Metody v klimatologii

I. Úvod, zdroje dat, Climate Explorer

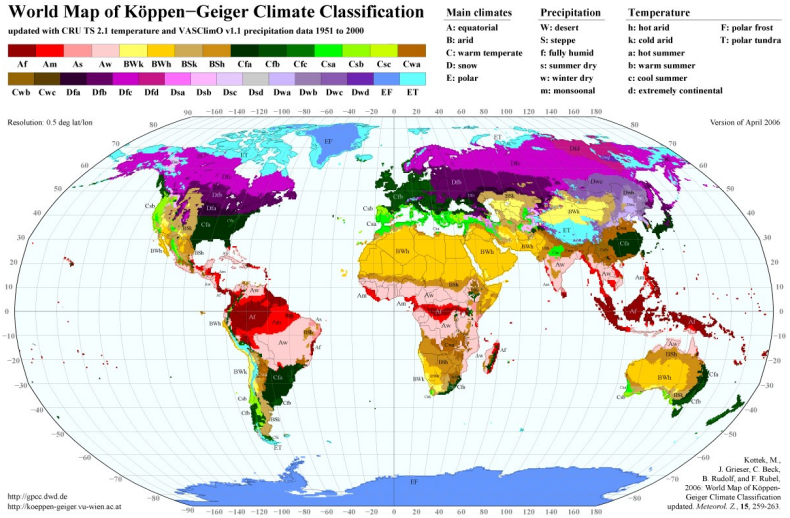
Obsah přednášky

1. Úvodní pojmy, analýza dat v Climate Explorer
2. Metody prostorové analýzy dat – Empirical Orthogonal Function
3. Metody analýzy časových řad na příkladu programu R
4. Analýza extrémních hodnot

- Přednášky doplněny praktickým cvičením, které lze zpracovat samostatně na základě dodaných instrukcí
- Ze cvičení se odevzdává stručný elaborát (přes IS)
- Na konci semestru písemný test plus vypracovaná cvičení
- V případě potřeby možno využít MS Teams či osobní konzultace (po předchozí dohodě)

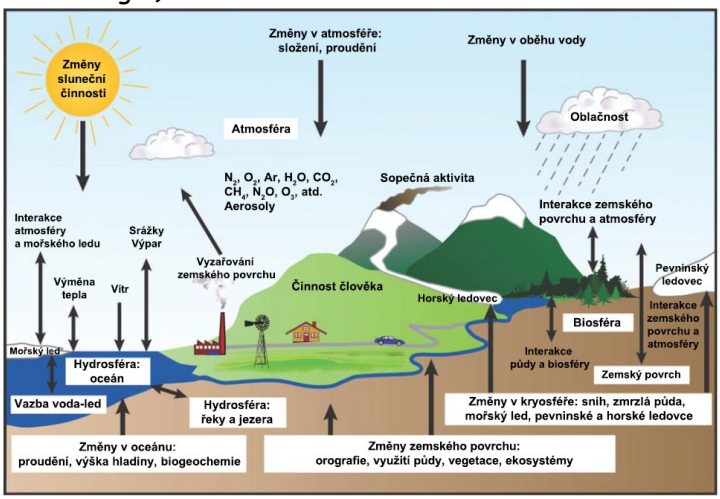
Klima a klimatologie (tradiční pohled)

- Klima = statistika počasí
- Data v klimatologii – „průměry" meteorologických měření a pozorování
- Metody v klimatologii – popisná statistika



Současná klimatologie

Vnitřně strukturovaná na sub-disciplíny, např. s ohledem na měřítko dějů, které v **klimatickém systému** studují (mikroklimatologie, …, regionální a globální klimatologie).



Základní součásti klimatického systému Země. Upraveno: Le Treut et al. (2007).

Současná klimatologie

Tradiční a nové sub-disciplíny klimatologie dostávají v současné globální změně nový rozměr:

- **Data assimilation, re-analysis**
  - https://epic.awi.de/id/eprint/25075/1/DA_overview.pdf
- **Atribuční analýza**
  - **World Weather Attribution – Exploring the contribution of climate change to extreme weather events**
  - https://www.worldweatherattribution.org/
- **Klima měst**
  - Urban Climate Change Research Network
  - https://uccrn.ei.columbia.edu/
- „**Open climate science**" - Climate-lab book
  - http://www.climate-lab-book.ac.uk/about/
- https://www.temperaturerecord.org/

Současná klimatologie

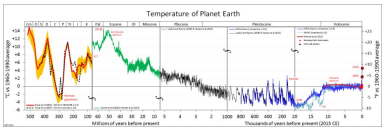
Pro současnou klimatologii je mj. typická:

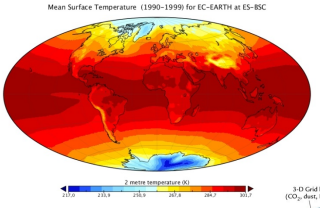
- Vysoká **komplexita** studovaných jevů v čase i v prostoru
- Jejich **stochastická** povaha (všechny jevy nemají jednoznačnou příčinu, existuje vnitřní variabilita klimatu)
- Využívá vlastní **metodologie** se silným statistickým základem
- Zabývá se definováním nejistot, o řadě jevů může dát pouze **pravděpodobnostní** výpověď
- Klimatologie **není experimentální věda** (nemá k dispozici „laboratoř"). V daném čase a místě má k dispozici právě jen jednu realizaci průběhu počasí.
- Roli „laboratoře" v klimatologii plní **numerické modely**

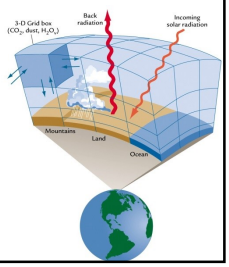
Současná klimatologie

Vytváří a analyzuje vlastní datové zdroje:

- paleoklimatologie
- družicová klimatologie
- modelování klimatu





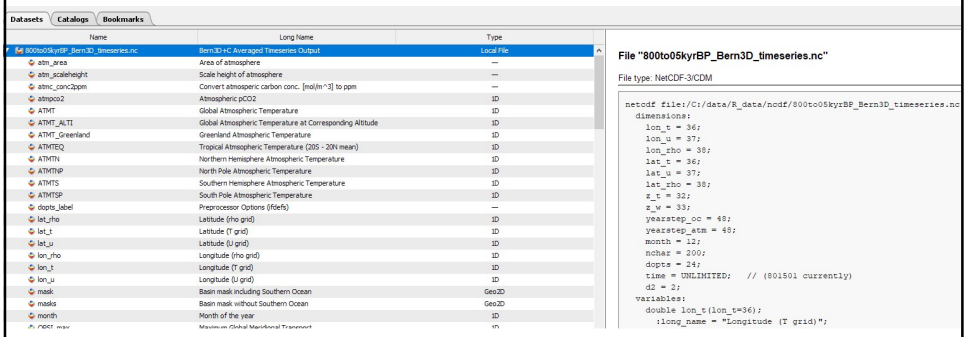


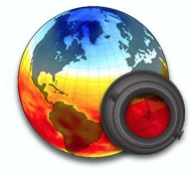
Datové zdroje v klimatologii

- Meteorologická měření a pozorování
  - staniční (bodová)
  - prostorová (ze systému DPZ, odvozená interpolací)
  - meteorologické prvky
  - klimatologické charakteristiky
  - indexy („climate indices", např. NAO Index)
- Proxy rekonstrukce včetně prostorových
- Modelové výstupy (globální, regionální, místní)
- Reanalýzy
- „Hindcasts"

Datové zdroje v klimatologii

Datové zdroje mají ve většině případů vícerozměrný charakter a využívají speciálních datových formátů (**NetCDF**)



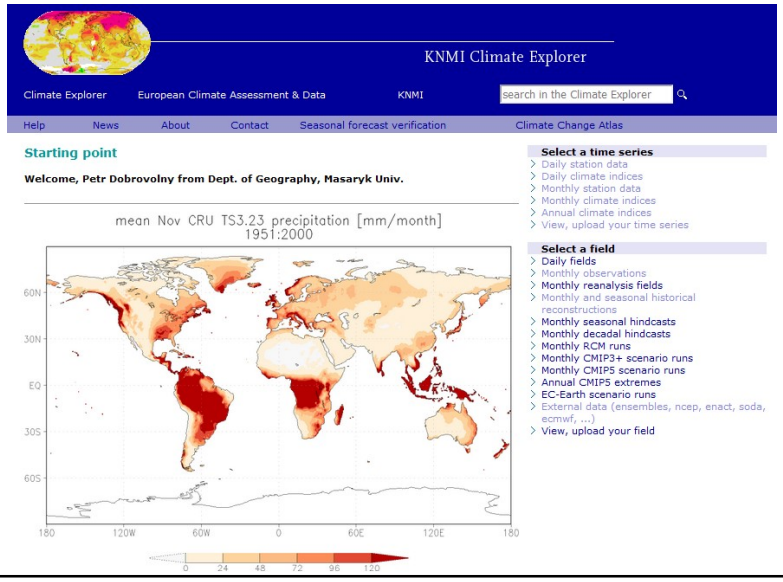


PANOPLY

http://www.giss.nasa.gov/tools/panoply/.

Zdroje dat – Climate Explorer

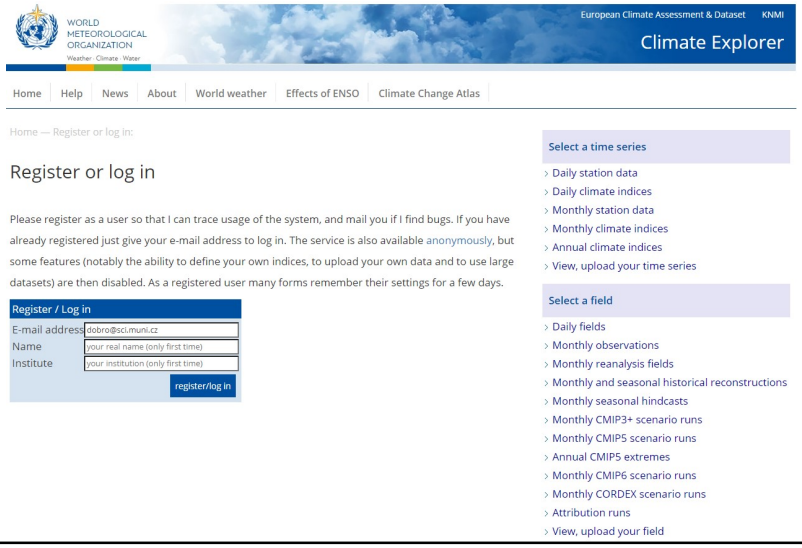
https://climexp.knmi.nl/



Climate Explorer

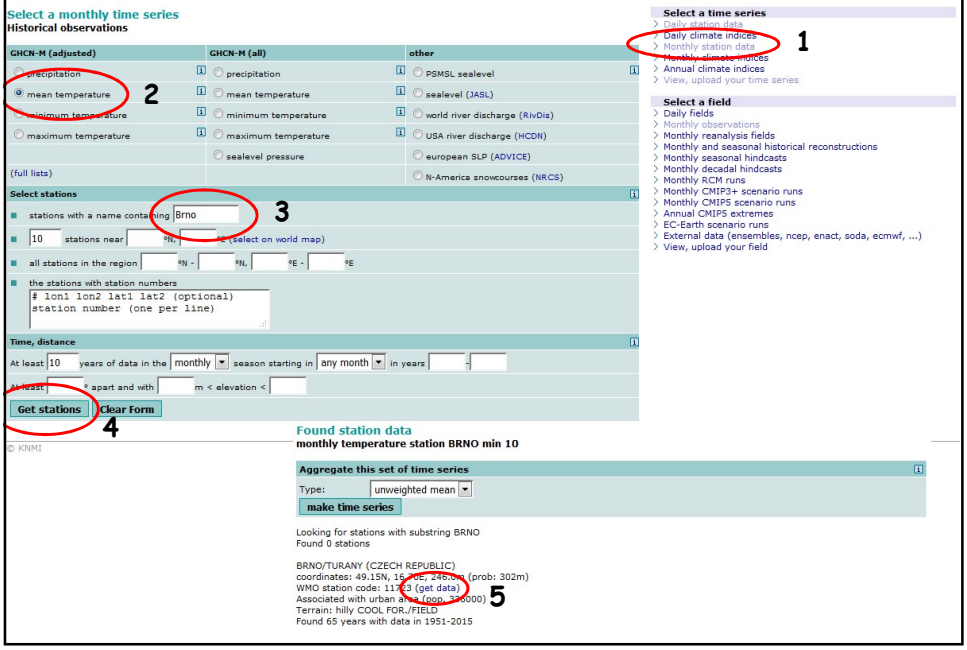
- rozhraní pro přístup k velkému množství dat
- nástroj pro analýzu klimatologických dat
- možnost analýz vlastních datových souborů

https://climexp.knmi.nl/registerform.cgi

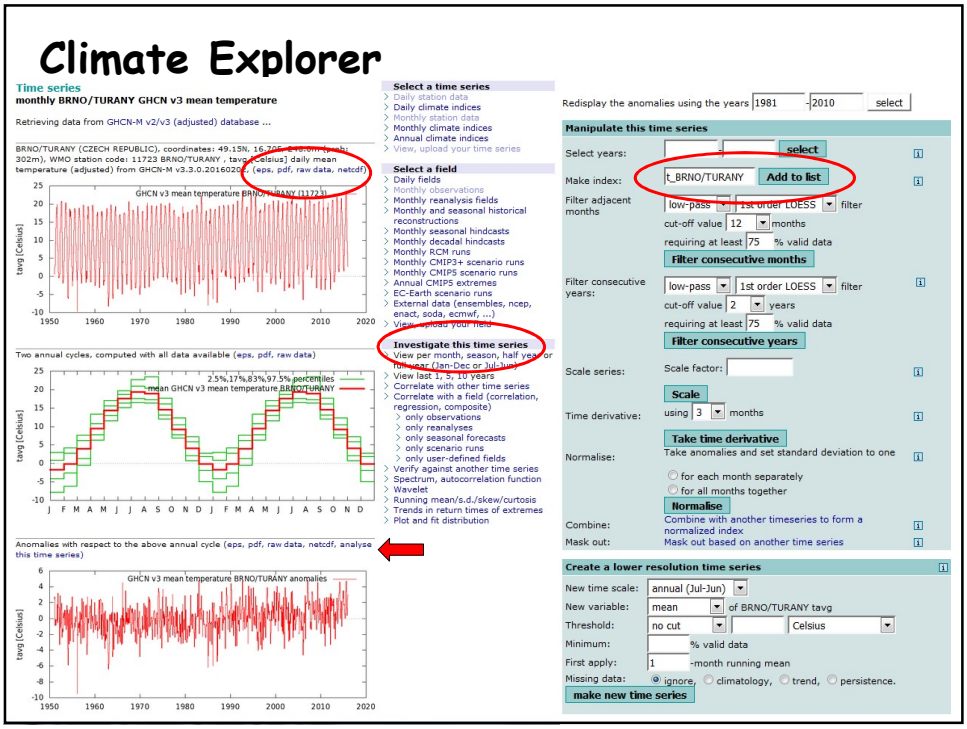


Climate Explorer

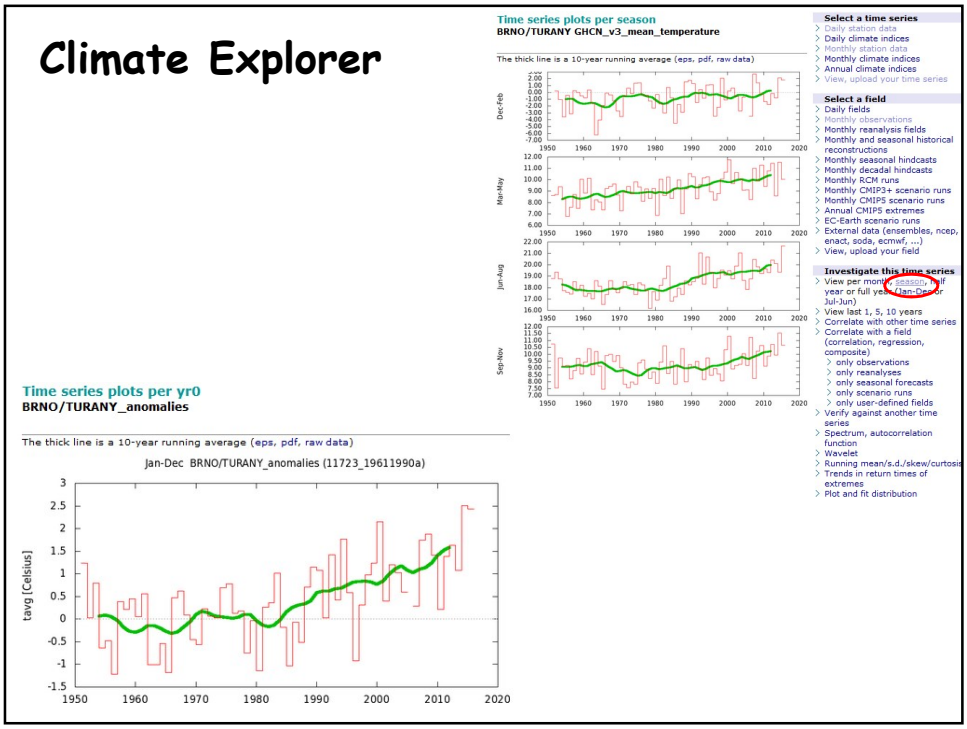
Výběr řady průměrných měsíčních teplot vzduchu z Brna, Tuřan



Climate Explorer



Climate Explorer



Climate Explorer

Existuje vztah mezi průměrnou zimní teplotou vzduchu v Brně, Tuřanech a NAO indexem?

Nejprve ověříme normalitu rozdělní teplotní řady

Make and fit a histogram
BRNO/TURANY GHCN_v3_mean_temperature (11723)

Plot

Type of plot: histogram with 20 bins; quantile-quantile plot; Gumbel plot; logarithmic plot; sqrt-logarithmic plot
Starting month: Dec
Season: averaging over 3 month(s)
Anomalies: subtract seasonal cycle
Years:
Only for: < series <
Apply: logarithm, sqrt, square, cube, power 2/3 to series BRNO/TURANY
Detrend: detrend everything
Filters: take year-on-year differences; subtract mean of previous years
Decorrelation scale: 0 months
Change sign: study the low extremes
Fit: nothing, Poisson, Gauss, Gamma, Gumbel, GEV, GPD, threshold 80 %; do not constrain shape
Return time: year or value
Plot range: X , Y
Confidence interval: 95 %
Compute

Select a time series
- Daily station data
- Daily climate indices
- Monthly station data
- Monthly climate indices
- Annual climate indices
- View, upload your time series

Select a field
- Daily fields
- Monthly observations
- Monthly reanalysis fields
- Monthly and seasonal historical reconstructions
- Monthly seasonal hindcasts
- Monthly decadal hindcasts
- Monthly RCM runs
- Monthly CMIP3+ scenario runs
- Monthly CMIP5 scenario runs
- Annual CMIP5 extremes
- EC-Earth scenario runs
- External data (ensembles, ncep, enact, soda, ecmwf, ...)
- View, upload your field

Investigate this time series
- View per month, season, half year or full year (Jan-Dec or Jul-Jun)
- View last 1, 5, 10 years
- Correlate with other time series
- Correlate with a field (correlation, regression, composite)
  - only observations
  - only reanalyses
  - only seasonal forecasts
  - only scenario runs
  - only user-defined fields
- Verify against another time series
- Spectrum, autocorrelation function
- Wavelet
- Running mean/s.d./skew/curtosis
- Trends in return times of extremes
- Plot and fit distribution

Climate Explorer

Existuje vztah mezi průměrnou zimní teplotou vzduchu v Brně, Tuřanech a NAO indexem?

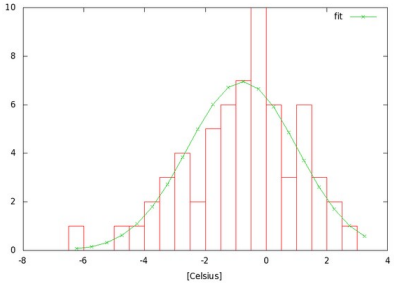
CHI² test a Q-Q graf

Histogram
monthly BRNO/TURANY

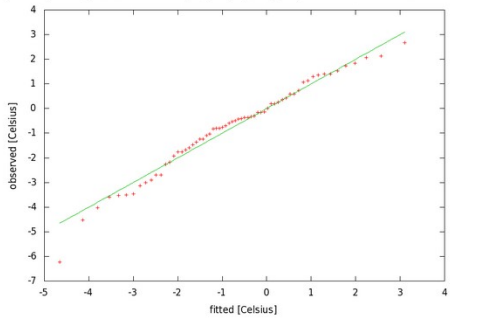
The error margins were computed with a bootstrap method that assumes all points are temporally independent. The error margins were computed with a bootstrap method that assumes all points are temporally independent.

Dec-Feb averaged BRNO/TURANY tavg [Celsius]		
parameter	**value±2σ**	**95% CI**
N:	63	
mean:	-0.779365 ± 0.432540	-1.25317 ... -0.388095
s.d.(n):	1.80183 ± 0.318639	1.44333 ... 2.08061
s.d.(n-1):	1.816	
skew:	-0.508161 ± 0.523663	-1.00220 ... 0.451246E-01
min:	-6.233	
max:	2.667	
χ^2/df	19. / 17 = 1.14	p=0.3049

Dec-Feb averaged ghcn_v3_mean_temperature BRNO/TURANY 1951:2014 (eps, pdf, raw data, plot script)



Quantile-quantile plot of Dec-Feb averaged ghcn_v3_mean_temperature BRNO/TURANY vs fit 1951:2014 (eps, pdf, raw data, plot script)



Climate Explorer

Existuje vztah mezi průměrnou zimní teplotou vzduchu v Brně, Tuřanech a NAO indexem?

Correlate with another time series
BRNO/TURANY GHCN_v3_mean_temperature

System-defined monthly timeseries

NINO3 NINO3.4 NINO4 SOI NAO CO2 GMST time

User-defined monthly timeseries

Options

Variable: correlation coefficient, regression
Starting month: Dec of timeseries
Season: averaging over 3 month(s) of the timeseries same month(s) of the index
Anomalies: subtract seasonal cycle
Lag: 0 months
(lag positive: GHCN_v3_mean_temperature BRNO/TURANY lagging index)
Years: –
Only for: < index selected above <
< GHCN_v3_mean_temperature BRNO/TURANY <
Apply: logarithm, sqrt to GHCN_v3_mean_temperature BRNO/TURANY
Output: rank correlation or contingency tables.
Detrend: detrend everything
Filters: take year-on-year differences
subtract mean of previous years no overlap
Running correlation: show/hide running correlation options
Fit: straight line, parabola, cubic, straight line + a
month time derivative, phase diagram, ...
Plot range: X : , Y :
Decorrelation scale: 0 months

Correlate

Select a time series
- Daily station data
- Daily climate indices
- Monthly station data
- Monthly climate indices
- Annual climate indices
- View, upload your time series

Select a field
- Daily fields
- Monthly observations
- Monthly reanalysis fields
- Monthly and seasonal historical reconstructions
- Monthly seasonal hindcasts
- Monthly decadal hindcasts
- Monthly RCM runs
- Monthly CMIP3+ scenario runs
- Monthly CMIP5 scenario runs
- Annual CMIP5 extremes
- EC-Earth scenario runs
- External data (ensembles, ncep, enact, soda, ecmwf, ...)
- View, upload your field

Investigate this time series
- View per month, season, half year or full year (Jan-Dec or Jul-Jun)
- View last 1, 5, 10 years
- Correlate with other time series
- Correlate with a field (correlation, regression, composite)
  - only observations
  - only reanalyses
  - only seasonal forecasts
  - only scenario runs
  - only user-defined fields
- Verify against another time series
- Spectrum, autocorrelation function
- Wavelet
- Running mean/s.d./skew/curtosis
- Trends in return times of extremes
- Plot and fit distribution

Climate Explorer

Existuje vztah mezi průměrnou zimní teplotou vzduchu v Brně, Tuřanech a NAO indexem?

Time series correlations
ghcn_v3_mean_temperature BRNO/TURANY with NAO

	months	lag	corr	p	no	95% CI
NAO	Dec-Feb		0.646	0.0000	63	0.52... 0.75

Fit of Dec-Feb averaged ghcn_v3_mean_temperature BRNO/TURANY (11723) vs Dec-Feb averaged NAO

fit a+b*x 'data/t1172319999.dump' using 1:2 via a,b

```
resultant parameter values
a               = -1.08027
b               = 0.852006
After 3 iterations the fit converged.
final sum of squares of residuals : 119.068
rel. change during last iteration : -8.6882e-11
degrees of freedom    (FIT_NDF)                        : 61
rms of residuals      (FIT_STDFIT) = sqrt(WSSR/ndf)    : 1.39712
variance of residuals (reduced chisquare) = WSSR/ndf   : 1.95194
Final set of parameters            Asymptotic Standard Error
a               = -1.08027         +/- 0.1818       (16.83%)
b               = 0.852006         +/- 0.1288       (15.11%)
correlation matrix of the fit parameters:
                a      b
a               1.000
b              -0.250  1.000
```

Tercile probabilities
These are the probabilities that you will get a value below normal (lowest 33%), normal or above normal (top 33%) of the distribution of BRNO/TURANY ghcn_v3_mean_temperature vs NAO 1951:2014, given a certain value of the index NAO. It makes the following three assumptions

1. There is a significant correlation
2. The width and shape of the distribution around the best fit is independent of the index. For a rainfall distribution this is often not true, try selecting a sqrt or logarithm on the previous page
3. The distribution did not change over time

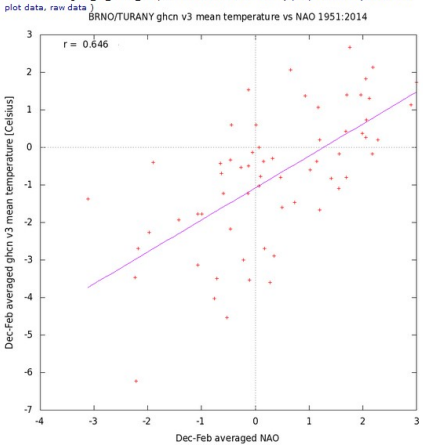
Therefore, use with care.

```
original percentiles
33.33       -1.30
66.67       -0.07
```

Subtract influence of NAO from BRNO/TURANY ghcn_v3_mean_temperature (11723)

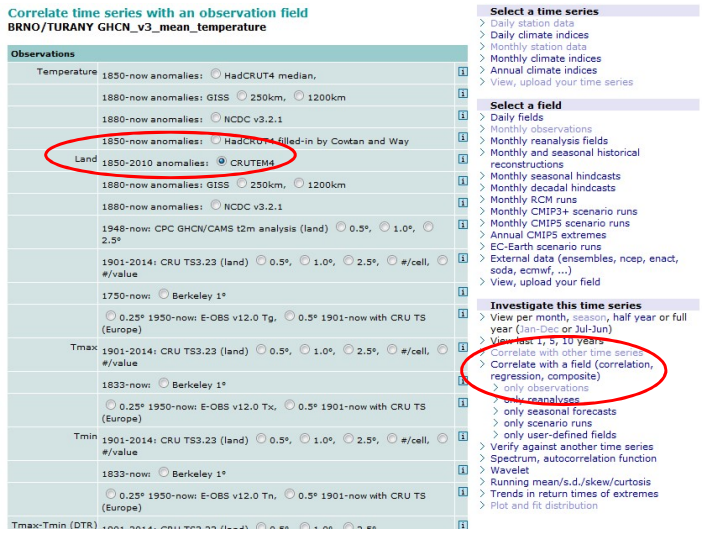
Make new series

BRNO/TURANY ghcn_v3_mean_temperature vs NAO 1951:2014 (eps, pdf, month.year format, plot data, raw data)



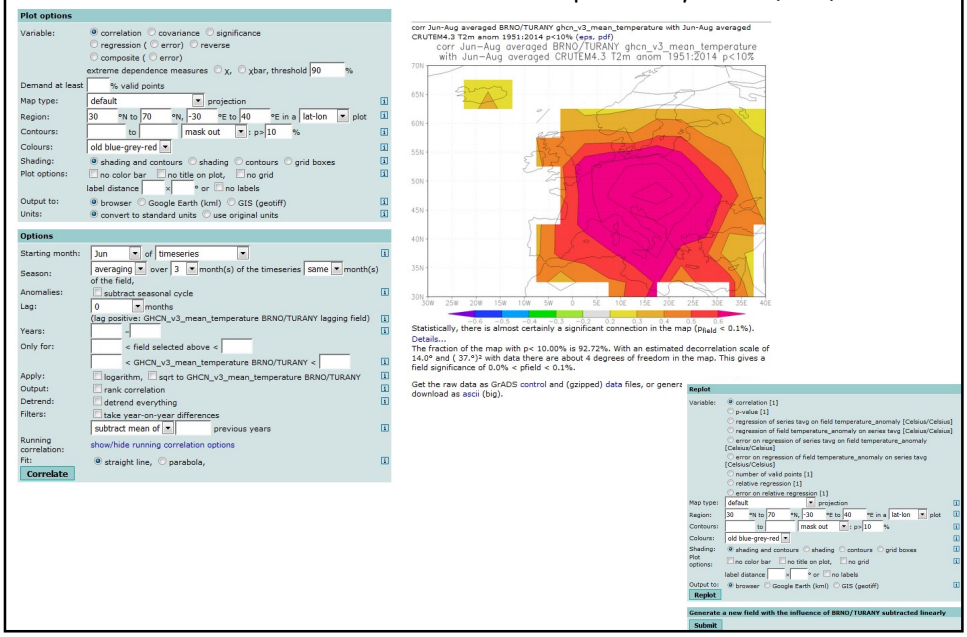
Climate Explorer

Jaká je prostorová reprezentativnost brněnské teplotní řady?

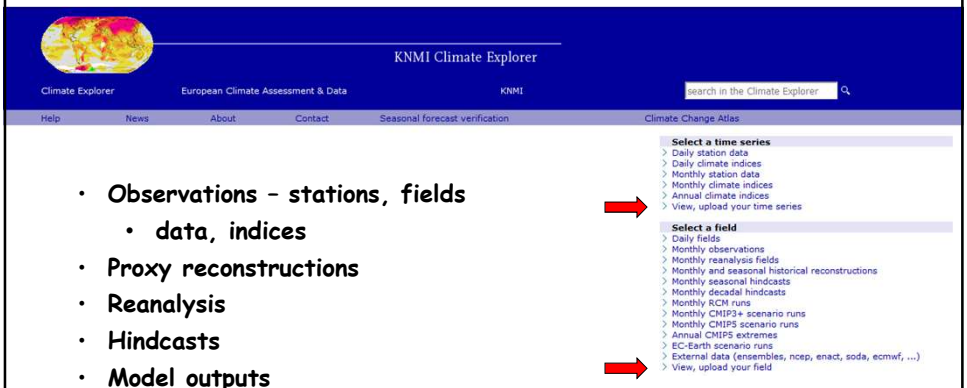


Climate Explorer

Jaká je prostorová reprezentativnost brněnské teplotní řady v létě (JJA)?

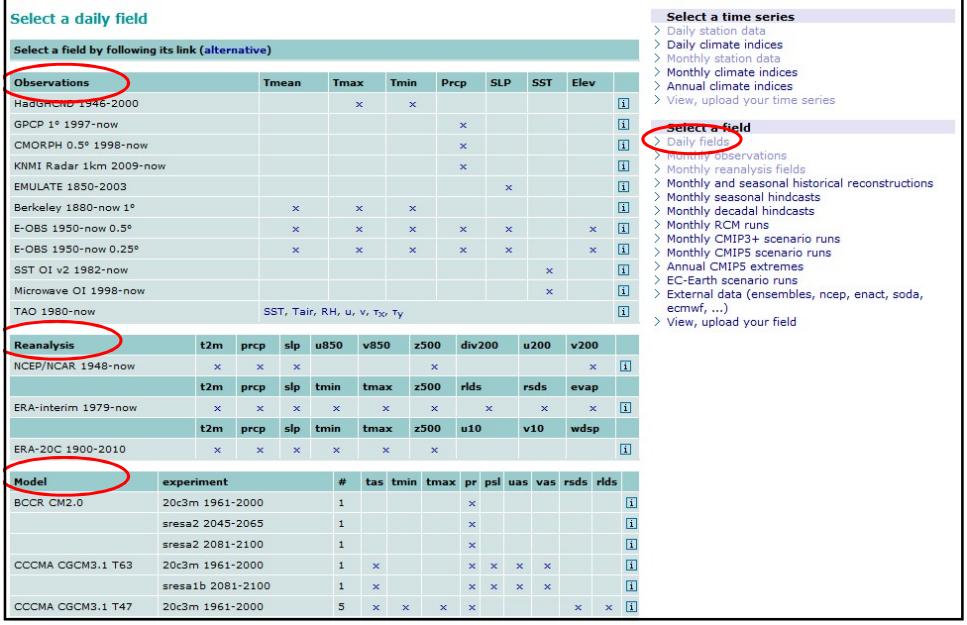


Climate Explorer – datové zdroje



- Observations – stations, fields
  - data, indices
- Proxy reconstructions
- Reanalysis
- Hindcasts
- Model outputs
  - RCM
  - CMIP5

Climate Explorer – datové zdroje

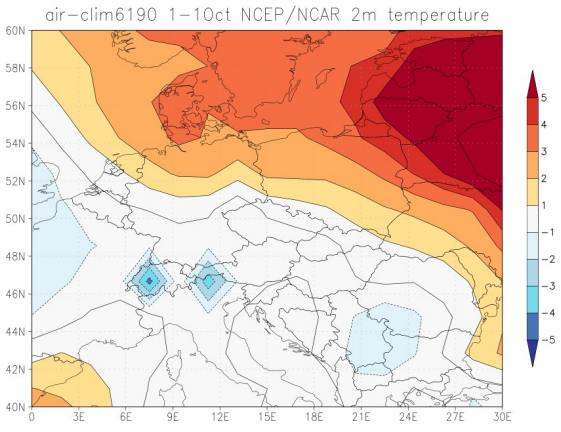


Datové zdroje - reanalýzy

- **Reanalýza** je objektivní analýza meteorologických dat aplikovaná zpětně na data a je označována také jako metoda fyzikálně konzistentní („správné") interpolace.
- Propojuje meteorologická **měření** a pozorování (nerovnoměrně rozmístěná, méně četná do minulosti) s numerickým předpovědním **modelem**, který poskytuje „fyzikálně konzistentní" stav atmosféry.
- Propojení se realizuje statisticky (např. obdoba MNČ) s využitím tzv. metody tzv. **asimilace** (spojování/propojování) dat.
- Na rozdíl od předpovědí počasí, při které se předpovědní model neustále vyvíjí, je reanalýza prováděna jednotným přístupem – použité asimilační schéma se nevyvíjí (je tzv. „frozen"). To umožňuje využití reanalýz např. při studiu změn klimatu.
- Výstupy z reanalýz mohou obsahovat i takové veličiny, pro něž nejsou za dané období k dispozici měření.
- Současné reanalýzy pokrývají celou Zemi trojrozměrně (v několika hladinách), obvykle s krokem 6 hodin
- Z časového hlediska jsou některé k dispozici pro celé 20. století, vyvíjejí se i v paleoklimatologii

Datové zdroje - reanalýzy

- Climate Explorer poskytuje jednoduché rozhraní umožňující přístup k reanalýzám v denním či měsíčním rozlišení
- Dále umožňuje jejich vizualizaci a základní zpracování



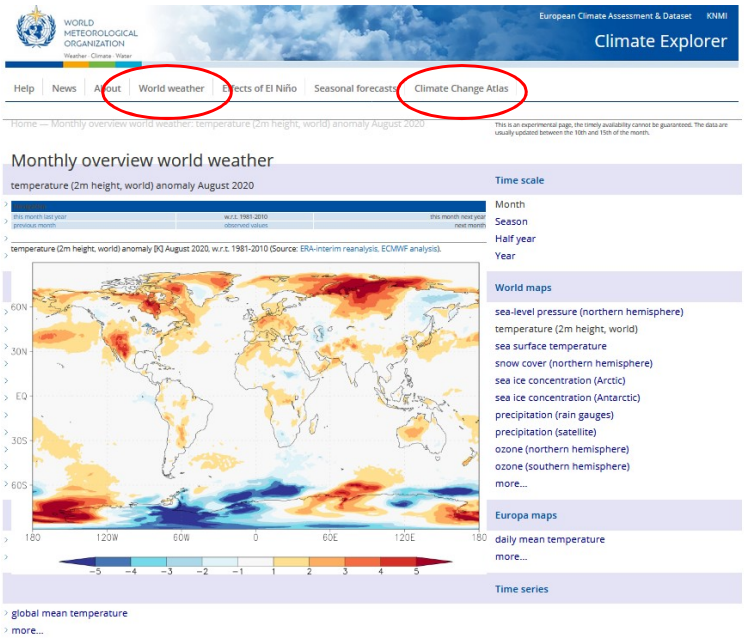
Názorné video

https://www.youtube.com/watch?v=FAGobvUGl24

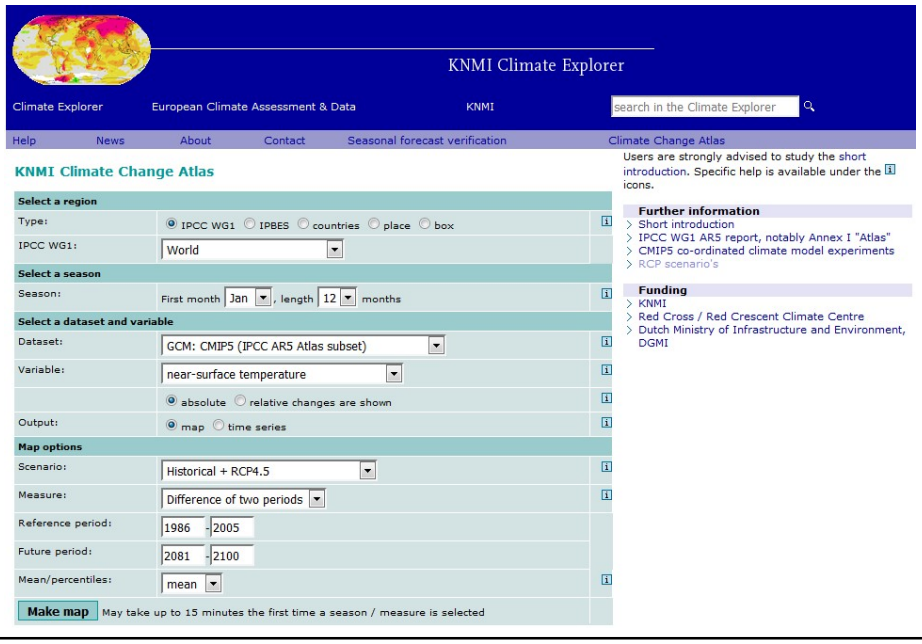
https://reanalyses.org/

https://www.ecmwf.int/en/research/climate-reanalysis

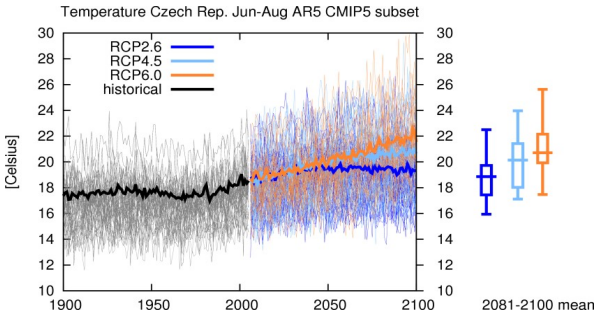
World Weather



Climate Change Atlas

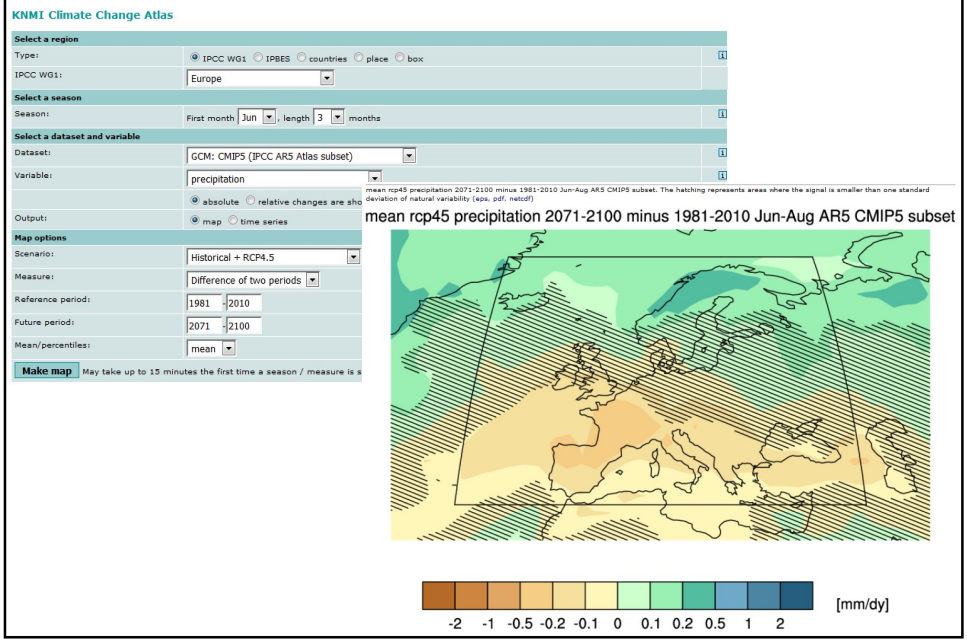


Climate Change Atlas



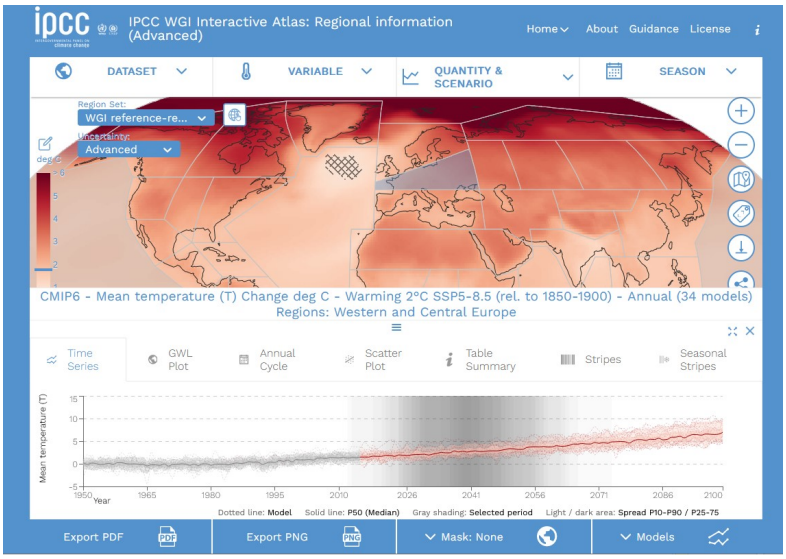
Temperature Czech Rep. Jun-Aug AR5 CMIP5 subset. On the left, for each scenario one line per model is shown plus the multi-model mean, on the right percentiles of the whole dataset: the box extends from 25% to 75%, the whiskers from 5% to 95% and the horizontal line denotes the median (50%).

Climate Change Atlas



IPCC WGI Interactive Atlas

https://interactive-atlas.ipcc.ch/

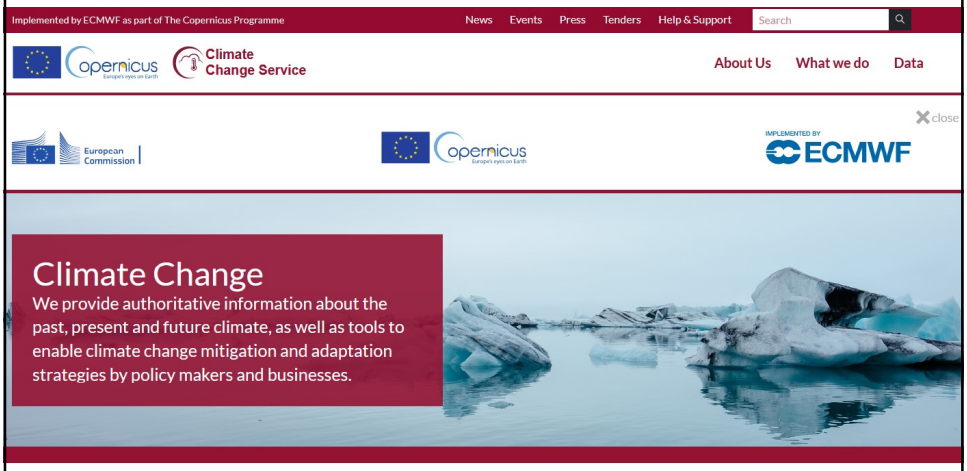


Další zdroje dat – vybrané příklady

European Climate Assessment & Dataset project http://www.ecad.eu/ (ECA&D)

Další zdroje dat

Copernicus Climate Change Service https://climate.copernicus.eu/

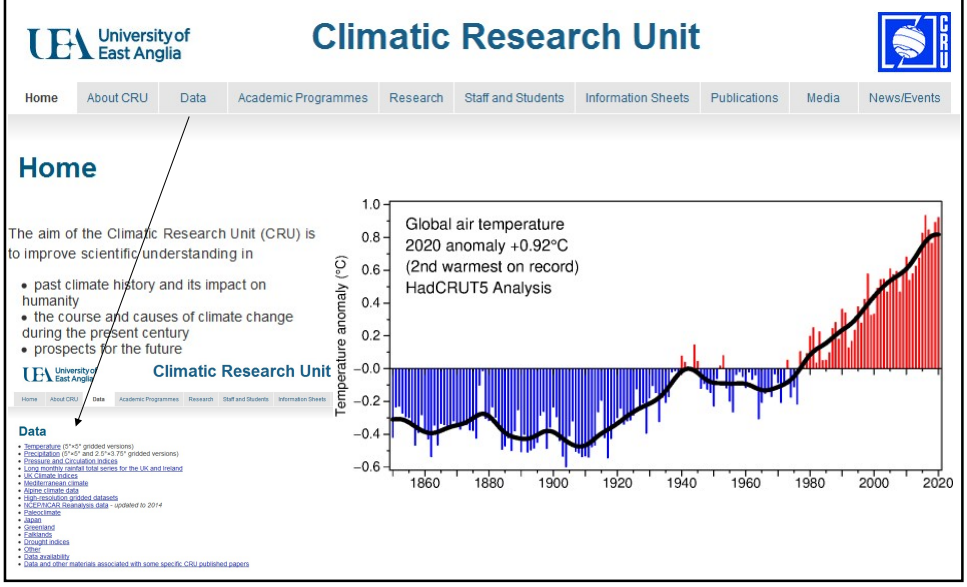


Další zdroje dat

Copernicus Climate Change Service https://climate.copernicus.eu/

Další zdroje dat

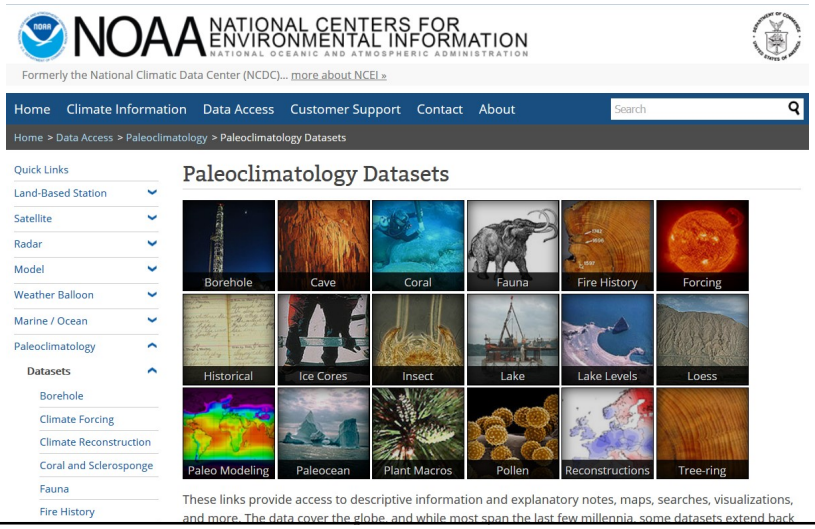
Climatic Research Unit (CRU) http://www.cru.uea.ac.uk/



Další zdroje dat

NOAA – National Centers for Environmental Information

https://www.ncdc.noaa.gov/



Další zdroje dat

WCRP Coupled Model Intercomparison Project
https://www.wcrp-climate.org/wgcm-cmip