

MARTÍNKOVÁ, M., 2023. Odstraňování systematických chyb výstupů z regionálních klimatických modelů: statistické transformace řad atmosférických srážek z modelu ALADIN v projektu PERUN. In: TOLASZ, R., POLCAROVÁ, E. (Eds.), 2023. Sborník příspěvků z První konference projektu PERUN (TA ČR, SS02030040). Praha: ČHMÚ, 53–58, ISBN 978-80-7653-063-8. <https://doi.org/10.59984/978-80-7653-063-8.07>

Odstraňování systematických chyb výstupů z regionálních klimatických modelů: statistické transformace řad atmosférických srážek z modelu ALADIN v projektu PERUN

(Bias correction of regional climate model outputs: statistical transformations of precipitation series from the climate model ALADIN in the project PERUN)

Marta Martínková, Ústav fyziky atmosféry AV ČR, v. v. i., marta@ufa.cas.cz

Abstrakt: Výstupy z regionálních klimatických modelů jsou zatíženy systematickými chybami. Z hlediska způsobu použití dat existují dva základní přístupy k řešení tohoto problému: přírůstková metoda (například Delta change method) získává z porovnání výstupů klimatického modelu pro kontrolní a budoucí období informaci o klimatickém signálu (faktor změny – change factor). Tato informace je pak následně použita k modifikaci pozorovaných časových řad ve stanicích. Metoda korekce systematických chyb získává informaci o systematických chybách výstupů z klimatického modelu porovnáním výstupů z modelu s pozorovanými časovými řadami. O tuto chybu jsou pak opraveny výstupy z klimatických modelů pro budoucí období. Tento příspěvek se zabývá možnostmi odstraňování systematických chyb výstupů modelu ALADIN (řídící globální model je CNRM-ESM2-1) v rámci projektu PERUN, konkrétně časovými řadami srážek v denním kroku pro scénář SSP5-8.5. Je porovnáván potenciál různých metod statistických transformací: metody založené na statistickém rozdělení, parametrické transformace a neparametrické metody (metoda empirických kvantilů).

Klíčová slova: úhrny srážek – scénář změny klimatu – korekce systematických chyb

Abstract: The outputs of regional climate models are biased. Regarding the bias correction of outputs from a climate model, the two fundamental approaches exist. First approach (e.g., Delta change method) gets the information on climate signal from comparison of the model control and future periods. Such information (change factor) is then applied to modify the observational data. Bias correction method gets the information on model bias from comparison of observational data and model outputs for the control period. The model outputs for future period are then corrected using this information on the model bias. This contribution is focused on the possibilities for bias correction of the model ALADIN (CNRM-ESM2-1) in the project PERUN and the precipitation series in daily time step for SSP5-8.5 scenario. Different statistical transformations are compared: methods based on statistical distribution, parametric transformations and non-parametric transformations (empirical quantiles method).

Keywords: precipitation – climate change scenario – bias correction

1. Úvod

Je zřejmé, že výstupy z klimatických modelů jsou zatíženy chybami různého původu. Tato skutečnost byla podrobně popsána v odborné literatuře a existuje mnoho různých ověřených metod, jak tuto chybovost snížit. Využití konkrétní metody se řídí hlavně účinností metody

a dále mj. typem dopadové studie pro kterou se mají využít výstupy klimatického modelu. Např. aplikaci metod vhodných ke korekci výstupů z klimatických modelů v denním kroku pro hydrologické dopadové studie zkoumá Sunyer et al. 2015.

Podle použitých prediktorů je možné rozlišovat tři základní přístupy k odstraňování systematických chyb výstupů klimatických modelů (např. Maraun et al., 2010): tzv. perfect prognosis, přístupy založené na statistických vlastnostech výstupů modelu a generátory počasí. Přístupy založené na statistických vlastnostech výstupů modelu můžeme dále dělit podle způsobu jakým je získána a aplikovaná informace o signálu klimatické změny nebo o rozdílu mezi výstupy z klimatického modelu a pozorovanými daty.

Z hlediska způsobu použití dat můžeme tedy u metod založených na statistických vlastnostech výstupů modelu rozlišovat dva základní přístupy:

- Přírůstková metoda (např. Delta change method) získává z porovnání výstupů klimatického modelu pro kontrolní a budoucí období informaci o klimatickém signálu (faktor změny – change factor). Tato informace je pak následně použita k modifikaci pozorovaných časových řad ve stanicích. Přírůstková metoda je založená na předpokladu, že klimatický model reprezentuje lépe změnu mezi kontrolním a budoucím obdobím než absolutní hodnoty meteorologických proměnných a zachovává časovou strukturu pozorovaných řad.
- Metoda korekce systematických chyb získává informaci o systematických chybách výstupů z klimatického modelu porovnáním výstupů z modelu s pozorovanými časovými řadami. O tuto chybu jsou pak opraveny výstupy z klimatických modelů pro budoucí období. Metoda korekce systematických chyb zachovává časovou strukturu výstupů klimatického modelu.

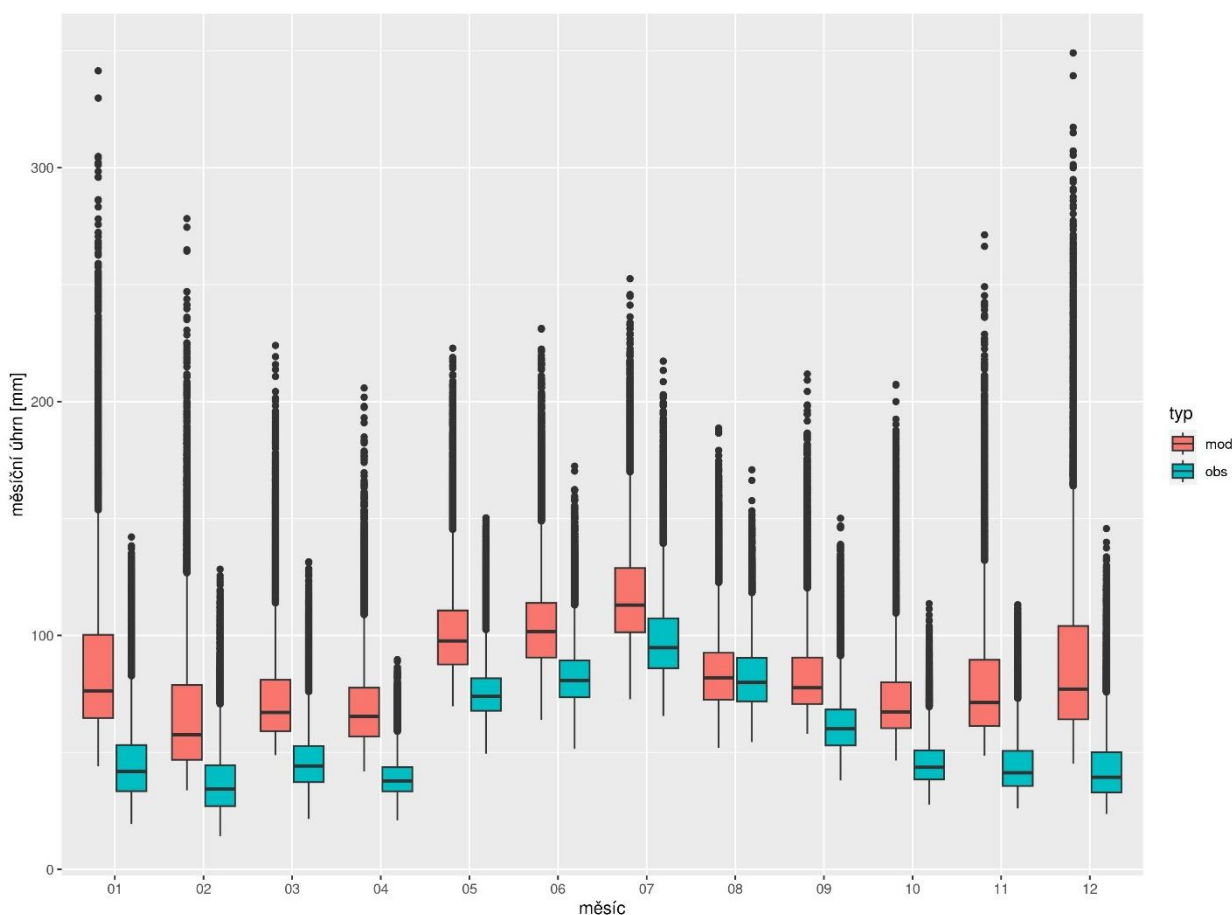
Je důležité zdůraznit, že oba tyto přístupy jsou založeny na předpokladu, že systematické chyby (bias) výstupů klimatického modelu jsou stejné pro kontrolní a budoucí období. Tento předpoklad nemusí být vždy splněn, např. studie Sunyer et al. (2014) ukázala, že systematické chyby srážek závisí na intenzitě srážek, a tudíž mohou být v budoucnu odlišné.

Tento příspěvek se zabývá možnostmi odstraňování systematických chyb výstupů klimatických modelů. Popisuje různé metody statistických transformací výstupů modelu a jejich výhody i omezení. Vybrané přístupy jsou pak aplikovány na výstupy modelu ALADIN (řídící globální model je CNRM-ESM2-1) v rámci projektu PERUN, konkrétně na časové řady srážek v denním kroku pro scénář SSP5-8.5. Účinnost vybraných metod, které jsou pracují se statistickými vlastnostmi výstupů modelu, konkrétně metody založené na statistickém rozdělení, parametrické transformace a neparametrické metody (metoda empirických kvantilů), je pak ilustrována na příkladu měsíčních úhrnů srážek.

2. Data

Použitými daty jsou výstupy denních úhrnů srážek z modelu ALADIN (řídící globální model je CNRM-ESM2-1). Tato data jsou porovnávána s pozorovanými staničními daty denních úhrnů srážek, která byla zgridována do stejné sítě jako je síť modelu ALADIN. Metody jsou testovány pro kontrolní období modelu a pozorovaná data pro roky 1995–2014.

Na obr. 1 jsou uvedeny krabicové grafy průměrných měsíčních srážkových úhrnů pro pozorovaná data a výstupy z modelu ALADIN. Výrazné rozdíly v poloze i variabilitě mezi výstupy modelu a pozorovanými daty jsou vidět pro všechny měsíce s výjimkou měsíce srpna, kde je sice vidět vyšší poloha i variabilita jako u ostatních měsíců, ale rozdíl mezi pozorováními a výstupem modelu je relativně menší než po zbytek roku.



Obr. 1 Porovnání průměrných měsíčních úhrnů srážek pro pozorovaná data (obs) a výstupu z modelu (mod).

Fig. 1 The comparison of the average monthly precipitation for observations (obs) and model outputs (mod).

3. Metody

Jak již bylo řečeno, tento příspěvek je zaměřen na metody založené na statistických vlastnostech výstupů modelu, konkrétně metody korekce systematických chyb klimatických modelů, které získávají informaci o rozdílu mezi pozorovanými daty a výstupu z modelu a o tuto informaci pak upraví výstupy z klimatického modelu pro budoucí období. Účinnost metod je pak testována na datech pro kontrolní období klimatického modelu. Pro všechny výpočty bylo použito prostředí R (R Core Team 2021) a balík qmap (Gudmundsson 2016).

Cílem metod založených na statistických vlastnostech výstupů modelu (statistické transformace) je identifikovat funkci, která modifikuje modelovanou proměnou takovým způsobem, že nové statistické rozdělení modelované proměnné odpovídá statistickému rozdělení pozorované proměnné.

V tomto příspěvku jsou testovány statistické transformace tří skupin: metody založené na statistickém rozdělení, parametrické transformace a neparametrické transformace.

3.1 Metody založené na statistickém rozdělení

Tyto metody používají teoretická rozdělení a předpokládají, že výstupy z modelu a pozorovaná data mají stejné statistické rozdělení. Obvykle se používá kombinace Bernoulliho a některého ze šikmých rozdělení používaných pro modelování množství srážek (např. gamma, Weibulovo nebo log-normální rozdělení). Tento příspěvek testuje kombinace Bernoulliho a Weibulova rozdělení a Bernoulliho s log-normálním rozdělením.

3.2 Parametrické transformace

Parametrické transformace pracují přímo s modelovanými a pozorovanými proměnnými. Tento příspěvek na transformace typu scale a linear (Gudmundsson et al. 2012).

3.3 Neparametrické transformace

Jejich hlavní výhodou je to, že mohou být aplikovány nezávisle na odhadu parametrů statistického rozdělení, díky čemuž ubývá jeden ze zdrojů nejistot. Konkrétně je zde testována metoda empirických kvantilů a dvě různé metody interpolace: lineární a monotonic tricubic spline interpolace.

4. Implementace testovaných metod

Na obr. 2 jsou uvedeny měsíční úhrny srážek pro pozorovaná data, výstupy z modelu a všechny testované metody. Je zjevné, že všechny testované metody přibližují výstupy modelu pozorovaným datům. Po většinu roku se výsledky pro jednotlivé metody příliš neliší, výjimkou je statistické rozdělení Bernoulliho a Weibullovo, které má nižší polohu než ostatní metody. Tento jev je vidět zvláště v letních a podzimních měsících.

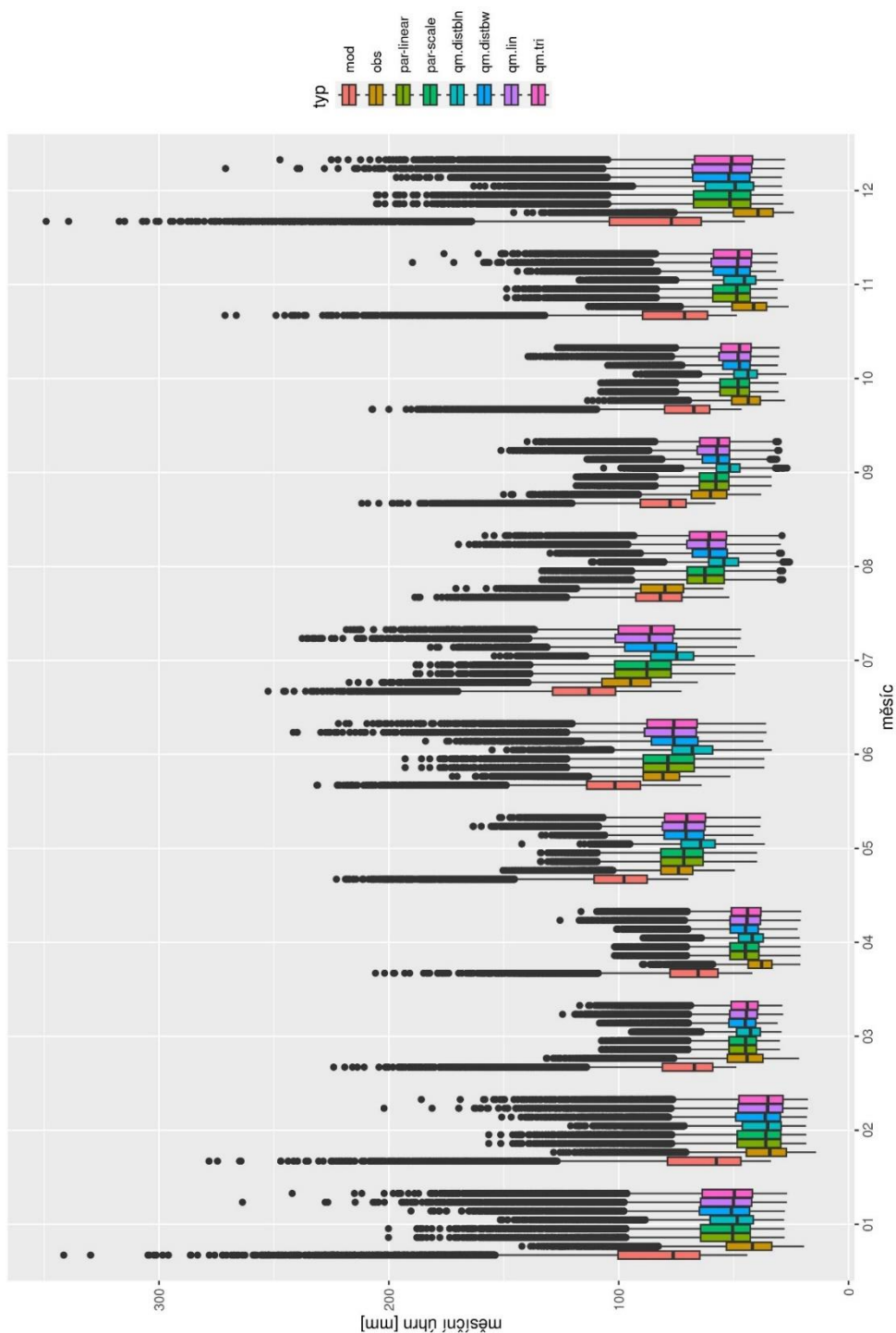
Zajímavý je rozdíl mezi metodami korekce na jedné straně a pozorovanými daty spolu s výstupy modelu na straně druhé v měsíci srpnu, kde dochází k tomu, že metody korekce oddalují výstupy modelu od pozorovaných dat. Možnou příčinou je skutečnost, že model ALADIN výborně modeluje v srpnu a relativně hůře v ostatních měsících, přičemž všechny testované metody nejsou fitovány pro každý měsíc zvlášť.

Úspěšnost testovaných metod vyplývá i z hodnot střední absolutní odchylky (mean absolute error, MAE) pro dvojice pozorovaná data – metoda pro denní data a zprůměrované přes všechny gridy. Hodnoty MAE pro jednotlivé dvojice typu dat jsou následující: pozorovaná data a výstupy modelu 3,66 mm, pozorovaná data a Bernoulli a lognormální rozdělení 2,91 mm, pozorovaná data a Bernoulli a Weibullovo rozdělení 3,08 mm, pozorovaná data a parametrická transformace typu linear 3,10 mm, pozorovaná data a parametrická transformace typu scale 3,10 mm, pozorovaná data a empirické kvantily s lineární interpolací 3,13 mm a pozorovaná data a empirické kvantily s monotonic tricubic spline interpolací 3,11 mm.

5. Závěr

Přístupy k odstraňování systematických chyb ve výstupech klimatických modelů se vzájemně velmi liší, co se týká předpokládaných vlastností hodnocených dat. Tento příspěvek se zaměřil na metody založené na statistických vlastnostech výstupů modelu (statistických transformací). Konkrétně na různé metody korekce systematických chyb výstupů z klimatického modelu. Důležitým předpokladem těchto metod je, že systematické chyby výstupů modelu jsou stejné pro kontrolní a budoucí období.

Konkrétně byly testovány metody založené na statistickém rozdělení (Bernoulliho a lognormální, Bernoulliho a Weibullovo), parametrické transformace (typu linear a scale) a metoda empirických kvantilů (s lineární nebo monotonic tricubic spline interpolací).



Obr. 2 Porovnání průměrných měsíčních úhrnů srážek pro pozorovaná data (obs), výstupu z modelu (mod) a testované metody: parametrická typu linear (par-linear), parametrická typu scale (par-scale), statistické rozdělení Bernoulliho a log-normální (qm.distbln) a Bernoulliho a Weibullovo (qm.distbw), empirické kvantily lineární interpolace (qm.lin) a monotonic tricubic spline interpolace (qm.tri).

Fig. 2 The comparison of the average monthly precipitation for observations (obs), model outputs (mod) and tested methods: parametric transformation linear (par-linear) and scale (par-scale), distribution Bernoulli and log-normal (qm.distbln) and Bernoulli and Weibull (qm.distbw), empirical quantiles linear interpolation (qm.lin) and monotonic tricubic spline interpolation (qm.tri).

Všechny zde testované metody přibližují výstupy z klimatického modelu ALADIN pozorovaným úhrnům srážek. Při výběru konkrétní metody odstraňování systematických chyb výstupů z klimatických modelů je ale vždy třeba přihlídnout ke specifikům dané dopadové studie a případně testovat různé přístupy, tak aby byla zvolena co nejúčinnější metoda.

Vzhledem k robustnosti a absenci konkrétních předpokladů o statistickém rozdělení dat se neparametrické transformace (zde metoda empirických kvantilů) jeví jako nejvíc univerzální a nejvhodnější metoda odstraňování systematických chyb výstupů z klimatických modelů.

Poděkování

Tento příspěvek vznikl s podporou TA ČR, projektu SS02030040 „Predikce, hodnocení a výzkum citlivosti vybraných systémů, vlivu sucha a změny klimatu v Česku (PERUN)“.

Literatura

GUDMUNDSSON, L., 2016. qmap: Statistical transformations for post-processing climate model output. R package version 1.0-4.

GUDMUNDSSON, L., BREMNES, J. B., HAUGEN, J. E., ENGEN-SKAUGEN, 2012. Technical Note: Downscaling RCM precipitation to the station scale using statistical transformations – a comparison of methods. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, **16**, 3383–3390. <https://doi.org/10.5194/hess-16-3383-2012>, 2012

GUTIÉRREZ, J. M., MARAUN, D., WIDMANN, M., HUTH, R., HERTIG, E., BENESTAD, R., RÖSSLER, O., WIBIG, J., WILCKE, R., KOTLARSKI, S. AND SAN MARTIN, D., 2019. An intercomparison of a large ensemble of statistical downscaling methods over Europe: Results from the VALUE perfect predictor cross-validation experiment. *International journal of climatology*, **39**(9), 3750–3785. <https://doi.org/10.1002/joc.5462>

MARAUN, D., WETTERHALL, F., IRESON, A. M., CHANDLER, R. E., KENDON, E. J., WIDMANN, M., BRIENEN, S., RUST, H. W., SAUTER, T., THEMEßL, M. AND VENEMA, V. K. C., 2010. Precipitation downscaling under climate change: Recent developments to bridge the gap between dynamical models and the end user. *Reviews of geophysics*, **48**(3).

R Core Team, 2021. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>

SUNYER, M. A., HUNDECHA, Y., LAWRENCE, D., MADSEN, H., WILLEMS, P., MARTINKOVA, M., VORMOOR, K., BÜRGER, G., HANEL, M., KRIAUCIŪNIENĖ, J., LOUKAS, A., OSUCH, M., YÜCEL, I., 2015. Inter-comparison of statistical downscaling methods for projection of extreme precipitation in Europe. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, **19**, 1827–1847. <https://doi.org/10.5194/hess-19-1827-2015>

SUNYER, M. A., MADSEN, H., ANG, P. H., 2012. A comparison of different regional climate models and statistical downscaling methods for extreme rainfall estimation under climate change. *Atmospheric Research*, **103**, 119–128.

SUNYER, M. A., MADSEN, H., ROSBJERG, D., ARNBJERG-NIELSEN, K., 2014. A Bayesian approach for uncertainty quantification of extreme precipitation projections including climate model interdependency and nonstationary bias. *Journal of Climate*, **27**(18), 7113–7132.