

ŠERCL, P., SVOBODA, V., 2023. Analýza plošných 1denních sezónních srážkových maxim na základě rastrů interpolovaných denních hodnot srážek. In: TOLASZ, R., POLCAROVÁ, E. (Eds.), 2023. Sborník příspěvků z První konference projektu PERUN (TA ČR, SS02030040). Praha: ČHMÚ, 212–219, ISBN 978-80-7653-063-8.

<https://doi.org/10.59984/978-80-7653-063-8.27>

Analýza plošných 1denních sezónních srážkových maxim na základě rastrů interpolovaných denních hodnot srážek (Statistical characteristics of 1-day rainfall maxima and their spatial variability)

Petr Šercl, Český hydrometeorologický ústav, petr.sercl@chmi.cz

Vojtěch Svoboda, Český hydrometeorologický ústav, vojtech.svoboda@chmi.cz

Abstrakt: Pro analýzu plošných 1denních sezónních srážkových maxim byla využita data interpolovaných denních hodnot srážek za období 1961–2020. Analýza byla prováděna v pravidelné síti čtvercových polygonů s plochou od 16 do 324 km². Pro každý polygon a jednotlivé roky byly zjišťovány maximální plošné 1denní úhrny srážek za sezónu od 15. dubna do 15. října. Vznikly řady 60 hodnot sezónních maxim, které byly následně statisticky zpracovány. Výsledky byly analyzovány v prostředí GIS. Kromě očekávaných rozdílů mezi nížinnými oblastmi, pahorkatinami a horskými oblastmi obecně jsou patrné i regionální rozdíly, např. větší variabilita 1denních srážkových maxim v Čechách oproti Moravě. Byly zjišťovány i závislosti statistických charakteristik 1denních maximálních srážek na velikosti plochy.

Klíčová slova: 1denní maximální srážky – statistické charakteristiky – plošná analýza

Abstract: Data from interpolated daily rainfall totals for the period 1961–2020 were used for the area analysis of 1-day annual rainfall maxima. The analysis was performed in a regular grid of square areas ranging from 16 to 324 km². For each area and individual year, maximum areal 1-day rainfall totals were derived for the period between 15 April and 15 October. Datasets of 60 seasonal maximum values were created and further statistically processed. The results were analysed in the GIS environment. As expected, there are noticeable differences between lowlands, uplands and mountain areas in general. In addition, regional differences are visible, e.g. greater variability of 1-day rainfall maxima in Bohemia compared to Moravia. Furthermore, the dependence of statistical characteristics of 1-day rainfall maxima on the considered size of the area was investigated.

Keywords: daily rainfall maxima – statistical characteristics – regional analysis

1. Úvod

Odvození věrohodných hodnot *N*-letých srážkových úhrnů je velmi důležité nejen z hlediska hydrologického modelování, proto právě odvození *N*-letých srážek v různých časových a prostorových rozlišeních je součástí řešení projektu PERUN. Cílem tohoto příspěvku bylo využití zpracovaných rastrových dat interpolovaných denních úhrnů srážek za období 1961–2020 pro prostorovou analýzu statistických charakteristik sezónních maximálních 1denních srážek. Poznatky z hromadného zpracování v několika různých prostorových rozlišeních mohou být dále využity při řešení projektu.

2. Data

Základním vstupem pro analýzu 1denních srážkových maxim byly interpolované denní úhrny srážek za období 1961–2020 ve formě rastrových dat. Jelikož metodika zpracování těchto dat nebyla v době psaní tohoto příspěvku oficiálně publikována, jsou uvedeny pouze základní informace z písemného vyjádření autora Petra Štěpánka (CzechGlobe), který data poskytl.

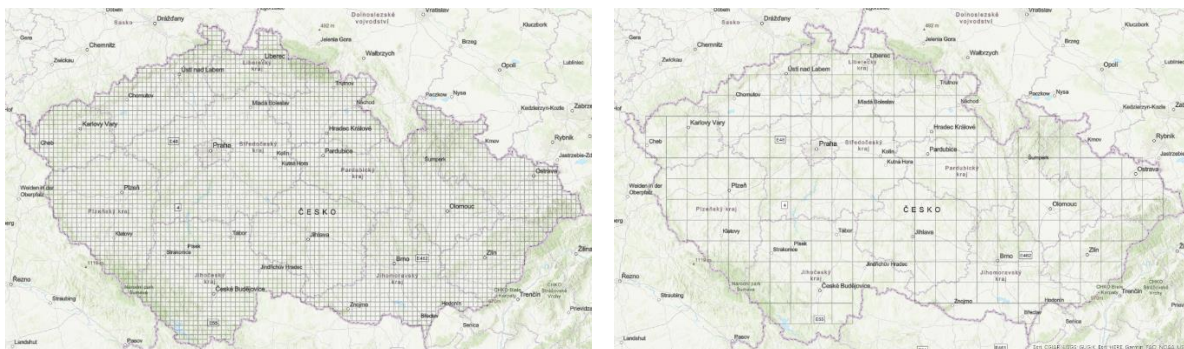
Interpolovány byly denní srážkové úhrny ve srážkoměrných stanicích zpracovaných do formy tzv. technických (homogenizovaných) řad a uložených do databáze CLIDATA. Metoda interpolace byla regresní kriging, kde jako prediktory byly zvoleny nadmořská výška, zeměpisná délka a šířka a expozice vůči světovým stranám, přičemž v místech srážkoměrných stanic hodnoty v rastru odpovídají vstupní hodnotě z bodového měření.

Vzhledem k tomu, že nejvyšší denní úhrny srážek v roce se na území ČR vyskytují zpravidla ve vegetační sezóně, bylo pro další zpracování zvoleno období od 15. dubna do 15. října. Celkem tedy do dalšího zpracování vstupovalo 10980 rastrů (183 dní × 60 let) ve formátu GeoTIFF.

3. Zpracování dat

Pro snazší zpracování rastrových dat denních úhrnů srážek byl v prostředí ArcGIS Pro vytvořen tzv. mozaikový dataset, což je databázová tabulka, která obsahuje odkazy na umístění rastrů v počítačové síti, dalšími údaji jsou sloupec s časovou informací vztahující se k rastru a sloupec obsahující název veličiny, kterou rastrová data představují. Celkový počet řádků této tabulky odpovídá počtu použitých rastrů, více o mozaikovém datasetu viz oficiální webové stránky ArcGIS Pro: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/help/data/imagery/mosaic-datasets.htm>.

Pro účely zpracování dat v GIS bylo území ČR rozděleno do pravidelné sítě čtvercových ploch s variabilním rozlišením od 4×4 km do 18×18 km (tj. 15 různých rozlišení s plochou 16 až 324 km²). Mřížky o velikosti 16, resp. 324 km², jsou pro ilustraci znázorněny na obr. 1.



Obr. 1 Rozsah prostorového rozlišení pro analýzy, od 16 km² (vlevo) do 324 km² (vpravo).

Fig. 1 Range of spatial resolution for the performed analyses, from 16 km² (left) to 324 km² (right).

Pro všechny mřížky daných rozlišení byly metodou zonální statistiky v GIS spočteny průměrné hodnoty srážek v jednotlivých čtvercích. Výsledkem bylo 15 tabulek, kde každý řádek v tabulce odpovídá jednotlivému čtverci s hodnotou výšky srážek pro daný den.

Další zpracování proběhlo za pomoci skriptů v Pythonu. Pro každý čtverec bylo vybráno denní maximum za období 15. dubna až 15. října pro každý rok z let 1961–2020. Těchto 60 maxim bylo následně vyexportováno do samostatného textového souboru, kdy každý soubor obsahoval celkem tři sloupce: identifikátor čtverce, datum výskytu maxima a hodnotu maxima. Všechny řady sezónních maxim byly následně statisticky zpracovány.

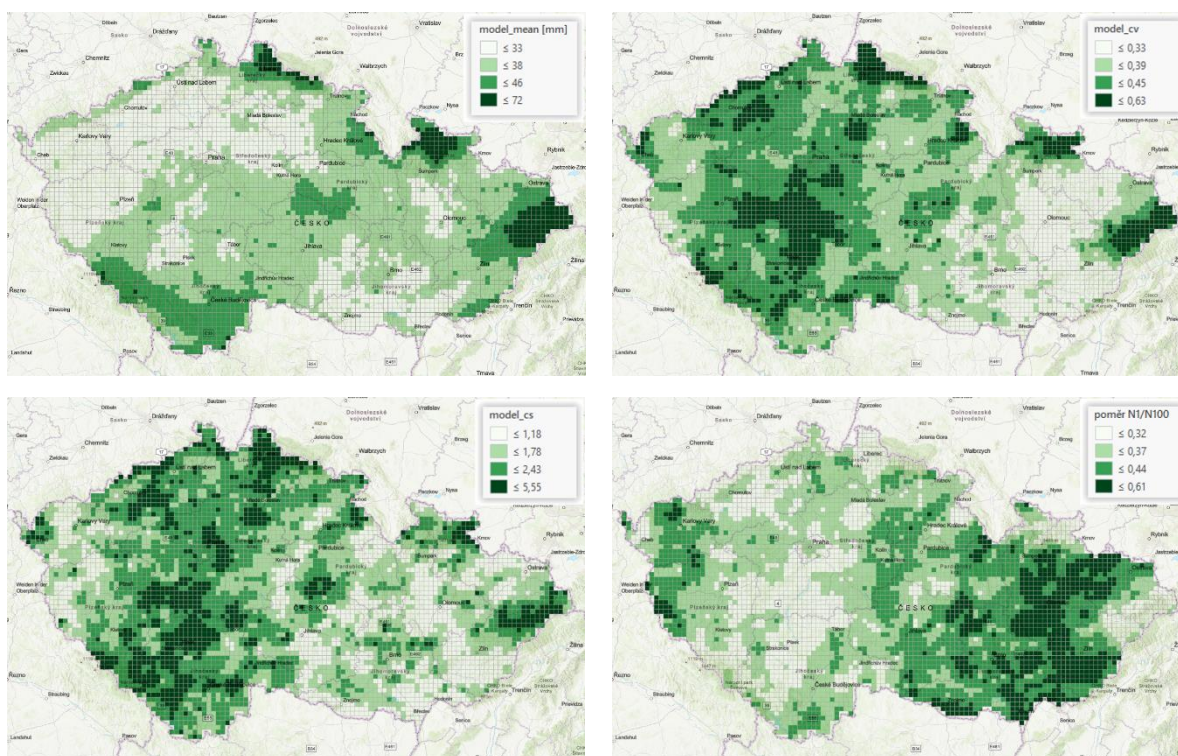
V řadách byly nejprve detekovány horní odlehlé hodnoty pomocí procedur implementovaných v knihovně *extremevalues* (van der Loo 2020) určené pro prostředí statistického jazyka R. Konkrétně byly využity algoritmy, hledající odlehlé hodnoty ve vzorku dat vycházejícího z logaritmicko-normálního rozdělení na základě očekávaného výskytu hodnoty pozorování. Metoda je podrobněji popsána v publikaci van der Loo (2010). Pro každý polygon byl tímto postupem odhadnut počet odlehlých hodnot (0 až 5).

Pro každý čtverec byl vytvořen model čáry opakování odvozuující N -leté hodnoty sezónních 1denních srážkových úhrnů. Pro výpočet čáry opakování bylo využito tříparametrické logaritmicko-normální teoretické statistické rozdělení extrémních hodnot (LN3) a pro odhad parametrů zvoleny metody maximální věrohodnosti (MLE) a L -momentů (LMO), přičemž byla vždy využita metoda dávající lepší odhad na základě Akaikeho informačního kritéria (AIC; Akaike 1974). Z celkového počtu 18123 polygonů, byla ve zhruba 75 % případů na základě tohoto kritéria preferována metoda LMO a v 25 % pak metoda MLE.

Charakteristiky modelových čar opakování: průměr (*model_mean*), koeficient variace (*model_cv*), koeficient asymetrie (*model_cs*) a poměr 1leté a 100leté hodnoty (*poměr N1/N100*), vstupovaly poté do plošných analýz v prostředí GIS.

4. Analýza výsledků

Plošné rozložení hodnot statistických charakteristik *model_mean*, *model_cv*, *model_cs* a poměrů *N1/N100* pro mřížku o velikosti 4×4 km je znázorněno v kartodiagramech na obr. 2.



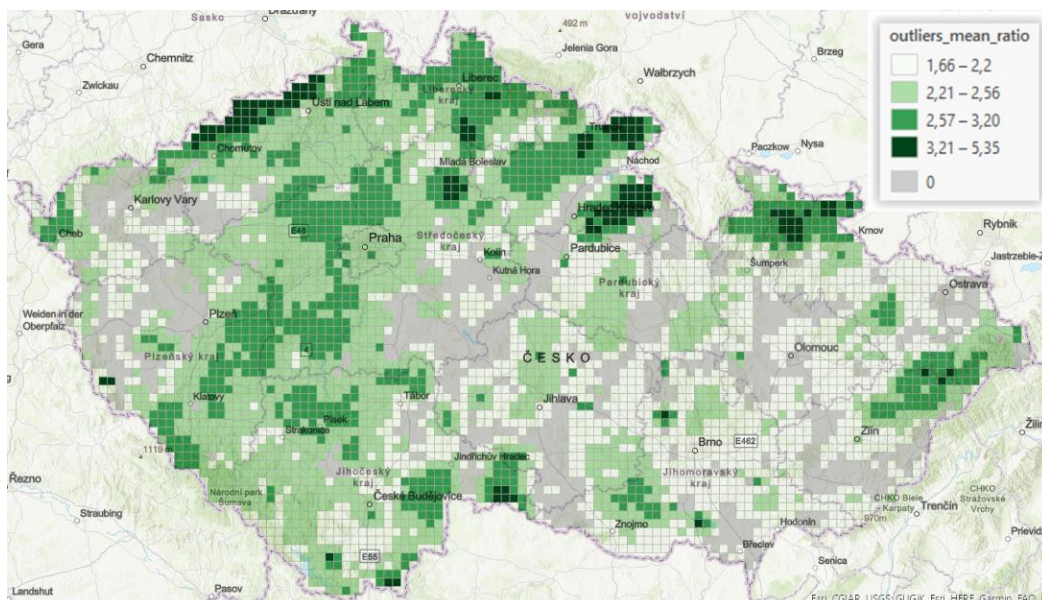
Obr. 2 Plošné rozložení hodnot statistických charakteristik modelových čar opakování pro 1denní srážkové úhrny, průměr (*model_mean*; vlevo nahoře), koeficient variace (*model_cv*; vpravo nahoře), koeficient asymetrie (*model_cs*; vlevo dole) a poměr 1leté a 100leté hodnoty (*poměr N1/N100*; vpravo dole).

Fig. 2 Spatial distribution of the statistical characteristics for theoretical return period curves from daily rainfall totals, mean (*model_mean*; top left), variation coefficient (*model_cv*; top right), skewness coefficient (*model_cs*; bottom left) and 1-year to 100-year ratio (*poměr N1/N100*; bottom right).

Nejvyšší hodnoty průměru sezónních maxim (*model_mean*), se dle očekávání vyskytují v horských oblastech, kde svojí hlavní roli hraje orografie a návětrné efekty s ní spojené (obr. 2).

vlevo nahoře). Za pozornost stojí oblast Šumavy a Novohradských hor, kde jsou průměrné hodnoty maxim na jižněji položené části hlavního hřebene Šumavy nižší než v jeho severní části a rovněž i v podhůří Šumavy a v Novohradských horách. Svou roli zde rovněž hraje orografie vedoucí nejen k zesilování srážek vlivem návětrí, ale přispívající rovněž ke vzniku silných bouřek. Naopak nejmenší hodnoty sezónních maxim se vyskytují v poměrně širokém oblouku sahajícím od západních Čech a vedoucím přes celou oblast ovlivněnou závětrím Krušných hor až do Polabí.

Plošné rozložení koeficientu variace (*model_cv*), který vyjadřuje svojí hodnotou proměnlivost hodnot sezónních maxim, je patrné z pravé horní části obr. 2. Na první pohled je zcela zjevný rozdíl mezi územím Čech a územím Moravy a Slezska. Zatímco v Čechách se větší variabilita vyskytuje jak v nížinných oblastech, pahorkatinách a horách, na území Moravy a Slezska mají vysokou variabilitu pouze oblasti Beskyd a severní návětrí Jeseníků. Zatímco vysoká variabilita v horských oblastech je poměrně snadno vysvětlitelná častým výskytem srážkových extrémů vlivem orografie, rozdíly mezi variabilitou maxim v nížinách a pahorkatinách v Čechách a na Moravě tak jednoduše vysvětlitelné nejsou, nicméně jednoznačně souvisí s četností výskytu extrémních hodnot a jejich odlehlostí od průměru. Oblasti s nejmenšími hodnotami koeficientu asymetrie (*model_cs*), viz obr. 2 vlevo dole, se takřka kryjí s místy, kde nebyla modelem detekována žádná odlehlá hodnota (šedě zbarvené čtverce na obr. 3).



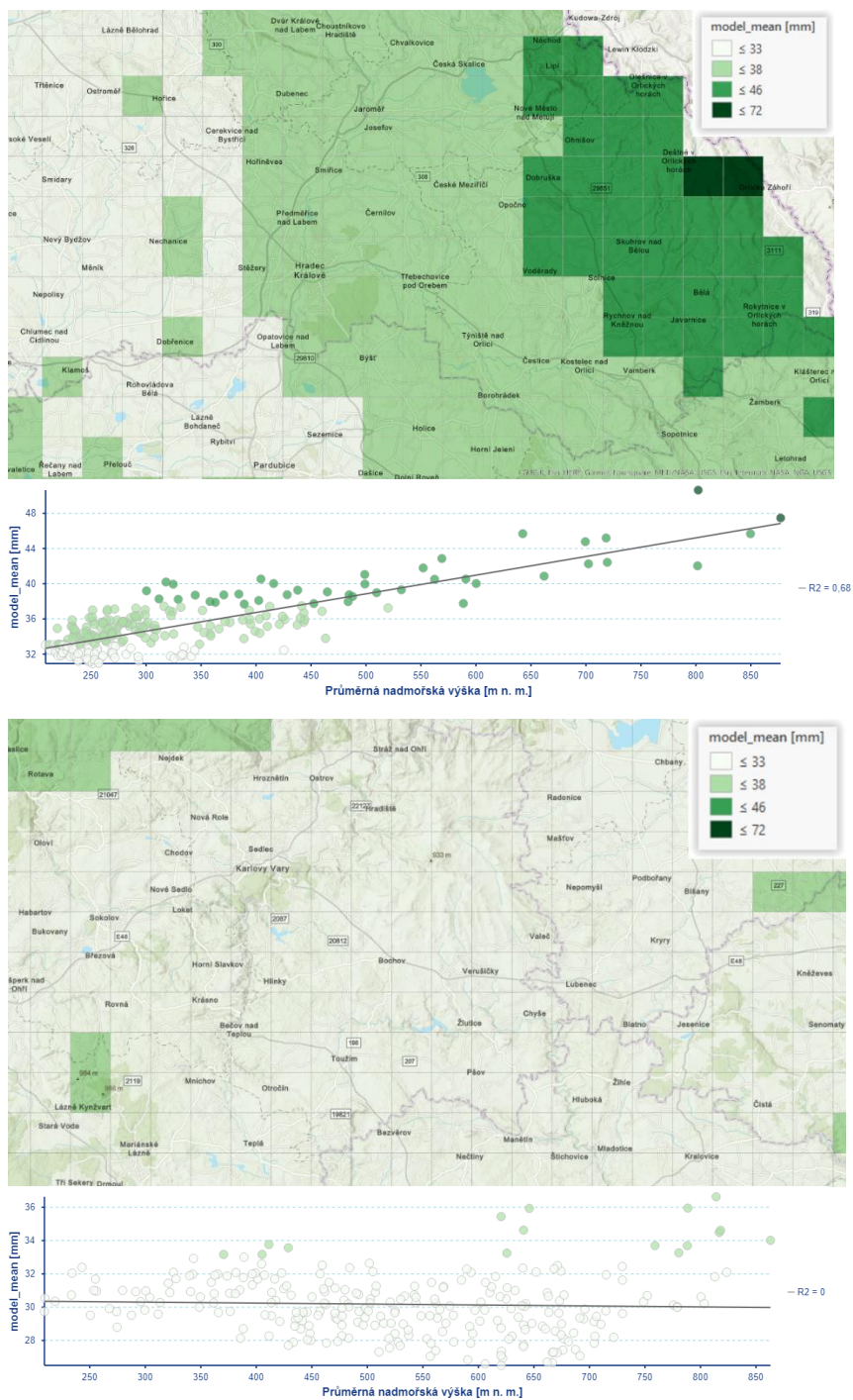
Obr. 3 Poměr mezi průměrem odlehlých hodnot sezónních maxim a průměrem sezónních maxim daných řad.

Fig. 3 The ratio between the mean of the outliers of the seasonal rainfall maxima and the mean of the seasonal rainfall maxima of the given data series.

Obrázek 3 znázorňuje poměr mezi průměrem odlehlých hodnot sezónních 1denních maxim a průměrem sezónních 1denních maxim (*outliers_mean_ratio*). Nejtmavěji zbarvená pole korespondují s nejvíce odlehlými hodnotami, a tedy s konkrétními extrémními srážkovými událostmi. Z rozsáhlejších oblastí lze zmínit pohraniční severovýchodní část Krušných hor, která byla zasažena orograficky zesílenými srážkami 12. 8. 2002, dále území pod Orlickými horami s výskytem přívalových srážek dne 22. 7. 1998, příp. Adršpašsko, kde byly zaznamenány přívalové srážky dne 17. 6. 1979. Nutno podotknout, že všechny zmíněné srážkové události vyvolaly extrémní rozvodnění vodních toků.

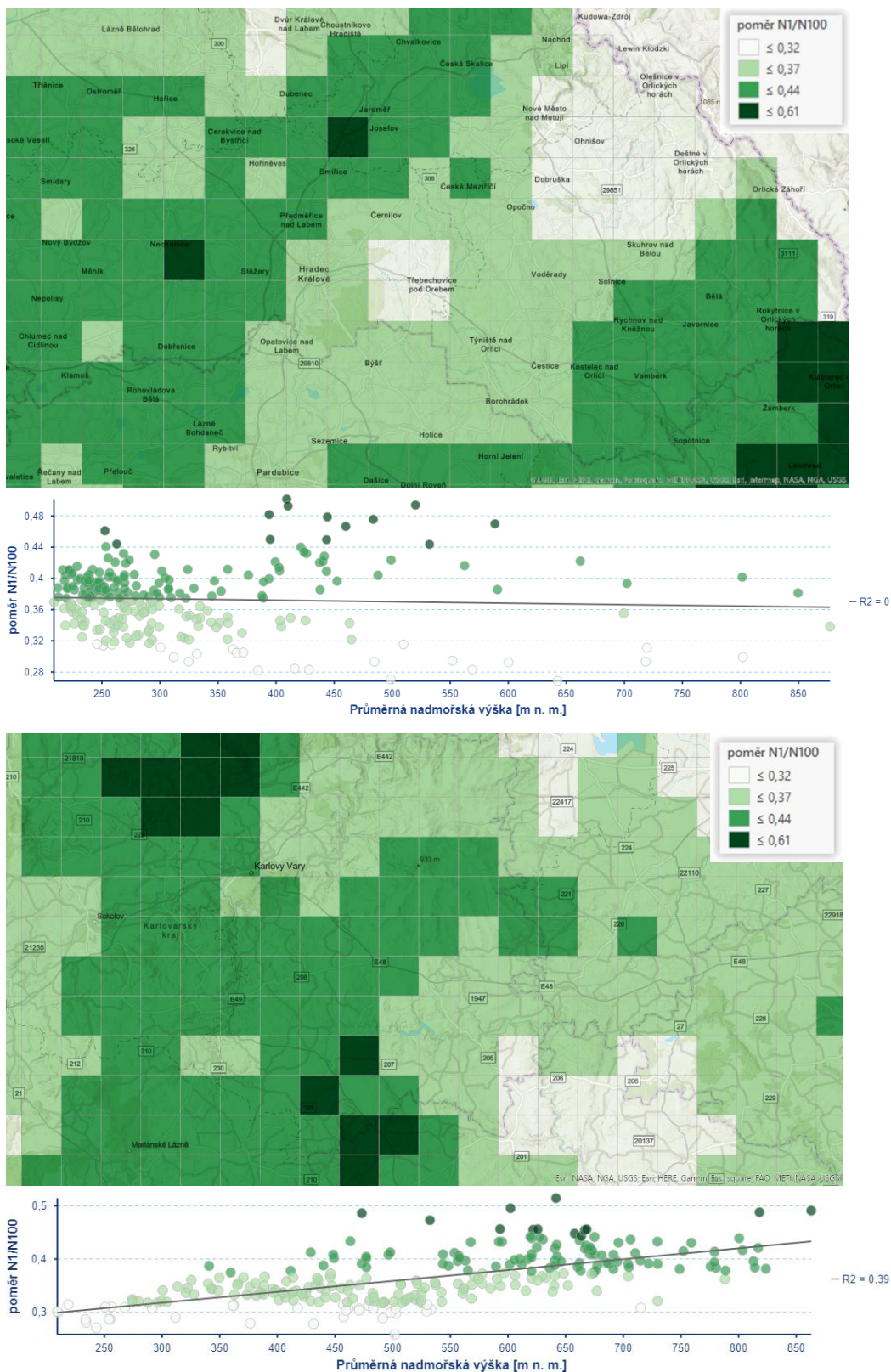
Hodnoty poměrů 1letých a 100letých odhadů (obr. 2 vpravo dole) korespondují s velikostí hodnot koeficientu variace, resp. asymetrie. Kromě obecně výrazného rozdílu mezi územím

Čech a Moravy je zřetelný i pás vysokých poměrů těchto hodnot v části západních Čech, kde nízké hodnoty průměrů a malá variabilita vede k nejmenším hodnotám odhadů 100letých 1denních srážek na území Čech.



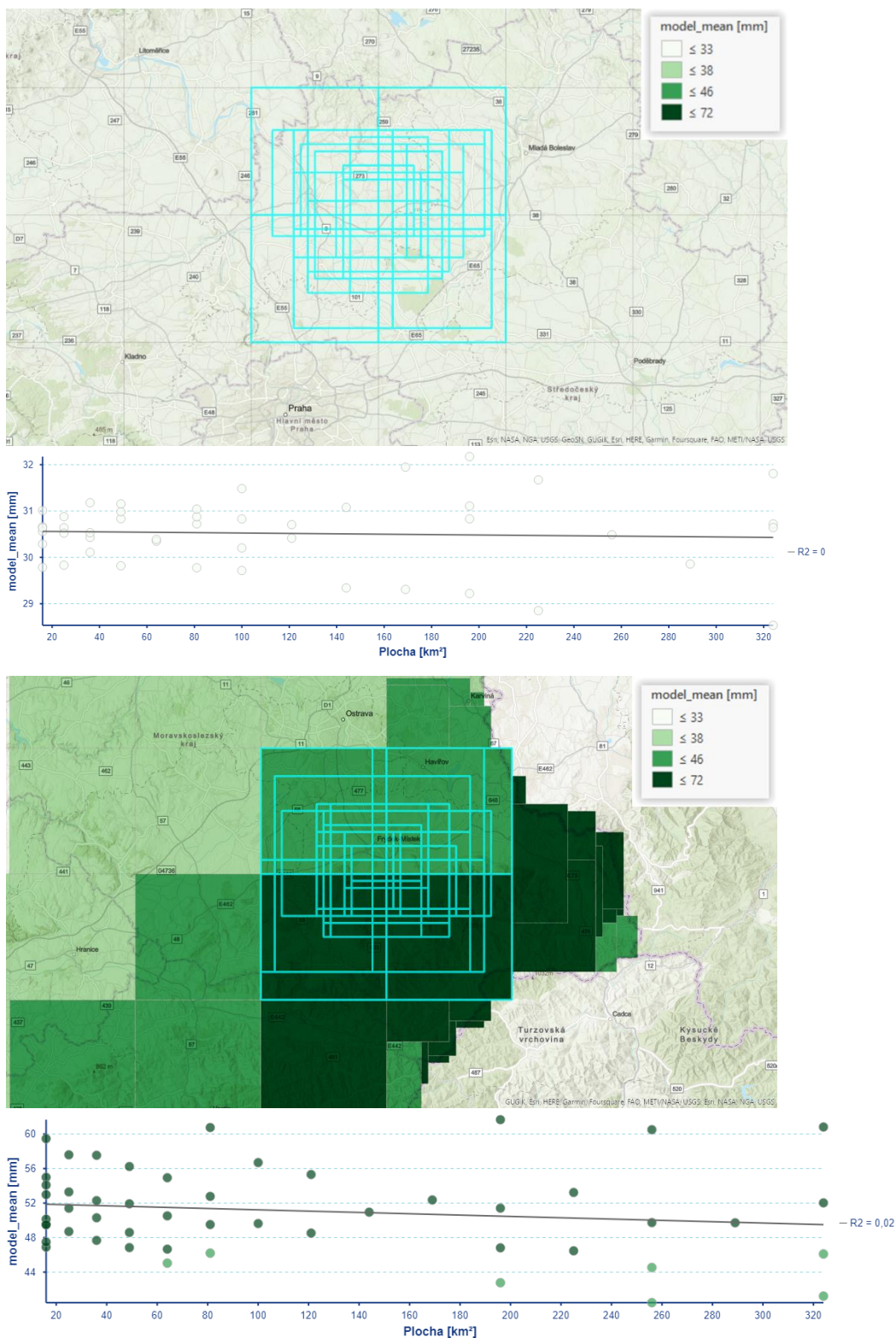
Obr. 4 Závislost modelových průměrných 1denních maxim (*model_mean*) na nadmořské výšce pro oblast Orlických hor (nahore) a Karlovarsko (dole).

Fig. 4 Dependence of the model mean of daily maxima (*model_mean*) on altitude for the area of Orlické hory (top) and Karlovarsko (bottom).



Obr. 5 Závislost modelových poměrů $N1/N100$ na nadmořské výšce pro oblast Orlických hor (nahore) a Karlovarsko (dole).

Fig. 5 Dependence of the model 1-year to 100-year ratio (poměr $N1/N100$) on altitude for the area of Orlické hory (top) and Karlovarsko (bottom).



Obr. 6 Závislost modelových průměrných 1denních maxim (*model_mean*) na velikosti uvažované plochy pro oblast Polabí (nahore) a severozápadní návětrí Beskyd (dole).

Fig. 6 Dependence of the model mean of daily maxima (*model_mean*) on the extent of the considered area for the Polabí region (above) and the north-west windward of the Beskydy mountains (bottom).

Zkoumána byla také závislost modelových průměrných 1denních maxim a poměrů *N1/N100* na nadmořské výšce. Významný vliv na velikost 1denních průměrných maxim má nadmořská výška v oblastech s výrazným návětrným efektem, viz obr. 4 nahore (Orlické hory). Naopak na

závětrné straně je závislost na nadmořské výšce prakticky zanedbatelná, viz obr. 4 dole (Karlovarsko). U poměrů $N1/N100$ je v těchto dvou regionech situace opačná. Zatímco na návětrné straně Orlických hor lze nějakou závislost vysledovat jen stěží (obr. 5 nahoře), na Karlovarsku s převažujícím závětrím pravděpodobně nadmořská výška jistý vliv má (obr. 5 dole).

U závislosti průměrných sezónních maxim na velikosti plochy byl předpokládán pokles jejich hodnot s rostoucí plochou. Vybrána byla dvě území, jedno v nížinné oblasti (Polabí) a druhé na severozápadním návětrí Beskyd (obr. 6). Ani v jedné oblasti však nebyl prokázán u průměrných 1denních maxim významnější vztah. Totéž lze tvrdit pro poměrné hodnoty $N1/N100$.

5. Závěr

V příspěvku byla provedena plošná analýza statistických charakteristik 1denních sezónních maximálních srážek (od 15. dubna do 15. října) získaných z interpolovaných denních úhrnů srážek za období 1961–2020. Data byla hromadně zpracována v prostředí GIS a pomocí Python skriptů v pravidelné gridové síti o ploše polygonu 4×4 km až 18×18 km. Pro každý polygon bylo získáno celkem 60 hodnot maximálních sezónních 1denních maxim, pro které byla za využití logaritmicko-normálního teoretického statistického rozdělení extrémních hodnot (LN3) odvozena čára opakování pro odvození teoretických sezónních N -letých hodnot 1denních srážek. Polygony byly hromadně analyzovány se zaměřením na modelové hodnoty charakteristik průměru, koeficientu variace a asymetrie a poměru teoretické 1leté a 100leté hodnoty.

V charakteristikách byla pozorována velká regionální proměnlivost související s vlivem orografie a návětrných efektů s ní spojených. V nížinách a pahorkatinách se pak projevuje významný vliv četnosti výskytu extrémních hodnot a jejich odlehlosti od průměru. Nadmořská výška má na průměrná 1denní maxima srážek velký vliv v oblastech s výrazným návětrným efektem, naopak na závětrné straně je závislost na nadmořské výšce prakticky zanedbatelná. Také významnější vztah mezi průměrnými 1denními maximy a velikostí uvažované plochy z analyzovaných dat prokázán nebyl.

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

AKAIKE, H., 1974. A new look at the statistical model identification, IEEE. *Transactions on Automatic Control*, **19**, 6, 716–723. <https://doi.org/10.1109/TAC.1974.1100705>

van der LOO, M. P. J., 2020. Extremevalues, an R package for outlier detection in univariate data. R package version 2.3.3. Dostupné z: <http://www.github.com/markvanderloo/extremevalues>

van der LOO, M. P. J., 2010. Distribution based outlier detection for univariate data. Discussion paper 10003, Statistics Netherlands, The Hague/Heerlen. Dostupné z: <https://cran.r-project.org/web/packages/extremevalues/vignettes/SN201003.pdf>