

ZACHAROV, P., VOKOUN, M., 2023. Charakteristiky konvektivního prostředí v reanalýze ALADIN. In: TOLASZ, R., POLCAROVÁ, E. (Eds.), 2023. Sborník příspěvků z První konference projektu PERUN (TA ČR, SS02030040). Praha: ČHMÚ, 76–81, ISBN 978-80-7653-063-8.
<https://doi.org/10.59984/978-80-7653-063-8.11>

Charakteristiky konvektivního prostředí v reanalýze ALADIN (Characteristics of convective environment in ALADIN reanalysis)

Petr Zacharov, Ústav fyziky atmosféry AV ČR v. v. i., petas@ufa.cas.cz
Martin Vokoun, Ústav fyziky atmosféry AV ČR v. v. i., martin.vokoun@ufa.cas.cz

Abstrakt: Pro předpověď a hodnocení potenciálu atmosféry ke vzniku konvektivní oblačnosti se používají různé charakteristiky konvektivního prostředí. Z výstupů reanalýzy ALADIN jsou k dispozici hodnoty *CAPE*, *CIN*, rychlosti větru a teploty v několika standardních hladinách, ze kterých je možné spočítat střih větru a vertikální teplotní gradient. Verifikaci umožňuje bodové srovnání s daty ze sondážních měření, např. z Prahy, Libuše.

Klíčová slova: konvekce – *CAPE* – *CIN* – ALADIN – reanalýza

Abstract: For the prediction and assessment of the potential for convective cloud formation, various characteristics of the convective environment are used. Values of *CAPE*, *CIN*, wind speed, and temperature at several standard levels are available from the ALADIN reanalysis outputs, from which wind shear and vertical temperature gradient can be calculated. Verification allows for point comparison with data from sounding measurements, for example, from Prague, Libuš.

Keywords: convection – *CAPE* – *CIN* – ALADIN – reanalysis

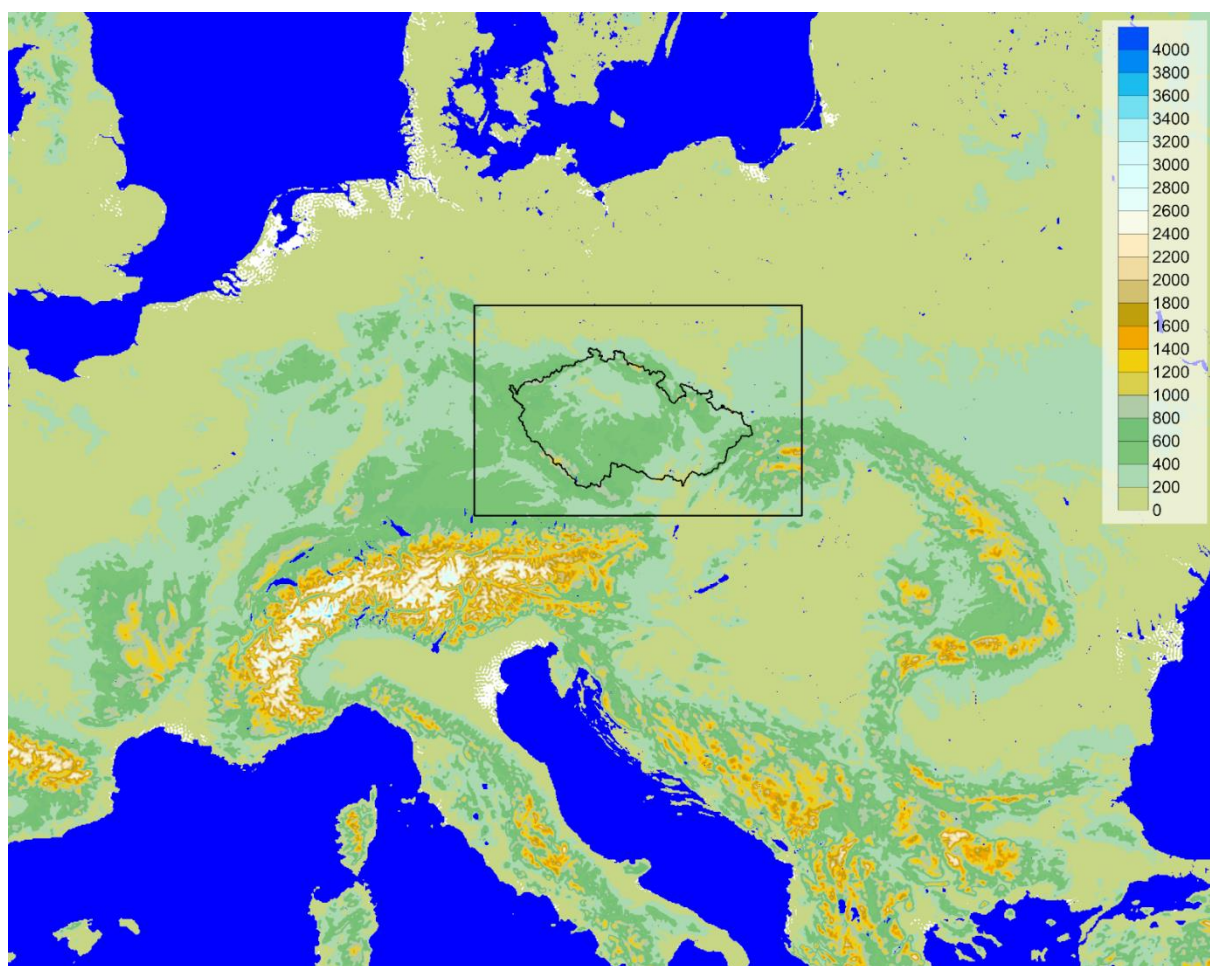
1. Úvod

Silné konvektivní bouře způsobují v České republice každoročně škody na majetku a jsou tedy významným meteorologickým prvkem, který je potřeba měřit, zkoumat a předpovídat. Pro předpověď vzniku silných bouří potřebujeme popsat instabilitu atmosféry, vlhkost vzduchu v přízemní vrstvě a možnosti počátečních impulsů vzniku bouří. Vzhledem k tomu, že jsou počáteční impulsy velmi těžko předvídatelné, zužuje se předpověď rizika silných bouří na popis konvektivního prostředí, tedy na popis připravenosti atmosféry spustit silné bouře.

V rámci projektu PERUN jsou v Českém hydrometeorologickém ústavu pomocí modelu ALADIN počítány reanalýzy historického klimatu (PERUN/Reanalysis) od roku 1990. Výstupy jsou dostupné v horizontálním rozlišení 2,3x2,3 km a umožňují zkoumat konvektivní jevy a obecně konvektivní prostředí, tedy časové a prostorové podmínky pro vznik konvektivních bouří. Jako řídicí indexy konvekce byly k posouzení vybrány hodnoty *MUCAPE* (*Most Unstable Convective Available Potential Energy*), *MUCIN* (*Most Unstable Convective Inhibition*), a střih větru ve vrstvě přibližně 6000 m. Výstupy poskytují unikátní plošné informace ve vysokém horizontálním rozlišení, které nebyly dosud nikterak dostupné. Historická data poslouží zároveň jako podklad k hodnocení změn klimatu, resp. konvektivního prostředí, na základě výpočtů budoucího stavu klimatu modelem ALADIN.

2. Data

PERUN/Reanalysis poskytuje předpověď s počátkem každý den v 00h a časovým horizontem 30h. Model využívá 6h asimilační okno pro analýzy hodnot u povrchu a blending ERA5 dat z vyšších polí. V současnosti jsou dostupné výstupy pro období 1990–2019. Počáteční rok 1989 sloužil k ustálení výpočtu modelu a není do studie zahrnut. Naopak výstupy z let 2020–2022 jsou momentálně dopočítávány a do studie budou v budoucnu postupně doplněny. Prostorové pokrytí modelu zahrnuje střední Evropu (obr. 1), nicméně pro účely studie byla vybrána menší subdoména pokrývající Českou republiku a její blízké okolí (obr. 1). Zatímco celá výpočetní doména zahrnuje 1037x821 gridových bodů, subdoména obsahuje 281x181 g.b. Pro hodnocení konvektivního prostředí jsme využili *MUCAPE*, *MUCIN* a rychlost a směr větru v 10 m nad povrchem a v hladině 500 hPa. Vzhledem k tomu, že se srovnatelný stříh větru počítá ve vrstvě 6 km, byla provedena korekce výšky vrstvy stříhu větru na základě geopotenciální výšky v 500 hPa na zmíněnou výšku 6000 m. Pro verifikaci modelových výstupů hodnot *MUCAPE* a *MUCIN* byly využity zpracované výsledky sondážní měření ze stanice Praha, Libuš.



Obr. 1 Výpočetní doména modelu ALADIN s vyznačením vybrané subdomény pro účely studie.

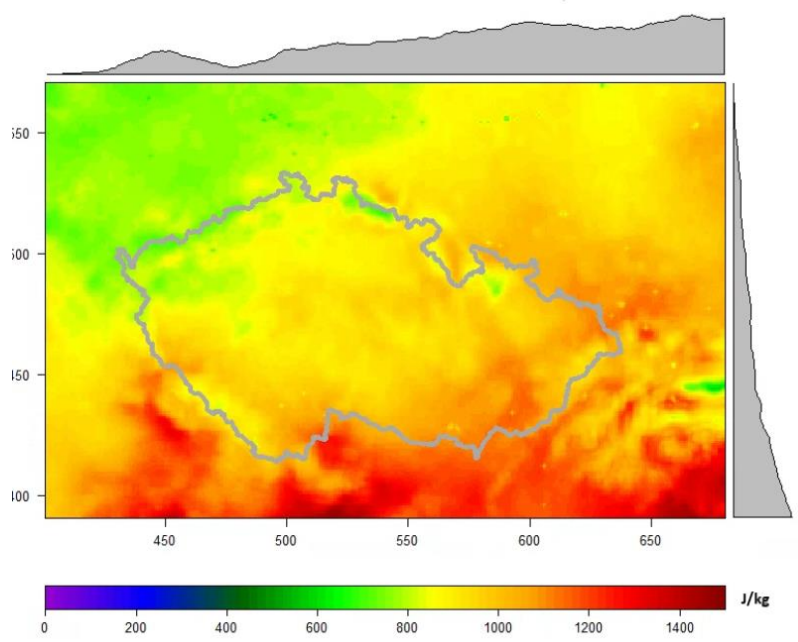
Fig. 1 ALADIN model computing domain and bounded subdomain for the study purposes.

3. Vyhodnocení

Datová řada pokrývající období 30 let zahrnuje poměrnou část i dny, kdy se podmínky pro konvekci nevyskytovaly. Jedná se především o dny v zimní polovině roku. Z tohoto důvodu byly k vyhodnocení charakteristik vybrány pouze tzv. konvektivní dny. Konvektivní den je takový den, kdy hodnoty *MUCAPE* byly vyšší jak $100 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$ alespoň na 10 % plochy subdomény.

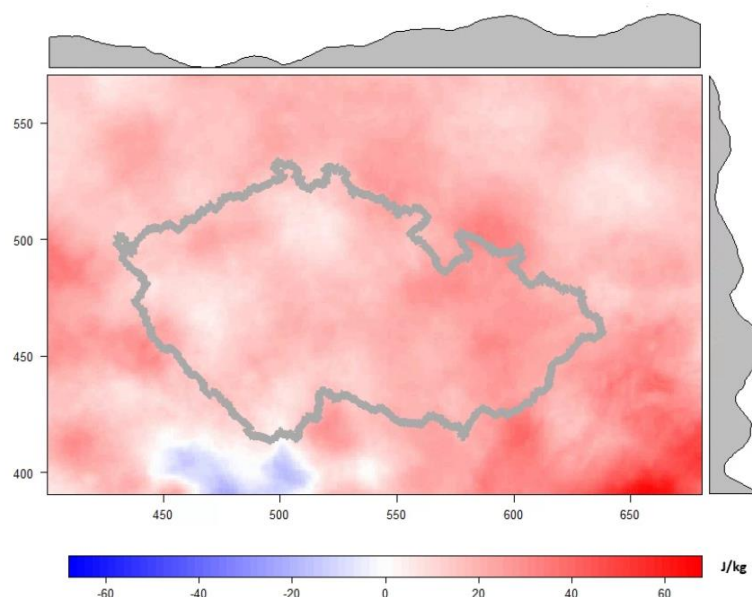
3.1 Prostorové rozložení MUCAPE

Při rozdělení datových řad do 4 ročních sezón je evidentní stabilně rozdílné rozložení hodnot *MUCAPE* v rámci ČR a nejbližšího okolí. Nejvyšší hodnoty se vyskytují v jižní části domény, zejména v Bavorsku. V rámci ČR se jedná o oblast JZ Čech, JV a SV Moravy a také Polabí. Z oblastí čitelně vystupují hraniční pohoří s nižšími hodnotami v porovnání s okolím. Tomuto rozložení odpovídá také obr. 2, na kterém jsou zobrazeny průměrné maximální hodnoty pro letní období červen–srpen. Grafy po stranách zobrazují průměrnou hodnotu v každém příslušejícím gridovém řádku nebo sloupci. I z tohoto zobrazení lze rozpoznat směr a míru nárůstu hodnot *MUCAPE*. Obr. 3 pak popisuje, jak se plošně změnily průměrné celoroční hodnoty *MUCAPE* mezi obdobími 1990–2004 a 2005–2019. K nárůstu hodnot došlo na téměř celém území subdomény, vyjma oblasti v JZ části, mezi hranicemi ČR a Alpami. Změny hodnot jsou prostorově proměnlivější a k výraznějším nárůstům dochází i v oblastech s obecně nižšími hodnotami *MUCAPE*, např. v SZ části subdomény.



Obr. 2 Průměrné maximální denní hodnoty MUCAPE pro období červen–srpen.

Fig. 2 Mean maximum daily MUCAPE values in June–August.

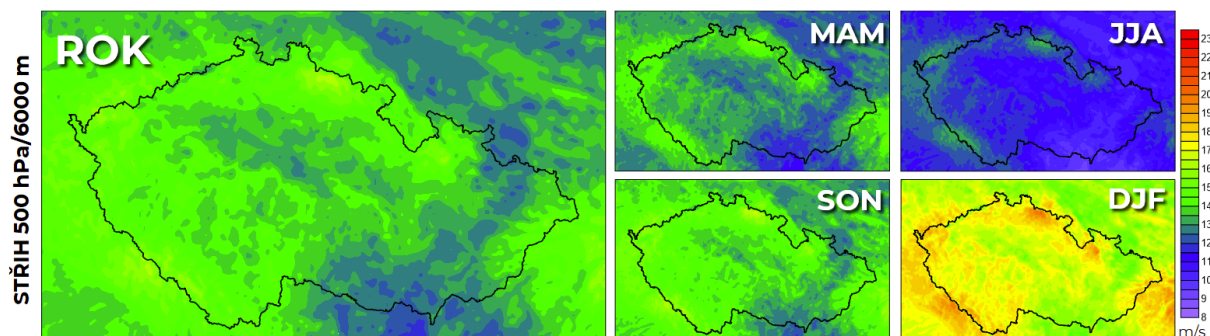


Obr. 3 Rozdíl v průměrných hodnotách MUCAPE mezi obdobími 1990–2004 a 2005–2019.

Fig. 3 Difference between mean MUCAPE values from 1990–2004 and 2005–2019.

3.2 Prostorové rozložení střihu větru

Zatímco MUCAPE hodnoty dosahují nejvyšších hodnot v letních měsících, v případě střihu větru je tomu naopak (obr. 4). Střih větru narůstá v zimním období a zejména pak v příhraničních horských oblastech. Po provedení geopotenciální výškové korekce lze obecně pozorovat nárůst střihu větru s rostoucí nadmořskou výškou. Prostorové rozložení je po celý rok velmi podobné a mění se pouze intenzita.

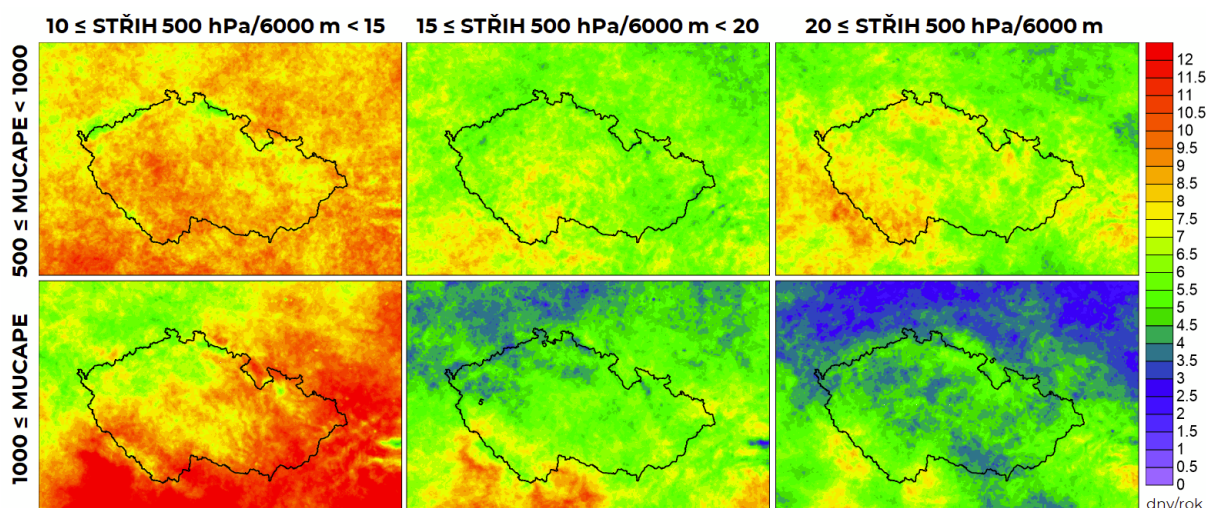


Obr. 4 Průměrné prostorové rozložení střihu větru během celého roku a v jednotlivých sezónách (500 hPa/6000 m).

Fig. 4 Annual and seasonal spatial distribution of mean wind shear (500 hPa/6000 m).

3.3 Kombinace MUCAPE a střihu větru

Veličina MUCAPE patří mezi základní parametry pro odhad vzniku silných bouří, na jejich organizaci má však zásadní vliv střih větru. Na obr. 5 je znázorněno prostorové rozložení průměrného ročního počtu dní, kdy bylo dosaženo významných hodnot MUCAPE a střihu větru. Z výsledků lze odvodit, že v případě kombinace těchto dvou prvků nastává vyšší prostorová diverzifikace při hodnotách MUCAPE nad $1000 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$. Zde opět vystupuje s vyšší četností takových dnů jižní a jihozápadní část ČR.



Obr. 5 Prostorové rozložení průměrného ročního počtu dní s významnými hodnotami MUCAPE a stříhu větru (500 hPa/6000 m).

Fig. 5 Spatial distribution of mean annual number of days with significant MUCAPE and wind shear (500 hPa/6000 m).

3.4 Porovnání MUCAPE s daty ze sondážního měření

Verifikaci výstupů reanalýzy nelze provést plošně pro celou doménu, jelikož neexistují relevantní plošná měřená data. Proto bylo přistoupeno k verifikaci bodové, tedy ke srovnání měřených sondážních dat ze stanice Praha, Libuš a k ní odpovídající data z příslušného gridu, kde se stanice nachází. Při rozdělení hodnot MUCAPE do 6 kategorií je shoda modelu s měřením 61,5 % případů s lehkým nadhodnocováním, a to konkrétně v 28,6 % případů (tab. 1).

Tab. 1 Kontingenční tabulka hodnot MUCAPE ze sondážního měření a odpovídajících hodnot z reanalýzy ALADIN.

Tab. 1 Contingency table of MUCAPE values from the sounding with corresponding values from ALADIN/Reanalysis.

MUCAPE [J·kg ⁻¹]		PERUN/Reanalysis					
		0–10	10–50	50–100	100–250	250–500	≥500
PRAHA, LIBUŠ	0–10	17884	3677	1348	530	158	76
	10–50	1479	1235	705	676	265	138
	50–100	280	494	477	673	316	172
	100–250	123	244	293	829	673	446
	250–500	26	47	59	229	431	682
	≥500	19	15	27	87	213	1802
HIT = 61,5 %			OVEREST. = 28,6 %		UNDEREST. = 9,9 %		

Pokud snížíme nároky na hodnocení modelu a zjednodušíme kategorie hodnot MUCAPE (tab. 2), dochází k navýšení případů shody měření a předpovědi na výbornou hodnotu 85,6 %. Počet nadhodnocujících případů se sníží na 11,2 %. K ještě výraznější korekci dochází u případů nadhodnocení, které poklesly na pouhých 3,1 %. V tomto případě je korelační koeficient pro MUCAPE mezi modelem a sondážním měřením 0,81. Nižších hodnot dosahuje pro hodnoty MUCIN, a to pouze 0,43. Ve srovnání mezi sondážním měřením vychází hodnoty

MUCAPE až překvapivě dobře, hodnoty *MUCIN* ovšem tak výborných výsledků nedosahují, zřejmě díky obtížnému modelovému popisu mezní vrstvy.

Tab. 2 Zjednodušená tabulka 1.

Tab. 2 Simplified Table 1.

MUCAPE [J·kg ⁻¹]		PERUN/Reanalysis		
		0–100	100–500	≥500
PRAHA, LIBUŠ	0–100	27579	2618	386
	100–500	792	2162	1128
	≥500	61	300	1802
HIT = 85,6 %		OVEREST. = 11.2 %		UNDEREST. = 3.1 %

4. Závěr

Charakteristiky konvektivního prostředí jsou důležitým podkladem pro hodnocení potenciálu atmosféry produkovat silné konvektivní bouře. Ve vyhodnocení reanalýzy PERUN/Reanalysis jsme se zaměřili na *MUCAPE*, *MUCIN* a střih větru ve vrstvě přibližně 6000 m. Výsledky budou mimojiné použity k hodnocení výstupů klimatických předpovědí modelem ALADIN. Prvotní verifikace výstupů hodnotí výstupy *MUCAPE* jako velmi uspokojivé, naopak hodnoty *MUCIN* vykazují vyšší míru nepřesnosti, pravděpodobně díky obtížnému modelovému popisu mezní vrstvy. V jižních až jihovýchodních částech domény nacházíme vyšší hodnoty *MUCAPE*, v jihozápadní části domény nacházíme vyšší množství dnů s překryvem vyšších hodnot *MUCAPE* a střihu větru, což jsou podmínky pro vznik organizované konvekce, především supercel. Hodnocení změn počtu těchto dnů ve výpočtech do roku 2100 bude důležitou informací o potenciálu budoucího počasí.

Poděkování

Autoři děkují Technologické agentuře ČR za finanční podporu v rámci grantu č. SS02030040 (Prediction, Evaluation and Research for Understanding National sensitivity and impacts of drought and climate change for Czechia, PERUN) a také Davidu Rývovi (Český hydrometeorologický ústav) za přípravu sondážních dat ze stanice Praha, Libuš.