

NĚMEC, D., 2023. Vývoj schématu mikrofyziky v modelu ALADIN. In: TOLASZ, R., POLCAROVÁ, E. (Eds.), 2023. Sborník příspěvků z První konference projektu PERUN (TA ČR, SS02030040). Praha: ČHMÚ, 59–65, ISBN 978-80-7653-063-8.
<https://doi.org/10.59984/978-80-7653-063-8.08>

Vývoj schématu mikrofyziky v modelu ALADIN (Microphysics developments in the ALADIN model)

David Němec, Český hydrometeorologický ústav, david.nemec@chmi.cz

Abstrakt: Mikrofyzikální schéma je jedním ze základních fyzikálních parametrizací v klimatických modelech a je esenciální pro přesnou simulaci srážkových úhrnů. V nedávné době došlo v modelu ALADIN k úpravám tohoto schématu, zejména byly přidány prognostické krupky a změnil se výpočet evaporace srážek. Díky těmto úpravám se částečně redukuje systematická odchylka srážkových úhrnů a je lépe modelován srážkový stín.

Klíčová slova: předpověď počasí numerická – mikrofyzika oblaků a srážek – parametrizace

Abstract: The microphysics scheme is one of the fundamental physical parametrizations in climate models. The microphysics scheme is essential for precise precipitation forecasts. Recently, the microphysics scheme in the ALADIN model was enhanced; particularly, prognostic graupel was added and the computation of evaporation was changed. As a consequence, the bias of precipitation accumulations is partially reduced and the precipitation shadow is better simulated.

Keywords: numerical weather prediction – microphysics of clouds and precipitation – parameterization

1. Úvod

Schéma mikrofyziky oblaků a srážek je v klimatických modelech zodpovědné za tvorbu srážek v subgridovém měřítku. Silně tedy ovlivňuje jejich časové a prostorové rozložení. Proto je klíčové, aby srážkové úhrny generované schématem odpovídaly co nejlépe měřením při zachování co nejvyšší fyzikální realističnosti popisu mikrofyzikálních procesů. Kromě toho je také důležité, aby schéma dobře interagovalo s ostatními parametrizacemi, zejména schématem radiace a hluboké (srážkové) konvekce.

Pro dosažení lepších výsledků simulace srážek v modelu ALADIN, konkrétně v jeho kanonické modelové konfiguraci ALARO, bylo provedeno několik úprav jeho mikrofyzikálního schématu. Tyto změny mají jako jeden z cílů redukovat nadhodnocování srážkových úhrnů.

Schéma samotné a jeho úpravy jsou popsány v sekci 2, v sekci 3 jsou představeny experimenty a popsány metody validace. Sekce 4 pak diskutuje dosažené výsledky.

2. Mikrofyzikální schéma modelu ALADIN a jeho navrhované úpravy

Mikrofyzikální schéma modelu ALADIN nyní prognosticky simuluje pět hydrometeorů, konkrétně oblačnou vodu, oblačný led, dešťové kapky, sněhové vločky a sněhové krupky. Sněhové krupky byly do schématu přidány v nedávné době a v první sadě klimatických projekcí projektu PERUN nebyly užity.

Množství oblačné vody a oblačného ledu vstupujícího do mikrofyziky je určeno kombinací kondenzátů z termodynamického přizpůsobení a ze schématu hluboké konvekce. Rozdělení mezi oblačnou vodu a oblačný led je diagnostikováno pomocí analytické funkce (Gerard 2007).

Nad sumou kondenzátů z termodynamického přizpůsobení a ze schématu hluboké konvekce se provede společný výpočet mikrofyziky srážek. Zdrojovým členem deště je autokonverze z oblačných kapek a tání sněhu, případně tání sněhových krup, jsou-li prognostické. Sníh je tvořen autokonverzí z oblačného ledu. Pokud jsou sněhové krupky ošetřeny prognosticky, pak je jejich prvním zdrojovým členem Wegener–Bergeron–Findeisenův (WBF) proces, který je v rámci schématu reprezentován jako speciální typ autokonverze, a druhým mrznutí deště. Nejsou-li sněhové krupky prognostické, pak WBF proces vede k tvorbě sněhu a také dešť mrzne ve sníh.

Původní parametrizace sněhových krup uvažovala jejich mechanické vlastnosti, tedy pádovou rychlost, velikostní distribuci a sběrovou účinnost, shodné s deštěm. Naopak termodynamické vlastnosti, tedy tání a sublimace, byly shodné se sněhem. Tato idea je zde revidována. Sněhové krupky v přírodě nabývají mnoha tvarů a jejich hustota má velký rozptyl, což činí jejich parametrizaci obtížnější. Obvykle se proto v operativně používaných mikrofyzikálních schématech uvažuje určitá střední hodnota jejich hustoty a tvar sféry či sféře blízký tvar (Pinty a Jabouille 1998; Hong a Lim 2006; Thompson et al. 2008). Tvar koule s konstantní hustotou $\rho_g = 400 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ byl zvolen i v tomto případě.

Další úpravy se týkají velikostní distribuce sněhových krup. Pro dešť je použita velikostní distribuce, která uvažuje velmi malé částice v případě nízkých srážkových toků (Abel a Boutle 2012), což zlepšuje reprezentaci mrholení. Dle původního návrhu byl tento koncept převzat rovněž pro sněhové krupky. Zde však navrhuje užití standardní Marshall-Palmerovy distribuce s konstantním koeficientem. Dalším návrhem je volba nižší pádové rychlosti krup oproti dešti, podobně jako je uvažováno v jiných schématech (Pinty a Jabouille 1998; Hong a Lim 2006).

Poslední úpravy mikrofyzikálního schématu se týkají zvýšení prahové hodnoty množství oblačné vody pro autokonverzi do deště, která by dále měla redukovat srážkové úhrny zejména v případě slabých srážek z vrstevnatých oblaků. Také je dosaženo výraznějšího výparu při použití parametrizace výparu dle Lopeze (Lopez 2002) než při použití dosud užívaného schématu Kesslerova.

3. Popis experimentů a metody jejich validace

Pro validaci modifikací mikrofyzikálního schématu byl využit model ALADIN v operativní konfiguraci používaný v Českém hydrometeorologickém ústavu (Brožková et al. 2019). Jeho horizontální rozlišení činí 2,325 km v síti s 1080x864 body a 87 vertikálními hladinami. Časový krok je 90 s. Doba předpovědi modelu vždy činila 72 hodin, inicializace proběhla v 00 UTC.

Modelové konfigurace jsou označeny takto:

- ALAD: Konfigurace modelu ALADIN bez použití prognostických krup. Hodnota koeficientu úměrnosti rychlosti WBF procesu je 4,3krát vyšší než pro následující experimenty.
- GRAU: Originální verze s prognostickými krupkami, tedy ta, která uvažuje mechanické vlastnosti sněhových krup shodné s deštěm a termodynamické vlastnosti shodné se sněhem.
- OPRG: Verze s navrženými úpravami parametrizace prognostických krup (velikostní distribuce, pádová rychlost a kolekční účinnost).

- MPKA: OPRG s přidáním úpravami představenými v posledním odstavci sekce 2, tedy schématu evaporace a zvýšené prahové hodnoty oblačné vody pro autokonverzi do deště.

Pro testy byly použity 10 dnů dlouhá období mezi 21.–30. 6. 2021, 25. 11.–4. 12. 2021 a 21.–29. 6. 2022. Obě letní období se vyznačují výraznou konvektivní aktivitou s mnoha mezoměřitkovými konvektivními systémy i supercelami. Podzimní perioda je vybrána tak, aby se v modelové doméně vyskytovalo dostatečné množství srážek.

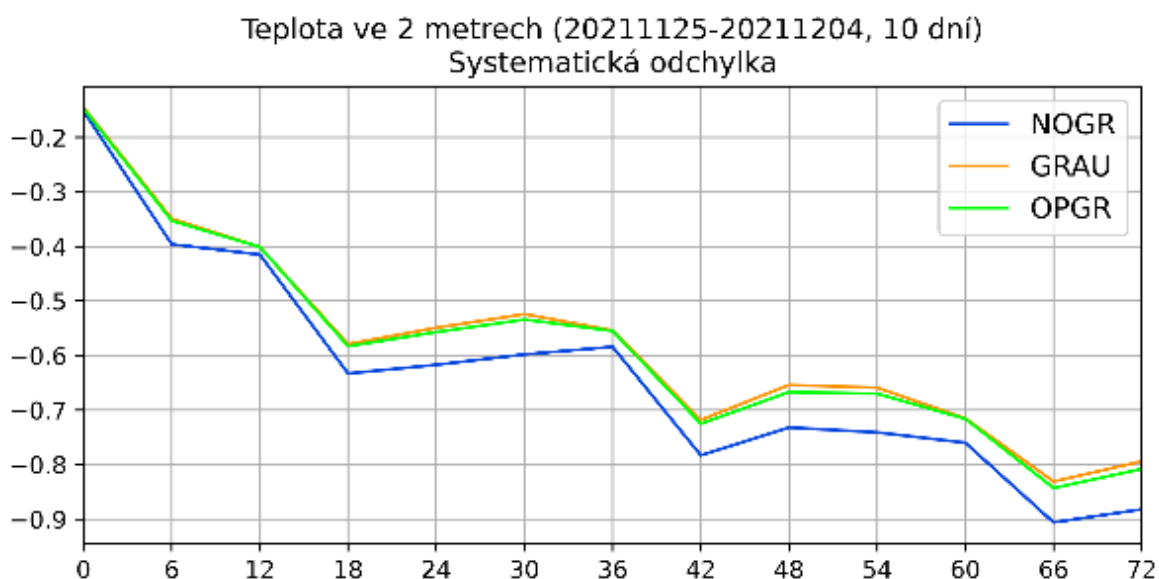
Pro validaci byla použita atmosférická skóre, která porovnávají základní meteorologické prvky předpovězené modelem s měřeními SYNOP a TEMP ve střední Evropě a jejím přilehlém okolí. Z nich byly spočítány systematická odchylka, odmocnina ze střední kvadratické chyby a standardní chyba (Janoušek a Mládek 2008).

Pro validaci srážek byla rovněž použita fraction skill score (FSS). FSS zkoumá překročení prahových hodnot srážkových úhrnů na okolí ohraničeném čtverci o definovaných stranách, čímž zabraňuje započítání jedné chyby předpovědi dvakrát, tzv. dvojité penalizaci (Roberts a Lean 2008). Pro validaci byl použit nástroj vyvinutý na Oddělení numerické předpovědi počasí Českého hydrometeorologického ústavu (Bučánek 2020) který porovnává srážková pole s produktem MERGE, který kombinuje data z radarů a srážkoměrů (Novák a Kyznarová 2016).

4. Validace úprav mikrofyzikálního schématu

4.1 Porovnání verzí s prognostickými sněhovými krupkami a bez nich

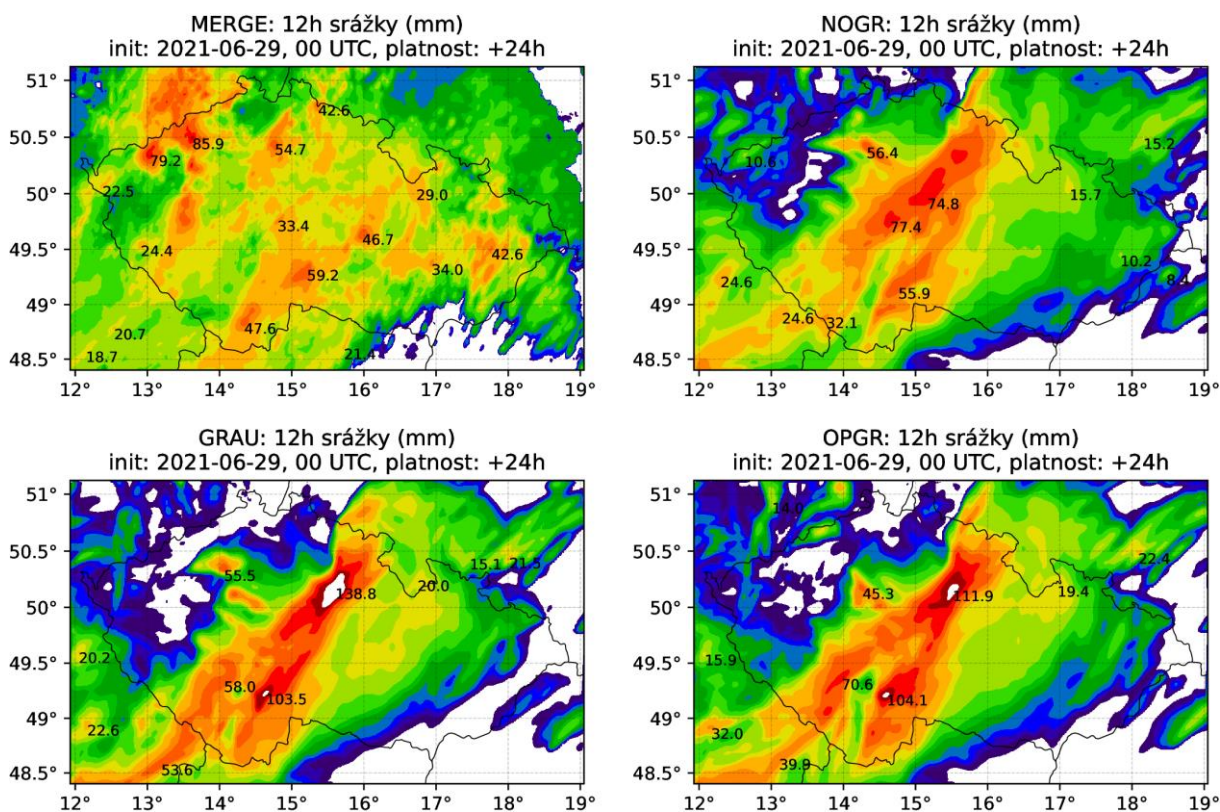
Porovnání konfigurací ALAD, GRAU a OPRG proběhlo pro periody 21. 6.–30. 6. 2021 a 25. 11.–4. 12. 2021, základní charakteristiky jsou podobné pro obě periody. Porovnání těchto konfigurací ukazuje, že při použití prognostických krupek dochází ke snižování systematické odchylky geopotenciálu redukovaného na hladinu moře pro zimní i letní periodu. Geopotenciál se zvyšuje nad přibližně 850 hPa, pod touto hranicí je snížen. Teplota je pak zvýšena pod 600 hPa v létě a 850 hPa v zimě a snížena nad touto hranicí. Oba projevy jsou pozitivní. Skóre dalších veličin jsou neutrální.



Obr. 1 Systematická odchylka teploty ve 2 metrech nad zemí pro 10denní periodu v chladné části roku pro experimenty NOGR, GRAU a OPRG.

Fig. 1 Systematic temperature deviation at 2 m above ground for a 10-day period in the cold part of the year for the NOGR, GRAU and OPRG experiments.

Konfigurace OPRG dosahuje podobných výsledků na atmosférických skóre jako GRAU, nicméně systematické odchylky teploty a geopotenciálu se v důsledku snížené pádové rychlosti lehce přibližují konfiguraci ALAD bez prognostických krupek (obr. 1). Tento efekt je výraznější v létě než v zimě. Efekt přidání prognostických krupek převyšuje vliv úprav jejich parametrizace.



Obr. 2 Srovnání 12hodinnových srážkových úhrnů experimentů NOGR, GRAU a OPRG v mezoměřtkovém konvektivním systému.

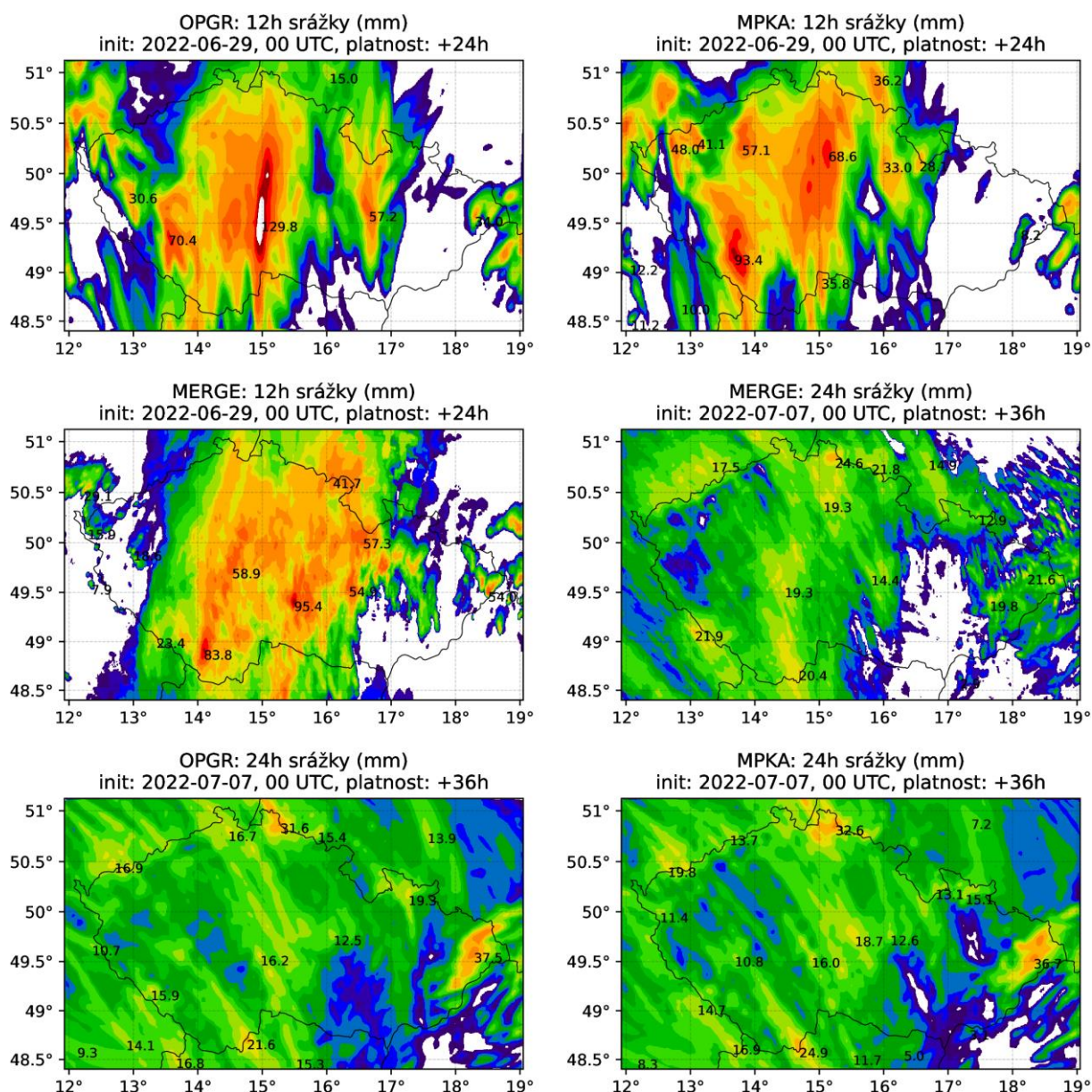
Fig. 2 Comparison of 12-hour rainfall totals of the NOGR, GRAU and OPRG experiments in a mesoscale convective system.

V poli srážek pak lze nalézt dvě charakteristiky při přechodu k prognostickým krupkám: zatímco celková systematická odchylka se obvykle výrazněji nemění, maxima srážkových úhrnů v konvekci jsou zvýšená, podobně jako srážkové úhrny v horských oblastech. Oba tyto jevy jsou částečně redukovány konfigurací OPRG. Obr. 2 ukazuje částečnou redukci maxim srážkových úhrnů pro případ konvekce. V tomto konkrétním případě je však nejbližší skutečnosti varianta NOGR.

4.2 Validace dalších úprav schématu mikrofyziky

Validace těchto úprav byla provedena v periodě 21.–29. 6. 2022. Modelová konfigurace MPKA je srovnávána s konfigurací OPRG, která slouží jako reference.

Díky vyššímu toku výparu se daří redukovat maxima srážek při konvekci a je rovněž lépe modelován srážkový stín za horskými překážkami. Obr. 3 pak ukazuje konkrétní případ z 29. 6. 2022 pro konvekci a ze 7. 7. 2022 pro srážkový stín. Zároveň dochází k celkovému snížení srážkových úhrnů, zejména na podzim a v zimě, k čemuž rovněž přispívá zvýšení prahové hodnoty množství oblačné vody nutné pro autokonverzi do deště.



Obr. 3 Porovnání srážek experimentů OPGR a MPKA pro konvektivní bouři 29. 6. 2022 nahoře a měření vlevo uprostřed a 7. 7. 2022 ukazující výraznější srážkový stín za Krušnými horami dole a vpravo uprostřed.

Fig. 3 Comparison of OPGR and MPKA precipitation experiments for the June 29, 2022 convective storm at the top and measurements at the middle left and July 7, 2022 showing a more pronounced precipitation shadow behind the Ore Mountains at the bottom and middle right.

Pro letní období mezi 21. 6. a 29. 6. 2022 byla spočtena FSS, která ukazují jisté zlepšení pro 6hodinové kumulace srážek v termínech 18 a 24 UTC pro všechny tři dny integrace. Zlepšuje se jak prostorová přesnost, tak systematická odchylka předpovědi srážek, zejména pro vyšší prahové hodnoty srážkových úhrnů. Naopak v termínech 06 a 12 UTC dochází ke zhoršování FSS díky záporné systematické odchylce srážek. Tento rozdíl je dán tím, že zatímco v termínech 18 a 24 UTC převládaly v daném období silné konvektivní bouře, v termínech 06 a 12 byly srážky výrazně slabší.

Úprava výparu vede ke stabilizaci troposféry, zejména jejích spodních částí. Díky tomu je zvýrazněna systematická odchylka teploty ve 2 metrech nad zemí a také systematická chyba geopotenciálu redukovaného na hladinu moře. Dále je zhoršena náhodná chyba větru, jeho

rychlosti i směru, jako důsledek stabilizace této vrstvy. Tyto nedostatky by mělo být možné odstranit pomocí dalšího ladění parametrů modelu.

5. Závěr

V tomto textu byly představeny modifikace mikrofyzikálního schématu klimatického modelu ALADIN, konkrétně byl vysvětlen princip parametrizace prognostických krupek a její úpravy. Přidání prognostických krupek do schématu má výraznější vliv na výsledky modelu než navržené úpravy jejich parametrizace. Ty by však měly vést k jejich fyzikálně realističtějšímu popisu.

Dále byly validovány další úpravy schématu, z nichž je dominantní účinnější parametrizace výparu, která pomáhá redukovat systematickou odchylku srážek zejména v chladné polovině roku. Na druhou stranu tato modifikace bez dalších úprav modelu způsobuje zhoršení atmosférických skóre.

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

ABEL, S. J., BOUTLE, I. A., 2012. An improved representation of the raindrop size distribution for single-moment microphysics schemes, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, **138**, qj.1949, ISSN 0035-9009. <https://doi.org/10.1002/qj.1949>

BROŽKOVÁ, R., BUČÁNEK, A., MAŠEK, J., SMOLÍKOVÁ, P., TROJÁKOVÁ, A., 2019. Nová provozní konfigurace modelu ALADIN ve vysokém rozlišení. *Meteorologické zprávy*, **72**, 5, 129–139, ISSN 0026-1173.

BUČÁNEK, A., 2020. Verification of the ALADIN precipitation forecast using Fraction Skill Score, dokumentace.

GERARD, L., PIRIOU, J., BROŽKOVÁ, R., GELEYN, J., BANCIU, D., 2009. Cloud and Precipitation Parameterization in a Meso-Gamma-Scale Operational Weather Prediction Model. *Monthly Weather Review*, **137**, MWR2750.1. ISSN 0027-0644. <https://doi.org/10.1175/2009MWR2750.1>

HONG, S-Y, LIM, J., 2008. The WRF Single-Moment 6-Class Microphysics Scheme (WSM6). *Journal of the Korean Meteorological Society*, **42**, MWR2387.1, ISSN 2288-3266.

JANOUSEK, M., MLÁDEK, R., 2008. Verification package VERAL. Description and user's guide, dokumentace.

LOPEZ, P., 2002. Implementation and validation of a new prognostic large-scale cloud and precipitation scheme for climate and data-assimilation purposes. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, **128**, 00359000260498879, ISSN 0035-9009. <https://doi.org/10.1256/00359000260498879>

NOVÁK, P., KYZNAROVÁ, H., 2016. MERGE2 – modernizovaný systém kvantitativních odhadů srážek provozovaný v Českém hydrometeorologickém ústavu. *Meteorologické zprávy*, **69**, 5, 137–144, ISSN 0026-1173.

PINTY, J.-P., JABOUILLE, P., 1998. A mixed-phase cloud parameterization for use in mesoscale non-hydrostatic model: simulations of a squall line and of orographic precipitations, Proc. Conf. of Cloud Physics, Everett, WA, USA, **137**, American Meteorological Society.

ROBERTS, N. M., LEAN, H. W., 2008. Scale-Selective Verification of Rainfall Accumulations from High-Resolution Forecasts of Convective Events. *Monthly Weather Review*, **136**, MWR2123.1, ISSN 0027-0644. <https://doi.org/10.1175/2007MWR2123.1>

THOMPSON, G., FIELD, P. R., RASMUSSEN, R. M., HALL, W. D., 2008. Explicit Forecasts of Winter Precipitation Using an Improved Bulk Microphysics Scheme. Part II: Implementation of a New Snow Parameterization. *Monthly Weather Review*, **136**, MWR2387.1, ISSN 0027-0644. <https://doi.org/10.1175/2008MWR2387.1>