

Paleoklimatologie (High resolution paleoclimatology)

IV. Historická klimatologie

Historical climatology

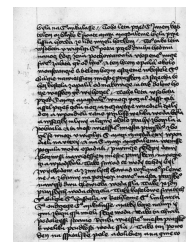
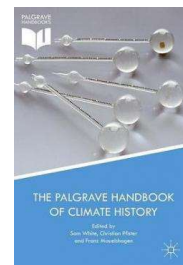
Historical climatology is defined as a research field situated at the interface of climatology and (environmental) history, dealing mainly with **documentary evidence** and using the methodology of both climatology and history.

It is directed towards the following **three main objectives**:

- i. It aims at **reconstructing** temporal and spatial patterns of weather and climate as well as climate related natural disasters for the period prior to the creation of national meteorological networks (mainly for the last millennium).
- ii. It investigates the **vulnerability** of past societies and economies to **climate variations, weather extremes and natural disasters**.
- iii. It explores past discourses and the **social representations of the climate**.

„Classical“ types of documentary evidence

Description of food on the Vltava river in Prague, July 1432. Old Czech Annals



Historical documents and climate reconstruction?

„You can calibrate a tree and also connect it with other climate variables. In historical documents one not knows sure how good they are. But we need exact data to reconstruct climate of the past. It will not help us if we know that in some afternoon was sunny.“

P.D. Jones (see Hochadel, Oliver, "Schnee von gestern", Heureka 2 (2006), p. 9-10)

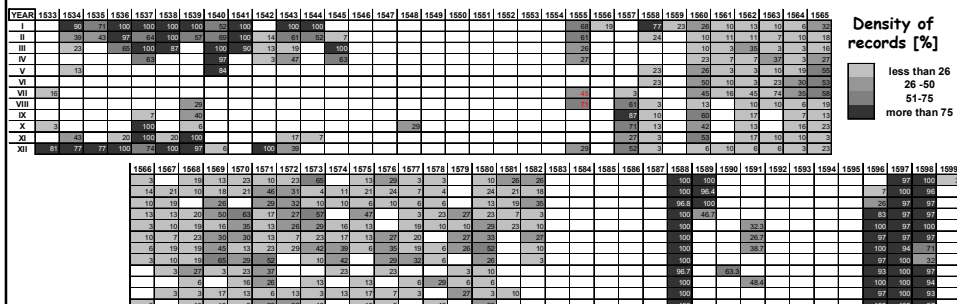
Daily weather observations, Jan of Kunovice, 1533-1545, South Moravia

An example for daily weather records

Available daily weather records from the 16th century Czech lands as an example of **historical climatology** data sources

- Jan of Kunovice, South Moravia (1533-1545)
- Johan Emerich Aichholz, travel reports from 1548
- Anonymous reports in the almanach of Mister Mikuláš Šúd from Semanín (1555)
- Jan Petřík z Benešova, České Budějovice (winter 1555/56)
- Tadeáš Hájek z Hájku, Prague (1557-1558)
- Jan Strialius, Prague, Litoměřice, České Budějovice, Žatec, (1558-1582)
- Karel Starší ze Žerotína, Náměšť nad Oslavou, Prague, ... (1588-1591)
- Matyáš Borbonius z Borbenheimu, Czech Lands (1596- 1599, 1622)

Relative frequencies of visual daily weather observations in Czech lands in 16th century



Documentary data

Man-made sources for climate reconstructions - individual

- narrative sources (annals, chronicles, memories)
- personal correspondence
- economic sources
- pictorial evidence
- newspapers
- occasional prints
- epigraphic sources
- early scientific papers and communications (compilations)
- visual daily weather records
- early instrumental meteorological observations

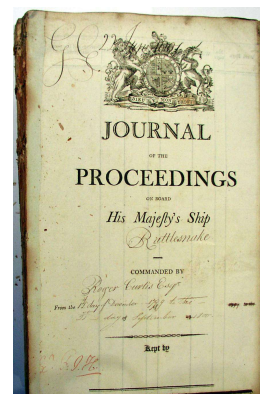


Day	I	II	III	IV	V	VI
1	W	A	F	C	C	C
2	W	A	F	C	C	C
3	F	C	C	C	C	C
4	F	C	C	C	C	C
5	L	C	C	C	C	C
6	L	C	C	C	C	C
7	L	C	C	C	C	C
8	L	C	C	C	C	C
9	L	C	C	C	C	C
10	L	C	C	C	C	C
11	L	C	C	C	C	C
12	L	C	C	C	C	C
13	L	C	C	C	C	C
14	L	C	C	C	C	C
15	L	C	C	C	C	C
16	L	C	C	C	C	C
17	L	C	C	C	C	C
18	L	C	C	C	C	C
19	L	C	C	C	C	C
20	L	C	C	C	C	C
21	L	C	C	C	C	C
22	L	C	C	C	C	C
23	L	C	C	C	C	C
24	L	C	C	C	C	C
25	L	C	C	C	C	C
26	L	C	C	C	C	C
27	L	C	C	C	C	C
28	L	C	C	C	C	C
29	L	C	C	C	C	C
30	L	C	C	C	C	C
31	L	C	C	C	C	C

Documentary data

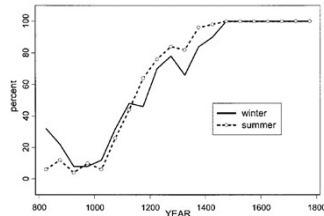
Man-made sources for climate reconstructions - institutional

- municipal books of accounts
- reports on weather damage related to claims for tax or similar alleviations
- official letters
- ship logbooks

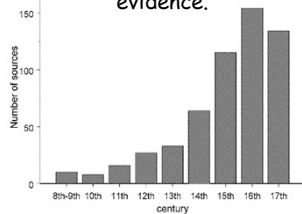


From documents to weather and climate

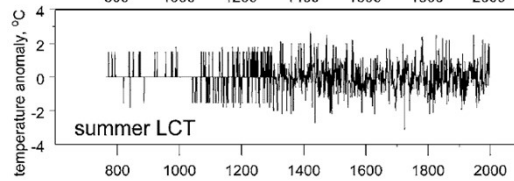
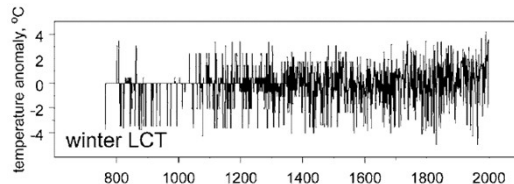
van Engelen et al. (2001) used an ordinal scale from 1 to 9 for reconstruction of winter (from 1 - extremely mild to 9 - extremely severe) and summer (from 1 - extremely cool to 9 - extremely warm) temperatures in the Low countries



Percent of winters and summers per 50 year periods covered by documentary evidence.



Number of sources per century



Reconstructed LCT anomaly series for winter (DJF) and summer (JJA).

Shabalova and van Engelen (2003)

Methods of reconstruction

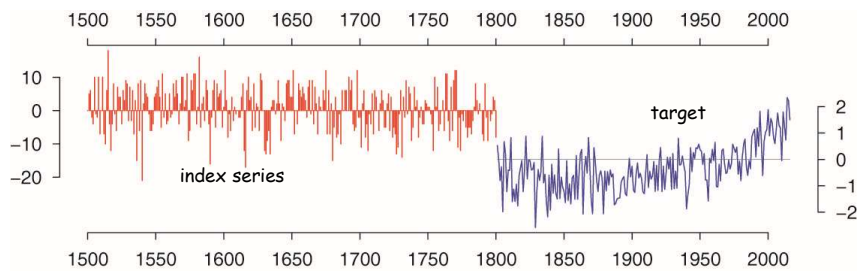
„In Europe, the most difficult problem is that the types of historical sources available prior to the middle of the eighteenth century are markedly less widely available since that time...

...The widespread use of new meteorological instruments at that time meant the death knell for many types of documentary sources."

P.D. Jones et al., HOLOCENE, 2009, p. 17



Data model of the early historical climatology



New types of documentary evidence

Institutional sources, records of various economic activities, newspapers, early instrumentals



Damage reports

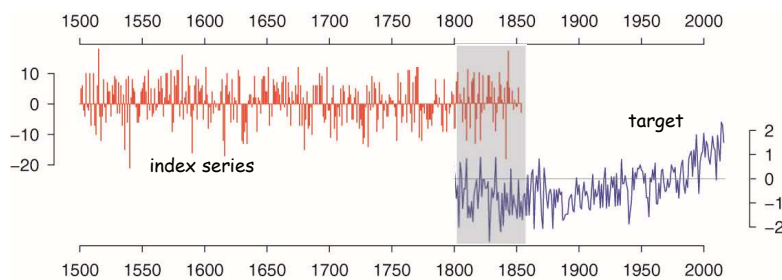


Books of accounts

ZÁKUPY	
Číslo	Obsah
1	...
2	...
3	...
4	...
5	...
6	...
7	...
8	...
9	...
10	...
11	...
12	...
13	...
14	...
15	...
16	...
17	...
18	...
19	...
20	...
21	...
22	...
23	...
24	...
25	...
26	...
27	...
28	...
29	...
30	...
31	...
32	...
33	...
34	...
35	...
36	...
37	...
38	...
39	...
40	...
41	...
42	...
43	...
44	...
45	...
46	...
47	...
48	...
49	...
50	...

The earliest instrumental observations, Zákupy, 21. 12. 1719-31. 3. 1720

Data model allowing independent calibration/verification



Data type 2 - (bio)physical parameters

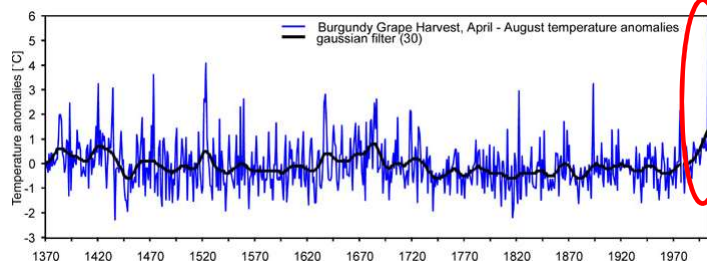
Data coming mainly from institutional sources like dates of different agricultural activities (e.g. beginning of grain or grape harvests), transport activities (the opening of northern harbours after winter, beginning and end dates of freezing on rivers, lakes and canals) etc.



grape harvest dates



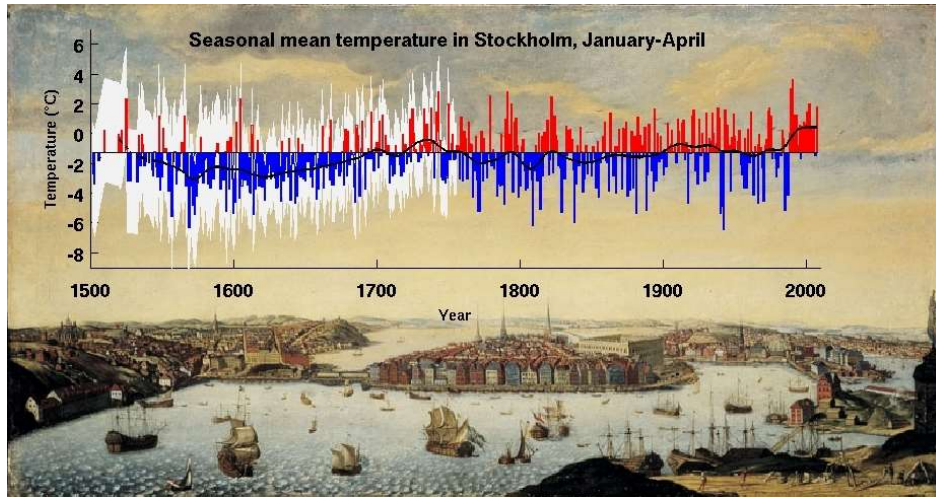
winter wheat harvest dates



Chuine et al. (2004) Grape ripening as a past climate indicator. *Nature*, Vol. 432.

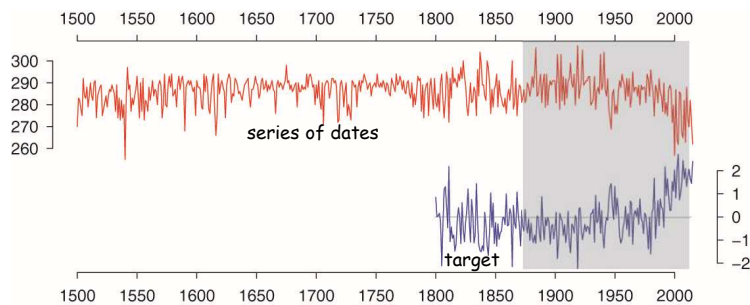
Keenan, D. J. (2007): Grape harvest dates are poor indicators of summer warmth. *Theoretical and Applied Climatology*, 87, 255-256.

Data type 2 - (bio)physical parameters

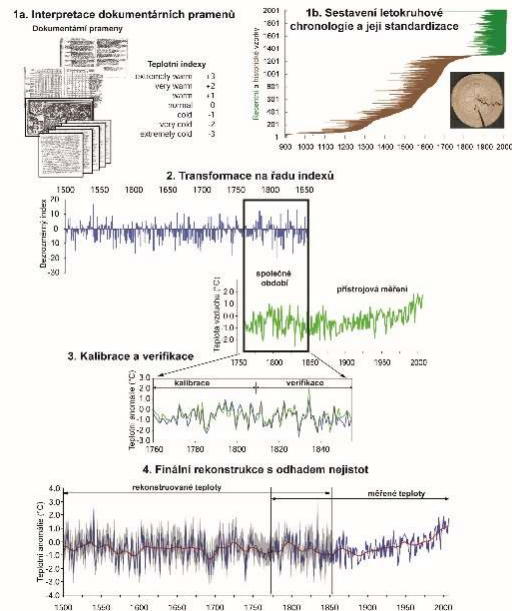


Data type 2 - (bio)physical parameters

- Nepřímé údaje (proxy), avšak méně subjektivní než indexy
- Mají často charakter fenologických pozorování
- Datový model umožňuje dostatečně dlouhé období překryvu s instrumentálními řadami
- Umožňují formální kalibraci a verifikaci
- Umožňují kvantifikovat některé druhy nejistot



Obecný postup kvantitativní rekonstrukce

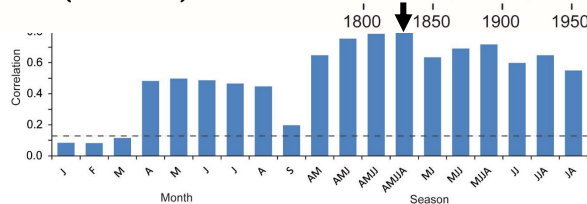
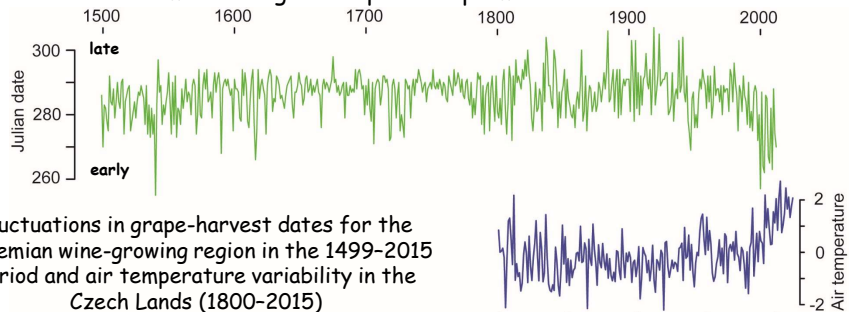


Specifika rekonstrukce z dokumentárních dat

- Odpadá problém standardizace, naopak velkým **problémem je objektivní interpretace** různých typů dokumentárních dat a sestavování řad teplotních / srážkových indexů
- V případě řad indexů odpadá problém hledání **vhodného meteorologického prvku** či klimatologické charakteristiky pro rekonstrukci
- Není třeba hledat **optimální sezónu** a data nejsou omezena jen na určitou část roku
- Řady indexů nejsou k dispozici do současnosti - kalibrace a verifikace tedy musí proběhnout na **relativně krátkém období překryvu**.
- Toto období často zahrnuje časná meteorologická měření s potenciálními **problémy s kvalitou dat** a homogenizací (viz. tzv. early instrumental paradox)
- Řady teplotních či srážkových indexů **potlačují přirozenou variabilitu** rekonstruovaného prvku, větší variability lze docílit integrováním měsíčních řad indexů do sezón případně delších období.

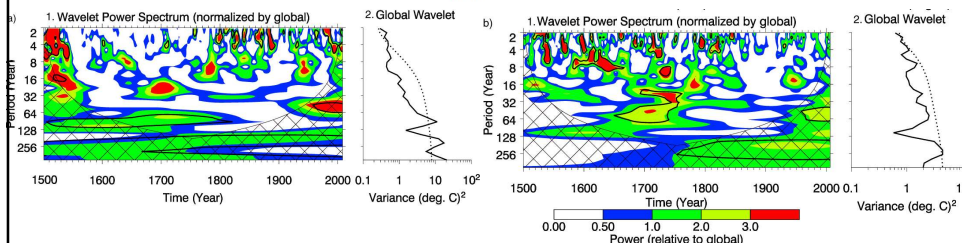
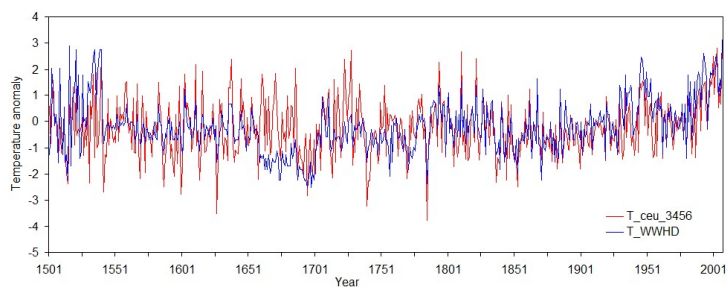
Specifika rekonstrukce z dokumentárních dat

Řady (bio)fyzikálních parametrů jsou k dispozici do současnosti a vyžadují hledání rekonstruovaného meteorologického prvku i optimálního období



Pearson correlation coefficients between grape-harvest dates and Czech temperatures in the 1811-2010 period for months and seasons; horizontal line indicates significant correlations for one-tail test ($p = 0.05$, $N = 200$).

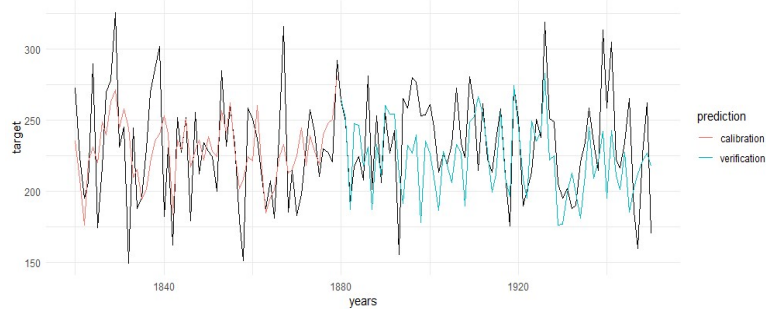
Porovnání obou typů dat ve spektrální doméně



Spektrální analýza (wavelet power spectrum) pro teploty (III-VI) rekonstruované na základě data počátku žní ozimé pšenice (a) a indexů sestavených z dokumentárních pramenů (b)

Specifika rekonstrukce z dokumentárních dat

- Menší variabilita teplotních či srážkových indexů může vést k významně nižší variabilitě rekonstruovaných hodnot
- To je patrné zvláště při kalibraci metodou lineární regrese, která samotná ještě více potlačuje variabilitu predikované veličiny.

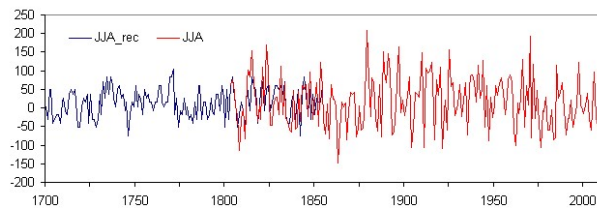


Výsledek kalibrace a verifikace Černou barvou jsou znázorněny měřené hodnoty, červenou resp. zelenou potom hodnoty rekonstruované pro kalibrační resp. verifikační období.

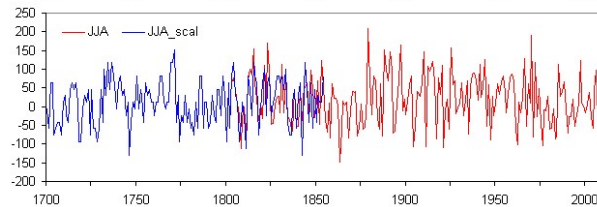
- Je možno předpokládat, že rekonstruované hodnoty v překryvovém období by měly mít stejnou variabilitu jako data, na která se kalibruje

Problém zachování variability

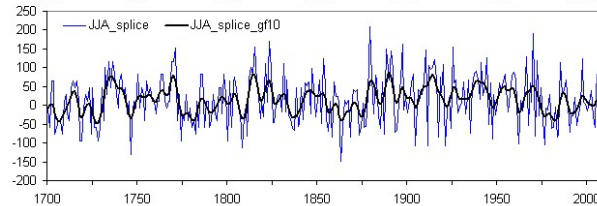
lineární regrese (LR)



variance scalling (VS)



Výsledná rekonstrukce



Specifika rekonstrukce z dokumentárních dat

- **Variance scalling (VS)** - rekonstruované hodnoty se násobí koeficientem tak, aby variabilita rekonstruovaných a instrumentálních dat v překryvovém období byla stejná
- Toho lze dosáhnout přímo, pokud se ke kalibraci na místo lineární regrese (LR) použije metoda VS
- Řada indexů (proxy) se standardizuje - má průměr nula a směrodatnou odchylku jedna
- K této řadě se nejprve přičte konstanta rovnající se průměru instrumentálních dat v překryvovém období
- Následně se řada vynásobí směrodatnou odchylkou instrumentálních dat v překryvovém období
- I pro metodu VS lze vypočítat verifikační statistiky (R^2 , RE, CE) a jejich porovnáním s hodnotami získanými pro LR posoudit, do jaké míry je variabilita v regresním modelu rekonstrukce potlačena

Porovnání rekonstrukcí metodou LR a VS

Summary of calibration and verification statistics used for April-August temperature reconstruction based on grape harvest dates for the Czech Lands: r^2 - explained variance, SE - standard error of estimate, DW - Durbin-Watson test, RE - reduction of error, CE - coefficient of efficiency; RE and CE were calculated for linear regression (LR) and variance scalling (VS).

Subperiods	Calibration statistics			Verification statistics				
	r^2	SE	DW	r^2	RE_{LR}	CE_{LR}	RE_{VS}	CE_{VS}
Early calibration (1811–1910)/ late verification (1911–2010)	0.51	0.52	1.9	0.76	0.66	0.53	0.71	0.60
Early verification (1811–1910)/ late calibration (1911–2010)	0.76	0.47	1.8	0.51	0.51	0.21	0.50	0.19
Full calibration (1811–2010)	0.64	0.54	1.6	0.64	–	–	–	–

Odhady nejistot (pásky spolehlivosti)

- Rekonstrukce založené na statistických metodách podávají pravděpodobnostní výpověď a měly by tedy být doplněny odhadem nejistot
- Zdroje nejistot („chyby“) jsou četné a vycházejí např. z kvality proxy dat (e_p), kvality instrumentálních údajů (e_t), z podstaty použité metody kalibrace (e_r) atd.
- Obecné vyjádření celkové nejistoty (e) resp. spolehlivosti odhadu aditivním vztahem:

$$e = e_p + e_t + e_r + \dots$$

- Základním problémem je však kvantifikace jednotlivých zdrojů chyb
- V případě metody lineární regrese lze využít směrodatné chyby odhadu (**Standard error of estimate SE**) která kvantifikuje „chybu regrese“ („regression error“), tedy (e_r)

Odhady nejistot

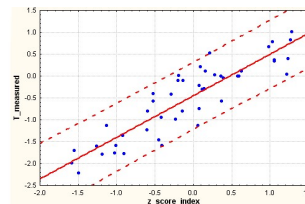
- Směrodatná chyba odhadu (**SE**) je odhadem nejistot vázaných na použitou metodu regrese

```
Call:
lm(formula = kalib_target ~ kalib_proxy)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-97.081 -16.867   0.636  17.077  78.062

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  -71.993     9.990   -7.207 4.28e-11 ***
kalib_proxy   65.755     9.727   6.760 4.30e-10 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

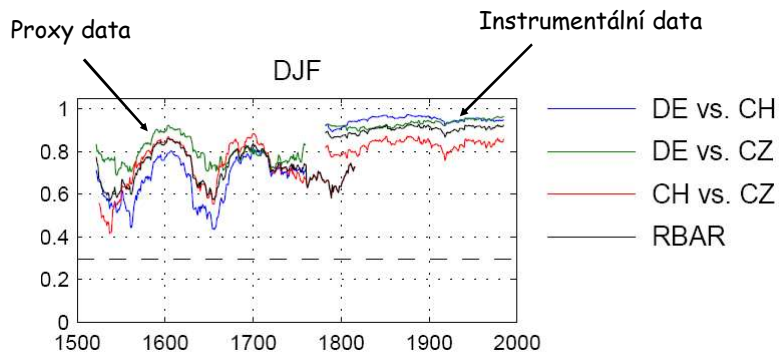
Residual standard error: 31.64 on 129 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.2616,    Adjusted R-squared:  0.2559
F-statistic: 45.7 on 1 and 129 DF,  p-value: 4.302e-10
```



- Platí, že $1.96 \cdot SE$ definuje 95 % interval spolehlivosti
- SE však vyjadřuje nejistotou pouze na základě dat z kalibračního období

Odhady nejistot

- Nejistoty vně kalibračního období lze odhadnout na základě porovnání kvality proxy dat
- Tuto kvalitu lze měřit např. pomocí klouzavých korelací (**RBAR**) a nebo pomocí měř používaných v dendroklimatologii k odhadu kvality sestavených chronologií (**EPS**)



RBAR - průměrná korelace jako odhad kvality společného signálu v proxy datech

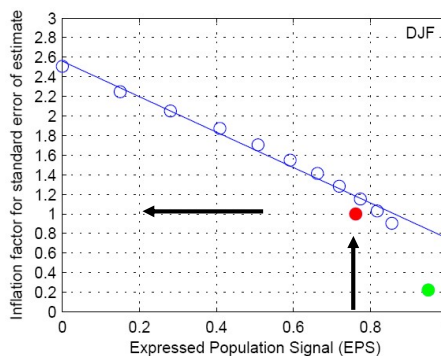
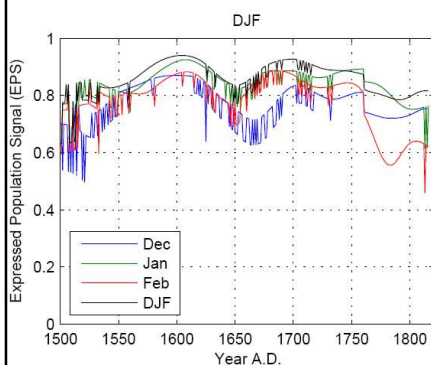
Odhady nejistot

Expressed Population Signal (EPS) (Wigley *et al.* 1984):

$$EPS(t) = \frac{n(t) \bar{r}}{n(t) \bar{r} + (1 - \bar{r})} \approx \frac{\text{signal}}{\text{total variance}}$$

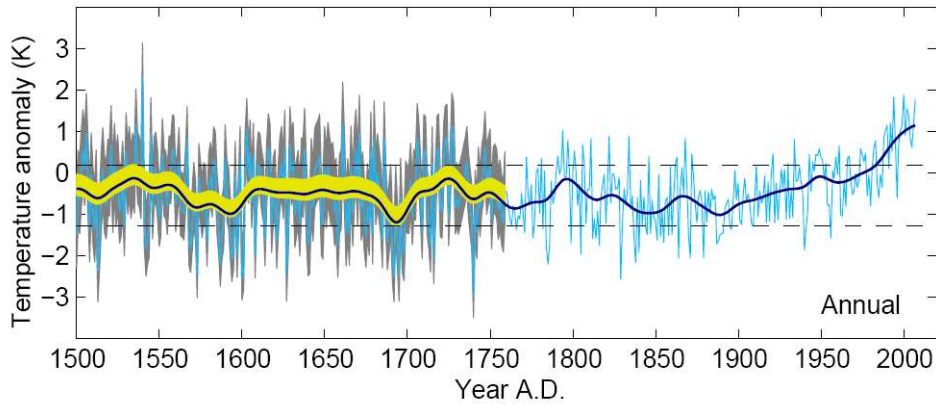
\bar{r} average correlation (RBAR)

n number of series



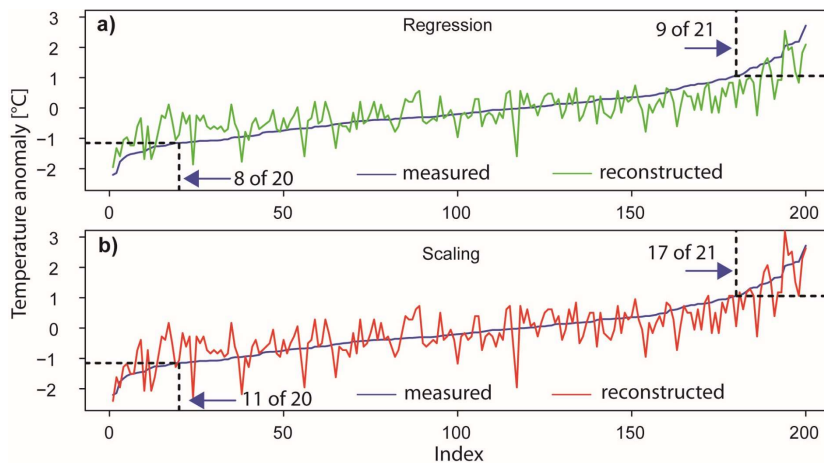
- Směrodatná chyba (SE) je počítána opakovaně pro různou úroveň společného signálu mezi proxy daty vyjádřené hodnotami RBAR nebo EPS
- Jejich nízké hodnoty značí nízkou úroveň společného signálu a tedy větší hodnotu SE - větší nejistotu (širší pás spolehlivosti)

Finální rekonstrukce s odhadem nejistot



Central European Annual temperatures (anomalies w.r.t. 1961–1990) with uncertainty estimates

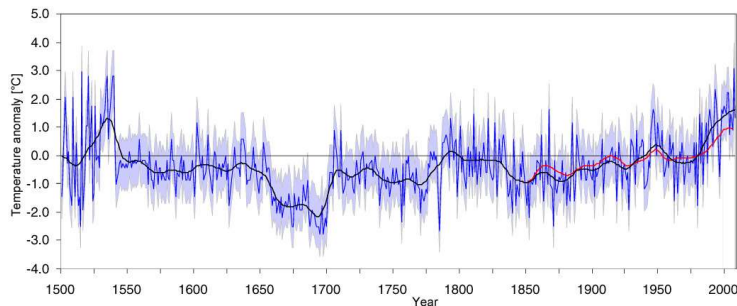
Schopnost podchytit extrémní hodnoty



Comparison of **measured** (continuous blue line) and reconstructed temperatures using **regression** (a - green line) and **scaling** (b - red line) presented in rank order; dashed boxes indicate the upper and lower 10% portions of measured temperatures and numbers of these extremes reproduced in reconstructions.

Validace výsledné rekonstrukce

- **Formální** - např. porovnání s obdobnými proxy-rekonstrukcemi s využitím klouzavých korelací, porovnání výskytu významně nad(pod) normálních období, ...
- **Neformální** - ověření specifických rysů rekonstrukce s využitím nezávislých zdrojů



Reconstructed mean Czech March-June temperature anomalies (blue; reference period 1961-1990) based on **winter wheat harvest dates** in the period 1501-2008 completed with 95% confidence interval and derived from linear regression. Smoothed by Gaussian filter for 30 years (black curve). Reconstructed temperatures are compared with Czech March-June measured temperature anomalies smoothed by Gaussian filter for 30 years in the period 1848-2006 (red curve) (Možný et al., 2012)

Porovnání klouzavých korelací - teplota vzduchu

Any combination of months from CEuT can be utilized for comparison with different proxy reconstructions (31-years running correlations)

"Winter reconstructions"

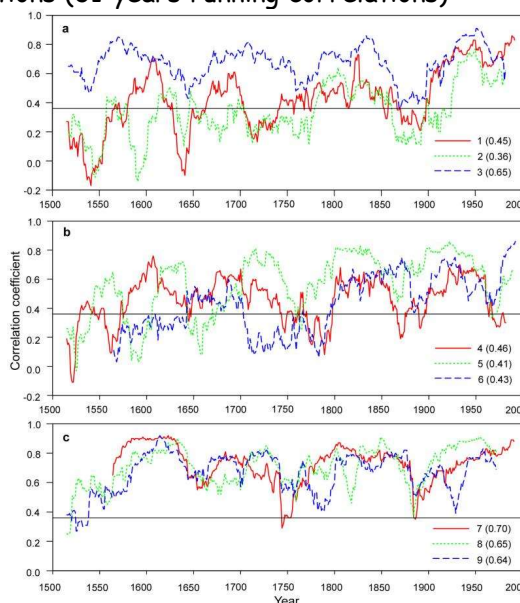
- (1) Leijonhufvud et al. 2008
- (2) Tarand and Nordli 2001
- (3) Koslowski and Glaser 1999

"Summer tree-ring based reconstructions"

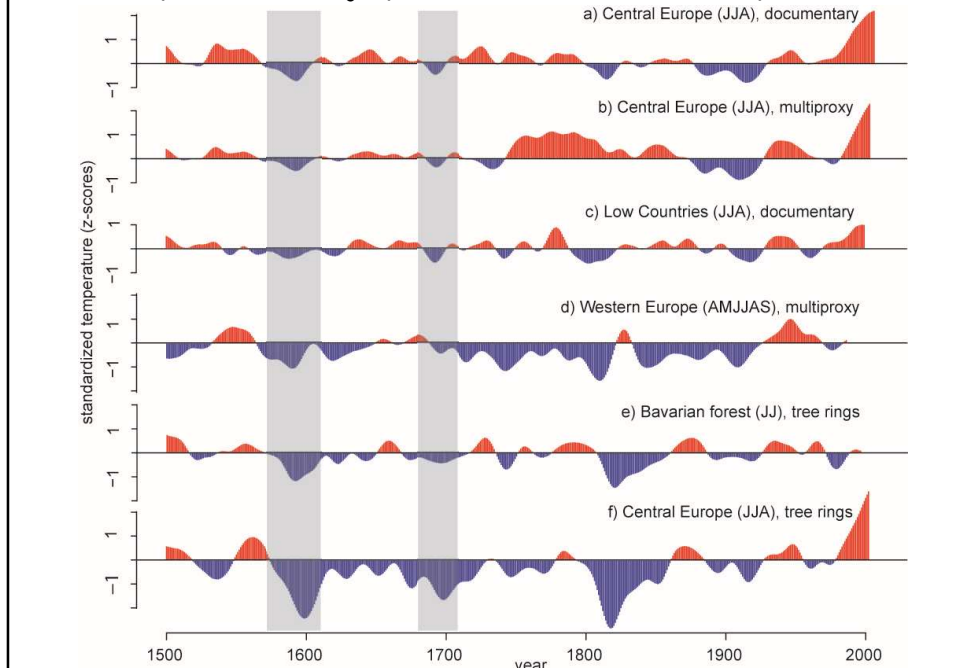
- (4) Wilson and Topham 2004
- (5) Büntgen et al. 2006
- (6) Niedzwiedz 2004

"Wine harvest dates and multi-proxy reconstructions"

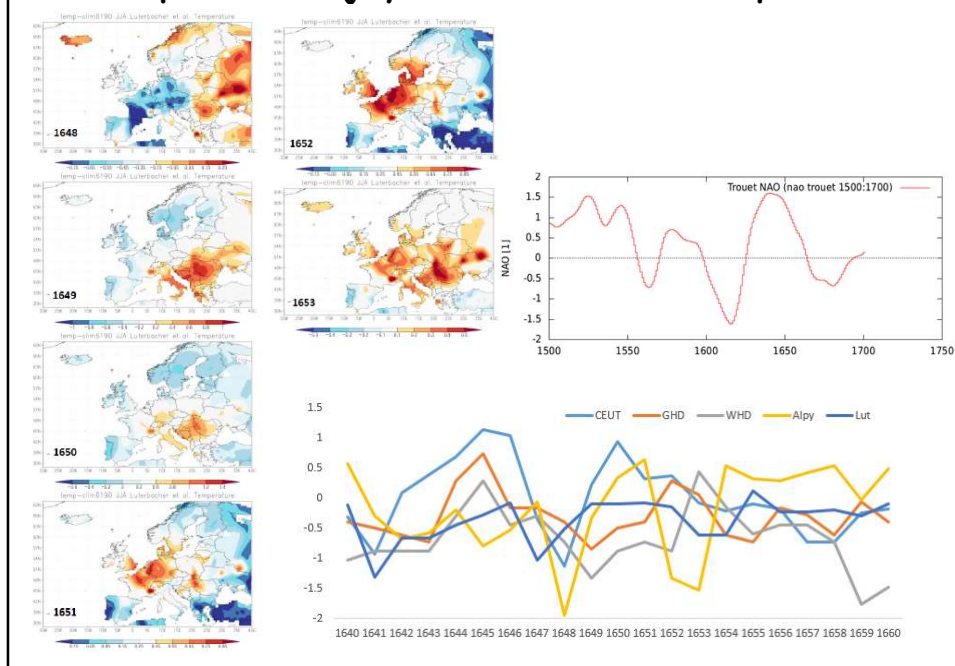
- (7) Meier et al. 2007
- (8) Guiot et al. 2005
- (9) Chuine et al. 2004



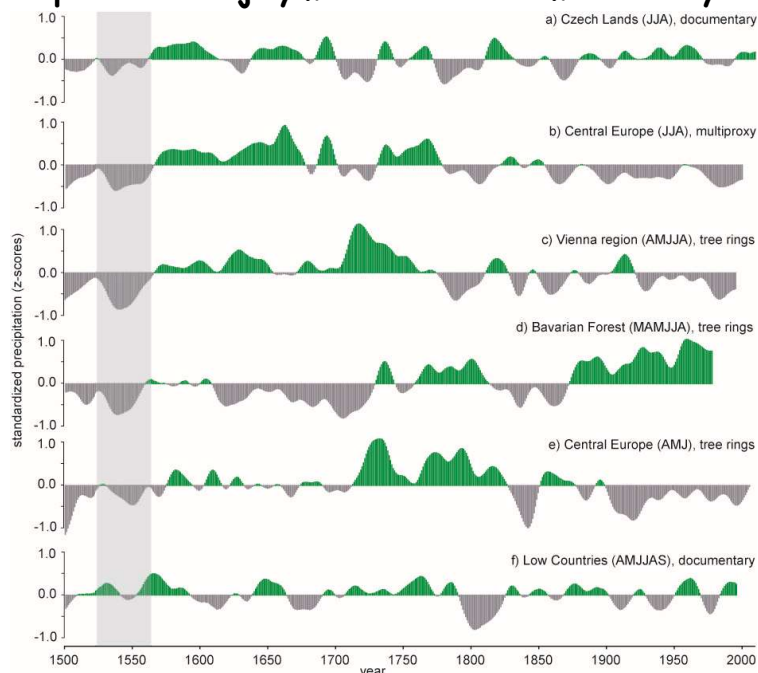
Formální porovnání s jinými rekonstrukcemi - teplota vzduchu



Formální porovnání s jinými rekonstrukcemi - teplota vzduchu

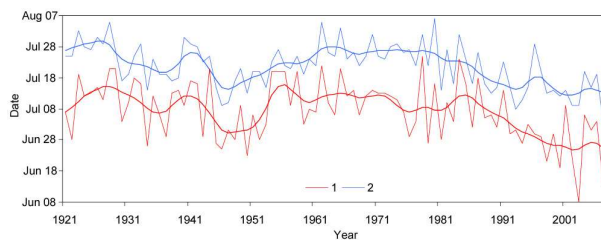


Formální porovnání s jinými rekonstrukcemi - srážky



Neformální validace

- Do jaké míry mohou být výsledky rekonstrukce založené na datech počátku žní ovlivněny změnami agrotechniky, šlechtěním odrůd a dalšími socioekonomickými faktory?
- „Social bias“ (F. Mauelshagen, 2010)



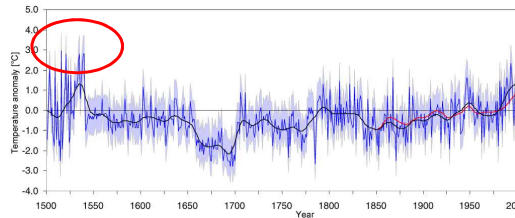
Kolísání **data prvního květu lípy malolisté (*Tilia cordata*)** v Rudolticích (1) a **data počátku žní ozimé pšenice (2)** v ČR v období 1921-2008.

Změny v agrotechnice či šlechtění odrůd měly vliv na výnosy, nebylo však prokázáno, že by významně ovlivňovaly vývoj rostlin v průběhu vegetačního období a tedy datum sklizně.

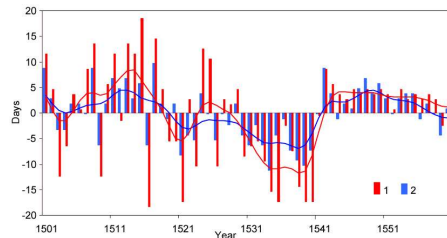
Neformální validace

Máme nějaké důkazy pro teplé období ve 30. letech 16. století?

- V 16. století došlo k rozšíření míst pěstování vína z tradičních oblastí
- "The meadows and orchards are delightful, with large orchards of Damascus plums, peaches, quinces, chestnuts, almonds and most various fruits; saffron and melons grow here [...] The grain on the plain is coming along well; on the hills, grapevines are everywhere." (Martin Rakovský, poznámky k r. 1558)
- Na vinicích byly pěstovány stromy aby stínily přímému slunečnímu záření.
- Na Kolínsku byly pěstovány melouny (pravděpodobně *Cucumis melo*) a byly dováženy do Prahy jako „všimné“ úředníkům (Pejml 1974)

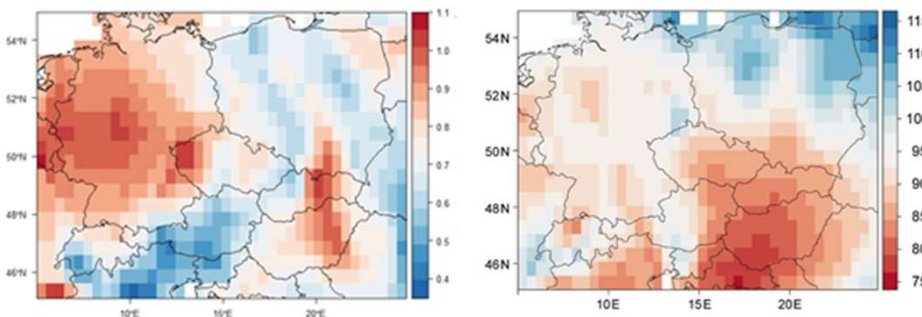
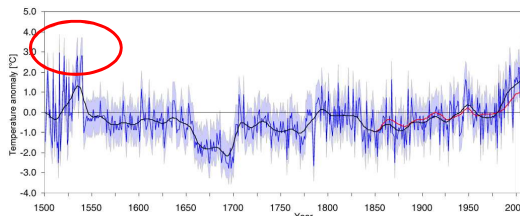


Kolísání data počátku žní ozimé pšenice (1) a data počátku vinobraní (2) v severozápadních Čechách v období 1501-1560 (odchylky od průměrného data). Kladné odchylky značí pozdější datum žní, záporné odchylky značí časnější žně



Neformální validace

Máme nějaké důkazy pro teplé a suché období ve 30. letech 16. století?

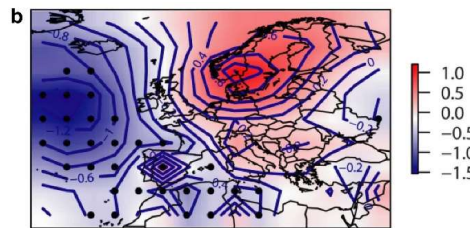
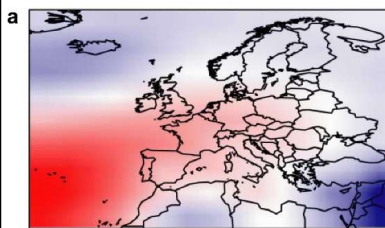
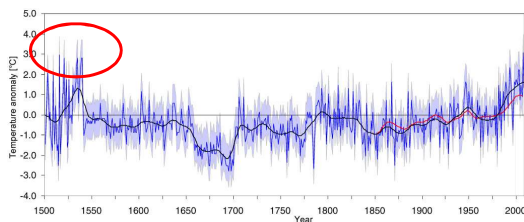


Mean 1531-1540 JJA temperatures according to Luterbacher et al. (2004) expressed as differences (°C) from the 1961-1990 mean in the central European region and mean 1531-1540 JJA precipitation totals expressed as % of the 1961-1990 mean (Pauling et al., 2006)

Neformální validace

Máme nějaké důkazy pro teplé a suché období ve 30. letech 16. století?

A jaké mohly být jeho příčiny?

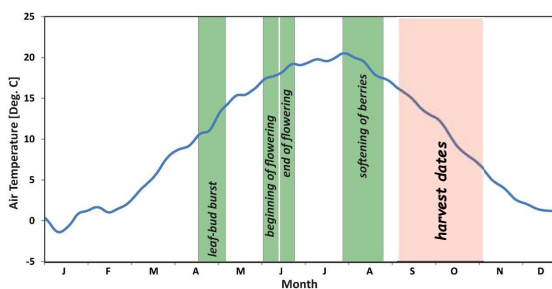


Mean summer SLP field of 1531-1540 (a) and deviations from the 1961-1990 reference period (b) in the Atlantic-European area. Points indicate grids with statistically significant deviations at the 0.05 significance level

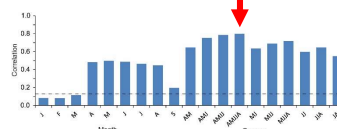
Silné a slabé stránky

Rekonstrukce teplot na základě dat počátku vinobraní

Dokumentární údaje a fenologická pozorování, která se v ČR provádějí od r. 1845 a různé druhy písemných pramenů dokumentární povahy před uvedeným rokem byly využity k sestavení řady počátku vinobraní a k následné rekonstrukci teploty vzduchu dubna-srpna v českých zemích v období 1499-2015



■ přirozená variabilita
 ■ přirozená variabilita a antropogenní vlivy



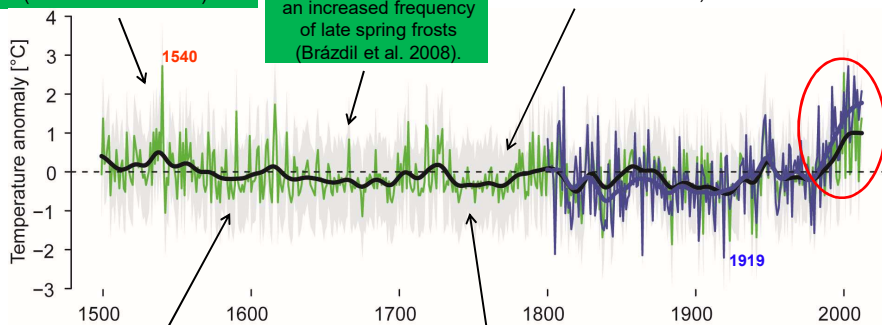
Možný M, Brázdil R, Dobrovolný P, Trnka M (2016) April-August temperatures in the Czech Lands, 1499-2015, reconstructed from grape-harvest dates. *Clim. Past*, 12, 1421-1434,

Silné a slabé stránky

Higher temperatures allowed extension of the Bohemian wine- and hop-growing regions and extensive cultivation of quite thermophilic plants (melons and almonds).

The Thirty Years' War (1618–1648), strong population decrease and an increased frequency of late spring frosts (Brázdil et al. 2008).

The "hunger years" of 1770–1772, the result of adverse weather patterns, very bad harvests and socio-economic problems (Pfister and Brázdil 2006).



Years with small amounts of wine of very inferior quality (Brázdil et al. 2013); a sudden drop in wine production in central Europe (Landsteiner 1999).

The War of the Austrian Succession (1740–1748) and the Seven Years' War (1756–1763), grapes were harvested at the earliest possible onset of maturity to preclude damage from enemy troops.

natural variability

natural variability and anthropogenic influence

Silné a slabé stránky

Byl rok 1540 v Evropě skutečně extrémně suchý a teplý?

Climatic Change
DOI 10.1007/s10584-014-1184-2

The year-long unprecedented European heat and drought of 1540 – a worst case

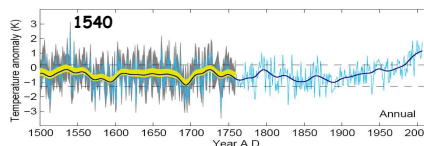
Oliver Wetter · Christian Pfister · Johannes P. Werner · Eduardo Zorita · Sebastian Wagner · Sonia I. Seneviratne · Jürgen Hergel · Uwe Grönewald · Jürg Luterbacher · Maria-João Azeiteiro · Mariano Barriendos · Ursula Bieber · Rudolf Brázdil · Karl H. Burneister · Chantal Camenisch · Antonio Contino · Petr Dobrowolny · Rüdiger Glaser · Iso Himmelsbach · Andrea Kiss · Oldřich Kotyza · Thomas Labbé · Danuta Limaniouka · Laurent Littenberger · Øyvind Naethli · Kathleen Pröbstl · Dag Retø · Dirk Rickmann · Christian Rohr · Werner Siegfried · Johan Söderberg · Jean-Laurent Spring

Climatic Change
DOI 10.1007/s10584-015-1423-1

COMMENTARY

Commentary to Wetter et al. (2014): Limited tree-ring evidence for a 1540 European 'Megadrought'

Ulf Büntgen^{1,2,3} · Willy Tegel⁴ · Marco Carrer⁵ · Paul J. Krusic^{6,7} · Michael Hayes^{8,9} · Jan Esper⁹

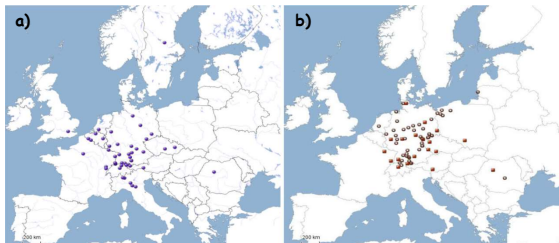


Climatic Change (2015) 131:191–198
DOI 10.1007/s10584-015-1429-8

RESPONSE

Tree-rings and people – different views on the 1540 Megadrought. Reply to Büntgen et al. 2015

Christian Pfister¹ · Oliver Wetter^{1,2} · Rudolf Brázdil^{1,2,3} · Petr Dobrowolny^{1,2,3} · Rüdiger Glaser^{1,4} · Jürg Luterbacher⁵ · Sonia I. Seneviratne⁶ · Eduardo Zorita^{1,6} · Maria-João Azeiteiro⁷ · Mariano Barriendos^{1,8} · Ursula Bieber^{1,9} · Karl H. Burneister^{1,4} · Chantal Camenisch^{1,2} · Antonio Contino^{1,5} · Uwe Grönewald¹ · Jürgen Hergel¹ · Iso Himmelsbach^{1,6} · Thomas Labbé^{1,6} · Danuta Limaniouka¹⁰ · Laurent Littenberger¹¹ · Andrea Kiss^{1,7} · Oldřich Kotyza^{1,8} · Øyvind Naethli¹² · Kathleen Pröbstl¹³ · Dag Retø¹⁴ · Dirk Rickmann¹⁵ · Christian Rohr¹² · Werner Siegfried¹⁵ · Jean-Laurent Spring¹⁶ · Johan Söderberg¹⁷ · Sebastian Wagner¹ · Johannes P. Werner¹



Dokumentární prameny o výskytu sucha, nízkých hladinách řek (a), lesních požárech a požárech měst (b) v průběhu roku 1540 (Wetter et al. 2014).

Multi-proxy rekonstrukce



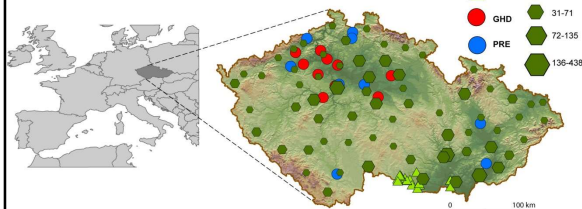
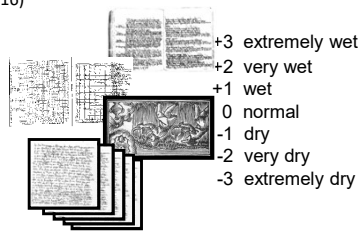
Oak (*Quercus* sp.) ring width chronology (OAK) represents measurements from more than 3000 living, historical and sub-fossil trees. These were compiled from 387 locations within the CR (Kolář et al., 2012; Prokop et al., 2017).



Fir (*Abies alba* Mill.) ring width chronology (FIR) from South Moravia (south-eastern part of the CR) consists from 117 living and 165 historic samples (Brázdil et al., 2002).

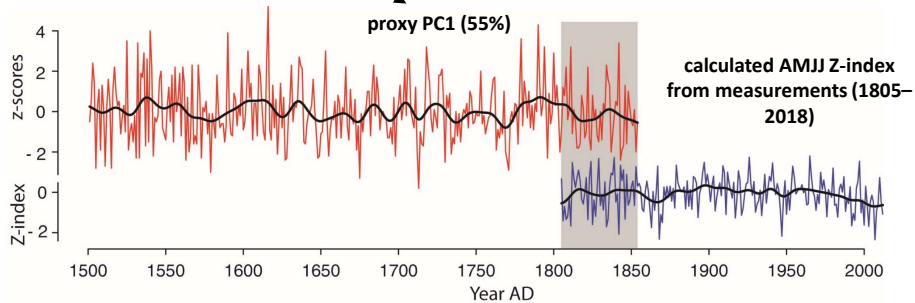
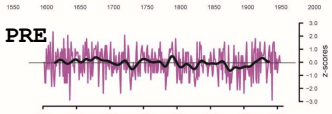
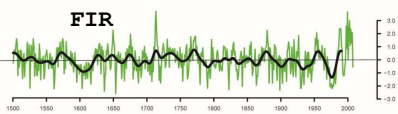
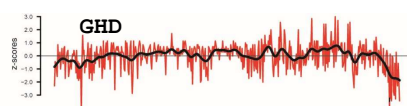
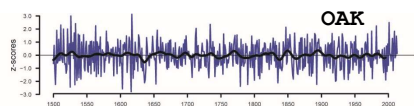


Grape harvest dates (GHD) collected from various documentary sources (1499–1845) and from the PHENODATA database of CHMI after 1845 for the Bohemian wine-growing region (NW Bohemia). (Možný et al, 2016)

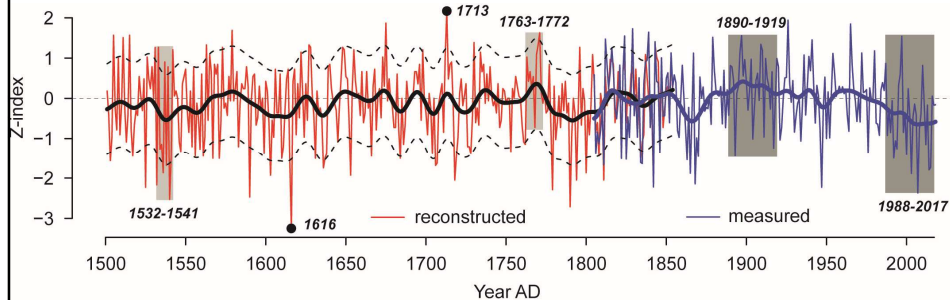


Precipitation indices compiled from various documentary evidence for the Czech Lands in the 1501–1854 period (Dobrovolný et al., 2015)

Multi-proxy rekonstrukce

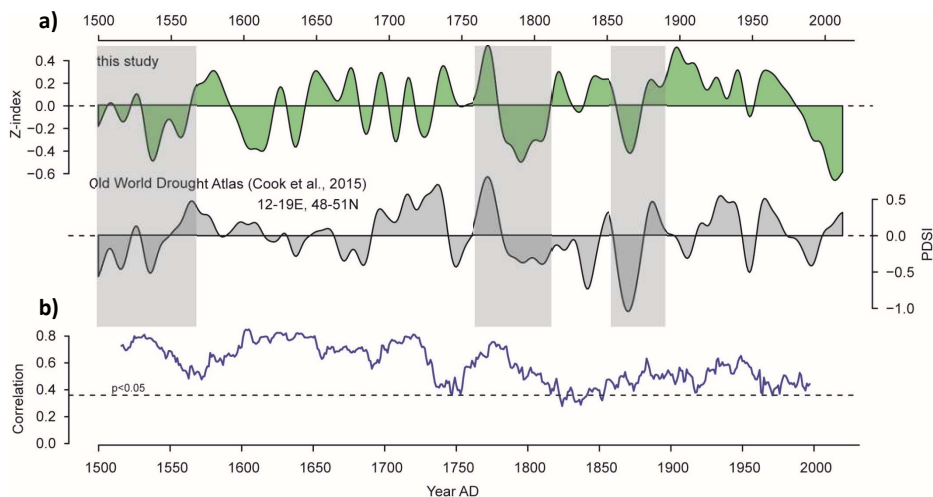


Multi-proxy rekonstrukce - sucho (z-index)



Reconstructed (1501-1854) and measured (1805-2018) AMJJ Z-index values for the territory of the CR completed with series smoothed by 30-year Gaussian filter (bold lines) and error bands (dashed lines) approximating 95% confidence intervals. Z-index values are expressed as anomalies w.r.t. the 1961-1900 reference period (horizontal line). Points denote the driest (wettest) years and grey areas mark the driest (wettest) 10-year and 30-year periods.

Porovnání rekonstrukcí indexů sucha



Long-term variability of droughts according to Z-index (this study) and scPDSI (Cook et al., 2015) in central Europe: **a)** low pass filtered values (30-year Gaussian filter); **b)** 30-year running correlations