

UNIVERZITA KARLOVA

Přírodovědecká fakulta

Studijní program: Geografie

Studijní obor: Fyzická geografie a geoekologie



Bc. Martin Laco

**Nasycenost území Česka srážkami před extrémními
úhrny srážek**

Saturation of the Czech territory by precipitation before extreme
precipitation totals

Diplomová práce

Vedoucí práce: RNDr. Miloslav Müller, Ph.D.

Praha, 2023

Zadání diplomové práce

Název práce

Nasycenost území Česka srážkami před extrémními úhrny srážek

Cíle práce

Ve vodohospodářské praxi se při navrhování opatření v krajině předpokládá, že nasycenost území před extrémními úhrny srážek je v průměru normální. Hlavním cílem práce bude ověření platnosti tohoto předpokladu pro extrémní srážky různé délky trvání. K tomuto účelu bude upřesněna metodika hodnocení nasycenosti území relativně k jejím průměrným hodnotám, které budou v práci rovněž analyzovány.

Použité pracovní metody, zájmové území, datové zdroje

Základním nástrojem práce bude index předchozích srážek (API). Bude provedena analýza hodnot tohoto indexu pro vybrané srážkoměrné stanice na území Česka, pro které existují měření subdenních srážkových intenzit za několik desetiletí; k dispozici budou roční maxima těchto intenzit. Kromě srážkových úhrnů budou dále využita doplňková data pro popis atmosférických podmínek během srážkových maxim a vztažena k velikostem nasycenosti.

Datum zadání: 30. listopadu 2020

Jméno studenta: Bc. Martin Laco

Podpis studenta:.....

Jméno vedoucího práce: RNDr. Miloslav Müller, Ph.D.

Podpis vedoucího práce:

Prohlášení

Čestně prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracoval samostatně pod odborným vedením školitele a že jsem uvedl všechny informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze, dne.....

.....

Martin Laco

Pod'akovanie

Na tomto mieste by som sa chcel veľmi poďakovať predovšetkým vedúcemu práce RNDr. Miloslavovi Müllerovi, Ph.D. za ponuku pracovať na tejto zaujímavej téme, venovaný čas, cenné rady a návrhy, ktoré pomohli dotvoriť prácu do finálnej podoby. Rovnako by som sa chcel poďakovať aj RNDr. Marekovi Kašparovi, Ph.D. za konzultácie a pripomienky k niektorým pasážam tejto práce. Ďalej patrí moja vďaka Univerzite Karlovej v Prahe, bez ktorej by som nemohol čerpať informácie zo zahraničnej literatúry. Poďakovanie patrí aj ČHMÚ za poskytnuté dáta o subdenných maximálnych úhrnoch. Nakoniec sa chcem poďakovať mojej rodine a spolužiakom z vysokej školy za podporu a ústretovosť počas celého štúdia.

Abstrakt

Nasýtenosť územia patrí k významným faktorom, ktoré prispievajú k vzniku významných povodní. Príkladom povodní, kedy významná predošlá nasýtenosť zohrala výraznú úlohu, sú povodne z rokov 1997, 2002 a 2013. Bližší popis nasýtenosti pred silnými zrážkami v priestore Česka chýbal. Hlavným cieľom práce preto bolo popísať rozloženie nasýtenosti pomocou vhodného indexu nasýtenia pred prípadmi silných zrážok v Česku a tiež pokúsiť sa vyjadriť pravdepodobnosť výskytu silných zrážok v kombinácii s vysokou nasýtenosťou, a to pomocou navrhnutého ukazovateľa významu relatívnej nasýtenosti. Na základe výsledkov práce môžeme tvrdiť, že vo všeobecnosti môže byť nasýtenosť pred silnými zrážkami rôznorodá (hlavne pre časové intervaly do 2,5 hodiny), ale v priemere je skôr normálna. Mierne zvýšená je v oblasti hôr, predovšetkým na východe krajiny a pre silné zrážkové úhrny najdlhších analyzovaných časových intervalov. Avšak pri zohľadnení extremity silných zrážok sa ukazuje, že nasýtenosť zvykne byť výraznejšie zvýšená hlavne pre najsilnejšie zrážky dlhších časových intervalov v horských polohách a ich okolí. Najvýraznejšie rozdiely medzi krátkymi a dlhými časovými intervalmi vidíme takisto na horských staniách. Pre veľkú časť staníc je typické, že hodnoty navrhnutého ukazovateľa významu relatívnej nasýtenosti sú pred časovými intervalmi silných zrážok do 2,5 hodiny nízke a pred dvanásťhodinovými či dvadsaťštyrihodinovými naopak vysoké. Existujú však stanice, na ktorých je hodnota ukazovateľa vysoká pri všetkých analyzovaných časových intervaloch. Tieto rozdiely naprieč skúmanými stanicami a rovnako tak aj analyzovanými časovými intervalmi sú pravdepodobne spôsobené odlišnou genézou silných zrážok.

Kľúčové slová: ročné maximum úhrnu zrážok, index API, nasýtenosť, silné zrážky, Česko

Abstract

The saturation of territory is one of the important factors contributing to the occurrence of significant floods. Examples of floods where significant previous saturation played a significant role are, the floods of 1997, 2002 and 2013. A more detailed description of saturation before heavy rainfall in the Czech Republic was missing. The main goal of the work was therefore to describe the distribution of saturation using a suitable index of saturation before the cases of heavy precipitation in the Czech Republic, and also to try to describe the probability of heavy precipitation events in combination with high saturation, using the proposed indicator of the importance of relative saturation. Based on the results of the work, we can say that, in general, the saturation before heavy precipitation totals can be diverse (mainly for the shortest analyzed time intervals), but on average it is rather normal. It is slightly increased in the mountain area, especially in the East of the country and for strong precipitation totals of the longest analyzed time intervals. However, when taking into account the extremity of heavy precipitation totals, it turns out that the saturation tends to be significantly increased mainly for the heaviest precipitation of longer time intervals in mountainous locations and their surroundings. We also see the most significant differences between short and long time intervals at mountain stations. For a large group of the stations, it is typical that the values of the proposed indicator of the importance of relative saturation are low before the time intervals of heavy precipitation totals within 2,5 hours and, on the contrary, high before the twelve or twenty four hour interval. However, there are stations where the value of the indicator is high in all analyzed time intervals. These differences among the investigated stations as well as the analyzed time intervals are probably caused by the different genesis of heavy precipitation.

Key words: annual maximum precipitation total, index API, saturation, heavy precipitation, Czechia

Obsah

| | |
|-------------------------------------------------------------|-----------|
| Zoznam použitých skratiek | 9 |
| 1 Úvod..... | 10 |
| 2 Voda v povodí | 11 |
| 2.1 Formy vody v povodí | 11 |
| 2.2 Faktory ovplyvňujúce množstvo vody v povodí..... | 13 |
| 2.2.1 Meteorologické faktory..... | 13 |
| 2.2.2 Fyzickogeografické faktory..... | 14 |
| 2.2.3 Antropogénne faktory | 15 |
| 2.3 Meranie množstva vody v povodí | 16 |
| 2.3.1 In-situ merania | 16 |
| 2.3.2 Dištančné metódy | 18 |
| 2.3 Ukazovatele nasýtenosti | 22 |
| 2.3.1 Index predošlých zrážok (API) | 23 |
| 2.3.2 Normalizovaný index predošlých zrážok (NAPI)..... | 25 |
| 2.3.3 Indikátor privalových povodní (FFI)..... | 26 |
| 3 Dáta a metódy | 27 |
| 3.1 Použité dáta..... | 27 |
| 3.2 Vyjadrenie nasýtenosti a klimatológia API..... | 28 |
| 3.3 Normovanie hodnôt API..... | 29 |
| 3.4 Ukazovateľ významu relatívnej nasýtenosti..... | 31 |
| 3.5 Určenie charakteru silných zrážok | 33 |
| 4 Klimatológia indexu API | 35 |
| 4.1 Priemerné API | 35 |
| 4.2 Ročný chod indexu API..... | 37 |
| 5 Rozdelenie API pred extrémnymi úhrnmi zrážok | 41 |
| 5.1 API pred maximálnymi dennými úhrnmi zrážok | 41 |

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 5.2 API pred maximálnymi subdennými úhrnmi zrážok..... | 51 |
| 6 Možné faktory ovplyvňujúce relatívnu nasýtenosť pred extrémnymi úhrnmi zrážok | 59 |
| 6.1 Faktory ovplyvňujúce API pred R _{60x} | 60 |
| 6.2 Faktory ovplyvňujúce API pred R _{360x} | 64 |
| 6.3 Faktory ovplyvňujúce API pred R _{720x} | 67 |
| 7 Analýza vybraných zrážkových situácií..... | 71 |
| 7.1 Situácia 1.-5. 8. 1983 | 71 |
| 7.2 Situácia 12.7.-13.7. 1984..... | 74 |
| 7.3 Situácia 4.-8.7. 1997..... | 77 |
| 7.4 Porovnanie analyzovaných situácií | 80 |
| 8 Zhrnutie poznatkov a ich diskusia..... | 82 |
| 8.1 Zhrnutie a diskusia hlavných výsledkov práce..... | 82 |
| 8.2 Diskusia použitých metód | 86 |
| 9 Záver..... | 91 |
| Zoznam použitej literatúry | 92 |
| Zoznam obrázkov a tabuliek | 96 |
| Zoznam príloh | 99 |

Zoznam použitých skratiek

AMSR-E: Advanced Microwave Scanning Radiometer (pokročilý mikrovlnný skenovací rádiometer pre)

API: Antecedent precipitation index (index predošlých zrážok)

ASCAT: Advanced Scatterometer

ČHMÚ: Český hydrometeorologický ústav

NAPI: Normalized antecedent precipitation index (normovaný index predošlých zrážok)

NCAR: National Center for Atmospheric Research (národné centrum pre výskum atmosféry)

NCEP: National Centers for Environmental Prediction (národné centrá pre environmentálnu predpoveď)

NDVI: Normalized difference vegetation index (normalizovaný diferenčný vegetačný index)

SAR: Synthetic Aperture Radar (radar so syntetickou apertúrou)

SELČ: Stredoeurópsky letný čas

SMAP: Soil Moisture Active Passive (radar so syntetickou apertúrou)

SMOS: Soil Moisture and Ocean Salinity (pôdna vlhkosť a salinita oceánu)

TDR: time domain reflectometry

TDT: time domain transmission

1 Úvod

Významné povodne v rokoch 1997, 2002 alebo naposledy v roku 2013 zvýraznili význam nasýtenosti územia ako dôležitý faktor vzniku silných povodní. Zvýšená nasýtenosť územia v kombinácii s ďalšími zrážkami spôsobili v uvedených rokoch mimoriadne silné povodne. Informácia o nasýtenosti územia nie je dôležitá len pre hydrometeorológov pri predpovedaní odtokovej odozvy, ale vie byť cennou aj pre inžinierov, ktorí navrhujú v krajine stavby, ako sú napríklad priepustky, hrádze atď. Pri navrhovaní týchto stavieb sú využívané tzv. návrhové intenzity zrážok. Veľmi často sa pritom predpokladá, že tieto silné zrážky padajú do normálne nasýteného povodia. Hlavnou motiváciou a cieľom tejto diplomovej práce preto bolo, pomocou vhodných metód, overiť túto skutočnosť. Motiváciou tiež bola snaha bližšie popísať podmienky nasýtenosti pred silnými zrážkami v Česku, nakoľko ucelená informácia o tom, ako sa správa rozloženie úhrnov zrážok pred silnými zrážkami v priestore Česka, chýbala.

V rešeršnej časti práce sú krátko predstavené rôzne formy vody v povodí a faktory vplývajúce na jej množstvo. Ďalej sú popísané niektoré metódy merania množstva vody v povodí. Nakoniec sú v teoretickej časti práce popísané aj indexy slúžiace na odhad množstva vody v povodí, pričom ten najznámejší z nich (API) je využitý aj v praktickej časti práce.

Praktická časť práce v jej úvode ponúka, okrem popisu použitých metód, aj pohľad na klimatológiu indexu API. Hlavným cieľom popisu klimatológie API bolo poukázanie na potrebu vzťahovať spočítané hodnoty indexu API k ich normálu a tzv. ich normovať. Cieľom ďalšej časti práce bol popis hodnôt relatívnej nasýtenosti pred silnými zrážkami rôznych časových intervalov, od pol hodiny až po 24 hodín. Hlavnou hypotézou bolo, že pred silnými zrážkami krátkych časových intervalov bude relatívna nasýtenosť nižšia. Takisto sme predpokladali, že nasýtenosť bude zvýšená pred silnými zrážkami dlhších časových intervalov skôr na horách a v ich okolí ako na nížinách. Práca sa tiež pokúša popísať vzťah medzi silnými zrážkami a predošlou nasýtenosťou. Splnením a overením vyššie popísaných cieľov a hypotéz sa práca snaží pre skúmané stanice vyjadriť pravdepodobnosť výskytu udalostí silných úhrnov zrážok v kombinácii s vysokou nasýtenosťou.

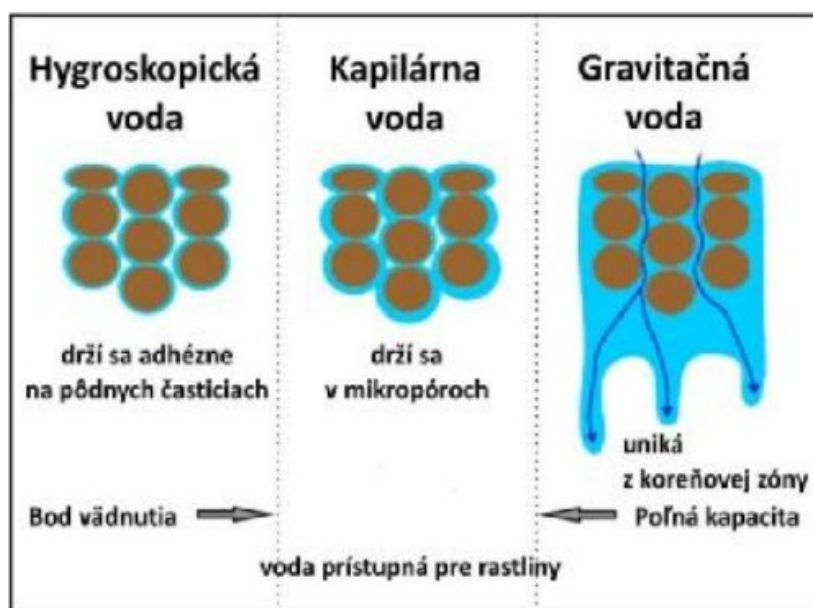
2 Voda v povodí

2.1 Formy vody v povodí

V rámci povodia môže byť voda akumulovaná v rôznych formách. Ide hlavne o kvapalnú vodu v pôde, podzemnú vodu, či vodu akumulovanú v riekach, jazerách a iných rezervoároch. Dôležitou súčasťou hydrologického cyklu je aj voda nachádzajúca sa v povodí vo forme snehu, či ľadu (Davie, 2008).

Vodu pod zemským povrchom môžeme rozdeliť do dvoch kategórií a to na vodu v nasýtenej zóne a vodu v nenasýtenej zóne. Voda v nasýtenej zóne sa nazýva tiež vodou podzemnou. Táto voda sa sem dostala infiltráciou vody zo zóny nenasýtenej v ktorej je väčšina vody viazaná v pôde.

Kvapalná voda v pôde môže existovať v troch rôznych formách (obr. 2.1) podľa toho aké sily na ňu pôsobia, respektíve ktorými je v pôde viazaná. Voda gravitačná sa v pôde pohybuje pôsobením sily gravitácie. Ide o tzv. voľnú vodu nachádzajúcu sa v makropóroch, ktorá perkoluje k hladine podzemnej vody. Po odznení dažďa rýchlo odteká preferenčnými cestami. Ďalšou formou pôdnej vody je voda viazaná (adsorbčná). Táto voda je viazaná v mikropóroch pôsobením kohéznych síl, ktoré pôsobia proti gravitácii. Tento druh pôdnej vody je prístupný pre rastliny. Posledným druhom pôdnej vody je voda hygroskopická, ktorá vytvára veľmi tenký film na povrchu pôdných častíc. Hygroskopická voda je viazaná veľmi silnými adhéznymi silami a teda nie je dostupná rastlinám (Čurlík, Jurkovič, 2012; Susha Lekshmi et al., 2014).



Obr. 2.1 Rôzne formy pôdnej vody (zdroj: Čurlík, Jurkovič 2012)

Množstvo vody v pôde môže byť vyjadrené relatívne ako hmotnostná vlhkosť pôdy, alebo ako objemová vlhkosť pôdy. Hmotnostná vlhkosť je definovaná ako pomer hmotnosti vody vo vzorke pôdy a celkovej hmotnosti tejto vzorky pôdy, zatiaľ čo objemová vlhkosť pôdy je vyjadrená pomerom medzi objemom vody vo vzorke pôdy a celkovým objemom tejto vzorky pôdy.

Ako už bolo spomenuté vyššie, gravitačná voda časom perkoluje k hladine podzemnej vody. Táto voda sa pohybuje relatívne pomaly a nezúčastňuje sa procesu evapotranspirácie. Výnimku tvoria iba hlboko koreniace rastliny, ktoré dosiahnu až k hladine podzemnej vody (Davie 2008). Podzemné vody sa členia podľa viacerých kritérií, ako sú napríklad hydraulické pomery zvodneného prostredia, či miera priepustnosti horninového prostredia. Hydraulické pomery sú rozhodujúce pre to, či sa podzemná voda vyskytuje o voľnej hladine vnútri priepustného horninového podložia o atmosférickom tlaku, alebo o napätej hladine pri stlačení voľnej hladiny nepriepustným nadložíom (Tlapák et al., 1992).

Podľa priepustnosti hornín sa podzemné vody delia na vody prielinové, puklinové a krasové. Voda prielinová vyplňa priestory v usadených horninách a zeminách a jej pohyb je veľmi pomalý. Puklinová podzemná voda sa nachádza a pohybuje v trhlinách, puklinách a zlomoch medzi vrstvami hornín. Rýchlosť jej prúdenia je ovplyvňovaná predovšetkým mierou narušenia hornín, tektonikou a petrografickým zložením. V horninách s puklinami a podzemnými chodbami sa vyskytuje podzemná voda krasová. Tieto vody sú často dopĺňované infiltráciou a ponormi povrchových vodných tokov (Tlapák et al., 1992).

Dôležitou zásobárňou vody v povodí je aj voda akumulovaná v snehu, či ľade. To platí hlavne pre krajiny vo vysokých zemepisných šírkach alebo krajiny, kde sa vyskytujú horské pásma. Postupné uvoľňovanie vody z ľadu a snehu má výrazný vplyv na hydrológiu mnohých povodí (Davie 2008). Príkladom je povodie Rýna. V jeho horskej časti v oblasti Álp sú zrážky počas zimy dočasne akumulované vo forme snehu. V priebehu jarných mesiacov sa tento sneh roztápa a v priemere predstavuje približne 34% ročného prietoku v Lobithe v Holandsku (Khanal et al., 2019).

2.2 Faktory ovplyvňujúce množstvo vody v povodí

2.2.1 Meteorologické faktory

Množstvo vody v povodí, a teda miera jeho nasýtenosti, je ovplyvňovaná viacerými meteorologickými a fyzickogeografickými faktormi. Zrejme najvýznamnejším meteorologickým faktorom ovplyvňujúcim množstvo vody v povodí sú atmosférické zrážky, hlavne ich množstvo, ale aj intenzita a rozloženie zrážkových úhrnov v čase a priestore, sa výrazne podieľajú na vývoji množstva vody v povodí a teda nasýtenosti. Dôležitým aspektom je ich rozloženie v čase, kedy smerom do minulosti klesá význam spadnutých zrážok. Pri nerovnomernom rozložení zrážok je nárast nasýtenosti menší a to vplyvom vysokého povrchového odtoku pri intenzívnych zrážkach, hlavne konvektívneho charakteru. Naopak pri rovnomernom rozložení zrážok, avšak ich malej intenzite takisto nedochádza k výraznému navýšeniu množstva vody v povodí a vplyvom zosilnenej evaporácie a značným podielom intercepcie (Müller 2007).

Pri atmosférických zrážkach a ich vplyve na množstvo vody v povodí je potrebné spomenúť aj faktor autokorelácie zrážkových úhrnov. Autokorelácia v dátach zrážkových úhrnov súvisí s výskytom tzv. združených zrážkových udalostí, pri ktorých je územie zasiahnuté viacerými systémami nízkeho tlaku vzduchu v priebehu pár dní, alebo nad týmto územím pretrváva dlhšiu dobu oblasť nízkeho tlaku vzduchu, či zvlnený studený front. Súvisí to s tým, že atmosféra má tendenciu k opakovaniu synoptických situácií (Khanal a kol. 2019, Müller 2007). Autori Khanal a kol. 2019 ďalej upozorňujú, že práve faktor autokorelácie úhrnov zrážok (teda výskyt združených zrážkových udalostí) hrá významnú rolu pri povodňových situáciách.

Ďalšími významnými meteorologickými faktormi, ktoré ovplyvňujú množstvo vody v povodí, sú teplota vzduchu, relatívna vlhkosť vzduchu a rýchlosť vetra, ktoré majú vplyv na výpar. Výpar všeobecne rastie s narastajúcou teplotou, klesajúcou hodnotou relatívnej vlhkosti vzduchu a narastajúcou rýchlosťou vetra.

2.2.2 Fyzickogeografické faktory

Medzi najvýznamnejšie fyzickogeografické faktory ovplyvňujúce aké množstvo vody sa v povodí nachádza, patrí tvar reliéfu. Územie s výraznejšími sklonmi svahov je charakteristické rýchlejším stekaním vody a teda menšou schopnosťou vody vsiaknuť sa do pôdy. Naopak, ak je územie prevažne rovinaté a navyše sa v ňom nachádzajú rôzne terénne depresie, je schopné zadržať viac vody. Pre horské oblasti je takisto dôležitá aj expozícia svahov, ktorá má vplyv na topenie snehu (Volková 2010).

Na odtok vody a teda na jej celkové množstvo v povodí má ďalej vplyv aj tvar povodia, jeho veľkosť a usporiadanie riečnej siete. Pri plošne rovnakých povodiach sa voda v zaokrúhlených tvaroch povodia koncentruje rýchlejšie a vytvára vyšší odtok. Naopak pre pretiahnuté tvary povodia platí, že odtoky vody sú objemovo nižšie a časovo dlhšie (Tlapák, Šálek, Legát 1992). Usporiadanie riečnej siete je dôležité hlavne pri povodniach. Postupové doby sú pri vejárovitom usporiadaní riečnej siete veľmi podobné a preto dochádza v mieste sútoku k stretu kulminačných prietokov. Pri stromovitom usporiadaní riečnej siete sa kulminačné prietoky postupne vystriedajú, čo značí menšie riziko vzniku veľkých povodní (Volková 2010).

Ďalším z faktorov, ktoré vplývajú na objem vody v povodí sú jeho geologické pomery. Nezvetrané kryštalické horniny, ako napríklad žula, prispievajú k vyššiemu odtoku, pretože sú nepriepustné, avšak v zvetranom stave môžu infiltráciu vody zvýšiť. Na druhú stranu horniny s vysokou porozitou, štrky, či hlboko mechanicky zvetrané alebo krasové horniny vykazujú vysokú priepustnosť (Schwarzová 2021).

Podobne ako pri horninách, tak aj pri pôdach platí, že ak je pôda viac pórovitá zvyšuje sa jej infiltračná schopnosť. Na retenčnú schopnosť pôdy majú ďalej vplyv aj samotný druh pôdy, obsah humusu, miera jej zhutnenia a jej štruktúra (Schwarzová 2021).

Veľký význam pre bilanciu vody v povodí má vegetačný pokryv krajiny. Zdravý zmiešaný les dokáže vďaka intercepcii, pod ktorou rozumieme zachytávanie zrážkovej vody na povrchu listov či telách rastlín, výrazne zmierniť kulminačné prietoky. Na veľkosť intercepcie vplýva, ako bolo spomenuté vyššie, intenzita zrážok, ale aj druhové zloženie lesa. Vyššiu mieru intercepcie vykazujú ihličnaté porasty. Ich význam narastá hlavne v období zimy, pretože, na rozdiel od listnatých porastov, ihličnaté lesy nezhadzujú listy. Dôležitý je aj koreňový systém lesa, vďaka ktorému je pôda schopná poňať väčšie množstvo vody, pretože korene vytvárajú v pôde viac pórov. Celkovo hrá lesná pôda významnú úlohu pri

zrážkovo-odtokovom režime, obzvlášť pri povodniach. Pri povodňových udalostiach je lesná pôda schopná zachytiť oveľa vyššie množstvo vody, ako je to pri pôdach poľnohospodárskych, a to vďaka jej štruktúre (Volková 2010). Schopnosť pôdy akumulovať vodu je ovplyvnená nie len jej fyzikálnymi vlastnosťami, ale aj mierou naplnenia vodnej kapacity v období pred príčinnými zrážkami (Kantor et al., 2003), čo poukazuje na význam predošlých úhrnov zrážok a faktoru autokorelácie zrážkových úhrnov. Podobné vlastnosti ako les majú aj trvalé trávnaté porasty, ktoré takisto prispievajú celkovo k zvýšeniu schopnosti povodia akumulovať vodu.

2.2.3 Antropogénne faktory

Na akumuláciu vody v povodí má výrazný vplyv aj ľudský faktor. Na množstvo zachytenej vody majú vplyv napríklad malé vodné nádrže alebo úpravy koryta vodného toku. Antropogénne úpravy koryta, najčastejšie jeho napriamanie, vedú k rýchlejšiemu odtoku vody z krajiny. Rovnaký vplyv majú aj zastavané urbanizované plochy, pretože tieto plochy sú prevažne tvorené nepriepustnými materiálmi a tým pádom majú v podstate nulovú retenčnú schopnosť (Schwarzová 2021). Na druhú stranu revitalizačné opatrenia, ako sú napríklad obnovy fluvialno-morfologických charakteristík korýt vodných tokov, prispievajú k vyššej schopnosti zadržať vodu v krajine.

Využitie krajiny človekom vo všeobecnosti má významný vplyv na odtok a zdržiavanie vody v krajine. Negatívny dopad na retenčnú schopnosť krajiny má intenzívne poľnohospodárstvo, pretože pri intenzívnom využívaní pôdy dochádza k znižovaniu retenčnej a akumulačnej schopnosti pôdy. Takisto významný je podiel lesných plôch v povodí, čo už bolo spomenuté v predošlej podkapitole.

2.3 Meranie množstva vody v povodí

V nasledujúcej kapitole budú stručne popísané rôzne metódy získavania informácií o pôdnej vlhkosti. Popísané budú tzv. in-situ merania, ale aj metódy diaľkového prieskumu Zeme. Týchto metód existuje niekoľko, z tohto dôvodu budú preto popísané len niektoré z nich.

2.3.1 In-situ merania

In-situ metódy merania pôdnej vlhkosti sú považované za najpresnejšie, avšak kvôli vysokým nákladom na inštaláciu a údržbu, je často hustota dát nepostačujúca na odhad pôdnej vlhkosti na väčšom území (Zhao et al., 2019).

Podľa Valkoviča (2010) môžeme metódy merania pôdnej vlhkosti, podľa toho či je potrebné odobrať vzorku pôdy alebo nie, rozdeliť na metódy deštruktívne a metódy nedeštruktívne. Pri deštruktívnych metódach je potrebné mechanicky odobrať vzorku pôdy. Ďalej je možné deliť metódy merania pôdnej vlhkosti podľa spôsobu jej zistenia na metódy priame a nepriame. Pri priamej metóde sa meria priamo množstvo vody v pôde. Nepriama metóda merania pôdnej vlhkosti je založená na meraní určitých fyzikálnych veličín, ktoré sú závislé na vlhkosti pôdy. Medzi fyzikálne veličiny, ktoré sú merané patrí napríklad elektrická vodivosť, elektrický odpor, dielektrická konštanta (permitivita), objemová tepelná vodivosť pôdy a hmotnostná tepelná kapacita pôdy, či spomalenie rýchlych neutrónov (Valkovič 2010).

Medzi najjednoduchšie ale zároveň aj najpresnejšie metódy patrí metóda gravimetrická. Princíp tejto metódy spočíva v tom, že sa odoberie určitá vzorka pôdy, tá je zvážená. Následne sa nechá táto vzorka pri teplote 105 °C vysušiť. Tento proces by mal trvať 24 hodín a po vysušení sa vzorka pôdy opätovne zváži (Davie, 2008).

Gravimetrická metóda patrí medzi deštruktívne metódy. Tento fakt znamená, že jej hlavnou nevýhodou je nemožnosť opakovaného merania na tej istej vzorke pôdy, čo môže byť problém pri potrebe dlhodobého sledovania vlhkosti pôdy. Na druhú stranu jej výhodami sú presnosť, čo je využívané pre kalibráciu vlhkomerov, univerzálnosť a nezávislosť na druhu pôdy (Valkovič 2010).

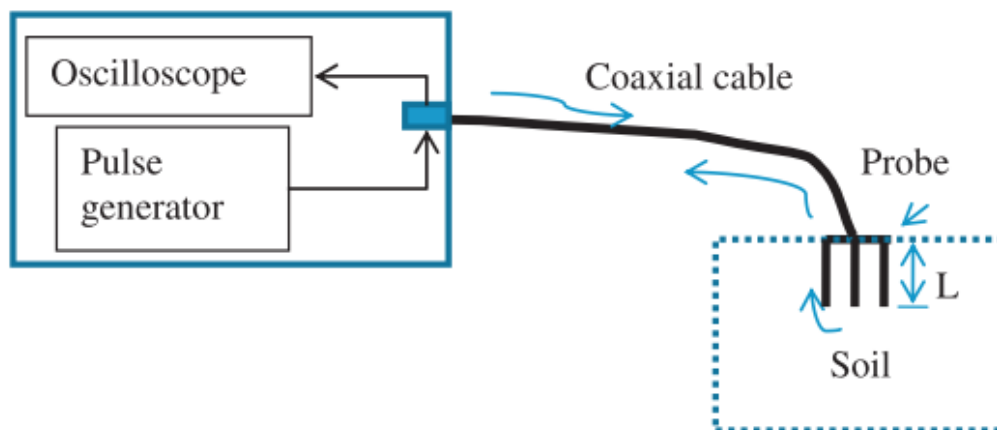
Ďalšou známou in-situ metódou je metóda, využívajúca neutrónovú sondu, ktorá patrí medzi nepriame metódy a spočíva v zisťovaní miery spomalenia vyžarovaných neutrónov. Prístroje, ktoré sa používajú pri tejto metóde, sa nazývajú neutrónové vlhkomery.

Neutrónové vlhkomery pozostávajú zo zdroja emitujúceho rýchle neutróny a detektora pomalých neutrónov. Neutróny vyžiarené zo zdroja narážajú do okolitých častíc v pôde. Ak neutrón narazí na atómové jadro vodíka je spomaľovaný oveľa viac ako keď narazí na pôdnu časticu. Na základe toho, že vodík sa v pôde väčšinou vyskytuje ako súčasť molekuly vody, je podiel spomalených neutrónov dobrým vyjadrením obsahu vody v pôde (Davie, 2008; Susha Lekshmi et al., 2014).

Výhodami tejto metódy je rýchle získanie dát a nedeštruktívny spôsob merania. Problémom je radiačné riziko pre personál obsluhujúci prístroj, či vysoká cena prístroja (Davie, 2008).

Jednými z najnovších techník získavania informácie o pôdnej vlhkosti sú metódy TDR (time domain reflectometry) a TDT (time domain transmission). Obidve metódy sú založené na meraní rýchlosti šírenia elektromagnetického signálu medzi dvomi elektródami. Rýchlosť šírenia tohto signálu závisí na vlhkosti pôdy. Na základe tejto informácie sme tak schopní zistiť permitivitu materiálu, v tomto prípade pôdy, v ktorom sú elektródy zabudované (Robinson et al., 2008). Meranie pôdnej vlhkosti pomocou metódy TDR je schematicky znázornené na obr. 2.2.

Medzi výhody tejto metódy patrí vysoká presnosť a rýchlosť merania, či jednoducho opakovateľné a automatizované merania. Naopak nevýhodou je vysoká vstupná cena alebo zhoršená kvalita meraní v pôdach s vysokým obsahom solí (Valkovič 2010).



Obr. 2.2 Schéma merania pôdnej vlhkosti pomocou metódy TDR (zdroj: Susha Lekshmi et al., 2014).

Mieru pôdnej vlhkosti je možné zistiť aj pomocou tenziometra, ktorý dokáže vďaka závislosti sacieho tlaku na vlhkosti pôdy určiť mieru pôdnej vlhkosti. Tenziometer sa skladá z poréznej tenkostennej banky, ktorá je spojená s vakuometrom spojovacou trubicou naplnenou vodou (Valkovič 2010). Tlak vody v spojovacej trubici sa snaží vyrovnáť sa tlaku vody v okolitej pôde, v ktorej je prístroj zabudovaný. Suchá pôda si z trubice cez poréznu banku nasáva vodu a tým pádom dôjde k poklesu hydrostatického tlaku a tento pokles je zaznamenaný (Čurlík, Jurkovič, 2012; Susha Lekshmi et al., 2014).

Poslednou popisovanou in-situ metódou je metóda využívajúca tzv. Ground Penetrating radar. Tento spôsob merania vlhkosti v pôde patrí medzi tzv. elektromagnetické metódy. Pri meraní týmto prístrojom sa využíva prenos a odraz elektromagnetických vln o vysokej frekvencii (1 MHz – 1 GHz) pod povrchom. Merania opäť poskytujú informácie o permitivite podpovrchového materiálu. Výhodou je vysoké rozlíšenie a neinvazívna forma získavania informácie z veľkej plochy. Na to, aby sme získali kvalitné dáta a vedeli ich správne interpretovať, je potrebná kvalifikovaná obsluha, čo sa môže javiť ako nevýhoda. Ďalšou nevýhodou je silný útlm signálu vo veľmi zasolených pôdach (Robinson et al., 2008).

2.3.2 Dištančné metódy

Pomocou metód diaľkového prieskumu Zeme sme schopní získať informáciu o obsahu vody v pôde z veľkej plochy územia, prípadne z územia, kde nemáme možnosť merať pôdnu vlhkosť priamo. Táto skutočnosť sa oproti vyššie opísaným bodovým meraniam javí ako výhoda. Na druhú stranu nevýhodou diaľkového prieskumu Zeme pri zisťovaní vlhkosti pôdy je pomerne hrubé priestorové a časové rozlíšenie ako aj fakt, že informácie o vlhkosti sme schopní získať iba z pomerne tenkej vrstvy pôdy. Všetky tieto nevýhody môžu byť prekážkou pri rôznych hydrologických aplikáciách (Ahlmer et al., 2018).

Na určenie pôdnej vlhkosti metódami diaľkového prieskumu Zeme sa využívajú rôzne pásma elektromagnetického spektra. Už v sedemdesiatych a osemdesiatych rokoch dvadsiateho storočia sa na odhad pôdnej vlhkosti pomocou satelitov využívalo viditeľné spektrum a blízke infračervené pásmo. Neskôr bol zistený vzťah medzi pôdnou vlhkosťou a normalizovaným diferenčným vegetačným indexom (NDVI), ktorý je veľmi citlivý na vodný stres a stal sa veľmi často používaný na detekovanie sucha (Srivastava, 2017; Zhang and Zhou, 2016).

V súčasnosti sa informácie o pôdnej vlhkosti najčastejšie získavajú pomocou aktívnych a pasívnych senzorov pracujúcich v oblasti mikrovlnnej časti elektromagnetického spektra (Ahlmer et al., 2018). Súhrn rôznych metód diaľkového prieskumu Zeme používaných na odhad pôdnej vlhkosti je uvedený v tab. 2.1.

Tab. 2.1 Súhrn metód diaľkového prieskumu Zeme používaných na odhad pôdnej vlhkosti. Ďalej sú v tabuľke uvedené aj ich výhody a nevýhody (upravené) (zdroj: Zhang, Zhou 2016).

| Kategória | Výhody | Nevýhody |
|-----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| Opické senzory | Kvalitné priestorové rozlíšenie, vyspelá technológia, dostupné vo viacerých pásmach | Rušenie vegetáciou, zlé časové rozlíšenie, ovplyvnenie atmosférou |
| Pasívne mikrovlnné senzory | Vysoká presnosť pre holé pôdy, nezávislosť na dennej dobe a oblačnosti, vysoké časové rozlíšenie | Hrubé priestorové rozlíšenie, ovplyvnenie vegetáciou a terénymi nerovnosťami |
| Aktívne mikrovlnné senzory | Dostatočné priestorové rozlíšenie, nezávislosť dennej dobe a oblačnosti | Ovplyvnenie vegetáciou a terénymi nerovnosťami, hrubé časové rozlíšenie |
| Synergické metódy | Vysoké priestorové rozlíšenie, minimalizácia vplyvov vegetácie a terénnych nerovností na merania | Limitovné dennou dobou, oblačnosťou, slabé časové rozlíšenie |

Vo všeobecnosti pre pasívne senzory platí, že prijímajú elektromagnetické žiarenie odrazené a vyžiarené od zemského povrchu. Nástroj diaľkového prieskumu Zeme, ktorý je schopný zachytiť žiarenie emitované zemským povrchom, sa nazýva rádiometer. Pôda, rovnako ako iné materiály, emituje do atmosféry žiarenie, pričom emisivita rastie so zvyšujúcou sa teplotou (Robinson et al., 2008).

Princíp zisťovania povrchovej vlhkosti pôdy pasívnymi senzormi spočíva v meraní tzv. radiačná teplota (brightness temperature). Podľa autorov Robinson et al. (2008) je vzorec

$$T_b = e * T \quad (1),$$

kde T_b je radiačná teplota, e je emisivita a T teplota pôdy, vhodný na popis pôdnej vlhkosti, pretože emisivita je lineárnou funkciou obsahu vody v pôde. Tým pádom čím je obsah vody v pôde vyšší, tým je emisivita nižšia. Z vyššie uvedeného vzorca tak vyplýva, že vlhšia pôda má nižšiu radiačnú teplotu (Robinson et al., 2008).

Pasívne senzory, ktoré pracujú s mikrovlnami, majú oproti tým, ktoré používajú kratšie vlnové dĺžky (z oblasti viditeľného či infračerveného pásma) značné výhody. Jednou z nich je fakt, že mikrovlnné senzory sú schopné zmerať emitované žiarenie z väčšej hĺbky. Hrúbka vrstvy, z ktorej je rádiometer schopný zachytiť emitované žiarenie, závisí na frekvencii a vlnovej dĺžke, na ktorej rádiometer pracuje. Napríklad na frekvencii 1,4 GHz (vlnová dĺžka približne 21,5 cm) je to približne 3-5 cm, zatiaľ čo na frekvencii 19 GHz (vlnová dĺžka približne 1,6 cm) je to iba pár mm. Ďalšou výhodou je ich schopnosť preniknúť oblačnosťou (Robinson et al., 2008).

Pri metódach využívajúcich aktívne senzory (radary) sa zisťuje miera rozptýlenia žiarenia v pôde, ktoré je aktívnymi senzormi vysielané do pôdy. Rovnako ako pri pasívnych senzoch tak aj pri aktívnych platí, že pre zisťovanie obsahu vody v pôde sú najefektívnejšie mikrovlnné frekvencie. Nízkofrekvenčné radary dokážu preniknúť oblačnosťou a sú použiteľné za každého počasia a dennej doby (Robinson et al., 2008).

Veľkou výhodou nízkofrekvenčných radarov je ich schopnosť preniknúť hlbšie do pôdy. Pri radaroch pracujúcich vo viditeľnom, či infračervenom spektre je vrstva, do ktorej je žiarenie schopné preniknúť, dokonca ešte tenšia ako vrstva emisivity pre rádiometer. Preto sa najčastejšie využívajú zariadenia využívajúce vlnové dĺžky z tzv. C ($\lambda=3,75-7,5$ cm) a L ($\lambda=15-30$ cm) pásiem (Ahlmer et al., 2018; Robinson et al., 2008). L pásmo je výhodné najmä z toho dôvodu, že mikrovlny v tomto pásme sú menej ovplyvňované vegetáciou a drsnosťou povrchu v porovnaní s ostatnými mikrovlnnými frekvenciami a podávajú tak najlepšie informácie o elektromagnetických vlastnostiach povrchu pôdy potrebných na odhad povrchovej pôdnej vlhkosti (Champagne et al., 2015).

Ako bolo spomenuté vyššie, pre aplikáciu dát o pôdnej vlhkosti v rôznych hydrologických úlohách je potrebné vysoké časové rozlíšenie, čiže dôležitá je schopnosť prístroja získať informácie o pôdnej vlhkosti v čo najkratšom časovom intervale. Veľká väčšina sensorov má časové rozlíšenie 10-35 dní, čo znamená, že merania sa opakujú raz za 10-35 dní. Pre potenciálne využitie satelitných záznamov, napríklad pri možnej predikcii vývoja povodní, je takéto hrubé časové rozlíšenie neadekvátne. Medzi prístroje, ktoré majú veľmi dobré priestorové rozlíšenie, ale naopak slabé časové rozlíšenie radíme tzv. SAR (synthetic aperture radar) senzory. Z tohto dôvodu boli vyvinuté platformy ako sú napríklad SMOS, SMAP, ASCAT, alebo AMSR-E, ktoré majú časové rozlíšenie na úrovni 1-3 dní. Oproti sensorom SAR však majú oveľa horšie priestorové rozlíšenie. Zatiaľ čo SAR majú priestorové rozlíšenie od niekoľkých metrov po prvé desiatky metrov, rozlíšenie

spomínaných platforiem sa pohybuje v rozmedzí od jednotiek kilometrov po prvé desiatky kilometrov (Ahlmer et al., 2018).

Medzi jednotlivými vyššie spomenutými senzormi sú rozdiely najmä v priestorovom rozlíšení a frekvencii, na ktorej pracujú. Niektoré senzory ako napríklad AMSR-E majú viacero kanálov, pričom každý pracuje na inej frekvencii, avšak so znižujúcou sa frekvenciou sa zhoršuje priestorové rozlíšenie (Srivastava et al., 2016).

Metódy diaľkového prieskumu Zeme dokážu poskytnúť informácie o stave vlhkosti v pôde z veľkého územia. Ich hlavnou nevýhodou však je väčšinou hrubé priestorové rozlíšenie, ktoré tak skresľuje informáciu o vlhkosti v pôde. Navyše oproti bodovým meraniam poskytujú satelitné merania dáta len z tenkej nanajvýš niekoľkocentimetrovej vrstvy pôdy. Hrubé priestorové rozlíšenie niektorých sensorov, ako sú napríklad SMOS alebo ASCAT, môže, aj napriek ich dobrému časovému rozlíšeniu a presnosti, byť prekážkou pri ich použití (Ahlmer et al., 2018). Dôležité je preto skĺbiť vyhovujúce priestorové rozlíšenie s adekvátnym rozlíšením časovým. Prísľubom sú tzv. disagregačné techniky, ktoré umožňujú z produktu ASCAT 25 km urobiť produkt ASCAT s rozlíšením 1 km (Kerr et al., 2010). Na druhú stranu však Brocca et al. (2012) ukázal, že aj dáta o pôdnej vlhkosti, získané pomocou senzoru ASCAT s priestorovým rozlíšením 25 km, sú použiteľné v problematike predpovedania povodní na malých a stredných povodiach. Prísľubom do budúcnosti je satelit Sentinel-1, ktorý so svojim priestorovým rozlíšením 5-20 m a prijateľným 6-dňovým časovým rozlíšením, môže poskytnúť zaujímavé možnosti v oblasti merania pôdnej vlhkosti (Ahlmer et al., 2018).

2.3 Ukazovatele nasýtenosti

V hydrometeorologickej praxi je veľmi dôležité poznať predošlú nasýtenosť povodia, a to predovšetkým z dôvodu väzby medzi nasýtenosťou povodia a jeho odtokovou reakciou (Woldemeskel and Sharma, 2016). Problémom pri odhade nasýtenosti však je jej veľká časová, ale aj priestorová heterogenita, ktorá je daná rôznymi fyzickogeografickými podmienkami, tak ako to bolo popísané v kapitole 2.2. Patria medzi nich napríklad odlišné pôdne podmienky v rámci povodia, rôznorodosť vegetačného krytu, či prítomnosť depresí reliéfu, kde sa môže voda hromadiť, alebo naopak výskyt strmých svahov, z ktorých voda odteká rýchlejšie.

Okrem spomenutých fyzickogeografických faktorov je nasýtenosť povodia ovplyvňovaná aj meteorologickými faktormi. Najdôležitejšie sú určite atmosférické zrážky, ich množstvo, ale aj ich rozloženie v rámci sledovaného obdobia. Rovnako je dôležitá aj intenzita zrážok, pretože nasýtenosť povodia pri malej intenzite zrážok vplyvom intercepcie a výparu rastie veľmi málo. Ďalším dôležitým meteorologickým faktorom je spomenutý výpar, ktorý je ovplyvnený predovšetkým teplotou vzduchu, relatívnou vlhkosťou vzduchu a rýchlosťou vetra (Müller 2007).

Aj napriek všetkým spomenutým ťažkostiam a komplikáciám sú v súčasnosti na odhad nasýtenosti používané rôzne ukazovatele nasýtenosti, ktoré sú odvodené na základe určitých veličín, ktoré sme schopní merať. Pôdnu vlhkosť môžeme odhadnúť napríklad na základe počtu dní od posledného zrážkového úhrnu pred zrážkovou udalosťou, alebo zistením prietoku v dobe začiatku zrážok. Najpopulárnejšími ukazovateľmi nasýtenosti sú indexy založené na predošlých zrážkach. Výhodou pri použití indexov využívajúcich úhrny zrážok je okrem ich jednoduchosti aj skutočnosť, že pre dáta o zrážkových úhrnoch máme adekvátne hustú sieť zrážkomerov, zatiaľ čo pre priame meranie pôdnej vlhkosti je pokrytie povodia týmito meraniami nepostačujúce alebo žiadne (Kohler, Linsley, 1951).

Indexy, využívajúce na odhad nasýtenosti predošlé zrážkové úhrny, sú veľmi jednoduché, a preto sú aj veľmi často používané. Cenou za ich jednoduchosť je prílišné zjednodušenie, alebo úplné zanedbanie vyššie spomenutých faktorov, ktoré majú vplyv na obsah vody v pôde.

2.3.1 Index predošlých zrážok (API)

Index predošlých zrážok (API, z anglického *Antecedent Precipitation Index*) je najčastejšie používaný ukazovateľ nasýtenosti povodia. Napriek tomu, že bol vyvinutý už v roku 1951, je v meteorológii a hydrológii štandardne používaný dodnes.

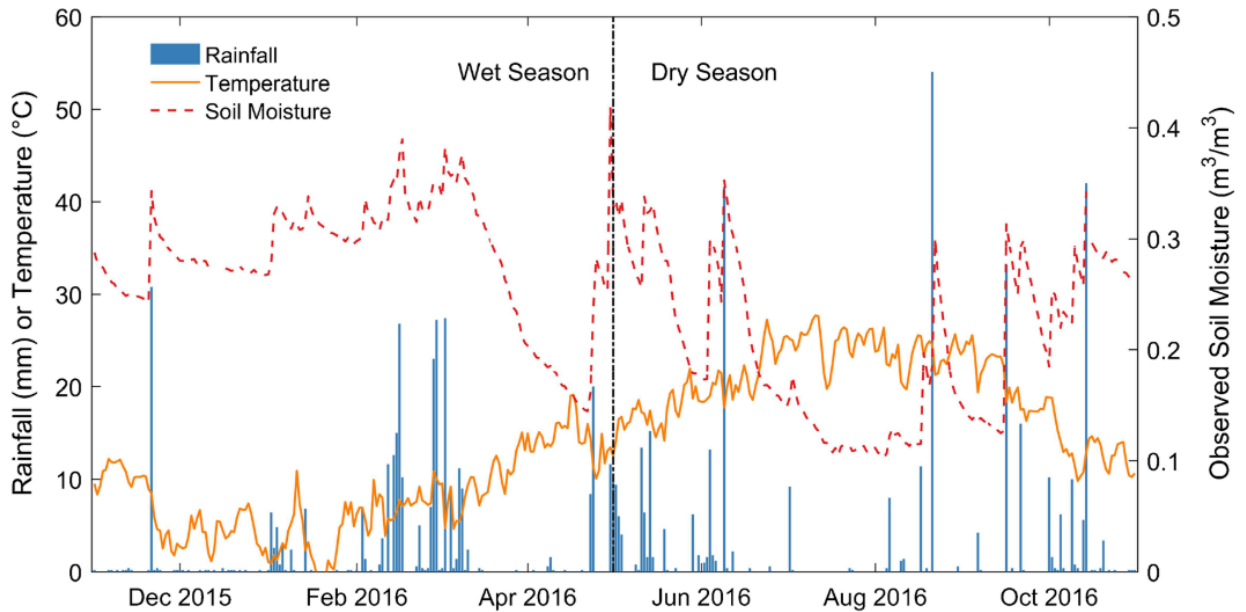
Výpočet indexu spočíva v sčítavaní denného úhrnu zrážok, ktorý je vážený určitou hodnotou. Formálne môžeme index definovaný Kohlerom a Linsleym (1951) zapísať nasledovne:

$$API = \sum_{x=1}^d R_x k^x \quad (2),$$

kde x značí počet dní pred dňom d , R_x je úhrn zrážok v mm v x -tý deň a k je evapotranspiračná konštanta. Hodnoty tejto konštanty podľa Kohlera a Linsleyho kolíšu v centrálnej a východnej časti USA od 0,85 do 0,9. Pre územie Českej republiky je používaná hodnota 0,93, ktorú v roku 1962 odvodil Hladný (Müller 2007). Vo svete sa najčastejšie zvyknú používať hodnoty z intervalu 0,8 až 0,98. Zriedkavo sa používajú aj hodnoty mimo tento interval, napríklad 0,75 alebo 0,66 (Li et al., 2021).

Ďalším často diskutovaným problémom pri používaní indexu API je dĺžka časového okna pred príčinnou zrážkou. Podľa autorov Ali a Roy (2010) je veľkosť tohto časového okna v literatúre dosť variabilná a používajú sa hodnoty od pár hodín až po 30 dní, pričom v hydrologických úlohách sa najčastejšie používajú časové okná s dĺžkou 7, 10 a 30 dní, výnimkou nie sú ani hodnoty 5 alebo 14 dní (Ghosh et al., 2021).

Evapotranspiračná konštanta má vo výpočte za úlohu zohľadniť stratu vody evapotranspiráciou. Problémom však je skutočnosť, že podmienky, ktoré ovplyvňujú výpar sa v priebehu roka, či dokonca dňa menia. Ak budeme považovať hodnotu evapotranspiračnej konštanty za nemennú, môžeme, v odlišných častiach roka, dôjsť k o niečo viac skresleným hodnotám pôdnej vlhkosti (Zhao et al., 2019). Túto skutočnosť dobre ilustruje obr. 2.3, na ktorom môžeme vidieť časový vývoj pôdnej vlhkosti, zistenej pomocou in situ meraní, v meste San Pietro Capofiume v talianskom regióne Emilia-Romagna. Z obrázku je vidieť, že v suchom období v decembri 2015 je nameraná pôdna vlhkosť vyššia, ako v suchých periódach v apríli, či júli, kedy je teplota oveľa vyššia.



Obr. 2.3 Priebeh pôdnej vlhkosti (červená prerušovaná čiara), teploty vzduchu (oranžová čiara) a denných úhrnov zrážok (modré stĺpce) na stanici San Pietro Capofiume (zdroj: Zhao et al. 2019).

Na základe toho, že proces evapotranspirácie je ovplyvnený rôznymi faktormi, bol nedávno vyvinutý tzv. modifikovaný index predošlých zrážok. Tento index pre jednoduchosť a dobrú dostupnosť dát o teplote vzduchu upravuje evapotranspiračnú konštantu iba v závislosti na teplote vzduchu. Konštantu je upravovaná nasledovne:

$$k=0,84 + \delta (20-T_{ave}) \quad (3),$$

kde k je evapotranspiračná konštantu, δ je parameter citlivosti a T_{ave} je priemerná denná teplota vzduchu (Zhao et al., 2019). Podľa autorov Zhao et al. (2019) index API neberie do úvahy maximálnu vodnú kapacitu pôdy a preto pri hodnotení nasýtenosti pomocou tohto indexu môže dôjsť k nadhodnoteniu obsahu vody v pôde. Z tohto dôvodu bol do výpočtu indexu API, okrem vyššie uvedenej upravenej evapotranspiračnej konštanty, zahrnutý aj tzv. API_{max} parameter. Tento parameter zohľadňuje maximálnu možnú kapacitu pôdy. Ak hodnota konvenčného API presiahne hodnotu API_{max}, tak sa hodnota modifikovaného API ďalej nezvyšuje, pretože dochádza k povrchovému odtoku z dôvodu nasýtenia povrchovej vrstvy pôdy. Fakt, že index neuvažuje množstvo vody, ktoré počas výraznej zrážkovej udalosti odtieklo v dôsledku prekročenia retenčnej kapacity pôdy, je pomerne veľkým zjednodušením a limitujúcim faktorom pri snahe popísať množstvo vody v danom území týmto indexom. Avšak aj napriek týmto nedostatkom má tento index určitú výpovednú hodnotu (Müller 2007).

Modifikovaná forma indexu API lepšie odpovedá priamym meraniam pôdnej vlhkosti, na druhú stranu je potrebné dodať, že oproti klasickej verzii API je potrebné navyše odvodiť dva parametre, a to na základe in situ meraní pôdnej vlhkosti (Zhao et al., 2019).

Ako už bolo spomenuté, API je veľmi rozšíreným ukazovateľom nasýtenia a aj napriek tomu, že od jeho odvodu už uplynulo viac ako 70 rokov, je stále používaný. Najnovšie bol využitý autormi Schoener a Stone (2020), ktorí tento index použili pre odhad nasýtenosti v oblastiach, kde nie sú dostupné dáta o zrážkach zo siete zrážkomerov. V prvom kroku autori zistili regresný vzťah medzi indexom API a pôdnou vlhkosťou zistenou in-situ meraniami. Na zistenie zrážkových úhrnov mimo zrážkomerné stanice boli použité informácie o radarovej odrazivosti. Následne bola v každom pixeli zistená hodnota API, upravená zisteným regresným vzťahom. Ak sa v sledovanom období (napríklad 10 dní) vyskytlo napríklad 5 dní so zrážkami, tak sa hodnoty v jednotlivých pixeloch sčítajú, rovnako ako by sme mali dáta iba zo zrážkomerných staníc. Výsledkom tak je odhad pôdnej vlhkosti aj nad územím, v ktorom nemáme údaje o zrážkach zo zrážkomerov.

2.3.2 Normalizovaný index predošlých zrážok (NAPI)

Normalizovaný index predošlých zrážok (NAPI) bol predstavený v roku 2001 Heggenom (2001). Index je definovaný ako pomer indexu API, zahŕňajúceho aj zrážky zo sledovaného dňa, a priemerného denného úhrnu zrážok za sledovaný časový úsek, pričom tento priemer je ešte vážený sumou váh, ktorými sú vážené denné úhrny zrážok. Matematicky môžeme tento vzťah zapísať nasledovne:

$$NAPI = \frac{\sum_{x=0}^d R_x k^x}{R_{priemer} \sum_{x=1}^d k^x} \quad (4),$$

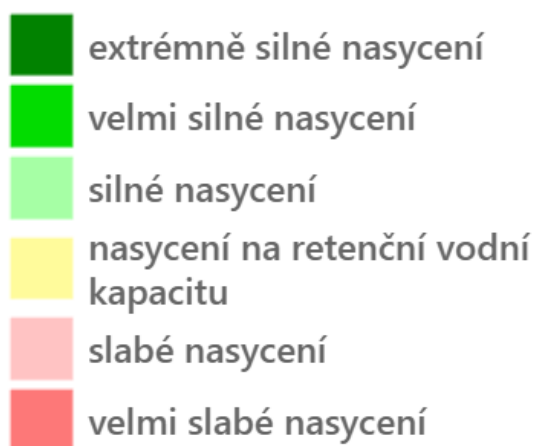
kde $R_{priemer}$ znamená priemerný úhrn zrážok príslušného dňa, v ktorom je index počítaný.

Podľa autorov Ghosh, Jaiswal, Ali (2021) tento index modifikuje klasický API v troch aspektoch:

- Zahŕňa zrážky v dni, keď došlo k danej skúmanej udalosti.
- Index API je normalizovaný priemerným denným úhrnom počas sledovaného obdobia pred príčinnými zrážkami.
- Index API je normalizovaný sumou váh, ktorými sú vážené denné úhrny zrážok.

2.3.3 Indikátor prívalových povodní (FFI)

Indikátor prívalových povodní je ukazovateľom nasýtenosti, ktorý je dostupný na webových stránkach ČHMÚ. Ukazovateľ nasýtenia, ktorý reprezentuje aktuálne nasýtenie krajiny vodou, je v dennom kroku odvodzovaný v rastri s rozlíšením 1x1 km a je dostupný vždy ráno o 8:00 SELČ (stredoeurópskeho letného času). Tento ukazovateľ nasýtenia je založený na jednoduchej bilancii zrážok, odtoku a aktuálnej evapotranspirácii. Zrážková voda, ktorá neodtečie priamym odtokom, sa čiastočne vsiakne do pôdy a čiastočne sa vyparí. Veľkosť priameho aj podpovrchového odtoku závisí na aktuálnom nasýtení pôdy vodou a spôsobe využívania krajiny (ČHMÚ, 2023a). Ukazovateľ nasýtenia rozdeľuje stav nasýtenosti územia do šiestich kategórií (obr. 2.4).

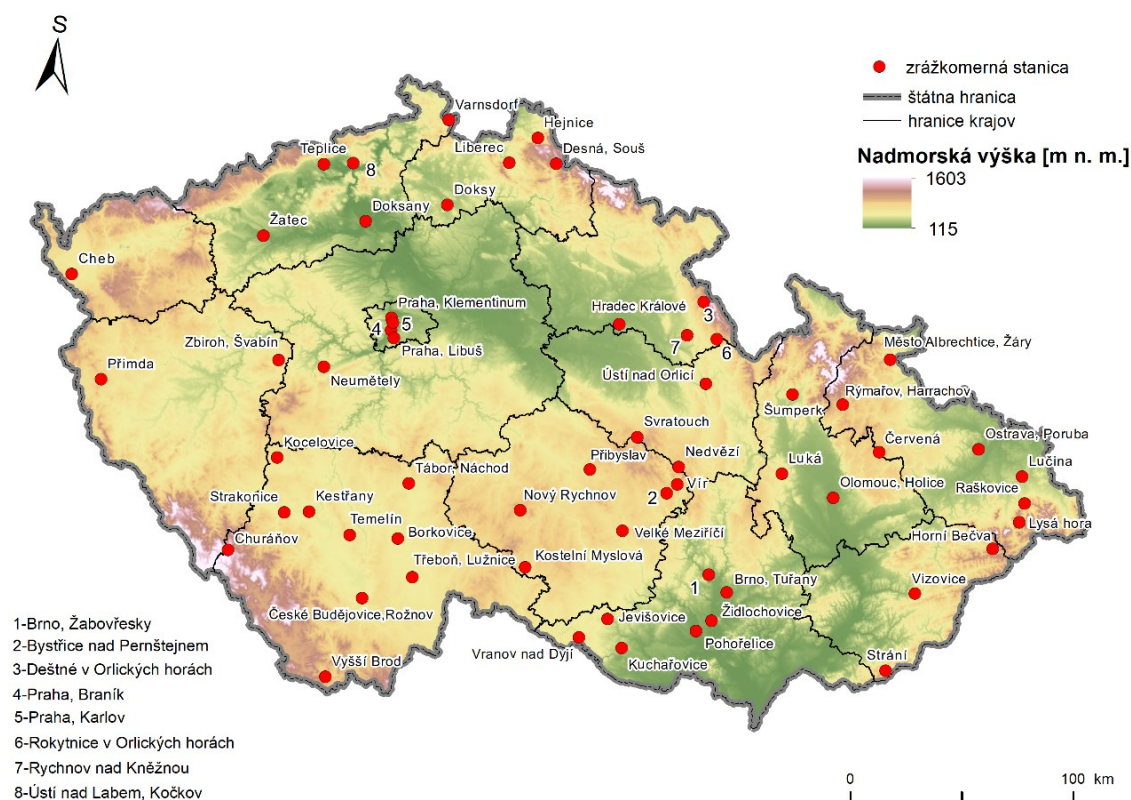


Obr. 2.4 Kategórie ukazovateľa nasýtenosti využívaného pri predpovedi rizika prívalových povodní (zdroj: ČHMÚ, 2023a).

3 Dáta a metódy

3.1 Použité dáta

V práci boli využívané subdenné úhrny zrážok, ktoré boli poskytnuté ČHMÚ. Pre šesťdesiat sledovaných staníc (obr. 3.1) boli pre obdobie medzi rokmi 1961-2019 získané maximálne ročné subdenné úhrny pre 30, 40, 60, 90, 120, 150, 180, 300, 360 a 720-minútové intervaly (ČHMÚ, 2021b). V práci budeme ďalej maximá pre jednotlivé intervaly označovať R_{30x} atď. a používať pre nich pomenovanie silné zrážky. Je potrebné spomenúť, že do určitého roka boli subdenné úhrny získavané z ombrografov a neskôr z automatických zrážkomerov (tabuľka v prílohe 1). V analýze nasýtenosti pred ročnými extrémami subdenných úhrnov zrážok bol uvažovaný aj úhrn, ktorý na stanici spadol od 7:00 miestneho času do začiatku trvania maximálneho ročného subdenného úhrnu zrážok. Poskytnuté boli aj informácie o dátume a čase začiatku subdenného maxima.



Obr. 3.1 Zrážkomerné stanice použité v diplomovej práci.

Ďalej boli v diplomovej práci využité denné úhrny zrážok (R_d). Pre ďalšiu analýzu boli, podobne ako pri subdenných úhrnoch, zistené ročné maximálne úhrny (R_{dx}). Je potrebné spomenúť, že údaje o dennom a subdennom úhrne zrážok nie sú na všetkých staniciach dostupné za celé sledované obdobie. Najkratšiu časovú radu pre denné úhrny

zrážok poskytuje stanica Temelín, kde časová rada začína až 1.1. 1989. Aj napriek tomu je k dispozícii 31 rokov záznamov, čo považujeme za dostatočné. Údaje o počte chýbajúcich záznamov na konkrétnej stanici sú uvedené v zozname staníc spomínanom vyššie.

V závere práce, pri analýze poveternostnej situácie pred silnými zrážkami, sú pre vybrané stanice využité aj dáta ČHMÚ o maximálnej dennej teplote vzduchu (T_{max}) a prúdení v izobarickej hladine 850 hPa (smer a rýchlosť vetra), získané z reanalýzy NCEP/NCAR (Kalnay et al., 1996). Použité boli maximálne denné teploty vzduchu z obdobia apríl-október, pre ktoré boli k dispozícii maximá ročných subdenných úhrnov zrážok. Na určenie synoptického typu bola využitá klasifikácia synoptických typov podľa ČHMÚ (ČHMÚ, 2022c).

3.2 Vyjadrenie nasýtenosti a klimatológia API

Po získaní potrebných dát bolo v prvom kroku potrebné spočítať pre každý kalendárny deň v roku hodnotu indexu API podľa vzorca (2), spomínaného v kapitole 2.3.1. V analýze nasýtenosti bol index API počítaný pre časový úsek 30 dní a evapotranspiračná konštanta mala hodnotu 0,93. V ďalšom kroku bol počítaný dlhodobý priemer indexu API (API_p), a to nasledovným spôsobom:

$$API_p = \frac{\sum_{i=1}^n API}{n} \quad (5),$$

kde API značí hodnotu API v i -tý deň sledovaného obdobia, n predstavuje celkový počet dní časovej rady. Takýmto spôsobom bola zistená dlhodobá priemerná hodnota API .

Pre ďalšie analýzy v práci, bolo potrebné zistiť priemernú hodnotu API pre každý kalendárny deň (API_k). Priemerné hodnoty pre kalendárne dni boli počítané nasledovne:

$$API_k = \frac{\sum_{j=1}^m API_{jk}}{m} \quad (6),$$

kde API_{jk} predstavuje hodnotu indexu API pre kalendárny deň (k) v j -tom roku časovej rady, m vyjadruje počet rokov sledovaného obdobia.

Nakoniec bola pre každý rok v časovej rade počítaná priemerná hodnota API_r . Hodnotu API_r sme získali nasledovným spôsobom:

$$API_r = \frac{\sum_{k=1}^l API_{kr}}{l} \quad (7),$$

kde API_{kr} značí dennú hodnotu indexu API v k -tom kalendárnom dni, l značí počet dní v príslušnom roku časovej rady.

Pre vyjadrenie variability hodnôt *API* boli použité popisné štatistické charakteristiky smerodajná odchýlka a variačný koeficient. Smerodajná odchýlka (σ) bola vypočítaná podľa vzorca:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^j (x_i - \bar{x})^2}{n}} \quad (8).$$

Do vzorca pre smerodajnú odchýlku bola najskôr namiesto x_i dosadená hodnota *API* a namiesto \bar{x} bola dosadená hodnota API_p . Za n bol dosadený počet dní časovej rady. Variabilita medzi jednotlivými rokmi bola spočítaná podobne, s tým rozdielom, že namiesto x_i bola dosadená hodnota API_r a namiesto počtu dní časovej rady (n) bol dosadený počet rokov časovej rady (m).

Po vypočítaní smerodajnej odchýlky bol vypočítaný variačný koeficient podľa vzorca

$$V = \frac{s}{\bar{x}} \quad (9).$$

Rovnako ako smerodajná odchýlka, tak aj variačný koeficient bol spočítaný pre hodnoty API_p a API_r .

Hodnoty API_k boli v ďalšom kroku zhladené Gaussovým filtrom, s hodnotou $\sigma=15$ dní. Po zhladení sme dostali pre každú stanicu hodnoty, ktoré budeme ďalej označovať ako API_{kh} . Dôvodom použitia Gaussovho filtra bola skutočnosť, že aj na staniaciach s kompletným časovým radom je hodnota API_k priemerom iba z 59 hodnôt. V rámci sledovaného obdobia sa mohli, hlavne v letnom období po silných zrážkach, vyskytnúť dni s veľmi vysokou hodnotou indexu. Tieto hodnoty tak mohli ovplyvniť hodnotu API_k v daný kalendárny deň.

3.3 Normovanie hodnôt *API*

Z dôvodu toho, že zrážky v Česku vykazujú zreteľný ročný chod s letným maximom na väčšine staníc, takisto aj hodnoty *API* zákonito dosahujú v priemere najvyšších hodnôt v lete. Aby bolo možné stanoviť abnormalitu určitej hodnoty *API*, bola porovnávaná s normálom pre daný kalendárny deň, teda API_{kh} . Takýmto spôsobom dostávame informáciu o relatívnej nasýtenosti. Pre tento index budeme ďalej v práci používať označenie *NAPI*. Tento krok bol dôležitý vzhľadom na to, aby sme boli schopní porovnať medzi sebou hodnoty napríklad z mája a júna. Normované hodnoty boli získané pomocou nasledovného vzorca:

$$NAPI = \frac{API}{API_{kh}} \quad (10),$$

kde do čitateľa vstupovala hodnota API v analyzovaný deň a do menovateľa príslušná hodnota API_{kh} . Princíp výpočtu je rovnaký ako pri indexe $NAPI$, ktorý je spomínaný v kapitole 2.3.2, s tým rozdielom, že v menovateli sme použili priemerné hodnoty API .

Zo spôsobu výpočtu hodnôt $NAPI$ vyplýva, že výsledné hodnoty nie sú symetrické okolo jednotky. Podnormálne hodnoty môžu nadobúdať hodnôt len medzi nulou a jednotkou, zatiaľ čo nadnormálne hodnoty môžu nadobúdať, v závislosti na konkrétnej hodnote indexu v daný deň, aj hodnoty násobne vyššie ako 1. Počítanie štatistík z týchto hodnôt by nebolo príliš vhodné. Z tohto dôvodu bolo preto ďalej pracované s kvantilmi normovaných hodnôt. Hodnoty kvantilov nadobúdajú hodnôt od 0 do 1, čo je pri výpočte štatistík a hodnotení rozdelenia týchto hodnôt pred extrémami denných úhrnov zrážok výhodnejšie. Po pripravení dát vyššie popísaným spôsobom bola zistená hodnota kvantilu $NAPI$ pred ročnými maximami denných úhrnov zrážok, ktoré budeme ďalej v práci označovať ako Q_{NAPI} .

Pre subdenné úhrny zrážok nastáva pri výpočte $NAPI$ a následného kvantilu oproti denným úhrnom problém s tým, že v deň ročného maxima subdenného úhrnu sa mohol určitý úhrn zrážok vyskytnúť ešte pred samotným extrémom. Tento úhrn bolo preto potrebné pripočítať k hodnote API pre príslušný deň a túto hodnotu následne normovať. Pri klasickom výpočte indexu API je denný úhrn prenasobený evapotranspiračnou konštantou umocnenou na x -tý deň obdobia, pre ktoré je index počítaný. Znamená to, že v prvom dni je konštanta umocnená jednotkou, v druhý deň dvojkou, atď. V prípade výpočtu $NAPI$ pre subdenné úhrny zrážok a zahrnutia zrážkového úhrnu, ktorý sa vyskytol pred samotným maximom, bolo potrebné pomocou evapotranspiračnej konštanty upraviť aj tento úhrn. Rovnako bolo potrebné upraviť aj hodnoty API_{kh} . Tým, že bol do výpočtu zahrnutý aj úhrn v deň samotného maxima, bol index API v podstate počítaný nie za 30 dní, ale za 30 a určitú čas dňa, podľa toho, aký dlhý bol časový úsek do času subdenného maxima. Normované hodnoty pre subdenné dáta boli vypočítané nasledujúcim postupom:

$$API^* = \frac{API + R_t 0,93^0}{\left(\frac{11,78 + \left(\frac{t}{24}\right) 0,93^0}{11,78} \right)} = \frac{API + R_t}{\left(\frac{11,78 + \left(\frac{t}{24}\right)}{11,78} \right)} \quad (11),$$

$$NAPI^* = \frac{API^*}{API_{kh}} \quad (12),$$

kde API^* značí hodnotu upravenú, API predstavuje hodnotu tohto indexu v deň maxima subdenného úhrnu zrážok, R_t značí úhrn zrážok v deň maxima subdenného úhrnu zrážok pred samotným maximom, API_{kh} vyjadruje priemernú zhladenú hodnotu API_k pre príslušný deň. Zlomok $t/24$ predstavuje prevod časového úseku pred začiatkom subdenného maxima na časť dňa vyjadrenú desatinným číslom, kde za t bol dosadený čas v hodinách. Hodnota 11,78 je súčet váh, ktorými sú vážené denné úhrny zrážok pri výpočte indexu API. Zo vzorca vyplýva, že čím dlhší bol časový úsek pred začiatkom subdenného maxima, tým viac bola znížená hodnota API_{kh} . Celková hodnota $NAPI^*$ sa odvíjala od zrážkového úhrnu a dĺžky časového intervalu pred subdenným maximom. Ak bol úhrn nulový, tak dochádza aj ku zníženiu nasýtenosti, ktorá vstupovala do vzorca pre výpočet $NAPI$ pre denné úhrny zrážok. Po zistení týchto hodnôt boli opäť, ako v prípade nasýtenosti pred jednodennými úhrnmi, zistené kvantily týchto hodnôt.

3.4 Ukazovateľ významu relatívnej nasýtenosti

Z pohľadu vodohospodárov je dôležité nie len, aká veľká bola nasýtenosť pred extrémnym úhrnom, ale aj veľkosť samotného extrému. Na základe toho bol zostavený ukazovateľ významu relatívnej nasýtenosti, ktorý sa snaží popísať vzťah medzi veľkosťou extrému a predošlou relatívnou nasýtenosťou a takisto aj to, ako veľmi sa hodnoty relatívnej nasýtenosti pred extrémami líšia od normálnych podmienok. Za normálne podmienky bol považovaný stav s nasýtenosťou odpovedajúcou kvantilu 0,5, čiže mediánu hodnôt relatívnej nasýtenosti. Ukazovateľ, ktorý sme si označili písmenom U , bol spočítaný podľa nasledujúceho vzorca:

$$U = \frac{\sum_{j=1}^m \frac{Q_{NAPI}^{-0,5}}{n_{j+1}}}{\sum_{j=1}^m \binom{0,5}{n_{j+1}}} \quad (13),$$

kde Q_{NAPI} predstavuje kvantil hodnoty $NAPI$, n_j predstavuje poradie maxima v j -tom roku časovej rady a m vyjadruje počet rokov časovej rady, pričom maximá sú zoradené zostupne podľa veľkosti, takže $j=1$ označuje najväčší zrážkový úhrn za cele študované obdobie. Zo vzorca vyplýva, že hodnoty nasýtenosti v deň maxima boli vážené prevrátenou hodnotou poradia extrému. Tento ukazovateľ popisuje, ako veľmi sa hodnoty nasýtenosti pred maximami líšia od normálu, a to tak, že od váženej hodnoty Q_{NAPI} je odpočítaná vážená hodnota mediánu Q_{NAPI} . Ak je vážená hodnota Q_{NAPI} vyššia ako vážená hodnota mediánu, tak potom je výsledok medzivýpočtu kladný, opačne je záporný. Hodnota ukazovateľa je

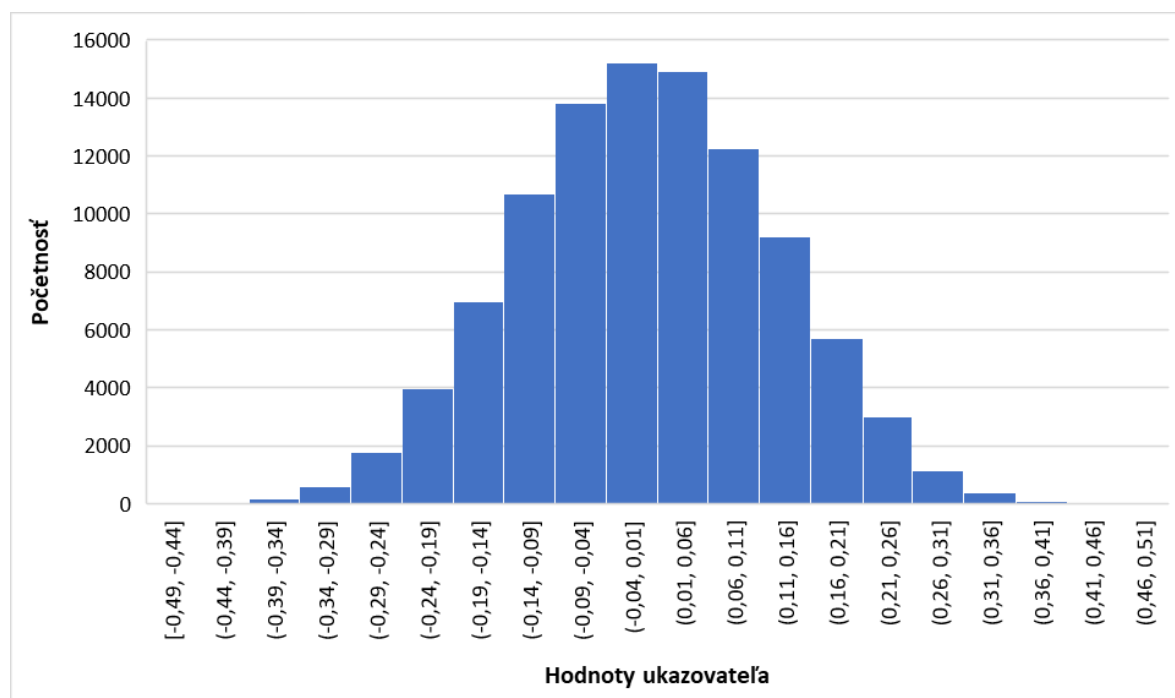
tým vyššia, čím viac extrémne sú hodnoty nasýtenosti pred príslušným extrémom a jeho hodnoty sa pohybujú v intervale od -1 do 1. Význam indexu spočíva v tom, že hodnotám nasýtenosti pred vyššími extrémami je daný väčší význam, a to vďaka tomu, že sú vážené poradím extrému.

Hodnoty ukazovateľa významu relatívnej nasýtenosti sú počítané iba pre príslušný počet rokov časovej rady konkrétnej stanice, a preto by bolo ťažké rozhodnúť, aké hodnoty ukazovateľa sú extrémne a aké spadajú do normálu. Z tohto dôvodu bol vygenerovaný súbor náhodných hodnôt Q_{NAPI} a z nich bol následne počítaný ukazovateľ. Spočítaných bolo stotisíc hodnôt ukazovateľov a z tohto súboru boli zistené hodnoty kvantilov 0,1; 0,25; 0,75; 0,9. Hodnoty, ktoré boli vyššie ako hodnota kvantilu 0,9, boli považované za extrémne vysoké, tie, ktoré boli vyššie ako kvantil 0,75 boli považované za nadnormálne a hodnoty nachádzajúce sa medzi kvantilmi 0,25 a 0,75 boli považované za normálne hodnoty. Rozdelenie hodnôt ukazovateľa vidíme na obr. 3.2. Z obrázku je vidieť, že veľká časť hodnôt sa pohybuje okolo nuly a hodnoty nad 0,3 alebo hodnoty nižšie ako -0,3 sú veľmi zriedkavé. Pre úplnosť doplníme konkrétne hodnoty jednotlivých prahových hodnôt, na základe ktorých boli vytvorené jednotlivé kategórie. Normálne hodnoty boli vymedzené hodnotami ukazovateľa -0,09 (kvantil 0,25) a 0,09. Hranica pre extrémne hodnoty, teda spodný a horný decil, je -0,16 respektíve 0,16 (tab. 3.1).

Tab. 3.1 Kategórie hodnôt ukazovateľa významu relatívnej nasýtenosti U.

| Hodnota U | Kategória |
|---------------------|-------------------------|
| 0,16 a viac | extrémne vysoké hodnoty |
| $0,09 < U < 0,16$ | nadnormálne hodnoty |
| $-0,09 < U < 0,09$ | normálne hodnoty |
| $-0,16 < U < -0,09$ | podnormálne hodnoty |
| menej ako -0,16 | extrémne nízke hodnoty |

Ukazovateľ síce podľa vzorca môže dosiahnuť hodnôt -1 alebo 1, ale tieto hodnoty sú iba teoretické, pretože z matematického hľadiska nie je možné, aby všetky hodnoty Q_{NAPI} mali hodnotu 1. Ďalším dôvodom, prečo nie je možné dosiahnuť maximálnej ani minimálnej teoretickej hodnoty ukazovateľa, je fakt, že najvyššie hodnoty nasýtenosti sa vyskytujú až po samotnom extrémnom úhrne. Tento fakt však ovplyvňuje hodnoty ukazovateľa pri reálnych dátach. Pri výpočte hodnôt ukazovateľa z náhodného výberu tento fakt nehrá rolu.



Obr. 3.2 Histogram hodnôt ukazovateľa významu relatívnej nasýtenosti U spočítaných na náhodne vygenerovaných hodnotách Q_{NAPI} .

3.5 Určenie charakteru silných zrážok

V rámci výskumu relatívnej nasýtenosti pred silnými zrážkami rôznych časových intervalov predpokladáme, že silné zrážky kratších časových intervalov sú spojené s konvektívnou činnosťou, zatiaľ čo silné zrážky dlhých časových intervalov sú viac spojené s udalosťami stratiformného charakteru, alebo sú súčasťou viacdennej epizódy. Na základe toho, či išlo o konvektívnu alebo stratiformnú zrážkovú udalosť, bol predpokladaný určitý stav relatívnej nasýtenosti pred silnými zrážkami.

Rozlíšiť od seba prípady spojené s konvektívnou činnosťou a prípady stratiformné, je pomerne náročné, obzvlášť v našom prípade, keď sme mali k dispozícii len ročné maximá subdenných úhrnov zrážok a denné úhrny zrážok. V tejto práci bola využitá jednoduchá metóda, ktorá je založená na výpočte pomeru medzi dvojdenným úhrnom zrážok (R_{2d}) a subdenným maximom. Tento pomer (ďalej označovaný ako P) bol vypočítaný nasledovne:

$$P = \frac{R_{2d}}{R_{sub}} \quad (14),$$

kde R_{2d} značí dvojdenný úhrn zrážok a R_{sub} označuje maximálny ročný subdenný úhrn zrážok pre príslušný časový interval. R_{2d} bol zistený tak, že k dennému úhrnu v deň subdenného maxima bol pripočítaný úhrn z dňa pred alebo po subdennom maxime, podľa toho, ktorý z týchto úhrnov bol vyšší.

Pomer blízky číslu 1 znamená, že subdenný úhrn je buď rovný alebo veľmi podobný dvojdennému, a teda všetky zrážky spadli v priebehu skúmaného časového intervalu, napríklad jednej hodiny. Ak je pomer blízky číslu jedna, malo by ísť o zrážky konvektívne, pretože pri zrážkach stratiformného typu spravidla nebývajú zrážky tak koncentrované ako pri zrážkach konvektívnych. Pomer teda v podstate popisuje rovnomernosť zrážkového úhrnu v čase. V ďalšom texte práce bude tento pomer vystupovať pod označením ukazovateľ rovnomernosti zrážok P .

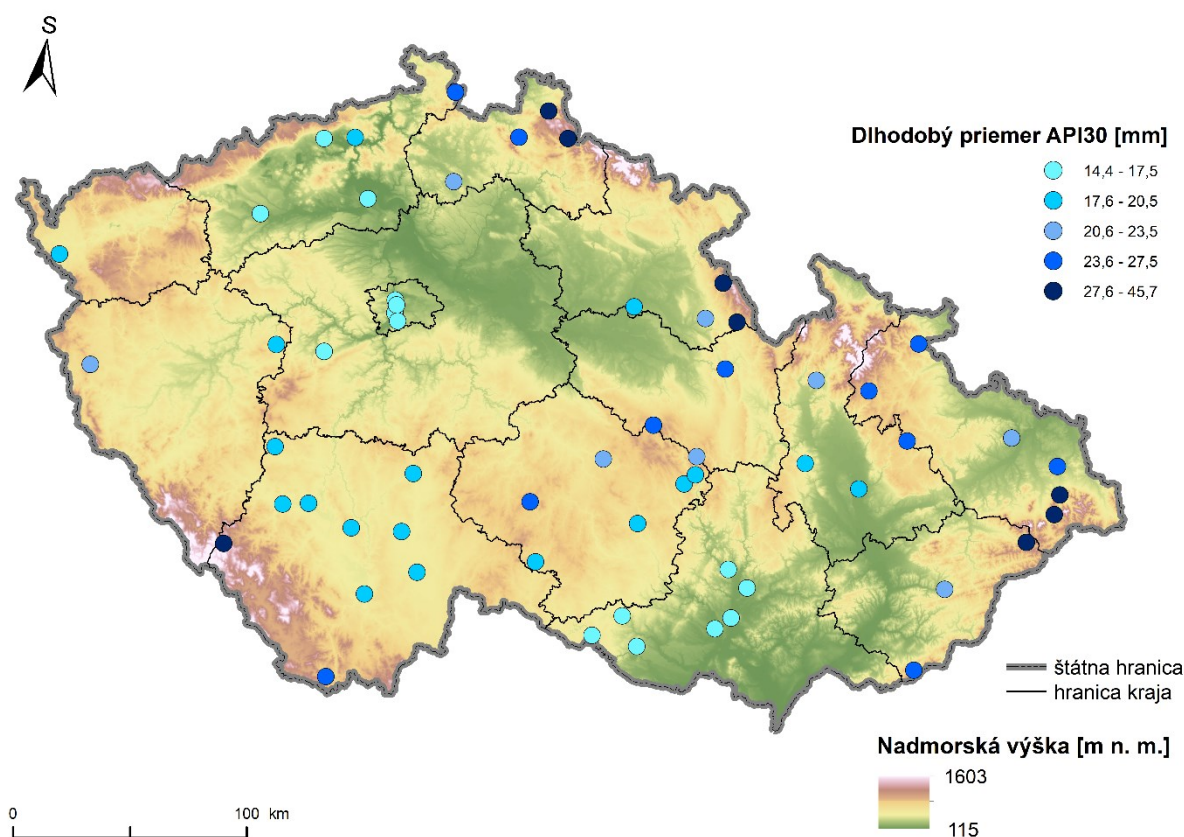
Dvojdenný úhrn bol zvolený z dôvodu toho, že subdenné maximá, ktoré boli poskytnuté ČHMÚ, boli zisťované za kľzavé obdobie a nie za fixné ako denné úhrny zrážok. To znamená, že subdenné maximum, ktoré začalo napríklad o 4:00, bolo buď celé priradené dennému úhrnu zrážok predošlého dňa, alebo bolo rozdelené medzi dva dni. Je potrebné spomenúť, že využitie dvojdenného úhrnu môže priniesť problémy v podobe toho, že deň po subdennom úhrne mohlo znovu pršať a tým pádom by mohol byť pomer relatívne vysoký aj napriek tomu, že išlo o zrážku konvektívneho pôvodu.

Z tohto dôvodu bola ako indikátor použitá aj maximálna denná teplota vzduchu. Naším predpokladom bolo, že zrážky konvektívneho charakteru sú spojené s vyššou teplotou vzduchu. Na farebné odlíšenie hodnôt T_{max} , využitých v kapitole 6, bola použitá klimatológia týchto hodnôt pre konkrétnu stanicu. Hodnota T_{max} je podfarbená na základe jej zaradenia v časovej rade hodnôt T_{max} v mesiacoch apríl-október pre všetky roky sledovaného obdobia príslušnej stanice, a to tak že čím bolo T_{max} vyššie tým, je bunka v tabuľke viac červená.

4 Klimatológia indexu API

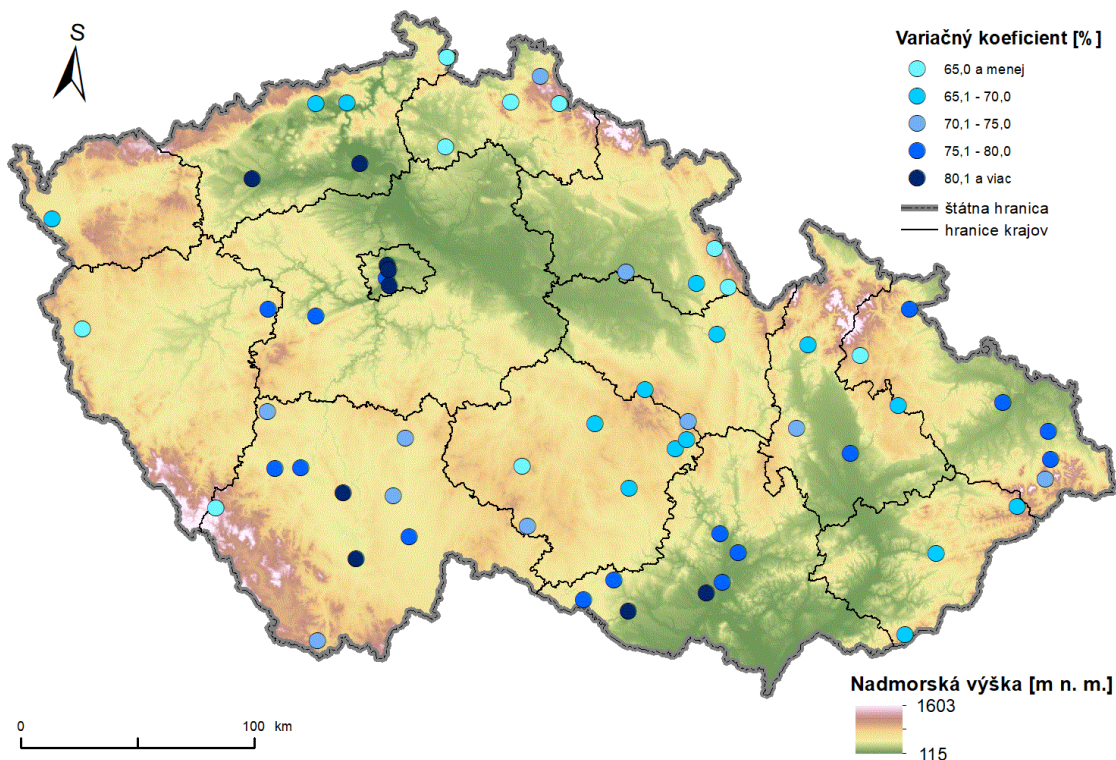
4.1 Priemerné API

Nakoľko výpočet indexu *API* vychádza z denných úhrnov zrážok, je logické, že rozloženie jeho priemerných hodnôt v rámci územia Českej republiky bude rovnaké, ako keby sme sa pozreli na rozloženie priemerných ročných úhrnov zrážok. Tento fakt potvrdzuje aj obr. 4.1, na ktorom vidíme rozloženie hodnôt API_p . Najvyššie hodnoty dosahujú vysoko položené stanice ako Lysá hora, či Churáňov, alebo stanice, ktoré sú síce relatívne nižšie položené, ale ležia blízko hôr, respektíve na ich úpäti, ako napríklad Raškovice alebo Hejnice. Na týchto staniach dosahuje API_p hodnôt nad 28 mm. Najvyššiu hodnotu API_p dosahuje stanica Lysá hora, a to až 45,7 mm. Naopak najnižšie hodnoty vykazujú stanice z klimatologicky najsuchších oblastí Českej republiky ako sú Žatec, či stanice na dolnej Morave. V týchto oblastiach sa priemerné hodnoty pohybujú v intervale od 14,4 do 17,5 mm. Priemer zo všetkých staníc vstupujúcich do výpočtu je 22,1 mm.



Obr. 4.1 Dlhodobý priemer indexu *API* pre skúmané stanice (zdroj podkladových dát: ArcČR 500 a ČHMÚ).

Mapa zobrazená na obrázku 4.1 ilustruje priemerné hodnoty API a podáva tak základný náhľad na klimatológiu tohto indexu. Avšak priemer je citlivý na odľahlé pozorovania a môže tak poskytovať skreslený pohľad na dáta. Pre hlbšiu analýzu dát bol spočítaný variačný koeficient, čiže podiel medzi smerodajnou odchýlkou a priemerom. Výsledné hodnoty sú zobrazené opäť pomocou mapy na obrázku 4.2.



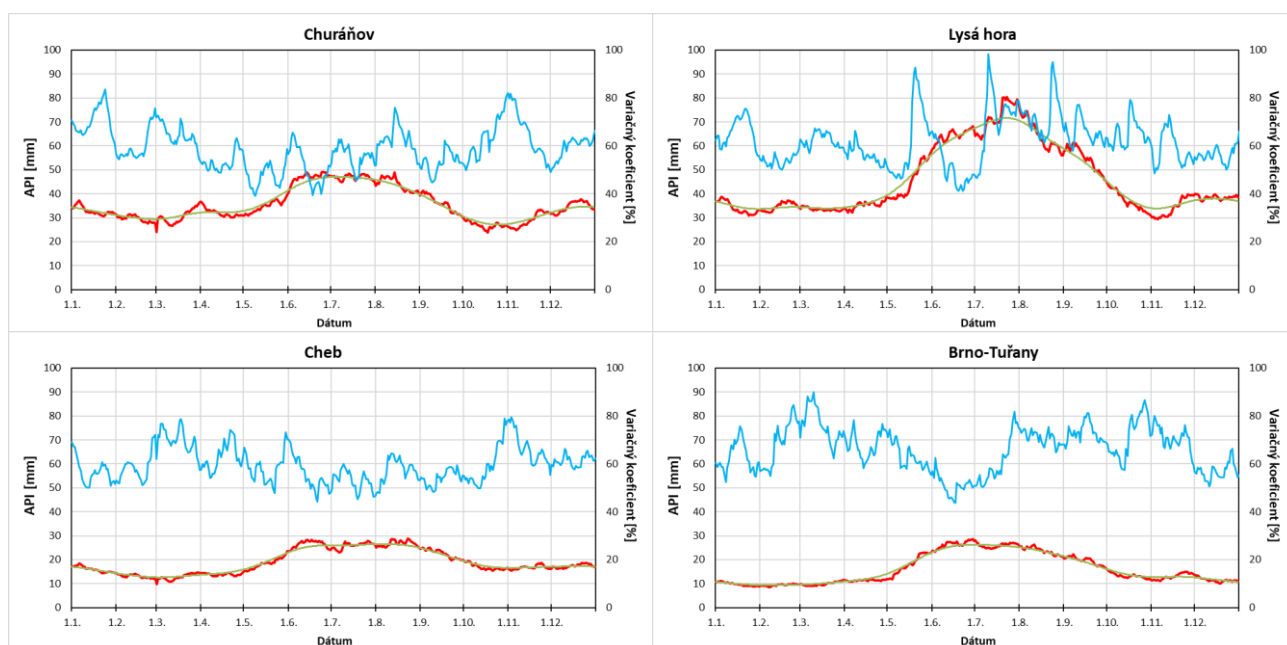
Obr. 4.2 Variačný koeficient hodnôt API (zdroj podkladových dát: ArcČR 500 a ČHMÚ).

Z pohľadu na mapu na obrázku 4.2 vyplýva, že podľa variačného koeficientu je hodnota API najviac variabilná na stanicích v Prahe, Doksanoch, Žatci, v oblasti Česko-Budějovickej panvy a na dolnej Morave. Relatívne nižšie hodnoty dosahuje variačný koeficient v severných Čechách, v oblasti Orlických hôr, či na Vysočine.

Zaujímavým faktom je, že stanice na Vysočine majú relatívne vyššie API_p , ale hodnoty variačného koeficientu sa tu pohybujú okolo 65-70%, čiže podobne ako stanice na západe, či severe Čiech. Naopak stanice v Juhomoravskom kraji, alebo stanice v Česko-Budějovickej panve, ktoré majú relatívne nižšie hodnoty API_p , vykazujú vyššie hodnoty variačného koeficientu, ako stanice na Vysočine alebo na západe a severe Čiech. Ďalším pozoruhodným faktom sú nižšie hodnoty variačného koeficientu na stanicích Šumperk a Rýmařov, a to z toho pohľadu, že neďaleké stanice na Ostravsku už dosahujú vysoké hodnoty.

4.2 Ročný chod indexu API

Pre znázornenie vývoja indexu API v priebehu roka boli zostavené grafy ročného chodu API_k a ich variačného koeficientu (obrázok 4.3). Vybrané boli stanice Cheb, Churáňov, Lysá hora a Brno-Tuřany. Tieto stanice boli vybrané z dôvodu porovnania horských polôh na východe a západe krajiny a takisto porovnania polôh, ktoré sú považované za kontinentálnejšie (Brno-Tuřany) a alebo naopak majú klímu viac oceánsku (Cheb). Na mapách zobrazených vyššie sme pre stanice v západnej časti územia pozorovali nízke hodnoty variačného koeficientu. To indikuje vyrovnanjší chod indexu počas roka. Toto zistenie je v súlade s ročným chodom zrážok na týchto staniciach, ktorý je, na základe Markhamovho indexu ombrickej kontinentality, vyrovnanjší ako na staniciach Lysá hora a Brno-Tuřany (Tolasz et al., 2007).



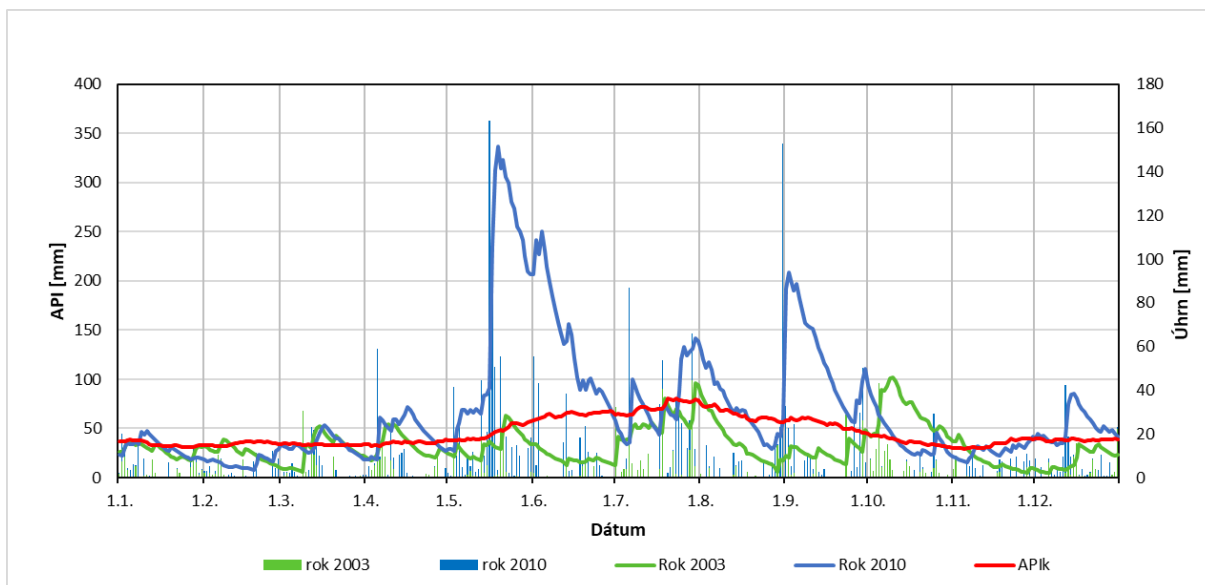
Obr. 4.3 Ročný chod API_k (červená krivka), API_{kh} (zelená krivka) a variačný koeficient (modrá krivka) pre vybrané stanice v ČR v období 1961-2019 (spracované na základe dát ČHMÚ).

Ak sa pozrieme na ročný chod API_k , tak zistíme, že maximálne hodnoty sú na všetkých štyroch vybraných staniciach pochopiteľne dosahované v letných mesiacoch. Podľa charakteru krivky pre API_k je ročný chod týchto hodnôt viac vyrovnaný v západnej časti územia ako na staniciach na východe krajiny, kde je viditeľné výraznejšie letné maximum a krivka má väčšiu amplitúdu. Na stanici Brno-Tuřany je maximum dosahované začiatkom leta v júni, čo môžeme pozorovať nielen na krivke priemerných denných hodnôt, ale aj na krivke, ktorá zobrazuje zhladené hodnoty API_k . Na druhú stranu v Chebe je maximum API_k

dosahované skôr na konci leta. Na Lysej hore jednoznačne dominuje júlové maximum. Čo sa týka variability vyjadrenej v grafoch modrou krivkou pomocou variačného koeficientu, tak zistíme, že pre stanice Cheb a Churáňov je v lete charakteristická relatívne menšia medziročná variabilita ako v iných častiach roka. Naopak stanice na východe krajiny vykazujú v lete o niečo vyššiu variabilitu, avšak hlavne na stanici Brno-Tuřany je viditeľná nižšia medziročná variabilita v mesiaci jún a v prvej polovici júla.

Hodnoty variačného koeficientu na všetkých staniciach vykazujú veľmi premenlivý priebeh počas roka. Z vybraných staníc je najviac rozkolísaná krivka pre stanicu Lysá hora, pri ktorej môžeme vidieť výrazné skoky a to hlavne v období na konci jari, v polovici a na konci leta. Skok v hodnotách variačného koeficientu na konci jari je pravdepodobne spôsobený silnými zrážkami v roku 2010, kedy hodnoty *API* dosahovali hodnôt vyšších ako 300 mm. Ďalší výrazný skok je potom badateľný na začiatku júla, čo by mohlo korešpondovať s extrémnymi úhrnmi v roku 1997. V týchto prípadoch boli po extrémnych úhrnoch dosahované vysoké hodnoty *API*, ktoré sú výrazne odlišné od priemeru a z tohto dôvodu sú hodnoty variačného koeficientu v týchto obdobiach vysoké. Rozkolísanosť hodnôt *API* je možné dokumentovať porovnaním priebehu hodnôt *API* pre rôzne roky. V grafe na obr. 4.5 sú pre stanicu Lysá hora porovnané roky 2010, ktorý bol veľmi vlhký, a rok 2003, ktorý sa naopak zaradil medzi roky suchšie. Ako už bolo spomenuté v roku 2010 sa v na konci jari vyskytli silné zrážky, čo sa odzrkadlilo aj na vysokých hodnotách indexu nasýtenia, ktorý v tomto období dosahoval hodnoty takmer 350 mm. Na druhú stranu v tomto istom období v roku 2003 dosahoval *API* väčšinou hodnoty pod 50 mm.

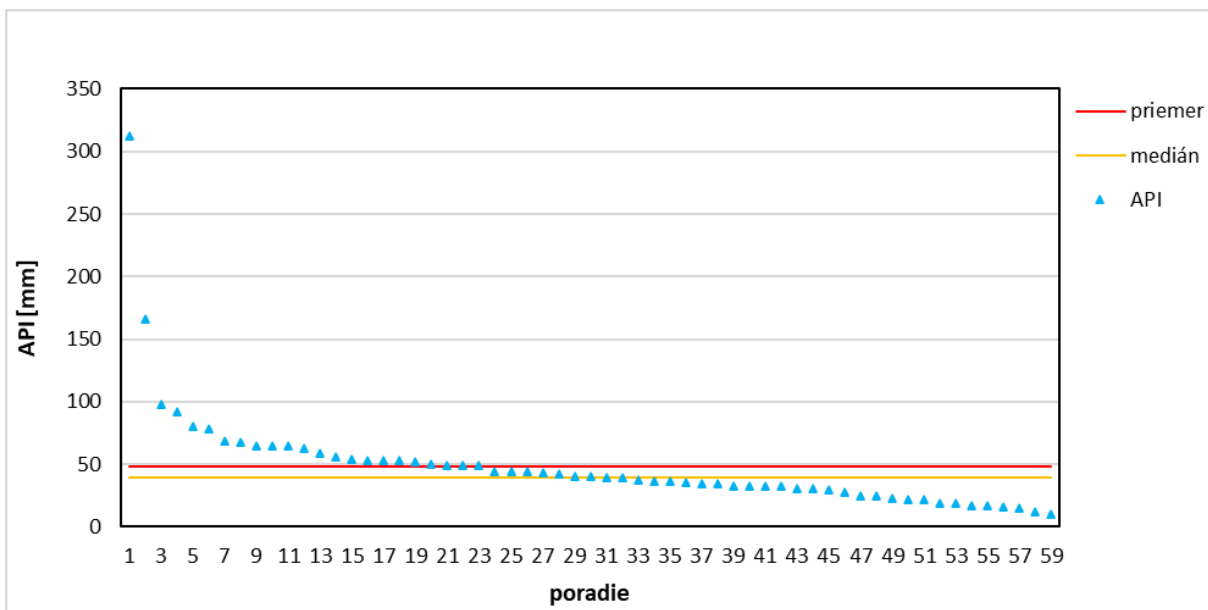
Na základe vyššie komentovaných charakteristík *API* a ich variačného koeficientu môžeme tvrdiť, že ombricky kontinentálnejšie stanice vykazujú výraznejšie letné maximum *API_k* a zároveň aj vyššiu variabilitu a asymetriu týchto hodnôt.



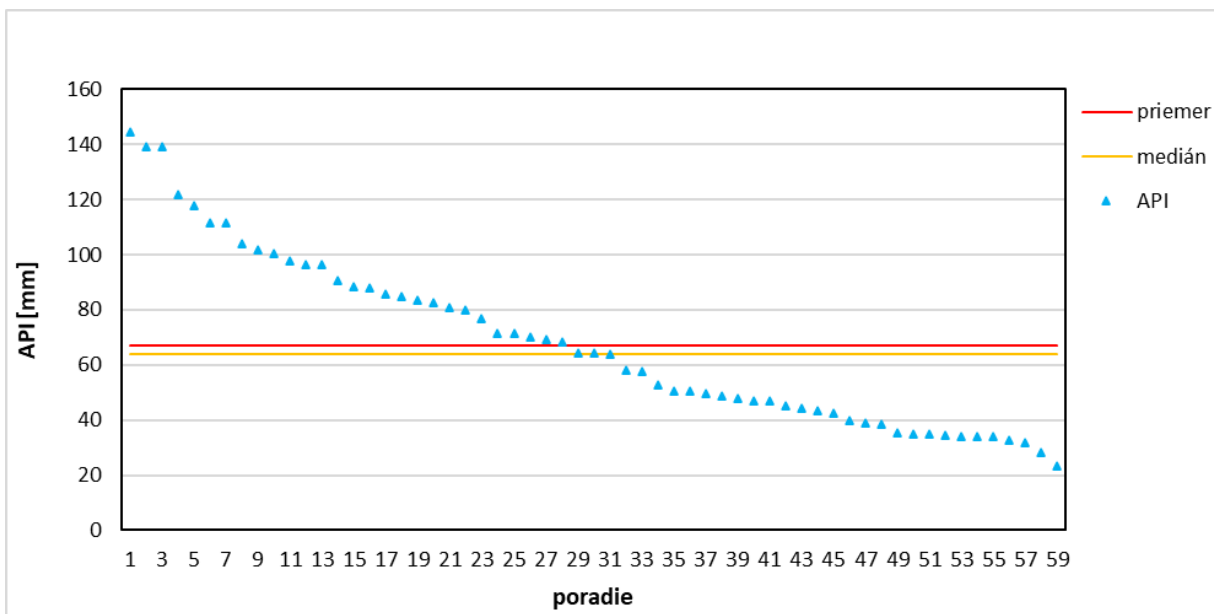
Obr. 4.5 Ročný chod denných hodnôt API v rokoch 2003 (zelená krivka) a 2010 (modrá krivka) pre stanicu Lysá hora. Červená krivka zobrazuje hodnoty API_k za obdobie 1961-2019. Zelené stĺpčeky zobrazujú denné úhrny zrážok v roku 2003, modré v roku 2010 (spracované na základe dát ČHMÚ).

Medziročnú variabilitu hodnôt API dokazujú aj obr. 4.6 a 4.7, na ktorých sú hodnoty indexu API pre stanicu Lysá hora zoradené zostupne pre dva rôzne dátumy. Vidíme, že viac rozkolísaný je dátum 18.5., kde sa výrazne prejavujú silné zrážky z roku 2010, ktoré mali vplyv na hodnotu API v nasledujúcich dňoch, a preto je tento konkrétny dátum z roku 2010 výrazne odlišný od iných v ostatných rokoch. To je možné vypožorovať už aj z obr. 4.5. Naopak dátum 30.6. je rozkolísaný menej. Hodnoty API pre tento dátum zoradené zostupne sú oproti dátumu 18.5. viac vyrovnané, respektíve v rámci skúmaného časového obdobia nebol zaznamenaný žiadny extrém, ktorý by sa tak výrazne odlišoval od zvyšných hodnôt.

Na základe vyššie popísaných faktov je zrejmé, že hodnoty API sa môžu v jednotlivých dňoch pomerne výrazne odlišovať. Variabilita môže byť sezónna, tak ako to naznačujú grafy na obr. 4.3, kde vidíme, že hodnoty API sa menia v priebehu roka, a takisto existuje variabilita medziročná, ktorú dokumentujú obr. 4.5-4.7. Rovnako sa hodnoty líšia aj medzi stanicami. Z tohto dôvodu je dôležité hodnoty nasýtenosti zhladiť a následne pracovať s normovanými hodnotami, vďaka ktorým je možné hodnoty nasýtenosti porovnať medzi jednotlivými stanicami a medzi rôznymi obdobiami a získavame tak relatívnu nasýtenosť.



Obr. 4.6 Hodnoty indexu API pre kalendárny deň 18.5. zoradené od najvyššej po najnižšiu hodnotu na stanici Lysá hora pre obdobie 1961-2019. Červená krivka zobrazuje priemer hodnôt API pre tento deň, oranžová krivka medián (spracované na základe dát ČHMÚ).



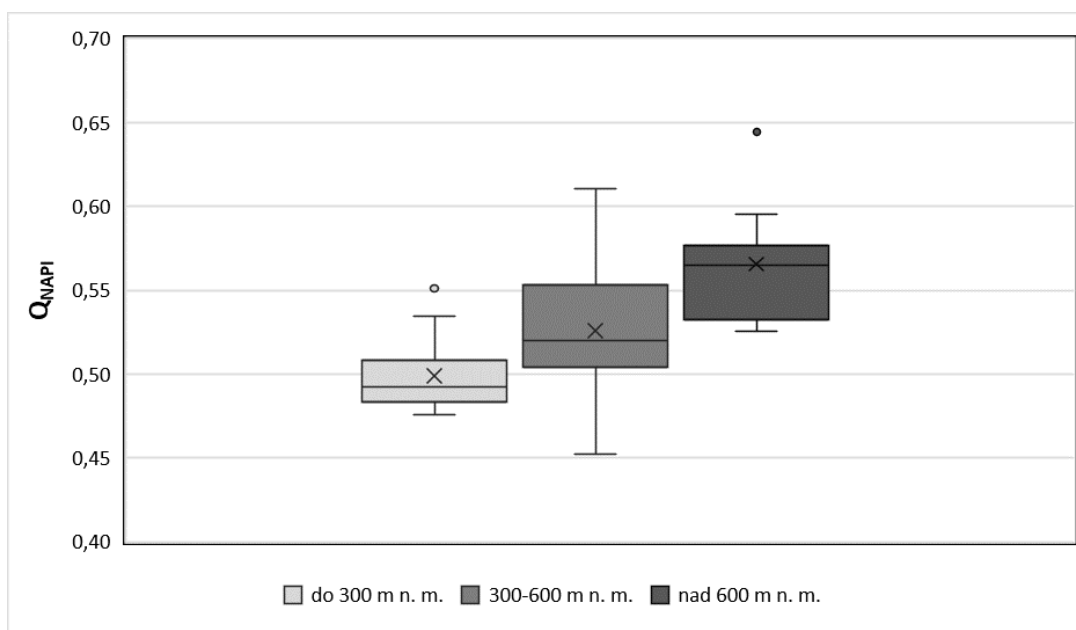
Obr. 4.7 Hodnoty indexu API pre kalendárny deň 30.6. zoradené od najvyššej po najnižšiu hodnotu na stanici Lysá hora pre obdobie 1961-2019. Červená krivka zobrazuje priemer hodnôt API pre tento deň, oranžová krivka medián (spracované na základe dát ČHMÚ).

5 Rozdelenie API pred extrémnymi úhrnmi zrážok

5.1 API pred maximálnymi dennými úhrnmi zrážok

V nasledujúcej kapitole bude popísané rozdelenie hodnôt Q_{NAPI} pred R_{dx} a takisto aj hodnoty ukazovateľa významu relatívnej nasýtenosti U .

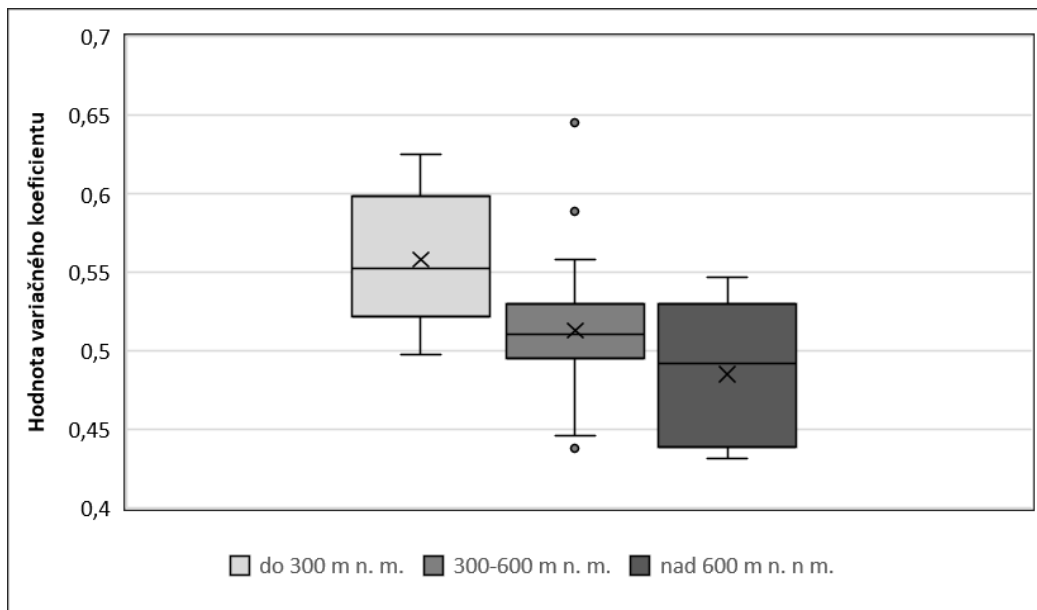
Na obr. 5.1 môžeme vidieť, ako vyzerá rozdelenie priemerných hodnôt Q_{NAPI} pred R_{dx} v rôznych nadmorských výškach. Do grafu vstupujú priemerné hodnoty Q_{NAPI} v deň ročného maxima denného úhrnu zrážok. Priemerné hodnoty boli spočítané za príslušný počet rokov časovej rady stanice. To znamená, že ak daná stanica meria 50 rokov, tak priemerná hodnota Q_{NAPI} vznikla z 50-tich hodnôt. Vidíme, že najnižšie položené stanice dosahujú najnižších hodnôt a zároveň vykazujú najmenšiu rozkolísanosť hodnôt. Ukazuje sa teda, že relatívna nasýtenosť pred R_{dx} je na týchto stanicích v priemere nižšia ako na stanicích položených vo vyšších nadmorských výškach. Priemer hodnôt Q_{NAPI} na týchto stanicích je 0,50. To značí normálne podmienky relatívnej nasýtenosti. Naopak stanice položené vo vyšších nadmorských výškach vykazujú v priemere o málo vyššiu relatívnu nasýtenosť pred R_{dx} . Rovnako sú podľa obr. 5.1 priemerné hodnoty Q_{NAPI} viac rozkolísané ako v polohách do 300 m n. m.. Pre najvyššie položené stanice ďalej platí, že vo všetkých prípadoch je priemerná hodnota Q_{NAPI} vyššia ako 0,50. Najviac rozkolísané sú hodnoty v polohách od 300 do 600 m n. m.. Na druhú stranu je ale potrebné dodať, že do tejto kategórie spadá najviac staníc.



Obr. 5.1 Škatulové grafy pre priemerné hodnoty Q_{NAPI} v deň ročného maxima denného úhrnu zrážok pre tri výškové stupne do 300 m n. m., medzi 300 a 600 m n. m. a nad 600 m n. m.. Križiky v grafe označujú priemernú hodnotu, vodorovná čiara vnútri škatule značí medián.

Najvyššiu priemernú hodnotu Q_{NAPI} pred R_{dx} vykazuje stanica Lysá hora s hodnotou na úrovni 0,64. Najnižšiu hodnotu spomedzi staníc nad 600 m n. m. dosahujú stanice Nedvězí a Deštné v Orlických horách, konkrétne 0,53. Táto hodnota je na úrovni priemeru stredne položených staníc. Absolútne najnižšiu hodnotu dosahuje stanica Rychnov nad Kněžnou. Priemerná hodnota Q_{NAPI} tu dosahuje 0,45. Je ale potrebné dodať, že na tejto stanici chýbajú údaje od roku 1961 do roku 1980. Najnižší priemer hodnôt Q_{NAPI} na stanici s kompletnou časovou radou je 0,46 na stanici Příbyslav. Táto stanica spadá do výškovej kategórie medzi 300 a 600 m n. m.. V rámci tejto kategórie dosahujú najvyšších hodnôt stanice Horní Bečva (0,61) a Raškovice (0,58), ide o stanice relatívne nižšie položené, ale ležiace v blízkosti pohorí. Spomedzi najnižšie položených staníc dosahuje najvyššiu priemernú hodnotu Q_{NAPI} pred R_{dx} zrážok stanica Lučina (0,55). Najnižšiu hodnotu v tejto výškovej kategórii dosahujú stanice Olomouc, Doksany a pražské stanice Klementinum a Karlov (0,48). Na základe vyššie komentovaných skutočností je možné tvrdiť, že najvyššie priemerné hodnoty Q_{NAPI} pred R_{dx} dosahujú najvyššie položené stanice alebo aj nižšie položené stanice v blízkosti hôr. Najvyššie priemerné hodnoty Q_{NAPI} vykazujú stanice v blízkosti Moravsko-sliezskych Beskyd, Jeseníkov alebo Bielych Karpát. V západnej časti krajiny dosahujú najvyšších hodnôt stanice Churáňov, Přimda a Vyšší Brod, čiže oblasť Šumavy a jej okolia. Podobne ako tomu bolo pri priemerných hodnotách API , tak aj v tomto prípade je pomerne výrazný rozdiel medzi Šumavskými stanicami a stanicami ležiacimi v Česko-Budějovickkej panve.

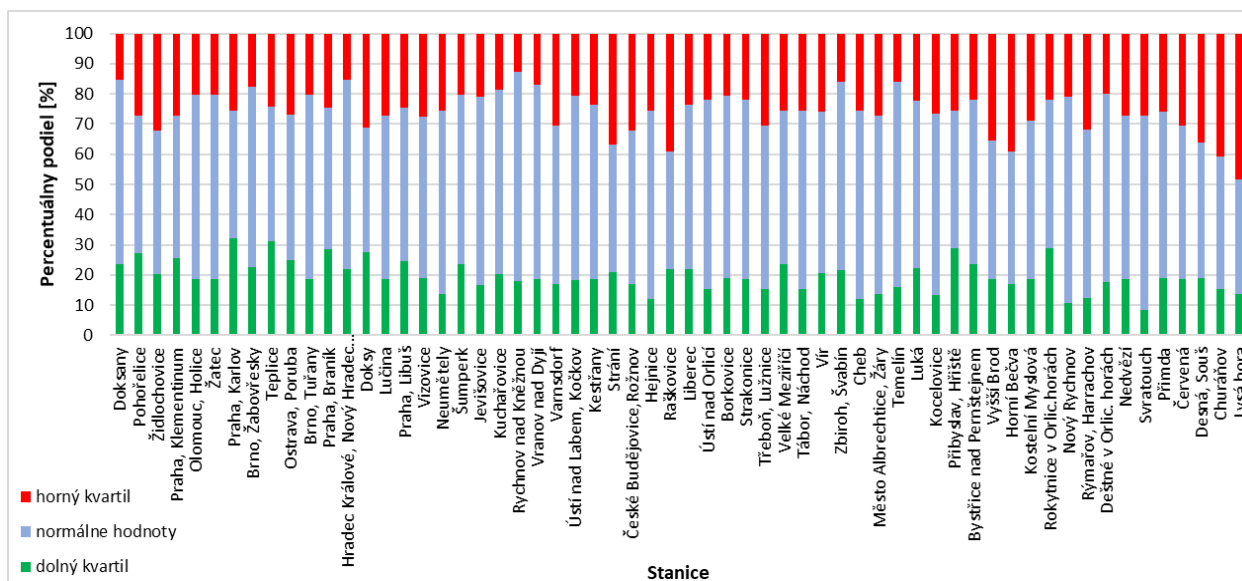
Ak sa pozrieme bližšie na variabilitu hodnôt Q_{NAPI} pred R_{dx} , tak zistíme, že vo vyšších polohách je variabilita hodnôt Q_{NAPI} nižšia ako na stanicach, ktoré sú položené nižšie. Názorne to dokumentuje aj obr. 5.2 na ktorom je opäť pomocou škatuľových grafov a variačného koeficientu vyjadrená variabilita v jednotlivých výškových stupňoch. Vyššia variabilita na nižšie položených stanicach znamená, že na týchto stanicach môže pred R_{dx} dôjsť k širšej palete stavov relatívnej nasýtenosti ako na vyššie položených stanicach, na ktorých je rozdelenie hodnôt Q_{NAPI} menej variabilné. O hodnotách relatívnej nasýtenosti na nižšie položených stanicach by sme tak mohli povedať, že sú akoby viac náhodné.



Obr. 5.2 Škatul'ové grafy pre hodnoty variačného koeficientu hodnôt Q_{NAPI} pred ročnými maximami denných úhrnov zrážok pre tri výškové stupne do 300 m n. m., medzi 300 a 600 m n. m. a nad 600 m n. m.. Krížiky v grafe označujú priemernú hodnotu, vodorovná čiara vnútri škatule značí medián.

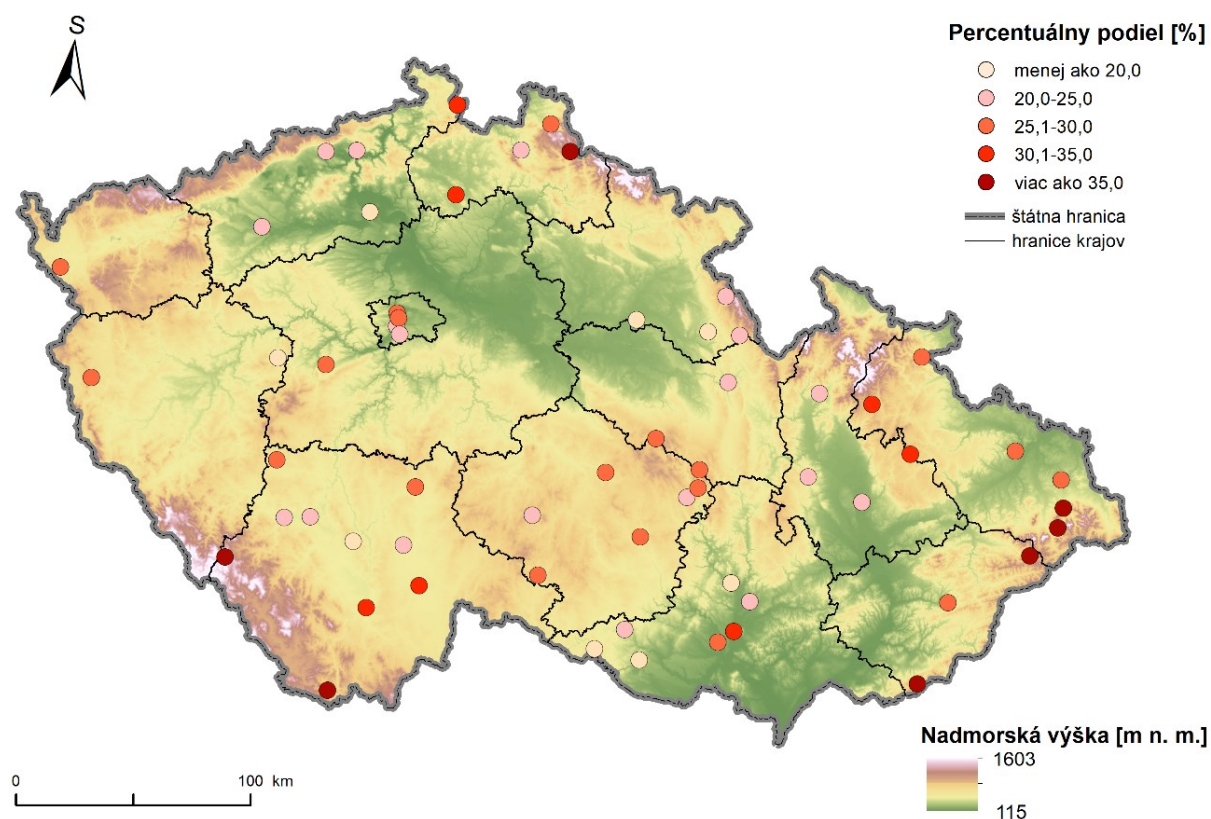
Pre vyjadrenie pravdepodobnosti výskytu nadnormálnych hodnôt indexu Q_{NAPI} pred R_{dx} bol pre každú stanicu vypočítaný percentuálny podiel počtu rokov s nadnormálnymi hodnotami Q_{NAPI} pred R_{dx} . Za nadnormálne boli považované hodnoty nad hodnotou kvantilu 0,75.

Na obr. 5.3 sú stanice zoradené podľa nadmorskej výšky. V ľavej časti grafu sa nachádzajú najnižšie položené stanice. Z grafu je vidieť, že najvyššie položené stanice, ako sú Desná, Churáňov či Lysá hora, majú najvyšší počet rokov s nadnormálne vysokými hodnotami relatívnej nasýtenosti pred R_{dx} . Na Lysej hore bola nadnormálna relatívna nasýtenosť pred R_{dx} zaznamenaná v 48,3 percentách prípadov. Táto stanica sa tak pomerne významne odlišuje od ostatných staníc a je výrazne nadpriemerná, nakoľko priemer ostatných staníc je 25,7. Nadnormálnu relatívnu nasýtenosť môžeme pred R_{dx} pozorovať aj na nižšie položených staniach v blízkosti hôr. Napríklad podiel rokov s relatívnou nasýtenosťou nad normálom na stanici Strání, ležiacej v Bielych Karpatoch, je podobný ako na stanici Desná a vyšší ako na staniach Svratouch či Přimda. Naopak najnižšiu hodnotu dosahuje stanica Rychnov nad Kněžnou. Na tejto stanici bola nadnormálna relatívna nasýtenosť dosiahnutá približne v dvanástich percentách prípadov.



Obr. 5.3 Rozdelenie hodnôt Q_{NAPI} pred R_{dx} . Červenou farbou je v grafe zobrazený percentuálny podiel hodnôt Q_{NAPI} , ktoré sú v hornom kvartile hodnôt Q_{NAPI} pre konkrétnu stanicu. Modrou farbou je zobrazený percentuálny podiel hodnôt Q_{NAPI} spadajúcich do hodnôt normálu (medzi kvantilom 0,25. a 0,75). Zelenou farbou je zobrazený percentuálny podiel hodnôt Q_{NAPI} spadajúcich do dolného kvartilu rozdelenia hodnôt Q_{NAPI} pre konkrétnu stanicu.

Na mape na obr. 5.4 môžeme vidieť, ako sú hodnoty percentuálneho podielu nadnormálnych hodnôt Q_{NAPI} pred R_{dx} rozložené v rámci Česka. Z mapy môžeme vyčítať, podobne ako z grafu na obr. 5.3, že vyššie položené stanice a stanice v blízkosti hôr vykazujú vyššie hodnoty. Oproti grafu však mapa podáva lepšiu informáciu o priestorovom rozložení sledovanej veličiny. Je zaujímavé, že oproti iným horským oblastiam vykazujú stanice v Orlických horách pomerne nízke hodnoty. Nadnormálne vysoké hodnoty Q_{NAPI} pred R_{dx} sa tu vyskytli v dvadsiatich (stanica Deštné v Orlických horách) respektíve v dvadsiatich dvoch percentách (stanica Rokytnice v Orlických horách), čo je porovnateľné so stanicami pod Krušnými horami, ako sú Žatec, či Ústí nad Labem, alebo s niektorými stanicami v Česko-Budějovickej panve. Za povšimnutie stojí tiež výrazný rozdiel medzi stanicami Židlochovice a Brno-Žabovřesky, ktoré ležia pomerne blízko seba. Zatiaľ čo na stanici Židlochovice bola nadpriemerná relatívna nasýtenosť pred R_{dx} dosiahnutá v tridsiatich dvoch percentách prípadov, tak na stanici Brno-Žabovřesky to bolo iba v približne sedemnástich percentách prípadov.



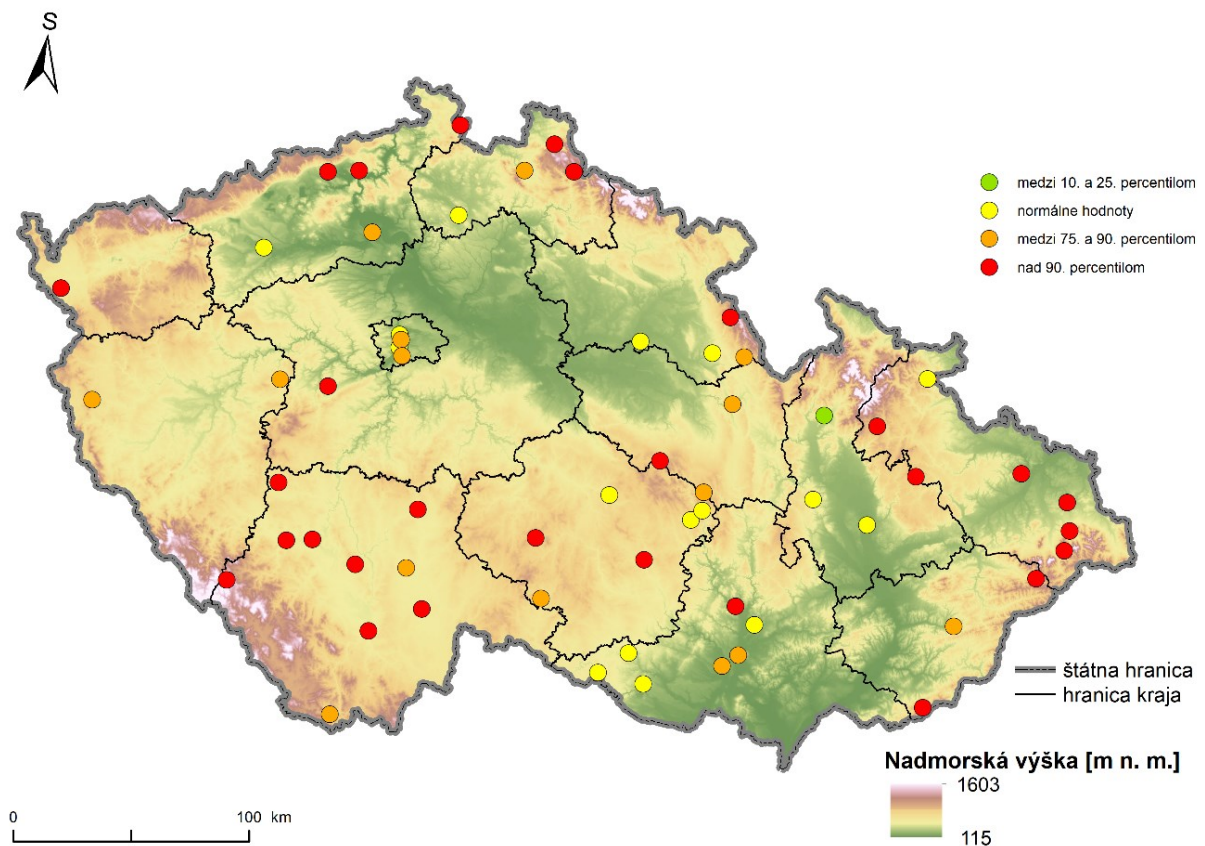
Obr. 5.4 Percentuálny podiel nadnormálnych hodnôt Q_{NAPI} (hodnoty nad kvantom 0,75 rozdelenia hodnôt Q_{NAPI} pre konkrétnu stanicu) pred R_{dx} .

V prípade združenej hydrometeorologickej udalosti typu zrážok na nasýtené povodie nie je dôležitá iba samotná nasýtenosť, ale aj veľkosť zrážky, ktorá v danom území spadne. Z tohto dôvodu bol zostavený ukazovateľ významnosti relatívnej nasýtenosti U pred maximálnymi úhrnmi zrážok, v ktorom sú hodnoty relatívnej nasýtenosti vyjadrené v kvantiloch vážené poradím ročného maxima denného úhrnu zrážok. Z charakteru výpočtu ukazovateľa (kapitola 3.4) vyplýva, že vyššie hodnoty tohto ukazovateľa znamenajú vyššie hodnoty relatívnej nasýtenosti pred vyššími maximami úhrnov zrážok.

Na mape na obr. 5.5 sú pre sledované stanice zobrazené hodnoty ukazovateľa významu relatívnej nasýtenosti U . V mape sú hodnoty U rozdelené do kategórií na základe určitých prahových hodnôt, ktoré boli zistené spôsobom popísaným v kapitole 3.4, kde je ukazovateľ významu relatívnej nasýtenosti definovaný. Pri pohľade na mapu vidíme, že veľký počet staníc dosahuje hodnôt U vyšších ako je kvantil 0,9 a teda môžeme ich považovať za extrémne. Týchto staníc je 28, čo predstavuje takmer polovicu sledovaných staníc. Ak k tomuto počtu ešte pripočítame stanice, ktoré spadajú do horného kvartilu rozdelenia

ukazovateľa, tak sa dostaneme na číslo 43. To znamená, že takmer 75% staníc dosahuje nadnormálnych hodnôt U pred R_{dx} .

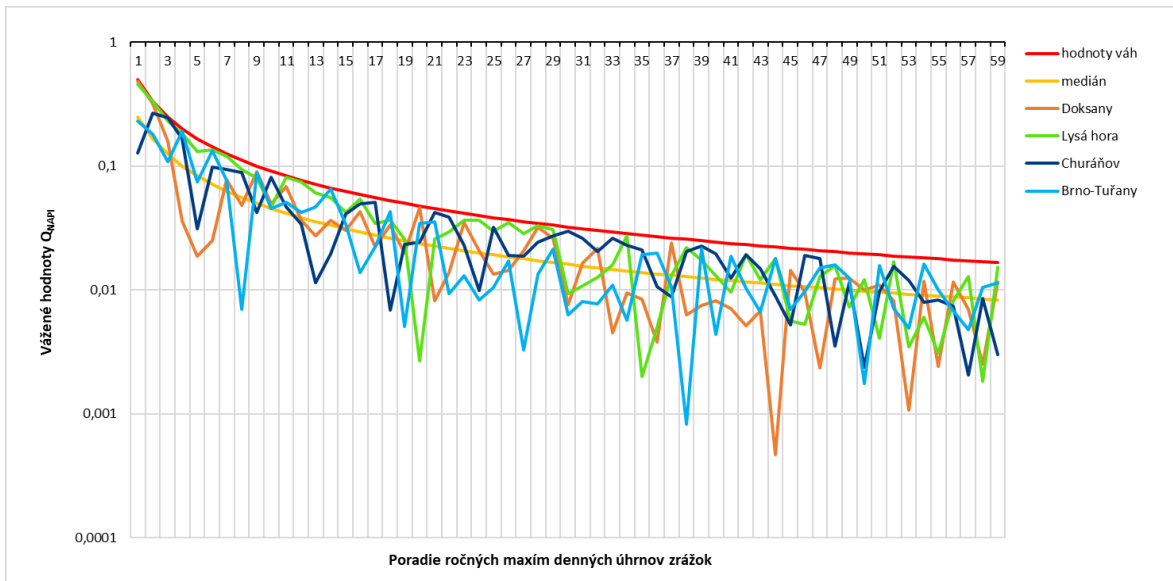
Najvyšších hodnôt opäť dosahujú stanice v horách, a to predovšetkým na východe krajiny. Najvyššiu hodnotu dosahuje stanica Lysá hora (0,58). Trochu prekvapivo vysokú hodnotu dosahuje Cheb (0,35). Naopak najnižšiu hodnotu dosahuje Šumperk, ktorý dokonca dosahuje zápornú hodnotu U (-0,10). Zaujímavé je, že neďaleký Rýmařov dosahuje hodnotu U 0,3. Šumperk je jediná stanica so zápornou hodnotou U a takisto ako jediná spadá do kategórie v dolnom kvartile rozdelenia ukazovateľa. Nízke hodnoty sú potom ešte dosahované napríklad na stanicach Bystřice nad Pernštejnem či Jevišovice. Celkom výrazný je rozdiel medzi priemernou hodnotou U v nadmorských výškach od 300 do 600 m n. m. a najvyššími polohami. V polohách medzi 300 a 600 m n. m. je priemerná hodnota U 0,15. V najvyšších polohách je to až 0,25. Podľa predpokladov najnižšie hodnoty dosahujú stanice v najnižších nadmorských výškach, v priemere 0,12. Na týchto stanicach bola v priemere aj nižšia hodnota Q_{NAPI} pred R_{dx} .



Obr. 5.5 Rozdelenie hodnôt ukazovateľa významu relatívnej nasýtenosti U pred R_{dx} .

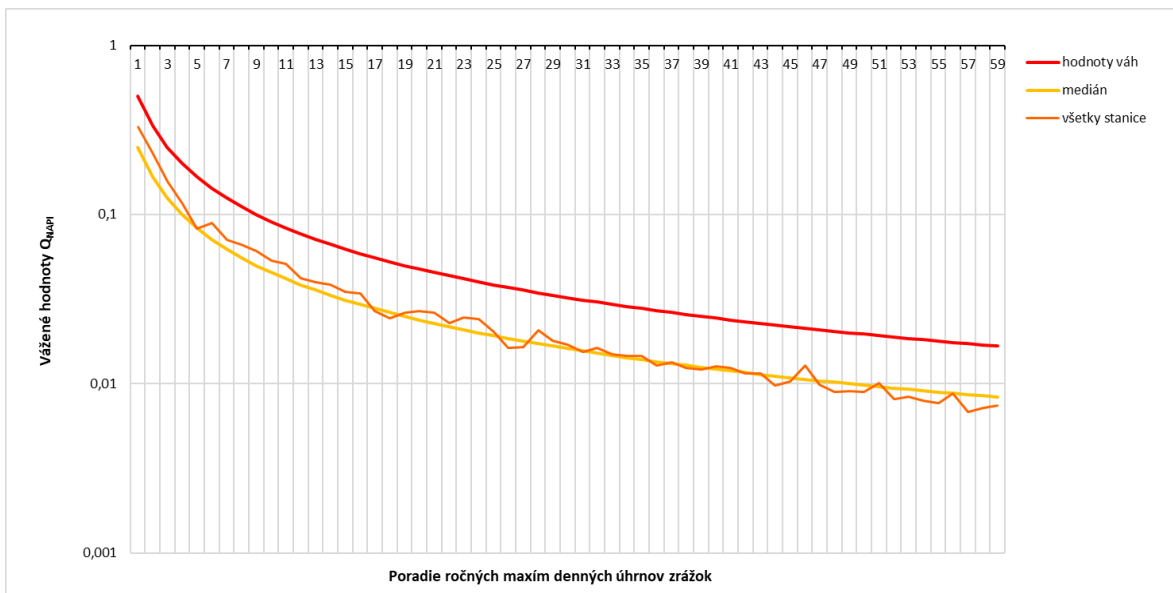
Na základe percentuálneho zastúpenia nadnormálnych hodnôt Q_{NAPI} a takisto ich priemerných hodnôt sa ukazuje, že vyššie hodnoty dosahujú stanice v horách, alebo v podhorských oblastiach, avšak na základe navrhnutého ukazovateľa významu relatívnej nasýtenosti U sú viditeľné odlišnosti oproti charakteristike relatívnej nasýtenosti pred R_{dx} pomocou percentuálneho zastúpenia nadnormálnych hodnôt Q_{NAPI} . Zreteľný rozdiel je možné pozorovať napríklad medzi stanicami Lysá hora a Churáňov. Zatiaľ čo Lysá hora dosahuje hodnotu U 0,58, Churáňov dosahuje hodnotu iba 0,2. Obidve tieto stanice majú priemernú hodnotu Q_{NAPI} pred R_{dx} relatívne podobnú, Lysá hora má hodnotu 0,64 a Churáňov 0,6. Rovnako aj pri percentuálnom zastúpení nadnormálnych hodnôt Q_{NAPI} sú na tom tieto stanice podobne, obidve dosahujú zastúpenie nadnormálnych hodnôt nad 40 percent. Rozdiel medzi stanicami je v tom, že na Lysej hore bola pred najvyššími extrémami zaznamenaná vyššia relatívna nasýtenosť ako na Churáňove.

Tento fakt dokazuje aj graf na obr. 5.6, kde je pre spomínané stanice zobrazený priebeh vážených hodnôt Q_{NAPI} pred zostupne zoradenými R_{dx} . Krivka pre Lysú horu je v ľavej časti grafu takmer identická s krivkou, ktorá zobrazuje hodnoty použitých váh. Takýto tvar krivky indikuje, že na Lysej hore sa pred najextrémnejšími R_{dx} , vyskytla aj extrémna relatívna nasýtenosť. Medzi hodnotami Q_{NAPI} pred najvyššími piatimi R_{dx} sa vyskytla iba jedna pod 0,9. Naopak na Churáňove (tmavomodrá krivka) bola pred najvyšším denným úhrnom zaznamenaná dokonca podnormálna hodnota Q_{NAPI} . To môže znamenať, že najvyšší úhrn na stanici Churáňov bol odlišného pôvodu ako najvyšší R_{dx} na Lysej hore. Pre porovnanie sú do grafu doplnené aj stanice z nižších polôh, a to Doksany a Brno-Tuřany. Na stanici Brno-Tuřany môžeme pozorovať, že pred najvyššími extrémami bola zaznamenaná priemerná relatívna nasýtenosť a R_{dx} sa tak vyskytli po suchšom období. Naopak v Doksanoch bola pred prvými dvomi extrémami zaznamenaná aj extrémne vysoká relatívna nasýtenosť, čo naznačuje, že zrážková epizóda zrejme trvala viac dní, nie len v deň, keď bol zaznamenaný R_{dx} . Na rozdiel od Lysej hory už bola ale pred v poradí ďalšími R_{dx} zaznamenaná normálna či dokonca aj podnormálna relatívna nasýtenosť.

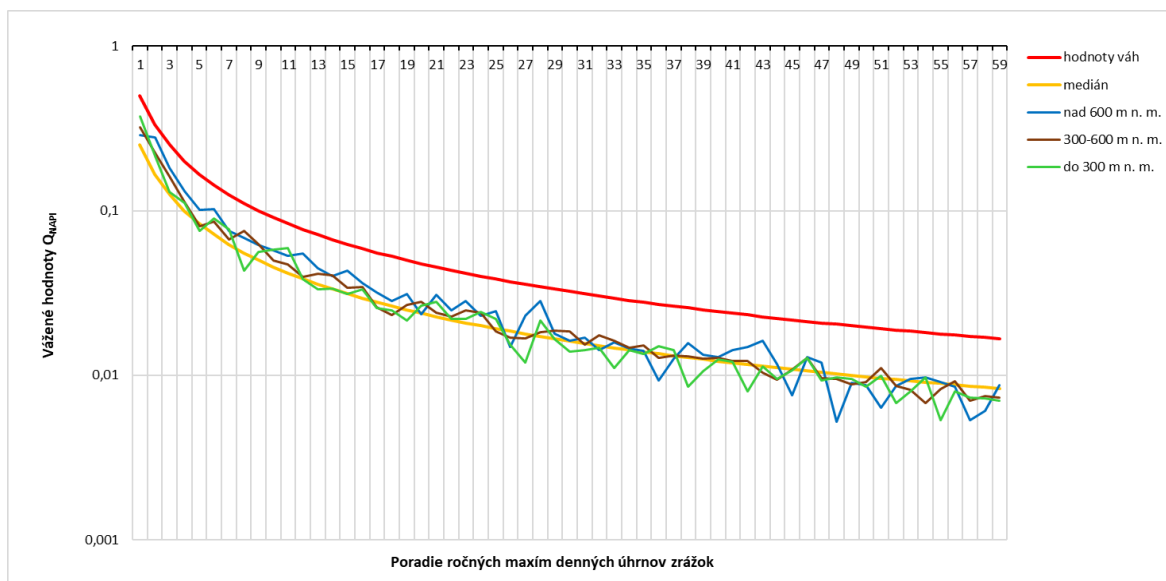


Obr. 5.6 Priebeh vážených hodnôt Q_{NAPI} pred zostupne zoradenými R_{dx} pre vybrané stanice. Červenou krivkou sú zobrazené hodnoty váh a žltou hodnoty, ktoré predstavujú medián vážených hodnôt Q_{NAPI} .

Ako už bolo spomenuté, hodnoty U pre R_{dx} sú vysoké na väčšine staníc, čo dokazuje nie len mapa na obr. 5.5, ale aj grafy na obr. 5.7 a 5.8, na ktorých vidíme priebeh vážených hodnôt Q_{NAPI} pred R_{dx} , podobne ako na obr. 5.6 s tým rozdielom, že v týchto grafoch sú zobrazené priemerné hodnoty vážených hodnôt Q_{NAPI} pre všetky stanice, respektíve pre stanice v troch výškových stupňoch.



Obr. 5.7 Priebeh vážených hodnôt Q_{NAPI} pred zostupne zoradenými R_{dx} . V grafe sú zobrazené priemerné hodnoty, spočítané zo 60-tich skúmaných staníc. Červenou krivkou sú zobrazené hodnoty váh a žltou hodnoty, ktoré predstavujú medián vážených hodnôt Q_{NAPI} .



Obr. 5.8 Priebeh vážených hodnôt Q_{NAPI} pred zostupne zoradenými R_{dx} . V grafe sú zobrazené priemerné hodnoty pre tri výškové stupne. Červenou krivkou sú zobrazené hodnoty váh a žltou hodnoty, ktoré predstavujú medián vážených hodnôt Q_{NAPI} .

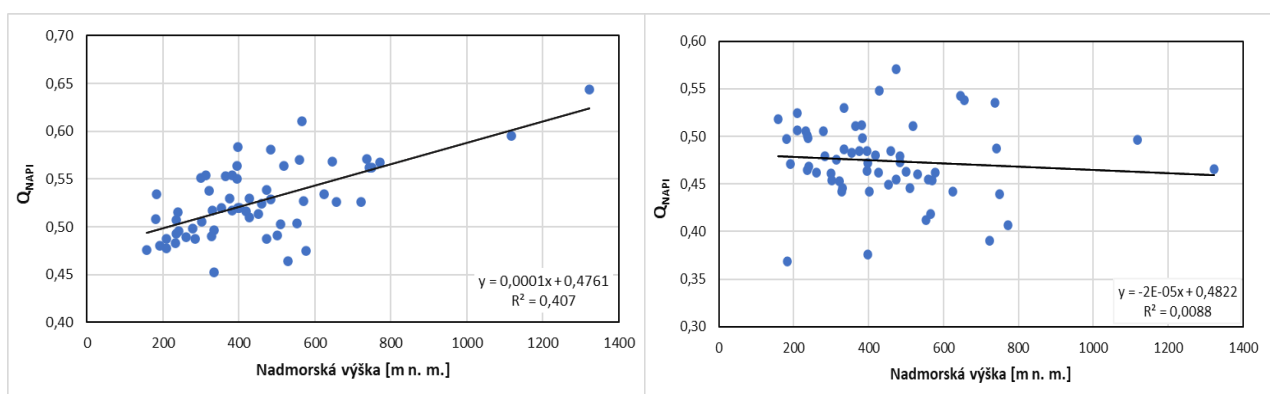
Z grafu na obr. 5.7 vidíme, že vážené hodnoty Q_{NAPI} sú pred najvyššími hodnotami R_{dx} v priemere na všetkých staniách nadnormálne, keďže krivka reprezentujúca vážené hodnoty Q_{NAPI} sa nachádza nad krivkou zobrazujúcou strednú hodnotu týchto hodnôt. V priemere sú vážené hodnoty Q_{NAPI} nadnormálne až do približne polovice skúmaného počtu extrémov. Pred nižšími hodnotami R_{dx} je relatívna nasýtenosť priemerná, či dokonca podpriemerná. Tento fakt vysvetľuje vysoký počet staníc s vysokými hodnotami U (obr. 5.5). Ak sa pozrieme na priemerný priebeh vážených hodnôt Q_{NAPI} pred R_{dx} pre rôzne výškové stupne (obr. 5.8), tak zistíme, že vážené hodnoty Q_{NAPI} sú pred najvyššími R_{dx} v priemere o niečo nadnormálne vo všetkých nadmorských výškach. V nadnormálnych hodnotách ostáva najdlhšie krivka pre najvyššie nadmorské výšky, a to približne až do tridsiateho najvyššieho extrému. Zároveň však platí, že pri nižších hodnotách R_{dx} sú priemerné vážené hodnoty Q_{NAPI} v najvyšších polohách viac rozkolísané. V stredných polohách sa krivka takisto pomerne dlho drží v nadnormálnych hodnotách, avšak o niečo nižších ako v polohách nad 600 m n. m..

Celkovo by sme o relatívnej nasýtenosti, respektíve o rozložení zrážok pred R_{dx} , mohli povedať, že na väčšine staníc je priemerná hodnota Q_{NAPI} jemne posunutá smerom k vyšším hodnotám. To je možné vypožorovať už z obrázku 5.1, na ktorom vidíme, že hlavne vo vyšších polohách sú priemerné hodnoty Q_{NAPI} vyššie ako 0,5. Zároveň platí, že vo vyššie položených staniach sú hodnoty Q_{NAPI} pred maximami vyrovnaneršie a menej rozkolísané ako v nižších polohách. Zaujímavo vyzerajú výsledky, ak podmienky pred extrémami popíšeme pomocou nami odvodeného ukazovateľa významu relatívnej nasýtenosti U . Nižšie hodnoty U sú dosahované v nižších polohách, kde je priemerná hodnota U na úrovni 0,12. Aj táto hodnota je pritom vyššia ako hodnota, ktorá zodpovedá kvantilu 0,75, ktorým sme definovali nadnormálne podmienky. Výrazne vyššie hodnoty sú dosahované vo vyšších polohách, alebo na staniach v blízkosti hôr, kde sa hodnoty U pohybujú na úrovni okolo 0,3. Na základe hodnôt U môžeme tvrdiť, že pred vyššími dennými extrémami je na väčšine staníc vo väčšine prípadov aj vyššia relatívna nasýtenosť vyjadrená pomocou hodnôt Q_{NAPI} .

5.2 API pred maximálnymi subdennými úhrnmi zrážok

V nasledujúcej podkapitole bude, podobne ako v predošlej, popísané rozdelenie hodnôt Q_{NAPI} a ukazovateľa významu relatívnej nasýtenosti U pred silnými subdennými úhrnmi zrážok.

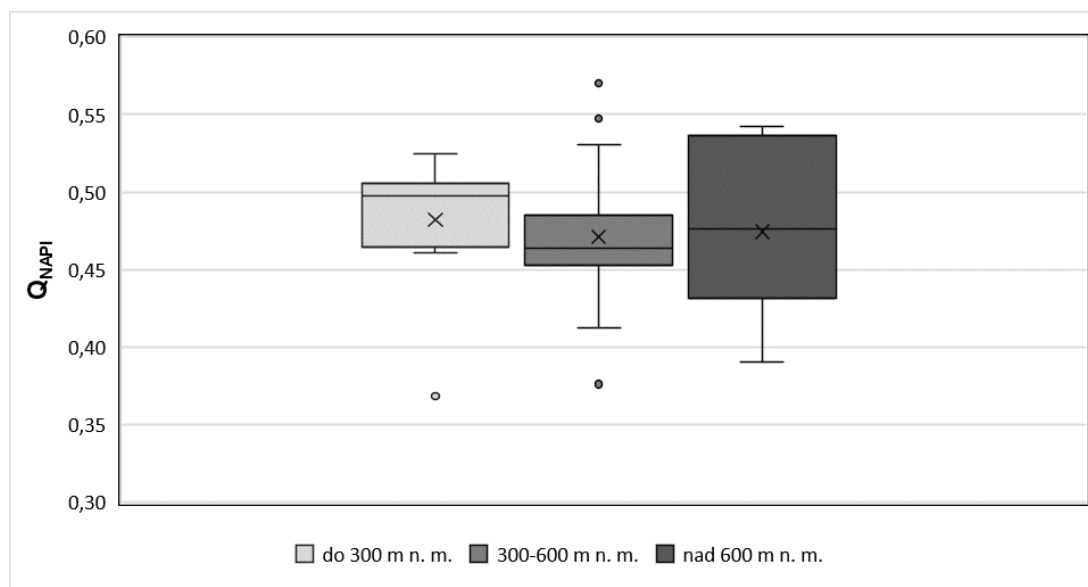
Zatiaľ čo pre denné úhrny zrážok vykazovali priemerné hodnoty Q_{NAPI} pred R_{dx} pomerne jasnú závislosť na nadmorskej výške, pre maximá subdenných úhrnov zrážok je situácia odlišná a hlavne pre kratšie intervaly (v našom prípade menej ako 180 minút) platí, že priemerné hodnoty Q_{NAPI} pred ročnými maximami nie sú závislé na nadmorskej výške a najnižšie položené stanice dosahujú podobné, alebo dokonca aj o niečo vyššie hodnoty ako stanice vo vyšších nadmorských výškach (obr. 5.9).



Obr. 5.9 Závislosť priemerných hodnôt Q_{NAPI} pred R_{dx} (vľavo) a pred R_{60x} na nadmorskej výške.

Rozdelenie priemerných hodnôt Q_{NAPI} pred R_{60x} pre jednotlivé výškové stupne je zobrazené na obr. 5.10. Z obrázku vidíme, že priemerné hodnoty sú pre všetky tri výškové stupne približne rovnaké. Absolútne najvyššiu hodnotu (0,57) síce dosahuje stanica Vír spadajúca do kategórie staníc so strednou nadmorskou výškou, avšak o niečo vyšší priemer dosahujú najnižšie položené stanice do 300 m n. m. (maximum Kuchařovice 0,53). Naopak najnižšiu hodnotu dosahuje stanica Židlochovice (0,37). Priemerné hodnoty Q_{NAPI} sú teda podobné ako pri denných maximách. Najväčšia zmena nastala pre vysoké nadmorské výšky. Napríklad stanica Lysá hora, ktorá dosahovala pri denných maximách priemernú hodnotu Q_{NAPI} 0,64, dosahuje pri hodinových maximách 0,47. Takisto aj stanica Raškovice, ktorá síce neleží ani v nadmorskej výške 400 m n. m., ale je v blízkosti hôr, vykazuje významný rozdiel v priemernej hodnote Q_{NAPI} pred R_{60x} a R_{dx} . Pre R_{60x} je priemerná hodnota Q_{NAPI} na

úrovni 0,38 a pre denné maximá je to približne 0,58. Pri R_{60x} teda platí, že priemerné hodnoty Q_{NAPI} sú si v rámci troch výškových stupňov viac podobné ako pri denných maximách, pričom o niečo vyššie priemerné hodnoty vykazujú najnižšie položené stanice, a zároveň sa častejšie objavujú stanice s priemernou hodnotou Q_{NAPI} nižšou ako 0,5.



Obr. 5.10 Škatuľové grafy pre priemerné hodnoty Q_{NAPI} v deň R_{60x} pre tri výškové stupne.

Podobný charakter ako pri R_{60x} má rozdelenie priemerných hodnôt Q_{NAPI} aj pre dlhšie časové úseky a takisto aj pre R_{30x} a R_{40x} . To platí až po trojhodinové maximá. Pre najdlhšie časové úseky (5, 6 a 12 hodín) je rozdelenie hodnôt Q_{NAPI} viac podobné jednodňovým maximám. Podrobný popis pre všetky časové intervaly subdenných zrážok ako pri jednodňových úhrnoch by bol zbytočne dlhý a z tohto dôvodu sú základné charakteristiky rozdelenia hodnôt Q_{NAPI} pre jednotlivé výškové stupne zhrnuté v tab. 5.1.

Tab. 5.1 Základné charakteristiky hodnôt Q_{NAPI} pred maximálnymi ročnými úhrnmi skúmaných časových intervalov pre tri výškové stupne. Na konci tabuľky sú pre porovnanie pridané aj údaje pre R_{dx} . Priemer značí priemernú hodnotu pre výškový stupeň. Zobrazené sú aj minimálne a maximálne hodnoty pre konkrétny výškový stupeň.

| Časový interval (min) | Stanice do 300 m n.m. | | | Stanice medzi 300-600 m n.m. | | | Stanice nad 600 m n.m. | | |
|-----------------------|-----------------------|---------|---------|------------------------------|---------|---------|------------------------|---------|---------|
| | Priemer | Minimum | Maximum | Priemer | Minimum | Maximum | Priemer | Minimum | Maximum |
| 30 | 0,50 | 0,44 | 0,55 | 0,48 | 0,38 | 0,57 | 0,49 | 0,38 | 0,57 |
| 40 | 0,49 | 0,43 | 0,54 | 0,47 | 0,37 | 0,56 | 0,48 | 0,38 | 0,55 |
| 60 | 0,48 | 0,37 | 0,52 | 0,47 | 0,38 | 0,57 | 0,47 | 0,39 | 0,54 |
| 90 | 0,48 | 0,38 | 0,54 | 0,47 | 0,38 | 0,57 | 0,47 | 0,42 | 0,53 |
| 120 | 0,48 | 0,42 | 0,54 | 0,47 | 0,39 | 0,58 | 0,48 | 0,41 | 0,57 |
| 150 | 0,47 | 0,39 | 0,51 | 0,48 | 0,39 | 0,57 | 0,48 | 0,39 | 0,56 |
| 180 | 0,47 | 0,41 | 0,51 | 0,48 | 0,39 | 0,59 | 0,49 | 0,39 | 0,56 |
| 300 | 0,45 | 0,38 | 0,53 | 0,49 | 0,43 | 0,58 | 0,50 | 0,35 | 0,59 |
| 360 | 0,47 | 0,40 | 0,53 | 0,49 | 0,41 | 0,58 | 0,52 | 0,39 | 0,62 |
| 720 | 0,47 | 0,44 | 0,49 | 0,50 | 0,43 | 0,58 | 0,53 | 0,46 | 0,61 |
| 24 (hodín) | 0,50 | 0,48 | 0,55 | 0,53 | 0,45 | 0,61 | 0,57 | 0,53 | 0,64 |

Pri pohľade na priemerné hodnoty v tabuľke 5.1 vidíme to, čo už bolo popísané vyššie, teda pre kratšie časové intervaly platí, že priemerné hodnoty v nižších nadmorských výškach sú podobné ako vo vyšších nadmorských výškach. Ďalej si môžeme všimnúť, že smerom do dlhších časových intervalov sa o niečo výraznejšie menila priemerná hodnota vo vyšších nadmorských výškach ako v tých najnižších. Pre najdlhšie časové úseky (720 minút a 24 hodín) je zrejmy pomerne výrazný nárast v minimách v najvyšších polohách. Rozdiel medzi minimom pre R_{30x} a R_{dx} je práve na najvyššie položených stanicach najvýraznejší (0,15). V stredných polohách sú výkyvy najmenšie a preto by sme mohli povedať, že naprieč časovými intervalmi sú tieto stanice najvyrovnanjšie, na druhú stranu treba dodať, že rozdiel medzi maximálnou a minimálnou hodnotou pre konkrétny časový interval je takmer vždy vyšší ako vo zvyšných dvoch kategóriách. Pravdepodobne je to dané tým, že v tejto kategórii sa nachádzajú aj stanice, ktoré sa nachádzajú na podhorí alebo v údolí v horách. Tieto stanice už v podstate, čo sa týka charakteristík relatívnej nasýtenosti pred extrémnymi úhrnmi, vykazujú črty podobné horským staniciam.

Tabuľka 5.2 podáva základný pohľad na to, aké hodnoty nadobúda navrhnutý ukazovateľ významu relatívnej nasýtenosti U v rôznych nadmorských výškach. Jeho priemerné hodnoty sú si pre kratšie časové úseky v rámci zvolených intervalov nadmorských výšok podobné. Významná zmena nastáva hlavne v najvyšších polohách, od časového intervalu 300 minút, teda 5 hodín. Oproti trojhodinovému intervalu je hodnota U vyššia o 0,04. Z tabuľky je vidieť, že priemerné hodnoty U naprieč skúmanými časovými intervalmi maxim, s výnimkou denných maxim, sa na stanicach do nadmorskej výšky 600 m n. m. pohybujú okolo nuly, či dokonca pod ňou. Tento stav znamená, že veľkosť silných subdenných úhrnov zrážok nie je závislá na veľkosti predošlej relatívnej nasýtenosti. Toto zistenie len potvrdzuje to, čo už bolo popísané vyššie pre samotné hodnoty Q_{MPI} . Nič na tom nemení ani fakt, že pri výpočte ukazovateľa významu relatívnej nasýtenosti U bola relatívnej nasýtenosť posudzovaná vo vzťahu k extrémite zrážkového úhrnu. V najnižších polohách nie je vidieť v priemerných hodnotách U v podstate žiadny stúpajúci trend s narastajúcou dĺžkou časového intervalu subdenného úhrnu zrážok. Od jemne kladných hodnôt pre najkratšie časové intervaly sa postupne dostávame až k záporným hodnotám U a dokonca aj pre R_{720x} je priemerná hodnota U takmer nulová. Avšak pre R_{dx} je už priemerná hodnota U 0,12, čo znamená nadpriemernú hodnotu. Podobná situácia nastáva aj pri stanicach v stredných nadmorských výškach, tu ale priemerné hodnoty U zostávajú naprieč všetkými časovými intervalmi kladné a pre R_{720x} je hodnota takmer nadpriemerná. Trochu

odlišne sa správajú hodnoty U v najvyšších nadmorských výškach. Podľa očakávania sú nižšie hodnoty dosahované v kratších časových intervaloch. Priemerná hodnota U potom rastie a ako už bolo spomenuté vyšší nárast je badateľný od časového intervalu 300 minút. Pre R_{720x} je priemerná hodnota U dokonca silno nadnormálna. Najvyšších hodnôt dosahuje stanica Lysá hora.

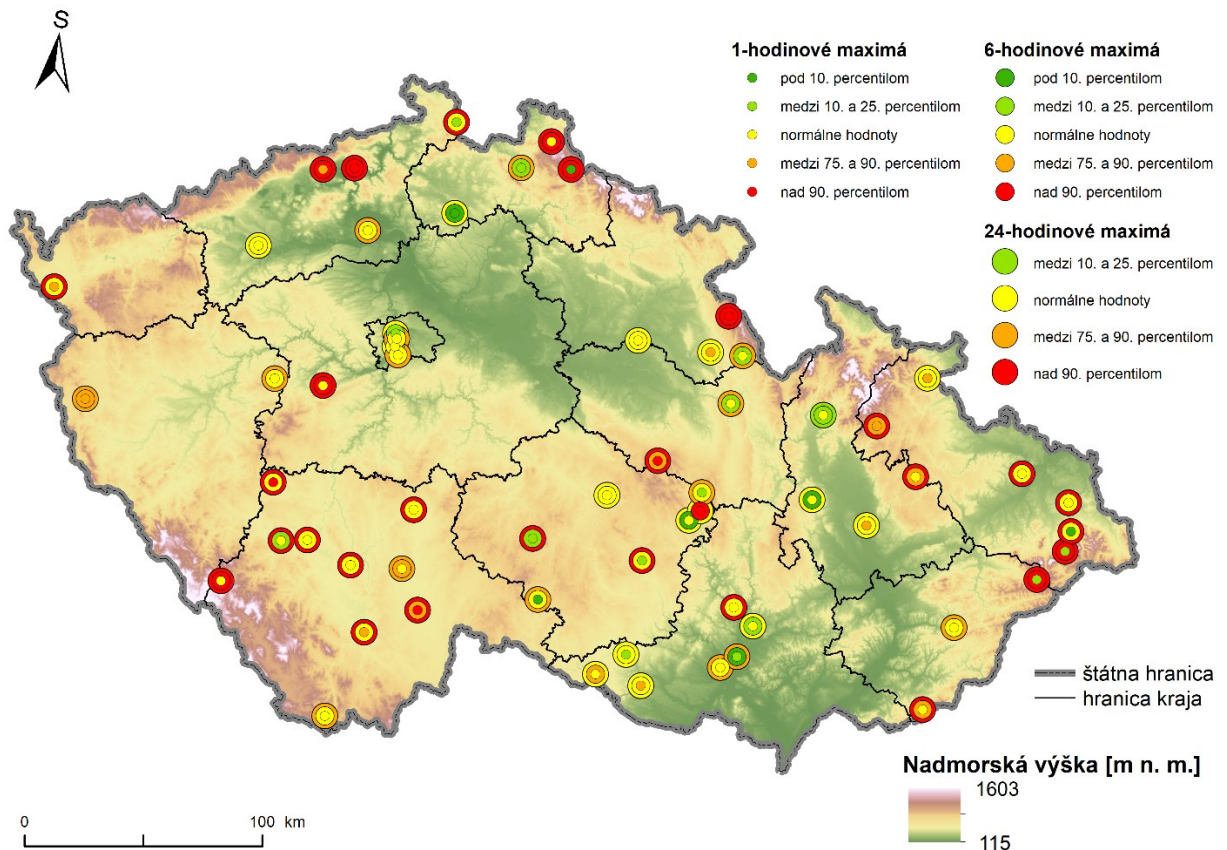
Tab. 5.2 Základné charakteristiky hodnôt ukazovateľa významu relatívnej nasýtenosti U pred maximálnymi ročnými úhrnmi skúmaných časových intervalov pre tri výškové stupne. Na konci tabuľky sú pre porovnanie pridané aj údaje pre R_{dx} . Priemer značí priemernú hodnotu pre výškový stupeň. Zobrazené sú aj minimálne a maximálne hodnoty pre konkrétny výškový stupeň.

| Časový interval (min) | Stanice do 300 m n.m. | | | Stanice medzi 300-600 m n.m. | | | Stanice nad 600 m n.m. | | |
|-----------------------|-----------------------|---------|---------|------------------------------|---------|---------|------------------------|---------|---------|
| | Priemer | Minimum | Maximum | Priemer | Minimum | Maximum | Priemer | Minimum | Maximum |
| 30 | 0,03 | -0,21 | 0,24 | 0,03 | -0,22 | 0,21 | 0,04 | -0,16 | 0,22 |
| 40 | 0,00 | -0,25 | 0,23 | 0,02 | -0,29 | 0,22 | 0,03 | -0,18 | 0,24 |
| 60 | -0,02 | -0,21 | 0,10 | 0,00 | -0,25 | 0,25 | 0,02 | -0,22 | 0,23 |
| 90 | -0,02 | -0,19 | 0,11 | 0,01 | -0,23 | 0,26 | 0,03 | -0,19 | 0,26 |
| 120 | -0,03 | -0,23 | 0,12 | 0,00 | -0,25 | 0,26 | 0,04 | -0,17 | 0,25 |
| 150 | -0,03 | -0,24 | 0,13 | 0,00 | -0,21 | 0,24 | 0,03 | -0,10 | 0,23 |
| 180 | -0,03 | -0,20 | 0,11 | 0,00 | -0,19 | 0,28 | 0,05 | -0,13 | 0,22 |
| 300 | -0,06 | -0,20 | 0,14 | 0,02 | -0,20 | 0,27 | 0,09 | -0,14 | 0,22 |
| 360 | -0,03 | -0,21 | 0,18 | 0,02 | -0,18 | 0,24 | 0,12 | -0,11 | 0,29 |
| 720 | 0,01 | -0,11 | 0,16 | 0,08 | -0,12 | 0,35 | 0,20 | -0,06 | 0,49 |
| 24 (hodín) | 0,12 | 0,05 | 0,21 | 0,15 | -0,10 | 0,41 | 0,25 | 0,13 | 0,58 |

Mapa na obr. 5.11 poskytuje porovnanie hodnôt U pre časové intervaly R_{60x} , R_{360x} a R_{dx} . Na viacerých staniach je vidieť, že hodnoty U dosahujú o niečo vyšších hodnôt pred maximami kratších časových intervalov v porovnaní so stredne dlhými časovými intervalmi. Je vidieť pomerne výrazný rozdiel v hodnotách U pre R_{dx} a pre R_{360x} . Veľká časť staníc dosahuje pri R_{360x} normálnych hodnôt a značná časť staníc dosahuje nízke hodnoty, ktoré spadajú do dolného kvartilu rozdelenia ukazovateľa významu relatívnej nasýtenosti U . Avšak pre horské stanice hlavne v Moravsko-sliezskych Beskydách a Krkonošiach dosahujú vysokých hodnôt aj pre R_{360x} . Pri hodinových maximách sú však hodnoty U väčšinou nízke aj na horách.

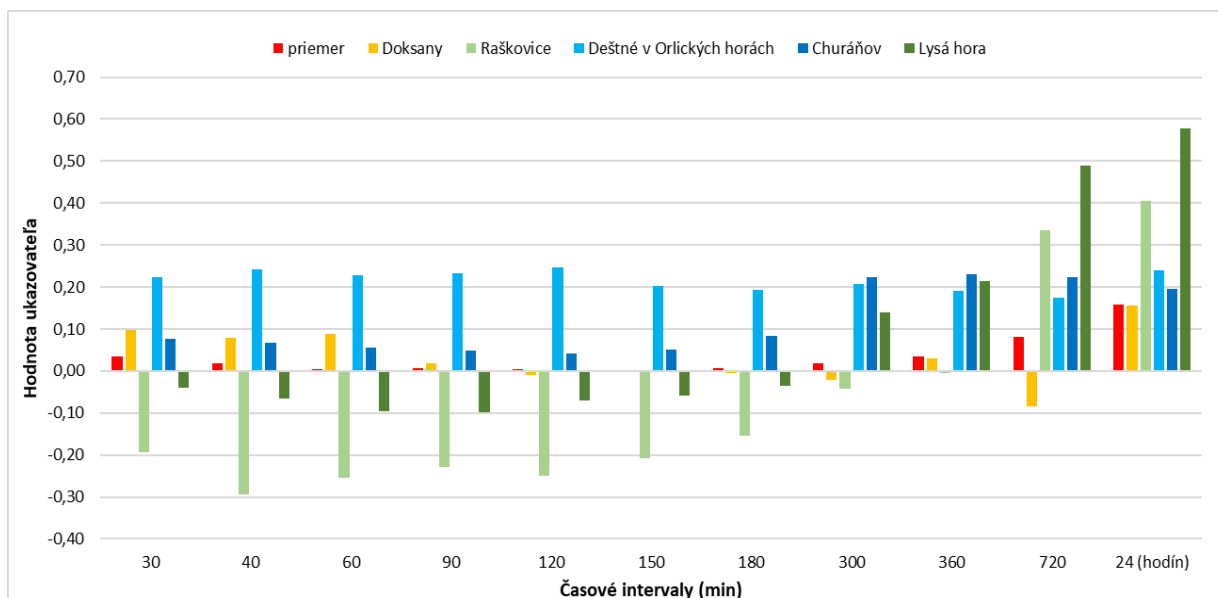
Hodnoty U sú však v priestore pomerne variabilné, a preto tieto vyššie uvedené tvrdenia nemôžeme zovšeobecniť na každú stanicu, pretože nie pre každú stanicu platí, že hodnota U pre R_{60x} je vyššia ako hodnota pre R_{360x} . Napríklad na stanici Deštné v Orlických horách platí, že pri všetkých troch porovnávaných intervaloch spadajú hodnoty U do rovnakej, dokonca najvyššej kategórie. Je zaujímavé, že výrazne nadnormálnych hodnôt U

pre všetky tri zobrazené časové intervaly dosahujú aj nízko položené stanice v podhorí Krušných hôr, ako sú Ústí nad Labem a Teplice. Na niektorých staniciach je situácia pomerne odlišná. Napríklad na stanici Raškovice dosahuje hodnota U pre R_{60x} výrazne podnormálne hodnoty, ale naopak pre R_{dx} dosahuje výrazne nadnormálne hodnoty. Podnormálne hodnoty pre R_{60x} a R_{360x} a nadnormálne pre R_{dx} vykazuje aj stanica Židlochovice na juhu Moravy.



Obr. 5.11 Rozdelenie hodnôt ukazovateľa významu relatívnej nasýtenosti U pre rôzne časové intervaly ročných maximálnych úhrnov zrážok.

Hodnoty ukazovateľa významu relatívnej nasýtenosti U sú pre rôzne časové intervaly ročných maxím pre každú stanicu pomerne rôznorodé a takisto sú rôznorodé naprieč celou krajinou. Existujú stanice, na ktorých je hodnota U kladná (a to dosť výrazne) pre všetky časové intervaly, ako napríklad Deštné v Orlických horách alebo Rýmařov. Rovnako tak nájdeme aj stanice s výrazne zápornými hodnotami (obr. 5.12).



Obr. 5.12 Hodnoty ukazovateľa významu relatívnej nasýtenosti U pre maximálne ročné úhrny zrážok skúmaných časových intervalov na vybraných staniách. Pre porovnanie sú zobrazené aj priemerné hodnoty spočítané z celého súboru stanií.

Stanica Deštné v Orlických horách je veľmi zaujímavá stanica v tom, že pre každý časový interval dosahuje výrazne nadnormálne hodnoty U . Jeho hodnota na tejto stanici nebola pre žiadny interval nižšia ako 0,16, čo znamená, že pre všetky hodnotené časové intervaly bola hodnota U nad 90. percentilom jeho rozdelenia. To svedčí o pomerne zvýšenom riziku združených udalostí dažďa na nasýtené povodie, pretože pred najvyššími extrémami sa vyskytla aj nadnormálna relatívna nasýtenosť. Podobne je na tom aj stanica Rýmařov, i keď na tejto stanici sú pre stredne dlhé časové intervaly hodnoty U o niečo nižšie a pohybujú sa na úrovni približne 0,12. Takisto ale nájdeme aj stanice, ktoré vykazujú záporné hodnoty pre všetky, alebo takmer pre všetky časové intervaly (Židlochovice). Nezriedkavé je tiež rozdelenie hodnôt, kedy stanica pri krátkych časových intervaloch dosahuje záporných hodnôt U , alebo hodnôt U blízky nule a pri najdlhších sa jeho hodnoty preklapia do kladných hodnôt, často aj do výrazne nadnormálnych. Tento priebeh je typický pre stanice v Moravsko-sliezskych Beskydách a stanice Kostelní Myslová a Nový Rychnov v Českomoravskej vrchovine. Podobne sú na tom aj stanice pod Šumavou, ako sú Temelín a Strakonice. Pre stanice na západe a severozápade krajiny sú typické skôr kladné hodnoty, alebo hodnoty okolo nuly pre všetky skúmané intervaly. Môžeme teda tvrdiť, že vo všeobecnosti majú stanice na západe a severozápade vyrovnanjšie rozdelenie hodnôt U . To ilustruje aj porovnanie hodnôt U pre vybrané stanice na obr. 5.12. Je vidieť, že stanice,

ako sú Doksany, či Churáňov, sa viac blížia priebehu priemerných hodnôt U spočítaného pre všetky stanice.

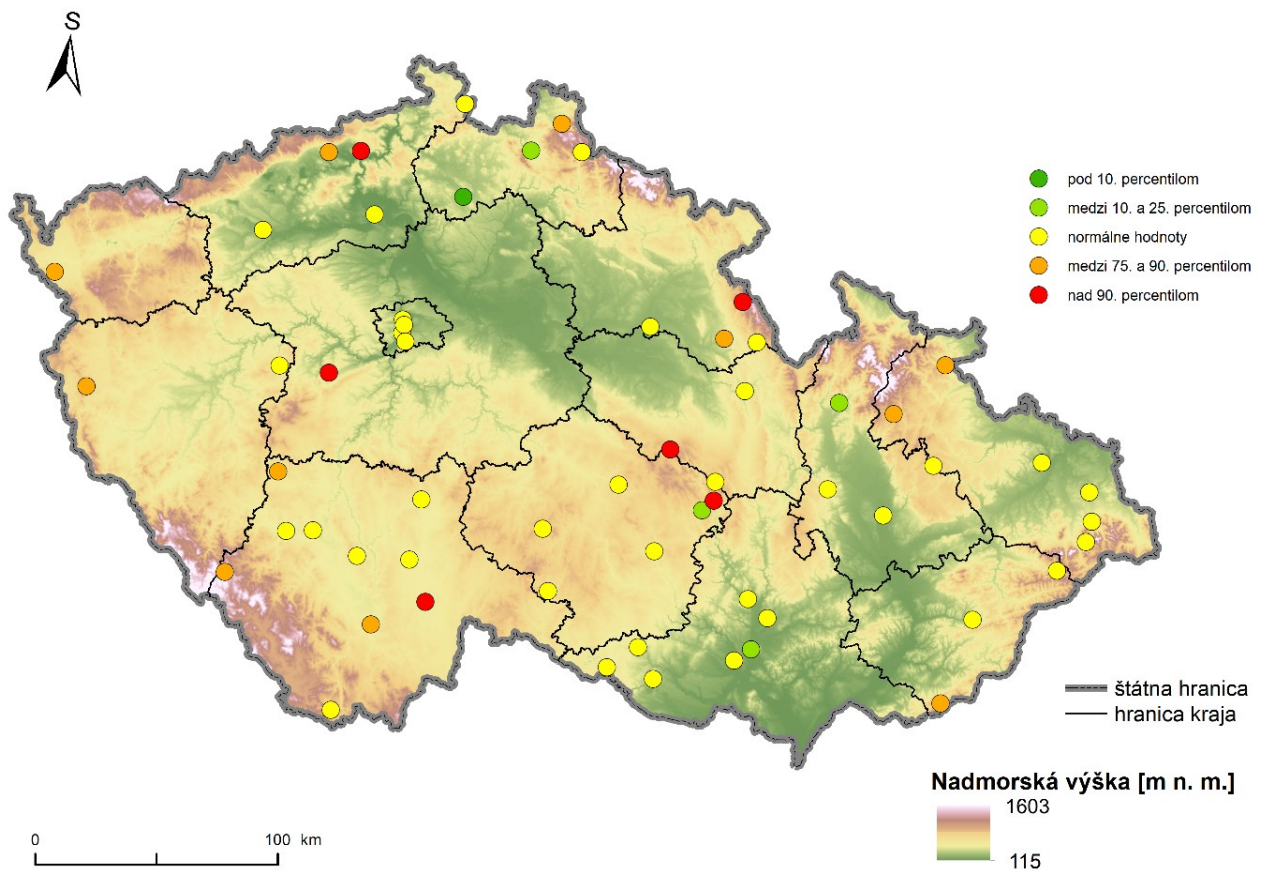
Priemerné hodnoty U pre všetky skúmané intervaly sú uvedené v tab. 5.3. V priemere je preto typický už vyššie naznačený priebeh hodnôt U , a síce normálnych hodnôt pri kratších časových úsekoch, následný pokles hodnôt v stredne dlhých časových úsekoch, ale hodnoty stále ostávajú v intervale normálnych hodnôt a ich pomerne značný nárast pri tých najdlhších.

Tab. 5.3 Priemerné hodnoty ukazovateľa významu relatívnej nasýtenosti U pre skúmané časové intervaly

| Časový interval (min) | 30 | 40 | 60 | 90 | 120 | 150 | 180 | 300 | 360 | 720 | 24 (hodín) |
|-----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------------|
| Priemerná hodnota | 0,03 | 0,02 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,02 | 0,03 | 0,08 | 0,16 |

Ak sa pozrieme na priemernú hodnotu U pre jednotlivé stanice pre všetky časové intervaly, zistíme, že najvyššiu hodnotu (0,22) dosahuje prekvapujúco stanica Ústí nad Labem na ktorej sa hodnoty U pohybujú pre takmer každý časový interval nad hodnotou 0,16. Vysoké hodnoty dosahuje aj vyššie spomínaná stanica Deštné v Orlických horách (0,21). Naopak najnižšie hodnoty dosahujú stanice Doksy (-0,18) a Židlochovice (-0,14). Mapa na obr. 5.13 naznačuje, že najvyššie priemerné hodnoty U sú typické skôr pre severozápadnú až západnú krajinu, alebo oblasť Českomoravskej vrchoviny. Vysoké priemerné hodnoty sú dosahované v okolí Jeseníkov, Orlických hôr a možno trochu prekvapivo aj v zrážkovom tieni Krušných hôr. Naopak nižšie hodnoty U , ale v rámci normálnych hodnôt sú dosahované v južnej až juhovýchodnej časti krajiny. Celkovo prevažujú stanice s priemernými hodnotami U spadajúcimi do kategórie normálnych hodnôt. Týchto staníc je 35, čo je viac ako polovica všetkých staníc. Nadnormálnu hodnotu U dosahuje 19 staníc, čo je približne tretina všetkých staníc z toho iba 6 ich má vyššiu ako je horný decil rozdelenia hodnôt U .

Nakoľko sú hodnoty U a priemerné hodnoty Q_{NAPI} variabilné v priestore a takisto sa menia pre rôzne časové intervaly, sú v prílohe práce zaradené mapy U pre všetky časové intervaly a rovnako tak aj škatuľové grafy priemerných hodnôt Q_{NAPI} pre tri výškové stupne.



Obr. 5.13 Priemerné hodnoty ukazovateľa významu relatívnej nasýtenosti U pre maximá ročných úhrnov zrážok všetkých skúmaných časových intervalov.

6 Možné faktory ovplyvňujúce relatívnu nasýtenosť pred extrémnymi úhrnmi zrážok

V predošlej kapitole boli pomocou hodnôt Q_{NAPI} a navrhnutého ukazovateľa relatívnej nasýtenosti U popísané podmienky relatívnej nasýtenosti pred silnými zrážkami rôznych časových intervalov. Ako sa ukázalo, vývoj zrážok a teda hodnoty Q_{NAPI} a ukazovateľa významu relatívnej nasýtenosti U sú pomerne variabilné ako aj v rámci skúmaných časových intervalov, tak aj v priestore. Toto tvrdenie dokazujú aj mapy na obr. 5.11 a 5.13, kde môžeme vidieť pomerne veľké rozdiely hodnôt U na pomerne malej vzdialenosti, a to hlavne na Vysočíne a v severozápadných Čechách. Rozdiely v hodnotách Q_{NAPI} a U pre rôzne časové intervaly sú zas najvýraznejšie na horách. V nasledujúcej kapitole sa pokúsime popísať možné faktory, ktoré majú vplyv na hodnoty Q_{NAPI} pred silnými zrážkami.

Na výsledkoch prezentovaných vyššie vidíme, že relatívna nasýtenosť, vyjadrená priemernou hodnotou Q_{NAPI} , je pri kratších časových intervaloch v podstate priemerná, a to pre všetky stanice vo všetkých nadmorských výškach. Pre dlhšie časové intervaly, hlavne pre R_{360x} a R_{720x} a predovšetkým pre R_{dx} , je relatívna nasýtenosť na horských staniách o trochu zvýšená. Takisto hodnoty ukazovateľa významu relatívnej nasýtenosti U sú pred kratšími časovými intervalmi väčšinou priemerné, či dokonca podpriemerné. Naopak pre najdlhšie skúmané časové intervaly je jeho hodnota zvýšená, a to predovšetkým v oblasti hôr. To znamená, že najsilnejšie úhrny kratších časových intervalov sú prevažne charakterizované normálnou hodnotou relatívnej nasýtenosti, zatiaľ čo pre dlhšie časové intervaly platí, že pred najvyššími maximami sa prevažne vyskytuje aj nadpriemerná relatívna nasýtenosť.

Táto skutočnosť je zrejme daná charakterom zrážkových udalostí. Predpokladom je, že krátke, napríklad silné hodinové úhrny zrážok, sú spôsobené konvektívnou činnosťou a zrážkovými udalosťami trvajúcimi výrazne kratšími ako jeden deň. Na druhú stranu dvanásťhodinové, či dvadsaťštyrihodinové maximá sú väčšinou spojené so stratiformnými zrážkami a situáciami, kedy prší viac dní po sebe. Ukázkovým príkladom je stanica Lysá hora. Najvyššie R_{720x} bolo zaznamenané v známom povodňovom roku 1997. Ročné maximum dvanásťhodinového úhrnu zrážok s hodnotou 138 mm bolo zaznamenané po dvoch dňoch, ktorých zrážkové úhrny boli 61,3 a 14,7 mm, pričom výrazné úhrny sa vyskytli aj po ročnom maxime. Rovnako tak aj v poradí druhé R_{720x} , ktoré nastalo 20. 8. 1972 (129,4 mm), bolo súčasťou dlhšej zrážkovej epizódy. Na druhú stranu pred najvyššími R_{60x} sa

nevyskytli žiadne významné zrážky a relatívna nasýtenosť bola tým pádom priemerná, či veľmi podpriemerná s hodnotami Q_{NAPI} aj pod 0,2. Avšak samotná relatívna nasýtenosť nie je dostatočne silným indikátorom toho, či išlo o zrážku konvektívneho, či stratiformného charakteru, pretože mohlo dôjsť k situácii, keď pred zrážkovou udalosťou, ktorá bola stratiformného charakteru, bolo dlhšie obdobie bez zrážok. Z tohto dôvodu budú v nasledujúcej kapitole na odlišenie konvektívnych prípadov od stratiformných použité metódy opísané v kapitole 3.5.

Hoci je teplota vzduchu v kombinácii s ukazovateľom rovnomernosti zrážok P (kapitola 3.5) relatívne dobrým indikátorom toho, aký charakter mala konkrétna zrážková udalosť, stále to nie je dostatočné. Subdenné maximum mohlo napríklad nastať v ranných hodinách a tým pádom už maximálna denná teplota nemusela byť až tak vysoká a ak sa zároveň potom ešte vyskytli ďalšie zrážky, tak aj hodnota P mohla nadobudnúť vyššie hodnoty. Z tohto dôvodu nám preto v tejto kapitole nepôjde o to povedať, že konkrétna situácia bola konvektívneho, či stratiformného charakteru, ale pokúsime sa aj na základe iných premenných ako sú prúdenie v hladine 850 hPa a typizácie poveternostných situácií, ale aj samotnej relatívnej nasýtenosti charakterizovať situácie spojené s najvyššími extrémami na štyroch vybraných staniách a porovnať ich medzi sebou. Zaujímáť nás budú najmä najvyššie extrémy hodinových, šesťhodinových a dvanásťhodinových úhrnov zrážok, pretože, hlavne pri subdenných maximách kratších časových intervalov, sú medzi najnižšími ročnými maximami hodnoty, ktoré nie sú z hydrologického pohľadu až tak zaujímavé.

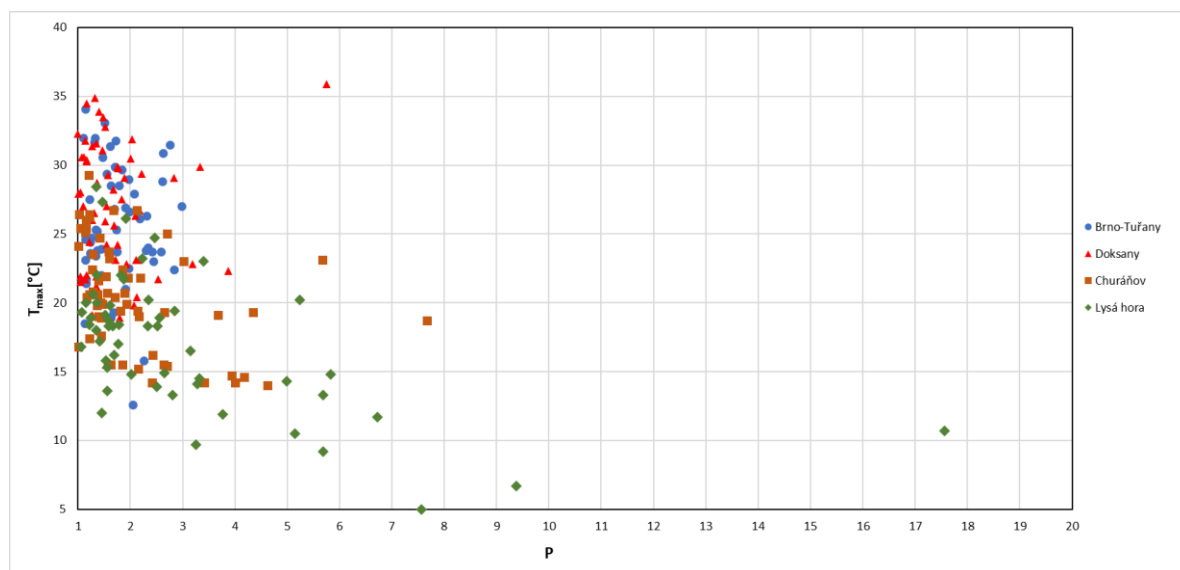
6.1 Faktory ovplyvňujúce API pred R_{60x}

Ako už bolo spomenuté vyššie, je predpoklad, že najsilnejšie jednohodinové úhrny zrážok sú väčšinou spojené s konvektívnou činnosťou. Pri pohľade na tab. 6.1 zistíme, že priemerná hodnota P pre najvyšších 10 ročných maxím je na všetkých staniách na úrovni okolo 1,6, čo naznačuje konvektívny charakter najvyšších R_{60x} . Na druhú stranu najnižšie R_{60x} sú charakterizované vyššími hodnotami P , v priemere nad 2,5 (s výnimkou stanice Brno-Tuřany). To značí, že najnižšie R_{60x} sú pravdepodobne skôr stratiformného charakteru, alebo sú súčasťou dlhšej zrážkovej epizódy, čiže nie je vylúčené, že by neboli konvektívneho charakteru, pretože mohli byť súčasťou epizódy ako vnorená konvekcia, alebo sa mohli konvektívne zrážky vyskytnúť na začiatku epizódy a po nich mohli nasledovať zrážky stratiformné.

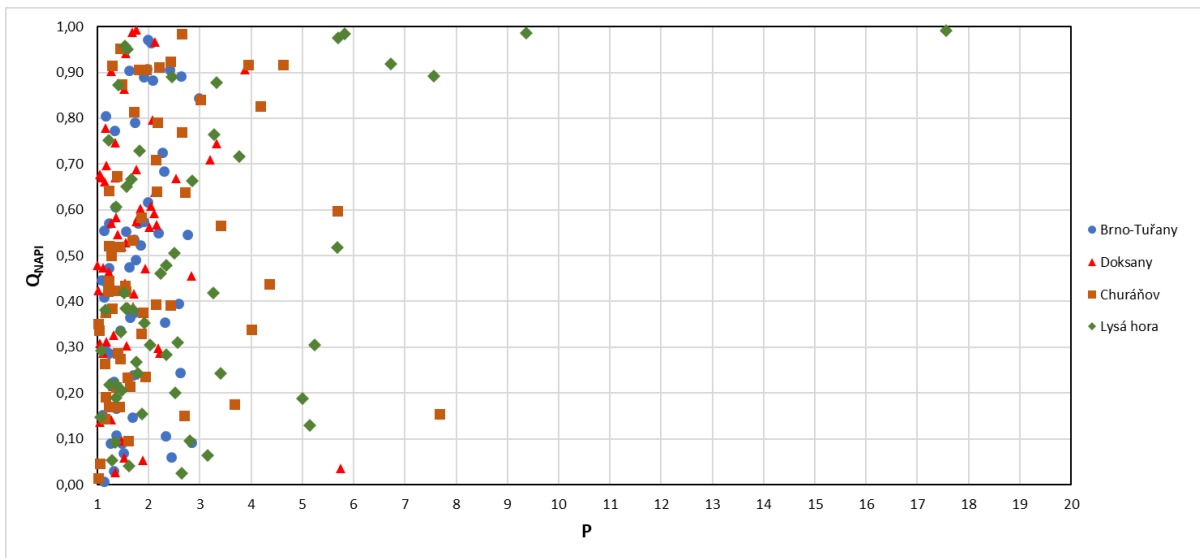
Tab. 6.1 Porovnanie podmienok pri zostupne zoradených desiatich najvyšších R_{60x} pre vybrané stanice (číslo jedna znamená najvyššie R_{60x} pre konkrétnu stanicu). Tabuľka zobrazuje T_{max} , hodnoty P , relatívnu nasýtenosť vyjadrenú hodnotou Q_{NAPI} a synoptický typ v deň R_{60x} . Hodnoty T_{max} sú podfarbené na základe klimatológie T_{max} príslušnej stanice (kap. 3.5). Hodnoty P sú podfarbené tak, že čím vyššie číslo, tým tmavší odtieň červenej. Hodnoty Q_{NAPI} sú podfarbené tak, že čím vyššie číslo, tým tmavší odtieň modrej. V stĺpci s názvom priemer je zobrazený priemer hodnotených veličín.

| Hodnotená veličina | Stanica | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | Priemer |
|--------------------|-------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|---------|
| T_{max} [°C] | Doksany | 34,9 | 32,8 | 29,8 | 24,4 | 23,1 | 30,4 | 28,7 | 26,2 | 23,1 | 31,9 | 28,5 |
| | Brno-Tuřany | 29,4 | 27,5 | 27,9 | 29 | 23,1 | 23,7 | 21,6 | 34,1 | 23,6 | 24,7 | 26,5 |
| | Churáňov | 20,6 | 24,7 | 20,8 | 21,9 | 15,5 | 19 | 20,4 | 19,3 | 20,7 | 19,9 | 20,3 |
| | Lysá hora | 20 | 28,4 | 27,3 | 23,2 | 22 | 19,1 | 16,5 | 18,3 | 18,3 | 18 | 21,1 |
| P | Doksany | 1,32 | 1,53 | 1,77 | 1,22 | 2,12 | 1,17 | 1,36 | 1,17 | 1,72 | 2,04 | 1,54 |
| | Brno-Tuřany | 1,55 | 1,22 | 2,07 | 1,97 | 1,13 | 1,74 | 1,07 | 1,13 | 1,23 | 1,26 | 1,44 |
| | Churáňov | 1,22 | 1,42 | 1,28 | 1,54 | 1,63 | 2,17 | 1,70 | 2,65 | 1,56 | 1,47 | 1,66 |
| | Lysá hora | 1,37 | 1,35 | 1,47 | 2,24 | 1,82 | 1,52 | 3,15 | 1,59 | 1,66 | 1,36 | 1,75 |
| Q_{NAPI} | Doksany | 0,33 | 0,86 | 0,58 | 0,46 | 0,97 | 0,38 | 0,58 | 0,38 | 0,42 | 0,61 | 0,56 |
| | Brno-Tuřany | 0,55 | 0,47 | 0,88 | 0,97 | 0,41 | 0,49 | 0,45 | 0,01 | 0,57 | 0,09 | 0,49 |
| | Churáňov | 0,45 | 0,52 | 0,92 | 0,43 | 0,21 | 0,79 | 0,81 | 0,77 | 0,42 | 0,88 | 0,62 |
| | Lysá hora | 0,61 | 0,09 | 0,21 | 0,46 | 0,73 | 0,42 | 0,06 | 0,95 | 0,67 | 0,22 | 0,44 |
| Synoptický typ | Doksany | Wal | SWc1 | C | Vfz | C | B | Ec | SWc2 | Vfz | Bp | |
| | Brno-Tuřany | Bp | SWc1 | NEc | B | NWa | Bp | Wc | Bp | Ap1 | B | |
| | Churáňov | Wal | Bp | SWc1 | Bp | C | B | Wal | SWc3 | C | Wcs | |
| | Lysá hora | SWc1 | B | SWc1 | B | SWc2 | B | B | Bp | B | Wc | |

Takisto aj priemerné hodnoty T_{max} sú pre najvyššie extrémny vysoké a sú vyššie ako tie pre najnižšie maximá. To by mohlo znamenať, že tieto nižšie ročné maximá hodinových úhrnov zrážok sú buď to spojené so situáciami stratiformnými, alebo so situáciami s viacdennými úhrnmi. Na nižšie priložených obrázkoch 6.1 a 6.2 sú na grafoch zobrazené hodnoty P a maximálnej teploty vzduchu pred všetkými maximami a takisto pomeru voči hodnote Q_{NAPI} .



Obr. 6.1 Vzťah medzi hodnotou ukazovateľa rovnomernosti zrážok P a T_{max} pre R_{60x} pre štyri vybrané stanice.

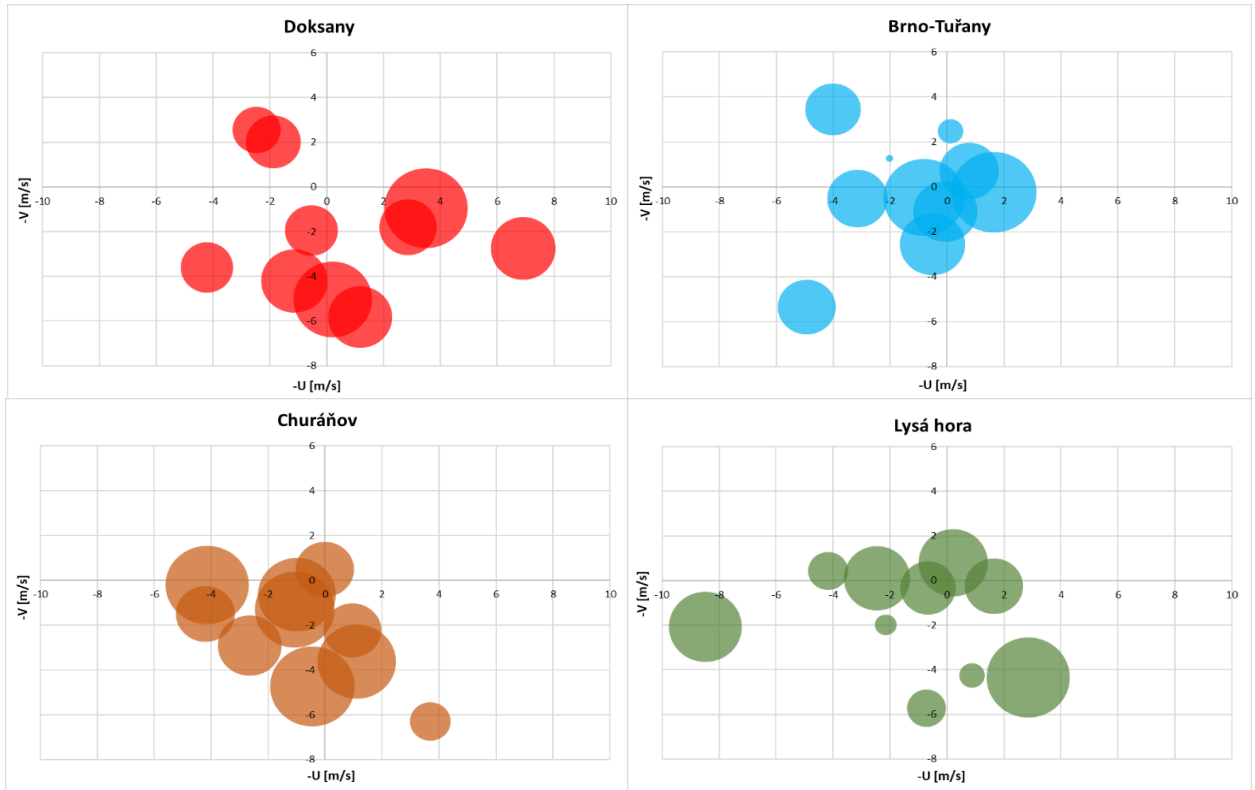


Obr. 6.2 Vzťah medzi hodnotou ukazovateľa rovnomernosti zrážok P a hodnotou Q_{NAPI} pre R_{60x} pre štyri vybrané stanice.

Z grafu na obr. 6.1 je vidieť, že najmä pre vyššie položené stanice Churáňov a Lysá hora sú situácie s vyššou hodnotou ukazovateľa rovnomernosti zrážok P spojené s nižšími teplotami. To v podstate platí aj o zvyšných dvoch stanicách, avšak pre tieto nížinné stanice platí, že väčšina jednododinových maxim je spojená s nižšou hodnotou P . Zaujímavý je pre nás aj pohľad na obr. 6.2, z ktorého vyplýva, že viacero situácií s vyššou hodnotou P je na vyššie položených stanicách spojených s vyššou relatívnou nasýtenosťou. Je však potrebné dodať, že vyššia relatívna nasýtenosť sa v prípade R_{60x} týka menej extrémnych situácií, čo dosvedčujú aj hodnoty ukazovateľa významu relatívnej nasýtenosti U , ktoré dosahujú priemerných hodnôt. Celkovo aj priemerná hodnota Q_{NAPI} sa pohybuje okolo hodnoty 0,5. Na základe týchto faktov by sa dalo povedať, že pred najvyššími R_{60x} je relatívna nasýtenosť tak trochu náhodná a môžu nastať prípady, kedy bude relatívna nasýtenosť podnormálna alebo naopak výrazne nadnormálna.

Dôležitú úlohu pri formovaní počasia v daný deň hrajú cirkulačné podmienky. Na nižšie priložených grafoch je pre štyri vybrané stanice zobrazené priemerná veľkosť prúdenia v hladine 850 hPa pred desiatimi najvyššími R_{60x} v deň zaznamenania extrému. Hodnoty boli upravené tak, aby poloha bodu zobrazovala svetovú stranu, odkiaľ fúka vietor. To znamená, že ak sa pod nachádza v pravom dolnom rohu, tak vietor fúkal od juhovýchodu. Veľkosť bodu potom zobrazuje hodnotu Q_{NAPI} . Z grafov na obr. 6.3 vidíme, že pri najvyšších

jednohodinových extrémoch môže byť prúdenie pomerne rôznorodé, čo len potvrdzuje už vyššie naznačený rôznorodý pôvod R_{60x} . Pri R_{60x} väčšinou prevládalo skôr slabšie prúdenie. Hlavne na staniciach na západe krajiny prevažuje južná zložka prúdenia a situácie s vetrom zo severných smerov sa medzi desiatimi najvyššími maximami v podstate nevyskytujú.



Obr. 6.3 Priemerné hodnoty zložiek vetra v hladine 850 hPa pre 10 najvyšších R_{60x} v deň maxima pre štyri vybrané stanice. Veľkosť bodu zodpovedá hodnote Q_{NAPI} v deň maxima. Umiestnenie bodu zodpovedá svetovej strane odkiaľ vietor fúkal. Ak bolo prúdenie severozápadné, tak sa bod nachádza v ľavom hornom rohu.

Podľa hodnôt Q_{NAPI} pre najvyššie R_{60x} môžeme tvrdiť, že relatívna nasýtenosť je skôr normálna a do istej miery je náhodná, čo pravdepodobne vyplýva z rôznorodej genézy R_{60x} . Silné zrážky tohto časového intervalu môžu byť spojené s konvektívnou činnosťou, ale takisto môžu byť súčasťou zrážok viacdenných. Najvyššie R_{60x} sú prevažne spojené so situáciami s južnou zložkou prúdenia, čo dokladá nielen obr. 6.3, ale aj tab. 6.1, kde vidíme, že pomerne častým cirkulačným typom boli juhozápadné situácie, či brázdy nízkeho tlaku vzduchu. Pri týchto situáciách sa územie Česka zväčša nachádza v teplom prúdení na prednej strane oblasti nízkeho tlaku vzduchu, alebo cez neho prechádzajú frontálne vlny (ČHMÚ, 2022c).

6.2 Faktory ovplyvňujúce API pred R_{360x}

Šesťhodinové maximá predstavujú podstatne dlhší časový úsek a ako naznačuje tab. 5.2, tak hlavne pre stanice vo vyšších nadmorských výškach nadobúda ukazovateľ významu relatívnej nasýtenosti U už pomerne vysokých hodnôt. Je preto predpoklad, že hlavne na týchto staniach by mohli mať extrémny odlišnú genézu oproti R_{60x} . Niečo naznačuje už aj tabuľka 6.2 nižšie, kde sa od zvyšných troch staníc výrazne odlišuje Lysá hora. Táto stanica má oproti zvyšným trom výrazne vyššiu hodnotu ukazovateľa rovnomernosti zrážok P pre najvyšších desať R_{360x} . Takisto má pred desiatimi najvyššími extrémami nižšiu priemernú T_{max} ako pred desiatimi najnižšími extrémami. Zatiaľ čo pred najvyššími hodinovými úhrnmi je na úrovni $21,1^{\circ}\text{C}$, tak pri šesťhodinových je to iba $10,6^{\circ}\text{C}$. Prvé dva extrémny sú na tejto stanici síce spojené s nízkou hodnotou P , relatívne vyššou teplotou, a nižšou relatívnou nasýtenosťou čo indikuje konvektívny charakter udalostí, ale zvyšné udalosti sú skôr spojené s vyšším pomerom, nižšou T_{max} a veľmi vysokou relatívnou nasýtenosťou.

Tab. 6.2 Porovnanie podmienok pri zostupne zoradených desiatich najvyšších R_{360x} pre vybrané stanice (číslo jedna znamená najvyššie R_{360x} pre konkrétnu stanicu). Popis tabuľky je analogický s popisom pri tab. 6.1.

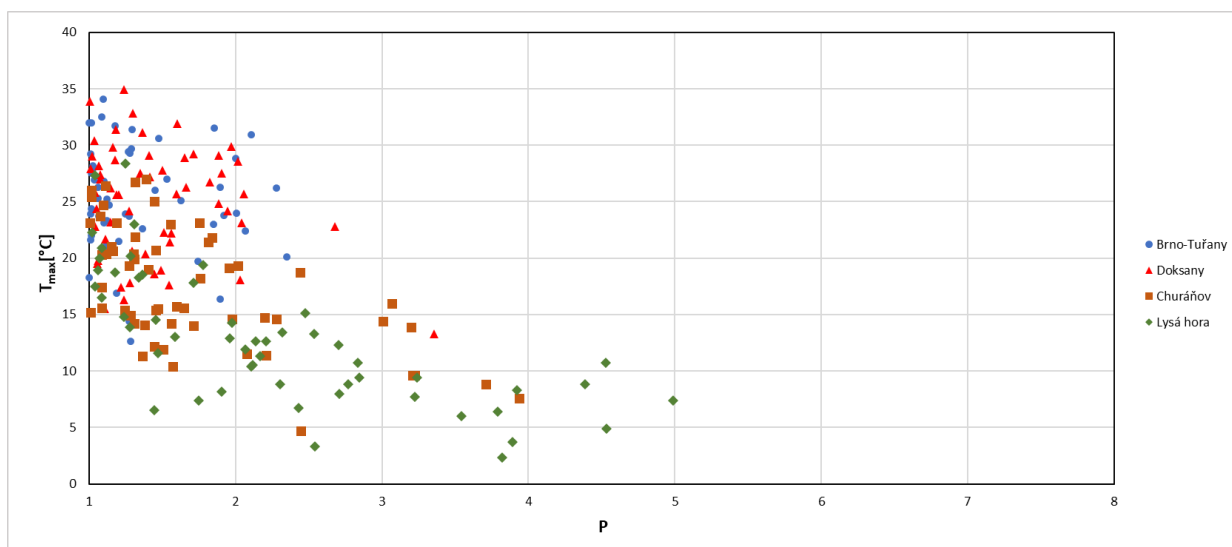
| Hodnotená veličina | Stanica | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | Priemer |
|----------------------------------|-------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|---------|
| T_{max} [$^{\circ}\text{C}$] | Doksany | 29,8 | 28,2 | 34,9 | 25,6 | 32,8 | 25,7 | 33,9 | 22,8 | 24,4 | 19,5 | 27,8 |
| | Brno-Tuřany | 27,9 | 29,4 | 23,7 | 27,5 | 29,3 | 23,1 | 23,9 | 12,6 | 23,7 | 26,9 | 24,8 |
| | Churáňov | 19,3 | 16 | 20,6 | 19 | 21,4 | 25 | 11,3 | 23,1 | 14,4 | 24,7 | 19,5 |
| | Lysá hora | 16,5 | 20 | 12,3 | 10,7 | 7,4 | 2,3 | 6,4 | 12,9 | 8,8 | 8,8 | 10,6 |
| P | Doksany | 1,16 | 1,07 | 1,24 | 1,19 | 1,30 | 1,60 | 1,01 | 1,04 | 1,05 | 1,06 | 1,17 |
| | Brno-Tuřany | 1,03 | 1,27 | 1,07 | 1,02 | 1,28 | NA | 1,01 | 1,28 | 1,27 | 1,04 | 1,14 |
| | Churáňov | 1,28 | 3,07 | 1,16 | 1,40 | 1,81 | 1,45 | 1,37 | 1,75 | 3,01 | 1,10 | 1,74 |
| | Lysá hora | 1,09 | 1,07 | 2,70 | 4,53 | 4,99 | 3,82 | 3,79 | 1,96 | 2,77 | 4,38 | 3,11 |
| QNAPI | Doksany | 0,19 | 0,99 | 0,32 | 0,52 | 0,81 | 0,11 | 0,45 | 0,45 | 0,42 | 0,55 | 0,48 |
| | Brno-Tuřany | 0,43 | 0,51 | 0,42 | 0,42 | 0,59 | 0,22 | 0,61 | 0,91 | 0,38 | 0,59 | 0,51 |
| | Churáňov | 0,73 | 0,99 | 0,45 | 0,67 | 0,54 | 0,63 | 0,74 | 0,21 | 0,89 | 0,52 | 0,64 |
| | Lysá hora | 0,05 | 0,60 | 0,81 | 0,99 | 0,91 | 0,99 | 0,64 | 0,71 | 0,87 | 0,75 | 0,73 |
| Synoptický typ | Doksany | C | SWc3 | Wal | C | SWc1 | Bp | Wal | Wal | Vfz | C | |
| | Brno-Tuřany | NEc | Bp | Bp | SWc1 | Ec | NWa | Bp | B | B | Nc | |
| | Churáňov | SWc3 | C | Wal | B | C | A | NEc | Bp | SEc | Bp | |
| | Lysá hora | B | SWc1 | NEc | NEc | C | NEc | B | NEc | Cv | NEc | |

Zmenu oproti R_{60x} dokumentuje aj pohľad na spodnú časť tab. 6.2, kde vidíme, že na staniach na východe krajiny, predovšetkým na Lysej hore výrazne stúplo zastúpenie synoptického typu NEc, teda severovýchodnej cyklonálnej situácie. Tento synoptický typ je na Lysej hore zastúpený až v polovici z desiatich najvyšších R_{360x} . Severovýchodné cyklonálne situácie sú charakteristické tlakovou nížou vo vyšších hladinách ovzdušia v oblasti východne až juhovýchodne od Českej republiky, najčastejšie nad Balkánom. Tieto

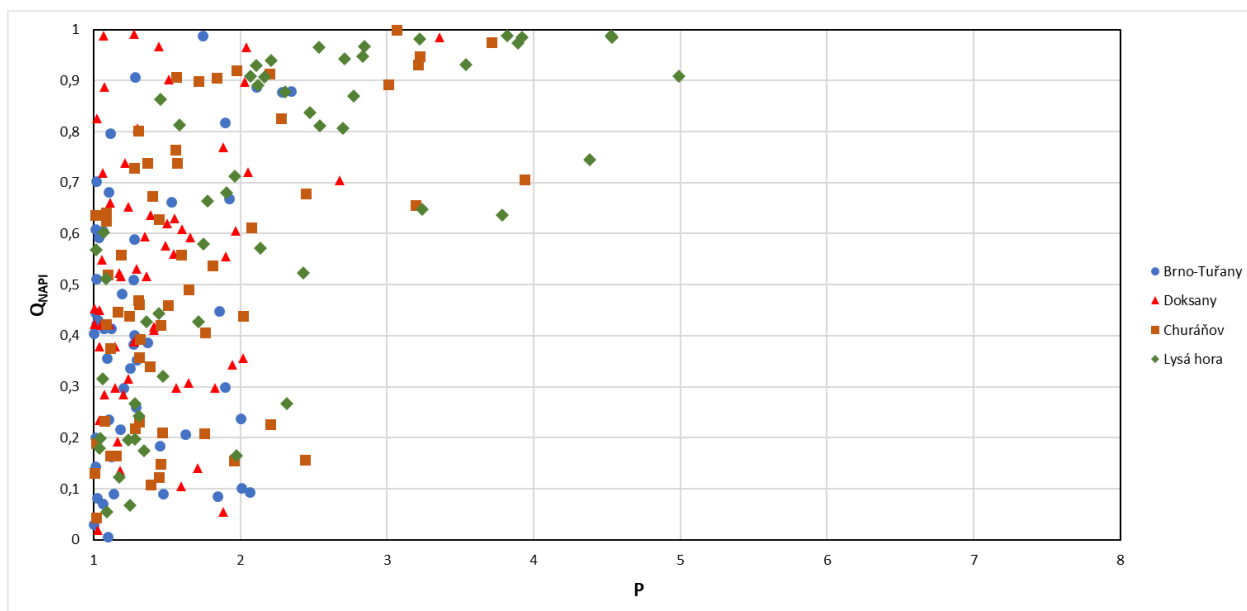
situácie sa v priestore strednej Európy vyznačujú trvalými zrážkami, čo môže vysvetľovať vysokú relatívnu nasýtenosť pred niektorými z R_{360x} . Ak sa bližšie pozrieme na hodnotu Q_{NAPI} a synoptický typ v deň maxima, tak zistíme, že práve pri R_{360x} , ktoré boli zapríčinené synoptickým typom NEc, bola zaznamenaná aj vysoká relatívna nasýtenosť.

Z tabuľky pomerne jasne vyplýva, že synoptické typy ako sú C (cyklóna nad strednou Európou), B (brázda nízkeho tlaku nad strednou Európou) alebo vyššie spomenutá NEc, sú spojené s vysokou hodnotou Q_{NAPI} . Zaujímavá je však situácia v prípade stanice Doksany, kde sa pred druhým najvyšším R_{360x} vyskytla aj pri synoptickom type SWc3 výrazne nadnormálna relatívna nasýtenosť.

Na obr. 6.4 je pekne vidieť, že na vyššie položených stanicích sa výraznejšie začína prejavovať vyšší pomer stratiformných udalostí medzi R_{360x} . Na stanicích Churáňov a Lysá hora sa vyskytlo viacero situácií s hodnotou P vyššou ako 2. Oproti tomu na dvoch nížinných stanicích sa situácia v porovnaní s R_{60x} príliš nezmenila. Stanica Lysá hora sa pomerne výrazne odlišuje aj pri pohľade na obr. 6.5. Je vidieť, že na tejto stanici nastalo dosť situácií, kedy bola zaznamenaná vysoká hodnota P a zároveň bola aj vysoká relatívna nasýtenosť. Podobne je na tom aj Churáňov, avšak počet situácií s vysokou hodnotou P a vysokou relatívnou nasýtenosťou nie je až tak výrazný ako na Lysej hore. Na základe týchto zistení môžeme tvrdiť, že medzi najvyššími R_{360x} na vyššie položených stanicích sa oproti R_{60x} vyskytujú častejšie prípady, ktoré sú stratiformného pôvodu. To môžu naznačiť aj hodnoty ukazovateľa významu relatívnej nasýtenosti U , ktoré sú pre tieto dve stanice oveľa vyššie ako pre R_{60x} . Kým pri R_{60x} mali obidve tieto stanice hodnoty blízke 0, tak pri R_{360x} dosahujú obidve stanice hodnôt ľahko nad 0,2. Pre dve nižšie položené stanice sa ale situácia oproti R_{60x} príliš nemení.



Obr. 6.4 Vzťah medzi hodnotou ukazovateľa rovnomernosti zrážok P a T_{max} pre R_{360x} pre štyri vybrané stanice.



Obr. 6.5 Vzťah medzi hodnotou ukazovateľa rovnomernosti zrážok P a hodnotou Q_{NAPI} pre R_{360x} pre štyri vybrané stanice.

Podobne ako pre R_{60x} tak aj pre R_{360x} boli zobrazené zložky prúdenia v hladine 850 hPa v súvislosti s relatívnou nasýtenosťou. Oproti R_{60x} je vidieť najväčšiu zmenu logicky na stanici Lysá hora. Oproti hodinovým maximám sa rapídne zvýšil počet situácií so severnou zložkou prúdenia a situácie s prúdením od juhu sa na tejto stanici medzi desiatimi najvyššími R_{360x} v podstate nevyskytujú. Je vidieť, že na Lysej hore je takisto oproti hodinovým maximám vyššia rýchlosť prúdenia v tejto hladine. Viac situácií so severnou zložkou prúdenia oproti R_{60x} sa vyskytuje aj na ďalšej stanici z východnej časti republiky, Brno-Tuřany. Čo sa týka zvyšných dvoch staníc, tak v Doksanoch nedošlo takmer ku žiadnej

zmene. Na Churáňove pozorujeme, že pred tromi situáciami s vyššou relatívnou nasýtenosťou bol zaznamenaný vietor z východného až severovýchodného smeru, pričom tieto situácie sa vyznačovali aj vyššou rýchlosťou vetra.



Obr. 6.6 Priemerné hodnoty zložiek vetra v hladine 850 hPa pre 10 najvyšších R_{360x} v deň maxima pre štyri vybrané stanice. Popis grafov je analogický s popisom pri obr. 6.3.

6.3 Faktory ovplyvňujúce API pred R_{720x}

Dvanásťhodinový časový interval je už pomerne dlhý, a preto bol predpoklad, že R_{720x} sa budú, hlavne na stanicích vo vyšších nadmorských výškach, výraznejšie odlišovať od predošlých kratších časových intervalov. Z tabuľky 6.3 vyplýva, že hlavne pre Lysú horu sú najvyššie R_{720x} spojené s vyššou hodnotou ukazovateľa rovnomernosti zrážok P , čo naznačuje, že tieto maximá boli súčasťou viacdennnej zrážkovej epizódy a išlo skôr o stratiformné zrážky. Takisto aj na stanici Churáňov vidíme, že prvé dve najvyššie R_{720x} sú spojené s vyššou hodnotou P , avšak medzi najvyššími R_{720x} nie je taká dominancia hodnôt P nad hodnotou dva ako na Lysej hore. Takisto aj priemerná T_{max} pred najvyššími R_{720x} je na Lysej hore výrazne vyššia ako pred tými nižšími. Naopak na nižšie položených stanicích sa pomery v priemere pohybujú okolo hodnoty 1,2 a čo je prekvapivé, tak aj priemerná hodnota T_{max} pred najvyššími R_{720x} je vyššia ako pred tými nižšími. To znamená, že aj

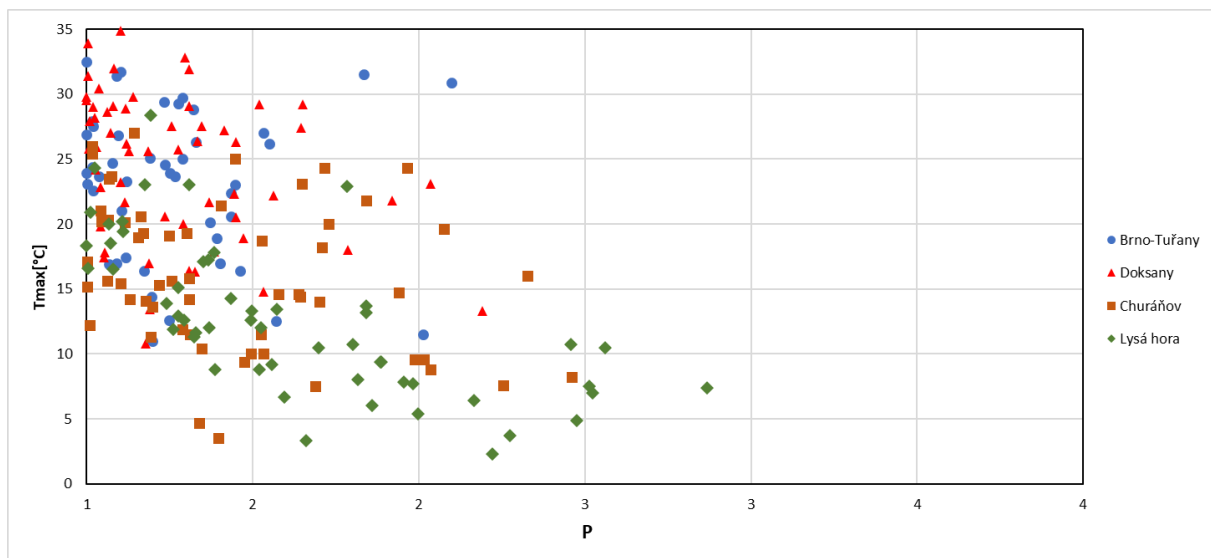
napriek tomu, že je tento časový interval už pomerne dlhý, tak sa medzi najvyššími R_{720x} vyskytli aj situácie, ktoré zrejme boli konvektívneho charakteru. Dôkazom toho je aj fakt, že medzi desiatimi najvyššími R_{720x} sa na staniciach Doksany a Brno-Tuřany vyskytli 4 respektíve 5 situácií, ktoré boli medzi desiatimi najvyššími R_{60x} . Na druhú stranu na Lysej hore nie je medzi desiatimi najvyššími R_{720x} ani jeden dátum odpovedajúci nejakému dátumu spomedzi desiatich najvyšších R_{60x} . To znamená, že vo vyšších polohách sú dlhšie trvajúce extrémny spojené s inými podmienkami ako zrážky trvajúce kratšiu dobu. Posledné riadky v tab. 6.3 nižšie ukazujú, aké synoptické typy panovali v priestore Česka v deň zameranania desiatich najvyšších R_{720x} . Na Lysej hora vidieť jasnú dominanciu synoptického typu NEc, čo je v súlade s tým, čo ukazuje obr. 6.6 nižšie. Na stanici Churáňov oproti desiatim R_{360x} pribudlo situácií s typom B a C. Na zvyšných dvoch nižšie položených staniciach je zastúpenie synoptických typov viac rôznorodé.

Tab. 6.3 Porovnanie podmienok pri zostupne zoradených desiatich najvyšších R_{720x} pre vybrané stanice (číslo jedna znamená najvyššie R_{720x} pre konkrétnu stanicu). Popis tabuľky je analogický s popisom pri tab. 6.1.

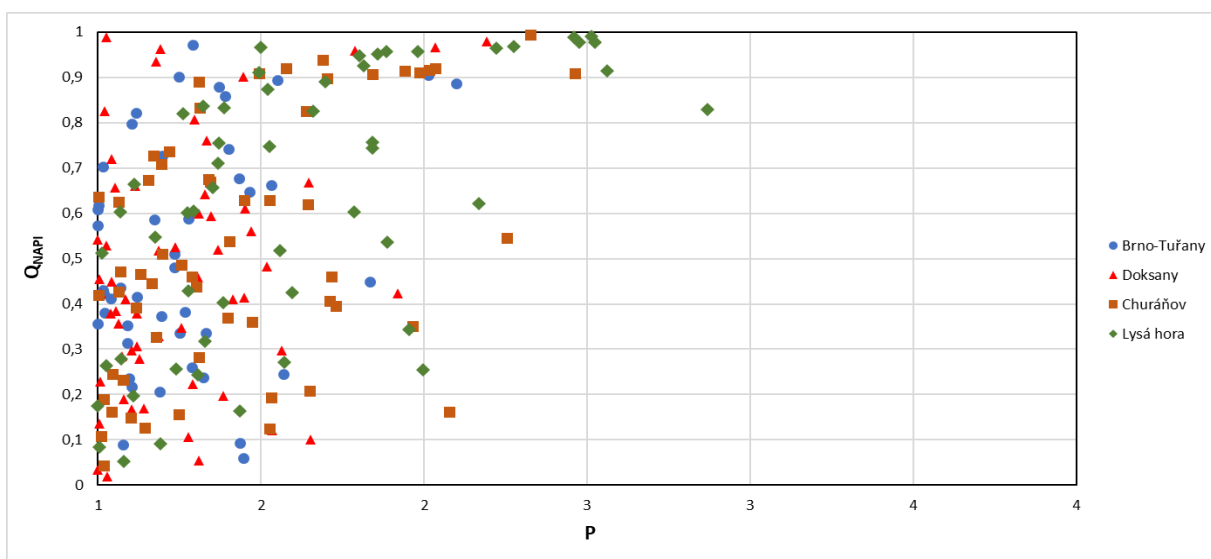
| Hodnotená veličina | Stanica | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | Priemer |
|--------------------|-------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|---------|
| T_{max} [°C] | Doksany | 25,7 | 29,8 | 34,9 | 13,3 | 28,2 | 31,9 | 26,4 | 32 | 25,6 | 32,8 | 28,1 |
| | Brno-Tuřany | 27,9 | 29,4 | 23,7 | 27,5 | 29,3 | 18,3 | 23,1 | 23,9 | 20,1 | 25 | 24,8 |
| | Churáňov | 14,4 | 16 | 19,3 | 19,3 | 21,4 | 8,8 | 19 | 9,6 | 14,6 | 19,1 | 16,2 |
| | Lysá hora | 10,7 | 7,4 | 2,3 | 6,4 | 8,8 | 13,2 | 6 | 7,5 | 12,9 | 4,9 | 8,0 |
| P | Doksany | 1,28 | 1,14 | 1,10 | 2,19 | 1,03 | 1,31 | 1,33 | 1,08 | 1,19 | 1,30 | 1,29 |
| | Brno-Tuřany | 1,02 | 1,23 | 1,04 | 1,02 | 1,28 | NA | NA | 1,00 | 1,37 | 1,29 | 1,16 |
| | Churáňov | 1,64 | 2,33 | 1,30 | 1,17 | 1,40 | 2,04 | 1,16 | 1,99 | 1,64 | 1,25 | 1,59 |
| | Lysá hora | 2,46 | 2,87 | 2,22 | 2,17 | 1,52 | 1,84 | 1,86 | 2,51 | 1,28 | 2,48 | 2,12 |
| QNAPI | Doksany | 0,11 | 0,17 | 0,17 | 0,98 | 0,99 | 0,60 | 0,76 | 0,41 | 0,52 | 0,81 | 0,55 |
| | Brno-Tuřany | 0,43 | 0,51 | 0,41 | 0,42 | 0,59 | 0,36 | 0,22 | 0,61 | 0,88 | 0,97 | 0,54 |
| | Churáňov | 0,62 | 0,99 | 0,44 | 0,73 | 0,54 | 0,92 | 0,67 | 0,91 | 0,83 | 0,16 | 0,68 |
| | Lysá hora | 0,99 | 0,83 | 0,97 | 0,62 | 0,87 | 0,74 | 0,95 | 0,99 | 0,43 | 0,98 | 0,84 |
| Synoptický typ | Doksany | Bp | C | Wa1 | B | SWc3 | Bp | C | Bp | C | SWc1 | |
| | Brno-Tuřany | NEc | Bp | Bp | SWc1 | Ec | Cv | NWa | Bp | Vfz | C | |
| | Churáňov | SEc | C | Vfz | SWc3 | C | B | B | C | NEc | Bp | |
| | Lysá hora | NEc | C | NEc | B | Cv | NEc | Ea | NEc | NEc | NEc | |

Podobne ako pri R_{360x} tak aj pri R_{720x} sa na vyššie položených staniciach začína prejavovať vyšší podiel hodnôt Q_{NAPI} nad úrovňou 0,9. Na Lysej hore bola relatívna nasýtenosť nad 0,9 zaznamenaná pred piatimi z desiatich najvyšších R_{720x} , na Churáňove to bolo v troch prípadoch. Na obr. 6.7 a 6.8 opäť vidíme porovnanie T_{max} a hodnôt ukazovateľa rovnomernosti zrážok P , respektíve Q_{NAPI} a hodnôt ukazovateľa rovnomernosti zrážok P pre R_{720x} . Z obr. 6.8 vidieť pomerne veľký počet situácií s vysokou hodnotou pomeru P aj s vysokou relatívnou nasýtenosťou na Lysej hore. Rovnako tak aj na stanici Churáňov je počet situácií s vyššou hodnotou P a vyššou relatívnou nasýtenosťou vyšší ako pri R_{360x} . Na staniciach Doksany a Brno-Tuřany je zastúpenie vyšších hodnôt relatívnej nasýtenosti pri

situáciách s vyššou hodnotou P nižšie ako na dvoch vyššie položených stanicích. Avšak aj na týchto stanicích je vidieť o niečo vyšší počet situácií s vyššou hodnotou Q_{NAPI} a zároveň s vyššou hodnotou P proti kratším časovým intervalom.



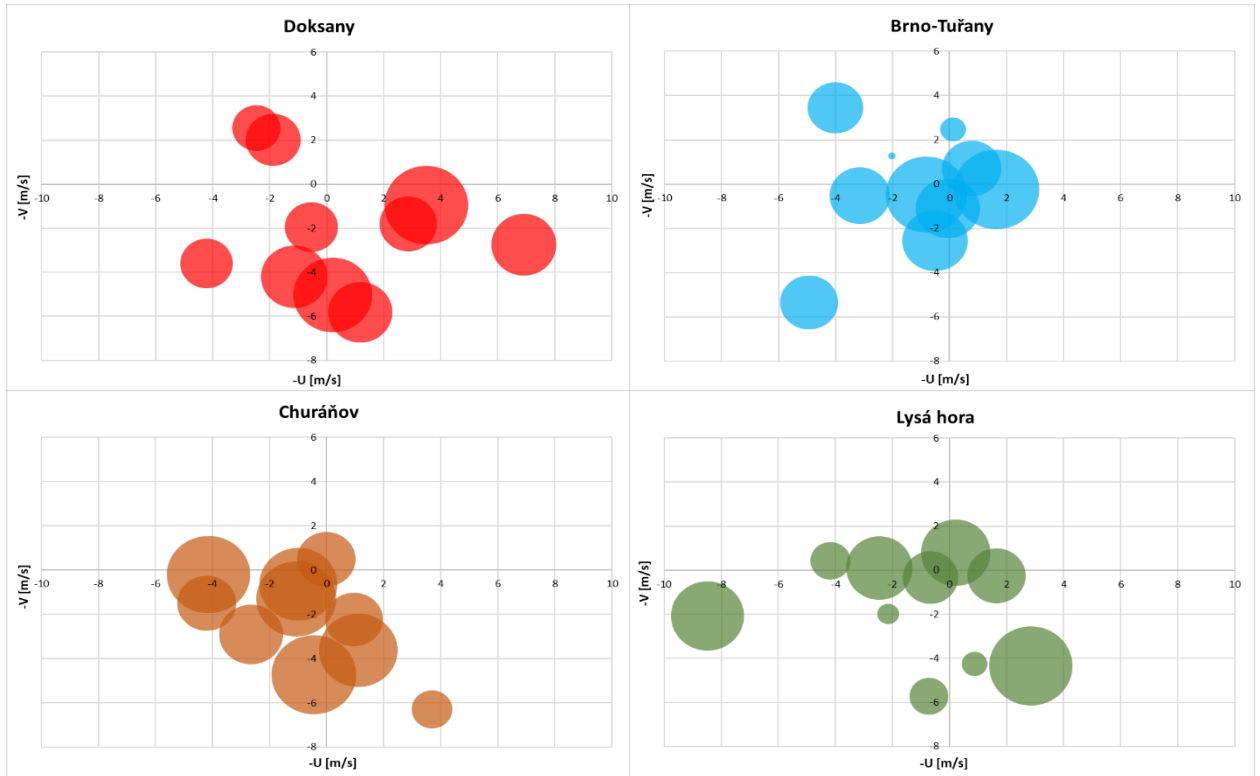
Obr. 6.7 Vzťah hodnotou ukazovateľa rovnomernosti zrážok P a T_{max} pre R_{720x} pre štyri vybrané stanice.



Obr. 6.8 Vzťah hodnotou ukazovateľa rovnomernosti zrážok P a hodnotou Q_{NAPI} pre R_{720x} pre štyri vybrané stanice.

Na nižšie priložených grafoch na obr. 6.9 sú opäť zobrazené zložky prúdenia v hladine 850 hPa. Najvýraznejšie sa od zvyšných staníc opäť odlišuje Lysá hora. Oproti R_{360x} sa na tejto stanici ešte viac prejavuje severná zložka prúdenia pri najextrémnejších R_{720x} . Všetky R_{720x} na tejto stanici, až na jednu výnimku, boli spojené so silným prúdením od severu až severozápadu. Na zvyšných stanicích nie sú zmeny oproti R_{360x} také výrazné. Na Churáňove však pribudlo situácií s východnou zložkou prúdenia, pričom tieto situácie boli spojené

s vyššou relatívnou nasýtenosťou ako ostatné udalosti. V Doksanoch sa tiež vyskytli dve situácie s pomerne silným prúdením od severovýchodu. Tieto situácie boli takisto spojené aj s vyššou relatívnou nasýtenosťou.



Obr. 6.9 Priemerné hodnoty zložiek vetra v hladine 850 hPa pre 10 najvyšších R_{720x} v deň maxima pre štyri vybrané stanice. Popis grafov je analogický s popisom pri obr. 6.3.

7 Analýza vybraných zrážkových situácií

Z výsledkov popísaných v kapitolách 5 a 6 vyplýva, že rozloženie zrážok pred silnými zrážkami v Česku je variabilné a vývoj situácie pred a počas extrému môže byť značne odlišný. V tejto kapitole preto budú pomocou prípadových štúdií analyzované rôzne varianty vývoja relatívnej nasýtenosti pred a počas vybraných silných zrážok.

7.1 Situácia 1.-5. 8. 1983

Situácia zo začiatku augusta v roku 1983 je charakteristická tým, že nasledovala po veľmi suchom a teplom období, kedy bola pár dní pred touto udalosťou v Prahe-Uhřetěvesi namieraná teplota 40,2°C. Zrážková epizóda sa týkala západnej polovice územia Česka, predovšetkým ale severozápadu krajiny. Najvyššie zrážkové úhrny boli zaznamenané v Krušných a Jizerských horách, kde úhrny za celú epizódu dosiahli viac ako 150, ojedinele aj viac ako 200 mm. Na Cínovci dosiahol päťdňový úhrn 217,5 mm (Dutková 2014).

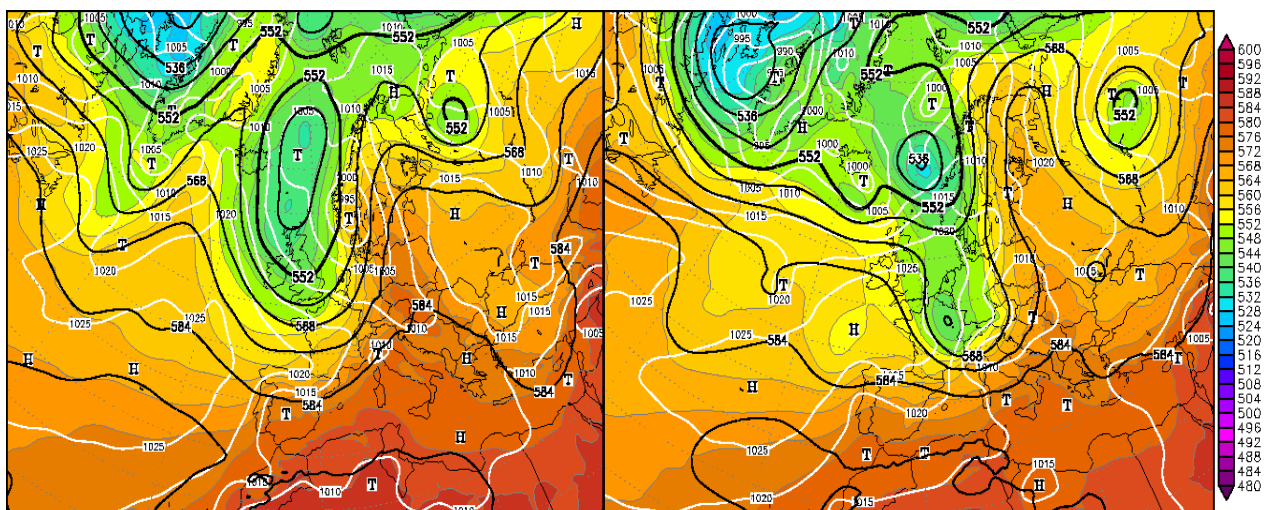
Niekoľko dní pred udalosťou bola stredná Európa pod vplyvom tlakovej výše, ktorá sa nachádzala na západnou Európou a postupne sa presunula cez strednú Európu ďalej na východ. Po jej zadnej strane prúdil na územie Česka veľmi teplý a vlhký vzduch od juhu až juhozápadu. V Doksanoch bola tesne pred začiatkom tejto zrážkovej udalosti maximálna denná teplota vzduchu 35,9°C. Od 1.8. 1983 začala počasie nad Českom riadiť brázda nízkeho tlaku vzduchu spojená s tlakovou nížou nad Nórskom. V priebehu ďalších hodín sa v oblasti severného Talianska, na prednej strane výškovej brázdy nízkeho tlaku vzduchu, prehĺbila tlaková níž, ktorá neskôr postupovala cez Chorvátsko, Maďarsko a Slovensko až nad Poľsko (obr. 7.1).

Podľa Dutkovej (2014) bola táto situácia spojená s výraznými synopticko-dynamickými anomáliami. V priestore strednej Európy boli v týchto dňoch zaznamenané významné záporné anomálie divergencie prúdenia v spodných hladinách atmosféry, čo svedčí o výskyte silného konvergentného prúdenia, ktoré malo za následok vznik veľmi silných zrážok. Výrazná bola aj kladná anomália relatívnej vorticity v hladine 700 hPa a v oblasti severovýchodne od Česka aj výrazné záporné odchýlky vertikálnej rýchlosti prúdenia vzduchu v P-systéme v hladine 850 hPa, čo značí výstupné pohyby vzduchu. Tlaková níž v oblasti Česka, východného Nemecka a príľahlej časti Poľska bola výrazne teplotne asymetrická, čo dokumentuje aj výrazný zonálny teplotný gradient teploty vzduchu v hladine 700 hPa (Dutková 2014).

Ako už bolo spomenuté vyššie, táto zrážková udalosť nasledovala po suchom období. To dosvedčujú aj nízke hodnoty Q_{NAPI} . V Doksanoch bola hodnota Q_{NAPI} na začiatku tejto udalosti (1.8. 1983) iba 0,04 a na Churáňove dokonca iba 0,003. Táto situácia je zaujímavá tým, že na začiatku udalosti zrejme išlo o konvektívne zrážky, ktoré neskôr v priestore tylu cyklóny prešli do zrážok stratiformných. To naznačuje aj hodnota ukazovateľa rovnomernosti zrážok P pre R_{2d} a R_{60x} . V Doksanoch mal tento pomer pre deň 1.8. 1983 a teda začiatok udalosti hodnotu 5,75 a na Churáňove, kde sa R_{60x} pre tento rok vyskytlo 2.8. 1983, to bolo až 7,68. Zrážky teda trvali viac dní, o čom svedčia aj celkové úhrny na týchto dvoch staniciach, ktorý bol za uvedené obdobie v Doksanoch 80 mm a na Churáňove 136 mm. Postupnú zmenu v charaktere zrážok naznačuje aj tab. 7.1. Z tabuľky je vidieť, že na väčšine staníc, ktorých sa týkala zrážková situácia zo začiatku augusta 1983, boli silné zrážky dlhších časových intervalov zaznamenané neskôr po začatí epizódy. Tabuľka tiež ukazuje, že silné zrážky kratších časových intervalov sa môžu vyskytnúť v rámci dlhšej zrážkovej epizódy.

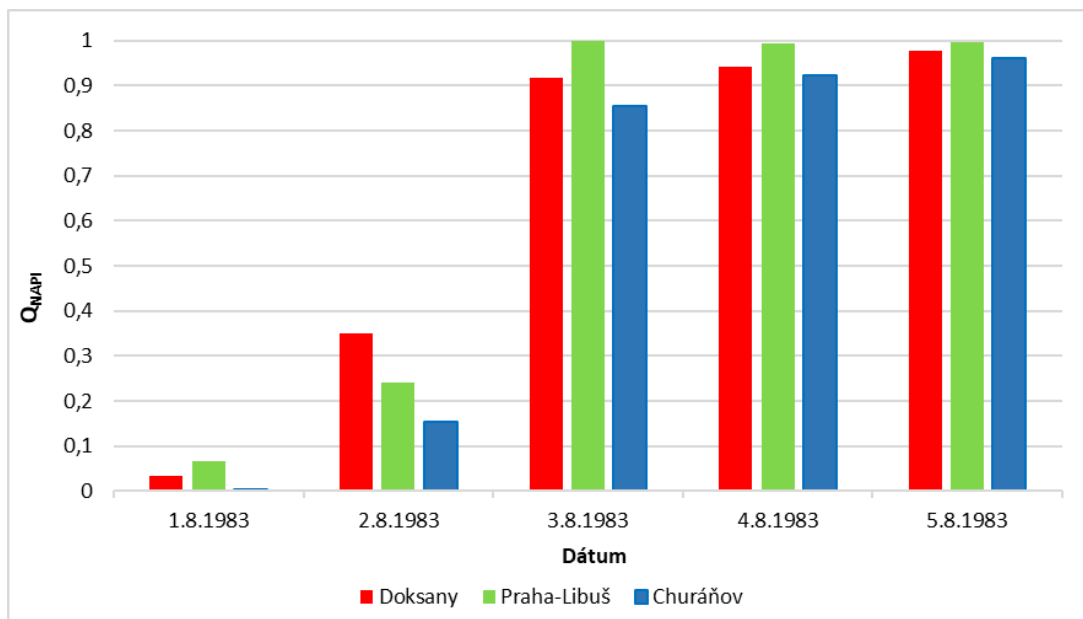
Tab. 7.1 Maximá úhrnov zrážok [mm] za rôzne dlhé časové intervaly v roku 1983, ktoré boli zaznamenané v dňoch 1.–3.8. Podfarbenie buniek odpovedá dňu, v ktorom sa ročné maximum príslušného časového intervalu vyskytlo. Tmavozelená farba predstavuje 1. 8. 1983, svetlozelená predstavuje 2. 8. 1983 a žltá 3. 8. 1983. Križik v bunke znamená, že počas tejto zrážkovej epizódy sa pre príslušný časový interval nevyskytlo jeho ročné maximum, h značí nadmorskú výšku stanice v metroch.

| Stanica | Časový interval [min] | | | | | | | | | | | |
|--------------------|-----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------------|
| | h [m] | 30 | 40 | 60 | 90 | 120 | 150 | 180 | 300 | 360 | 720 | 24 (hodín) |
| Doksany | 158 | 6,0 | 6,8 | 8,7 | 11,2 | 13,4 | 14,2 | 14,6 | 19,2 | 23,8 | 39,8 | 35,8 |
| Praha, Klementinum | 191 | x | x | x | x | x | x | x | 29,3 | 33,2 | 59,7 | 48,5 |
| Teplice | 236 | 11,1 | 11,8 | 13,9 | 16,4 | 20,8 | 24,8 | 29,0 | 31,3 | 31,4 | 32,9 | 31,3 |
| Praha, Braník | 260 | x | x | x | x | x | 21,6 | 25,2 | 36,0 | 39,7 | 66,0 | 52,7 |
| Praha, Libuň | 302 | 20,8 | 22,4 | 24,7 | 27,8 | 31,1 | 35,4 | 39,8 | 55,7 | 59,8 | 80,7 | 60,1 |
| Neumětely | 322 | 21,0 | 21,6 | 22,7 | 24,4 | 25,7 | 26,2 | 27,1 | 39,0 | 44,2 | 63,8 | 58,1 |
| Varnsdorf | 365 | x | x | x | x | x | 16,1 | 18,3 | 22,2 | 24,4 | 33,4 | 41,2 |
| Ústí nad Labem | 375 | x | x | x | x | 19,8 | 22,2 | 23,2 | 24,3 | 25,1 | 40,3 | 27,8 |
| Kestřany | 381 | x | x | x | x | x | x | x | x | 26,8 | 49,0 | 49,2 |
| České Budějovice | 395 | x | x | x | x | x | 13,0 | 14,7 | 17,5 | 17,9 | 25,3 | 24,9 |
| Hejnice | 396 | x | x | x | x | 22,2 | 25,3 | 29,5 | 42,3 | 48,3 | 78,5 | 93,0 |
| Liberec | 398 | x | x | 9,9 | 13,9 | 18,2 | 20,8 | 23,0 | 27,6 | 29,0 | 44,6 | 64,3 |
| Ústí nad Orlicí | 402 | 12,9 | 13,8 | 15,8 | 18,7 | 19,1 | 21,6 | 22,1 | 23,3 | 24,2 | x | x |
| Borkovice | 419 | x | x | x | x | x | x | 19,9 | 32,0 | 36,1 | 50,5 | 51,2 |
| Strakonice | 427 | x | 17,1 | 18,7 | x | x | 23,4 | x | 26,7 | 31,6 | 51,7 | 53,4 |
| Třeboň | 428 | x | x | x | x | 16,6 | 18,8 | 20,1 | 26,0 | 27,7 | 34,6 | 33,2 |
| Tábor | 459 | x | x | x | x | x | x | 22,3 | 29,8 | 35,1 | 49,1 | 50,1 |
| Zbiroh | 473 | x | x | 12,2 | 16,6 | 20,5 | 24,3 | 26,8 | 37,2 | 42,3 | 67,5 | 62,7 |
| Cheb | 483 | x | x | x | x | x | x | x | 13,3 | 15,4 | 22,6 | 23,7 |
| Kocelovice | 519 | 21,6 | 23,1 | 25,2 | 28,2 | 32,2 | 33,7 | 34,2 | 34,6 | 34,6 | 53,8 | 57,5 |
| Přibyslav | 530 | 7,1 | 7,7 | 9,4 | 10,9 | 12,1 | 14,4 | 16,6 | 18,8 | 19,7 | 24,3 | x |
| Svratouch | 737 | x | x | x | x | x | x | x | 13,2 | x | 23,7 | x |
| Přimda | 742 | x | x | x | x | x | x | x | x | x | 27,4 | x |
| Churáňov | 1118 | x | 7,9 | 10,5 | 13,8 | 15,7 | 17,6 | 19,6 | 25,6 | 33,0 | 52,8 | 58,9 |



Obr. 7.1 Synoptická situácia nad Európou dňa 1.8. 1983, 18 UTC (vľavo) a dňa 3.8. 1983 6 UTC. Čierne línie označujú výšku hladiny 500 hPa v geopotenciálnych metroch [gpdam], biele línie označujú prízemný tlak vzduchu [hPa] a farebná stupnica vyjadruje hrúbku vrstvy medzi hladinami 1000 a 500 hPa (zdroj: wetter3.de).

Charakteristickou črtou pre túto situáciu bol nárast hodnôt Q_{NAPI} v čase, a to vďaka viacdňovému úhrnom. Skokovitý nárast hodnôt Q_{NAPI} je možné vidieť na obr. 7.2. Z obrázku vidíme, že na začiatku zrážkovej epizódy bola relatívna nasýtenosť na všetkých troch vybraných staniciach výrazne podnormálna. Po úhrnoch, ktoré nastali v prvý deň zrážkovej udalosti, sa relatívne nasýtenosť najviac zvýšila v Doksanoch. V tento deň bolo na tejto stanici namerané R_{60x} pre tento rok, avšak nebolo príliš vysoké (len 8,7 mm). Zrážky v nasledujúci deň už boli významnejšie a to sa následne odzrkadlilo aj v hodnotách Q_{NAPI} . Je potrebné spomenúť, že zatiaľ čo na staniciach Doksany a Churáňov spadli R_{60x} do podnormálne nasýteného územia, tak na stanici Praha-Libuš bola situácia odlišná. Maximum hodinového (ale aj dlhších časových intervalov) spadlo na tejto stanici až 3. 8. 1983, teda do nasýteného povodia. Avšak zrejme aj vďaka extrémne nízkej relatívnej nasýtenosti úplne na začiatku tejto udalosti nedošlo k významnej odtokovej odozve. Hodnota Q_{NAPI} v Prahe-Libuši síce bola v deň extrému veľmi vysoká, ale priemerná hodnota Q_{NAPI} päť dní pred extrémom (vrátane hodnoty v deň extrému) bola iba 0,29.

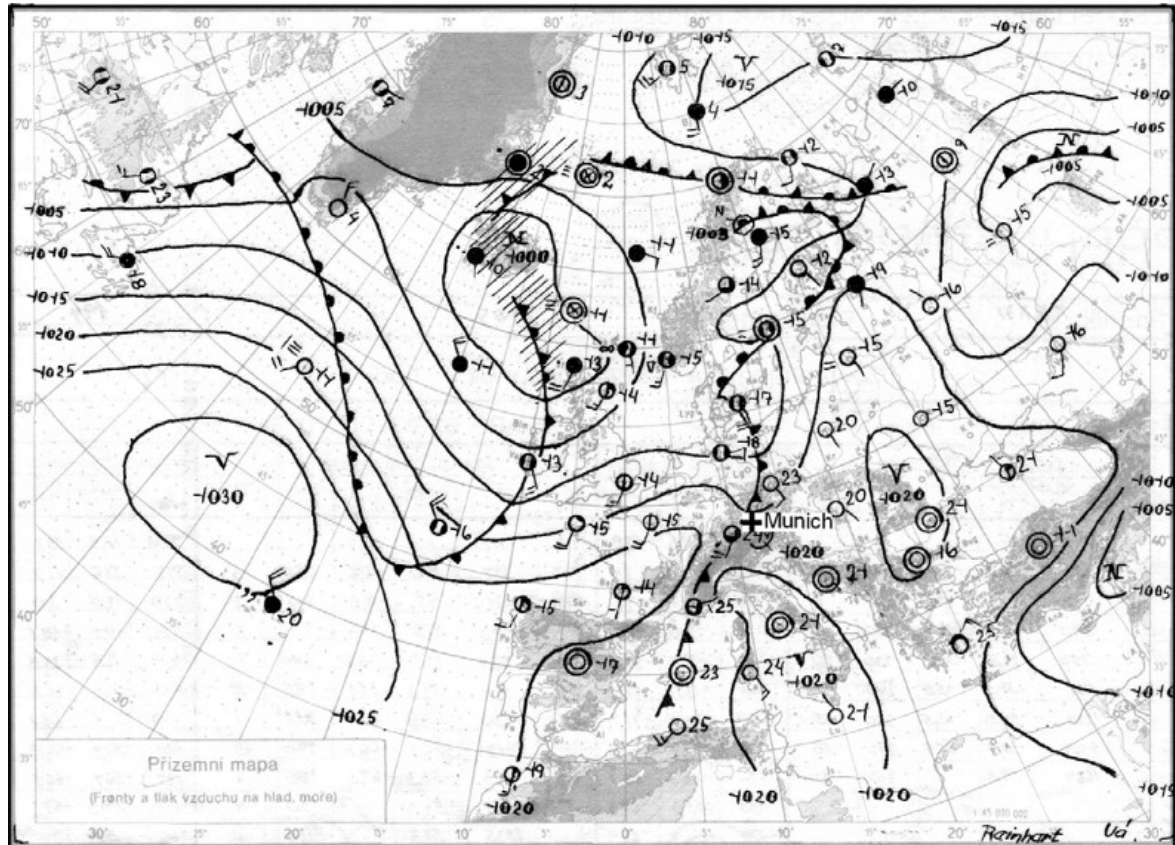


Obr. 7.2 Hodnoty Q_{NAPI} pre vybrané stanice v priebehu zrážkovej epizódy zo začiatku augusta 1983.

7.2 Situácia 12.7.-13.7. 1984

Takmer o rok po situácii z augusta 1983 boli niektoré časti Česka opäť postihnuté veľmi silnými zrážkami. V tomto prípade išlo o veľmi silnú a organizovanú konvekciu, ktorá zasiahla Bavorsko, významnú časť Česka a Poľsko. Táto udalosť, v Nemecku známa aj ako Mníchovské krupobitie, bola významná nie len silnými zrážkovými úhrnmi, ale hlavne kvôli extrémne veľkým krúpam (Kašpar et al., 2009).

Zasiahnuté územie sa deň pred udalosťou nachádzalo v teplom vzduchu medzi oblasťou vysokého tlaku siahajúceho od Stredomoria až nad Pobaltie a oblasťou relatívne nižšieho tlaku vzduchu nad Francúzskom a Španielskom. V noci na 12.7. 1984 postúpil od západu nad Bavorsko slabnúci studený front (obr. 7.3). Chladnejší vzduch za frontom postupne nahradil a vytlačil teplý vzduch a tým sa vytvorili vhodné podmienky pre vznik potenciálnej instability. Práve uvoľnenie potenciálnej instability vplyvom výstupných pohybov v synoptickej mierke bolo primárnou príčinou rozvoja silnej konvekcie. V tomto prípade boli tieto pohyby dôležité pri prekonaní inverzie, ktorá sa vytvorila po nasunutí chladného vzduchu za studeným frontom (Kašpar et al., 2009).

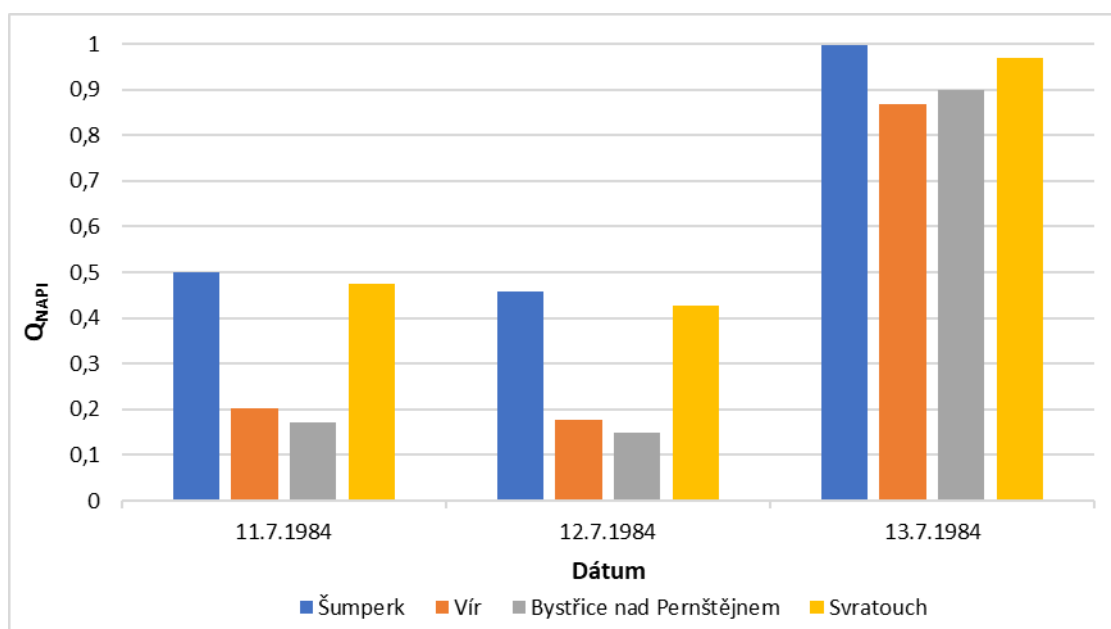


Obr. 7.3 Synoptická situácia dňa 12.7. 1984 00 UTC. Čierne línie zobrazujú prízemný tlak vzduchu v hPa (zdroj: Kašpar a kol. 2009).

Oproti predošlej situácii išlo o jednodňovú udalosť, čo ukazuje aj tab. 7.2. Ročné maximá niektorých intervalov síce boli zaznamenané aj 13.7., ale to bolo spôsobené tým, že zrážky nastali v noci z 12.7. na 13.7. Na veľkej časti staníc spadla podstatná časť zrážkového úhrnu v priebehu dvoch až troch hodín, čo svedčí o veľkej intenzite zrážok. Pred prípadmi silných zrážok, ktoré sú konvektívneho charakteru, a nie sú súčasťou viacdňovej zrážkovej epizódy je častejšie nasýtenosť skôr znížená alebo normálna. To ukazuje aj obr. 7.4, kde vidíme, že v tomto prípade bola na dvoch zo štyroch vybraných stanicí hodnota Q_{NAPI} nízka (pod 0,2) a na zvyšných dvoch bola na úrovni normálu. Po silných zrážkach došlo k výraznému zvýšeniu hodnôt Q_{NAPI} .

Tab. 7.2 Maximá úhrnov zrážok [mm] za rôzne dlhé časové intervaly v roku 1984, ktoré boli zaznamenané v dňoch 12.–13.7. Podfarbenie buniek odpovedá dňu, v ktorom sa ročné maximum príslušného časového intervalu vyskytlo. Tmavozelená farba predstavuje 12. 7. 1984, svetlozelená predstavuje 13. 7. 1984. Križik v bunke znamená, že počas tejto zrážkovej epizódy sa pre príslušný časový interval nevyskytlo jeho ročné maximum, h značí nadmorskú výšku stanice v metroch.

| Stanica | h [m] | Časový interval [min] | | | | | | | | | | |
|--------------------|-------|-----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------------|
| | | 30 | 40 | 60 | 90 | 120 | 150 | 180 | 300 | 360 | 720 | 24 (hodín) |
| Brno, Tuřany | 241 | x | x | 18,7 | 20,5 | 20,5 | x | x | x | x | x | x |
| Šumperk | 328 | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | 98,0 |
| České Budějovice | 395 | 22,7 | 23,4 | 24,0 | 24,5 | 25,0 | 25,4 | 26,1 | 27,0 | 27,1 | x | x |
| Ústí nad Orlicí | 402 | 28,8 | 32,3 | 34,9 | 37,9 | 41,9 | 43,1 | 44,1 | 44,4 | 44,5 | 44,6 | 46,5 |
| Třeboň, Lužnice | 428 | 20,6 | 21,3 | 22,0 | 22,6 | 23,0 | 23,4 | 24,2 | 24,8 | 24,8 | 25,0 | 24,8 |
| Velké Meziříčí | 452 | 27,6 | 27,9 | 28,6 | 39,9 | 41,5 | 41,8 | 41,9 | 42,8 | 42,9 | 43,0 | 42,3 |
| Vír | 473 | 28,6 | 29,3 | 30,0 | 38,8 | 41,6 | 42,0 | 42,5 | 43,2 | 43,3 | 43,4 | 39,0 |
| Přibyslav | 530 | 15,9 | 16,8 | 17,2 | 21,0 | 25,9 | 27,1 | 27,2 | 27,4 | 27,5 | 27,6 | 27,2 |
| Bystřice nad Pern. | 553 | 25,0 | 25,8 | 26,2 | 39,2 | 42,0 | 42,1 | 42,2 | 42,2 | 42,2 | 42,2 | 42,6 |
| Kostelní Myslová | 569 | 37,5 | 38,1 | 38,5 | 38,8 | 39,5 | 39,7 | 40,0 | 40,8 | 40,8 | 41,3 | 41,8 |
| Rýmařov | 645 | 25,2 | 27,2 | 29,5 | 30,3 | 31,0 | 31,5 | 31,6 | 31,8 | 31,9 | 31,9 | 31,9 |
| Nedvězí | 722 | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | 33,8 |
| Svratouch | 737 | 47,7 | 52,0 | 52,7 | 60,4 | 62,9 | 64,0 | 65,3 | 65,5 | 65,5 | 65,5 | 65,0 |
| Červená | 749 | 10,6 | 11,5 | 12,4 | 12,9 | x | x | x | x | x | x | x |
| Churáňov | 1118 | 22,5 | 24,8 | 26,8 | 28,2 | 28,9 | 29,5 | 29,9 | 30,4 | 30,4 | 30,4 | x |

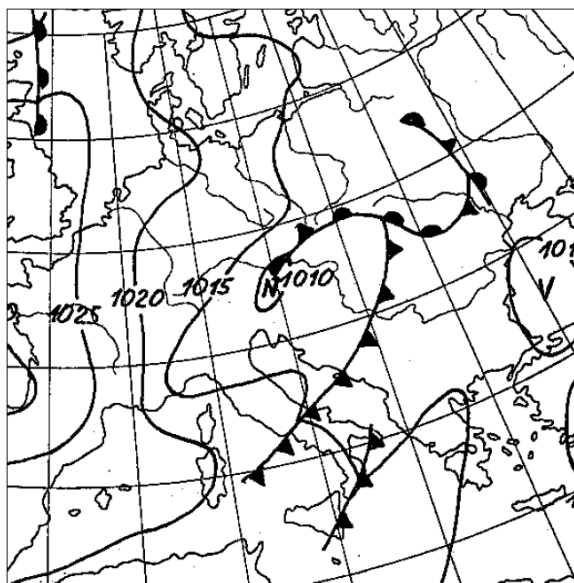


Obr. 7.4 Hodnoty Q_{NAPI} pre vybrané stanice v priebehu zrážkovej epizódy z júla 1984.

7.3 Situácia 4.-8.7. 1997

Začiatok júla 1997 bol v znamení silných zrážok, ktoré vyvolali obrovské povodne v oblasti Moravy a Sliezska. Zrážkové úhrny boli mimoriadne vysoké predovšetkým v pohoriach Jeseníky a Moravsko-sliezske Beskydy. Počas piatich dní spadlo miestami aj viac ako 500 mm zrážok, na stanici Šance to bolo dokonca 617 mm. Lysá hora zaznamenala v rozmedzí 4.-8.7. úhrn 586 mm, pričom dňa 6.7. spadlo až 234 mm (Květoň 1998).

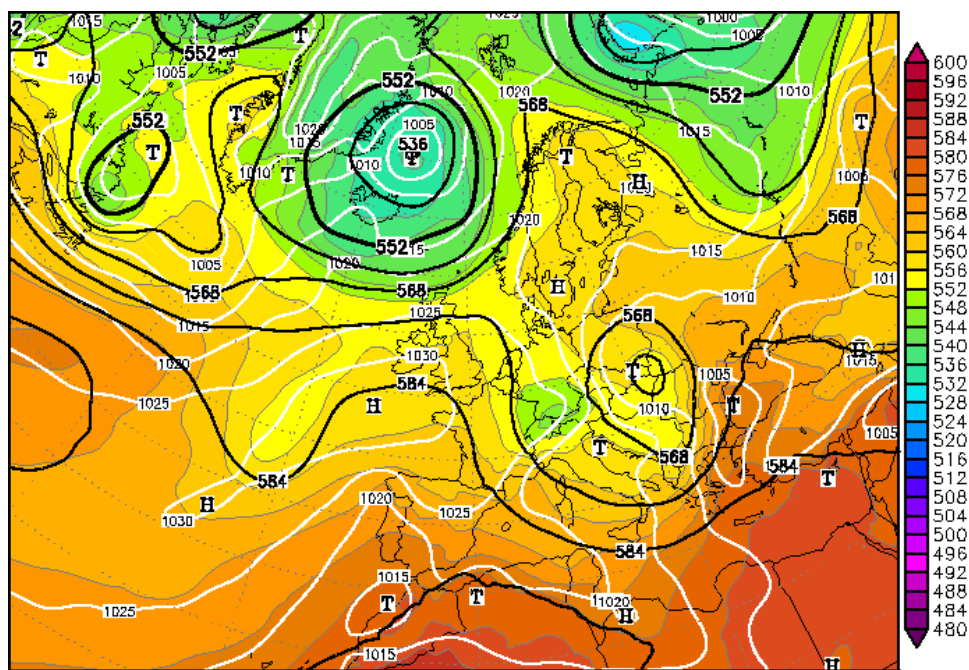
Extrémne úhrny boli spôsobené tlakovou nížou, ktorá sa z oblasti Stredomoria presunula nad strednú Európu po tzv. Vb dráhe. Spočiatku ovplyvňoval počasie studený front, ktorý sa pozvoľna presúval z Nemecka nad územie Česka. Jeho prechod bol na celom území Česka spojený s početnými búrkami a lejakmi. Nad Alpami sa prechod frontu spomalil a front sa začal vlniť. Do oblasti Janovského zálivu sa dostával od severozápadu až severu studený vzduch, ktorý podporil vznik tlakovej níše na zvlnenom studenom fronte. Počas dňa 5.7. postúpila táto níz smerom k severovýchodu a ešte viac sa prehĺbila a rýchlo okludovala (Pavlík, Sandev 1997). Synoptickú situáciu dokumentuje obr. 7.5.



Obr. 7.5 Prízemné tlakové pole dňa 5.7. 1997 o 12 UTC (zdroj: Pavlík, Sandev 1997).

Počas ďalšieho vývoja synoptickej situácie došlo k tomu, že tlaková níz začala retrográdne postupovať zo západnej Ukrajiny smerom na severozápad. Veľmi neobvyklé bolo trvanie tejto situácie a tým pádom aj výdatných zrážok, ktoré trvali asi o dva dni dlhšie ako je pri týchto situáciách bežné (Pavlík, Sandev 1997). Výraznú úlohu v tom, že zrážky trvali tak dlho, zohrala tlaková výš, ktorá sa z Azorských ostrovov rozšírila nad južnú Škandináviu (obr. 7.6). Tento pás vysokého tlaku vzduchu tak zablokoval postup tlakovej níše, ktorá tak zostávala v oblasti južného Poľska. Takáto konfigurácia tlakových útvarov

podporila vznik pomerne silného tlakového gradientu a následné zvýšenie rýchlosti vetra zo severných smerov. Toto malo za následok zvýraznenie orografického efektu pohorí na zosilnenie zrážok. Ďalším významným faktorom, ktorý hral rolu pri silných zrážkach, bol prísun veľmi vlhkého a teplého vzduchu. Tento potenciálne instabilný vzduch sa do oblasti Česka dostával po prednej strane tlakovej níže až z oblasti Stredomoria a v tyle tlakovej níže sa vyskytovali silné zrážky, ktoré boli navyiac zosilnené orografiou (Strachota 1998).



Obr. 7.6 Synoptická situácia nad Európou dňa 7.7. 1997 o 00 UTC. Význam línií a jednotky veličín sú rovnaké ako na obr. 7.1.

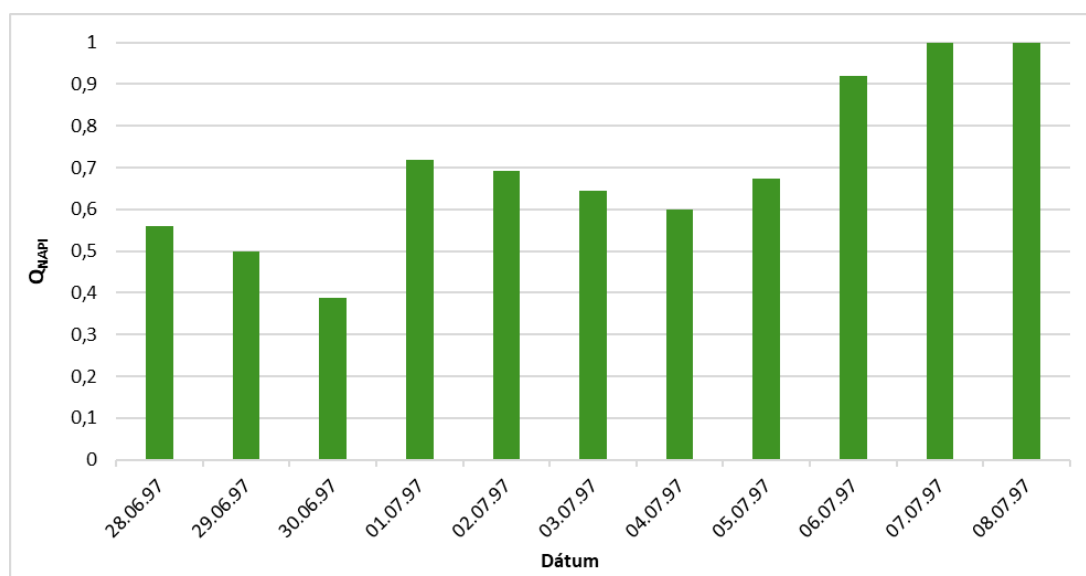
Oproti predošlej analyzovanej situácii bola relatívna nasýtenosť pred maximálnymi ročnými úhrnmi výrazne zvýšená, čo bolo dané tým, že maximálne úhrny sa zväčša vyskytovali uprostred celej zrážkovej epizódy po jednom, či dvoch dňoch so zrážkami (tab. 7.3). Z tabuľky vidíme, že na viacerých staniách boli ročné maximá skúmaných časových intervalov zaznamenané v dňoch 5. alebo 6.7. 1997, čiže po spadnutí určitého množstva zrážok. Pekným príkladom postupnej zmeny v charaktere zrážkových úhrnov je vývoj zrážok na stanici Deštné v Orlických horách. Silné zrážky krátkych časových intervalov boli zaznamenané v prvý deň tejto situácie, zatiaľ čo silné zrážky dlhších časových intervalov sa vyskytli až 7.7.. Tento vývoj zrážkových úhrnov je spôsobený tým, že pri takýchto synoptických podmienkach sú najskôr typické zrážky konvektívneho charakteru, ktoré do oblasti Česka postupujú od juhovýchodu až východu po prednej strane tlakovej níže, ktorá

sa nachádza nad Jadranom, či Alpami. Tlaková níž sa neskôr presúva ďalej na sever, severovýchod a Česko sa ocitá v jej tyle v chladnejšom vzduchu a prevládajú silné stratiformné zrážky, v ktorých však nie je vylúčená vnorená konvekcia a takisto sú, ako už bolo spomenuté, orograficky zosilňované. Takýto vývoj synoptickéj situácie, kedy sa najsilnejšie zrážky zrážkovej epizódy vyskytnú v jej strede, či závere, je logicky spojený s vyššou hodnotou nasýtenosti. Vývoj relatívnej nasýtenosti pre stanicu Lysá hora v júli 1997 ilustruje obr. 7.7.

Tab. 7.3 Maximá úhrnov zrážok [mm] za rôzne dlhé časové intervaly v roku 1997, ktoré boli zaznamenané v dňoch 4.–8.7. Podfarbenie buniek odpovedá dňu, v ktorom sa ročné maximum príslušného časového intervalu vyskytlo. Tmavozelená farba predstavuje 4. 7., svetlozelená predstavuje 5. 7., žltá 6. 7., oranžová 7. 7. a červená 8.7. Križik v bunke znamená, že počas tejto zrážkovej epizódy sa pre príslušný časový interval nevyskytlo jeho ročné maximum, h značí nadmorskú výšku v metroch.

| Stanica | h [m] | Časový interval [min] | | | | | | | | | | | 24 (hodín) |
|--------------------------|-------|-----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|------------|
| | | 30 | 40 | 60 | 90 | 120 | 150 | 180 | 300 | 360 | 720 | | |
| Doksany | 158 | x | x | x | x | 24,9 | 26,4 | x | x | x | x | x | |
| Pohořelice | 180 | 32,1 | 33,3 | 34,2 | 36,1 | 36,7 | 36,7 | 36,8 | 36,8 | 36,8 | 36,9 | 37,4 | |
| Židlochovice | 183 | 28,1 | 29,1 | 29,8 | 30,4 | 31,6 | 31,7 | 31,8 | 31,9 | 31,9 | 32,1 | 33,7 | |
| Ostrava, Poruba | 239 | x | 16,5 | 20,1 | 23,3 | 25,6 | 28,1 | 30,9 | 38,5 | 41,1 | 61,8 | 76,7 | |
| Lučina | 300 | x | x | x | x | x | x | x | 41,8 | 45,9 | 52,1 | 64,2 | |
| Vizovice | 313 | x | x | x | x | x | x | x | x | x | 43,4 | 63,9 | |
| Šumperk | 328 | x | x | x | x | x | x | x | 27,7 | 32,6 | 48,6 | 54,3 | |
| Jevišovice | 330 | x | x | x | x | x | x | x | x | 21,1 | 31,0 | 36,9 | |
| Kuchařovice | 334 | 9,7 | 11,0 | 12,6 | 13,7 | 14,1 | 14,9 | 15,3 | 18,4 | 20,2 | 37,6 | 41,7 | |
| Rychnov nad Kněžnou | 335 | x | 15,7 | 18,4 | 20,9 | 21,3 | x | x | x | x | 35,6 | x | |
| Vranov nad Dyjí | 354 | 17,1 | 18,7 | 20,4 | 23,2 | 24,6 | 24,9 | 24,9 | 27,9 | 36,9 | 55,8 | 58,7 | |
| Kestřany | 381 | 62,2 | 67,0 | 69,5 | 70,2 | 70,2 | 70,2 | 70,2 | 70,2 | 70,2 | 70,2 | 70 | |
| Strání | 383 | x | x | x | x | 21,3 | 23,1 | 25,7 | 33,1 | 35,0 | 61,8 | 84,7 | |
| Hejnice | 396 | x | x | x | x | 21,1 | 24,8 | 25,5 | x | x | x | x | |
| Raškovice | 397 | 22,8 | 27,3 | 34,7 | 41,7 | 46,0 | 48,7 | 50,5 | 58,1 | 62,9 | 80,5 | 95,5 | |
| Ústí nad Orlicí | 402 | x | x | x | x | x | x | x | x | x | 42,5 | 46,9 | |
| Borkovice | 419 | x | x | x | x | x | x | x | 22,6 | 24,4 | 29,6 | x | |
| Strakonice | 427 | x | x | x | x | x | x | x | x | x | 28,1 | x | |
| Zbiroh | 473 | x | 10,7 | 12,2 | 14,4 | 15,5 | 16,0 | 16,4 | 16,6 | 16,6 | x | x | |
| Luká | 510 | x | x | x | x | x | x | x | 36,1 | 39,6 | 55,6 | 66,2 | |
| Kocelovice | 519 | 16,3 | 17,0 | 17,3 | 17,4 | 17,4 | 17,4 | 17,4 | 17,4 | 17,4 | 17,4 | x | |
| Přibyslav | 530 | 10,7 | 10,9 | 11,2 | 11,4 | x | x | x | 17,9 | x | x | x | |
| Bystřice nad Pernštejnem | 553 | x | x | x | x | x | x | x | x | 30,1 | 41,1 | 49,3 | |
| Horní Bečva | 565 | x | x | x | x | x | 27,1 | 30,8 | 47,6 | 54,6 | 93,6 | 125,5 | |
| Kostelní Myslová | 569 | x | x | x | x | x | x | x | x | x | 35,0 | 40,3 | |
| Rokytnice v Orlic.horách | 577 | x | x | x | x | x | x | x | x | x | 43,5 | x | |
| Deštné v Orlic. horách | 656 | 17,0 | 18,1 | 19,4 | 20,5 | 20,9 | 25,0 | 28,3 | 43,0 | 51,7 | 64,4 | 73 | |
| Nedvězí | 722 | x | x | x | x | x | x | x | 28,2 | 30,7 | 51,5 | 58,7 | |
| Svratouch | 737 | x | x | x | x | x | 21,1 | 23,5 | 31,9 | 35,9 | 44,7 | x | |
| Červená | 749 | 17,1 | 18,5 | 20,1 | 20,5 | 20,5 | 20,5 | 20,5 | 30,3 | 35,0 | 53,2 | 58,6 | |
| Dešná | 772 | 13,0 | 16,5 | 21,0 | 21,3 | 21,3 | 29,7 | 35,3 | 39,1 | 44,6 | 71,6 | 98,5 | |
| Lysá hora | 1322 | x | 14,8 | 19,3 | 25,6 | 31,9 | 37,2 | 43,3 | 64,4 | 74,9 | 137,9 | 233,8 | |

Maximálny R_{dx} na Lysej hore bol nameraný dňa 6.7. 1997. V tento deň už hodnota Q_{NAPI} dosahovala úroveň 0,9, čo značí výrazne nadnormálne podmienky pre tento kalendárny deň. Následné zrážkové úhrny relatívnu nasýtenosť ešte viac zvýšili. Ako už bolo spomenuté vyššie, relatívna nasýtenosť pred R_{dx} bola extrémna, ale na druhú stranu je určite potrebné spomenúť, že relatívna nasýtenosť bola pomerne vysoká už pár dní pred samotnými príčinnými zrážkami. To dokazuje aj graf na obr. 7.5. Zrážky, ktoré nastali dňa 30.6., zvýšili relatívnu nasýtenosť približne na úroveň 0,7. Hodnoty Q_{NAPI} potom postupne klesali a na začiatku celej zrážkovej epizódy bola hodnota Q_{NAPI} na úrovni 0,6. Priemerná hodnota Q_{NAPI} za päť dní pred celou zrážkovou udalosťou bola približne 0,6 a priemerná hodnota päť dní pred R_{dx} , to znamená dňa 6.7., bola 0,71. Tento stav relatívnej nasýtenosti v kombinácii s extrémne vysokými úhrnmi zrážok spôsobil katastrofálne povodne.



Obr. 7.7 Hodnoty Q_{NAPI} pre stanicu Lysá hora v na prelome júna a júla 1997.

7.4 Porovnanie analyzovaných situácií

Význam nasýtenosti pri generovaní výrazných odtokových situácií dokazuje aj porovnanie predošlej situácie z augusta 1983 a tej z júla 1997. V roku 1983 išlo rovnako o viacdennú situáciu, ale pri tejto situácii bola relatívna nasýtenosť pred úhrnmi veľmi nízka, dalo by sa povedať, že až extrémne nízka. Podobne ako pri situácii z roku 1997, tak aj pri situácii z roku 1983 hodnoty Q_{NAPI} v priebehu zrážkovej epizódy rástli. Avšak tým, že zrážky padali v podstate do vyschnutého prostredia, tak ani následné vyššie zrážky, pred ktorými už boli hodnoty Q_{NAPI} veľmi vysoké, nespôsobili výraznejšiu odtokovú odozvu. Dôležitým rozdielom medzi týmito situáciami je aj fakt, že počas epizódy v roku 1983 došlo postupne

v priebehu epizódy k ich slabnutiu, kdežto v roku 1997 sa ich maximum vyskytlo v strede udalosti, alebo sa silné zrážky vyskytli aj v jej druhej polovici. Podobne aj pri situácii z roku 1984 nedošlo k výraznejšej odtokovej odozve, nakoľko nasýtenosť pred zrážkovou udalosťou nebola príliš vysoká.

Nasýtenosť pred silnými úhrnmi zrážok môže byť pomerne rôznorodá, tak ako to ukazujú výsledky v piatej kapitole, ale aj tie z analýzy vybraných udalostí silných zrážok. Pred zrážkami konvektívneho charakteru môže byť nasýtenosť aj veľmi nízka (situácia z júla 1984), alebo normálna. Nie je však vylúčená ani situácia, keď do nasýteného povodia spadne silná prívalová zrážka. Nasýtenosť pred zrážkami konvektívneho charakteru býva oproti zrážkam stratiformným, či dlhšie trvajúcim viac náhodná. Pred silnými zrážkami stratiformného charakteru býva nasýtenosť častejšie zvýšená.

8 Zhrnutie poznatkov a ich diskusia

8.1 Zhrnutie a diskusia hlavných výsledkov práce

Predkladaná diplomová práca si kladie za hlavný cieľ pomocou vhodného indexu nasýtenia popísať rozloženie úhrnov zrážok pred extrémnymi úhrnmi zrážok na území Česka. Hlavnou motiváciou práce bolo overiť skutočnosť, že silné zrážky, ktorých hodnoty sa zvyknú využívať pri navrhovaní vodohospodárskych stavieb v krajine, či rôznych protipovodňových opatrení, padajú do priemerne nasýteného povodia. Rovnako sa práca pokúša s využitím navrhnutého ukazovateľa významu relatívnej nasýtenosti U popísať vzťah medzi stavom nasýtenosti povodia, respektíve rozložením zrážok pred extrémnym úhrnom a jeho veľkosťou tohto úhrnu.

Výsledky práce naznačujú, že relatívna nasýtenosť pred silnými zrážkami, vyjadrená hodnotami Q_{NAPI} , je v priemere skôr normálna. To platí hlavne pre kratšie skúmané časové intervaly (kapitola 5.2 a príloha práce). Priemerné hodnoty Q_{NAPI} sa zväčša pohybujú od 0,45 do 0,55, zriedkavo mimo tento interval. Tento fakt platí pre silné úhrny do troch hodín, a to pre všetky stanice bez ohľadu na to, v akej nadmorskej výške sa nachádzajú. Od časového intervalu 300 minút, teda 5 hodín, sa začína prejavovať istá závislosť hodnôt Q_{NAPI} pred silnými zrážkami na nadmorskej výške. Najvýraznejšie sa táto závislosť prejavuje pri R_{dx} (obr. 5.9). Pri dlhších časových intervaloch boli ojedinele zistené priemerné hodnoty Q_{NAPI} vyššie ako 0,6. Najvyšších hodnôt dosiahli stanice na severovýchode krajiny, Lysá hora a Horní Bečva, a šumavská stanica Churáňov. Ani hodnoty Q_{NAPI} okolo 0,6 nie sú príliš vysoké a taktiež signalizujú v podstate normálny stav relatívnej nasýtenosti. Je však potrebné zdôrazniť, že ide o priemernú hodnotu a pred niektorými ročnými maximami, hlavne denných úhrnov zrážok, boli zaznamenané aj výrazne nadnormálne hodnoty nad 0,9.

Zmena nastáva, keď pri analýze uvažujeme aj extremitu ročného maxima, a to za pomoci navrhnutého ukazovateľa významu relatívnej nasýtenosti U . Obzvlášť pre dlhšie časové intervaly platí, že hodnoty U sú vysoké na viacerých staniach. Hodnoty U nad 90. percentilom jeho rozdelenia sú najbežnejšie pre R_{dx} . Platí, že až 28 staníc dosahuje takýchto vysokých hodnôt ukazovateľa. Pomerne výrazný je rozdiel medzi hodnotami U pre R_{360x} a R_{dx} . Veľká časť staníc dosahuje pri R_{360x} normálnych hodnôt a značná časť staníc dosahuje nízke hodnoty, ktoré spadajú do dolného kvartilu rozdelenia hodnôt U . Avšak pre horské stanice hlavne v Moravsko-sliezskych Beskydách a Krkonošiach dosahujú vysokých hodnôt aj pre R_{360x} . To korešponduje s faktom, že pre intervaly 5 hodín a viac je hodnota Q_{NAPI} na

horských stanicích o niečo vyššia. Znamená to, že na týchto stanicích bola pred silnými zrážkami dlhších časových intervalov častejšie zaznamenaná vyššia relatívna nasýtenosť a podľa hodnôt U to navyše vyzerá, že to pravdepodobne bolo častejšie pred vyššími úhrnmi ako pred nižšími. Najvýraznejšie rozdiely medzi krátkymi a dlhými časovými intervalmi sú pozorovateľné na horách a v ich okolí, zvlášť na severovýchode krajiny. Dokazuje to aj obrázok 5.12, kde pre vybrané stanice vidíme hodnoty U pre všetky skúmané časové intervaly. Môžeme tvrdiť, že pre najdlhšie časové intervaly sú hodnoty U oproti strednej hodnote náhodného výberu týchto hodnôt posunuté smerom do vyšších hodnôt.

Fakt, že na horách sú aj silné zrážky stredne dlhých časových intervalov (zväčša tie najvyššie) spojené s vyššou predošlou nasýtenosťou, je pravdepodobne spôsobený tým, že tieto úhrny sú na horách častejšie súčasťou zrážky, ktorá trvá viac hodín alebo je súčasťou zrážkovej epizódy trvajúcej viac dní. Najsilnejšie zaznamenané zrážky stredne dlhých časových intervalov sú na horách pravdepodobne vnorené uprostred zrážkovej epizódy. Nasýtenosť je tak často zvýšená, hlavne čo sa týka najextrémnejších udalostí. Naopak pre silné zrážky časových intervalov od 1 do 2,5 hodiny je typické, že sa vyskytujú akoby izolovane mimo dlhších časových udalostí a sú pravdepodobne konvektívneho charakteru. Tieto tvrdenia dokazujú aj tabuľky 6.1 a 6.3. V nižších polohách sa často stáva, že maximá kratších časových intervalov sú skôr spojené so situáciami, ktoré sú častejšie konvektívneho charakteru. Pre úplne najkratšie časové intervaly (30 a 40 min) platí, že v priemere sú hodnoty U o niečo zvýšené (obr. 5.12). Tento fakt je možné vysvetliť tým, že silné zrážky takto krátkych časových intervalov bývajú zriedkavejšie izolované ako samostatný úhrn a vyskytujú sa ako súčasť dlhšej zrážkovej epizódy, trvajúcej jednu či viac hodín.

Na najnižšie položených stanicích sa oproti horským a podhorským staniciam častejšie stáva, že napríklad maximá jednohodinových úhrnov sú tak vysoké, že sa dostanú aj medzi maximá najdlhších časových intervalov, či dokonca medzi denné maximá. Dôkazom toho je aj skutočnosť, že spomedzi všetkých skúmaných rokov sa na Lysej hore R_{60x} vyskytlo v rovnaký deň ako R_{dx} iba v ôsmich prípadoch, zatiaľ čo v Brne až v dvadsiatich dvoch. Naopak na horách sa iba výnimočne stane, že by sa v danom konkrétnom roku jednohodinový úhrn alebo napríklad aj šesťhodinový dostal aj medzi denné maximá. Jednoducho povedané, na horách s veľkou pravdepodobnosťou dominujú pri tvorbe silných zrážok dlhších časových intervalov odlišné cirkulačné podmienky ako pri silných zrážkach kratších časových intervalov. Čo ukazuje aj kapitola 6.3, kde vidíme, že R_{720x} sú na Lysej hore oproti R_{60x} spojené prevažne so severnou zložkou prúdenia. Tieto

situácie bývajú navyše spojené aj s výrazným orografickým zosilnením zrážok, preto sa počas týchto epizód zvyknú vyskytnúť aj silné zrážky najkratších a stredne dlhých časových intervalov, avšak o silných zrážkach najkratších časových intervalov nie vždy platí, že patria medzi najsilnejšie zaznamenané zrážky za sledované obdobie. To má následne vplyv aj na hodnoty ukazovateľa významu relatívnej nasýtenosti U . Jeho hodnoty sú na Lysej hore pre silné zrážky najkratších časových intervalov nízke, ale už pre stredne dlhé časové intervaly sú jeho hodnoty vysoké, pretože napríklad silné šesťhodinové zrážky patrili medzi najvyššie zaznamenané v celej časovej rade stanice a tým pádom mali pri výpočte hodnoty U aj vyššiu váhu. Tento fakt opäť potvrdzuje, že na horských stanicích je výraznejší rozdiel v genéze silných zrážok krátkych a dlhých časových intervalov a tým pádom pravdepodobne aj v relatívnej nasýtenosti pred týmito úhrnmi.

Dôkazom odlišného pôvodu silných zrážok krátkych a dlhých časových intervalov, a tým pádom aj odlišných podmienok relatívnej nasýtenosti, je priestorové usporiadanie hodnôt ukazovateľa významu relatívnej nasýtenosti U . Hodnoty U sú pre R_{dx} priestorovo homogénnejšie ako pri subdenných silných zrážkach (hlavne pre kratšie časové intervaly), čo je logické, nakoľko subdenné silné zrážky sú častejšie spojené s konvekciou a aj na stanicích, ktoré sú blízko seba nemusí nastať ročné maximum subdenného úhrnu zrážok, ktoré vstupovalo do analýzy, v ten istý deň, tým pádom sa aj stav relatívnej nasýtenosti môže líšiť. Na druhú stranu denné maximálne úhrny zrážok sú väčšinou súčasťou plošne rozsiahlejších zrážok a teda maximá sa na blízky, ale asi aj na vzdialenejších stanicích, vyskytujú v rovnaký dátum, respektíve pri tej istej udalosti.

Vyššie hodnoty U teda zrejme súvisia s charakterom genézy extrémov na konkrétnej stanici, respektíve území. Takisto poukazujú na zvýšené riziko združenej udalosti, ktorá spadá do kategórie tzv. „preconditioned compound events“ a označuje sa ako „zrážky na nasýtené povodie“ (Zscheischler et al., 2020). Toto riziko je podľa nás zvýšené hlavne na horských stanicích.

Dôležitú úlohu pri vývoji nasýtenosti nemá len samotný charakter zrážkovej udalosti, ale aj načasovanie silných zrážok v rámci viacdennej epizódy. Ako je vidieť na príklade v kapitole 7.1, tak silné jednodinové úhrny sa napríklad v Doksanoch vyskytli na začiatku zrážkovej epizódy trvajúcej od 1.8. do 5.8. 1983. Táto zrážková epizóda prišla po dlhšom suchom období, čo znamenalo, že pred R_{60x} bola v Doksanoch veľmi nízka relatívna nasýtenosť. Naopak na stanici Praha-Libuš spadlo tohoročné R_{60x} až 3.8., po dvoch dňoch zrážok, a teda do podmienok s vysokou relatívnou nasýtenosťou. Svedčí o tom aj tabuľka

7.1, kde okrem iného vidíme, že silné zrážky dlhších časových intervalov na viacerých staniciach nasledovali až neskôr v druhý, či tretí deň zrážkovej epizódy.

Nemej dôležité je aj rozloženie zrážok pár dní pred samotnými silnými zrážkami, ktoré priamo nesúvisia so skúmanými silnými zrážkami, ale ovplyvňujú hodnoty relatívnej nasýtenosti v deň výskytu silných zrážok. Príkladom je situácia opísaná v kapitole 7.3, kedy sa hlavne vo východnej časti Českej republiky vyskytli silné zrážky. Pomerne silné zrážky sa vyskytli už na konci júna 1997. To spôsobilo zvýšenie nasýtenosti a následné silné zrážky, ktoré trvali od 4.7., tak už padali do pomerne nasýteného územia. Podobné situácie sa vyskytli aj v rokoch 2002 alebo 2013, kedy takisto padali zrážky do nasýteného povodia a vyvolali významné odtokové odozvy. Tento fakt poukazuje na význam autokorelácie zrážkových úhrnov, respektíve tendencie atmosféry k opakovaniu podobných synoptických situácií v priebehu pár dní, ako to popisuje podkapitola 2.2.1.

Prác, ktoré by sa zaoberali problematikou výskumu nasýtenosti pred silnými zrážkami podobným spôsobom ako táto diplomová práca, nie je veľa. Na území Česka sa o podobnú analýzu nasýtenosti pred silnými zrážkami pokúsili autori Kozlovská a Toman (2010), ktorí hodnotili nasýtenosť pred dňami so zrážkovým úhrnom vyšším ako 30 mm na ôsmich staniciach na juhovýchode Česka. Nasýtenosť hodnotili pomocou kumulatívneho päťdňového úhrnu zrážok pred vybraným zrážkovým úhrnom. Podľa veľkosti tohto kumulatívneho úhrnu určili do akej kategórie spadá tento kumulatívny úhrn. Autori pracovali s tromi kategóriami, ktoré mali vyjadriť mieru nasýtenosti územia. Na základe ich výsledkov je zrejmé, že v drvivej väčšine sa pred zrážkovými úhrnmi vyskytuje kategória I, čo značí suché podmienky. Výsledky tejto práce je však trochu komplikované porovnávať s výsledkami tejto diplomovej práce, pretože autori Kozlovská a Toman nie len že na vyjadrenie nasýtenosti nepoužívali index API , ale ani kumulatívny úhrn zrážok, ktorý bol navyše iba päťdňový oproti nami skúmaného 30-dňového obdobia, nebol vzťahnutý ku klimatológii príslušnej stanice. Autori pracovali iba s dennými úhrnmi zrážok.

Ak by sme predsa len chceli porovnať výsledky tejto diplomovej práce s výsledkami práce Kozlovskej a Tomana, tak môžeme porovnať iba výsledky pre R_{dx} . Podľa výsledkov našej práce sa ukazuje, že aspoň podľa priemernej hodnoty Q_{NAPI} pred R_{dx} je relatívna nasýtenosť na normálnych hodnotách, na horách je o niečo málo zvýšená. Podľa hodnôt U je dokonca na veľkej časti staníc relatívna nasýtenosť pred najvyššími R_{dx} výrazne nadnormálna. Je ale potrebné dodať, že vzťah kumulatívneho úhrnu zrážok k extrémite následného zrážkového úhrnu autori neuvažovali. Avšak podľa ich zistení je výskyt suchých

podmienok pred zrážkami vyššími ako 30 mm oveľa častejši ako predpokladali a tvrdia, že paušálne používanie hodnôt kumulatívneho úhrnu spadajúceho do kategórie II v navrhovaní protieróznych či protipovodňových opatreniach nie je opodstatnené. Toto tvrdenie môžeme potvrdiť aj z našich výsledkov, pretože prahová hodnota pre kategóriu II je 36 mm. To znamená, že kumulatívny úhrn za predošlých päť dní musí byť vyšší ako 36 mm. Táto hodnota je veľmi vysoká a v prostredí staníc, ktoré autori skúmali, je len pomerne ťažko dosiahnuteľná aj vo vrcholnom lete. Dôkazom by mohol byť aj obr. 4.3, kde vidíme, že pre stanicu Brno-Tuřany nedosahuje priemerná hodnota indexu *API* ani v období svojho ročného maxima viac ako 30 mm. Toto porovnanie môže byť síce trochu zavádzajúce, nakoľko my pracujeme s indexom *API* (navyš 30-dňovým), ktorý určitým spôsobom zrážkové úhrny upravuje. Napriek tomu má toto porovnanie určitú výpovednú hodnotu. Ukazuje sa, že tak silné zrážky, akými je prahová hodnota pre kategóriu II, sa v danej oblasti a možno aj v rámci celého Česka vyskytujú zriedkavo, respektíve zriedkavejšie ako je bežný predpoklad. Z tohto dôvodu je preto výhodnejšie používať pre hodnotenie nasýtenosti relatívne hodnoty indexov či rôznych iných ukazovateľov. Podľa našich výsledkov sa totiž ukazuje, že v priemere je relatívna nasýtenosť skôr normálna ako podnormálna a navyše pri najsilnejších R_{dx} dokonca výrazne nadnormálna.

8.2 Diskusia použitých metód

V práci je na popis nasýtenosti využitý index *API* (kapitola 2.3.1), ktorý je štandardne využívaný v meteorológii a hydrológii na popis nasýtenosti. Tento index má viacero nedostatkov, ktoré sú opísané vyššie v teoretickej časti práce. Z tohto dôvodu preto nebudú v tejto kapitole diskutované, zvýrazníme len jednu z nich, ktorá sa preukázala aj pri porovnaní dvoch situácií v kapitole 7. Tento index neuvažuje reálne množstvo vody v krajine, pretože zanedbáva zrážkovo-odtokové procesy a uvažuje iba evapotranspiráciu, aj to iba pomocou jednoduchej konštanty. Na príkladoch v kapitole 7 sa ukázal rozdiel v nasýtenosti 0,9, ktorá nastala vďaka prudkému nárastu po dlhšom období sucha, a nasýtenosťou 0,9, ktorá nastala po období s relatívne normálnymi podmienkami. V prvom prípade bude dochádzať k výraznému zadržiavaniu vody v krajine, pretože pôda bola suchá a nedôjde k významnej odtokovej udalosti. V druhom prípade však už v krajine určitá miera nasýtenosti existuje a preto sa zrážkami, ktoré spôsobia zvýšenie nasýtenosti na vyššiu úroveň akoby doplní zvyšok, ktorý chýbal k úplnému nasýteniu a ak potom ešte nasledujú zrážky, tak to môže vyvolať významnú odtokovú odozvu, pretože povodie je už nasýtené. V prvom prípade sa síce na základe hodnoty Q_{NAPI} povodie akoby nasýtilo, ale to len

z pohľadu množstva spadnutých zrážok a nie reálneho množstva vody v povodí, pretože značná časť zrážok sa „spotrebuje“ na naplnenie územia vodou. Naopak v druhom spomínanom príklade je povodie už „prednaplnené“ a hodnota nasýtenosti na úrovni napr. 0,9 reálnejšie odpovedá množstvu vody v povodí. V kapitole 2.3.1 je opísaný tzv. modifikovaný *API*, ktorý zohľadňuje vplyv teploty na evapotranspiráciu a takisto sa snaží zohľadniť maximálnu retenčnú kapacitu územia. Popisom nasýtenosti pomocou tohto indexu by mohli byť výsledky tejto práce vylepšené, avšak na to aby sme boli tento index schopní počítať nedisponujeme tak širokou dátovou základňou. Na výpočet tohto indexu je potrebné navyše odvodiť dva parametre, a to na základe in situ meraní pôdnej vlhkosti.

Hodnoty indexu *API* sú pred silnými zrážkami spracované relatívne k ich priemerným hodnotám pre daný kalendárny deň. Použitie relatívnych hodnôt nasýtenosti nám dáva možnosť porovnať medzi sebou jednotlivé hodnoty indexu v priebehu roka (index *API* totiž vykazuje ročný chod) a takisto porovnať hodnoty medzi jednotlivými stanicami. Tento prístup sa zdá byť logický, častokrát sa ale pri hodnotení nasýtenosti pracuje s absolútnymi hodnotami *API*. Keďže sa v práci nepracuje priamo s relatívnymi hodnotami *API*, ale s kvantilmi týchto hodnôt, ktoré boli zistené vyššie popísaným spôsobom v kapitole 3.3, sú hodnoty relatívnej nasýtenosti zhora obmedzené jednotkou a zdola nulou. To má však dvojaký efekt, pretože pri viacdenných silných zrážkach už hodnota relatívnej nasýtenosti nerastie, aj napriek tomu, že stále prší, pretože hodnota kvantilu nemôže byť vyššia ako 1. Avšak pri použití absolútnych hodnôt *API* by mohla jeho hodnota (pokiaľ by stále pršalo) rásť v podstate do nekonečna, čo tiež nezodpovedá reálnej situácii. Bohužiaľ, pri hodnotení nasýtenosti len pomocou zrážok sme odkázaní iba na takýto druh analýzy nasýtenosti a nedokážeme z týchto dát jednoznačne povedať, kedy došlo k prekročeniu retenčnej kapacity prostredia a teda úplnému nasýteniu územia. Vysoké hodnoty kvantilov síce naznačujú vysokú nasýtenosť, avšak ako je popísané vyššie a v kapitole 7, nemusí dôjsť k úplnému nasýteniu, aj keď bola hodnota relatívnej nasýtenosti vysoká, pretože územie mohlo byť predtým úplne vyschnuté. Samozrejme je dôležité aj to, aký veľký je úhrn, ktorý ešte nasleduje po dosiahnutí vysokých hodnôt relatívnej nasýtenosti.

Diplomová práca sa snaží nie len o popis relatívnej nasýtenosti pred silnými zrážkami, ale pomocou navrhnutého ukazovateľa významu relatívnej nasýtenosti U aj o vyjadrenie vzťahu medzi veľkosťou zrážky a nasýtenosťou. V tejto snahe popísať vzťah medzi zrážkovým úhrnom a nasýtenosťou je ukazovateľ prínosom tejto práce. Tak ako každá metóda, tak aj táto má svoje nedostatky. Výsledná hodnota U je citlivá na to, aké váhy sú

použité pri vážení hodnôt Q_{NAPI} a takisto na to, aké hodnoty Q_{NAPI} sa nachádzajú pred najsilnejšími silnými zrážkami, teda zrážkami s najväčšou váhou. Hodnoty Q_{NAPI} sú vážené poradím silnej zrážky, s tým že hodnota Q_{NAPI} pred najvyšším skúmaným úhrnom má váhu 0,5 (kapitola 3.4). Použitie týchto konkrétnych váh bolo viackrát konzultované. Pôvodne boli navrhnuté váhy tak, že hodnota Q_{NAPI} pred najvyšším skúmaným úhrnom mala váhu 1. Po vypočítaní hodnôt U podľa pôvodných váh bolo konštatované, že za použitia týchto hodnôt váh má hodnota Q_{NAPI} pred najvyšším úhrnom príliš veľkú váhu a veľmi významne ovplyvňuje výslednú hodnotu U . Z tohto dôvodu sme preto pristúpili k iným hodnotám váh a pokúsili sme sa tak zmierniť vplyv prvej hodnoty Q_{NAPI} . V tab. 8.1 vidíme porovnanie hodnôt U spočítaného pomocou pôvodných váh a hodnôt ukazovateľa, ktoré boli finálne použité. Pre úplnosť doplníme, že ide o hodnoty U pre R_{dx} .

Tab. 8.1 Porovnanie hodnôt dvoch variant ukazovateľa významu relatívnej nasýtenosti U a hodnôt Q_{NAPI} pred desiatimi najvyššími R_{dx} pre vybrané stanice. Udalosti R_{dx} sú zoradené zostupne, pričom hodnota úplne vľavo predstavuje hodnotu Q_{NAPI} pred najvyšším R_{dx} pre danú stanicu.

| Stanica | QNAPI | | | | | | | | | | U (pôvodný) | U |
|----------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------------|------|
| Doksany | 0,97 | 0,96 | 0,64 | 0,18 | 0,11 | 0,18 | 0,62 | 0,43 | 0,90 | 0,55 | 0,25 | 0,16 |
| Brno-Tuřany | 0,46 | 0,54 | 0,44 | 0,95 | 0,45 | 0,93 | 0,61 | 0,06 | 0,89 | 0,50 | 0,05 | 0,06 |
| Churáňov | 0,26 | 0,80 | 0,97 | 0,83 | 0,19 | 0,69 | 0,75 | 0,79 | 0,43 | 0,90 | 0,15 | 0,20 |
| Lysá hora | 0,92 | 0,99 | 0,93 | 0,91 | 0,79 | 0,94 | 0,96 | 0,85 | 0,80 | 0,52 | 0,63 | 0,58 |
| Liberec | 0,03 | 0,99 | 0,98 | 0,52 | 0,51 | 0,78 | 0,89 | 0,67 | 0,54 | 0,29 | 0,04 | 0,10 |
| Ústí n. Orlicí | 0,64 | 0,86 | 0,29 | 0,14 | 0,43 | 0,79 | 0,29 | 0,68 | 0,56 | 0,45 | 0,12 | 0,10 |

Z tabuľky vyplýva, že po použití váh, kedy bola hodnota Q_{NAPI} pred najvyšším R_{dx} vážená číslom 0,5, došlo k viacerým situáciám. Na stanici Doksany došlo k výraznému zníženiu hodnoty U , ktorá je síce stále pomerne vysoká, ale oproti pôvodnému spôsobu výpočtu je výrazne nižšia. Naopak na stanicach Churáňov a Liberec došlo ku zvýšeniu hodnoty U . Na zvyšných stanicach nie je zmena príliš výrazná.

Na týchto príkladoch sa ukazuje citlivosť ukazovateľa významu relatívnej nasýtenosti U na to, aké váhy sú použité, ale aj na to, aké hodnoty Q_{NAPI} boli zaznamenané pred najvyššími silnými zrážkami. V Doksanech bola pred dvomi najvyššími R_{dx} zaznamenaná extrémne vysoká relatívna nasýtenosť, čo malo pri použití pôvodných váh výrazný vplyv na hodnotu U . Po použití druhej varianty váh došlo ku zmierneniu vplyvu týchto hodnôt, avšak stále je vidieť ich výrazný vplyv. Ostatné zaznamenané Q_{NAPI} sú, až na jednu výnimku, v medziach normálnych hodnôt, niektoré sú dokonca výrazne podnormálne. Vplyv výberu váh a takisto toho, aké hodnoty Q_{NAPI} sú zaznamenané pred absolútne najvyššími silnými

zrážkami, sa ukazuje aj na stanici Churáňov. Tu bola naopak pred najvyšším R_{dx} hodnota Q_{NAPI} iba 0,26, zatiaľ čo zvyšné hodnoty už boli väčšinou vyššie. Pri použití pôvodných váh mala táto hodnota až príliš veľkú váhu a znižovala výslednú hodnotu U . Podobná situácia ako na Churáňove, ale o niečo výraznejšia nastáva aj na stanici Liberec. Prvá hodnota Q_{NAPI} je extrémne nízka a pri pôvodných váhach výrazne ovplyvnila výslednú hodnotu U . V poradí ďalšie dve hodnoty Q_{NAPI} sú veľmi vysoké, ale pri použití pôvodných váh nemali takú váhu pri výpočte hodnoty U . Na príklade stanice Ústí nad Orlicí vidíme, že popisovať nasýtenosť pred silnými zrážkami iba na základe hodnoty U , môže byť v určitých prípadoch trochu zavádzajúce. Táto stanica má totiž rovnakú hodnotu U ako Liberec, avšak pred desiatimi najvyššími R_{dx} sa nevyskytla ani jedna hodnota Q_{NAPI} nad 0,9. Stanice Lysá hora a Brno-Tuřany vykazujú pomerne vyrovnaný priebeh hodnôt Q_{NAPI} pred najsilnejšími R_{dx} a pravdepodobne preto sa pri použití druhej varianty váh hodnota U výrazne nezmenila.

Hodnoty ukazovateľa významu relatívnej nasýtenosti U majú svoju výpovednú hodnotu a to vďaka snahe popísať vzťah medzi veľkosťou zrážky a predošlou relatívnou nasýtenosťou, avšak je potrebné k nim prihliadať s určitou rezervou, pretože jedna vysoká alebo nízka hodnota Q_{NAPI} dokáže pomerne výrazne ovplyvniť jeho hodnoty. Tieto hodnoty by mohli byť výsledkom náhody a nemusia úplne zodpovedať správaniu sa hodnôt Q_{NAPI} pred silnými zrážkami na konkrétnej stanici, tak ako to vidíme na príklade Liberca, kedy je pravdepodobné, že najvyššie R_{dx} bolo zrejme spôsobené úplne iným typom zrážkovej udalosti ako napríklad v poradí ďalšie dve udalosti silných zrážok. Tieto hodnoty je ale potrebné rešpektovať a počítat s tým, že keď sa v minulosti takáto hodnota/hodnoty Q_{NAPI} pred silnými úhrnmi vyskytla, môže sa tak udiť aj niekedy v budúcnosti. Na druhú stranu je potrebné dodať, že ukazovateľ významu relatívnej nasýtenosti U nepočíta len s najvyššími hodnotami, ale pracuje s hodnotami za celé sledované obdobie pre konkrétnu stanicu. I keď hodnoty nasýtenosti pred najnižšími extrémami majú už pomerne malú váhu.

Podľa nášho názoru bola úprava hodnôt váh relatívne úspešná, i keď na druhú stranu je potrebné dodať, že určite existujú lepšie prístupy ako hodnotiť extremitu zrážkových úhrnov. V našom prípade bola hodnotená na základe poradia silných zrážkových úhrnov a následné váhy vychádzali z prevrátenej hodnoty tohto poradia. Určite by stálo za zváženie použiť skutočnú dobu opakovania zrážky. Na niektorých staniaciach došlo k situácii, keď bolo najvyššie zaznamenané maximum oveľa vyššie ako druhé v poradí (podobne to mohlo byť aj medzi druhým a tretím v poradí). Pri použití dôb opakovania na vyjadrenie extremity zrážkových úhrnov by boli z nich odvodené váhy pravdepodobne vhodnejšie. Na druhú

stranu najnižším skúmaným zrážkovým úhrnom by bola zrejme určená veľmi nízka doba opakovania, pretože sú pomerne časté a je dosť možné, že by tým pádom výsledné hodnoty U vyšli podobne. Rovnako tak by sme mohli diskutovať aj o samotnom vzorci ukazovateľa významu relatívnej nasýtenosti U , ale myslíme si, že zložitejší postup presahuje rozsah diplomovej práce.

Diskusiou o extreme silných zrážok sa dostávame k polemike o spôsobe určenia toho, ktoré zrážky sú v tejto práci považované za extrémny. Bežne používanými spôsobmi pre výber extrémnych zrážok sú metódy blokových maxim a metóda prahových hodnôt, ktorá za extrém považuje všetky hodnoty nad určitým prahom. V tejto práci bola využitá metóda blokových maxim a to hlavne z dôvodu eliminácie autokorelácie hodnôt zrážkových úhrnov, spomínanej v kapitole 2.2.1. Pri silných zrážkových epizódach, ktoré trvajú viac dní, nastáva pomerne bežne situácia, že vysoké úhrny padajú viac dní za sebou. Pri použití metódy určenia extrémov na základe prahových hodnôt by sa mohlo stať, že by sme do analýzy nasýtenosti zaradili aj viac ako jeden úhrn z tejto epizódy. Tým pádom by bola nasýtenosť pred jedným extrémom v analýze ovplyvnená ďalším, ktorý by ale tiež vstupoval do hodnotenia nasýtenosti. Takýmto spôsobom by ale mohli byť výsledky skreslené, a preto bola na výber extrémnych hodnôt zvolená metóda blokových maxim.

Na druhú stranu má však použitie metódy blokových maxim nevýhodu v tom, že sme mohli z analýzy vynechať vysoké zrážkové úhrny, ktoré mohli byť v mnohých prípadoch oveľa vyššie ako niektoré najnižšie ročné maximá. Túto nevýhodu podľa nás čiastočne kompenzuje použitie ukazovateľa významu relatívnej nasýtenosti U , pretože najväčšia váha je prikladaná hodnotám Q_{NAPI} pred najvyššími ročnými maximami. Zrejme najlepšie by bolo skombinovať tieto metódy a to tak, že by sa v celom súbore vybrali extrémne zrážkové úhrny nad určitú prahovú hodnotu a následne by sa spomedzi nich vybrali v rámci viacdňových udalostí iba tie s najvyšším úhrnom. Tým pádom by sme eliminovali vplyv autokorelácie na výsledné hodnotenie rozloženia zrážok pred extrémnymi úhrnmi a takisto by sme boli schopní do analýzy zahrnúť aj úhrny, ktoré boli síce vysoké, ale do výberu ročných maxim sa nedostali, pretože sa v tom roku vyskytol ešte vyšší úhrn.

9 Záver

Problematika nasýtenosti povodia je z hydrometeorologického hľadiska významná a má veľký vplyv na odtokovú odozvu povodia. Výskumy vykonané v minulosti potvrdili vzťah medzi nasýtenosťou a výskytom extrémnych povodní. Ucelenejší prehľad akým spôsobom sa správa nasýtenosť a teda aj zrážky pred významnými zrážkovými udalosťami v Česku chýbal a nebolo úplne jasné, či je nasýtenosť pred silnými zrážkami v medziach normálu, alebo je vychýlená smerom k podnormálnym, či nadnormálnym hodnotám.

Z výsledkov práce vyplýva, že relatívna nasýtenosť pred silnými úhrnmi zrážok môže byť rôznorodá (hlavne pre krátke časové intervaly silných zrážok), ale v priemere je skôr normálna. Avšak pri zohľadnení extremity silných zrážok sa ukazuje, že nasýtenosť zvykne byť zvýšená hlavne pre silné zrážky dlhších časových intervalov v horských a podhorských oblastiach. Najvýraznejšie rozdiely medzi krátkymi a dlhými časovými intervalmi vidíme takisto na horských staniach. Pre veľkú časť staníc je typické, že hodnoty navrhnutého ukazovateľa významu relatívnej nasýtenosti U sú pred najkratšími časovými intervalmi silných úhrnov zrážok nízke a pred najdlhšími naopak vysoké. Existujú však stanice, na ktorých je hodnota U vysoká pri všetkých časových intervaloch.

Na základe týchto skutočností je možné konštatovať, že nie je úplne správne automaticky predpokladať normálnu, či podnormálnu hodnotu nasýtenosti, čo pokladáme za cennú informáciu. Prínosom práce je hodnotenie nasýtenosti relatívne k priemerným hodnotám indexu API pre daný kalendárny deň a takisto navrhnutý ukazovateľ významu relatívnej nasýtenosti U , ktorý sa snaží o popis vzťahu medzi veľkosťou extrémnej zrážky a veľkosťou predošlej nasýtenosti.

Práca má určitý priestor pre ďalšie rozvinutie. Popis nasýtenosti pomocou indexu API nie je úplne presný, pretože na množstvo vody v povodí má vplyv veľa faktorov (kapitola 2.2). Na spresnenie popisu nasýtenosti by mohli byť v budúcnosti využité merania pôdnej vlhkosti, či satelitné dáta opísané v rešeršnej časti práce. Vhodným implementovaním týchto dát do výskumu by mohlo dôjsť k spresneniu popisu nasýtenosti pred silnými zrážkami v Česku. Ďalší priestor na spresnenie, či vylepšenie vidíme v navrhnutom ukazovateli významu relatívnej nasýtenosti U . V diskusii boli diskutované použité váhy, ktoré by mohli byť v ďalšom výskume optimalizované a takisto by mohol byť optimalizovaný aj samotný vzorec ukazovateľa. Rovnako tak by bolo vhodné porovnať výsledky analýzy nasýtenosti pre silné zrážky vybrané dvomi rôznymi spôsobmi výberu extrémnych hodnôt.

Zoznam použitej literatúry

AHLMER, A.K., CAVALLI, M., HANSSON, K., KOUTSOURIS, A.J., CREMA, S., KALANTARI, Z. (2018): Soil moisture remote-sensing applications for identification of flood-prone areas along transport infrastructure. *Environ Earth Sci* 77, 1–17.

ALI, G. A., ROY, A. G. (2010): A case study on the use of appropriate surrogates for antecedent moisture conditions (AMCs). *Hydrology and Earth System Sciences*, 14(10), 1843–1861.

BROCCA, L., MORAMARCO, T., MELONE, F., WAGNER, W., HASENAUER, S., HAHN, S. (2012): Assimilation of surface- and root-zone ASCAT soil moisture products into rainfall-runoff modeling. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 50(7 PART1), 2542–2555.

CHAMPAGNE, C., DAVIDSON, A., CHERNESKI, P., L'HEUREUX, J., HADWEN, T. (2015): Monitoring agricultural risk in Canada using L-band passive microwave soil moisture from SMOS. *J Hydrometeorol* 16, 5–18.

ČURLÍK, J., JURKOVIČ, L. (2012): *Pedogeochemia*. Univerzita Komenského, Bratislava, 2012.

DAVIE, T. (2008): *Fundamentals of Hydrology, Second Edition, Management*.

DUTKOVÁ, A. (2014): Kumulace meteorologických extrémů na příkladu léta 1983. Diplomová práce. Katedra fyzické geografie a geoekologie, PřF UK, Praha, 84 s.

GHOSH, N.C., JAISWAL, R.K., ALI, S. (2021): Normalized Antecedent Precipitation Index Based Model for Prediction of Runoff from Un-Gauged Catchments. *Water Resources Management* 35, 1211–1230.

HEGGEN, J.R. (2001): Normalized antecedent precipitation index. *Journal of hydrologic engineering* 6, 377-381.

KALNAY, E. et al., (1996): The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 77, 437-471.

KANTOR, P. et al. (2003): *Lesy a povodně*. MŽP, Praha, 48 s.

- KAŠPAR, M., MÜLLER, M., KAKOS, V., ŘEZÁČOVÁ, D., SOKOL, Z. (2009): Severe storm in Bavaria, the Czech Republic and Poland on 12-13 July 1984: A statistic- and model-based analysis. *Atmos Res* 93, 99–110.
- KERR, Y.H., WALDTEUFEL, P., WIGNERON, J.P., DELWART, S., CABOT, F., BOUTIN, J., ESCORIHUELA, M.J., FONT, J., REUL, N., GRUHIER, C., JUGLEA, S.E., DRINKWATER, M.R., HAHNE, A., MARTIN-NEIRA, M., MECKLENBURG, S. (2010): The SMOS L: New tool for monitoring key elements of the global water cycle. *Proceedings of the IEEE* 98, 666–687.
- KHANAL, S., LUTZ, A.F., IMMERZEEL, W.W., DE VRIES, H., WANDERS, N., VAN DEN HURK, B. (2019): The impact of meteorological and hydrological memory on compound peak flows in the Rhine river basin. *Atmosphere (Basel)* 10, 1–19.
- KOHLER, M.A., LINSLEY, R.K. (1951): Predicting the runoff from storm rainfall. Weather Bureau, US Department of Commerce, Research Paper. No.34, Washington.
- KOZLOVSKÁ, S., TOMAN, F. (2010): Vyhodnocení index u předchozích srážek u vybraných klimatologických stanic. *Acta univ. agric. et silvic. Mendel. Brun.* 4, 135–140.
- KVĚTOŇ, V. (1998): Hodnocení extremity příčinných srážek. In: Vyhodnocení povodňové situace v červenci 1997. Souhrnná zpráva projektu, MŽP, Praha, 173 s.
- LI, X., WEI, Y., LI, F. (2021): Optimality of antecedent precipitation index and its application. *J Hydrol (Amst)* 595, 126027.
- MÜLLER, M. (2007): Hydrometeorologické podmínky vzniku významných dešťových povodní na území ČR. Dizertační práce. Katedra fyzické geografie a geoekologie, PřF UK, Praha, 128 s.
- PAVLÍK, J., SANDEV, M. (1997): Synoptické hodnocení povětrnostních situací v průběhu povodně v červenci 1997. *Meteorologické zprávy*, 6, 50, 164–171.
- ROBINSON, D.A., CAMPBELL, C.S., HOPMANS, J.W., HORNBUCKLE, B.K., JONES, S.B., KNIGHT, R., OGDEN, F., SELKER, J., WENDROTH, O. (2008): Soil Moisture Measurement for Ecological and Hydrological Watershed-Scale Observatories: A Review. *Vadose Zone Journal* 7, 358–389.

- SCHOENER, G., STONE, M. C. (2020): Monitoring soil moisture at the catchment scale – A novel approach combining antecedent precipitation index and radar-derived rainfall data. *Journal of Hydrology*, 589, 125155.
- SCHWARZOVÁ, M. (2021): Srážko-odtokové poměry v povodí s mozaikou orné půdy a lesních, lučních i zastavěných ploch. Diplomová práce. Katedra aplikované ekologie Zemědělská fakulta Jihočeská univerzita, České Budějovice, 80 s.
- SRIVASTAVA, P.K. (2017): Satellite Soil Moisture: Review of Theory and Applications in Water Resources. *Water Resources Management* 31, 3161–3176.
- SRIVASTAVA, P.K., PANDEY, V., SUMAN, S., GUPTA, M., ISLAM, T. (2016): Available Data Sets and Satellites for Terrestrial Soil Moisture Estimation, *Satellite Soil Moisture Retrieval: Techniques and Applications*. Elsevier Inc.
- STRACHOTA, J. (1998): Meteorologické příčiny povodňové situace. In: Vyhodnocení povodňové situace v červenci 1997. Souhrnná zpráva projektu, MŽP, Praha, 173 s.
- SUSHA LEKSHMI, S.U., SINGH, D.N., SHOJAEI BAGHINI, M. (2014): A critical review of soil moisture measurement. *Measurement (Lond)* 54, 92–105.
- TOLASZ, R. et al. (2007): Atlas podnebí Česka. ČHMÚ a UP Olomouc, Praha, 256 s.
- TLAPÁK, V., ŠÁLEK, J., LEGÁT, V. (1992): Voda v zemědělské krajině. Zemědělské nakladatelství Brázda v spolupráci s MŽP ČR, Praha, 320 s.
- VALKOVIČ, P. (2010): Monitorovanie pôdnej vlhkosti–metódy hodnotenia. Diplomová práce. Katedra biometeorológie a hydrológie, Fakulta záhradníctva a krajinného inžinierstva diplomová práca Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, Nitra, 65 s.
- VOLKOVÁ, A. (2010): Změny ve srážko-odtokovém režimu v povodí Stropnice. Katedra fyzické geografie a geoekologie, PřF UK, Praha, 130 s.
- WOLDEMESKEL, F., SHARMA, A. (2016): Should flood regimes change in a warming climate? The role of antecedent moisture conditions. *Geophys Res Lett* 43, 7556–7563.
- ZHANG, D., ZHOU, G. (2016): Estimation of soil moisture from optical and thermal remote sensing: A review. *Sensors (Switzerland)* 16.

ZHAO, B., DAI, Q., HAN, D., DAI, H., MAO, J., ZHUO, L., RONG, G. (2019): Estimation of soil moisture using modified antecedent precipitation index with application in landslide predictions. *Landslides* 16, 2381–2393.

ZSCHEISCHLER, J., MARTIUS, O., WESTRA, S., BEVACQUA, E., RAYMOND, C., HORTON, R.M., VAN DEN HURK, B., AGHAKOUCHAK, A., JÉZÉQUEL, A., MAHECHA, M.D., MARAUN, D., RAMOS, A.M., RIDDER, N.N., THIERY, W., VIGNOTTO, E. (2020): A typology of compound weather and climate events. *Nature Reviews Earth & Environment*.

Internetové zdroje a zdroje dat

ArcČR® 500, digitální geografická databáze [online]. [cit. 30.11. 2021]. Dostupné z: <https://www.arcdata.cz/produkty/geograficka-data/arccr-4>

Český hydrometeorologický ústav, Denní data dle zákona 123/1998 Sb. [online]. [cit. 10.10. 2021b]. Dostupné z: <https://www.chmi.cz/historicka-data/pocasi/denni-data/Denni-data-dle-z.-123-1998-Sb>

Český hydrometeorologický ústav, Indikátor přívalových povodní [online]. [cit. 31.3. 2023a]. Dostupné z:

https://hydro.chmi.cz/hppsoldv/doc/pdf/letak_indikator_privalovych_povodni.pdf

Český hydrometeorologický ústav, Typizace povětrnostních situací pro území České republiky [online]. [cit. 1.8. 2022c]. Dostupné z: <https://www.chmi.cz/historicka-data/pocasi/typizace-povetrnostnich-situaci>

NOAA, NCEP/NCAR Reanalysis [online]: Reanalýza NCEP/NCAR – gridová data [cit. 1.9. 2022]. Dostupné z: <https://psl.noaa.gov/data/gridded/data.ncep.reanalysis.html>

Wetter3.de, archiv GFS [online]. [cit. 25.2. 2023]. Dostupné z: http://www1.wetter3.de/archiv_gfs_dt.html

Zoznam obrázkov a tabuliek

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Obr. 2.1 Rôzne formy pôdnej vody | 11 |
| Obr. 2.2 Schéma merania pôdnej vlhkosti pomocou metódy TDR. | 17 |
| Obr. 2.3 Priebeh pôdnej vlhkosti, teploty vzduchu a denných úhrnov zrážok na stanici San Pietro Capofiume | 24 |
| Obr. 2.4 Kategórie ukazovateľa nasýtenosti využívaného pri predpovedi rizika prívalových povodní..... | 26 |
| Obr. 3.1 Zrážkomerné stanice použité v diplomovej práci. | 27 |
| Obr. 3.2 Histogram hodnôt ukazovateľa významu relatívnej nasýtenosti U spočítaných na náhodne vygenerovaných hodnotách Q_{NAPI} | 33 |
| Obr. 4.1 Dlhodobý priemer indexu API pre skúmané stanice. | 35 |
| Obr. 4.2 Variačný koeficient hodnôt API | 36 |
| Obr. 4.3 Ročný chod API_k , API_{kh} a variačný koeficient (modrá krivka) pre vybrané stanice v ČR v období 1961-2019..... | 37 |
| Obr. 4.5 Ročný chod denných hodnôt API a denného úhrnu zrážok v rokoch 2003 a 2010 a hodnôt API_k pre stanicu Lysá hora. | 39 |
| Obr. 4.6 Hodnoty indexu API pre kalendárny deň 18.5. zoradené od najvyššej po najnižšiu hodnotu na stanici Lysá hora pre obdobie 1961-2019..... | 40 |
| Obr. 4.7 Hodnoty indexu API pre kalendárny deň 30.6. zoradené od najvyššej po najnižšiu hodnotu na stanici Lysá hora pre obdobie 1961-2019..... | 40 |
| Obr. 5.1 Škatuľové grafy pre priemerné hodnoty Q_{NAPI} v deň ročného maxima denného úhrnu zrážok pre tri výškové stupne do 300 m n. m., medzi 300 a 600 m n. m. a nad 600 m n. m. | 41 |
| Obr. 5.2 Škatuľové grafy pre hodnoty variačného koeficientu hodnôt Q_{NAPI} pred ročnými maximami denných úhrnov zrážok pre tri výškové stupne do 300 m n. m., medzi 300 a 600 m n. m. a nad 600 m n. m..... | 43 |
| Obr. 5.3 Rozdelenie hodnôt Q_{NAPI} pred R_{dx} | 44 |
| Obr. 5.4 Percentuálny podiel nadnormálnych hodnôt Q_{NAPI} (hodnoty nad kvantilom 0,75 rozdelenia hodnôt Q_{NAPI} pre konkrétnu stanicu) pred R_{dx} | 45 |
| Obr. 5.5 Rozdelenie hodnôt ukazovateľa významu relatívnej nasýtenosti U pred R_{dx} | 46 |
| Obr. 5.6 Priebeh vážených hodnôt Q_{NAPI} pred zostupne zoradenými R_{dx} pre vybrané stanice..... | 48 |
| Obr. 5.7 Priebeh vážených hodnôt Q_{NAPI} pred zostupne zoradenými R_{dx} | 48 |
| Obr. 5.8 Priebeh vážených hodnôt Q_{NAPI} pred zostupne zoradenými R_{dx} pre rôzne intervaly nadmorských výšok. | 49 |
| Obr. 5.9 Závislosť priemerných hodnôt Q_{NAPI} pred R_{dx} a pred R_{60x} na nadmorskej výške..... | 51 |
| Obr. 5.10 Škatuľové grafy pre priemerné hodnoty Q_{NAPI} v deň R_{60x} pre tri výškové stupne. | 52 |
| Tab. 5.2 Základné charakteristiky hodnôt ukazovateľa významu relatívnej nasýtenosti U pred maximálnymi ročnými úhrnmi skúmaných časových intervalov pre tri výškové stupne.. | 54 |
| Obr. 5.11 Rozdelenie hodnôt ukazovateľa významu relatívnej nasýtenosti U pre rôzne časové intervaly ročných maximálnych úhrnov zrážok. | 55 |
| Obr. 5.12 Hodnoty ukazovateľa významu relatívnej nasýtenosti U pre maximálne ročné úhrny zrážok skúmaných časových intervalov na vybraných stanicích..... | 56 |

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Obr. 5.13 Priemerné hodnoty ukazovateľa významu relatívnej nasýtenosti U pre maximá ročných úhrnov zrážok všetkých skúmaných časových intervalov..... | 58 |
| Obr. 6.1 Vzťah medzi hodnotou ukazovateľa rovnomernosti zrážok P a T_{max} pre R_{60x} pre štyri vybrané stanice..... | 61 |
| Obr. 6.2 Vzťah medzi hodnotou ukazovateľa rovnomernosti zrážok P a hodnotou Q_{NAPI} pre R_{60x} pre štyri vybrané stanice..... | 62 |
| Obr. 6.3 Priemerné hodnoty zložiek vetra v hladine 850 hPa pre 10 najvyšších R_{60x} v deň maxima pre štyri vybrané stanice..... | 63 |
| Obr. 6.4 Vzťah medzi hodnotou ukazovateľa rovnomernosti zrážok P a T_{max} pre R_{360x} pre štyri vybrané stanice..... | 66 |
| Obr. 6.5 Vzťah medzi hodnotou ukazovateľa rovnomernosti zrážok P a hodnotou Q_{NAPI} pre R_{360x} pre štyri vybrané stanice..... | 66 |
| Obr. 6.6 Priemerné hodnoty zložiek vetra v hladine 850 hPa pre 10 najvyšších R_{360x} v deň maxima pre štyri vybrané stanice..... | 67 |
| Obr. 6.7 Vzťah hodnotou ukazovateľa rovnomernosti zrážok P a T_{max} pre R_{720x} pre štyri vybrané stanice... .. | 69 |
| Obr. 6.8 Vzťah hodnotou ukazovateľa rovnomernosti zrážok P a hodnotou Q_{NAPI} pre R_{720x} pre štyri vybrané stanice..... | 69 |
| Obr. 6.9 Priemerné hodnoty zložiek vetra v hladine 850 hPa pre 10 najvyšších R_{720x} v deň maxima pre štyri vybrané stanice..... | 70 |
| Obr. 7.1 Synoptická situácia nad Európou dňa 1.8. 1983, 18 UTC a dňa 3.8. 1983 6 UTC..... | 73 |
| Obr. 7.2 Hodnoty Q_{NAPI} pre vybrané stanice v priebehu zrážkovej epizódy zo začiatku augusta 1983..... | 74 |
| Obr. 7.3 Synoptická situácia dňa 12.7. 1984 00 UTC..... | 75 |
| Obr. 7.4 Hodnoty Q_{NAPI} pre vybrané stanice v priebehu zrážkovej epizódy z júla 1984..... | 76 |
| Obr. 7.5 Prízemné tlakové pole dňa 5.7. 1997 o 12 UTC..... | 77 |
| Obr. 7.6 Synoptická situácia nad Európou dňa 7.7. 1997 o 00 UTC..... | 78 |
| Obr. 7.7 Hodnoty Q_{NAPI} pre stanicu Lysá hora v na prelome júna a júla 1997..... | 80 |

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tab. 2.1 Súhrn metód diaľkového prieskumu Zeme používaných na odhad pôdnej vlhkosti. Ďalej sú v tabuľke uvedené aj ich výhody a nevýhody (upravené) | 19 |
| Tab. 3.1 Kategórie hodnôt ukazovateľa významu relatívnej nasýtenosti U | 32 |
| Tab. 5.1 Základné charakteristiky hodnôt Q_{NAPI} pred maximálnymi ročnými úhrnmi skúmaných časových intervalov pre tri výškové stupne..... | 52 |
| Tab. 5.2 Základné charakteristiky hodnôt ukazovateľa významu relatívnej nasýtenosti U pred maximálnymi ročnými úhrnmi skúmaných časových intervalov pre tri výškové stupne..... | 54 |
| Tab. 5.3 Priemerné hodnoty ukazovateľa významu relatívnej nasýtenosti U pre skúmané časové intervaly.. | 57 |
| Tab. 6.1 Porovnanie podmienok pri zostupne zoradených desiatich najvyšších R_{60x} pre vybrané stanice | 61 |
| Tab. 6.2 Porovnanie podmienok pri zostupne zoradených desiatich najvyšších R_{360x} pre vybrané stanice. ... | 64 |
| Tab. 6.3 Porovnanie podmienok pri zostupne zoradených desiatich najvyšších R_{720x} pre vybrané stanice. ... | 68 |

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tab. 7.1 Maximá úhrnov zrážok [mm] za rôzne dlhé časové intervaly v roku 1983, ktoré boli zaznamenané v dňoch 1.–3.8. | 72 |
| Tab. 7.2 Maximá úhrnov zrážok [mm] za rôzne dlhé časové intervaly v roku 1984, ktoré boli zaznamenané v dňoch 12.–13.7. | 76 |
| Tab. 7.3 Maximá úhrnov zrážok [mm] za rôzne dlhé časové intervaly v roku 1997, ktoré boli zaznamenané v dňoch 4.–8.7. | 79 |
| Tab. 8.1 Porovnanie hodnôt dvoch variant ukazovateľa významu relatívnej nasýtenosti U a hodnôt Q_{NAPI} pred desiatimi najvyššími R_{dx} pre vybrané stanice. | 88 |

Zoznam príloh

Príloha 1: Zoznam použitých staníc v práci a množstvo chýbajúcich dát v percentách za obdobie od 1.1. 1961-31.12. 2019.

Príloha 2: Škatuľové grafy pre priemerné hodnoty Q_{NAPI} v deň R_{30x} , R_{40x} , R_{90x} , R_{120x} , R_{150x} , R_{180x} , R_{300x} , R_{360x} a R_{720x} pre tri výškové stupne do 300 m n. m., medzi 300 a 600 m n. m. a nad 600 m n. m.. Krížiky v grafe označujú priemernú hodnotu.

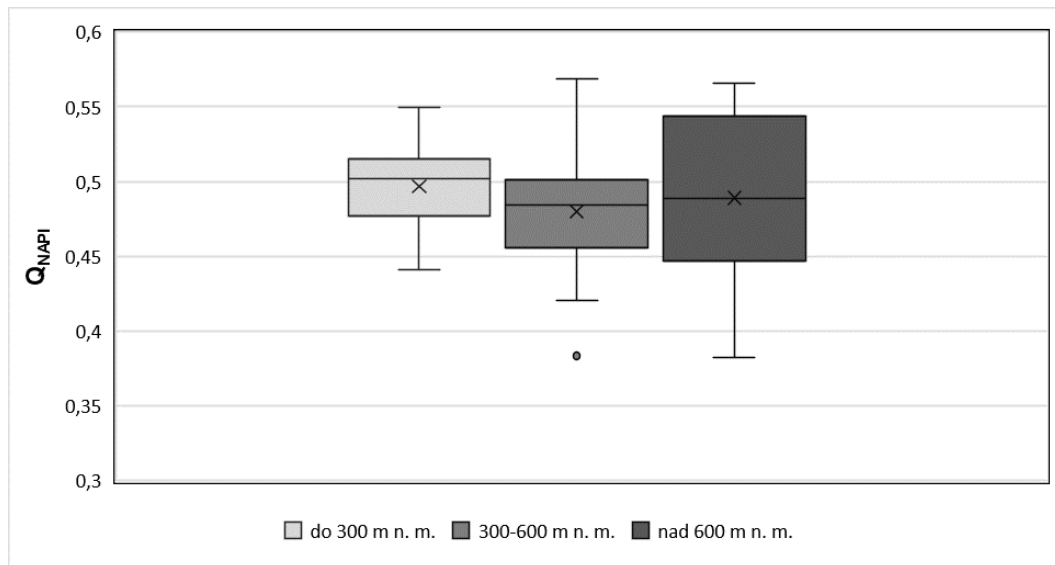
Príloha 3: Rozdelenie hodnôt ukazovateľa významu relatívnej nasýtenosti U pred R_{30x} , R_{30x} , R_{40x} , R_{60x} , R_{90x} , R_{120x} , R_{150x} , R_{180x} , R_{300x} , R_{360x} a R_{720x} .

Príloha 1

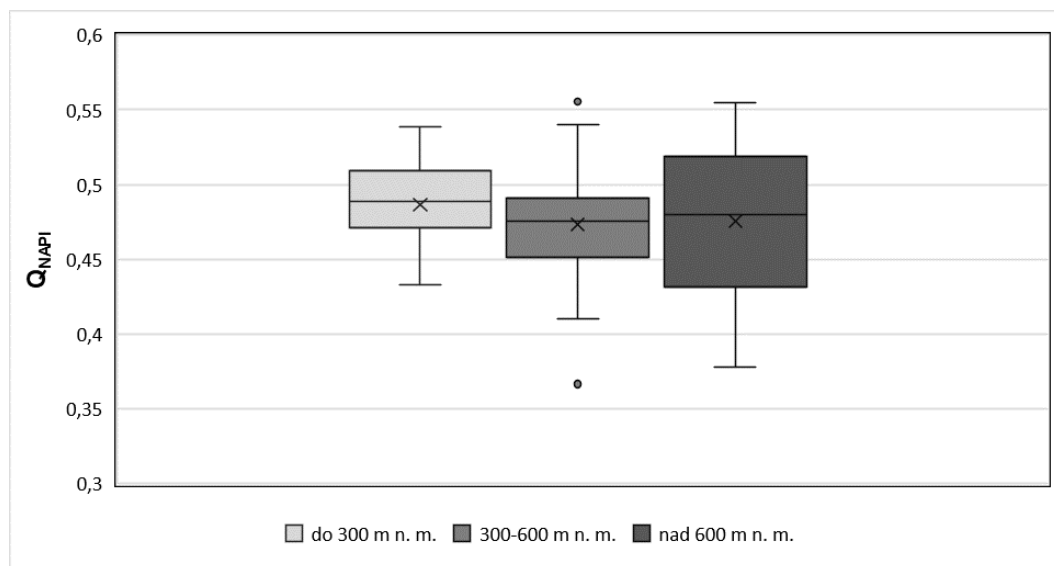
| Stanica | Cýbajúce dáta (%) | Automat od roku | N.V. |
|--------------------------|-------------------|-----------------|------|
| Doksany | 0,0 | 2000 | 158 |
| Pohořelice | 0,1 | 2012 | 180 |
| Židlochovice | 0,4 | x | 183 |
| Praha, Klementinum | 0,0 | 2012 | 191 |
| Olomouc | 0,0 | 1998 | 210 |
| Žatec | 0,0 | 2004 | 210 |
| Praha, Karlov | 0,0 | 2005 | 232 |
| Brno, Žabovřesky | 32,2 | 2000 | 236 |
| Teplice | 1,2 | 2003 | 236 |
| Ostrava, Poruba | 11,9 | 1998 | 239 |
| Brno, Tuřany | 0,0 | 2005 | 241 |
| Praha, Braník | 16,0 | x | 260 |
| Hradec Králové | 0,0 | 1999 | 278 |
| Doksy | 0,1 | 2003 | 284 |
| Lučina | 0,0 | 1998 | 300 |
| Praha, Libuš | 16,9 | 2005 | 302 |
| Vizovice | 0,4 | 2000 | 313 |
| Neumětely | 1,1 | 2005 | 322 |
| Šumperk | 0,0 | 1998 | 328 |
| Jevišovice | 20,2 | x | 330 |
| Kuchařovice | 0,0 | 2005 | 334 |
| Rychnov nad Kněžnou | 34,6 | 2003 | 335 |
| Vranov nad Dyjí | 0,0 | x | 354 |
| Varnsdorf | 0,0 | 2005 | 365 |
| Ústí nad Labem | 26,8 | 2001 | 375 |
| Kestřany | 0,0 | 2015 | 381 |
| Strání | 0,1 | 2000 | 383 |
| České Budějovice | 0,0 | 2009 | 395 |
| Hejnice | 0,0 | 2009 | 396 |
| Raškovice | 0,0 | x | 397 |
| Liberec | 0,0 | 2002 | 398 |
| Ústí nad Orlicí | 0,0 | 2004 | 402 |
| Borkovice | 1,1 | 2010 | 419 |
| Strakonice | 0,6 | 2012 | 427 |
| Třeboň, Lužnice | 0,7 | 2008 | 428 |
| Velké Meziříčí | 0,0 | 2000 | 452 |
| Tábor | 0,0 | 1999 | 459 |
| Vír | 1,8 | x | 473 |
| Zbiroh | 5,1 | 2012 | 473 |
| Cheb | 0,0 | 2001 | 483 |
| Město Albrechtice | 0,0 | 2013 | 483 |
| Temelín | 47,5 | 2001 | 500 |
| Luká | 23,0 | 2005 | 510 |
| Kocelovice | 24,0 | 2010 | 519 |
| Přibyslav | 0,0 | 2003 | 530 |
| Bystřice nad Pernštejnem | 0,0 | 2013 | 553 |
| Vyšší Brod | 0,2 | 1999 | 559 |
| Horní Bečva | 0,0 | 2010 | 565 |
| Kostelní Myslová | 0,0 | 2005 | 569 |
| Rokytnice v Orlic.horách | 1,0 | 2003 | 577 |
| Nový Rychnov | 36,6 | 2005 | 624 |
| Rýmařov | 34,3 | 2013 | 645 |
| Deštné v Orlic. horách | 22,7 | 2001 | 656 |
| Nedvězí | 0,0 | 2000 | 722 |
| Svratouch | 0,0 | 2004 | 737 |
| Přimda | 0,0 | 2001 | 742 |
| Červená | 0,0 | 2000 | 749 |
| Desná, Souš | 0,5 | 2005 | 772 |
| Churáňov | 0,0 | 2000 | 1118 |
| Lysá hora | 0,0 | 2005 | 1322 |

Príloha 2

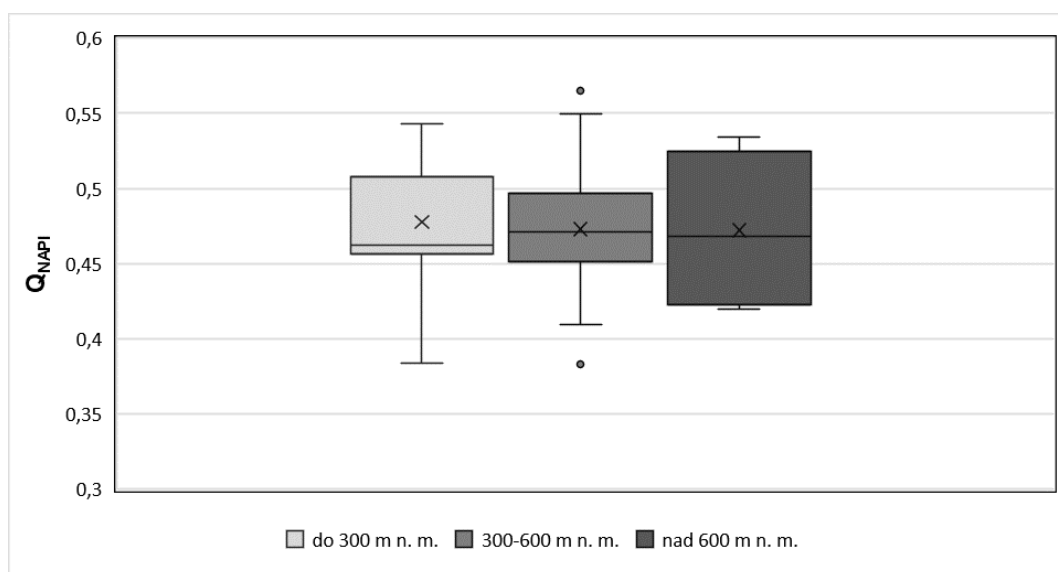
Príloha 2, a) pre R_{30x}



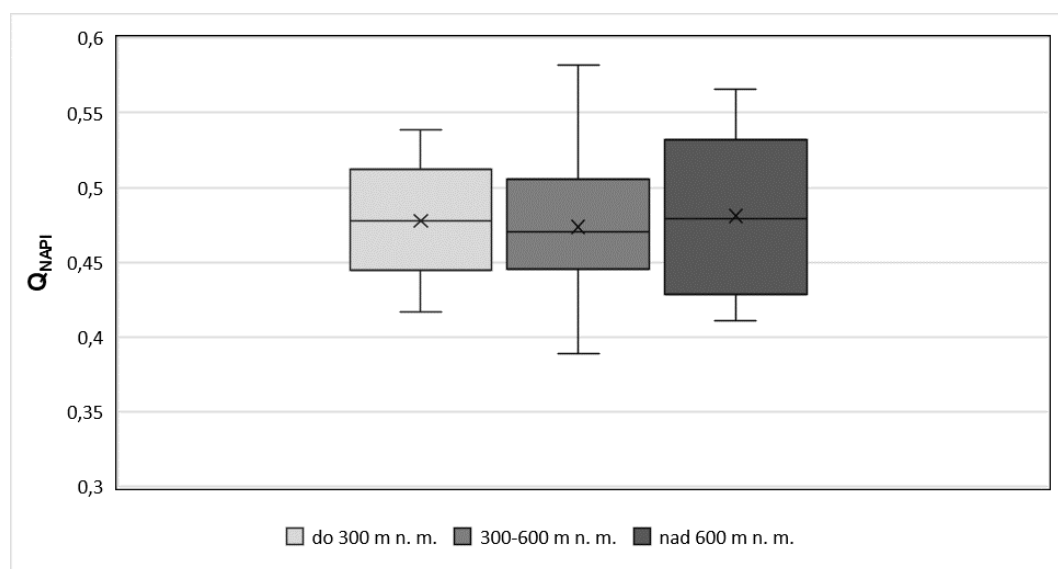
Príloha 2, b) pre R_{40x}



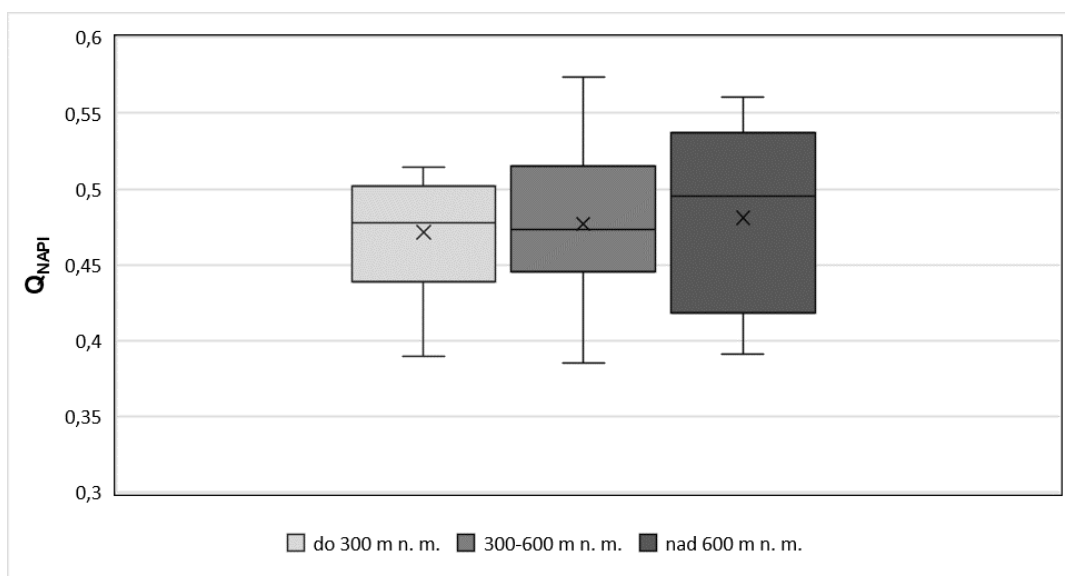
Príloha 2, c) pre R_{90x}



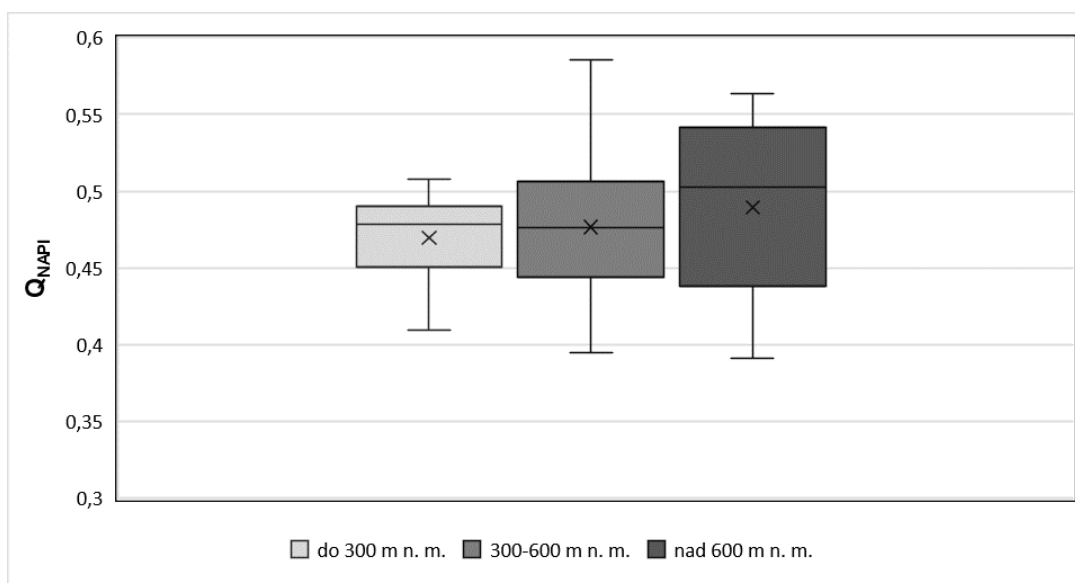
Príloha 2, d) pre R_{120x}



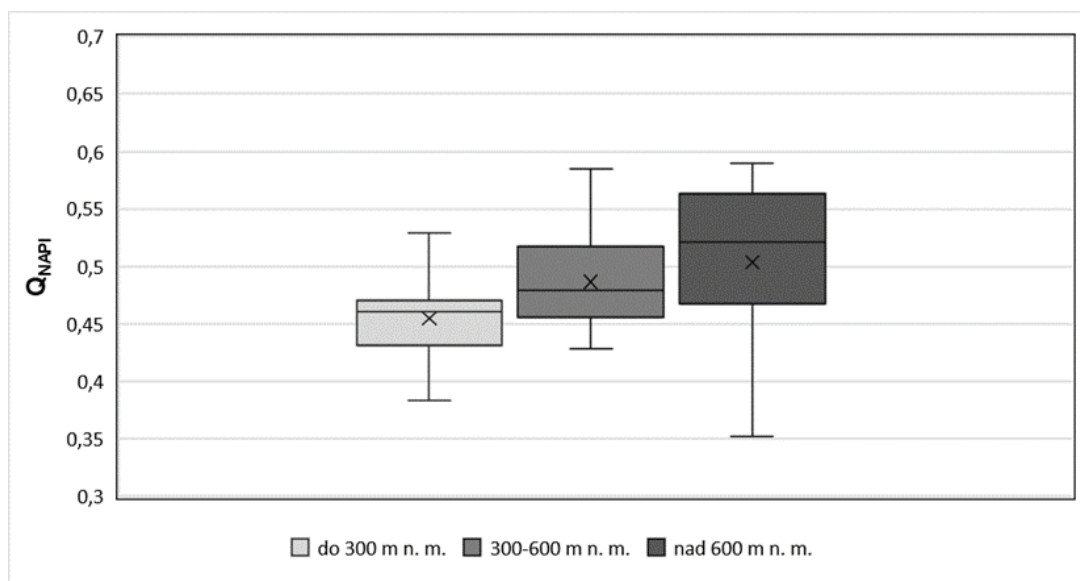
Príloha 2, e) pre R_{150x}



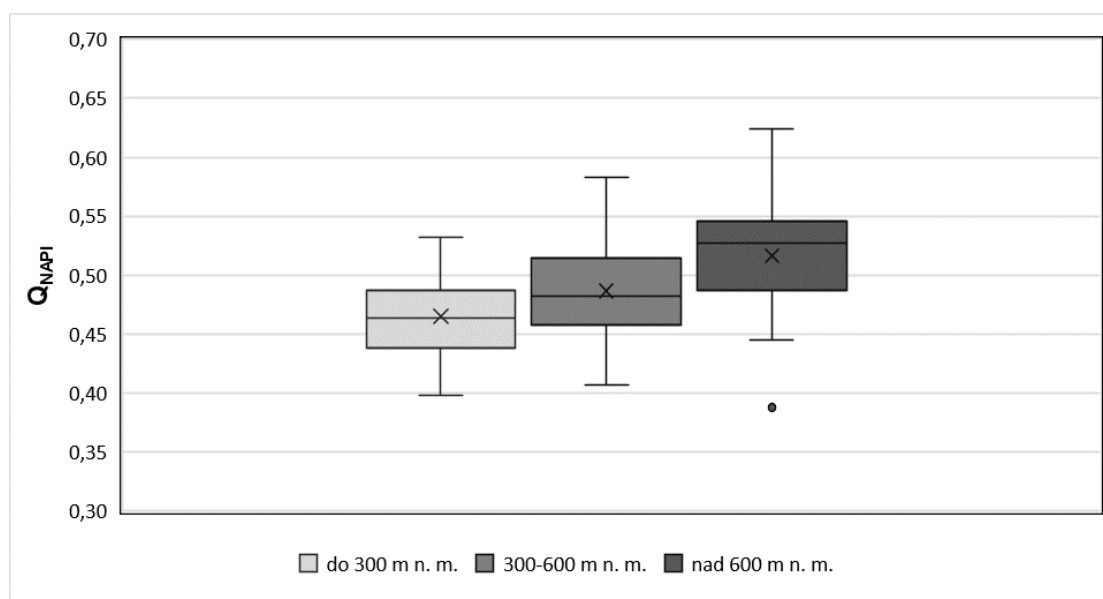
Príloha 2, f) pre R_{180x}



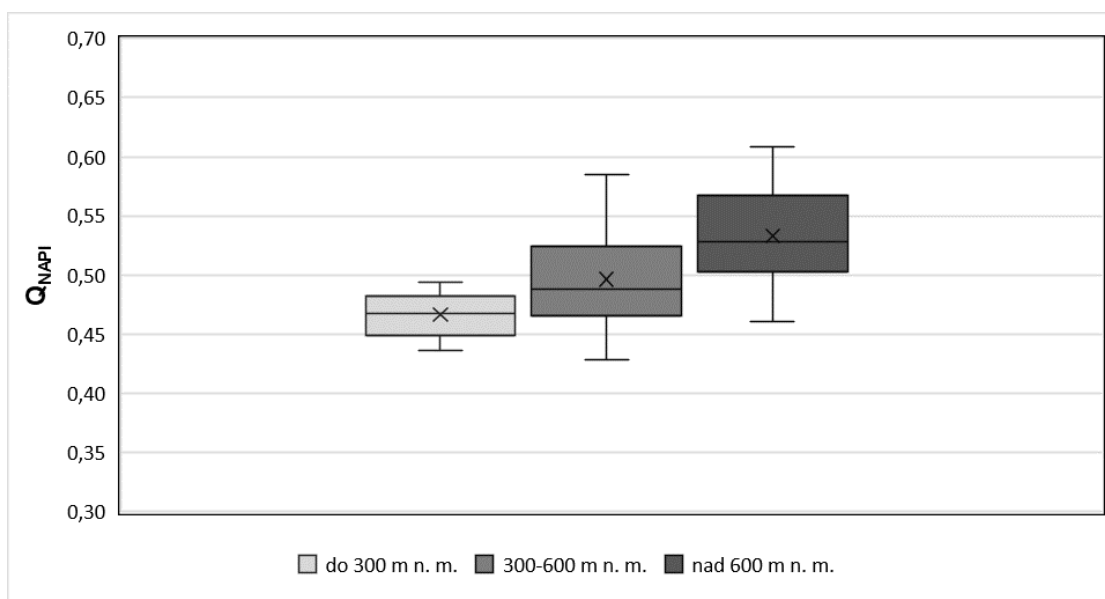
Príloha 2, g) pre R_{300x}



Príloha 2, h) pre R_{360x}

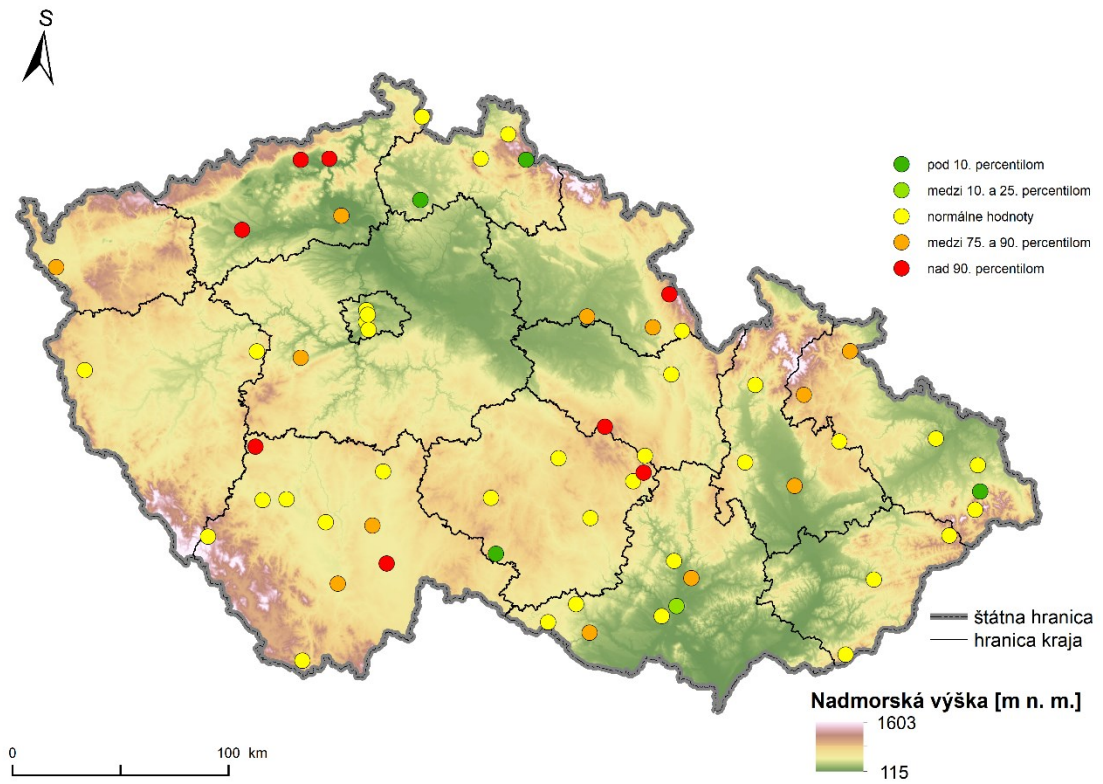


Príloha 2, i) pre R_{720x}

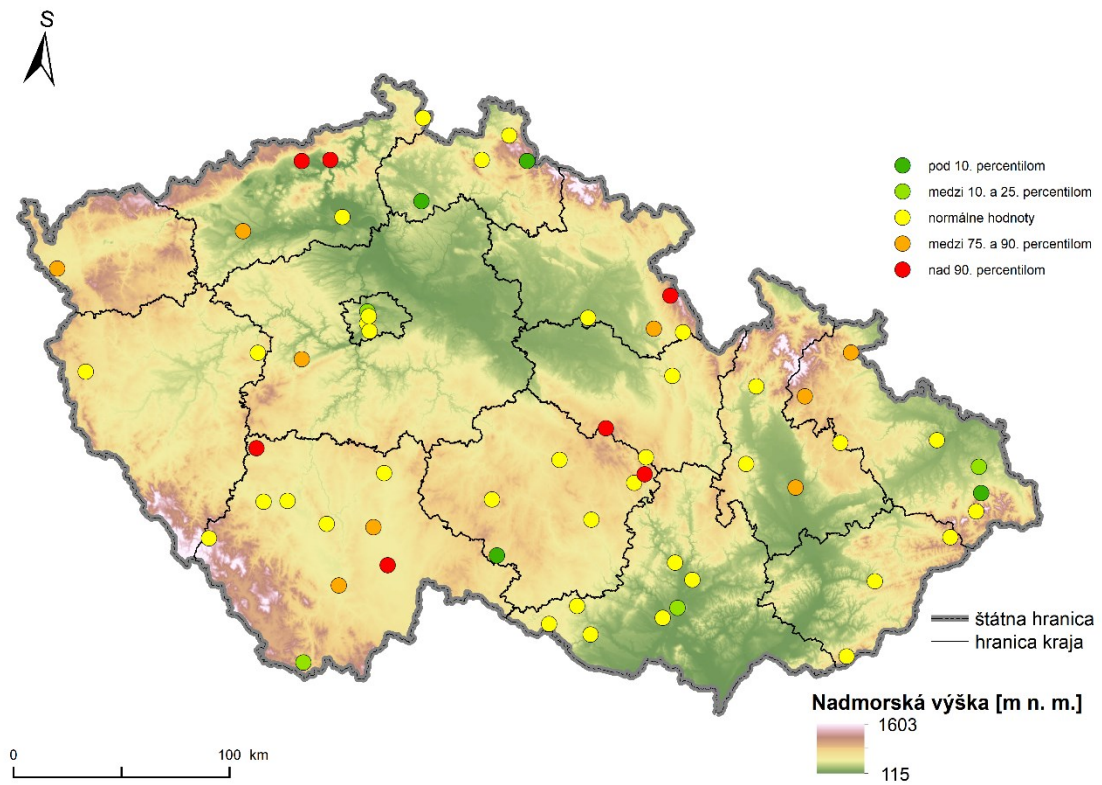


Príloha 3

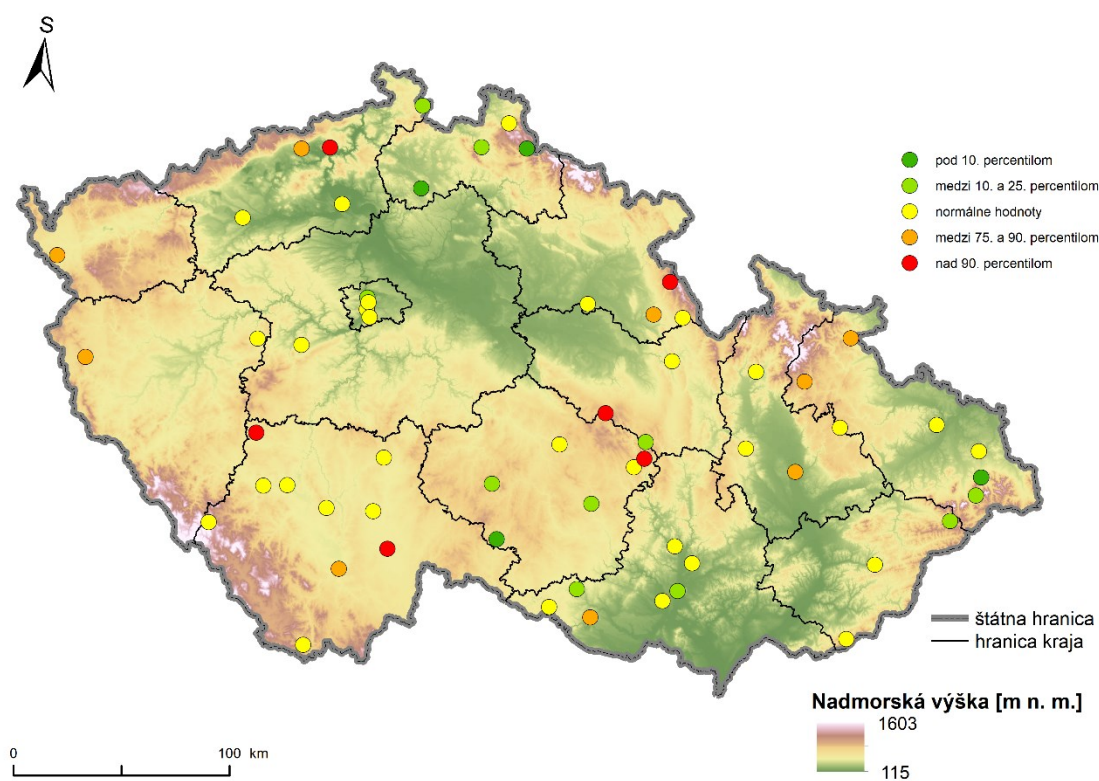
Príloha 3, a) pre R_{30x} .



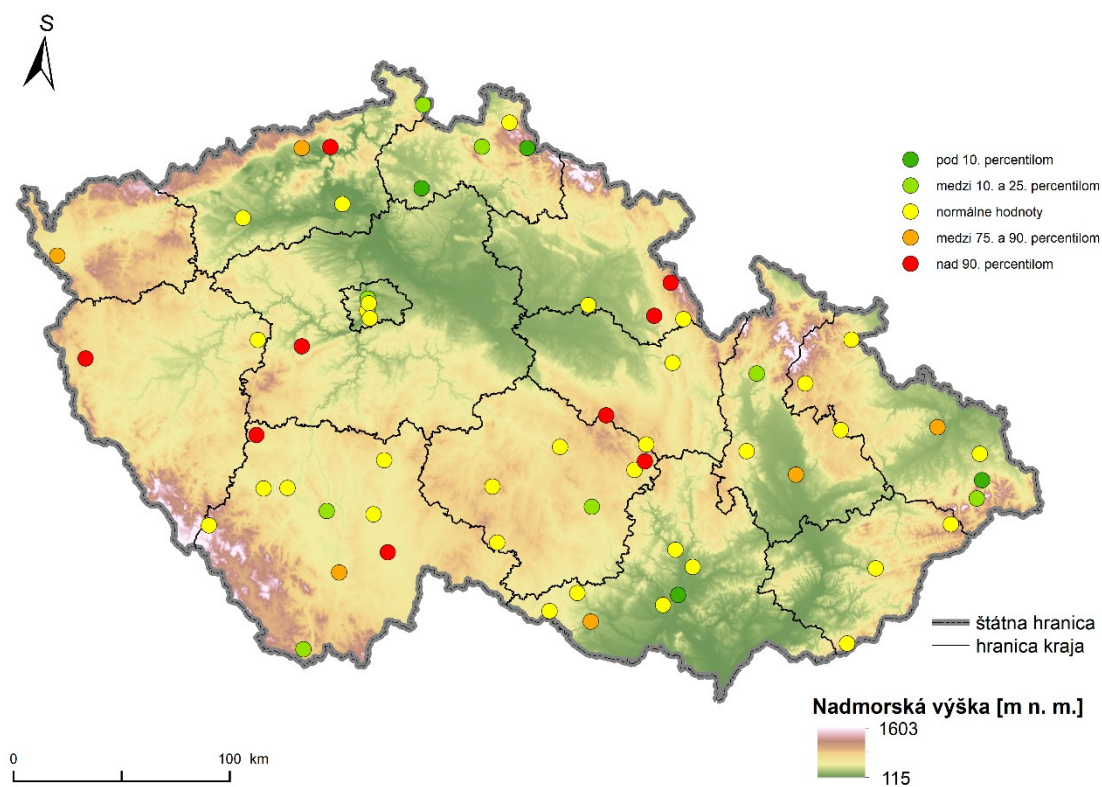
Príloha 3, b) pre R_{40x} .



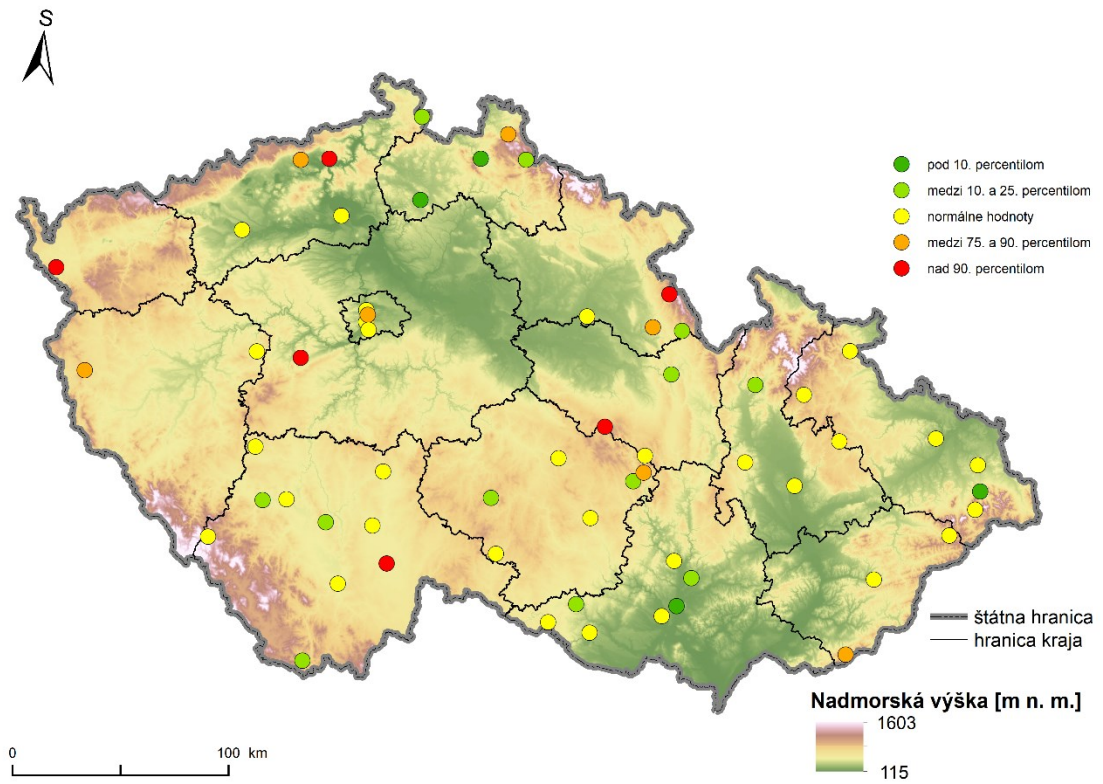
Príloha 3, c) pre R_{60x} .



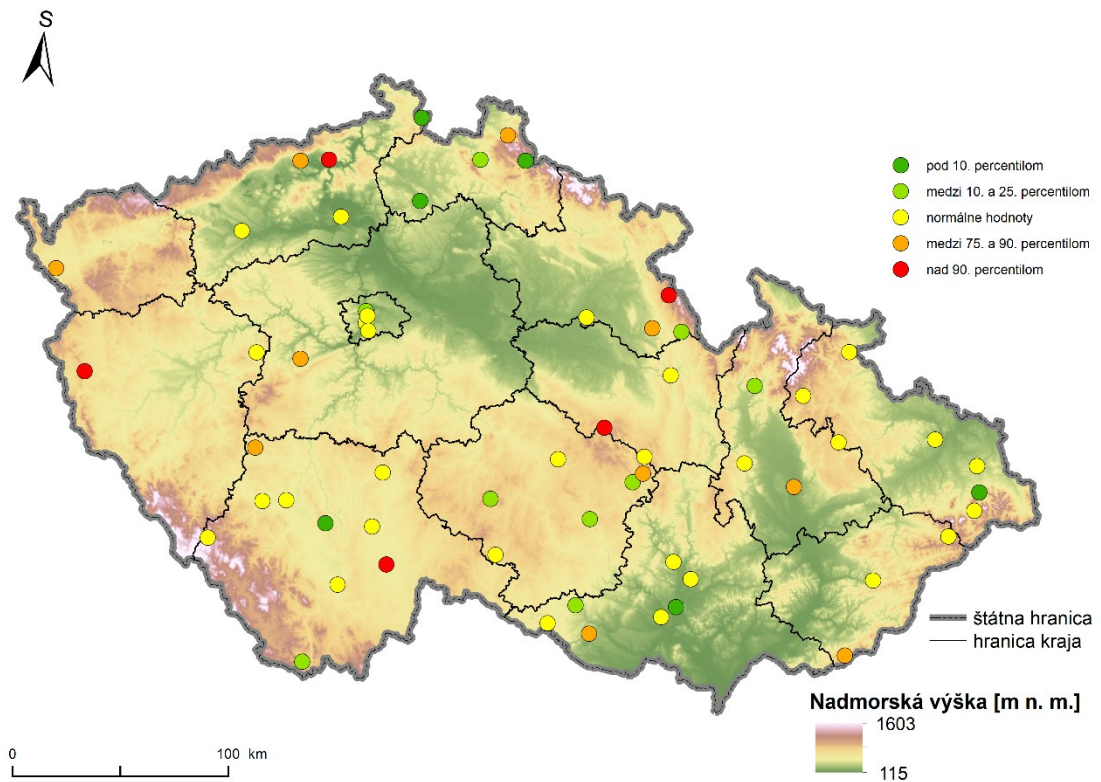
Príloha 3, d) pre R_{90x} .



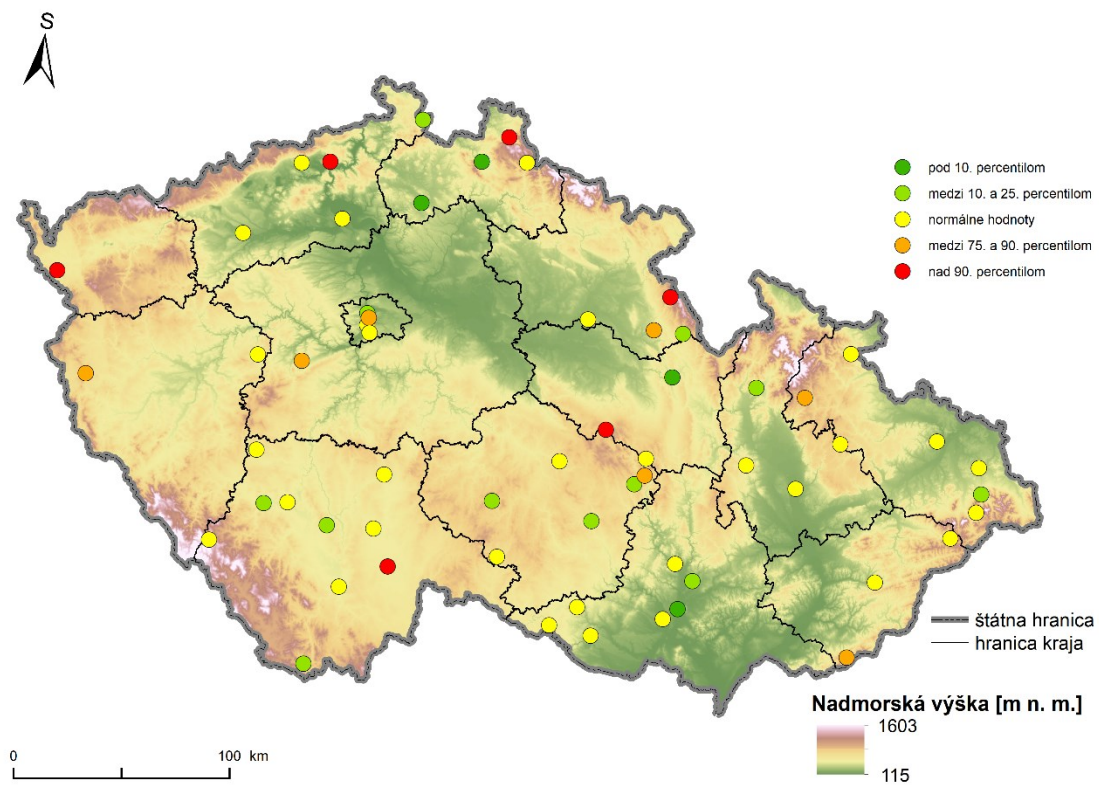
Príloha 3, e) pre R_{120x} .



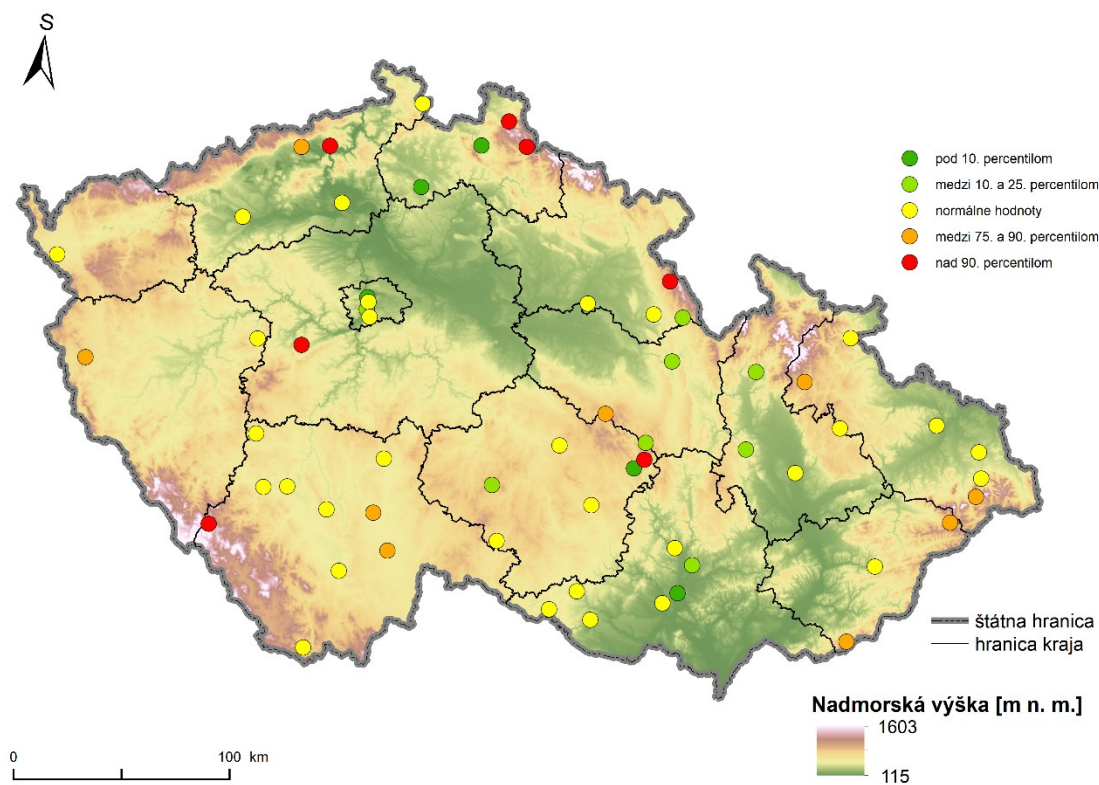
Príloha 3, f) pre R_{150x} .



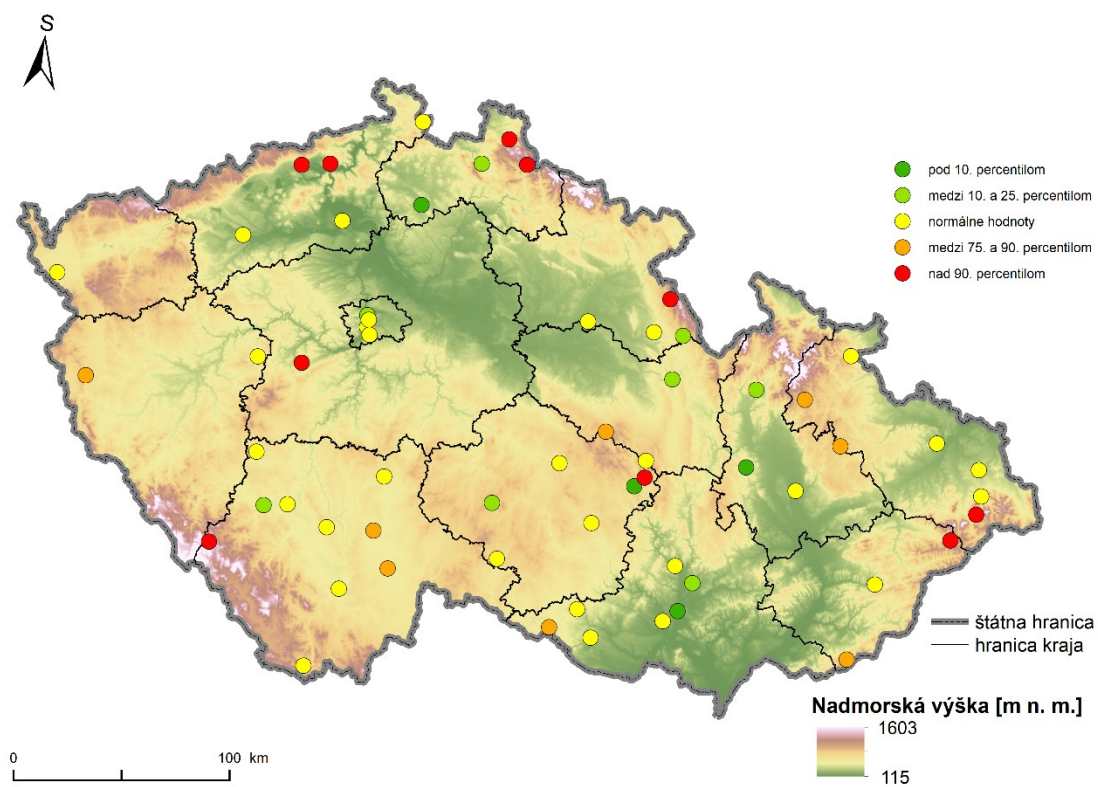
Príloha 3, g) pre R_{180x} .



Príloha 3, h) pre R_{300x} .



Príloha 3, i) pre R_{360x} .



Príloha 3, j) pre R_{720x} .

