal conifers*. Norwich, 2004. 271 s. PhD Thesis at Climatic Research Unit, School of Environmental Sciences, University of East Anglia. Supervised by Keith Briffa.
- MIGAŁA, K. *Piętra klimatyczne w górach Europy a problem zmian globalnych*. 1. wydanie. Wrocław : Wydawnictwo Uniwersytetu Wrocławskiego, 2005. 149 s. Studia Geograficzne 78. ISBN 83-229-2586-7.
- PAULING, A. – LUTERBACHER, J. – WANNER, H. Evaluation of proxies for European and North Atlantic temperature field reconstructions. *Geophysical Research Letters*, 2003, vol. 30, no. 15. ISSN 0094-8276.
- PAULSEN, J. – WEBER, U.M. – KÖRNER, CH. Tree growth near treeline: abrupt or gradual reduction with altitude? *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 2000, vol. 32, no. 1, s. 14-20. ISSN 1523-0430.
- PETRÁK, E.R. *Illustrierter Reiseführer durch das Riesengebirge*. Wien : A. Hartleben's Verlag, 1891.
- PÍSEK, J. – BRÁZDIL, R. Responses of large volcanic eruptions in the instrumental and documentary climatic data over central Europe. *International Journal of Climatology*, 2006, vol. 26, no. 4, s. 439-459. ISSN 1097-0088.
- ROLLAND, CH., et al. Extreme tree rings in spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) and fir (*Abies alba* Mill.) stands in relation to climate, site and space in the southern French and Italian Alps. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 2000, vol. 32, no. 1, s. 1-13. ISSN 1523-0430.
- SANDER, C., et al. The growth of spruce (*Picea abies* (L.) Karst) in the Krkonoše- (Giant) Mountains as indicated by ring width and wood density. *Annales des Sciences Forestieres*, 1995, vol. 52, no. 5, s. 401-410. ISSN 0003-4312.
- SCHWEINGRUBER, F.H. *Tree Rings and Environment Dendroecology*. 1st edition. Stuttgart : Haupt, 1996. 609 s. ISBN 3-258-05458-4.
- ŠTĚPÁNKOVÁ, P. *Rekonstrukce teplotních poměrů v oblasti Krkonoš na základě dendrochronologie smrku*. Brno, 1996. 93 s. Diplomová práce na Přírodovědecké fakultě Masarykovy univerzity, katedře geografie. Vedoucí diplomové práce Rudolf Brázdil.

- TESSIER, L., et al. Research strategies in dendroecology and dendroclimatology in mountain environments. *Climatic Change*, 1997, vol. 36, no. 3-4, s. 499-517. ISSN 1573-1480.
- TRANQUILLINI, W. *Physiological ecology of the alpine timberline: Tree existence at high altitudes with special reference to the European Alps*. 1st edition. Berlin : Springer, 1979. 137 s. Ecological studies 31. ISBN 0-387-09065-7.
- VACEK, S., et al. *Lesy a ekosystémy nad horní hranicí lesa v národních parcích Krkonoš*. 1. vydání. Praha : Lesnická práce, 2006. 112 s. ISBN 80-86386-86-4.
- VAGANOV, E.A. – HUGHES, M.K. – SHASHKIN, A.V. *Growth dynamics of conifer tree rings: images of past and future environments*. 1st edition. Berlin : Springer, 2006. 354 s. ISBN 3-540-26086-2.
- Veselý výlet*. Horní Maršov: Pavel a Miloslav Klimešovi, 1994- . Vychází dvakrát ročně.
- WIGLEY, T.M.L. – BRIFFA, K.R. – JONES, P.D. On the average value of correlated time series, with applications in dendroclimatology and hydrometeorology. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 1984, vol. 23, s. 201-213. ISSN 0733-3021.
- WILSON, R., et al. Spatial reconstructions of summer temperatures in Central Europe for the last 500 years using annually resolved proxy records: problems and opportunities. *Boreas*, 2005, vol. 34, no. 4, s. 490-497. ISSN 0300-9483.
- WILSON, R.J.S. – ESPER, J. – LUCKMAN, B.H. Utilising historical tree-ring data for dendroclimatology: A case study from the Bavarian Forest, Germany. *Dendrochronologia*, 2004, vol. 21, no. 2, s. 53-68. ISSN 1125-7865.
- WILSON, R. – ELLING, W. Temporal instability in tree-growth/climate response in the Lower Bavarian Forest region: implications for dendroclimatic reconstruction. *Trees – Structure and Function*, 2004, vol. 18, no. 1, s. 19-28. ISSN 1432-2285.
- WILSON, R. – TOPHAM, J. Violins and climate. *Theoretical and Applied Climatology*, 2004, vol. 77, no. 1-2, s. 9-24. ISSN 1434-4483.
- WILSON, R.J.S. – LUCKMAN, B.H. Dendroclimatic reconstruction of maximum summer temperatures from upper treeline sites in Interior British Columbia, Canada. *The Holocene*, 2003, vol. 13, no. 6, s. 851-861. ISSN 1477-0911.
- WILSON, R.J.S. – HOPFMUELLER, M. Dendrochronological investigations of Norway spruce along an elevational transect in the Bavarian Forest, Germany. *Dendrochronologia*, 2001, vol. 19, no. 1, s. 67-79. ISSN 1125-7865.

Zdroje dat a programy

COOK, E.R. – KRUSIC, P.L. *ARSTAN*. Palisades: Tree-Ring Laboratory, Lamont-Doherty Earth Observatory, 2006.

HOLMES, R.L. *Dendrochronology Program Library*. Tucson: Laboratory of Tree-Ring Research, University of Arizona, 1994.

KLEIN TANK, A.M.G., et al. Daily dataset of 20th century surface air temperature and precipitation series for the European Climate Assessment. *International Journal of Climatology*, 2002, vol. 22, no. 12, s. 1441-1453. ISSN 1097-0088.

KNIBBE, B. *PAST 4*. Brunn: SCIEEM, 2004.

WIJNGAARD, J.B., et al. Homogeneity of 20th century European daily temperature and precipitation series. *International Journal of Climatology*, 2003, vol. 23, no. 6, s. 679-692. ISSN 1097-0088.

European Climate Assessment & Dataset [online]. [citováno duben 2008].
<<http://eca.knmi.nl/dailydata>>.

GHCN - Monthly Version 2 [online]. [citováno duben 2008].
<<http://ncdc.noaa.gov/oa/climate/ghcn-monthly>>.

International Tree Ring Data Bank [online]. [citováno duben 2008].
<<http://www.ncdc.noaa.gov/paleo/treering.html>>.

Multi-centennial climate variability in the Alps based on instrumental data, model simulations and proxy data ALP-IMP [online]. [citováno duben 2008].
<<http://www.zamg.ac.at/ALP-IMP>>.

Zestawienie meteorologiczne, stacja meteorologiczna: Śnieżka. IMGW Wrocław.

PŘÍLOHY

SEZNAM TABULEK UMÍSTĚNÝCH V PŘÍLOHÁCH

Tab. 1. Místa odběru dendrochronologických vzorků

Tab. 2. Charakteristika meteorologických stanic použitých pro porovnání

Tab. 3. Posouzení homogenity teplotních řad uvažovaných meteorologických stanic

Tab. 4. Přehled odatovaných východokrkonoských bud a chalup

SEZNAM OBRÁZKŮ UMÍSTĚNÝCH V PŘÍLOHÁCH

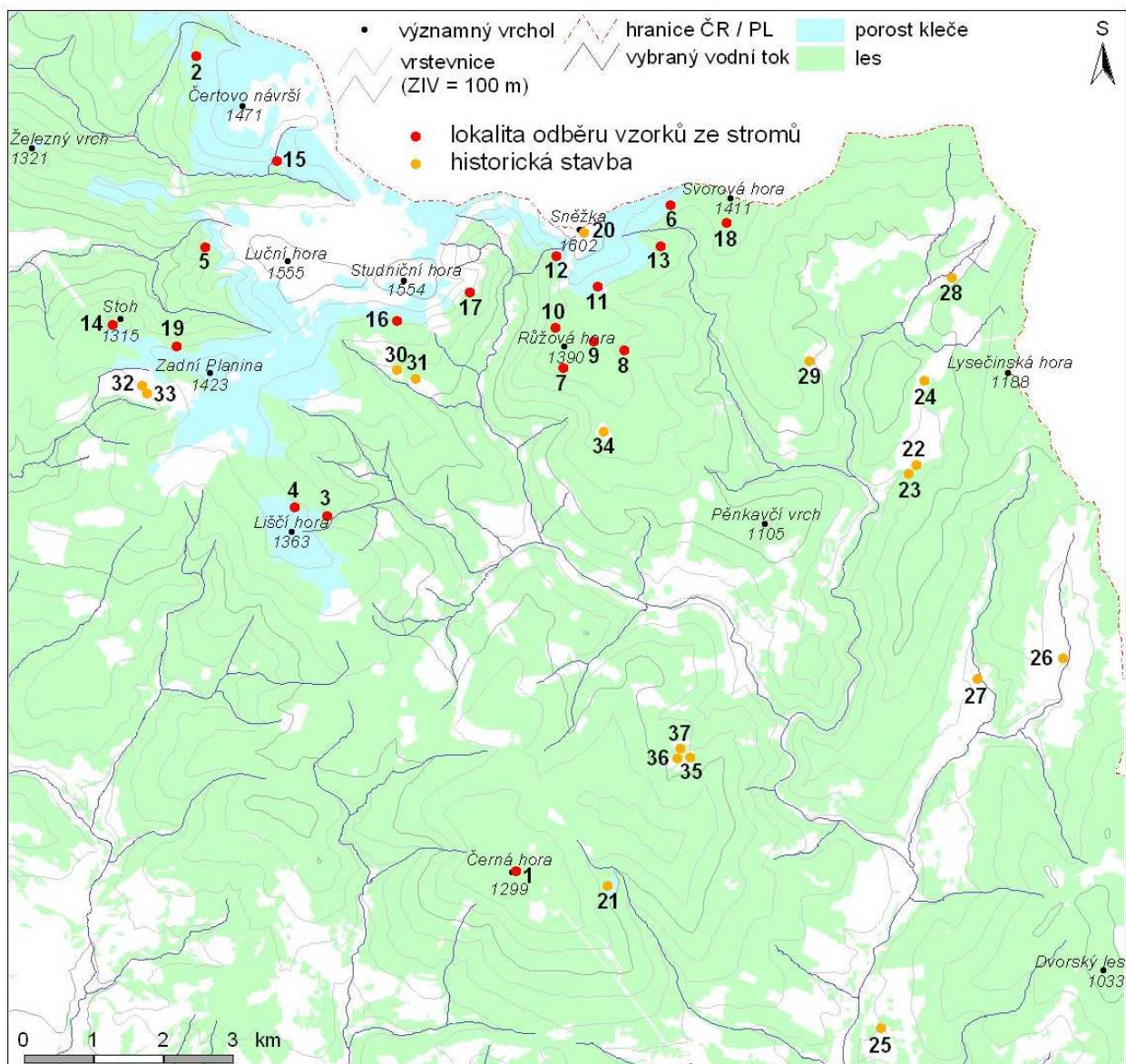
Obr. 1. Lokalizace míst odběru dendrochronologických vzorků

Obr. 2. Počet sérií budujících jednotlivé roky standardních chronologií

Obr. 3. Průměrná délka sérií budujících jednotlivé roky standardních chronologií

Obr. 4. Průměrné biologické stáří v jednotlivých letech standardních chronologií

Obr. 1. Lokalizace míst odběru dendrochronologických vzorků



Tab. 1. Místa odběru dendrochronologických vzorků

kód	lokality odběru ze stromů	stř. nadm. výška [m n.m.]	počet vzorků	kód	historická stavba	nadm. výška [m n.m.]	počet vzorků
1	Černá hora	1295	9	20	bývalá Česká bouda (Sněžka)	1600	6
2	Čertovo návrší - Z svah	1315	6	21	Černá Hora 132 (Malé Pardubické b.)	1050	2
3	Liščí hora - Liščí jáma	1200	6	22	Dolní Malá Úpa 109	830	4
4	Liščí hora - SV svah	1315	5	23	Dolní Malá Úpa 110	835	3
5	Luční hora - Z svahy	1245	5	24	Dolní Malá Úpa 66	960	2
6	Obří hřeben - J svah	1340	5	25	Svoboda nad Úpou 9	600	4
7	Růžová hora - J svah	1340	11	26	Horní Albeřice 61	745	2
8	Růžová hora - V svah, níže	1290	6	27	Horní Lysečiny 2	670	1
9	Růžová hora - V svah, výše	1355	5	28	Horní Malá Úpa 12	980	2
10	Růžová hora - Z svah	1300	3	29	Horní Malá Úpa 95	1015	3
11	sedlo Růžová h.-Sněžka - V svah	1340	3	30	Pec pod Sněžkou 97	1075	3
12	Sněžka - JZ svah	1315	3	31	Pec pod Sněžkou 98	1045	3
13	Sněžka - Střední hora	1305	19	32	Přední Labská 84 (Klínové b.)	1205	2
14	Stoh	1310	3	33	Přední Labská 85 (Klínové b.)	1195	1
15	Stříbrné návrší - JZ svah	1280	5	34	Velká Úpa 181 (Děčínská b.)	1255	3
16	Studniční hora - J svah	1300	4	35	Velká Úpa 279 (Velké Toppeltovy b.)	925	2
17	Studniční hora - V svah	1280	8	36	Velká Úpa 284 (Velké Toppeltovy b.)	950	1
18	Svorová hora	1325	12	37	Velká Úpa 285 (Velké Toppeltovy b.)	940	3
19	Zadní Planina - S svah	1295	3				Σ 47
Σ 121							

Tab. 2. Charakteristika meteorologických stanic použitých pro porovnání

stanice	zem. šířka		zem. délka		nadm. výška	charakter	začátek
	[°s.š.]	[°v.d.]	[°v.d.]	[°v.d.]	[m n.m.]	místa	pozorování
Hohenpeissenberg	47,8	11,02			986	vrcholová poloha	1781
Kremsmuenster	48,05	14,13			389	venkov	1767
Praha-Klementinum	50,07	14,42			197	velkoměsto	1771
Wroclaw	51,1	16,88			121	velkoměsto	1792

Zdroj: <http://ncdc.noaa.gov>**Tab. 3.** Posouzení homogenity teplotních řad uvažovaných meteorologických stanic (podtržení označuje chybějící data v kalkulačním období)

stanice	průměry VI-VIII [°C]			inhomogenita dle GHCN	třída homogenity dle ECA (1901-2006)	kvalita denních hodnot dle ECA
	1801-1850	1851-1900	1901-1950			
Hohenpeissenberg	14,0	14,1	14,0	ne	použitelné	v pořádku (1879-2001)
Kremsmuenster	<u>17,3</u>	17,3	17,6	ne	použitelné	v pořádku (1876-2004)
Praha-Klementinum	19,2	18,7	18,7	ne	použitelné	v pořádku (1775-2005)
Wroclaw	<u>17,3</u>	17,9	<u>17,7</u>	ne	použitelné (1946-2006)	---




Zdroj: <http://ncdc.noaa.gov>, <http://eca.knmi.nl>, KLEIN TANK et al. (2002), WIJNGAARD et al. (2003)

Tab. 4. Přehled odatovaných východokrkonoských bud a chalup

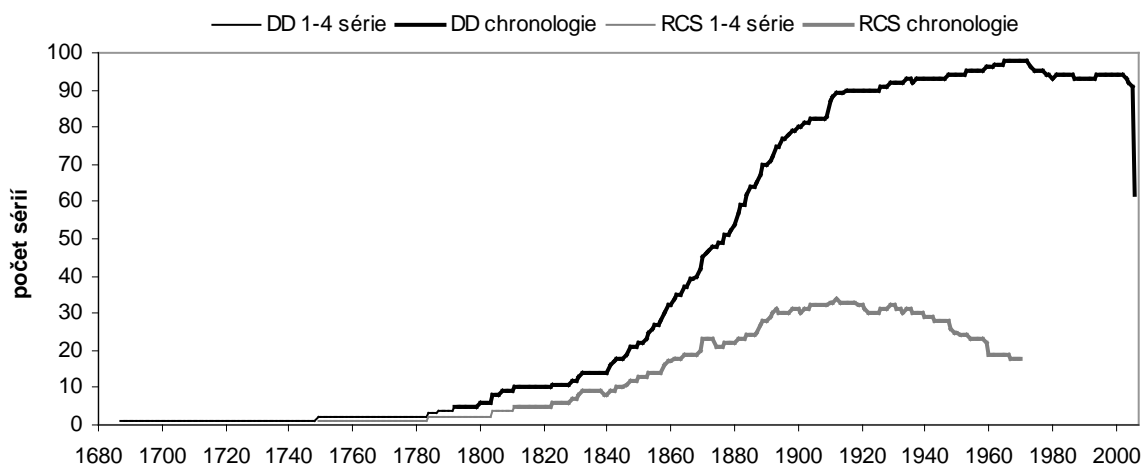


NÁZEV / LOKALIZACE	NADM. VÝŠKA	ODAT. / ODEBR.	ČASOVÉ POKRYTÍ	TYP KONSTRUKCE	POSLEDNÍ LETOKRUH
Dolní Maršov č.p. 9	600	3/4	1635-1711	středová stolice vedle komína krokve V strana krokve Z strana	1709 1711 1711
Černá Hora č.p. 132	1050	2/2	1667-1797	středová stolice v S štítu (2x)	1796,1797
Velká Úpa č.p. 181 (Děčínská b.)	1255	1/3	1765-1810	stropní trám blíže SZ štítu	1810
Horní Malá Úpa č.p. 12	980	2/2	1783-1835	krokve JV strana u JZ štítu středová stolice v JZ štítu	1835 1835
Horní Malá Úpa č.p. 95	1015	3/3	1763-1844	středová stolice v S štítu krokve Z strana středová stolice vedle komína	1842 1842 1844

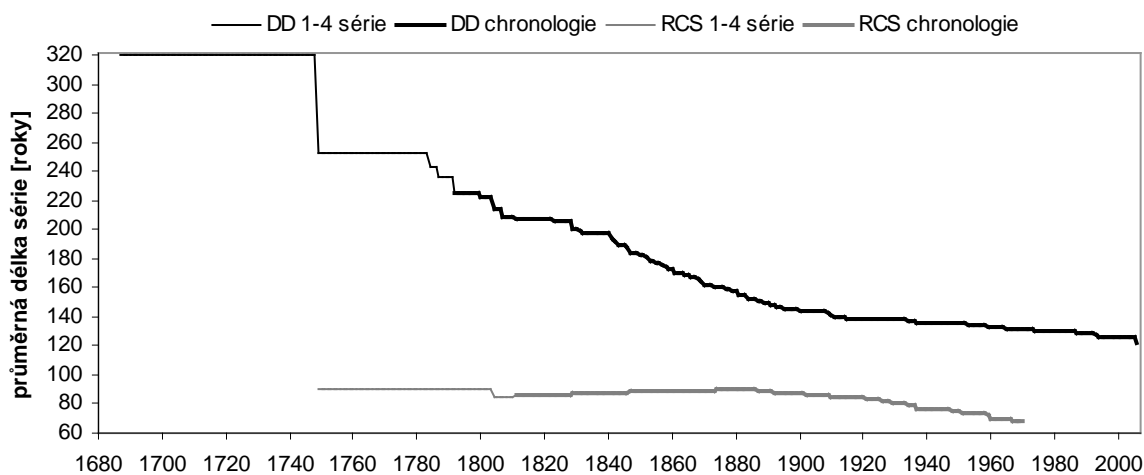
	NÁZEV / LOKALIZACE	NADM. VÝŠKA	ODAT. / ODEBR.	ČASOVÉ POKRYTÍ	TYP KONSTRUKCE	POSLEDNÍ LETOKRUH
	<i>Přední Labská č.p. 85 (Klínové b.)</i>	1195	1/1	1785-1846	hambalek v krovu	1846
	<i>Dolní Malá Úpa č.p. 110</i>	835	3/3	1761-1852	středová stolice u komína krokve JV strana, u vikýře krokve SZ strana	1847 1851 1852
	<i>Pec pod Sněžkou č.p. 97</i>	1075	3/3	1773-1853	S vaznice dvoustranného krovu J vaznice dvoustranného krovu roubení, předsíň	1844 1849 1853
	<i>Dolní Malá Úpa č.p. 109</i>	830	3/4	1768-1855	blíže neurčeno blíže neurčeno blíže neurčeno	1830 1830 1855
	<i>bývalá Česká bouda (Sněžka)</i>	1600	5/6	1794-1867	blíže neurčená část krovu blíže neurčená část krovu blíže neurčená část krovu blíže neurčená část krovu blíže neurčená část krovu	1862 1863 1867 1867 1867

	NÁZEV / LOKALIZACE	NADM. VÝŠKA	ODAT. / ODEBR.	ČASOVÉ POKRYTÍ	TYP KONSTRUKCE	POSLEDNÍ LETOKRUH
	<i>Velká Úpa č.p. 284 (Velké Tippeltovy b.)</i>	950	1/1	1800-1874	SZ stolice dvoustranného krovu	1874
	<i>Přední Labská č.p. 84 (Klínové b.)</i>	1205	2/2	1809-1878	krokve SV strana krokve JZ strana	1877 1878
	<i>Pec pod Sněžkou č.p. 98</i>	1045	3/3	1777-1887	pozednice pod S stranou krovu (2x) venkovní roubení, SZ roh	1851,1863 1887

Obr. 2. Počet sérií budujících jednotlivé roky standardních chronologií



Obr. 3. Průměrná délka sérií budujících jednotlivé roky standardních chronologií



Obr. 4. Průměrné biologické stáří v jednotlivých letech standardních chronologií

