



The main features of temporal and spatial variability of precipitation in the Brno region

Přístupy ke studiu atmosférických srážek v urbánní oblasti na příkladu Brna

Marie DOLEŽELOVÁ^a, Petr DOBROVOLNÝ^b

^aMasarykova univerzita, Brno, mdolezelova@mail.muni.cz

^bMasarykova univerzita, Brno, dobro@sci.muni.cz

Abstract

The paper deals with the description of the main features of temporal and spatial variability of precipitation in the Brno region and it was realised in the framework of the project 205/09/1297: Multilevel analysis of the urban and suburban climate taking medium-sized towns as an example provided by the Czech Science Foundation. Daily and monthly precipitation totals from the measurement sites of the Czech Hydrometeorological Institute (CHMI) were used.

Various indices of extremity were computed and tested for trend. These indices are based on daily precipitation data – more precisely on the occurrence of days with precipitation totals exceeding given value or on the occurrence of dry periods.

Another important topic is the influence of urban area on precipitation regime. The potential difference between measuring sites in urban and suburban area was studied by means of the analysis of variance applied on various characteristics. The involvement of data from special purpose measurements in the city centre shows some interesting differences between the city and its surroundings evident especially in case of the recurrence periods of extreme daily precipitation amounts.

Keywords: precipitation, urban climatology, extremity indices, Czech Republic

Klíčová slova: atmosférické srážky, urbánní klimatologie, indexy extremity, Česká republika

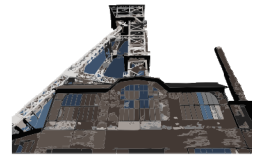
1. Úvod

Vzhledem k vysoké míře soustředění obyvatel do měst v současné době se jako velmi významné jeví studium městského klimatu a jeho zvláštností. Podle Brázdila (1979a) města představují v krajině zvláštní prvek, který si vytváří specifické klima, rozdílné od klimatu utvářeného pouze přírodními faktory. Urbanizace modifikuje zejména místní klima, avšak v případě rozlehlých městských komplexů a aglomerací může ovlivnění dosahovat i úrovně mezoklimatu (Landsberg, 1981).

Městské prostředí modifikuje úroveň hodnot i chod jednotlivých meteorologických prvků (podrobněji viz např. Landsberg, 1981). Komplexní působení těchto změn ovlivňuje kvalitu života, zdraví i bezpečnost obyvatel ve městech. Pozornost bývá nejčastěji věnována znečištění ovzduší (např. Bokwa, 2009) a teplotě vzduchu, resp. vzniku tepelných ostrovů (např. Oke, T.R., 1973; Baik, Kim, 2000; Arnfield, 2003; Dixon, Mote, 2003). Modifikace srážkového režimu však není jednoznačně vysvětlena. V některých urbánních oblastech bylo dokumentováno zvýšení srážkových úhrnů v jejich závětrných oblastech nebo vyšší četnost extrémních a nebezpečných jevů (Huff, 1975; Huff, Changnon, 1973; Changnon, 1968; Changnon, 1969). Podle jiných výzkumů (Atkinson, 1971; Rosenberger, Suckling, 1998) však není zřejmé, zda města způsobují iniciaci nebo jen modifikaci existujících srážek.

Společným jmenovatelem problematičnosti studia ovlivnění klimatu v urbanizovaných oblastech je nedostatečná datová základna. Jednoznačná identifikace vlivu města vyžaduje adekvátně dlouhé časové řady pozorování realizovaného na neměnném místě a za neměnných podmínek. Tento předpoklad často nebývá splněn, proto je obtížné vyhodnotit, zda je signál obsažený v datech skutečným důsledkem urbanizace nebo jen důsledkem jiných okolností (např. změn místa měření, metodiky, měřicí techniky apod.).

Výzkum srážkového režimu v brněnské oblasti je realizován v rámci projektu 205/09/1297 Víceúrovňová analýza městského a příměstského klimatu na příkladu středně velkých měst financovaného Grantovou agenturou ČR. Kromě detailního popisu prostorové a časové variability je zaměřen zejména na analýzu extrémních srážkových úhrnů, což je v souladu s předpoklady o budoucím nárůstu četnosti a intenzity hydrometeorologických extrémů (Karl, Easterling, 1999; Christensen, Christensen, 2004; Hundecha, Bárdossy, 2005; Frei a kol., 2006; Kundzewicz a kol., 2006; Beniston a kol., 2007; Kyselý, Píček, 2007; Kyselý, 2009; Lupikasza, 2010). Součástí projektu 205/09/1297 je i realizace účelových měření na šesti stanicích v oblasti centra Brna v termínu od července 2009. Výsledky těchto měření významně přispějí ke studiu vlivu města, protože stanice umístěná přímo v centru



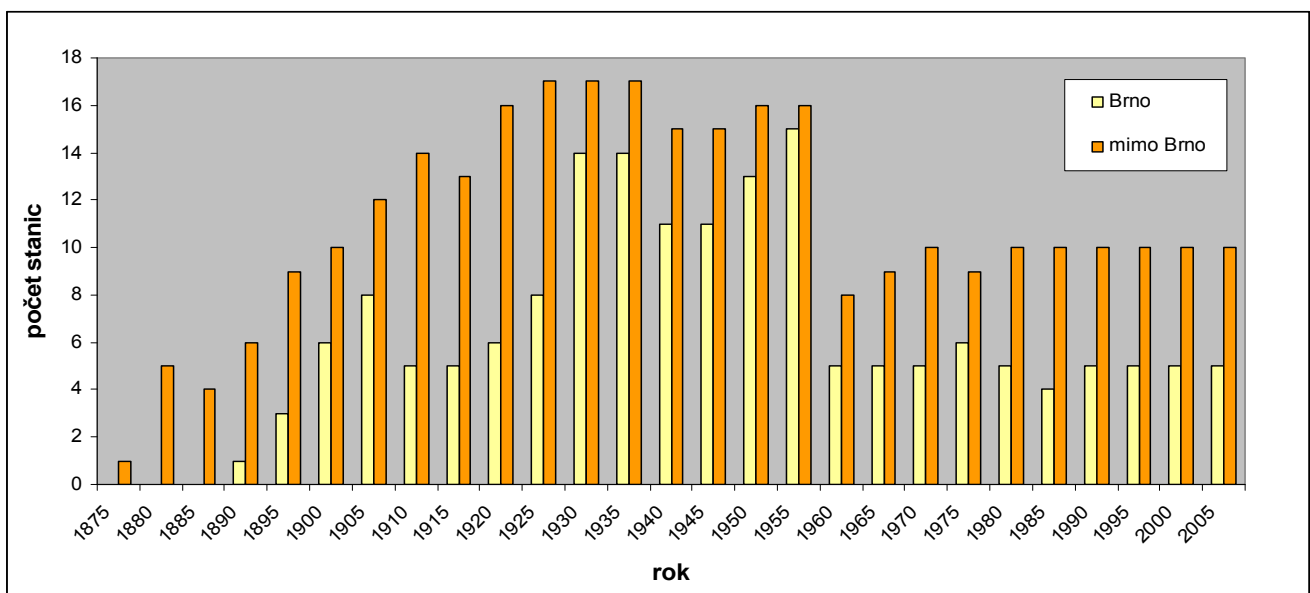
města v období od 60. let 20. století do současnosti chyběla.

2. Historie měření atmosférických srážek a dosavadní poznatky o vlivu města Brna na srážky

Pravidelná měření a pozorování atmosférických srážek začala v Brně již roku 1803. Nepřerušená časová řada od tohoto data do současnosti však není k dispozici a tehdejší místo pozorování není přesně známé. Nejdlejší pozorovací řadu má stanice v Brně-Pisárkách, která byla založena již v roce 1848. V roce 1890 bylo pozorování v Pisárkách přesunuto do areálu vodárny, kde stanice zůstala v nezměněné poloze až do jejího zrušení roku 1980. Mezi lety 1878 a 1883 probíhala měření srážek v augustiniánském klášteře na dnešním Mendelově náměstí, kde je prováděl opat kláštera J.G. Mendel. Ke značnému rozvoji staniční sítě došlo koncem 19. století, kdy byly nové stanice zakládány z iniciativy přírodopysného spolku. V této době byla založena i významná stanice při c.k. vysoké škole technické (tzv. německé technice), která se nacházela přímo v centru města a fungovala v období 1902–1933. Po zrušení velkého počtu stanic během první světové války došlo k opětovnému rozvoji měření po druhé světové válce, kdy

organizaci srážkoměrné sítě převzal Hydrometeorologický ústav (HMÚ). Byla založena např. stanice v Kníničkách při brněnské přehradě (1936), která zůstala v této poloze až do současnosti. Největšího zahuštění staniční sítě bylo dosaženo mezi lety 1951 a 1960, kdy na katastrálním území Brna existovalo 13 srážkoměrných stanic. Tento stav ideální k provádění studií srážkového režimu na území Brna byl však přerušeno reorganizací a následnou redukcí staniční sítě HMÚ, po které zbylo pouze 5 stanic (kromě výše zmíněných stanic v Pisárkách a Kníničkách se jednalo také o nově založenou stanici na letišti v Tuřanech (1958), stanici v Husovicích a na Květné ulici) (Brázdil, 1979, b).

V současné době měří srážky na území Brna 6 stanic. Přetrvává měření u přehrady v Kníničkách a na letišti v Tuřanech a v městské části Lesná. Vedle toho byla v roce 1973 založena stanice při budově Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ) v Brně-Žabovřeskách a v 90. letech také stanice v městských čtvrtích Jundrov a Židenice. Vývoj počtu stanic na území města Brna a v jeho okolí dokumentuje obr. 1, ze kterého je jasně patrný zejména prudký pokles po roce 1960.



Obr. 1 Vývoj počtu stanic s měřením atmosférických srážek v Brně a v jeho okolí v období 1875–2009 (hodnoty vztaheny k počátku pětiletého období, stanice byla započtena pokud měřila alespoň 3 roky z dané pentády).

Nejrozsáhlejší studii vlivu Brna na srážky provedl Brázdil (1979a), který analyzoval období 1951–1960. K hlavním poznatkům patří konstatování existence klesajícího gradientu srážkových úhrnů ve směru severozápad – jihovýchod v brněnské oblasti (cca do 45 km od středu města), což je však podmíněno orografií území. Ve studovaném období byla zjištěna preferenční tvorba bouřkových buněk nad městem. Analýza trendů

letních srážkových úhrnů a absolutních denních maxim však existenci vlivu města jednoznačně neprokázala. Nejednoznačný je též výsledek analýzy týdenního chodu srážek, kde je obtížné rozlišení vlivu města od přirozených faktorů. Autor konstatuje menší vliv Brna na srážky ve srovnání s Prahou a Ostravou, stejně jako nedostatečnost existující staniční sítě pro spolehlivé vyhodnocení vlivu města (chybí typicky městská stanice)



a nutnost zavedení účelových měření. Vyhodnocením účelových měření se zabývá práce Litschamanna a Rožnovského (2005), která komentuje výsledky měření jednotlivých meteorologických prvků na stanici umístěné na Mendelově náměstí přímo ve středu města. Analyzováno je pouze vegetační období. Hlavním výsledkem je konstatování existence tepelného ostrova a snížení vlhkosti vzduchu ve srovnání s okolní krajinou reprezentovanou stanicemi v Žabovřeskách a Tuřanech.

3. Použitá data a metody

Datovou základnu této práce tvoří denní a měsíční srážkové úhrny ze stanic ČHMÚ. Jednotné období zpracování bylo zvoleno pouze v kap. 4.1 (1961–1990). V ostatních kapitolách byly zpracovány údaje za nejdelší možné období, kdy mají data na jednotlivých stanicích dostatečnou kvalitu danou nízkým počtem chybějících hodnot a přesností záznamů ve srážkoměrných výkazech. Přehled všech stanic užitých v této práci je v tab. 1.

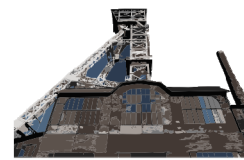
Tab. 1 Přehled použitých stanic

Stanice	Zem. Šířka (s.š.)	Zem. délka (v.d.)	Nadm. výška (m n.m.)	Začátek pozorování	Konec pozorování
Brno-Bohunice	49°10'	16°35'	232	1.1.1923	31.12.1961
Brno-Komárov	49°10'	16°37'	199	1.1.1929	31.12.1960
Brno-Kníníčky	49°14'	16°31'	240	1.1.1936	trvá
Brno-Květná	49°12'	16°34'	223	1.1.1922	31.12.1971
Brno-Lesná	49°13'	16°38'	276	1.1.1929	trvá
Brno-Pisárky	49°11'	16°34'	203	1.1.1925	31.12.1979
Brno-Řečkovice	49°15'	16°35'	294	1.1.1929	31.12.1961
Brno-Tuřany	49°10'	16°42'	241	1.1.1958	trvá
Brno-Žabovřesky	49°13'	16°34'	235	1.1.1973	trvá
Babice nad Svitavou	49°17'	16°42'	474	1.1.1931	trvá
Bučovice	49°08'	17°01'	239	1.1.1961	trvá
Bukovinka	49°17'	16°49'	524	1.1.1981	trvá
Kuřim	49°18'	16°32'	291	1.1.1961	trvá
Podbřežice	49°13'	16°57'	264	1.1.1961	trvá
Slavkov u Brna	49°09'	16°53'	202	1.1.1961	trvá
Sokolnice	49°06'	16°41'	199	1.1.1931	31.12.1961
Šlapanice	49°10'	16°44'	239	1.1.1923	31.12.1960
Těšany	49°02'	16°46'	220	1.1.1934	trvá
Troubsko	49°10'	16°31'	277	1.1.1981	trvá
Zastávka u Brna	49°12'	16°21'	345	1.1.1961	trvá
Zbýšov	49°10'	16°21'	344	1.1.1931	31.12.1961
Židlochovice	49°02'	16°37'	180	1.1.1905	trvá

Ke studiu rozdílů ve srážkových úhrnech, resp. v počtu srážkových dní mezi jednotlivými stanicemi (kap. 4.2) byla využita analýza rozptylu (ANOVA) a neparametrický Kruskalův–Wallisův test. ANOVA byla aplikována pouze u charakteristik, které mají normální rozdělení, které je vedle nezávislosti jednotlivých náhodných výběrů a homoskedasticity (shody jejich rozptylů) předpokladem pro využití této metody. Prostřednictvím software Statistica byla aplikována jednofaktorová ANOVA, která srovnává střední hodnoty více nezávislých náhodných výběrů. Princip ANOVy podrobněji popisuje např. Anděl (1978). K mnohonásobnému porovnávání mezi jednotlivými výběry (stanicemi) byl užit Bonferroniho test (viz např. Abdi, 2007). V případech, kdy nebyla splněna podmínka normálního rozdělení, byl použit neparametrický

Kruskal-Wallisův test, což je vícevýběrový test o shodě mediánů (Sprent, Smeeton, 2007).

Za účelem studia extremity srážkového režimu byly z denních srážkových úhrnů vypočteny různé indexy extremity (viz kap. 4.3), jejichž vývoj v čase byl analyzován metodou trendu. Vzhledem k tomu, že řady hodnot těchto indexů nesplňovaly podmínku normálního rozdělení, byl klasický odhad lineárního trendu metodou nejmenších čtverců nahrazen neparametrickým Mann-Kendallovým testem trendu (Mann, 1945; Kendall, 1970) a odhadem velikosti trendu pomocí Senovy metody (Sen, 1968). N-letost srážkových úhrnů (viz kap. 4.4) byla odhadnuta z řad ročních maxim denních úhrnů pomocí distribučního rozdělení GEV (Generalised Extreme Value) (viz např. Coles, 2001). Statistická



významnost výsledků byla ve všech případech hodnocena na hladině 5%.

4. Výsledky

4.1 Základní rysy prostorové a časové variability srážek v brněnské oblasti

Prostorové rozložení srážkových úhrnů je ve studovaném území ve velké míře ovlivněno zejména orografickými poměry a nadmořskou výškou. Město Brno se vyznačuje kotlinovou polohou a jeho katastrální území se rozkládá v nadmořské výšce 190–479 m n.m.. Nejvyšších nadmořských výšek je dosaženo v západním až severním sektoru, kam zasahují geomorfologické celky Bobravská a Dražanská vrchovina. Naopak na východě a jihu se již reliéf „otevřít“ směrem k plošší krajinně Dyjskosvrateckého úvalu. Tendence poklesu srážkových úhrnů ve směru severozápad – jihovýchod je patrná i z výsledků v tab. 2. Nejvyšší průměrný srážkový úhrn v období 1961–1990 měla ve všech sezónách i v roce stanice Bukovinka, která je zároveň nejvýše položenou

stanici celé oblasti (viz tab. 1). Nejnižší srážkový úhrn vykazuje v roce, v zimě a na jaře stanice v Brně-Tuřanech. V létě a na podzim se potom jedná o Židlochovice a Těšany. Rozdíl ve srovnání se stanicí v Tuřanech je však v řádu několika mm.

Minimum v ročním chodu srážek v období 1961–1990 na většině stanic připadlo na březen, kdy se měsíční úhrn pohyboval v rozmezí 20–30 mm. Rozdílem ve srovnání s předchozím třicetiletým obdobím je však přesun maxima z července na červen, kdy spadlo průměrně 70–80 mm srážek. Typickým rysem v období 1961–1990 je vyrovnanost průměrných měsíčních úhrnů v období květen až srpen a naopak velký rozdíl mezi dubnem a květnem, resp. srpnem a září. Pokles srážkových úhrnů od září k březnovému minimu je přerušen dočasným zvýšením v listopadu, které je patrné na všech stanicích a je tedy typickým rysem ročního chodu srážek v brněnské oblasti v období 1961–1990. V předchozích třicetiletých obdobích se toto podzimní zvýšení srážek projevilo již v říjnu.

Tab. 2 Průměrné roční a sezonní srážkové úhrny (mm) na vybraných stanicích v brněnské oblasti v období 1961–1990 (stanice jsou řazeny od severu po směru hodinových ručiček, zvýrazněny minimální a maximální hodnoty)

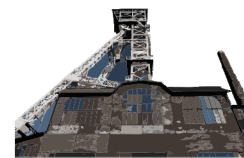
	I-XII	XII-II	III-V	VI-VIII	IX-XI
Babice n. Svitavou	599,6	111,3	144,9	211,9	131,0
Bukovinka	614,3	118,5	147,4	215,6	133,0
Brno-Lesná	520,5	89,0	124,0	193,4	114,3
Podbřežice	521,2	94,5	125,0	186,6	115,0
Brno-Tuřany	484,2	75,8	119,5	184,7	104,5
Slavkov u Brna	511,9	85,2	120,1	197,2	109,4
Bučovice	538,5	94,6	131,2	192,3	131,0
Těšany	486,2	78,7	122,8	182,1	103,0
Židlochovice	491,9	87,2	121,1	179,1	104,9
Troubsko	515,2	87,2	121,7	194,8	112,0
Zastávka u Brna	543,8	99,5	125,8	204,5	114,7
Brno-Pisárky	511,7	83,5	122,1	194,0	112,1
Brno-Květná	517,5	83,2	123,1	198,5	112,6
Brno-Žabovřesky	517,5	86,0	122,7	197,5	111,6
Brno-Kníničky	523,1	89,2	124,6	196,8	112,3

4.2 Rozdíly srážkových charakteristik mezi městem a okolím

Za účelem ověření existence vlivu města na srážkový režim byla zkoumána významnost rozdílů vybraných charakteristik mezi jednotlivými stanicemi. Tyto charakteristiky zahrnovaly běžné srážkové úhrny a také počty srážkových dní s úhrny vymezenými několika hranicemi (nad 0 mm, 0,1–1,0 mm, nad 1 mm, nad 10 mm, nad 20 mm). Existence případných statisticky významných rozdílů mezi stanicemi ve městě a v okolí, resp. v závětrné oblasti města (jihovýchodní sektor studované oblasti) by mohla přispět k potvrzení hypotézy

o iniciaci srážek (větší počet dní s úhrnem do 1 mm) či o jejich zesílení (vyšší srážkové úhrny či větší počet dní s vysokými úhrny) vlivem urbánní oblasti.

Rozdíly mezi stanicemi byly zkoumány zvláště pro jednotlivé synoptické situace podle typizace HMÚ (Kolektiv synoptické a letecké služby HMÚ, 1968 a 1972), se kterými jsou spojeny nejvyšší srážkové úhrny. Přehled srážkově nejvydatnějších synoptických situací v období 1961–1990 přináší tab. 3. Kalendář synoptických typů je k dispozici od roku 1946. Analýza rozdílů byla provedena pro několik různých období



(1946–1960, 1946–2007, 1961–1990, 1961–2007, 1978–2007).

Tab. 3 Přehled synoptických situací s největším podílem na celkovém srážkovém úhrnu pro rok a jednotlivé sezony pro stanice v brněnské oblasti v období 1961–1990

I-XII	XII-II	III-V	VI-VII	IX-XI
B	Wc	B	B	B
Wc	B	C	Wal	Wc
Bp, C	Wcs	Ec	Bp	Ec (Bp, SWc ₂)

Nejvyšší počet statisticky významných rozdílů byl zjištěn pro srážkové dny s úhrnem v rozmezí 0,1–1,0 mm. V případě srážkových úhrnů a počtu dní s úhrnem nad 0 mm, resp. nad 1 mm je počet významných rozdílů nízký. Nejvíce z nich připadá na období 1946–2007 a odráží spíše než rozdíly mezi urbánním a rurálním prostředím rozdíly v nadmořské výšce stanic. Ve všech zjištěných významných rozdílech figuruje stanice Babice nad Svitavou, která díky větší nadmořské výšce a poloze v severním sektoru studované oblasti vykazuje vyšší srážkové úhrny i vyšší počty srážkových dní než ostatní stanice. V případě dní s vysokými úhrny (nad 10 či 20 mm) nebyl zjištěn žádný statisticky významný rozdíl.

Významné rozdíly pro počet dní s úhrnem do 1 mm se projevují zejména pro roční a méně pro zimní hodnoty, v ostatních sezonách jen sporadicky. Nejčastěji se vyskytují při srážkově bohatých synoptických situacích (B, Wc), při situacích s přenosem vzduchu ze severních směrů (Nc, NEc, NWc) a také při situaci SWc₂. Zjištěné významné rozdíly ukazují na existenci klesajícího gradientu počtu dní s úhrnem pod 1 mm ve směru sever-jih, popřípadě severozápad-jihovýchod, což je konzistentní s obecnými rysy prostorové variability srážek v brněnské oblasti (viz kap.4.1), avšak nepotvrzuje hypotézu o zvýšení iniciace srážek v závětrné oblasti města.

4.3 Indexy extremity

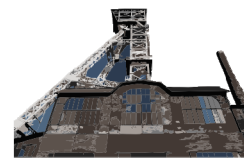
Změny v extremitě srážkového režimu mohou být zkoumány prostřednictvím různých indexů extremity, jejichž časové řady jsou následně podrobeny analýze trendu (viz např. Aguilar a kol., 2005; Tank a kol., 2006; Martinez a kol., 2007; Pavan a kol., 2008; Nasri, Modarres, 2009). V této práci byly použity následující indexy extremity: podíl vlhkých dní (tj. dní s úhrnem ≥ 1 mm) (PVD, v %), podíl úhrnů ve vlhkých dnech na celkovém úhrnu (PUVD, v %), intenzita vlhkého dne (tj. průměrný úhrn za vlhký den) (IVD, v mm/den), podíl sumy úhrnů ve dnech s úhrnem nad 95. (resp. 99.) percentil období 1961–1990 na celkovém úhrnu (PUD₉₅, PUD₉₉, v %), průměrná a maximální délka bezsrážkových period (tj. period s úhrnem pod 1 mm) (BP_{prum}, BP_{max}, v počtu dní), průměrná a maximální délka vlhkých period definovaných různými hranicemi (1, 5 a 10 mm) (VP_{x prum}, VP_{x max}, kde x je hraniční srážkový úhrn, který vymezuje vlhkou periodu,

v počtu dní). Pro každý z těchto indexů byl hodnocen dynamický trend po třicetiletých úsecích s velikostí posunu jeden rok za co nejdelší možné období pro danou stanici.

Statisticky významný trend se v případě indexu PVD vyskytl nejčastěji pro jaro a zimu a nejméně často pro léto. Rostoucí trend PVD v řádu kolem (0,3% za rok) byl pro několik stanic zjištěn v jarní sezoně ve třicetiletých začínajících mezi roky 1940–1945. V zimě byl identifikován rostoucí trend o velikosti kolem 0,2% za rok ve druhé polovině 50. let 20. století. Charakteristika PUVD vykazuje více statisticky významných trendů ve srovnání s PVD. Roční hodnoty ukazují na některých stanicích mírný klesající trend (do 0,1% za rok) ve druhé polovině 30. let, ve 40. letech a také v 60. letech 20. století. Výsledky pro jednotlivé sezony jsou v případě PUVD prostorově málo konzistentní – tedy statisticky významné hodnoty se u jednotlivých stanic vyskytují v různých obdobích. Intenzita vlhkého dne opět vykazuje pouze nízký počet významných hodnot, které se objevují zejména v létě a v roce. Na stanicích Bučovice a Podbřežice byla v letní sezoně zjištěna rostoucí intenzita vlhkého dne (cca o 0,1mm/den za rok) ve všech třicetiletých úsecích od počátku 70. let 20. století. Na ostatních stanicích to však bylo pouze v některém z těchto úseků.

Podíl sumy úhrnů ve dnech s úhrnem nad 95. percentil období 1961–1990 vykazoval v letní sezoně významný rostoucí trend ve výši zhruba 0,8% za rok ve třicetiletých začínajících koncem 60. let a v první polovině 70. let 20. století. Ve stejné době byl zjištěn rostoucí trend ročních hodnot o velikosti 0,4–0,5% pro stanice Slavkov u Brna a Těšany. Rostoucí trend o velikosti přibližně 0,7% za rok byl identifikován také pro zimní hodnoty v 60. let 20. století. V případě charakteristiky založené na 99. percentilu období 1961–1990 se statisticky významný trend vyskytuje spíše jen ojediněle (např. pro některé stanice klesající trend ročních hodnot (0,3–0,4%) v 50. letech 20. století).

V případě bezsrážkových period je nejvíce konzistentním rysem statisticky významný trend poklesu jejich průměrné délky (zhruba o 0,10–0,15 dne za rok) a maximální délky (o 0,2–0,3 dne za rok) pro jarní sezonu projevující se ve 30. letech a počátkem 40. let 20. století. Statisticky významný nárůst průměrné délky v letní



sezoně v současné době (tedy v třicetiletých začínajících rokem 1970 a dál) byl zaznamenán pouze na některých stanicích a dosahoval hodnoty v řádu 0,05–0,10 dne za rok. U indexů založených na vlhkých periodách se nejvíce významných hodnot vyskytlo pro charakteristiky VP_1_prum a VP_1_max. V případě, že jsou vlhké periody vymezeny vyšším srážkovým úhrnem než 1 mm, se statisticky významný trend vyskytuje jen ojediněle. Výsledky pro jednotlivé stanice jsou však málo konzistentní. U VP_5_prum byl pro některé stanice zjištěn významný rostoucí trend ročních a letních hodnot koncem 60. let a počátkem 70. let 20. století. Velikost tohoto trendu je však pouze v řádu setin dne za rok.

4.4 Periody opakování srážkových úhrnů

Tab. 4 Odhad denních srážkových úhrnů s danou periodou opakování (N_{20} –20 let, N_{50} –50 let– N_{100} –100 let) pro stanice v brněnské oblasti

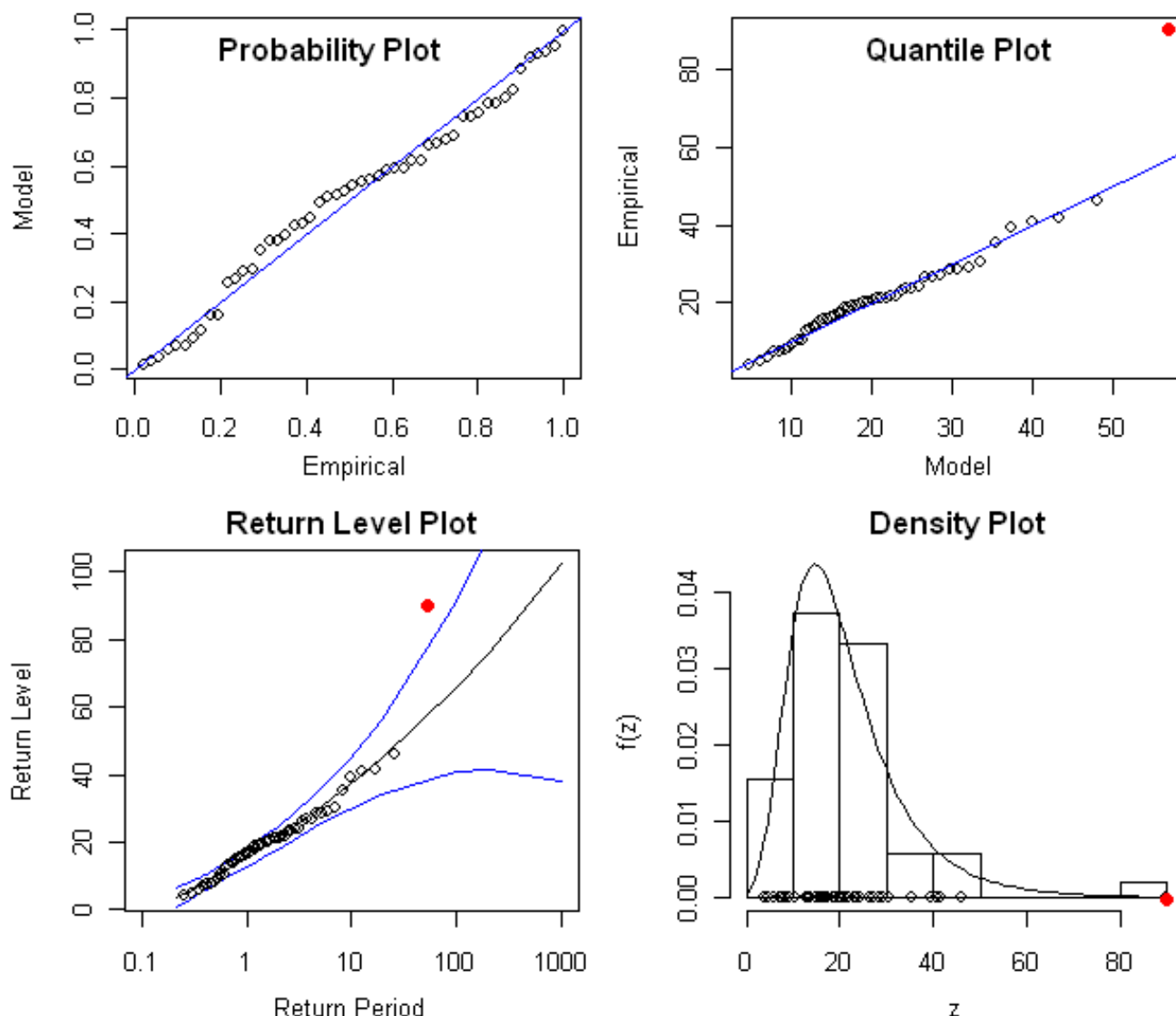
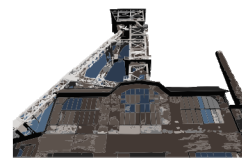
Stanice	Období	N_{20} (mm)	N_{50} (mm)	N_{100} (mm)	Stanice	Období	N_{20} (mm)	N_{50} (mm)	N_{100} (mm)
Brno-Kníničky	1936	61,4	75,1	86,6	Kuřim	1961	62,2	79,4	95,2
	–2007					–2007			
Brno-Květná	1922	61,3	72,7	81,9	Podbřežice	1961	49,1	56,2	61,7
	–1971					–2007			
Brno-Lesná	1929	61,6	75,6	87,8	Slavkov u Brna	1961	54,2	63,9	71,8
	–2007					–2007			
Brno-Pisárky	1925	63,3	74,7	83,9	Těšany	1934	66,5	79,8	90,5
	–1979					–2007			
Brno-Tuřany	1958	54,0	62,6	69,4	Troubsko	1981	68,2	89,7	110,7
	–2007					–2007			
Brno-Žabovřesky	1973	65,4	78,0	88,1	Zastávka u Brna	1961	64,4	75,1	83,5
	–2007					–2007			
Babice nad Svitavou	1931	57,2	66,5	73,8	Židlochovice	1907	64,5	78,9	91,0
	–2007					–2007			
Bučovice	1961	44,2	47,8	50,2					
	–2007								

5. Závěr

Ke studiu srážkového režimu v brněnské oblasti, resp. ke studiu vlivu urbánní oblasti na srážkový režim byly využity různé charakteristiky a metody. Z výsledků je patrné, že vliv města na srážky je při současné konfiguraci staniční sítě obtížně prokazatelný. Z analýzy rozdílů mezi jednotlivými stanicemi jsou spíše než odlišnosti způsobené vlivem města patrné rozdíly vyplývající z orografie studovaného území a z polohy stanic vůči převládajícímu směru větru. Rovněž předpokládaný nárůst extremity srážkového režimu v současné době nebyl jednoznačně prokázán. I přesto, že existující změny ve většině případů nepřesahují hranice statistické významnosti, je do budoucna vhodné věnovat pozornost také časovému průběhu znaménka trendu jednotlivých indexů extremity, na což v této práci nebyl prostor. Jako největší problém při studiu srážkového

Odhady úhrnů opakujících se s periodou 20, 50 a 100 let se na stanicích v brněnské oblasti pohybují kolem 60 mm, 70–80 mm a 70–90 mm (viz tab. 4). Výrazně nižší hodnota je ve všech případech pro stanice na východě studované oblasti (Podbřežice a Bučovice), naopak vyšší jsou hodnoty pro Troubsko ležící v západním sektoru. Je však třeba vzít v úvahu, že odhad stoletého úhrnu je v některých případech (Brno-Žabovřesky, Troubsko) proveden z neadekvátně krátké časové řady, což snižuje důvěryhodnost výsledku. Při zahrnutí hodnot z měření na účelových stanicích v centru města však mohou být výsledky výrazně modifikovány. Příklad této situace zachycený na obr. 2 ukazuje na problematičnost hodnocení srážkového režimu města při použití současné staniční sítě, ve které chybí stanice umístěné v centru, stejně jako na důležitost účelových měření.

režimu brněnské oblasti se jeví charakter datové základny, který odráží časté změny ve staniční síti – přerušování měření, rušení stanic a zakládání nových. Stanice, které jsou k dispozici, mají časové řady různé délky a údaje jsou proto obtížně srovnatelné. Po redukci měřicí sítě v roce 1960 rovněž chybí stálá srážkoměrná stanice v centru města. Tento nedostatek byl částečně napraven v roce 2009, kdy bylo v rámci projektu 205/09/1297 Víceúrovňová analýza městského a příměstského klimatu na příkladu středně velkých měst financovaného Grantovou agenturou ČR zprovozněno šest účelových stanic s měřeními různých meteorologických prvků přímo v centru Brna. Některé výsledky analýzy extrémů přitom ukazují, že zahrnutí těchto měření může vést ke značně odlišným výsledkům. Budoucí snahy by proto měly směřovat k uchování a dalšímu rozvoji těchto měření a také k celkové stabilizaci srážkoměrné sítě na území Brna a v jeho okolí.



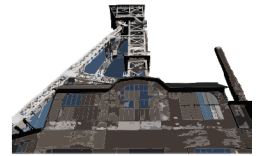
Obr. 2 Analýza extrémních hodnot a odhad periody opakování maximálních denních úhrnů na stanici Brno-Tuřany v období 1958–2009. Červený bod představuje hodnotu naměřenou na účelové stanici v botanické zahradě Přírodovědecké fakulty Masarykovy univerzity v centru Brna dne 15.7.2009.

Použité zdroje:

- ABDI, H. (2007): Bonferroni and Šidák corrections for multiple comparisons. in N.J. Salkind (ed.). Encyclopedia of Measurement and Statistics. Thousand Oaks, CA: Sage. Dostupné online na <<http://www.utdallas.edu/~herve/Abdi-Bonferroni2007-pretty.pdf>>, cit. 28.8.2010.
- AGUILAR, E., PETERSON, T.C., OBANDO, P.R. a kol. (2005): Changes in precipitation and temperature extremes in Central America and northern South America 1961-2003. *J. Geophys. Res. -Atmospheres*, 110, D23.
- ANDĚL, J. (1978): *Matematická statistika*. Státní nakladatelství technické literatury, Praha, 346 s.
- ARNFIELD, J.A. (2003): Two decades of urban climate research: a review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island. *Int. J. Climatol.*, č. 23, s.1–26.
- ATKINSON, B.W. (1971): The effect of an urban area on the precipitation from a moving thunderstorm. *J. Appl. Meteorol.*, č. 10, s. 47–55.
- BAIK, J.J., KIM, Y.H. (2000): Dry and moist convection forced by an urban heat island. *J. Appl. Meteorol.*, č. 40, s. 1462–1475.
- BENISTON, M., STEPHENSON, D.B., CHRISTENSEN, O.B., FERRO C.A.T, FREI, C., GOYETTE, S., HALSNAES, K., HOLT, T., JYLHÄ, K., KOFFI, B., PALUTIKOF, J.,



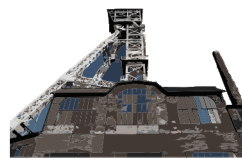
XXII SJEZD ČESKÉ GEOGRAFICKÉ SPOLEČNOSTI OSTRAVA 2010



- SCHÖLL, R., SEMMLER, T., WOTH, K. (2007): Future extreme events in European climate: an exploration of regional climate model projections. *Climatic Change*, č. 81, s. 71–95.
- BOKWA, A. (2009): Effects of air pollution on precipitation in Kraków (Cracow), Poland in the years 1971–2005. *Theor. Appl. Climatol.* DOI 10.1007/s00704-009-0209-7.
- BRÁZDIL, R. (1979a): Vliv města Brna na srážkový režim brněnské oblasti (Influence of Brno city on precipitation regime in Brno region). *Scripta Facultatis Scientiarum Naturalium Universitatis Purkynianae Brunensis, Geographia*, č.1, s. 9–20.
- BRÁZDIL, R. (1979b): Historie měření srážek v Brně. *Scripta Facultatis Scientiarum Naturalium Universitatis Purkynianae Brunensis, Geographia*, č.2, 9, s. 55–74.
- COLES, S. (2001): *An Introduction to Statistical Modeling of Extreme Values.* Springer-Verlag., London. ISBN 1-85233-459-2.
- DIXON, P.G., MOTE, T.L. (2003): Patterns and causes of Atlanta's urban heat island – initiated precipitation. *J. Appl. Meteorol.*, č. 42, s. 1273–1284.
- FREI, C., SCHÖLL, R., FUKUTOME, S., SCHMIDLI, J., IDALE, P. L. (2006): Future change of precipitation extremes in Europe: Intercomparison of scenarios from regional climate models. *J. Geophys. Res.* 111, D06105.
- HUFF, F. A. (1975): Urban effects on the distribution of heavy convective rainfall. *Water Resour. Res.* 11, 889–896.
- HUFF, F.A., CHANGNON, S.A. (1973): Precipitation modification by major urban areas. *Am.Meteorol. Soc.*, č. 54, s. 1220–1232.
- HUNDECHA, Y., BÁRDOSSY, A. (2005): Trends in daily precipitation and temperature extremes across western Germany in the second half of the 20th century. *Int. J. Climatol.*, č. 25, s. 1189–1202.
- CHRISTENSEN, O.B., CHRISTENSEN, J.H. (2004): Intensification of extreme European summer precipitation in a warmer climate. *Global Planet. Change*, č. 44, s. 107–117.
- CHANGNON, S.A., Jr. (1968): The La Porte weather anomaly - fact or fiction?. *B. Am.Meteorol. Soc.*, č. 49, s. 4–11.
- CHANGNON, S.A., Jr. (1969): Recent studies of urban effects on precipitation in the United States. *Am.Meteorol. Soc.*, č. 50, s. 411–421.
- KARL, T.R., EASTERLING, D.R. (1999): Climate extremes: selected review and future research directions. *Climatic Change*, č. 42, s. 309–325.
- KENDALL, M.G. (1970): *Rank Correlation Methods.* Charles Griffin, London, 272 s.
- KHARIN, V.V., ZWIERS, F.W. (2005): Estimating extremes in transient climate change simulations. *J. Climate*, č. 18, s. 1156–1173.
- KOLEKTIV SYNOPTICKÉ A LETECKÉ SLUŽBY HMÚ (1968): *Katalog povětrnostních situací pro území ČSSR. I. vyd., Hydrometeorologický ústav, Praha, 94 s.*
- KOLEKTIV SYNOPTICKÉ A LETECKÉ SLUŽBY HMÚ (1972): *Katalog povětrnostních situací pro území ČSSR. Hydrometeorologický ústav, Praha, 40 s.*
- KUNDZEWICZ, Z.W., RADZIEJEWSKI, M., PINSKWAR, J. (2006): Precipitation extremes in the changing climate of Europe. *Clim. Res.*, č. 31, s. 51–58.
- KYSELÝ, J. (2009): Trends in heavy precipitation in the Czech Republic over 1961–2005. *Int. J. Climatol.*, č. 29, s. 1745–1758.
- KYSELÝ J., PICEK J. (2007): Regional growth curves and improved design value estimates of extreme precipitation events in the Czech Republic. *Clim. Res.*, č. 33, s. 243–255.
- LANDSBERG H.E. (1981): *The Urban Climate (Volume 28 in the International Geophysics Series).* Academic Press, New York, 275 s.
- LITSCHMANN, T., ROŽNOVSKÝ, J. (2005): *Příspěvek ke studiu městského klimatu v Brně. Dostupné online na <http://www.amet.cz/webmendel/MendelClane_kPD05.pdf>, cit. 28.8.2010.*
- LUPIKASZA, E. (2010): Spatial and temporal variability of extreme precipitation in Poland in the period 1951–2006. *Int. J. Climatol.*, č. 30, s. 991–1007.
- MANN, H. (1945): Non-parametric test of randomness against trend. *Econometrica*, č. 13, s. 245–259.
- MARTINEZ, M.D., LANA, X., BURGUENO, A., SERRA, C. (2007): Spatial and temporal daily rainfall regime in Catalonia (NE Spain) derived from four precipitation indices, years 1950–2000. *Int. J. Climatol.*, č. 27, s. 123–138.



XXII SJEZD ČESKÉ GEOGRAFICKÉ SPOLEČNOSTI OSTRAVA 2010



NASRI, M., MODARRES, R.. (2009): *Dry spell trend analysis of Isfahan province, Iran*. Int. J. Climatol., č. 29, s. 1430-1438.

OKE, T.R. (1973): *City size and the urban heat island*. Atmos. Environ., č. 7, s. 769-779.

PAVAN, V., TOMOZEIU, R., CACCIAMANI, C., Di LORENZO, M. (2008): *Daily precipitation observations over Emilia-Romagna: mean values and extremes*. Int. J. Climatol, č. 28, s. 2065-2079.

ROSENBERGER, M.S., SUCKLING, P.W. (1989): *Precipitation climatology in the Pittsburgh*

urban area during late spring and summer. Southeastern Geographer, č. 29, s. 75-91.

SEN, P.K. (1968): *Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau*. J. Am. Stat. Assoc., č. 63, s. 1379-1389

SPRENT, P., SMEETON, N.C. (2007): *Applied Nonparametric Statistical Methods*. 4. vyd. Boca Raton: Chapman & Hall/CRC. 530 s. ISBN-10: 1-58488-701-X.

TANK, A.M.G.K., PETERSON, T.C., QUADIR, D.A., a kol. (2006): *Changes in daily temperature and precipitation extremes in central and south Asia*. J. Geophys. Res. -Atmospheres, 111, D16.

Adresy autorů:

Mgr. Marie Doleželová
Geografický ústav
Přírodovědecké fakulty Masarykovy univerzity
Kotlářská 2
611 37 Brno
mdolezelova@mail.muni.cz

Doc. RNDr. Petr Dobrovolný, CSc.
Geografický ústav
Přírodovědecké fakulty Masarykovy univerzity
Kotlářská 2
611 37 Brno
dobro@sci.muni.cz