

Srážky podle PERUNa (Precipitation by PERUN)

Petr Zacharov, Ústav fyziky atmosféry AV ČR, v. v. i., petas@ufa.cas.cz
Radmila Brožková, Český hydrometeorologický ústav, radmila.brozkova@chmi.cz
Daniela Řezáčová, Ústav fyziky atmosféry AV ČR, v. v. i., rez@ufa.cas.cz

Abstrakt: Reanalýzy počasí jsou mocným nástrojem pro studium historického počasí jak v jednotlivých bodech, tak především v ploše. Detailní reanalýza, která vznikla v rámci projektu PERUN, tak umožňuje odhalit různé aspekty atmosféry v míře, kterou nejsme schopni měřením dosáhnout. Vzhledem k tomu, že se stále jedná o modelové přiblížení, je samozřejmě před jejím využitím odhalit systematické odchylky verifikací. Klimatické modelové běhy naopak mohou odhalovat vývoj atmosféry do budoucna. Vzhledem k tomu, že se tyto výpočty zatím nedají verifikovat, je potřeba validovat historický běh stejného modelu a odhalené systematické chyby odečíst od výhledu do budoucna. V rámci projektu PERUN byl spočten jak historický běh, tak i dva klimatické běhy až do roku 2100. V rámci této práce předkládáme základní verifikaci a validaci předpovědí srážek a vyhodnocení rozdělení srážek na stratiformní a konvektivní a navíc i na kapalné a tuhé srážky.

Klíčová slova: srážky – verifikace – validace

Abstract: Weather reanalyses are a powerful tool for studying historical weather both at individual points and especially over an area. The detailed reanalysis produced by the PERUN project thus makes it possible to reveal various aspects of the atmosphere to a degree that we are unable to achieve with measurements. Since it is still a model approximation, it is of course necessary to detect systematic biases by verification before its use. Climate model runs, on the other hand, can uncover the future evolution of the atmosphere. Since these calculations cannot yet be verified, it is necessary to validate a historical run of the same model and subtract the revealed systematic errors from the future projections. In the PERUN project, both the historical run and two climate runs up to 2100 have been calculated. In this work, we present a basic verification and validation of the precipitation forecasts and an evaluation of the separation of precipitation into stratiform and convective precipitation and, in addition, into liquid and solid precipitation.

Keywords: precipitation – verifikace – validation

1. Úvod

I přes výrazné úspěchy na poli vývoje numerických modelů předpovědi počasí představují srážky pro modely stále jednu z nejkomplikovanějších veličin. Modelová zjednodušení mikrofyzikálních procesů v oblačnosti ruku v ruce s nedokonalým měřením struktury oblačnosti znamenají velkou pravděpodobnost nepřesného výpočtu. Na druhou stranu srážky zajímají širokou veřejnost ať už ve formě předpovědi či plošného vyhodnocení spadlých srážek. Meteorologické radary v současnosti sice umí popsat plošné rozložení srážek na daném území, při obsáhlé analýze ovšem stále narážíme na časové a prostorové omezení

jejich měření. Detailní reanalýza srážek tak představuje mocný nástroj pro přehled o plošných srážkách v relativně dlouhém časovém období. Vzhledem k využití současných modelů předpovědi počasí je ale nutné vzniklé reanalýzy verifikovat dostupnými daty, abychom si vytvořili dobrou představu o slabinách dané reanalýzy, podcenění nebo přecenění srážek jak v čase, tak i v ploše.

V Českém hydrometeorologickém ústavu vznikla díky projektu PERUN reanalýza PERUN/Reanalysis, označovaná kódem ALADIN.aaa (dále A.aaa, viz tab. 1) a vzhledem k náročnosti výpočtu i druhá zjednodušená verze ALADIN.aab (dále A.aab, viz tab. 1). PERUN/Reanalysis využívá metodu Digital Filter blending výškových polí (Brožková et al. 2006) s evropskou reanalýzou ERA5 (Hersbach et al. 2020). Počáteční podmínky jsou určeny asimilací pozorování teploty a vlhkosti ve 2 m ze zpráv SYNOP. Teplota povrchu moře je převzata z ERA5. Zjednodušená verze A.aab je řízena pouze okrajovými podmínkami z ERA5.

Obě reanalýzy byly vytvořeny modelem ALADIN, který byl upraven pro klimatologické výpočty. Prostorové rozlišení modelu je přibližně 2,3x2,3 km na výpočetní doméně pokrývající téměř celou Evropu kromě Středomoří, Skandinávie a východní Evropy. Pro potřeby podrobné verifikace srážek jsme se zaměřili pouze na oblast České republiky. Obě reanalýzy jsou v současné době dostupné v období 1990–2019, reanalýza PERUN/Reanalysis se aktuálně doplňuje do roku 2022.

Tab. 1 Přehled použitých modelových běhů a v textu použitých kódů.

Tab. 1 Summary of model runs and codes used in the text.

Modelový běh	Kód	Dostupná data	Popis
ALADIN.aaa	A.aaa	1990–2021	Reanalýza řízená ERA5 s asimilací staničních měření
ALADIN.aab	A.aab	1990–2019	Reanalýza řízená ERA5
ALADIN.aaf	A.aaf	1980–2014	Historický klimatický běh
ALADIN.sad	A.sad	2015–2100	Klimatický běh v pesimistickém scénáři SSP5-8.5
ALADIN.sae	A.sae	2015–2100	Klimatický běh ve scénáři SSP2-4.5

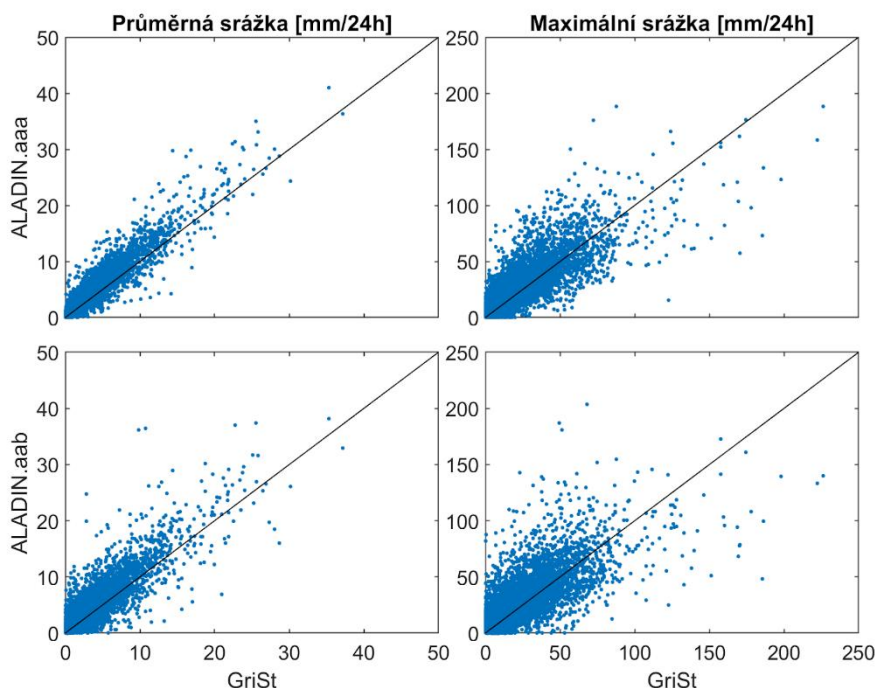
Vzhledem k probíhající klimatické změně poutá pozornost klimatologů celého světa hodnocení vývoje klimatu v příštích dekádách či století. Pokračováním historických reanalýz v projektu PERUN je pak klimatický běh modelu ALADIN do roku 2100. Pro potřeby validace byl vytvořen jednak historický klimatický běh označovaný jako ALADIN.aaf (dále A.aaf, viz tab. 1), do budoucna jsou zatím k dispozici dvě projekce označované jako ALADIN.sad a ALADIN.sae (dále A.sad a A.sae, viz tab. 1), které se od sebe liší vybraným emisním scénářem. Klimatické běhy modelu ALADIN jsou počítány ve stejném nastavení, jako reanalýzy, tedy s horizontálním rozlišením přibližně 2,3 km. Běhy jsou párovány s klimatickým modelem CNRM-ESM2-1, A.sad v pesimistickém scénáři SSP5-8.5 a A.sae v optimističtější scénáři SSP2-4.5.

2. Verifikace reanalýz srážek

Verifikace reanalýz srážek byla provedena proti gridovanému staničnímu měření (GriSt) pro 24h úhrny srážek. Vzhledem k pokrytí domény měření srážek byly vybrány pouze body pokrývající území České republiky. Pro verifikaci byly vybrány přehledné charakteristiky a to střední chyba, střední relativní chyba a korelace.

Při verifikaci reanalýzy A.aaa a A.aab byly zjištěny výborné korelace a to jak průměrných denních úhrnů (0,95 pro A.aaa a 0,90 pro A.aab), tak bodových maxim (0,90 pro A.aaa a 0,79

pro A.aab). To je patrné i na dobré shodě průměrných a maximálních denních úhrnů na obr. 1. Z obrázku je patrné přecenění průměrných srážek reanalýzou, maximální denní gridové úhrny jsou v průměru bez přecenění. Průměrná relativní střední chyba reanalýzy A.aaa je 32,5 % a reanalýzy A.aab je 34,7 %. I když průměrná střední chyba jednoznačně roste s nadmořskou výškou (obr. 2a), relativní střední chyba díky růstu srážkových úhrnů s nadmořskou výškou takový nárůst nevykazuje (obr. 2b).

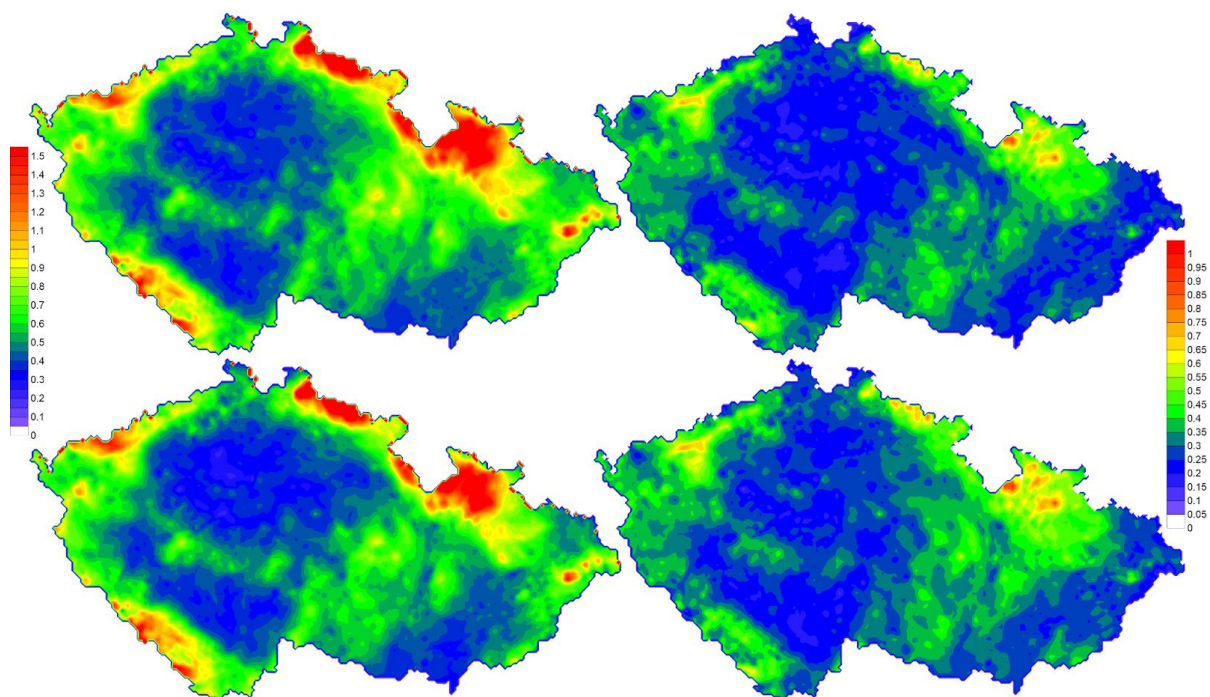


Obr. 1 Scatterplot průměrných (levý sloupec) a maximálních (pravý sloupec) denních úhrnů z reanalýzy A.aaa (horní řádka) a A.aab (dolní řádka) oproti hodnotám GriSt (vodorovná osa).

Fig. 1 Scatterplot of mean (left column) and maximum (right column) daily totals from A.aaa (top row) and A.aab (bottom row) reanalysis against GriSt values (horizontal axis).

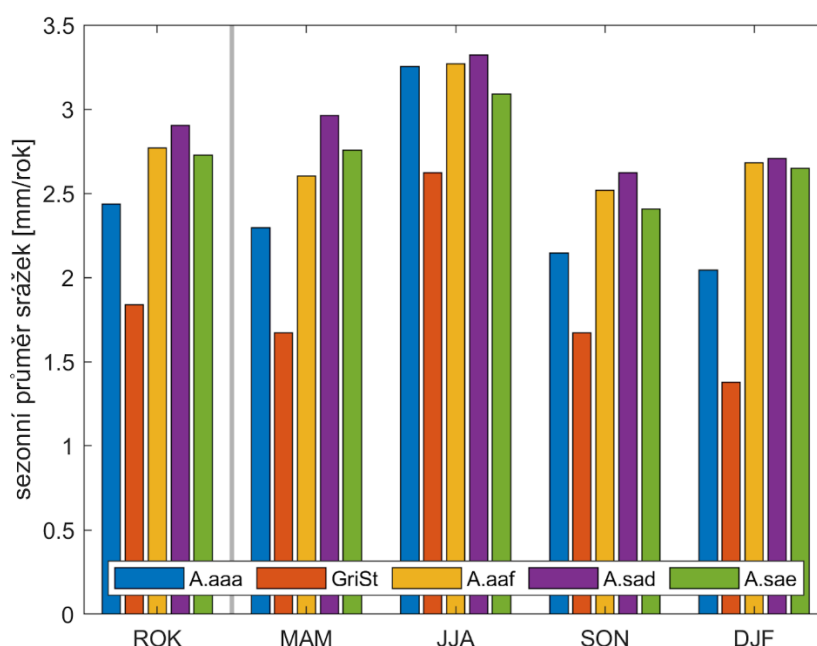
Historický klimatický běh A.aaf přeceňuje za porovnávané období 1990–2014 srážky o 50 %, klimatické běhy A.sad i A.sae počítají roční průměry za etapu 2015–2100 velmi podobně historickému běhu (obr. 3). V porovnání jednotlivých sezon vidíme vyšší přecenění všech modelů v zimě, což ale může být způsobeno problematickým měřením sněhu na stanicích a tedy poklesem v zimě měřených srážek oproti modelovým běhům. Klimatické běhy včetně historického běhu shodně ukazují oproti reanalýze relativní pokles srážek v letním období a naopak nárůst srážek v zimním období (obr. 3). Tento jev je tedy spíše systematickou odchylkou běhu řízeného globálním klimatickým modelem než změnou rozdělení srážek. Rozdělíme-li srážky do pětiletých období, vidíme, že oproti A.aaf předpovídá A.sad o něco vyšší a A.sae naopak zanedbatelně nižší průměrnou srážku. A.sad zároveň předpovídá průměrný nárůst srážek během let 2015–2100.

Výstupy reanalýz ALADIN umožňují rozdělit srážky na stratiformní a konvektivní a také na kapalné a tuhé srážky. Tuhé srážky představují v průměru 25 % všech srážek za celé studované třicetileté období, rozdělíme-li etapu na pětiletá období tak dostáváme nejvyšší podíl tuhých srážek v období 1995–1999 a to 29 %, od té doby podíl tuhých srážek postupně klesá (obr. 5). Ve výhledu do budoucna klesá významně podíl tuhých srážek pro oba studované běhy, výrazněji pro pesimistický A.sad, kde podíl tuhých srážek v poslední pentádě 2095–2099 dosahuje 8,7 %, A.sae počítá s podílem 19 %.



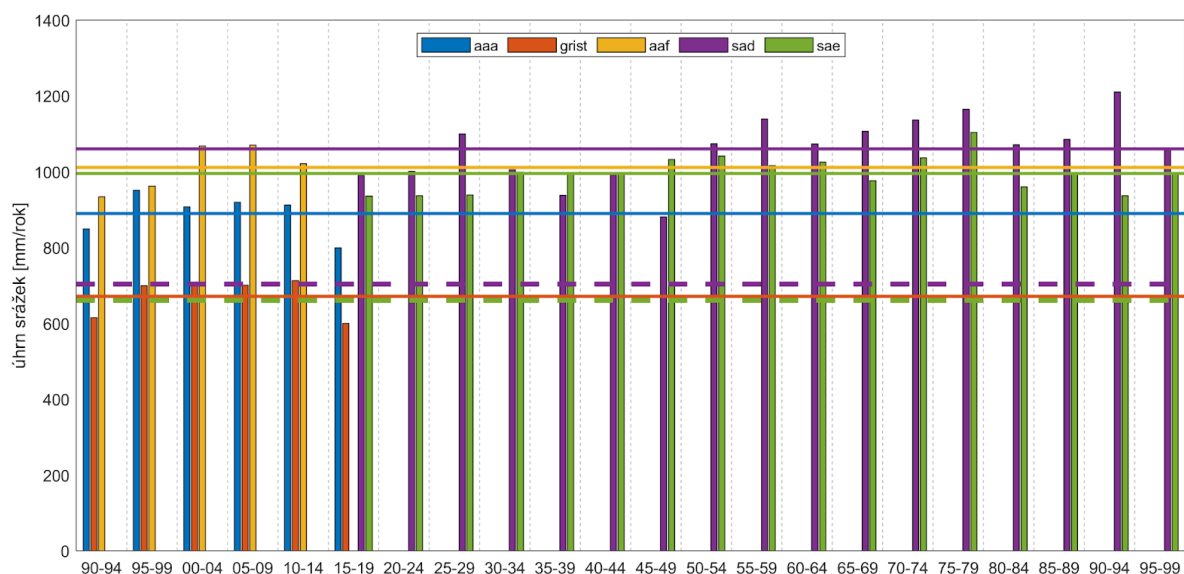
Obr. 2 a) vlevo střední chyby a b) vpravo střední relativní chyby pro reanalýzy A.aaa (horní řádek) a A.aab (dolní řádek). Barevné rozdělení chyb viz legendy [mm/24].

Fig. 2 (a) left - mean errors and (b) right - mean relative errors for reanalyses A.aaa (top row) and A.aab (bottom row). See legends [mm/24] for the color distribution of the errors.



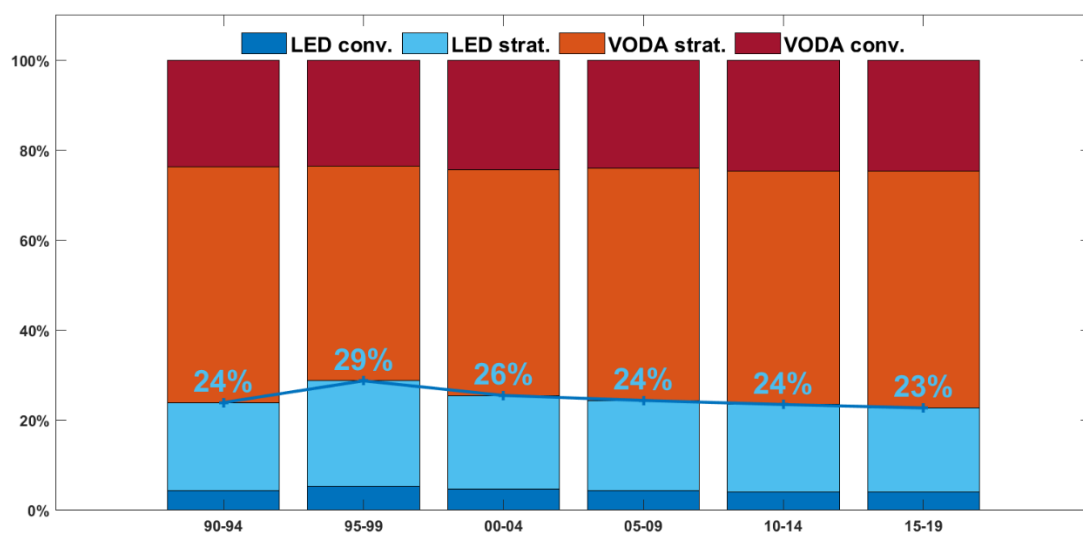
Obr. 3 Srovnání průměrných ročních (první sada sloupců) a průměrných sezónních srážek (druhá až pátá sada sloupců, viz legenda na vodorovné ose) pro reanalýzu A.aaa, historický běh A.aaf a klimatické běhy A.sad a A.sae (barevné odlišení viz legenda).

Fig. 3 Comparison of mean annual (first set of columns) and mean seasonal precipitation (second to fifth set of columns, see legend on horizontal axis) for the reanalysis of A.aaa, the historical run of A.aaf, and the climate runs of A.sad and A.sae (see legend for color differentiation).



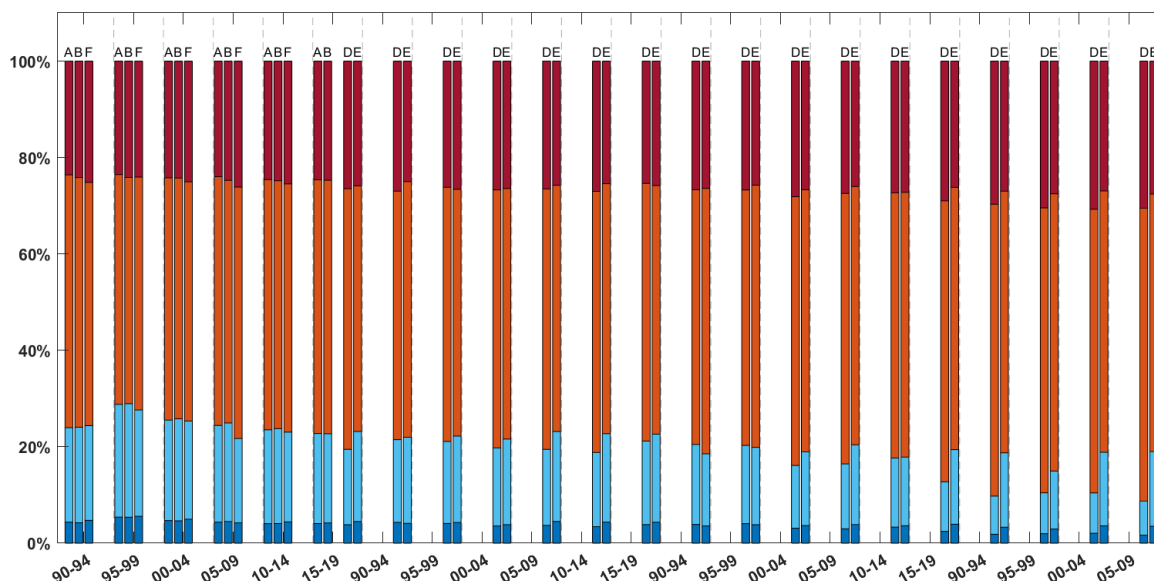
Obr. 4 Srovnání průměrných srážek za jednotlivé pentády od roku 1990 do 2009 (vodorovná osa) pro dostupná data reanalýzy A.aaa, gridovaného měření srážek GriSt, historického běhu A.aaf a klimatických běhů A.sad a A.sae (barevné odlišení viz legenda). Plné vodorovné čáry představují průměrnou roční srážku každého běhu i měření, přerušovaná čára představuje normování klimatických běhů podílem měřeného ročního úhrnu a průměru běhu A.aaf.

Fig. 4 Comparison of average precipitation for each pentad from 1990 to 2009 (horizontal axis) for the available data of the A.aaa reanalysis, the GriSt gridded precipitation measurements, the A.aaf historical run, and the A.sad and A.sae climate runs (see legend for colour differentiation). The solid horizontal lines represent the average annual precipitation of each run and measurement, the dashed line represents the normalization of the climate runs by the fraction of the measured annual precipitation and the average of the A.aaf run.



Obr. 5 Rozdělení srážek na kapalně nebo ledové a konvektivní nebo stratiformní (viz legenda) pro jednotlivé pentády reanalýzy A.aaa (výsledek pro A.aab je takřka identický).

Fig. 5 Separation of precipitation into liquid or ice and convective or stratiform (see legend) for each pentad of the A.aaa reanalysis (the result for A.aab is almost identical).



Obr. 6 Rozdělení srážek na kapalně nebo ledové a konvektivní nebo stratiformní (viz legenda) za jednotlivé pentády od roku 1990 do 2009 (vodorovná osa) pro dostupná data reanalýzy A.aaa (A) a A.aab (B), historického běhu A.aaf (F) a klimatických běhů A.sad (D) a A.sae (E).

Fig. 6 Separation of precipitation into liquid or ice and convective or stratiform (see legend) for each pentad from 1990 to 2009 (horizontal axis) for the available data of the reanalysis runs A.aaa (A) and A.aab (B), the historical run A.aaf (F) and the climate runs A.sad (D) and A.sae (E).

3. Závěr

Detailní reanalýza A.aaa, která vznikla v rámci projektu PERUN, sice přeceňuje srážky v průměru o 32,5 %, nicméně průměrné i maximální gridové denní úhrny jsou vysoce korelované a i v ploše srážky dobře odpovídají měřením. Nejvyššího přecenění dosahuje reanalýza v zimním období, což je ale pravděpodobně důsledkem problematického měření sněhových srážek. I přes výrazné zjednodušení výpočtu reanalýzy A.aab, kde chybí asimilace staničních měření, dosahuje reanalýza A.aab velmi obdobných výsledků, jako A.aaa, většinou s drobně vyšším rozptylem. Historický klimatický běh A.aaf přeceňuje srážky o 50 % a tento bias bude třeba zohlednit při použití klimatických předpovědí A.sad a A.sae. I přes projekce zatížené systematickou chybou lze konstatovat, že A.sad postupně zvyšuje do roku srážky na území ČR narozdíl od A.sae, který srážky nechává na úrovni srážek historického běhu A.aaf.

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

BROŽKOVÁ, R., DERKOVÁ, M., BELLUŠ, M., FARDA, A., 2006. Atmospheric forcing by ALADIN/MFSTEP and MFSTEP oriented tunings. *Ocean Sci.*, **2**, 113–121. <https://doi.org/10.5194/os-2-113-2006>

HERSBACH, H., BELL, B., BERRISFORD, P., et al., 2020. The ERA5 global reanalysis. *Q J R Meteorol Soc.*, **146**, 1999–2049. <https://doi.org/10.1002/qj.3803>