

RUDOLF BRÁZDIL, JAROSLAV DOBRÝ, JOSEF KYNCL, PAVLA ŠTĚPÁNKOVÁ

REKONSTRUKCE TEPLoty VZDUCHU TEPLÉHO PŮLROKU V OBLASTI KRKONOŠ NA ZÁKLADĚ LETOKRUHŮ SMRKU V OBDOBÍ 1804 – 1989

R. Brázdil, J. Dobrý, J. Kyncl, P. Štěpánková: *Reconstruction of Air Temperature of the Summer Half-year in Krkonoše (Giant Mountains) Based on the Spruce Tree-rings in the Period 1804 – 1989.* – Geografie-Sborník ČGS, 102, 1, pp. 3 – 16 (1997). – The tree-ring width and the maximum wood density of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) have been examined in order to reconstruct air temperature of the summer half-year during the period 1804 – 1989. The trees examined come from a natural spruce stand of Labský důl (Elbe Valley) in Krkonoše (Giant Mts.), North Bohemia. The results obtained by this way have been compared with a similar reconstruction made for Central Europe and with air temperature records from the Prague-Klementinum station. Both temperature series (reconstructed and measured), however, show only 36 % of commonly clarified variability. Differences may follow from the standardization of dendrochronologies as well as from other factors which may have influenced the growth of spruce. The quality of air temperature measurement may play also role.

KEY WORDS: dendroclimatology – air temperature reconstruction – tree-ring width – maximum wood density – *Picea abies*.

Vypracování této studie bylo umožněno díky finanční podpoře Grantové agentury ČR pro řešení grantu č. 205/95/0509.

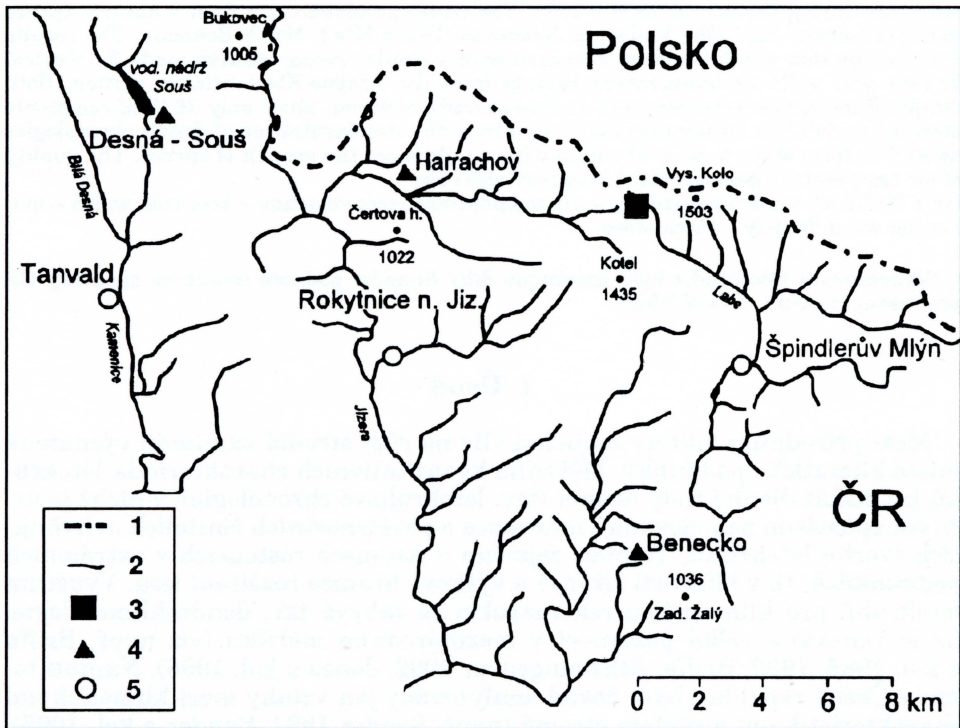
1. Úvod

Mezi přírodními faktory majícími vliv na růst stromů zaujímají významné místo klimatické podmínky. Měřením kvantitativních charakteristik letokruhů lze získat dlouhé řady hodnot (tzv. letokruhově chronologie), v nichž je určitým způsobem zakódována i informace o povětrnostních činitelích ovlivňujících tvorbu letokruhů. To platí zejména o stromech rostoucích v extrémních podmínkách, tj. v blízkosti šířkové a výškové hranice rozšíření lesa. Využitím letokruhů pro klimatickou rekonstrukci se zabývá tzv. dendroklimatologie, již je věnována velká pozornost v mezinárodním měřítku (viz např. Briffa a kol. 1988, 1992; Briffa, Schweingruber 1992; Jones a kol. 1996). Naproti tomu v České republice byly dosud analyzovány jen vztahy mezi klimatickými charakteristikami a růstem stromů (např. Sander 1991; Sander a kol. 1995), i když čeští specialisté se podíleli na dendroklimatologických rekonstrukcích v Britské Kolumbii v Kanadě (Dobrý a kol. 1994, 1995, 1996). Předložená práce, vycházející ze studie Štěpánkové (1996), je tak první dendroklimatologickou rekonstrukcí v České republice podle dendrochronologických údajů z oblasti Krkonoš.

2. Použitý materiál

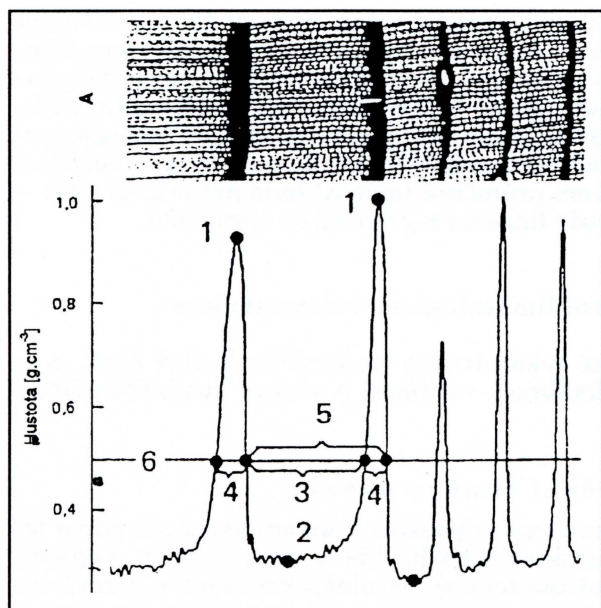
2.1 Dendrochronologické údaje

Pro dendroklimatologickou rekonstrukci byly použity chronologie smrku ztepilého (*Picea abies* (L.) Karst.) rostoucího v blízkosti horní hranice lesa ve střední části Krkonoš, na svazích Labské rokle (obr. 1), která tvoří uzávěr Labského dolu, a to v přirozených horských smrčínách s převládajícími společenstvy asociací *Calamagrostio villosae-Piceetum Hartmann* a *Athyrio alpestris-Piceetum Hartmann*. Vzorky byly odebírány Presslerovým nebozezem, vždy po dvou vývrtech z každého živého stromu, na plochách ležících na příčných transektech svahe jižním (5 ploch, 90 stromů) a severním (2 plochy, 51 stromů), v nadmořské výšce 1 000 až 1 300 m. Měřena byla šířka letokruhů a maximální hustota dřeva (obr. 2). Šířka letokruhu (dále ŠL) je vzdálenost mezi dvěma po sobě následujícími rozhraními pozdního dřeva předcházejícího roku a časného dřeva¹⁾ roku následujícího, měřené s přesností na 0,01 mm. Maximální hustota dřeva (dále MHD) je nejvyšší hodnota hustoty



Obr. 1 – Lokalizace místa odběru vzorků dřeva a použitých meteorologických stanic. 1 – státní hranice, 2 – vodní tok, 3 – místo odběru vzorků, 4 – meteorologická stanice, 5 – sídlo.

¹⁾ Časné (jarní) dřevo vzniká v počáteční fázi vegetačního období a vyznačuje se tenkými stěnami vodivých elementů (u jehličnanů tracheid) a jejich větší světlostí, tedy nízkou hustotou dřeva. Pozdní (letní) dřevo se tvoří v pokročilé a závěrečné části vegetačního období, jeho vodivé elementy jsou silnostěnné a s malou světlostí a jeho hustota je tedy vysoká (viz obr. 2). U naprosté většiny jehličnanů mírného pásu lokální hustota dřeva kulminuje v pozní části letokruhu.



Obr. 2 – Kvantitativní charakteristiky letokruhů (upraveno podle Schweingruber 1983): 1 – maximální hustota, 2 – minimální hustota, 3 – šířka časného dřeva, 4 – šířka pozdního dřeva, 5 – šířka letokruhu, 6 – střední (průměrná) hustota dřeva. Svislá osa – hustota (g.cm^{-3}), A – rentgenogram.

pozdního dřeva v rámci jednoho letokruhu měřená s přesností na $0,001 \text{ g.cm}^{-3}$ (Kyncl a kol. 1987). Chronologie ŠL a MHD na obou svazích Labského dolu pokrývají období 1804 – 1990 (MHD na jižním svahu pouze 1804 – 1989).

Průměrná ŠL je na jižním svahu $1,42 \text{ mm}$, na severním $1,57 \text{ mm}$. Do roku 1960 měl průměrný roční tloušťkový přírůst stromů na obou svazích stejnou hodnotu, po roce 1965 se svahy od sebe začaly lišit. Na severním svahu se projevoval slabý pokles přírůstu do konce 70. let. Kolem roku 1980 se objevilo několik let deprese růstu jako reakce na silné znečištění ovzduší v oblasti Krkonoš. Na stromech jižního svahu jsou patrné dlouhé periody silné růstové deprese, stromy se začaly regenerovat na konci 80. let. Po roce 1965 se na tomto svahu také zvýšil počet chybějících a zdvojených letokruhů (na severním svahu $0,5 \%$ z celkového počtu, na jižním svahu $1,2 \%$).

Do roku 1960 kolísaly hodnoty MHD okolo $0,7 \text{ g.cm}^{-3}$, v následujícím období okolo $0,5 \text{ g.cm}^{-3}$. Pokles MHD lze přičítat, stejně jako u ŠL, velkému znečištění ovzduší v oblasti Krkonoš v průběhu 70. let tohoto století. Řady MHD ukazují větší podobnost obou svahů než řady ŠL. Korelace mezi řadami jednotlivých stromů je těsnější u MHD (korelační koeficient $R = 0,63$ u obou svahů) než u ŠL ($R = 0,49$ u jižního svahu a $0,43$ u severního svahu pro residuální chronologie).

Porovnání ŠL a MHD ukázalo nevýznamné korelace. To znamená, že na šířku letokruhů a hustotu pozdního dřeva působí rozdílné faktory (Sander 1991; Sander a kol. 1995).

Pro další zpracování byly z jednotlivých řad vytvořeny pro obě charakteristiky bezrozměrné standardizované řady vždy pro celou lokalitu (tzv. site-chronology – Cook, Kairiukstis 1990), které byly základem pro další analýzy.

2.2 Meteorologické údaje

Pro dendroklimatologickou rekonstrukci byly vybrány řady průměrných měsíčních teplot vzduchu ze stanic Benecko ($H = 880 \text{ m}$, období 1946 – 1990), Desná – Souš ($H = 772 \text{ m}$, období 1930 – 1990) a Harrachov ($H = 680$ až 708 m – stanice přemísťována, období 1948 – 1990).

K doplnění chybějících údajů byla použita známá metoda diferencí (Nosek 1972). Relativní homogenita byla testována pomocí bivariačního testu (Maronna, Yohai 1978). Pro výpočet testu byl použit software připravený Štěpánkem (1996). Jako referenční homogenní řada byla vybrána teplotní řada Milešovky (viz Štekl, Zacharov 1993), podle níž byly uvedené řady homogenizovány. Z homogenizovaných řad tří uvedených stanic pak byla vypočítána prostým aritmetickým průměrem průměrná teplotní řada pro období 1948 – 1990, prodloužená pomocí metody lineární regrese až do roku 1930.

3. Metody dendroklimatologické rekonstrukce

Postup dendroklimatologické rekonstrukce lze rozdělit do čtyř částí, a to na stanovení funkce odezvy, kalibraci, verifikaci a vlastní dendroklimatologickou rekonstrukci.

3.1 Určení funkce odezvy

Funkce odezvy (response function) se používá k určení závislosti růstu letokruhů na klimatických charakteristikách. Jde o vícenásobnou regresní analýzu ukazující, které klimatické faktory nejsilněji korelují s růstem letokruhů.

Základní výraz pro určení funkce odezvy je dán vztahem :

$$W_i = \sum_{j=1}^J a_j T_{ij} + \sum_{j=1}^J b_j P_{ij} + \sum_{r=-m}^{-1} c_r W_r,$$

kde i je rok ($i = 1, 2, \dots, n$), j je měsíc ($j = 1, \dots, 12$), W_i je indexová ŠL v roce i , T_{ij} je průměrná teplota vzduchu měsíce j v roce i , a_j je koeficient teploty vzduchu měsíce j , P_{ij} je úhrn srážek měsíce j v roce i , b_j je koeficient úhrnu srážek měsíce j , W_r je hodnota šířek letokruhů pro m předešlých roků, c_r je koeficient W_r (Cook, Kairiukstis 1990). Analogický vztah platí i pro MHD, přičemž místo hodnot ŠL vystupují hodnoty MHD.

Pro výpočet funkce odezvy (stejně jako pro dále uváděné výpočty) byl použit software Dendrochronology Program Library (Holmes 1994). Vstupními veličinami pro výpočet jsou hodnoty ŠL nebo MHD a průměrné měsíční teploty vzduchu a měsíční úhrny srážek. Vztah klima – růst se zpravidla sleduje v období od května až září předešlého roku do září roku růstu, tzn. pro 12 – 17 měsíců.

Výsledkem výpočtu jsou pro jednotlivé měsíce koeficienty korelace a koeficienty mnohonásobné regrese vyjadřující velikost vlivu klimatické charakteristiky na ŠL či MHD. Kladné koeficienty znamenají, že vyšší hodnoty klimatické charakteristiky v daném měsíci mají kladný vliv, a naopak. Výsledky se vyjadřují graficky.

Dalším důležitým parametrem výpočtu je koeficient determinace R^2 , který udává procentuální celkový vliv klimatické charakteristiky na ŠL nebo MHD. Při další rekonstrukci se pracuje pouze s těmi měsíci, v nichž byl zaznamenán významný klimatický signál (Cook, Kairiukstis 1990).

3.2 Kalibrace

Pomocí jednoduché nebo vícenásobné lineární regresní analýzy je vytvořen model vztahu mezi charakteristikami letokruhů (prediktor) a klimatickými

charakteristikami (prediktand), známý jako přenosová funkce (Schweingruber 1987).

Při vytváření modelu se pomocí lineární regrese analyzují vztahy letokruhových charakteristik k jednotlivým měsícům s nejsilnějším klimatickým signálem a k průměrům klimatických charakteristik pro období sestavená z těchto měsíců. Lze také použít vícenásobnou lineární regresi, kde nezávislými proměnnými jsou ŠL a MHD a závisle proměnnou klimatická charakteristika (průměrná teplota vzduchu nebo úhrn srážek). Mírou vhodnosti přenosové funkce je opět koeficient determinace R^2 .

Při vlastní kalibraci se postupuje tak, že období, pro které jsou k dispozici měřené údaje, se rozdělí na poloviny. Pro každou z nich se určí regresní rovnice vztahu letokruhů a klimatické charakteristiky, pomocí nichž se rekonstruují hodnoty klimatické charakteristiky pro celé období měření. Tyto řady se dále porovnávají s měřenými údaji. Jde o tzv. časnou a pozdní kalibraci. Při časné kalibraci se rekonstruují hodnoty podle vztahu v první polovině období a porovnávají se s měřenými údaji druhé poloviny, při pozdní kalibraci je postup opačný (Briffa a kol. 1992; Dobrý a kol. 1996).

3.3 Verifikace

Ve verifikační fázi se ověřuje vytvořený model porovnáním měřených údajů s rekonstruovanými pomocí tzv. verifikační statistiky, která zahrnuje:

a) *Korelační koeficient*. Udává těsnost vztahu mezi měřenými a rekonstruovanými údaji.

b) *Test znaménka*. Je to neparametrický a méně citlivý test založený na porovnání znamének odpovídajících si odchylek měřených Y_i a rekonstruovaných Y_i^* údajů od příslušných průměrů (Gordon, LeDuc 1981).

c) *Test součinného rozdílu*. Pracuje se se součiny odpovídajících si odchylek uvedených v bodě b ($X_i = Y_i \cdot Y_i^*$). Součiny se třídí podle znaménka do dvou skupin a vypočítá se jejich průměrná hodnota v každé z těchto skupin (M_+ resp. M_-). Jestliže rekonstruovaná řada nemá vztah k měřeným údajům, kladný a záporný výsledek součinů odchylek se bude vyskytovat se zhruba stejnou četností a difference absolutních hodnot vypočítaných průměrů $|M_+| - |M_-|$ se bude blížit nule. Existuje-li mezi řadami reálný vztah, kladný výsledek bude četnější a $|M_+| - |M_-| > 0$. Difference $|M_+| - |M_-|$ je testována pomocí t-testu (Gordon, LeDuc 1981).

d) *Redukce chyby (RE)*. RE nabývá hodnot od 0 do 1. S přibližováním RE k 1 spolehlivost modelu roste. RE lze rozdělit na tři komponenty:

$$RE = RISK + BIAS + COVAR.$$

RISK je srovnávací mírou variability měřených (Y_i) a rekonstruovaných (Y_i^*) odchylek od průměrů. Je vždy záporný. Rovná-li se variabilita Y_i^* variabilitě Y_i , je RISK roven -1 . U modelů, které vysvětlují variabilitu jen z malé části, se pohybuje od $-0,5$ do $0,0$. Naopak u modelů, které mají velmi mnoho prediktorů (variabilita Y_i^* je větší než variabilita Y_i), je $RISK < -1,0$.

Přesnost rekonstrukce vyjadřují BIAS a COVAR. Hodnota BIAS je kladná, když průměr rekonstruované řady je na téže straně kalibračního průměru jako průměr měřených údajů použitých pro verifikaci a naopak. Člen COVAR odráží korelaci mezi Y_i^* a Y_i a je mírou podobnosti obou řad. Může nabývat kladných i záporných hodnot.

Pokud $RE = RISK$, tj. průměr rekonstrukce se nemění ($BIAS = 0$) a Y_i^* a Y_i jsou nezávislé, tj. $Cov(Y_i^*, Y_i) = 0$, je model nevyhovující.

svahu navíc i září. Celkový vliv teploty vysvětluje 72 % variability MHD na severním svahu a 73 % na jižním svahu. Získané funkce odezvy se poněkud liší od práce Sander a kol. (1995), kde byly použity údaje z meteorologických stanic Harrachov a Sněžka²⁾.

Předmětem dendroklimatologické rekonstrukce však nebyly teploty vzduchu jednotlivých měsíců, ale průměrné teploty vzduchu letního půlroku (duben – září).

Pro výpočet a ověření přenosové funkce bylo použito tzv. křížové kalibrační – verifikační schéma (Briffa a kol., 1992; Dobrý a kol. 1996). Nejprve bylo pro kalibraci zvoleno období 1930 – 1959 a pro verifikaci 1960 – 1990, následně byla obě období zaměněna.

Podle vztahů získaných při kalibraci byly rekonstruovány teploty vzduchu vždy pro celé období měřených teplot (1930 – 1990, resp. 1930 – 1989). Tyto teplotní řady sloužily jako vstupní údaje pro následné ověření modelů verifikační statistikou (tab. 1).

Jak plyne z tab. 1, nejsou modely pro ŠL vhodné pro rekonstrukci teploty vzduchu, protože řady období 1960 – 1990 u obou svahů mají nízké korelační koeficienty, v kalibračním období 1960 – 1990 vychází statisticky nevýznamné hodnoty pro test součinného průměru, stejně jako výsledky testu znaménka ve verifikačním období 1960 – 1990 u obou svahů. RISK se u obou svahů pro všechna období pohybuje nad hranicí -0,5, tj. modely nedostatečně vystihují variabilitu řad. Proto nejsou ŠL vhodné pro další rekonstrukci teploty vzduchu.

Naproti tomu u MHD jsou všechna kritéria statisticky významná na hladině významnosti 0,05 a správnost zvolených modelů lze považovat za potvrzenou. Výjimkou je jen RISK ve druhé fázi křížového kalibrační – verifikačního ověřování, kdy se pohybuje nad hranicí -0,5. Nedostatečné vyjádření variability může být způsobeno výše zmíněným nárůstem znečištění ovzduší v oblasti Krkonoš, které mělo značný vliv na růst stromů (Sander 1991; Sander a kol. 1995) a mohlo se stát dalším dominantním faktorem působícím na přírůst dřeva. Proto nebyla výsledná rovnice rekalibrována na celé období měřených teplot vzduchu T , ale pouze na období 1930 – 1969. Výsledný regresní vztah pro severní svah je $T = 4,09 + 6,55\text{MHD}$ ($R = 0,85$), pro jižní svah $T = 4,64 + 5,99\text{MHD}$ ($R = 0,81$).

Měsíce se silným klimatickým signálem MHD a ŠL se navzájem doplňují a pokrývají celé vegetační období. Proto další rekonstrukce vycházela z vícenásobné lineární regrese, kde nezávisle proměnnou jsou hodnoty MHD a ŠL a jako závisle proměnná vystupuje průměrná teplota vzduchu. Výsledky verifikační statistiky jsou uvedeny opět v tab. 1.

Analogicky jako v případě MHD jsou všechny výsledky verifikační statistiky statisticky významné, pouze hodnota RISK se ve druhé kalibrační – verifikační fázi pohybuje nad hranicí -0,5 nebo se jí rovná.

Výsledná rovnice byla opět překalibrována na období 1930 – 1969. Regresní vztah pro severní svah je $T = 3,9 + 6,3\text{MHD} + 0,4\text{ŠL}$ ($R = 0,85$), pro jižní svah $T = 4,4 + 5,8\text{MHD} + 0,4\text{ŠL}$ ($R = 0,81$).

4.2 Diskuse výsledků

Podle regresních rovnic uvedených v předchozí části pro MHD a MHD+ŠL byly vypočteny řady průměrné teploty vzduchu teplého půlroku (duben – zá-

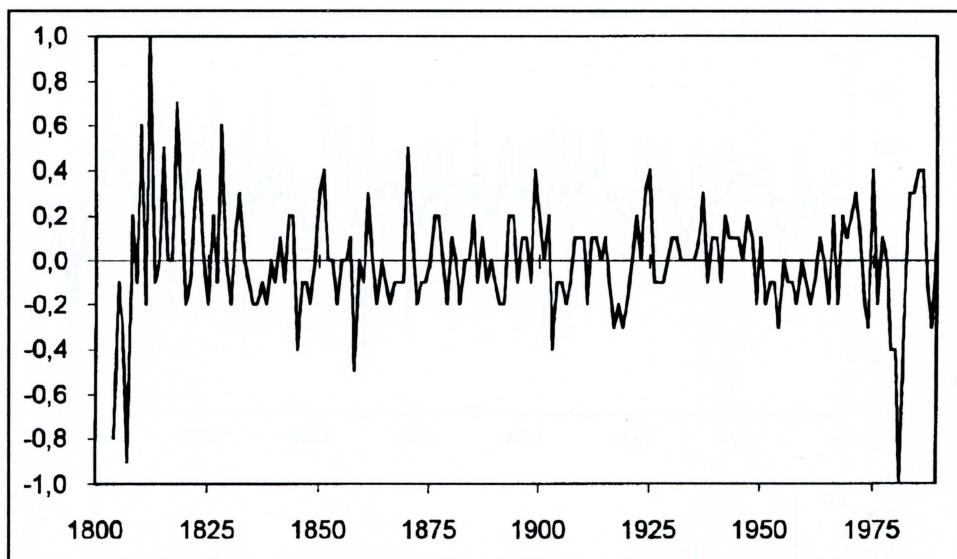
²⁾ Měření teploty vzduchu z polské stanice Sněžka nebyla při zpracování této studie k dispozici.

Tab. 1 – Verifikační statistiky mezi maximální hustotou dřeva, resp. šířkou letokruhů smrku ztepilého a průměrnou teplotou vzduchu letního půlroku pro severní (a) a jižní (b) svah Labského dolu v Krkonoších (* – hodnota statisticky významná na hladině významnosti 0,05; +) pro jižní svah 1960 – 1989)

	Maximální hustota dřeva				Šířka letokruhů				Maximální hustota dřeva a šířka letokruhů			
	kalibrace	verifikace	kalibrace	verifikace	kalibrace	verifikace	kalibrace	verifikace	kalibrace	verifikace	kalibrace	verifikace
	1930-59	1960-90 ⁺⁾	1960-90 ⁺⁾	1930-59	1930-59	1960-90	1960-90	1930-59	1930-59	1960-90 ⁺⁾	1960-90 ⁺⁾	1930-59
<i>Korelační koeficient</i>												
a)	0,85*	0,65*	0,66*	0,85*	0,68*	0,46*	0,46*	0,66*	0,86*	0,66*	0,66*	0,86*
b)	0,80*	0,68*	0,65*	0,80*	0,67*	0,35*	0,35*	0,70*	0,81*	0,64*	0,68*	0,80*
<i>Test součinného rozdílu (t)</i>												
a)	4,43*	2,66*	2,99*	4,14*	3,86*	2,08*	0,97	1,90*	4,36*	2,63*	2,74*	4,41*
b)	4,39*	2,34*	3,11*	4,38*	3,23*	2,07*	0,24	3,43*	4,32*	2,30*	3,21*	4,51*
<i>Test znaménka</i>												
a)	6*	8*	9*	4*	9*	15	7*	8*	5*	8*	9*	5*
b)	7*	6*	9*	5*	8*	17	9*	9*	7*	8*	9*	5*
<i>Redukce chyby (RE)</i>												
a)	0,72*	0,36*	0,43*	0,61*	0,46*	0,15*	0,21*	0,21*	0,73*	0,38*	0,43*	0,60*
b)	0,65*	0,50*	0,42*	0,65*	0,45*	0,03	0,12*	0,24*	0,66*	0,43*	0,45*	0,63*
<i>RISK</i>												
a)	-0,76	-0,93	-0,36	-0,25	-0,47	-0,41	-0,21	-0,15	-0,73	-0,98	-0,38	-0,24
b)	-0,66	-0,5	-0,44	-0,52	-0,46	-0,38	-0,09	-0,07	-0,68	-0,56	-0,45	-0,50
<i>BIAS</i>												
a)	0,00	0,14	0,00	0,06	0,00	0,01	0,00	-0,07	0,00	0,18	0,00	0,05
b)	0,00	0,14	0,00	0,11	0,00	0,01	0,00	-0,01	0,00	0,11	0,00	0,09
<i>COVAR</i>												
a)	1,48	1,14	0,79	0,80	0,93	0,54	0,42	0,43	1,46	1,18	0,81	0,78
b)	1,30	0,85	0,87	1,06	0,92	0,39	0,21	0,32	1,34	0,88	0,91	1,04

ří) pro období pokryté chronologií smrku ztepilého. V obou případech se teplotní rekonstrukce pro jižní a severní svah shodují v hodnotě průměru (10,6 °C), při zanedbatelné diferenci směrodatných odchylek (0,03 °C) a vysokém korelačním koeficientu: $R = 0,91$ (obr. 4). Proto byla průměrováním odpovídajících si řad pro severní a jižní svah vytvořena jedna řada rekonstruovaná podle MHD a jedna podle MHD+ŠL. Obě tyto řady jsou téměř identické ($R = 0,99$) a proto pro další analýzu byla použita pouze řada odvozená podle MHD+ŠL.

Na obr. 5 je porovnán chod rekonstruovaných průměrných teplot vzduchu letního půlroku v Labském dolu v Krkonoších s měřenými údaji teploty vzduchu v pražském Klementinu. Plyne z něj, že charakter kolísání obou teplotních řad je odlišný. Zatímco v rekonstruované řadě je prakticky nulový trend v celém časovém intervalu, pražská řada vykazuje sestupný trend do začátku 40. – 50. let 19. století (-0,33 °C/10 let v období 1804 – 1850), vystřídáný pak vzestupnou tendencí (0,07 °C/10 let v období 1850 – 1975). Ta je nepochybně

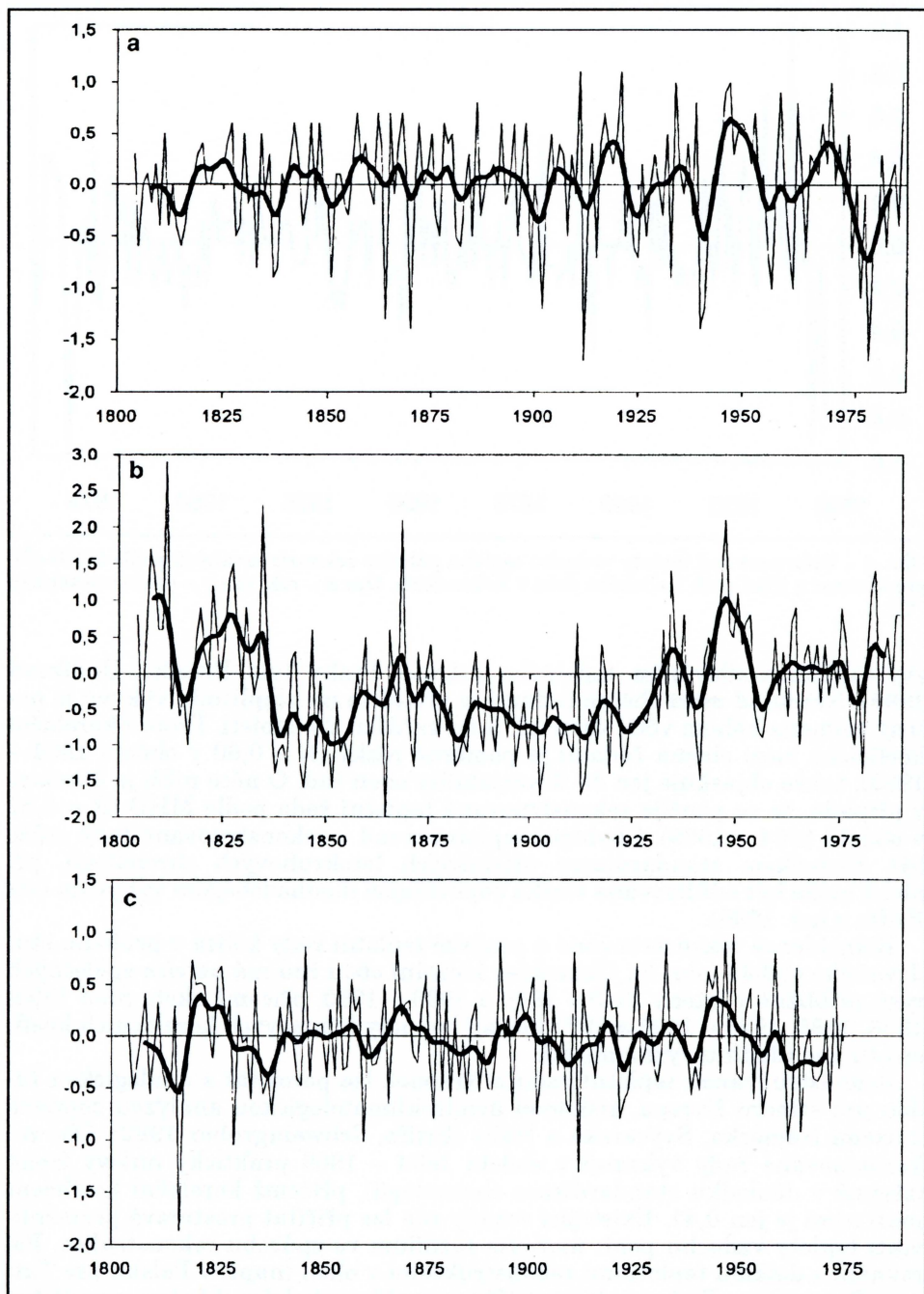


Obr. 4 – Diference řad teploty vzduchu teplého půlroku rekonstruovaných podle MHD+ŠL pro severní a jižní svah Labského dolu v Krkonoších. Osa x – rok, osa y – difference teploty (°C).

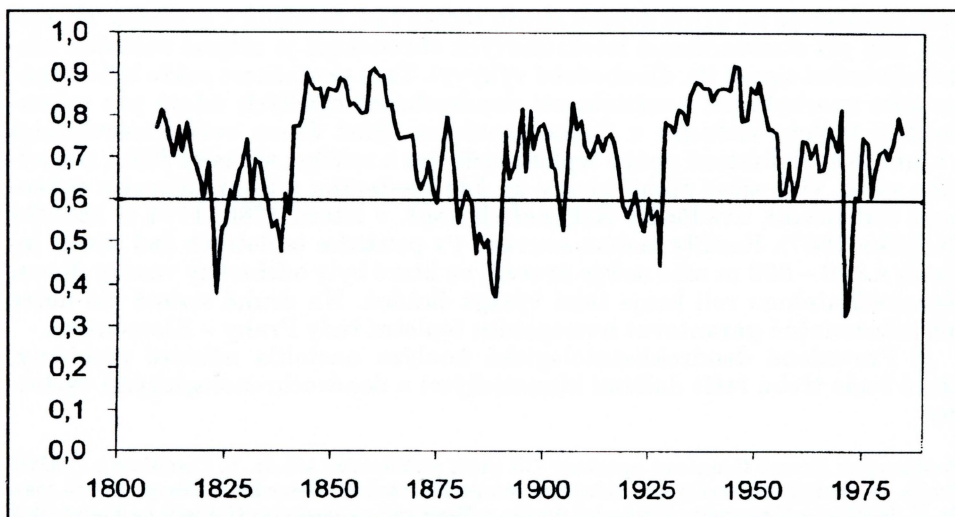
zvýrazněna zesilováním tepelného ostrova Prahy (viz Brázdil, Budíková 1996). Nesoulad mezi oběma řadami se zřetelně na amplitudu výkyvů je patrný zejména během větší části 19. a na začátku 20. století. Proto i korelační koeficient mezi oběma řadami je poměrně nízký ($R = 0,60$ v období 1804 – 1989), takže objasňuje jen 36 % variability obou řad. O něco nižší je korelace v případě, že se použije rekonstruovaná teplotní řada podle MHD ($R = 0,57$ v období 1804 – 1989). Chybějící teplotní trend v rekonstruované řadě může být důsledkem standardizace příslušných letokruhových chronologií, při nichž může být odfiltrována složka odpovídající dlouhodobějším výkyvům (viz Briffa a kol. 1996).

Koincidence rekonstruované a pražské teplotní řady kolísá v průběhu studovaného období (obr. 6). Charakter kolísání obou řad má nejvíce společných rysů přibližně v letech 1840 – 1870 a 1930 – 1950, přičemž okolo roků 1823, 1836, 1885, 1920 – 1925 a 1971 klesají hodnoty klouzavých korelačních koeficientů pod hladinu významnosti.

Rekonstruovanou teplotní řadu z Krkonoš lze porovnat s analogickou řadou pro střední Evropu, získanou dendroklimatologickou analýzou zejména z území Německa, Švýcarska a Itálie (Briffa, Schweingruber 1992). Obě rekonstruované řady vykazují v období 1804 – 1969 prakticky nulový trend (zřejmě v důsledku standardizace chronologií), přičemž korelační koeficient mezi nimi je jen 0,41. Existující rozdíly zde lze přičítat prostorové proměnlivosti teploty vzduchu popř. možným rozdílům ve způsobu rekonstrukce. Porovnání s dalšími teplotními rekonstrukcemi v okolí (např. v Polsku pro Tatary a Babiu Górę Bednarz 1984, 1996) je problematické s ohledem na odlišné měsíce rekonstrukce (pouze červen a červenec).



Obr. 5 – Porovnání chodu rekonstruovaných teplot vzduchu letního půlroku podle MHD+ŠL v Labském dolu v Krkonoších (a), měřených teplot vzduchu v Praze – Klementinu (b) a rekonstruovaných teplot vzduchu ve střední Evropě (Briffa, Schweingruber 1992; c). Teplotní odchylky (°C) od průměru období 1951 – 1970 jsou shlazeny Gaussovým filtrem pro 10 let.



Obr. 6 – Chod jedenáctiletých klouzavých korelačních koeficientů mezi rekonstruovanou řadou teplot vzduchu teplého půlroku v Labském dole v Krkonoších a měřenými teplotami vzduchu v Praze – Klementinu v období 1804 – 1989. Hodnota $R = 0,60$, vyznačená v grafu, je kritikou mezi pro hladinu významnosti 0,05 při $n - 2$ stupních volnosti ($n = 11$). Osa x – roky, osa y – korelační koeficient.

5. Závěr

Výsledky dendroklimatologické analýzy smrku ztepilého z přirozené horské smrčiny v oblasti Labského dolu v Krkonoších lze shrnout následovně :

a) MHD lépe vyjadřuje teplotní podmínky než ŠL. Na MHD měly největší vliv teploty vzduchu měsíců dubna, května, července, srpna a září, zatímco hodnoty ŠL ovlivňovaly nejvíce teplotní podmínky června a července.

b) Rozdíly mezi výsledky funkce odezvy jižního a severního svahu Labského dolu jsou nepatrné, pouze hodnoty MHD na severním svahu nevykazují statisticky významnou závislost na průměrných teplotách vzduchu v září jako u svahu jižního. Na zastíněném severním svahu teploty vzduchu v tomto měsíci již zřejmě nedosahují hodnot potřebných pro růst, kdežto jižní svah je ještě dostatečně prohříván.

c) Výsledky verifikační statistiky nepotvrdily vhodnost rekonstrukce průměrné teploty vzduchu měsíců června a července na základě ŠL.

d) Rekonstruovaná řada průměrné teploty vzduchu letního půlroku vytvořená pomocí MHD se prakticky neliší od řady rekonstruované na základě MHD+ŠL.

e) Porovnání rekonstruovaných teplotních řad s výchozími teplotními údaji (1930 – 1990) ukázalo velmi dobrou shodu obou řad zhruba v období 1930 – 1965, zatímco po roce 1965 se obě řady od sebe začínají značně lišit. Růst stromů v oblasti Krkonoš začalo totiž ve větší míře ovlivňovat výrazné znečištění ovzduší, jehož intenzita vyvrcholila koncem 70. let (Sander 1991; Sander a kol. 1995).

f) Porovnání rekonstruované řady průměrné teploty vzduchu letního půlroku v období 1804 – 1989 s odpovídající řadou ze stanice Praha – Klementi-

num neukazuje na příliš dobrou shodu těchto řad, zejména v průběhu 19. století, kdy při standardizaci letokruhových chronologií je zřejmě potlačen nízkofrekvenční signál (tj. dlouhodobé výkyvy). Tato skutečnost může být chápána jako zpochybnění použitelnosti dendrochronologických údajů pro rekonstrukce teploty vzduchu v České republice. Růst dřeva ovšem neovlivňují z klimatických faktorů pouze teplota vzduchu a srážky, ale také délka slunečního svitu, vítr, silné zimní mrazy aj. Jde především o lesní kalamity způsobené vichřicemi, uváděné v Krkonoších např. v letech 1786, 1794 či 1833/34 (Nožička 1957). Rozdíly mohou souviset i s použitím teplotních řad stanic ležících o 300 – 500 m níže než je úroveň, ve které byly odebírány vzorky dřeva. Nezanedbatelnou roli hraje také výskyt škůdců. Na druhé straně ale nelze též jednoznačně garantovat homogenitu teplotní řady Prahy – Klementina.

g) Provedená dendroklimatologická analýza nastolila některé problémy, které bude třeba řešit dalšími klimatickými a dendrochronologickými výzkumy.

Poděkování: Kromě Grantové agentury ČR patří poděkování též dr. L. Coufalovi z ČHMÚ Praha za poskytnutí teplotních údajů ze stanic Harrachov, Benecko a Desná, stejně jako dr. K. Briffovi z Univerzity Východní Anglie v Norwichi za poskytnutí údajů ke konstrukci obr. 5c.

Literatura:

- BEDNARZ, Z. (1984): The comparison of dendroclimatological reconstruction of summer temperatures from the Alps and Tatra Mountains from 1741 – 1965. *Dendrochronologia*, č. 2, s. 63-72.
- BEDNARZ, Z. (1996): June-July temperature variation for the Babia Góra National Park, southern Poland, for the period 1650 – 1910. *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Jagiellońskiego*, 102, s. 523-529.
- BŘÁZDIL, R., BUDÍKOVÁ, M. (1996): Urban bias in the air temperature fluctuation in Prague – Klementinum, the Czech Republic. *Atmospheric Environment*, v tisku.
- BRIFFA, K. R., JONES, P. D., SCHWEINGRUBER, F. H. (1988): Summer temperature patterns over Europe: A reconstruction from 1750 A.D. based on maximum latewood density indices of conifers. *Quaternary Research*, č. 30, s. 36-52.
- BRIFFA, K. R., JONES, P. D., SCHWEINGRUBER, F. H. (1992): Tree-ring density reconstructions of summer temperature patterns across western North America since 1600. *J. Climate*, č. 5, s. 735-754.
- BRIFFA, K. R., JONES, P. D., SCHWEINGRUBER, F. H., KARLÉN, W., SHIYATOV, S. G. (1996): Tree-ring variables as proxy-climate indicators: Problems with low-frequency signals. In: Jones, P. D., Bradley, R. S., Jouzel, J. (eds.): *Climatic Variations and Forcing Mechanisms of the Last 2000 Years*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, s. 9-41.
- BRIFFA, K. R., SCHWEINGRUBER, F. H. (1992): Recent dendroclimatic evidence of northern and central European summer temperatures. In: Bradley, R. S., Jones, P. D. (eds.): *Climate Since A. D. 1500*, Routledge, London and New York, s. 366-392.
- COOK, E. R., KAIRIUKSTIS, L. A., eds. (1990): *Methods of Dendrochronology*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London, 355 s.
- DOBŘÝ, J., KLINKA, K., KYNCL, J. (1996): A preliminary reconstruction of temperature derived from *Abies amabilis* tree rings for Vancouver, British Columbia. *Rukopis*.
- DOBŘÝ, J., KYNCL, J., KLINKA, K., BLACKWELL, B. (1994): Dendrochronological study on old-growth forest trees in the Greater Vancouver Water District. In: *Proc. Intern. Tree-Ring Conf.*, Tucson, s. 105-125.
- DOBŘÝ, J., KYNCL, J., KLINKA, K., BLACKWELL, B. (1995): Climate signals in coastal old-growth forest trees near Vancouver, British Columbia. In: Dean, J. S., Meko, D. M., Swetnam, T. W. (eds.): *Tree Rings, Environment and Humanity*. *Radiocarbon*, s. 1-9.
- GORDON, G. A., LeDUC, S. K. (1981): Verification statistics for regression models. *Preprints Seventh Conference on Probability and Statistics in Atmospheric Sciences*, American Meteorological Society, Boston, s. 129-133.

- HOLMES, R. L. (1994): Dendrochronology Program Library. Laboratory of Tree-Ring Research, University of Arizona, Tucson.
- JONES, P. D., BRADLEY, R. S., JOUZEL, J., eds. (1996): Climatic Variations and Forcing Mechanisms of the Last 2000 Years. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 649 s.
- KYNCL, J., DOBRÝ, J., JANEČEK, B., NEČESANÝ, V. (1987): Radiografická denzitometrie dřeva. Příspěvek k metodické problematice. Drevářský výzkum, č. 112, s. 9-33.
- MARONNA, R., YOHAI, V. J. (1978): A bivariate test for the detection of a systematic change in mean. J. Amer. Stat. Assoc., č. 363, s. 640-645.
- NOSEK, M. (1972): Metody v klimatologii. Academia, Praha, 434 s.
- NOŽIČKA, J. (1957): Přehled vývoje našich lesů. SZN, Praha, 459 s.
- SANDER, C. (1991): Dendroökologische und elastomechanische Untersuchungen an immissionsschädigten Fichten (*Picea abies* L., Karst.) im Riesengebirge. Diplomová práce, katedra biologie, Universita Hamburk, 79 s.
- SANDER, C., ECKSTEIN, D., KYNCL, J., DOBRÝ, J. (1995): The growth of spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) in the Krkonoše-(Giant) Mountains as indicated by ring width and wood density. Ann. Sci. For., 52, s. 401-410.
- SCHWEINGRUBER, F. H. (1983): Der Jahrring. Verlag Paul Haupt, Bern, Stuttgart, 234 s.
- SCHWEINGRUBER, F. H. (1987): Tree Rings. D. Reidel Publishing Company, Dordrech, Boston, Lancaster, Tokyo, 234 s.
- ŠTEKL, J., ZACHAROV, P. (1993): Ověření homogenity teplotní řady na Milešovce. NKP ČR, Praha, sv. 11, 36 s.
- ŠTĚPÁNEK, P. (1996): Metody stanovení relativní homogenity a homogenizace teplotních a srážkových řad. Geografický projekt, katedra geografie, PŘF MU, Brno, 88 s.
- ŠTĚPÁNKOVÁ, P. (1996): Rekonstrukce teplotních poměrů v oblasti Krkonoš na základě dendrochronologie smrku. Diplomová práce, katedra geografie, PŘF MU, Brno, 93 s.

Summary

RECONSTRUCTION OF AIR TEMPERATURE OF THE SUMMER HALF-YEAR IN KRKONOŠE (GIANT MOUNTAINS) BASED ON THE SPRUCE TREE-RINGS IN THE PERIOD 1804 – 1989

Norway spruces (*Picea abies* (L.) Karst.) from Labský důl (Elbe Valley), Krkonoše (Giant Mts.) have been used for the dendroclimatological analysis (Figure 1). Samples were taken at the altitude of 1000 – 1300 m, close to the timber line. Trees from transversal transects going through the southern (5 areas, 90 trees) and the northern (2 areas, 51 trees) slopes of Labská rokle (Elbe Gorge) (the uppermost part of Labský důl) have been used. Both tree-ring width (RW in further text) and maximum wood density (MD) have been examined (Figure 2).

Since precipitation is abundant in the Krkonoše Mts., air temperature remains the decisive climatic factor for the growth of trees. Response functions have been determined both for the series of RW and MD variables (Figure 3). Verification statistics were then calculated (Table 1). RW variables are mostly affected by June and July temperatures; MD variables by April, May, July and August temperatures (samples taken from the southern slope also by September temperatures). The verification statistic did not confirm that RW variables alone would help to reconstruct the June and July air temperatures. On the other hand, the summer half-year temperatures (April-September) can be well reconstructed with the help of MD and/or MD+RW combined (reconstructions of temperature according to MD and MD+RW do not practically differ). Growth of trees in the Krkonoše Mts. has been largely influenced by increased air pollution since 1965 (Sander et al. 1995).

Since differences between the reconstructed air temperatures based on the samples from northern and southern slopes are small (Figure 4), only one average series of the summer half-year temperatures in 1804 – 1989 has been calculated. It was compared with the air temperature data recorded at the secular station in Prague-Klementinum. The comparison did not prove a very good agreement of the reconstructed and the measured series (Figure 5) which exhibit only 36 % of the commonly clarified variability. The greatest similarity (based on the correlation coefficients) is observed in the periods 1840 – 1870 and 1930 – 1950. In some shorter periods, however, the correlation coefficients between the two series were statistically insignificant (Figure 6). The reconstructed series does not express

above all changes in the mean value evident in the measured temperature series of Prague-Klementinum (Figure 5). Differences can be connected on the one hand with the influencing of wood increment by further climatic factors, wood calamities and pests, but also by the standardization of the dendrochronologies used, on the other hand with the choice of weather stations situated 300 – 500 m below the sampling sites and with the choice of Prague-Klementinum as the reference station (a typical urban station).

Fig. 1 – Locations of the sampling site of wood and of the weather stations used: 1 – state frontier, 2 – stream, 3 – sampling site, 4 – weather station, 5 – community.

Fig. 2 – Quantitative characteristics of tree-rings (adapted according to Schweingruber 1983): 1 – maximum density (MD), 2 – minimum density, 3 – early wood width, 4 – late wood width, 5 – tree-ring width (RW), 6 – medium (mean) wood density. Perpendicular axis – density (g.cm^{-3}), A – X-ray diagram.

Fig. 3 – The response of the maximum wood density (MD, left) and tree-ring width (RW, right) on the northern (a) and the southern (b) slopes of Labský důl to the mean monthly air temperatures expressed by correlation coefficients (columns) and coefficients of multiple regression (angle line). Statistically significant coefficients for the level of significance 0.05 are marked with black columns and points.

Fig. 4 – Differences of air temperature series of the summer half-year reconstructed according to MD+RW for the northern and the southern slopes of Labský důl in the Krkonoše Mts.; x-axis – years, y-axis – temperature differences ($^{\circ}\text{C}$).

Fig. 5 – The comparison of the variation of reconstructed air temperatures of the summer half-year according to MD+RW in Labský důl in the Krkonoše Mts. (a), measured air temperatures in Prague-Klementinum (b) and reconstructed air temperatures in Central Europe (Briffa, Schweingruber 1992; c). Temperature deviations ($^{\circ}\text{C}$) from the mean of the period 1951 – 1970 are smoothed by the Gaussian filter for 10 years.

Fig. 6 – The variation of eleven-year running correlation coefficients between the reconstructed air temperature series of the summer half-year at Labský důl in the Krkonoše Mts. and measured air temperatures at Prague-Klementinum in the period 1804-1989. The value $R = 0.60$, marked in the graph, is the critical limit for the level of significance 0.05 at $n - 2$ degrees of freedom ($n = 11$); x-axis – years, y-axis – correlation coefficient.

(Pracoviště autorů: katedra geografie Přírodovědecké fakulty Masarykovy univerzity, Kotlářská 2, 611 37 Brno; Botanický ústav AV ČR, 252 43 Průhonice; Ústav fyziky atmosféry AV ČR, Boční II, 141 31 Praha 4.)

Do redakce došlo 6. 10. 1996

Lektorovali Jan Jeník a Ivan Sládek