

Univerzita Karlova

Přírodovědecká fakulta

katedra fyzické geografie a geoekologie

Studijní program: Geografie

Studijní obor: Fyzická geografie a geoinformatika



Matyáš Razím

ROZDÍLY ÚHRNŮ SRÁŽEK MĚŘENÝCH ZA FIXNÍ A KLOUZAVÁ OBDOBÍ

Bakalářská práce

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

Praha 2017

Zadání bakalářské práce

Název práce

Rozdíly úhrnů srážek měřených za fixní a klouzavá období

Cíle práce

Práce poukazuje na opomíjený problém v metodikách určování srážkových úhrnů, které bývají zpravidla určovány za fixní období, např. denní úhrn od 7 do 7 hodin následujícího dne. Epizody silných srážek tak mohou být rozděleny do dvou částí, čímž může dojít k podhodnocení odhadů extrémních srážek např. při jejich frekvenční analýze. Cílem práce je rešerší literatury zmapovat míru percepce tohoto problému, na konkrétních datech ukázat míru rozdílů mezi oběma typy dat a demonstrovat existenci případných zákonitostí, které ji ovlivňují.

Použité pracovní metody, zájmové území, datové zdroje

Práce bude v první části vycházet z české i zahraniční odborné literatury na dané téma. Studovaný jev bude demonstrován na desetileté datové řadě z vybrané srážkoměrné stanice. Patnáctiminutové, resp. desetiminutové záznamy srážkoměru budou agregovány do delších fixních i klouzavých časových úseků, které budou navzájem porovnány. Porovnání bude provedeno zvlášť pro jednotlivé měsíce či sezóny i pro celé období bez ohledu na sezónu.

Datum zadání: 19. prosince 2016

Jméno studenta: Matyáš Razím

Podpis studenta:

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

Podpis vedoucího práce:

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze dne 15. května 2017

.....
Matyáš Razím

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu práce panu RNDr. Miloslavu Müllerovi, Ph.D. za odborné vedení, pomoc, trpělivost a za poskytnutá data a zdroje. Rovněž bych rád poděkoval paní doc. RNDr. Daniele Řezáčové, CSc. za laskavé zapůjčení studijního materiálu z jejího archivu. Také děkuji svému kolegovi Tomáši Plojharovi za radu při analýze dat. V neposlední řadě pak děkuji svým rodičům za podporu při studiu a za shovívavost v době, kdy jsem tuto práci psal.

Abstrakt

Tato práce se zabývá problematikou odlišnosti srážkových úhrnů naměřených ve fixně stanovených a klouzavých obdobích (dále fixní a klouzavé úhrny). Srážky jsou v praxi z několika důvodů zaznamenávány v pevně daných časových intervalech. Takto získané hodnoty však bývají většinou nižší, než když se období měření o stejné délce trvání určí tak, aby z dané srážkové události pojmlulo co možná největší úhrn. To je způsobeno tím, že tento klouzavý úhrn je rozdělen do dvou fixních. Díky tomu bývají podceňovány určité srážkové charakteristiky, důležité pro zhodnocení potenciálních rizik a dopadů na společnost.

Práce předkládá literární rešerši metod měření srážek, dosavadního výzkumu uvedeného problému a činitelů ovlivňujících průměrnou míru rozdílnosti naměřených hodnot. Tato rozdílnost je vyjádřena pomocí tzv. Hershfieldova faktoru, který je koeficientem využívaným k přepočtu souborů fixních úhrnů na úhrny klouzavé. Jeho nejčastěji uváděná a obecně platná hodnota činí 1,13. V závislosti na délce srážkových úhrnů, na klimatických podmínkách a na dalších faktorech je však variabilní.

Závěrem je prezentována vlastní studie hodnot Hershfieldova faktoru založená na analýze úhrnů z klimatologické stanice Semčice v okrese Mladá Boleslav z let 2005 – 2014. Výsledky se v zásadě shodují s výše uvedenou obecnou hodnotou 1,13 bez signifikantních rozdílů v závislosti na délce úhrnů, způsobu zpracování dat i na dalších faktorech. Část výsledků vykazující jiné hodnoty byla navíc shledána nereprezentativní z důvodu příliš malého množství vstupních hodnot. Budoucí rozsáhlejší studie však variabilitu Hershfieldova faktoru v prostoru České republiky pravděpodobně odhalí.

Klíčová slova: měření srážek, Hershfieldův faktor, fixní srážkový úhrn, klouzavý srážkový úhrn

Abstract

This thesis introduces the issue of differences between precipitation totals measured within fixed and sliding periods (further as fixed and sliding totals). Because of several reasons, the precipitation is being measured in given intervals, in practice. Values obtained in this manner, however, are mostly lower than if the measuring period of the same length is set to include as much precipitation as possible. This is because the sliding total is split in two fixed totals. Therefore, values of certain precipitation characteristics, essential for the evaluation of potential hazards and their impact on the society, are often underestimated.

So, the thesis presents a research of the precipitation measurement methods, as well as the previous explorations of the given matter and the influences determining the average magnitude of the fixed vs. sliding totals difference. This difference is expressed via the so called Hershfield factor, a coefficient used for conversion of sets of fixed totals to sliding totals. Its general value is most commonly determined as 1.13. It, however, varies according to the precipitation length, climate and several other factors.

Finally, the thesis presents an own study based on an analysis of precipitation data from the climatological station Semčice in Mladá Boleslav district from years 2005 – 2014. The results essentially correspond with the general value of 1.13 mentioned above, without any significant variations depending on the length of the totals, the data processing method or other factors. Moreover, the part of the results showing different values was not found representative because of too little input data. However, more extensive studies in the future will most likely reveal the variability of the Hershfield factor values in the Czech Republic.

Key words: precipitation measurement, Hershfield factor, fixed precipitation total, sliding precipitation total

Obsah

Použité zkratky	7
Seznam obrázků	8
1 Úvod.....	9
2 Měření srážek.....	11
2.1 Diskretizace srážkových úhrnů	11
2.2 Historický vývoj měření srážek	13
2.3 Současná praxe staničního měření srážek	14
2.3.1 Srážkoměry s manuálním odečtem.....	14
2.3.2 Srážkoměry s automatickým odečtem.....	15
2.3.3 Distrometry.....	17
2.4 Obecné chyby měření srážek	18
3 Rozdíly fixních a klouzavých úhrnů	20
3.1 Míra odlišnosti fixních a klouzavých úhrnů.....	20
3.2 Využití H-faktoru k přepočtu fixních úhrnů na klouzavé	21
3.3 Počátky výzkumu H-faktoru	22
3.4 Pozdější výzkum H-faktoru.....	23
3.5 Výzkum hodnot H-faktoru v České republice	27
3.6 Shrnutí poznatků o H-faktoru.....	27
3.7 Další možné vlivy na hodnoty H-faktoru.....	28
4 Vlastní případová studie hodnot H-faktoru	30
4.1 Data	30
4.2 Metody	31
4.3 Hypotéza	32
4.4 Výsledky	33
4.4.1 Výsledky studie 20 nejvyšších úhrnů	33
4.4.2 Výsledky studie měsíčních maxim.....	35
5 Diskuze	38
6 Závěr	40
7 Zdroje.....	41

Použité zkratky

ČHMÚ – Český hydrometeorologický ústav

H-faktor – Hershfieldův faktor

PMP – pravděpodobná maximální srážka

SEČ – středoevropský čas (UTC +1)

UTC – světový čas

Seznam obrázků

Obr. 1: Graf minutových úhrnů při fiktivní srážkové události	12
Obr. 2: Diagram člunkového srážkoměru	15
Obr. 3: Automatický váhový srážkoměr	17
Obr. 4: Impaktní distrometr	18
Obr. 5: Princip fungování optického distrometru	18
Obr. 6: Průměrné hodnoty H-faktoru měsíčních maxim na různých stanicích v Číně zobrazených v geografické síti	24
Obr. 7: Vztah mezi podílem dní se srážkami a H-faktorem	25
Obr. 8: Vztah mezi autokorelačním koeficientem a H-faktorem.....	25
Obr. 9: Průměr (hnědá) a medián (oranžová) hodnot H-faktoru pro různé délky měření a jimi proložené teoretické křivky	26
Obr. 10: Empiricky zjištěné pravděpodobnosti výskytu hodnoty $H = 1$ v dílčích pří- padech pro různé délky měření proložené teoretickou křivkou.....	26
Obr. 11: Průměrné hodnoty H-faktoru z 20 nejvyšších klouzavých úhrnů v každé z kategorií délky úhrnu	34
Obr. 12: Graf četnosti dílčích hodnot H-faktoru v jednotlivých kategoriích délky úhrnu	34
Obr. 13: Graf četnosti výskytu zkoumaných událostí během roku v jednotlivých kategoriích délky úhrnu	35
Obr. 14: Hodnoty H-faktoru v jednotlivých kategoriích délky úhrnu podle způsobu výpočtu.....	36
Obr. 15: Graf četnosti dílčích hodnot H-faktoru v jednotlivých kategoriích délky úhrnu	36
Obr. 16: Hodnoty H-faktoru v zimní (říjen – březen) a letní (duben – září) polovině roku v jednotlivých kategoriích délky úhrnu vypočtené z dílčích H-faktorů dvojic maxim ..	37

1 Úvod

Měření srážek je jedním z klíčových úkolů meteorologie. Na záznamech srážkových úhrnů z minulosti a na údajích, které jsou z nich odvozené, je v oboru klimatologie závislý výpočet charakteristik srážkových poměrů, např. návrhových srážek s dobou opakování (tzv. *N-leté úhrny*) (Kulasová et al., 2004) nebo pravděpodobné maximální srážky pro dané místo a trvání (*PMP*, z ang. *Probable Maximum Precipitation*) (Řezáčová et al., 2005). Výstupy klimatologických analýz pak nacházejí přímé uplatnění v hydrologii, vodohospodářství, zemědělství, plánování infrastruktury a v mnoha dalších odvětvích lidské činnosti, které jsou ohroženy vysokými úhrny srážek (Papalexiou et al., 2016).

Monitoring každého ze základních meteorologických prvků, jako jsou teplota vzduchu, rychlost větru či tlak vzduchu, se potýká s určitými problémy. Měření srážek je ovšem úkolem obzvlášť náročným a jeho plnění vždy provázela a provázet budou četná úskalí. Záznamy srážkových úhrnů bývají nezdědky zatíženy chybou v řádu až desítek procent. Tyto nepřesnosti jsou způsobeny různými faktory. Často jsou diskutovány technické problémy, způsobené například nevhodným umístěním srážkoměrů, nebo nedostatky samotných měřících zařízení dané jejich konstrukcí (Strangeways, 2007).

Měření srážek se však potýká ještě s jedním, neméně důležitým problémem. Ten spočívá ve skutečnosti, že velmi často nemáme možnost měřit srážky kontinuálně, ale pouze po předem určených *fixních intervalech* (diskretizace). Jako příklad lze uvést tzv. denní úhrn srážek, který se v České republice měří od 7 h SEČ do 7 h SEČ následujícího dne, a který je v případě manuálních srážkoměrných stanic (viz 2.3.1) často jediným údajem (www.chmi.cz). Je zřejmé, že využití takovýchto dat v klimatologii je značně omezené a zavádějící, neboť nenesou podrobnější informaci o rozložení srážek uvnitř daného fixního intervalu.

Diskretizace úhrnů je tedy mnohdy nevyhnutelná. Je ovšem také praktická, a tedy prováděná záměrně, neboť výrazně snižuje objem dat určených k archivaci a usnadňuje manipulaci s nimi. Srážkové události se však vyskytují nezávisle na lidmi stanovených intervalech, a proto v praxi velmi často zasahují do dvou či více takových úseků.

Jednotlivé úhrny ve fixních intervalech tak jsou nižší, než jaké bychom zaznamenali v případě využití klouzavého intervalu o stejné délce.

Výše uvedená skutečnost ukazuje, že velikost srážkových úhrnů o dané délce trvání je často soustavně podhodnocována, což vnáší chybu do klimatologických statistik a může vést k podcenění hydrologických rizik. Přinejmenším již od 50. let 20. století se proto pozornost odborníků zaměřuje na výzkum míry rozdílu mezi úhrny naměřenými ve fixních a klouzavých intervalech a na nalezení koeficientu či koeficientů pro jejich snadný přepočet (Papalexiou et al., 2016).

Cílem této práce je sepsání rešerše předložené problematiky se zaměřením na způsoby měření srážek, na dosavadní výzkum rozdílů srážek měřených ve fixních a klouzavých intervalech¹ a na zákonitosti, které míru těchto rozdílů ovlivňují. Práce také předkládá vlastní ilustrativní případovou studii rozdílů mezi fixními a klouzavými úhrny.

¹ Dále budou pro zjednodušení používány termíny *fixní* a *klouzavý úhrn*.

2 Měření srážek

Srážky jsou z hlediska kvantity popsatelné dvěma veličinami: úhrnem a intenzitou. Ty jsou od sebe navzájem odvoditelné. Výška úhrnu srážek během vybraného období je totiž rovna integrálu funkce jejich intenzity s mezemi určenými začátkem a koncem tohoto zkoumaného období (van Montfort, 1997; Strangeways, 2010; Papalexiou et al., 2016). Jedině tak jsme schopni přesně určit srážkové úhrny pro libovolný časový úsek. Obecně lze říci, že s modernizací stávajících a vývojem nových přístrojů na monitoring srážek se měření stávají stále přesnějšími, a v současné době jsou k dispozici zařízení, která výše popsané kontinuální měření umožňují, neboť zaznamenávají četnost a objem jednotlivých hydrometeorů, čímž měří přímo intenzitu srážek (viz 2.3.3). Praktické využití těchto přístrojů je však zatím velmi omezené kvůli jejich vysoké ceně. Není možné jimi proto pokrýt pozorovaná území v dostatečné hustotě. Drtivá většina stanic je tak vybavena srážkoměry, které měří úhrny, nikoliv intenzitu srážek (Strangeways, 2010).

2.1 Diskretizace srážkových úhrnů

V současné době již existují přístroje s velmi podrobným, až kontinuálním měřením srážek, které budou popsány později. Přesto však stále většina stanic disponuje pouze staršími a méně přesnými přístroji, či jen obyčejnými nádobami s nutností manuálního odečtu. Z důvodu obslužnosti jsou tak data na těchto stanicích odečítána po delších diskrétních intervalech, díky čemuž je jejich vypovídací hodnota velmi omezená. Diskretizace je ovšem obecně nevyhnutelná, neboť bez ní by bylo nutno pracovat s nekonečným objemem dat, což je nemožné. V praxi také dochází ke shlukování (akumulaci) naměřených údajů do větších diskrétních intervalů o délce několika hodin za účelem přehlednosti, snadné zpracovatelnosti a vzájemné porovnatelnosti (Papalexiou et al., 2016). V takzvaných synoptických pozorovacích termínech probíhají měření a odečítání různých veličin včetně srážkových úhrnů. Právě ty jsou v nich zaznamenávány jako sumy za příslušný časový úsek, tedy jako fixní úhrny. Hlavní synoptické pozorovací termíny jsou 0, 6, 12 a 18 hodin UTC, vedlejší pak 3, 9, 15 a 21 hodin UTC. Zcela klíčový je v případě České republiky termín 6 h UTC, v němž je zaznamenáván tzv. denní úhrn srážek. Ostatní termíny pak tento denní úhrn dělí na 12, 6 a 3hodinové intervaly. Synoptická měření také probíhají v každou celou hodinu

(www.chmi.cz). Automatické srážkoměry pak zaznamenávají úhrn sice každou minutu, ale běžně se pracuje s 10minutovými sumami (www.chmi.cz).

Z výše uvedených skutečností ovšem vyvstává problém, který je pro tuto práci klíčový, totiž že většinou nedokážeme určit srážkový úhrn jakékoliv délky v libovolném termínu – klouzavý úhrn. Jsme schopni zjistit pouze úhrny pro ta období začínající a končící v časech předělů jednotlivých intervalů, za něž jsou srážky měřeny nebo které jsou k dispozici, tedy fixní úhrny. Naše znalosti o srážkových poměrech jsou tak neúplné. Představme si totiž například situaci, kdy se na stanici, z níž máme k dispozici pouze hodinová data, vyskytne přívalový déšť krátkého trvání, který svojí intenzitou bude vrcholit v celou hodinu. Událost bude tedy rozdělena do dvou fixních hodinových úhrnů. Z nich však nejsme schopni zjistit, kolik ve skutečnosti nejvíce napršelo během libovolně zvolených 60 minut (klouzavý úhrn). Takový fiktivní případ je znázorněn v obr. 1. V něm od 15:00 do 16:00 napršelo 22 mm a od 16:00 do 17:00 16,6 mm. Jestliže tedy nemáme k dispozici měření po jedné minutě, které je zaznamenáno v grafu, nemůžeme zjistit, že během jedné hodiny mezi 15:29 a 16:29 napršelo 36,5 mm. Je zřejmé, že podobné situace se v praxi vyskytují zcela běžně, a to v různých časových měřítkách. Nežřídkou se také stává, že se maximální úhrn za studované období (např. roční maximální 24hodinový úhrn), zjištěný z klouzavého intervalu, vyskytne zcela nezávisle na maximu fixních úhrnů, tedy v jiné části období (Dwyer a Reed, 1995).



Obr. 1: Graf minutových úhrnů při fiktivní srážkové události

2.2 Historický vývoj měření srážek

Základním a nejstarším způsobem měření srážek je využití pozemních staničních srážkoměrů. Počátky ombrometrie můžeme vystopovat již ve 4. století př. Kr. v Indii, kde byla použita otevřená nádoba zachytávající déšť (Strangeways, 2010). O dvě století později pak víme o měření na Blízkém východě. Z doby středověku disponujeme zprávami o měření z oblasti Dálného východu (Čína, Korea). V Evropě je však doložený zájem o tuto problematiku až v 17. století, kdy máme první zprávu o srážkoměru z roku 1639. Ten byl sestaven italským benediktinským mnichem Benedettem Castellim. Šlo však pouze o jednorázové měření. První souvislý záznam je až z let 1677 – 1703 z anglického hrabství Lancashire. Jeho autorem je Richard Townley. Od 18. století pak docházelo k výraznému rozvoji ombrometrie, který pokračuje dodnes (Strangeways, 2010). Současná praxe je popsána v následujících podkapitolách.

V průběhu 20. století, v návaznosti na rozvoj technologií během 2. světové války, byl nalezen zcela nový přístup k monitoringu srážek, kterým je distanční měření. Po vynalezení radaru pro vojenské účely začaly být v 60. letech 20. století vyvíjeny snahy o jeho využití v meteorologii (Teegavarapu, 2012). Uvedení této nové technologie do praxe je v oboru zásadním zlomem. Radarové měření totiž poskytuje plošně celistvou informaci, z čehož vyplývá možnost alespoň hrubého odhadu srážkových úhrnů pro kterékoliv místo. Ten jsme schopni učinit na základě přepočtu radarové odrazivosti na intenzitu srážek.

Nejmodernějším způsobem sledování srážek je pak využití satelitních snímků. Výhodou této metody je nesrovnatelně větší prostorový záběr, než je tomu v případě radaru a navíc možnost měření srážek nad oceánem, jejichž výzkum je za použití předchozích metod velice obtížný a nákladný. Stále se nicméně jedná spíše o experimentální metodu s pouze hrubými orientačními daty, neboť nejde o přímé pozorování, ale o analýzu elektromagnetického záření vyzařovaného nebo odráženého ze srážkových oblaků (Strangeways, 2010).

Obě naposledy zmiňované metody měření srážek nejsou v současné době zatím pro přesná a podrobná měření srážkových úhrnů v čase příliš využitelná. Důvodem jsou mimo jiné veliká nejistota při převodu získaných dat na srážkovou intenzitu a

nedostatečné časové rozlišení, které například na území České republiky v případě radaru činí 5 minut (www.chmi.cz). Přesnost odhadu úhrnů z okamžitých intenzit v takto velkém časovém kroku je velmi variabilní a závisí na mnoha faktorech. Data navíc disponují malým horizontálním rozlišením v řádu kilometrů (www.chmi.cz). Proto se dále zaměřím výhradně na pozemní měření srážek.

2.3 Současná praxe staničního měření srážek

Jak bylo zmíněno dříve, pozemní staniční měření je nejstarším a základním přístupem k zaznamenávání srážek. První, a co do počtu stanic zcela převažující způsob, je měření srážkových úhrnů. To lze provádět buďto za pomoci jednoduchých nádob s nutností manuálního odečtu, nebo za využití automatizovaných stanic, které samy odečítají a odesílají získaná data. Moderní technologie však umožňují i přímé měření intenzity srážek. Nejdůležitější typy srážkoměrů jsou popsány na následujících řádcích.

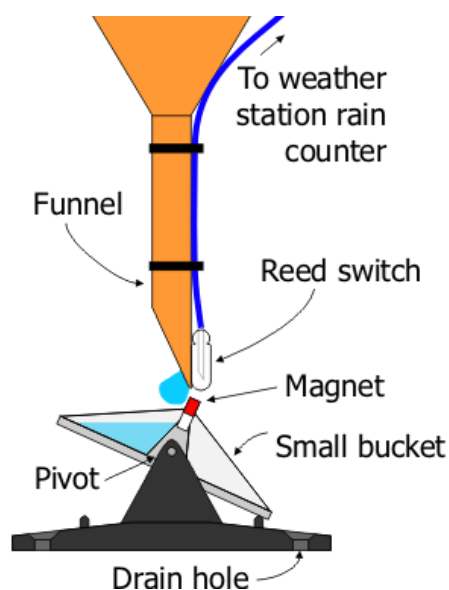
2.3.1 Srážkoměry s manuálním odečtem

Manuální srážkoměry (ombrometry) jsou mnohem méně nákladné než ty automatické, a proto jsou v celosvětovém měřítku z hlediska počtu zdaleka nejrozšířenější. Používáno je několik desítek typů, většinou však jde o jednoduché kovové duté válce s nálevkou a sběrnou nádobou uvnitř. Jejich počet je celosvětově odhadován na více než 150 tisíc (Strangeways, 2010). V České republice pak v roce 2011 tento typ srážkoměru využívalo přibližně 70 % z celkového počtu 802 meteorologických a klimatologických stanic (www.chmi.cz). V současné době je jejich zastoupení již o něco nižší. Jak bylo zmíněno, úhrny z manuálních srážkoměrů jsou většinou odečítány pouze jednou denně. Tím je získán tzv. *denní úhrn srážek*, který je v případě České republiky vymezený termínem 7 h SEČ (www.chmi.cz). Z takto hrubých dat nelze získat informace o nejvyšších 24hodinových, či snad dokonce 1440minutových úhrnech. Rovněž z nich není možné zjistit výšky úhrnů z kratších časových úseků. Jsou však nepostradatelné, neboť významně zahušťují síť pozemních stanic, a pokud jsou rozmístěny rovnoměrně (jako v případě České republiky), přinášejí i přes svá omezení cenná data.

2.3.2 Srážkoměry s automatickým odečtem

Určitým předstupněm ve vývoji srážkoměrů před plně automatizovanými přístroji je ombrograf. Ten funguje na principu kontinuálního záznamu na otočný válec pomocí pera ovládaného plovákem nebo mechanismem vážícím srážky (Strangeways, 2010). Výhodou ombrografů je spojitost jejich měření, jsou však závislé na obsluze, která musí data odečítat z otočných válců.

V současné době zdaleka nejpoužívanějším plně automatizovaným srážkoměrem je tzv. člunkový srážkoměr. Funguje na velmi jednoduchém principu, kdy je srážková voda ze zachytné plochy (ideálně alespoň 500 cm²) sváděna trychtýřem na symetrický člunek rozdělený uprostřed příčnou přepážkou. Vždy, když se jedna jeho strana naplní určitým množstvím vody (odpovídajícím podle typu 0,1 – 1 mm srážek), překlopí se, čímž se vyprázdní a mezitím se srážkovou vodou plní strana druhá. Součástí člunku je magnet, který při překlopení vytváří elektrický impulz (obr. 2) (Strangeways, 2010; Teegavarapu, 2012).



Obr. 2: Diagram člunkového srážkoměru

(zdroj: http://blogs.reading.ac.uk/flooding/files/2014/05/rain_gauge_diagram.gif)

Jednotlivé elektrické signály odpovídající danému úhrnu srážek (většinou 0,1 mm) se akumulují v určených časových intervalech, standardně po jedné minutě. Ačkoliv je měření po jedné desetíně milimetru v praxi zcela dostačující, existují i člunkové

srážkoměry, v nichž je člunek kontinuálně vážen, čímž lze získat ještě mnohem přesnější údaje o průběhu srážek (Strangeways, 2010).

I když jde o typ srážkoměru, který poskytuje, relativně nízkým nákladům navzdory, velice podrobná data, nese s sebou jeho technické provedení dva specifické problémy. Prvním je skutečnost, že při překlápění člunku dochází k úniku části srážek. Jeho míra je přímo úměrná intenzitě srážek. Tuto chybu lze proto poměrně dobře korigovat kalibrací dat podle experimentálně získaných koeficientů pro srážky různých intenzit. Druhý problém spočívá v tom, že na konci srážkové události zůstane v člunku zachycené určité množství vody, které již není dostatek pro jeho překlopení. Ta se pak postupně vypaří. V dlouhodobém průměru jde o polovinu objemu jedné strany člunku (většinou ekvivalent 0,05 mm srážek). Tuto chybu měření však lze korigovat jen stěží, neboť ne vždy se stihne veškerá zbylá voda vypařit do příští srážkové události. Lze ji pouze omezit využitím člunku s co největším rozlišením měření. Tento nedostatek vytváří největší chybu při krátkých, často se opakujících přeháňkách s nízkými úhrny (Strangeways, 2010).

Dalším velmi hojně využívaným typem automatického srážkoměru je váhový srážkoměr (obr. 3). Ten funguje na podobném principu jako ombrograf, ovšem s tím rozdílem, že je hmotnost (po přepočtu úhrn) srážek zaznamenávána elektronicky a poté odesílána ke zpracování. Je tak mnohem přesnější, s rozlišením v řádu setin milimetru. Poskytuje tedy výrazně jemnější data než člunkový srážkoměr (Strangeways, 2010). Je ovšem také výrazně dražší a robustnější, což jeho využití většinou omezuje pouze na vybrané profesionální stanice (v ČR řádově desítky) (www.chmi.cz).



Obr. 3: Automatický váhový srážkoměr

(zdroj: <http://www.chmuul.org/aktuality/2015-05-nove-sreazkomery/img/1.jpg>)

2.3.3 Distrometry

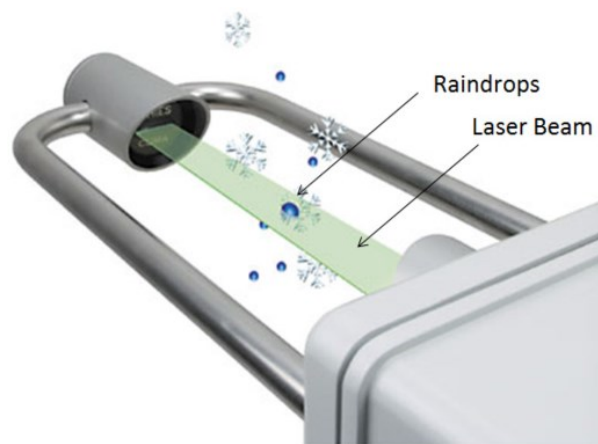
Ačkoliv se distrometry řadí k přístrojům s automatickým odečtem a odesíláním dat, je nutné jim, vzhledem ke zcela odlišnému principu měření, věnovat vlastní podkapitolu. Neměří totiž přímo srážkové úhrny, ale intenzitu srážek, z níž je pak úhrn vypočitatelný pomocí integrace. Existují dva typy distrometrů podle technologie měření – impaktní (obr. 4) a optické (obr. 5). První jmenované měří pomocí membrány vystavené dopadajícím srážkám, které ji rozechvívají. Velikost a počet kapek jsou pak určeny buď magnetem indukovanými elektrickými signály, nebo analýzou frekvence chvějící se membrány. Tento typ distrometru však není schopen zaznamenat drobné, a tedy příliš lehké a pomalé kapky o průměru menším než přibližně 0,3 mm, v závislosti na modelu (Lanza et al., 2005). Optické distrometry pak k měření využívají laserový svazek vyzařující v infračervené či mikrovlnné části spektra elektromagnetického záření. Ten interaguje se srážkovými částicemi a následně je přijat detektorem. Za pomoci distrometrů lze zjistit kromě počtu a objemu hydrometeorů i jejich typ (sníh, déšť, kroupy atd.) (Strangeways, 2010).

Navzdory schopnosti distrometrů měřit nepřetržitě intenzitu srážek a z toho vyplývající možnosti určit úhrn pro libovolné období, je jejich využití v praxi zatím velmi omezené, a to z důvodu vysoké ceny (Strangeways, 2010).



Obr. 4: Impaktní distrometr

(zdroj: <https://dis.arm.gov/instruments/images/disdrometer.jpg>)



Obr. 5: Princip fungování optického distrometru

(zdroj: http://www.mdpi.com/water/water-08-00029/article_deploy/html/images/water-08-00029-g008-1024.png)

2.4 Obecné chyby měření srážek

Každý ze zmíněných přístupů k měření srážek má svá pozitiva, ale i svá úskalí. Všechny jsou zatíženy určitými chybami, plynoucími například z technického provedení přístroje, které můžeme rozdělit na dva druhy: *systematické* a *náhodné*. První jmenované jsou do značné míry předpověditelné, a lze je proto alespoň částečně korigovat. Příkladem je třeba právě únik srážkové vody při překlápění člunku v člunkovém srážkoměru. Chyby náhodné, jak sám název napovídá, však předpověditelné nejsou, a jejich vliv tak nelze odstranit (Teegavarapu, 2012). Představují proto velmi nepříjemný problém. Velký vliv na přesnost měření má často i

umístění srážkoměru, který může být příliš blízko objektů nebo naopak na příliš exponovaném místě. Výsledná chyba je pak závislá například na rychlosti a směru větru nebo na velikosti dešťových kapek (Strangeways, 2010).

Dříve zmíněný problém, vyplývající z diskretizace měření srážek do příliš velkých, v čase pevně ukotvených úseků, však nelze nazvat chybou v pravém slova smyslu, neboť nezpůsobuje znehodnocení informace o celkovém úhrnu. Spíše zapříčiňuje její zkreslení a omezuje vypovídací hodnotu. Toto zkreslení, ač případ od případu různé, však při analýze většího objemu dat nabývá určitých průměrných hodnot (Papalexiou et al., 2016). Snaze o jejich nalezení je věnována následující část práce.

3 Rozdíly fixních a klouzavých úhrnů

V minulé kapitole byl nastíněn problém odlišných hodnot fixních a klouzavých úhrnů. V případě stanic s moderními automatickými srážkoměry jde o problém snadno řešitelný. Pokud máme dostupná podrobná data, lze pracovat rovnou s nimi a nepoužívat sumy odečtené ve fixních pozorovacích termínech. Vyhledání absolutních maxim libovolné délky z těchto dat je poměrně banální záležitost, proveditelná za pomoci výpočetní techniky. Protože jsou ovšem data ukládána pro přehlednost v sumách odpovídajících delším fixním časovým intervalům (Papalexioiu et al., 2016), je nutná iniciativa k hledání klouzavých maxim. Naprostá většina srážkoměrů ve světě navíc stále vyžaduje manuální odečet, prováděný nanejvýš několikrát denně, typicky pouze jednou (viz kapitola 2). Je proto nutné rozdíl mezi fixními úhrny a skutečnými maximy řešit jiným způsobem.

3.1 Míra odlišnosti fixních a klouzavých úhrnů

Libovolný klouzavý časový interval, pro nějž je zjišťován srážkový úhrn, se překrývá nanejvýš (a nejčastěji) se dvěma fixními intervaly o stejné délce. Pokud tedy například při studiu rozdílu maximálních klouzavých a příslušných fixních úhrnů o zvolené délce trvání (např. 24 h) nalezneme maximální klouzavý úhrn během zkoumaného období (např. za kalendářní měsíc), budeme jej porovnávat s vyšším z nejvýše dvou souvisejících fixních úhrnů. Poměrem klouzavého a fixního úhrnu je číslo, které se nazývá *Hershfieldův faktor* (dále *H-faktor*) (pro vysvětlení viz 3.3). Ten vypočítáme podle jednoduchého vzorce:

$$\mathbf{H_x = K_x / F_x} \quad (1),$$

kde H_x je Hershfieldův faktor daného případu o délce x , K_x představuje jeho klouzavý úhrn a F_x jeho fixní úhrn. Z jednoduché úvahy pak vyplývá následující:

$$\mathbf{1 \leq H_x \leq 2} \quad (2).$$

Mohou se totiž vyskytnout dva extrémní případy. V prvním z nich, jak bylo zmíněno, se období fixního a klouzavého úhrnu zcela překrývají. V takovém případě bude H-faktor roven 1. Opačným extrémem pak je případ, kdy jsou oba příslušné fixní

úhrny stejně vysoké a zároveň se v jejich průběhu nevyskytly jiné srážky než ty, které obsahuje interval klouzavý. Tehdy se bude H-faktor rovnat 2 (van Montfort, 1997).

První extrém nastává poměrně často, jde dokonce o nejčastější hodnotu H-faktoru (modus). Naopak druhý extrém nastává jen velice zřídka (Papalexiou et al., 2016). A čím jemnější data úhrnů jsou k dispozici, tím méně často se hodnota 2 vyskytuje.

Popsanou skutečnost si lze ilustrovat na fiktivní srážkové události z kapitoly 2. V ní činí fixní hodinové úhrny 22, resp. 16,6 mm. 60minutový klouzavý úhrn je pak roven 36,5 mm. Po dosazení do vzorce (1) dostaneme hodnotu 1,66.

V praxi jsou ovšem častěji porovnávána klouzavá maxima s fixními maximy ve vybraném období (např. měsíc) než klouzavé úhrny s časově odpovídajícími fixními úhrny. I tehdy však platí výše uvedené. Hodnoty H-faktoru však jsou v tomto případě v průměru nižší, neboť se maximální fixní úhrn často vyskytuje zcela nezávisle na klouzavém úhrnu, a je pak vyšší než fixní úhrn překrývající se s klouzavým maximem (Dwyer a Reed, 1995).

Hodnoty H-faktoru nabývají ve většině případů nízkých hodnot a obecně platí, že čím vyšší hodnota, tím méně pravděpodobný je její výskyt (Papalexiou et al., 2016), jak ukazuje například i následující studie.

Při analýze rozdílů mezi 1661 vybranými ročními maximy fixních denních (6 – 6 h UTC) a klouzavých 24hodinových úhrnů z celé České republiky bylo zjištěno (po zaokrouhlení na celé milimetry), že v přibližně 37 % případů činil rozdíl 0 mm, v přibližně 12 % případů 1 mm, v 7 % 2 mm atd. Zhruba 30 % případů vykazovalo rozdíl větší než 5 mm. Největší rozdíl pak činil 48,5 mm (Tolasz, 2007). Ačkoliv je tedy často rozdíl fixních a klouzavých maxim pouze minimální, v malém procentu případů dosahuje velmi vysokých hodnot v řádu desítek procent.

3.2 Využití H-faktoru k přepočtu fixních úhrnů na klouzavé

Pokud vytvoříme průměr dílčích H-faktorů z většího objemu dat, získáme průměrný H-faktor, jehož význam spočívá v možnosti využít jej ke korekci souboru dat fixních úhrnů na úhrny klouzavé. Nalezení spolehlivé a obecně platné hodnoty H-faktoru

slibuje významné usnadnění práce s daty srážkových úhrnů a zpřesnění poznatků o N-letých úhrnech, PMP a dalších klimatologických ukazatelích, k jejichž výpočtu by pak po korekci mohly být využity i stanice s manuálním odečtem (Papalexiou et al., 2016). Jak však vyplývá z poznatků uvedených v následujících dílčích kapitolách, neexistuje univerzálně platná hodnota H-faktoru, nýbrž je z mnoha důvodů prostorově i časově variabilní.

Při výzkumu hodnot H-faktoru si však musíme uvědomit, že i klouzavé úhrny podléhají do jisté míry diskretizaci, neboť nejsou běžně k dispozici data ve větším rozlišení, než je 1 minuta. Hodnoty H-faktoru jsou tím tedy poněkud ovlivněny. Chyba by však neměla být příliš signifikantní, kromě případů velmi prudkých přívalových dešťů, kdy minutové úhrny mohou ve zcela ojedinělých případech dosahovat i více než 10 mm. Světový rekord činí dokonce 31,2 mm (4. 7. 1956, Unionville, Maryland) (wmo1.asu.edu).

3.3 Počátky výzkumu H-faktoru

Jedny z prvních snah o nalezení způsobu, jak přepočítat maximální fixní úhrny na skutečné (klouzavé) úhrny, se datují do 50. let 20. století. V roce 1953 byly pro oblast ve Spojných státech amerických západně od 115°z. d. analyzovány řady minutových srážkových úhrnů ze 13 kontrolních stanic. Pro každý měsíc během vybraných 10 let byl nalezen maximální 60minutový úhrn, a ten byl následně vydělen vyšším z fixních hodinových úhrnů, které se s nalezeným klouzavým úhrnem překrývají. Výsledné podíly byly nejprve v rámci stanic a poté dohromady zprůměrovány. Výsledkem byla hodnota 1,13. Ta byla následně použita jako koeficient pro výpočet skutečných maxim v ostatních stanicích disponujících pouze hodinovými úhrny. Průměrné hodnoty koeficientu v jednotlivých stanicích činily od 1,08 do 1,16. Nebyla však nalezena žádná souvislost mezi hodnotami a polohou stanic. Studie zároveň odkazuje na o rok starší výzkum z oblasti Floridy na základě dat z šesti stanic. Ten přišel s velmi podobným výsledkem – 1,14 (U. S. Weather Bureau, 1953).

V roce 1958 byla zveřejněna studie v této problematice zcela klíčová a nejnámější. Tehdy se Američan D. M. Hershfield (podle něj Hershfieldův faktor) se svým kolegou W. T. Wilsonem rozhodli nalézt hodnoty srážkových úhrnů různých délek pro různé doby opakování napříč Spojenými státy americkými.

Na základě dostupných dat minutových úhrnů z části použitých stanic bylo jejich cílem nalézt koeficient, který by šel využít k přepočtu hodinových a denních úhrnů různé doby opakování na úhrny 60, resp. 1440minutové u stanic s méně podrobnými daty. V obou případech vyšla hodnota 1,13. Tuto shodu označili autoři za náhodu (Hershfield, 1961). Ve studii nicméně není popsán postup, jakým bylo uvedené hodnoty dosaženo. V novějších pracích zabývajících se tématem je také poukazováno na zastaralost použitých dat, na jejich nedostatečnou prostorovou distribuci a na malou délku časových řad, kdy více než polovina z nich byla kratší než 15 let (Huff a Angel, 1992; Faiers et al., 1994). Přesto je tato studie nejcitovanější (Dwyer a Reed, 1995).

3.4 Pozdější výzkum H-faktoru

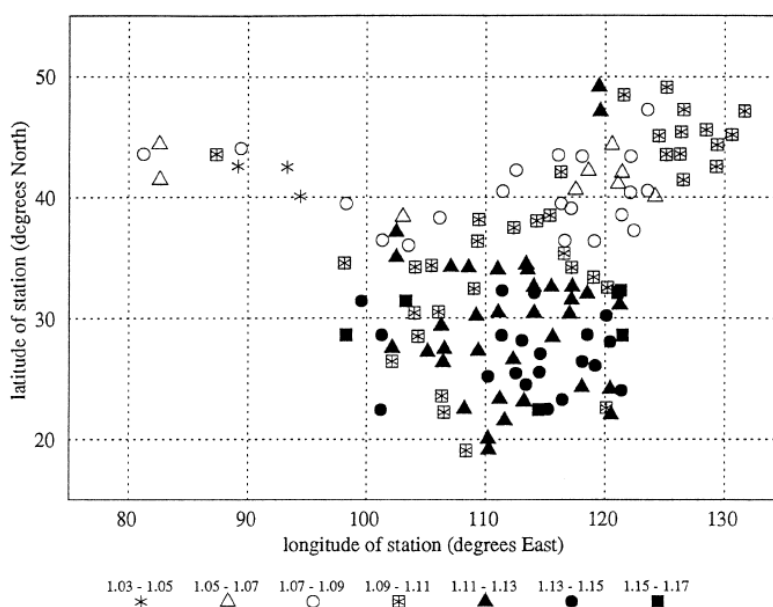
Poté, co D. M. Hershfield zveřejnil své poznatky, byla problematika mnohokrát zkoumána dalšími autory. Některé z jejich závěrů budou na následujících řádcích představeny.

Nedlouho po výzkumu Hershfielda a Wilsona byla publikována studie (Weiss, 1964), v níž byl použit pro výpočet H-faktoru jednoduchý pravděpodobnostní model na základě předpokladu, že poměry fixních a flexibilních úhrnů vykazují náhodné chování. Autor studie došel k hodnotě 1,14.

Další studie z roku 1970 dospěla na základě dat ze 45 stanic na území Pensylvánie k hodnotám H-faktoru 1,12 pro denní, resp. 1,16 pro hodinové úhrny s dobou opakování 2,33 let. Denní úhrny však byly porovnávány s klouzavými 24hodinovými, nikoliv 1440minutovými intervaly, jako tomu bylo v případě Hershfieldovy studie (Kerr et al., 1970). Protože s rostoucím časovým rozlišením se zpřesňuje aproximace skutečného klouzavého maxima, byla by hodnota H-faktoru pro denní úhrny v případě použití dat s minutovým rozlišením místo hodinového o něco vyšší. Výsledky studie ovšem poukazují na již zmíněnou skutečnost, že H-faktor není univerzálně platná jedna hodnota, nýbrž že se liší v závislosti na různých faktorech, v tomto případě na délce měřeného úhrnu (Papalexioiu et al., 2016). Empirický přístup jako v předchozím případě byl použit například také ve studii ze Spojeného království z roku 1975. Na základě dat z 50 stanic byly zjištěny hodnoty H-faktoru 1,11 pro denní a 1,15 pro hodinové úhrny (Papalexioiu et al., 2015).

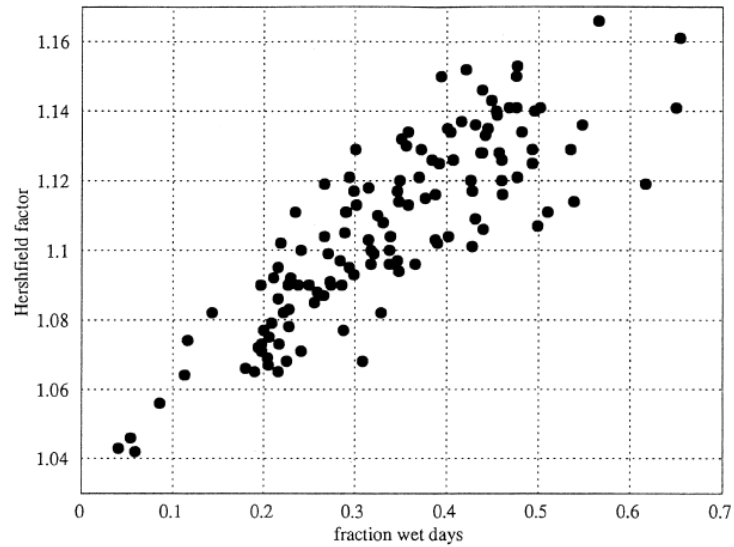
Další studie z roku 1992 potvrdila hodnotu 1,13 pro území amerického středozápadu. Zde šlo o přepočítání úhrnů v kalendářních dnech na úhrny 24hodinové. V případě vícedenních úhrnů se však hodnota H-faktoru výrazně snižovala (1,05 pro 2 denní vs. 48hodinový úhrn a již pouze 1,01 pro 5denní vs. 120hodinový úhrn) (Huff a Angel, 1992). O dva roky pozdější studie více než 20letých řad úhrnů z území Louisiany také dospěla k průměrné hodnotě 1,13 (Faiers et al., 1994).

Významná je rovněž studie dat z Číny publikovaná v roce 1997. Jejím cílem bylo prozkoumat faktory, které ovlivňují výsledné hodnoty H-faktoru pro měsíční maxima denních úhrnů. Jak můžeme totiž vidět na následujícím obrázku (obr. 6), hodnoty H-faktoru jsou v prostoru velmi proměnlivé, nikoliv však náhodně.

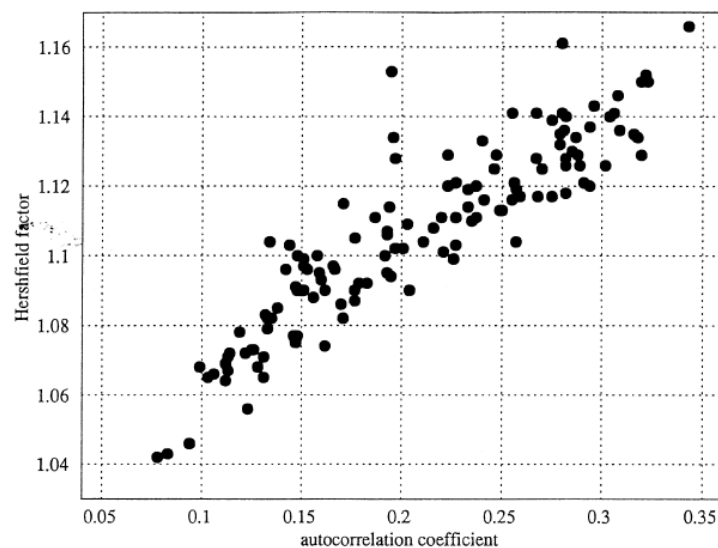


Obr. 6: Průměrné hodnoty H-faktoru měsíčních maxim na různých stanicích v Číně zobrazených v geografické síti (van Montfort, 1997)

Jako vlivy, které prokazatelně utvářejí hodnoty H-faktoru, byly uvedeny jednak autokorelace dat, jednak podíl dní se srážkami. V případě autokorelace je důvodem to, že pokud jsou srážky časově vyrovnanější a mívají delší trvání, snáze přesáhnou hranice fixních intervalů. Důvodem druhého vlivu je pak skutečnost, že čím méně dní se srážkami, tím menší shluky tyto dny tvoří, čímž je pravděpodobnější, že se maximum z klouzavého intervalu bude shodovat s maximum fixním (van Montfort, 1997). Vztahy jsou znázorněny na obr. 7 a obr. 8.



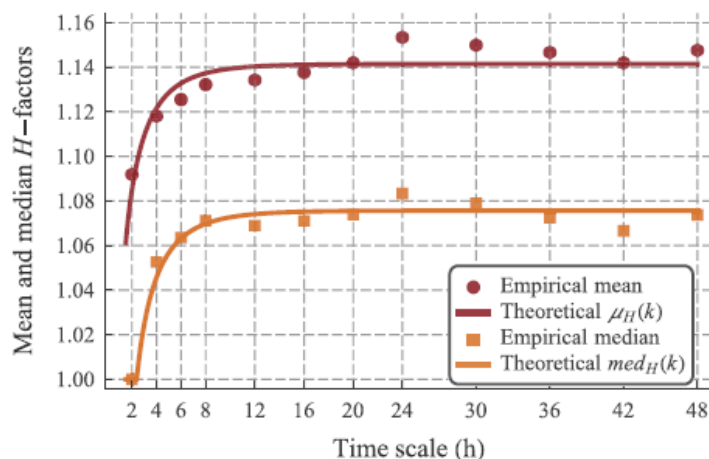
Obr. 7: Vztah mezi podílem dní se srážkami a H-faktorem (van Montfort, 1997)



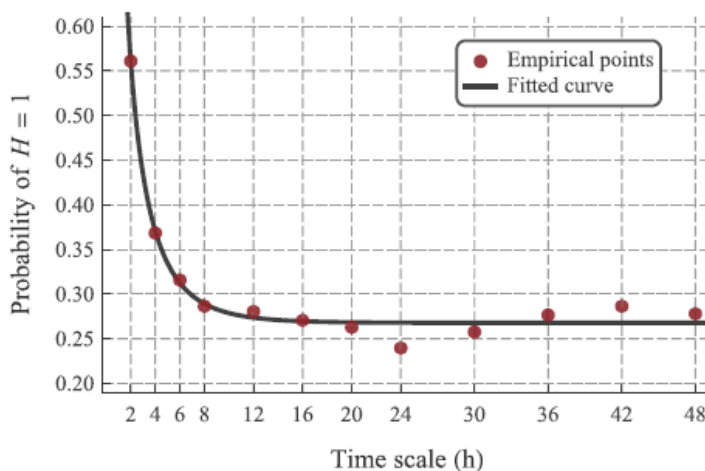
Obr. 8: Vztah mezi autokorelačním koeficientem a H-faktorem (van Montfort, 1997)

Patrně nejnovější studie zabývající se hodnotami H-faktoru byla vydána v roce 2016. Jde zatím o zdaleka nejrozsáhlejší výzkum v rámci problematiky, a to jak co do objemu vstupních dat, tak do komplexnosti přístupu. Studie pracuje s hodinovými úhrny z více než 7000 stanic napříč Spojenými státy americkými, které v součtu dosahují délky téměř 125 tisíc let. Její výsledky lze proto považovat za velmi reprezentativní. Hodnoty H-faktoru jsou ve studii vypočítány pro 2, 4, 8, 12, 16, 20, 24, 30, 36, 42 a 48hodinové fixní úhrny (Papalexiou et al., 2016).

Autoři ve studii předkládají komplexní rozbor problematiky H-faktoru. Například na základě porovnávání měř tvaru (šikmost a špičatost) souborů dat klouzavých a fixních maxim ověřují, zdali je aplikace jedné hodnoty, jakou je H-faktor, na celý soubor dat správná. Téměř nezatelné rozdíly měř tvaru mezi soubory postup obhajují (Papalexiou et al., 2016). Dále autoři rozebírají skutečnost, že často používaná definice H-faktoru jako poměru průměrného klouzavého maxima k průměrnému fixnímu maximu může přinášet zkreslené výsledky, a jako vhodnější uvádějí definici H-faktoru jako průměrné hodnoty dílčích H-faktorů, tedy poměrů jednotlivých dvojic maxim (Papalexiou et al., 2016). Následující grafy (obr. 9 a obr. 10) převzaté ze studie znázorňují vybrané výsledky.



Obr. 9: Průměr (hnědá) a medián (oranžová) hodnot H-faktoru pro různé délky měření a jimi proložené teoretické křivky (Papalexiou et al., 2016)



Obr. 10: Empiricky zjištěné pravděpodobnosti výskytu hodnoty $H = 1$ v dílčích případech pro různé délky měření proložené teoretickou křivkou (Papalexiou et al., 2016)

Při pohledu na předchozí grafy je velmi nápadná odlišnost hodnot krátkých úhrnů od delších. To je způsobeno využitím hodinových úhrnů, a tedy přílišnou relativní diskretizací vstupních dat. Vypovídací hodnota studie pro krátké doby měření je tedy velmi omezená. Autoři se také nezabývali prostorovou a sezónní variabilitou hodnot H-faktoru.

3.5 Výzkum hodnot H-faktoru v České republice

Zatímco v zahraničí, jak je představeno v předchozí kapitole této práce, byla studium hodnot H-faktoru již věnována velká pozornost, v prostředí České republiky jde o problematiku doposud vcelku málo řešenou, ačkoliv rozličné odborné práce existenci rozdílu fixních a klouzavých úhrnů zmiňují a do jisté míry s ním počítají (Bližňák et al., 2017; Kulasová et al., 2014).

V roce 1999 pak byl na základě dat ze 40 stanic z celého území vypočten podíl průměrné klouzavé 24hodinové PMP (pravděpodobná maximální srážka) a fixní 24hodinové (7 – 7 h UTC) PMP. Jeho hodnota činila 1,12 (Řezáčová et al., 1999). Jiné rozsáhlejší analýzy hodnot H-faktoru na českém území však nebyly provedeny.

3.6 Shrnutí poznatků o H-faktoru

V předchozích kapitolách byly shrnuty nejdůležitější poznatky o problematice H-faktoru a jejím výzkumu. Ve stručnosti z výše uvedeného vyplývají následující závěry: Navzdory mírně odlišným výsledkům jednotlivých studií je zřejmé, že se průměrná hodnota H-faktoru pohybuje v blízkosti původně zjištěné hodnoty 1,13. Jedná se ovšem o obecně průměrnou hodnotu, jejíž aplikace může v konkrétních případech vyústit v podstatné chyby. Existují totiž významné rozdíly v hodnotách H-faktoru jak v závislosti na klimatických podmínkách (procento dní s deštěm, rovnoměrnost srážek tj. autokorelace dat, aj.), tak na délce měřeného úhrnu, kdy je patrný pokles hodnoty H-faktoru s rostoucí délkou měření. Tato závislost však není zcela jednoznačná. Velmi důležitá je také skutečnost, že dílčí hodnoty H-faktoru v jednotlivých případech dosahují velmi různorodých hodnot v uzavřeném intervalu od 1 do 2, jakkoliv nejčastější jsou hodnoty blízké či rovny 1. Necelých 10 % případů však vykazuje hodnoty větší než 1,4 (Papalexioiu et al., 2016).

3.7 Další možné vlivy na hodnoty H-faktoru

Kromě uvedených činitelů, které ovlivňují hodnotu H-faktoru, je však třeba počítat i s dalšími, které nebyly ve studiích diskutovány, případně byly jen okrajově zmíněny. Prvním je načasování fixních intervalů měření. Srážky se totiž nevyskytují v čase zcela náhodně, ale podléhají dennímu chodu. To se týká jak srážek z konvektivní oblačnosti, pro jejichž vývoj je klíčová instabilita atmosféry, která je nad pevninou výrazně podporována prohříváním zemského povrchu během dne a maxima dosahuje v odpoledních hodinách, tak i srážek ze stratiformní oblačnosti, které dosahují nejvyšších intenzit v brzkých ranních hodinách z důvodu labilizace horních vrstev oblaků radiačním ochlazováním (Yang a Smith, 2008). Fixní denní úhrny jsou na různých místech odečítány v rozličných časech. V České republice je tímto termínem 6 h UTC (www.chmi.cz). Na jiných místech světa se však hlavní pozorovací termín může lišit. Většinou jde o jiné ranní až dopolední hodiny, ale stejně tak může být předěl denních úhrnů stanoven například na 17 h (Faiers et al., 1994). Je tedy zřejmé, že spolupůsobení umístění fixních termínů v čase a denního chodu srážek může na různých místech světa vyústit v odlišné hodnoty H-faktoru. Denní chod srážek je navíc v závislosti na přírodních podmínkách prostorově velmi variabilní. Například nad oceány je maximální aktivita konvekce během noci (Yang a Smith, 2008). Tento problém se však navíc netýká jen denních úhrnů.

Protože srážky podléhají i ročnímu chodu, je třeba počítat s rozdílnými hodnotami H-faktoru při přepočtu maxim v různých ročních obdobích. Pro názornost si uvedme příklad teoretických hodnot H-faktorů pro maximální denní úhrny v jednotlivých měsících v mírném podnebí. Zde je v letním období za nejvyšší úhrny často zodpovědná mohutná konvekce, k níž dochází v největší míře v odpoledních a večerních hodinách, a naopak v ranních často zcela ustává. V takovém případě se klouzavé maximum velmi dobře či zcela shoduje s maximem fixním. Průměrná hodnota tohoto H-faktoru v letním období by tedy měla být velmi nízká. Naopak v zimě se srážkově významnější konvekce prakticky nevyskytuje a za nejvyšší měsíční úhrny jsou zodpovědné déletrvající srážky ze stratiformní oblačnosti. Protože dosahují průměrně nejvyšší intenzity v ranních hodinách, do nichž bývá stanoven i čas odečtu denních úhrnů, lze předpokládat průměrně vyšší hodnoty H-faktoru.

Denní i roční chod srážek, počet dní se srážkami, míra autokorelace úhrnů a další charakteristiky jsou navíc ovlivněny orografickými vlivy a potažmo tedy i nadmořskou výškou. To vše může vyústit ve výraznou prostorovou variabilitu hodnot H-faktoru. Například maximální frekvence výskytu srážek nastává v České republice v horských oblastech v průměru o dvě hodiny dříve než na zbytku území. Z důvodu rychlejší labilizace troposféry v letním období zde také dříve dochází ke vzniku srážkové konvektivní oblačnosti (Bližňák et al., 2017). Vlivů na hodnoty H-faktoru jistě existuje ještě mnohem více. A zatímco průměrná hodnota je již poměrně dobře prozkoumána, její prostorová a časová variabilita skýtá do budoucna velký studijní potenciál.

4 Vlastní případová studie hodnot H-faktoru

Případová studie, kterou předkládám na následujících řádcích, má především ilustrativní charakter a nejde o plnohodnotnou studii hodnot H-faktoru, i když může být využita jako podnět a podklad k rozsáhlejšímu navazujícímu výzkumu. Důvodem je skutečnost, že jde o analýzu úhrnů pouze z jedné stanice, a její výsledky tak nepřinášejí poznatky o prostorové variabilitě hodnot H-faktoru. Dalším faktorem limitujícím vypovídací hodnotu studie je skutečnost, že využívá krátkou časovou řadu. Také je diskutabilní kvalita použitých dat (viz dále), lepší jsem však neměl k dispozici. Přesto by mělo být možné výsledky studie názorně demonstrovat některé skutečnosti a závislosti zmíněné v předchozí kapitole.

4.1 Data

Jako vstupní data byly použity údaje z automatizované klimatologické stanice Semčice, patřící ČHMÚ, z let 2005 – 2014. V období 1. 1. 2005 – 5. 5. 2010 jde o akumulace s časovým krokem 15 minut a od 5. 5. 2010 do 31. 12. 2014 s krokem 10 minut.

Stanice Semčice byla pro účely práce vybrána z důvodu dostupnosti dat. Lokalita se nalézá na pomezí Turnovské pahorkatiny a Dolnojizerské tabule (234 m n. m.), asi 8,5 km jihovýchodně od Mladé Boleslavi, ve značné vzdálenosti od výraznějších horských celků či větších vodních ploch (Bína a Demek, 2012). Jde tedy o stanici, do jejíhož klimatu se výrazněji nepromítají orografické vlivy, snad až na okraj srážkového stínu Krkonoš při severovýchodním proudění. Vzhledem k převládajícímu proudění z opačného směru a již poměrně značné vzdálenosti od pohoří (cca 60 km) však nejde o významný fenomén (Tolasz, 2007). Hodnoty H-faktoru by tak měly být reprezentativní pro velkou část území ČR.

Je třeba zmínit, že použitá data obsahují chyby a chybějící hodnoty. Z toho důvodu nejsou ve studii zahrnuty úhrny ze srpna a září roku 2008, které prakticky zcela chybějí. Při zpracovávání dat byly také odstraněny nalezené podezřelé hodnoty, jako například 10minutový úhrn přes 20 mm v prosinci. Bohužel však nebylo možné ověřit pravdivost všech údajů, výsledky tedy mohou být zatíženy určitou chybou.

4.2 Metody

Studie má dvě části, z nichž každá využívá odlišný přístup ke kvantifikaci odlišností fixních a klouzavých úhrnů. V obou jsou studovány úhrny o délce 24, 6 a 1 hodiny. Zatímco však v první části jsou zjišťovány poměry 20 nejvyšších klouzavých úhrnů z celého období k jim náležejícím fixním úhrnům, v druhé části jsou hledány poměry mezi nejvyšším klouzavým a fixním úhrnem v každém z měsíců zkoumaného období. První část tedy využívá podobný přístup jako studie U. S. Weather Bureau z roku 1953, zatímco druhá následuje konvenční postup využívaný ve většině pozdějších studií, jehož výsledky jsou označovány jako H-faktor. Striktně vzato tedy hodnoty zjištěné v první studii nejsou H-faktorem. Protože však pro ně neexistuje vžitě označení a v dřívějších kapitolách byly jako H-faktor pro zjednodušení označovány, budou tak nazývány i nadále. Fixní úhrny byly vymezeny hlavními synoptickými termíny (0, 6, 12 a 18 h UTC) a celými hodinami. Obě části studie byly zpracovány pomocí programu MS Excel.

V první části studie (dále „*20 nejvyšších úhrnů*“) bylo z celého zkoumaného období (2005 – 2014) pro každou kategorii (24, 6 a 1hodinové úhrny) nalezeno 20 nejvyšších, navzájem se nepřekrývajících klouzavých úhrnů. Jejich hodnoty byly poté vyděleny hodnotou vyššího z nanejvýš a většinou dvou fixních úhrnů, které se s nimi překrývají. Ze získaných poměrů byl následně pro každou ze tří kategorií vypočítán aritmetický průměr. U každého případu bylo také zaznamenáno datum výskytu pro možnost rozboru distribuce těchto událostí během roku.

Ve druhé části studie (dále „*měsíční maxima*“) byl v každé ze tří kategorií, stejných jako ve studii *20 nejvyšších úhrnů*, nalezen maximální klouzavý a maximální fixní úhrn pro každý měsíc během zkoumaných 10 let (kromě srpna a září 2008, viz výše). Vydělením klouzavého úhrnu fixním byly zjištěny dílčí H-faktory. Z nich pak byl vypočítán aritmetický průměr. Také byly vypočteny průměry maximálních fixních i maximálních klouzavých úhrnů, a teprve z nich vypočítána celková hodnota H-faktoru, aby byly vyzkoušeny oba postupy vedoucí k jeho určení, jak je popsáno ve studii Papalexiou et al. (2016). Rovněž byly vypočítány průměrné hodnoty dílčích H-faktorů pro jednotlivé měsíce v roce.

V jednom případě se klouzavé maximum nacházelo na předělu měsíců. Bylo tedy přiděleno prvnímu měsíci, v němž se nacházelo z větší části. Protože však nemohlo být zároveň přiřazeno měsíci druhému, byl tento měsíc (březen 2008) v příslušné kategorii (24h úhrny) ze studie vyřazen, neboť druhá nejvyšší klouzavá hodnota byla nižší než nejvyšší fixní, což odporuje definici H-faktoru jako hodnotě od 1 do 2.

4.3 Hypotéza

Ačkoliv, jak bylo zmíněno v úvodu kapitoly, mohou být vstupní data mírně zatížena chybami, měly by se výsledky studie shodovat s předpoklady, jež se pokusím zformulovat na následujících řádcích a které vycházejí z poznatků a úvah vyjádřených dříve v této práci.

Na prvním místě je nutné zmínit očekávání, že průměrná hodnota zjištěná ze studie *20 nejvyšších úhrnů* bude vyšší než H-faktor v případě *měsíčních maxim*. A to navzdory poněkud matoucí skutečnosti, že studie U. S. Weather Bureau (1953) přišla s podobnou hodnotou, jako výzkumy využívající postup ze studie *měsíčních maxim*. Důvod pro tento předpoklad je popsán v sekci 3.1. Protože dále zmiňované vlivy platí v obou částech studie, bude už uváděna pouze hypotéza pro *měsíční maxima*, přičemž předpoklady pro *20 nejvyšších úhrnů* budou analogické, pouze s o něco vyššími hodnotami. Zároveň by se výsledky *měsíčních maxim* měly přibližně shodovat s nejčastěji citovanou hodnotou H-faktoru – 1,13. Je ovšem pravděpodobné, že se budou lišit výsledky jednotlivých kategorií (24, 6 a 1hodinový úhrn), a to v obou částech studie.

Teoreticky nejbližší hodnotě 1,13 by měl být H-faktor úhrnů o délce 1 hodiny. Neexistuje totiž něco jako *hodinový chod srážek*, a jejich distribuce by tedy měla být v rámci fixních hodin čistě náhodná. Protože jsou však použita vstupní data s poměrně hrubým časovým rozlišením (15, resp. 10 minut), může být výsledná hodnota o něco nižší, než by byla při použití např. minutových dat. Co se týče variability během roku, lze očekávat nižší hodnoty H-faktoru v teplejší polovině roku, kdy jsou maxima způsobena častěji prudkými přivalovými dešti velmi krátkého trvání v řádu nejvýše desítek minut. Je tedy značně pravděpodobné, že se vyskytnou v rámci jedné hodiny. Naopak zimní maxima se vyskytují spíše během trvalejších dešťů, které mohou trvat i

výrazně déle než jednu hodinu. Proto budou 60minutová maxima snadněji přesahovat jednotlivé hodinové intervaly.

O něco nižší hodnoty H-faktoru by teoreticky mohly být zjištěny v případě 6hodinových úhrnů, a to především v letních měsících díky načasování fixních intervalů. Protože jsou, alespoň v nižších polohách, v létě za nejvyšší úhrny zodpovědné silné konvektivní srážky, které se nejčastěji vyskytují v odpoledních hodinách, měla by být klouzavá maxima v relativně dobré shodě s fixním intervalem 12 – 18 h UTC. Vzhledem ke krátké době trvání přívalových srážek je také obecně pravděpodobnější, že se celá událost vyskytne v rámci jednoho fixního intervalu. Celkovou hodnotu H-faktoru však mohou zvyšovat zimní měsíce díky skutečnosti, že intenzita déletrvajících srážek v průměru vrcholí přibližně v době synoptického termínu 6 h UTC. To by také mohlo vyústit ve výrazný rozdíl v hodnotách H-faktoru mezi zimními a letními měsíci.

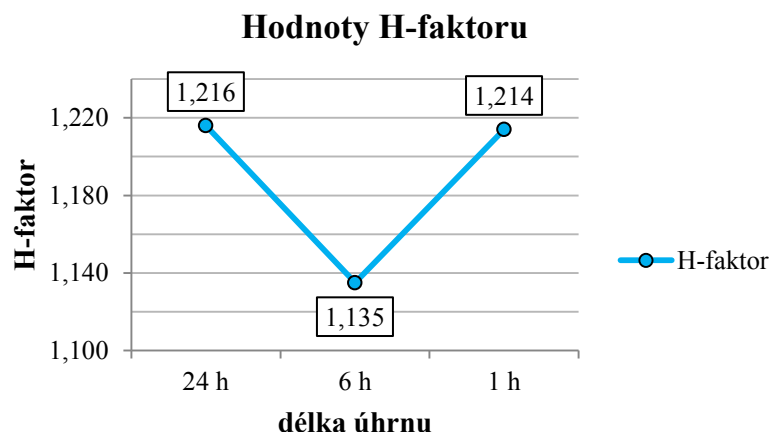
Hodnoty H-faktoru 24hodinových úhrnů by měly být v zásadě ovlivněny stejnými zákonitostmi jako v případě 6hodinových úhrnů. Rozdíl lze hledat snad jediné ve větším zastoupení déletrvajících srážek ze stratiformní oblačnosti v letních maximech, neboť 24hodinové akumulace mohou v tomto případě dosahovat již značně vysokých hodnot. To by tedy mohlo vést v průměru k o něco vyššímu H-faktoru.

V případě 6 a 24hodinových úhrnů je velmi složité odhadnout poměr srážek ze stratiformní a konvektivní oblačnosti mezi maximálními úhrny. V případě vyššího než očekávaného zastoupení trvalejších srážek i během letních měsíců mohou být hodnoty H-faktoru vyšší, než je známá hodnota 1,13.

4.4 Výsledky

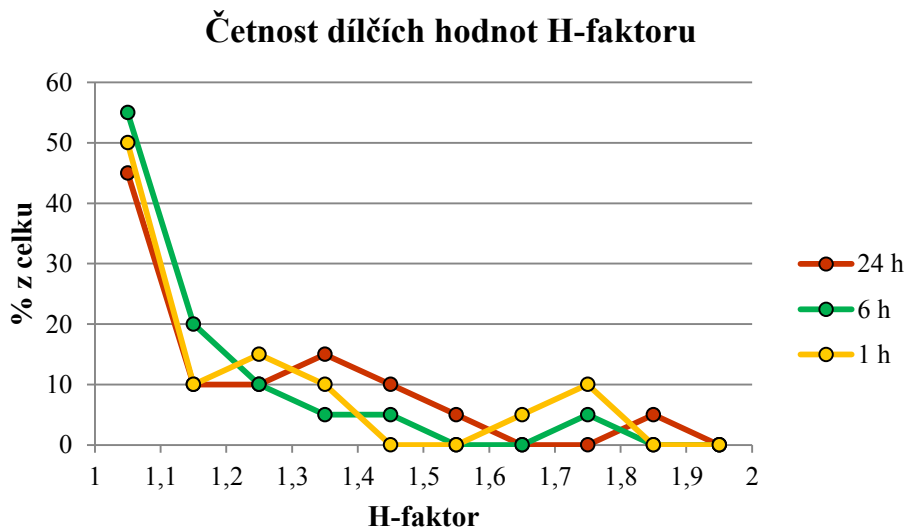
4.4.1 Výsledky studie 20 nejvyšších úhrnů

Průměrné hodnoty H-faktoru vypočtené z dílčích poměrů 20 nejvyšších klouzavých úhrnů a s nimi se překrývajících fixních úhrnů jsou znázorněny v následujícím grafu (obr. 11). Hodnota H-faktoru pro kategorii 6hodinových srážek je výrazně nižší než ve zbývajících dvou případech. Zároveň však koinciduje se známou obecnou hodnotou 1,13.



Obr. 11: Průměrné hodnoty H-faktoru z 20 nejvyšších klouzavých úhrnů v každé z kategorií délky úhrnu

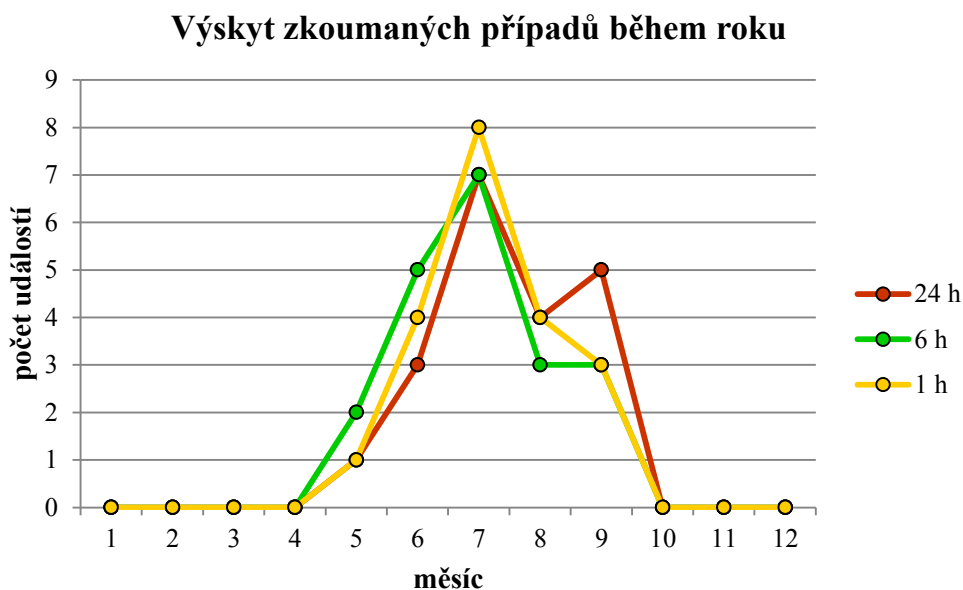
Vysoké hodnoty zjištěné v případě 24 a 1hodinových srážek jsou poměrně zajímavé. Pokud se však podíváme na graf četnosti dílčích hodnot H-faktoru, tedy poměrů dvojic klouzavých a fixních úhrnů (obr. 12), lze je snadno interpretovat (viz Diskuze). Hodnoty v grafu jsou rozděleny do intervalů s krokem 0,1 (1 – 1,1; 1,1 – 1,2; atd.), přičemž jde o intervaly zespondu uzavřené a shora otevřené.



Obr. 12: Graf četnosti dílčích hodnot H-faktoru v jednotlivých kategoriích délky úhrnu

Zajímavou informaci rovněž přináší graf četnosti výskytu zpracovaných srážkových událostí během roku podle měsíců (obr. 13). Je z něj zřejmá skutečnost, že v letní polovině roku (duben – září) se vyskytují výrazně vyšší úhrny než v polovině zimní (říjen – březen). Žádný z 3×20 zkoumaných úhrnů se totiž nevyskytl mimo období

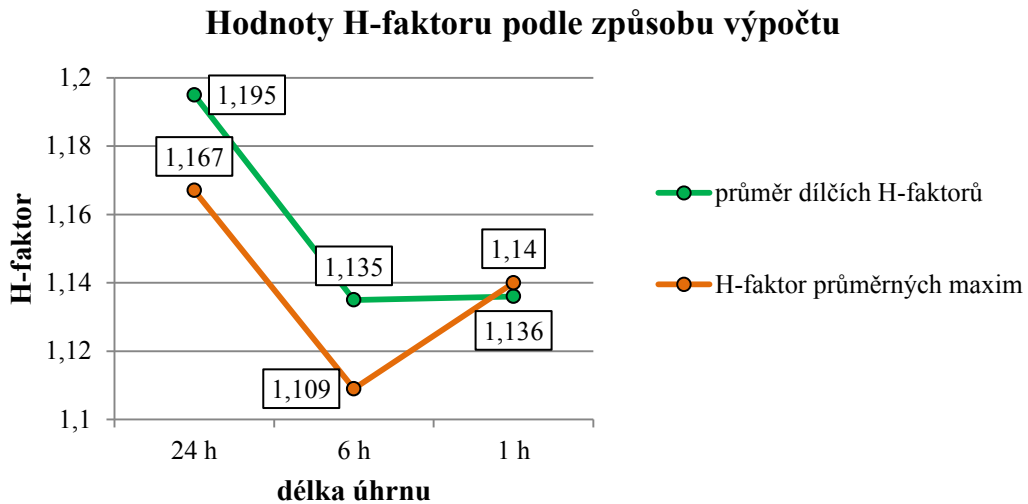
květen – září. Je ovšem nutno podotknout, že jde o pouze 35 samostatných událostí, neboť mnoho z nich přineslo vydatné srážky ve více než jedné kategorii délky měření.



Obr. 13: Graf četnosti výskytu zkoumaných událostí během roku v jednotlivých kategoriích délky úhrnu

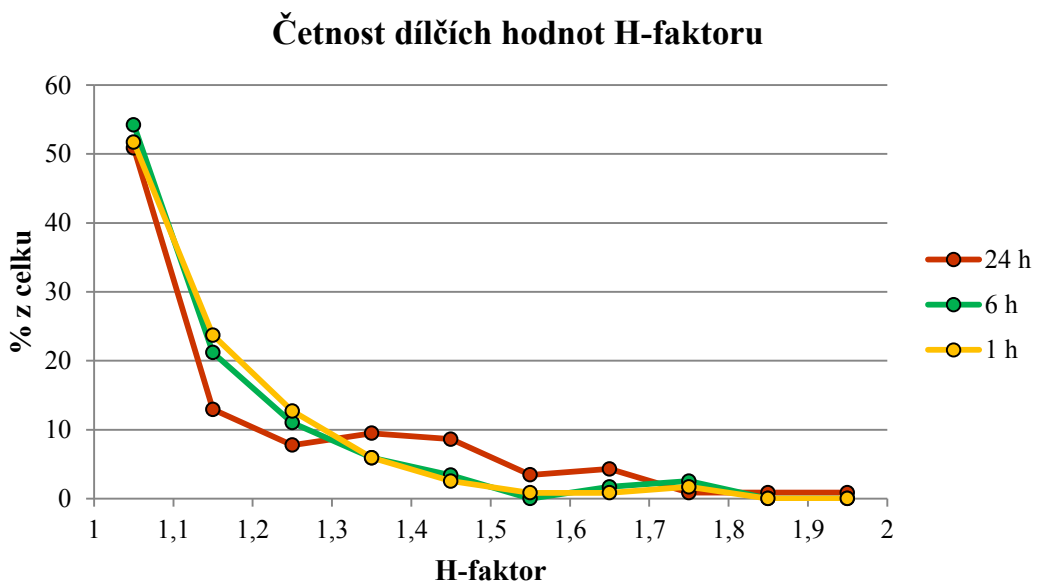
4.4.2 Výsledky studie měsíčních maxim

Druhá část studie spočívala ve výpočtu hodnot H-faktoru z maximální fixních a klouzavých úhrnů každého měsíce ve zkoumaném desetiletém období. Byly přitom využity dva mírně odlišné postupy (viz 4.2). Průměrné hodnoty H-faktoru pro každou z kategorií vypočtené oběma způsoby jsou vykresleny v následujícím grafu (obr. 14).

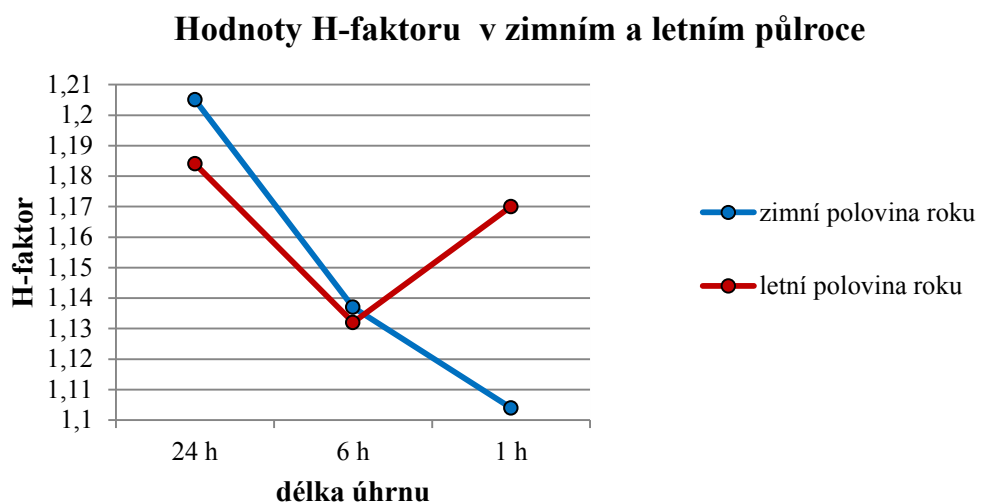


Obr. 14: Hodnoty H-faktoru v jednotlivých kategoriích délky úhrnu podle způsobu výpočtu

Podobně jako ve studii *20 nejvyšších úhrnů*, i zde je pro pozdější interpretaci hodnot H-faktoru důležitý graf četnosti jeho dílčích hodnot (obr. 15). Zároveň je třeba porovnat výsledky pro zimní a letní polovinu roku (obr. 16).



Obr. 15: Graf četnosti dílčích hodnot H-faktoru v jednotlivých kategoriích délky úhrnu



Obr. 16: Hodnoty H-faktoru v zimní (říjen – březen) a letní (duben – září) polovině roku v jednotlivých kategoriích délky úhrnu vypočtené z dílčích H-faktorů dvojic maxim

5 Diskuze

Z výsledků obou částí studie vyplývá několik důležitých skutečností. Je zřejmé, že pro reprezentativnost výsledků je nutný dostatečně velký objem vstupních dat. Jak však vyplývá z grafů četnosti dílčích hodnot H-faktoru, množství dat, se kterými zde předložená studie pracovala, není dostačující a její výsledky jsou tím zřejmě výrazně ovlivněny. Graf četnosti dílčích hodnot H-faktoru by totiž teoreticky měl mít tvar exponenciálního rozdělení (Papalexiou et al., 2016). To, alespoň přibližně, však splňuje pouze část dat v této studii. V případě *20 nejvyšších úhrnů* jde o kategorii 6h úhrnů a ve studii *měsíčních maxim* o úhrny 6 a 1hodinové. Zbytek dat vykazuje příliš vysoké zastoupení vyšších hodnot dílčích H-faktorů, nebo nízké zastoupení hodnot středních a nižších, což se zákonitě projevuje na celkových hodnotách, v nichž tak zaniká případný vliv faktorů uvedených v hypotéze (viz 4.3). Výsledky pro 24 a 1hodinové úhrny ze studie *20 nejvyšších úhrnů* a pro 24hodinové úhrny ze studie *měsíčních maxim* proto nebudou dále diskutovány. Je zřejmé, že pro získání relevantních výsledků bude v budoucnu zapotřebí výrazně většího objemu dat.

V minulém odstavci zmíněná část výsledků, jejichž vstupní data by měla být dostatečně reprezentativní, je nicméně velmi zajímavá. Všechny tři kategorie totiž vykazují průměrnou hodnotu H-faktoru přibližně 1,135, blízkou známé hodnotě 1,13, což poukazuje na její obecnou platnost. Je poněkud překvapivé, že se neliší výsledek pro kategorii 6hodinových úhrnů z obou částí studie, ačkoliv by podle předpokladu uvedeného v hypotéze měla být hodnota H-faktoru ze studie *20 nejvyšších úhrnů* vyšší. Také se nepotvrdila domněnka, že H-faktor 6hodinových úhrnů by měl být nižší než 1hodinových. Zřejmě byl přeceněn vliv načasování odpoledního fixního intervalu vzhledem k dennímu chodu konvekce. To potvrzuje i zcela minimální rozdíl mezi letním a zimním půlrokem.

Velmi překvapivý je rovněž veliký rozdíl mezi letní a zimní polovinou roku v případě 1hodinových úhrnů studie *měsíčních maxim*, který je navíc opačný, než byl očekáván. Vysvětlením však může být opět nerepresentativnost vstupních dat, neboť jsou obě hodnoty vytvořeny jen z polovičního množství údajů než celek.

Také je třeba zmínit rozdíly ve výsledcích studie *měsíčních maxim* podle zvolené metody výpočtu. V případě výpočtu H-faktoru z průměru maxim roste jejich váha spolu

s absolutní výší úhrnu. Vzhledem k průměrně vyšším úhrnům v letním půlroce je tak vliv těchto měsíců na celkovou hodnotu H-faktoru určující. To je dobře vidět na zjištěném rozdílu dílčích H-faktorů mezi letním a zimním půlrokem v kategorii 6hodinových úhrnů, který je minimální. V průběhu sledovaného období se však během léta vyskytlo několik případů velmi vysokých úhrnů, které zároveň měly dílčí H-faktor blízký či rovný 1. To zřejmě v této kategorii způsobilo nižší hodnoty H faktoru z průměrných maxim. Minimální rozdíl mezi výsledky obou přístupů v případě 1hodinových dat je pak způsoben již zmíněným výrazně vyšším průměrem H-faktoru v této kategorii v letní polovině roku než v zimní.

Závěrem diskuze bych rád uvedl jednu doposud nezmiňovanou proměnnou, která se zřejmě také výrazně promítá do dílčích hodnot H-faktoru a může částečně vysvětlit prostorovou i časovou variabilitu jeho průměrných hodnot. Jde o poměr doby trvání srážek a délky fixního intervalu měření. Pro zjednodušení předpokládejme srážky konstantní intenzity. V případě stejné délky trvání srážek i délky fixního úhrnu, pro niž zjišťujeme hodnotu H-faktoru (např. 1 h), je stejně pravděpodobný výskyt všech teoreticky možných hodnot, tedy těch, které náležejí do uzavřeného intervalu od 1 do 2. Se zkracující se dobou trvání srážek roste pravděpodobnost, že se celá událost vyskytne uvnitř fixního intervalu, a proto výrazně narůstá pravděpodobnost výskytu nejnižších hodnot H-faktoru a klesá pravděpodobnost výskytu hodnot vysokých, přičemž modem bude vždy hodnota 1. V případě rostoucí doby trvání bude rovněž růst pravděpodobnost výskytu nízkých hodnot H-faktoru. Zároveň s tím bude i zde klesat pravděpodobnost výskytu hodnot vysokých. Ta však bude, na rozdíl od předchozího případu, klesat až k nule, počínaje hodnotou 2 při poměru trvání srážek k délce fixního intervalu většímu než 1. Od dvojnásobné délky trvání srážek se pak již nemůže vyskytovat jiná hodnota H-faktoru než 1.

Intenzita reálných srážek samozřejmě není konstantní. Uvedená aproximace však dokazuje, že i doba trvání srážek je důležitou proměnnou určující hodnotu H-faktoru. Je možné, že její vliv je zodpovědný za rozdíl H-faktoru v letní a zimní polovině roku ve studii *měsíčních maxim*. Ta se totiž v zimním období velmi často vyskytují při déletrvajících srážkách (v řádu hodin). Naopak v létě jsou obvykle způsobena intenzivními přivalovými srážkami s dobou trvání kolem jedné hodiny. Budoucí výzkum by měl k tomuto vlivu přihlédnout.

6 Závěr

Odlišnost fixních a klouzavých srážkových úhrnů dosahuje v průměru jistých hodnot. Ty bývají standardně vyjádřeny tzv. Hershfieldovým faktorem, jenž je koeficientem určeným k přepočtu souboru úhrnů fixních na soubor úhrnů klouzavých. Nejde jej ovšem využít k přepočtu jednotlivých úhrnů, neboť dílčí poměry fixních a klouzavých úhrnů dosahují velmi rozličných hodnot v uzavřeném intervalu od 1 do 2.

V zahraničních studiích nejčastěji uváděnou hodnotou H-faktoru je 1,13 a ani jiné výsledky od ní nejsou příliš vzdáleny. Jde o jakousi univerzální průměrnou hodnotu, jejíž platnost byla několikrát ověřena. K prakticky totožným hodnotám došla i studie předložená v této práci. Z teoretických předpokladů i empirických dat však vyplývá skutečnost, že hodnoty H-faktoru vykazují variabilitu v závislosti na klimatických podmínkách, ročním období, délce měřeného úhrnu, způsobu výpočtu, poměru trvání srážek a délky měřeného úhrnu a jistě i na dalších, doposud neznámých činitelích. Ačkoliv byly tyto závislosti zkoumány dílčími studiemi, nebyly doposud v úplnosti systematicky popsány.

Problematika Hershfieldova faktoru tak skýtá veliký potenciál pro budoucí výzkum. Znalost jeho skutečných a přesných hodnot je přitom důležitá pro kvalitní poznání srážkových poměrů a z toho plynoucí schopnost lépe se připravit na extrémní srážkové situace. V případě České republiky je ovšem výzkum H-faktoru na samém počátku a správné určení jeho hodnot na různých místech českého území je velkou výzvou.

7 Zdroje

Literatura

Bína, J., Demek, J., 2012: Z nížin do hor: geomorfologické jednotky České republiky. Academia, Praha. ISBN: 978-80-200-2026-0.

Bližňák, V., Kašpar, M., Müller, M., 2017: Radar-based summer precipitation climatology of the Czech Republic. *International Journal of Climatology*, submitted.

Dwyer, I.J., Reed, D. W., 1995: Allowance for discretization in hydrological and environmental risk estimation. Institute of Hydrology, Wallingford. ISBN: 09-485-4067-2.

Faiers, G. E., Grymes III, J. M., Keim, B. D., Muller, R. A., 1994: A Reexamination of Extreme 24-hour Rainfall in Louisiana, USA. *Climate Research*, **4**, 25–31.

Hershfield, D. M., 1961: Technical paper No. 40: Rainfall frequency atlas of the United States. Department of Commerce, Weather bureau, Washington, D.C.

Huff, F. A., Angel, J. R., 1992: Rainfall Frequency Atlas of the Midwest. Illinois State Water Survey, Champaign, Bulletin 71.

Kerr, R. L., McGinnis, D. F., Reich, B. M., Rachford, T. M., 1970: Analysis of Rainfall-Duration-Frequency for Pennsylvania. Institute for Research on Land and Water Resources, The Pennsylvania State University, Research Publication No. 70.

Kulasová, B., Šercl, P., Boháč, M. (eds.), 2014: Projekt QD1368 - Verifikace metod odvození hydrologických podkladů pro posuzování bezpečnosti vodních děl za povodní. Závěrečná zpráva. ČHMÚ.

Lanza, L., Leroy, M., Alexandropoulos, C., Stagi, L., Wauben, W., 2005: WMO Laboratory Intercomparison of Rainfall Intensity Gauges. Final report. [online]. [cit. 2017-04-28]. Dostupné z: https://www.wmo.int/pages/prog/www/IMOP/reports/2003-2007/RI-IC_Final_Report.pdf.

- van Montfort, M. A. J., 1997: Concomitants of the Hershfield factor. *Journal of Hydrology*, **194**, 357-365.
- Papalexiou, S. M., Dialynas, Y. G., Grimaldi, S., 2015: Explorations on the Hershfield Factor. European Geosciences Union, General Assembly, Vídeň.
- Papalexiou, S. M., Dialynas, Y. G., Grimaldi, S., 2016: Hershfield factor revisited: Correcting annual maximum precipitation. *Journal of Hydrology*, **542**, 884–895.
- Řezáčová, D., Fišer, O., Pešice, P., Sokol, Z., Štekl, J., 1999: Vývoj metod pro stanovení pravděpodobné maximální srážky. Závěrečná zpráva za rok 1999. Ústav fyziky atmosféry AV ČR.
- Řezáčová, D., Pešice, P., Sokol, Z., 2005: An estimation of the probable maximum precipitation for river basins in the Czech Republic. *Atmospheric Research*, **77**, 407-421.
- Strangeways, I., 2010: *Precipitation: theory, measurement and distribution*. Cambridge University Press, New York. ISBN 978-0-521-17292-9.
- Teegavarapu, R. S. V., 2012: *Floods in a changing climate*. Cambridge University Press, New York. ISBN 978-1-107-01878-5.
- Tolasz, R. (ed.), 2007: *Atlas podnebí Česka*. ČHMÚ, Praha. ISBN 978-80-86690-26-1.
- U. S. Weather Bureau, 1953: *Rainfall Intensities for Local Drainage Design in the United States*. U. S. Weather Bureau, Cooperative studies section, Hydrologic services division, Washington, D. C.
- Weiss, L. L., 1964: Ratio of True to Fixed-Interval Maximum Rainfall. *Journal of the Hydraulics Division*, **90** (1), 77-82.
- Yang, S., Smith, E. A., 2008: Convective–Stratiform Precipitation Variability at Seasonal Scale from 8 Yr of TRMM Observations: Implications for Multiple Modes of Diurnal Variability. *Journal of Climate*, **21**, 4087–4114.

Internetové zdroje

<http://wmo1.asu.edu/world-greatest-one-minute-rainfall>. Arizona State University. [cit. 2017-05-08].

<http://www.chmi.cz>. Český hydrometeorologický ústav. [cit. 2017-04-28].