

Česká zemědělská universita
v Praze

Fakulta Životního prostředí
Katedra vodního hospodářství



Interpolace bodových měření
srážkových dat
Bakalářská práce

Vedoucí práce: doc. Ing. Petr Máca,
Ph.D.

Bakalant: Denisa Doležalová
Praha, 2016

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Denisa Doležalová

Vodní hospodářství

Název práce

Interpolace bodových měření srážkových dat

Název anglicky

Interpolation of point rainfall data

Cíle práce

Sestavte přehled nejnovějších postupů používaných pro interpolaci srážkových dat.

Metodika

Zaměřte se na lokální interpolační postupy: IDW, vážené průměry, globální interpolační postupy: geostatistické metody. Interpolační postupy popište a porovnejte jejich výhody a možnosti použití.

Doporučený rozsah práce

déšť, interpolace, kriging, IDW

Klíčová slova

rainfall, interpolation, kriging, IDW

Doporučené zdroje informací

- Krajewski WF, Ciach GJ, Habib E (2003) An analysis of small-scale rainfall variability in different climatic regimes. *Hydrolog Sci J* 48(2):151-162, DOI 10.1623/hysj.48.2.151.44694
- Stepánek P, Zahradníček P, Huth R (2011) Interpolation techniques used for data quality control and calculation of technical series: an example of a Central European daily time series. *Q J Hung Meteorol Soc* 115(1-2):87-98
- SVOBODA, V. – MÁČA, P. – HANEL, M. – PECH, P. Spatial correlation structure of monthly rainfall at a mesoscale region of north-eastern Bohemia. *Theoretical and Applied Climatology*, 2015, roč. 121, č. 1-2, s. 359-375. ISSN: 0177-798X.
- Tabios GQ, Salas JD (1985) A comparative analysis of techniques for spatial interpolation of precipitation. *J Am Water Resour Assoc* 21(3):365-380, DOI 10.1111/j.1752-1688.1985.tb00147.x
-

Předběžný termín obhajoby

2015/16 LS – FŽP

Vedoucí práce

doc. Ing. Petr Máča, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování

Elektronicky schváleno dne 23. 3. 2016

prof. Ing. Pavel Pech, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 24. 3. 2016

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 03. 04. 2016

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Interpolace bodových měření srážkových dat“ vypracovala samostatně s použitím zde uvedených zdrojů a na základě konzultace s vedoucím bakalářské práce.

V Roudnici nad Labem dne 12. 4. 2016

Denisa Doležalová

Poděkování

Ráda bych na tomto místě poděkovala svému vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Petru Máčovi, Ph.D. za odborné vedení bakalářské práce a za jeho připomínky. Také bych ráda poděkovala své rodině za jejich podporu při studiu.

Abstract

This thesis is about the problematics of interpolation of point rainfall data. The main idea is to describe and evaluate interpolation methods using professional literature. Czech as well as foreign professional literature has been used for this thesis.

Key words: Rainfall, interpolation, IDW, Kriging

Abstrakt

Tato bakalářská práce se věnuje problematice Interpolace bodových měření srážkových dat. Hlavní myšlenkou této práce je popsat a vyhodnotit interpolační metody, a to pomocí odborné literatury. Pro tuto bakalářskou práci byla použita odborná česká i zahraniční literatura.

Klíčová slova: srážky, interpolace, IDW, Kriging

Obsah

1. Úvod.....	9
2. Cíle práce.....	10
3. Srážky	11
3.1 Vznik srážek:.....	11
3.2 Dělení srážek:	11
3.3 Druhy srážek:	12
3.3.1 Horizontální.....	12
3.3.2 Vertikální	12
3.5 Srážky v České republice	14
4. Měření srážek.....	15
4.1 Bodové měření srážek:.....	16
4.1.1 Srážkoměry.....	16
4.2 Měření sněhových srážek	17
4.3 Síť srážkoměrných stanic v České republice	18
5. Časové a plošné rozdělení srážek	19
5.1. Časové rozdělení	19
5.2 Plošné rozdělení srážek.....	19
6. Určení srážkové výšky na povodí	20
7. Interpoláční metody.....	21
7.1 Aritmetick� průměr	21
7.2 Metoda izohyet	22
7.3 Thiessenovy polygony	25
7.3.1 Konstrukce Thiessenových polygonů	26
7.5 IDW	31
7.6 Optimální interpolace	32
7.7 Spline.....	35
7.8 Krigning	36
7.8.1 Variabilita	37
7.8.2 Variogram.....	37
7.8.3 Empirick� variogram	38
7.8.4 Teoretick� variogram	39
7.8.5 Prolo�en� teoretického variogramu	39
7.8.6 Odhad vah a sr�zek	40
8. Interpol�chn� metody pou�ivan� v České republice	42

9. Závěr.....	44
10. Přehled literatury a použitých zdrojů	45
10.1 Knihy	45
10.2 Internetové zdroje:	46
11. Seznam obrázků a tabulek	47
12. Přílohy	48
12.1 Příloha č. 1.....	48
12.2 Příloha č. 2.....	52
12. 3 Příloha č. 3.....	53

1. Úvod

Hydrologický cyklus je v dnešní době velmi důležitý, pro mnoho lidských činností a znalosti hydrologických procesů. Velkou roli hraje hydrologický cyklus zejména v oblastech řešení povodní, hospodaření s pitnou vodou, zajištění kvality vody a mnoho dalších. Z toho důvodu je nutné získávat stále lepší informace o koloběhu vody v přírodě. Touto problematikou se zabývá inženýrská hydrologie.

Inženýrská hydrologie má dvě možnosti, jak postupovat při získávání informací o srážkách a jejich vlivu na krajinu. Jedním ze způsobů je pozorování. S tímto postupem se v praxi příliš nesetkáváme, a pokud je tento způsob využívám, tak je zpravidla doplněn ještě druhým způsobem získávání informací, a tím je hydrologické modelování.

Jedním z významných činitelů hydrologického cyklu jsou srážky. Jeden z hlavních problémů, které se v inženýrské hydrologii vyskytují je odhad srážek v daném místě. A to hlavně proto, že v daném místě není srážkoměrná stanice, anebo chybí část dat. Tato chybějící data se dají dopočítat pomocí interpolačních metod z okolních dat, která jsou naměřena v srážkoměrných stanicích.

V dnešní době máme velké množství interpolačních metod, které se pro dopočítávání srážkových dat používají. Volba technik závisí na spoustě faktorů.

Asi jedním z nepřesnějších interpolačních metod je Kriging. Tato metoda se skládá z několika dílčích kroků, které mají několik variant řešení, které vedou k lepšímu a přesnějšímu odhadu srážkových dat.

Cílem této práce je popsat některé z interpolačních metod, zjistit, které z nich jsou nejpresnější, a které jsou nejvyužívanější. Dále se tato práce zabývá tím, jaké interpolační metody jsou využívány v České republice.

2. Cíle práce

Sestavit přehled nejnovějších postupů používaných pro interpolaci srážkových dat.

3. Srážky

Atmosférické srážky neboli hydrometeory vznikají ve vzduchu pomocí kondenzace par, které vzduch obsahuje. Tento jev probíhá převážně v atmosféře, ale může probíhat také na povrchu rostlin nebo země (Pokorná, Zábranská, 2007).

Srážky jsou vody, které se uvolňují z atmosféry a spadnou na zem. Mohou být v jakémkoliv skupenství nebo formě (Fry & Co., 2010).

3.1 Vznik srážek:

Při změně teploty a tlaku vzduchu se vzduch nasycuje vodními parami. Když se vzduch nasytí, tak začnou vodní páry kondenzovat okolo jader, kterými mohou být například soli mořské vody, pyl, jílové materiály a mnoho dalších. Kapky, které při kondenzaci vznikají se pomocí pohybu a teploty vzduchu udržují v ovzduší. Kapky postupně narůstají a poté padají na zem. Když kondenzace probíhá při teplotách nižších než 0°C, tak může voda krystalizovat na tuhé skupenství a tím vzniká sníh. Rychlou kondenzací vodních kapek se tvoří kapky větších velikostí a vzniká prudký déšť. Vznik krup nebo krup je způsoben průchodem částic ledu ovzduším a jejich rychlým zvětšováním (Šilar, 1996).

3.2 Dělení srážek:

Srážky dělíme podle několika parametrů. Jedním z parametrů je dělení podle skupenství. Dle skupenství se srážky dělí na kapalné (např. déšť) a pevné srážky (např. kroupy).

Dalším parametrem je dělení dle způsobu a místa vzniku srážek. Dělíme je na padající neboli vertikální nebo na usazené neboli horizontální.

Vertikální srážky vznikají v atmosféře a patří mezi ně například mrholení, déšť, sníh, kroupy, sněhové krupky a ledové jehličky.

Horizontální srážky jsou takové srážky, které vznikají kondenzací vodních par a vznikají na zemském povrchu, rostlinách, apod. Mezi tyto srážky se řadí například rosa, jinovatka, ledovka apod.

Dále dělíme srážky také podle délky výskytu. Jsou to trvalé a občasné srážky a přeháňky (Munzar, 1941).

3.3 Druhy srážek:

3.3.1 Horizontální

Rosa: je to forma srážky, která je usazena na zemském povrchu, rostlinách, apod. v podobě malých kapiček. Rosa vzniká poklesem teploty pod teplotu rosného bodu. Nejčastěji se rosa vyskytuje ve večerních nebo nočních hodinách a to převážně v teplých ročních obdobích. Jedním druhem rosy je i zmrzlá rosa, která je ze zmrzlých kapek rosy a tvoří bílou usazeninu.

Jíní: neboli šedý mráz. Jíní vzniká podobně jako rosa. Jíní tedy vzniká krystalizací z plynného stavu, ale teplota musí být pod bodem mrazu. Usazuje se na stéblech trávy nebo na rovných plochách. Neusazují se naopak například na drátech nebo stromech.

Jinovatka: vzniká podobně jako rosa jen je nutná teplota minimálně -8°C . Má krystalickou strukturu, která je na první pohled zřetelná. Jinovatka vzniká při velkých mrazech a usazuje se na stromech, předmětech, apod.

Námraza: vzniká při nízkých teplotách okolo -2°C až -10°C a to především, když je mlha. Usazuje se na zemském povrchu, předmětech stromech apod.

Ledovka: je to průhledný a souvislý usazený led na zemském povrchu. Vzniká, když za deště nebo při mrholení přimrzají přechlazené kapky vody na zemský povrch, stromy, předměty, apod. Povrch musí být mírně pod bodem mrazu.

Náledí a zmrázky: vzniká na povrchu, který má teplotu nižší než 0°C . Ledová vrstva, která se tvoří na povrchu země a věcí, vzniká buď deštěm, nebo mrholením, které dopadne na povrch, který má teplotu pod bodem mrazu (Pokorná, Zábranská 2008).

3.3.2 Vertikální

Mlha: Vzniká ochlazením vlhkého vzduchu na rosný bod, vodní pára kondenzuje do kapiček. Méně častým jevem je vypařování z vodní hladiny do vzduchu. Abychom mohli mluvit o mlze, musí být viditelnost snížena na menší vzdálenost, než je 1 000 m v jednom směru (Pokorná, Zábranská 2008).

Děšť: vzniká v oblaku, kde kapky postupně narůstají, až jsou příliš těžkými, aby je vzestupné proudy udržely. V základně oblaku se kapky uvolní a padají na zem ve formě deště (Fry & Co., 2010). O dešti hovoříme, pokud z oblaků vypadávají kapky o průměru, který je větší než 0,5mm, ale maximálně 7mm. O děšť se může jednat i

v případě, že jsou kapky menší než 0,5mm, ale intenzita těchto kapek je větší (Pokorná, Zábranská 2008).

Děšť můžeme rozdělit podle několika hledisek. Jedním z nich je dělení podle velikosti kapek deště. Dělí se na:

Mrholení (velikost kapek < 0,5 mm s intenzitou < 1,25 mm/hod),

Mírný déšť (velikost kapek > 0,5mm s intenzitou > 2,5 mm/hod),

Střední déšť (velikost kapek > 0,5 mm s intenzitou > 2,5 – 7,6 mm/hod),

Silný déšť (velikost kapek > 0,5 mm s intenzitou > 7,6 – 15 mm/hod),

Přivalový déšť (velikost kapek > 0,5mm s intenzitou > 15mm/hod), (Fry & Co., 2010).

Dalším hlediskem jak se můžeme déšť rozdělit je rozdělení podle okolností, za jakých déšť vznikl. Dělí se na:

Děšť z tepla – tyto deště mají velkou intenzitu a zasahují z pravidla menší plochy. Vznikají tehdy, když se vlhký vzduch ohřeje o zemský povrch, následně vystoupá do vyšších vrstev atmosféry. V atmosféře je za krátkou dobu dosaženo rosného bodu. Poté dojde k narůstání vodních kapek, až dosáhnou potřebné hmotnosti k tomu, aby spadly na zemský povrch.

Orografické deště – mají menší intenzitu než deště z tepla a patří mezi vytrvalé srážky.

Cyklonální deště – tento typ deště má nižší intenzity, ale je naopak vytrvalý a zasahuje větší území. Vznikají při postupování tlakové deprese neboli cyklonu (Pokorná, Zábranská 2008).

Sníh: řadí se mezi pevné srážky. Vzniká narůstáním ledových krystalků v oblacích. Sněhové vločky se uvolní, když jsou příliš těžké na to, aby je v oblacích udrželo vzestupné proudění (Fry & Co., 2010).

Sněhové krupky: jsou to měkká, kulová zrna, která mají průměr od 2mm do 5mm. Jsou neprůhledná a vznikají, když jsou teplotu nižší než 0°C. Po dopadu na zem se tato zrna roztříští.

Mrznoucí déšť: jsou to buď zmrzlé kapky deště, nebo již dříve roztáté sněhové vločky. Jsou to ledová zrna, která mají průměr okolo 5 mm (Pokorná, Zábranská 2008). Mrznoucí déšť a kroupy jsou tvořeny v atmosféře. V atmosféře jsou

nad sebou pásy teplého vzduchu a vzduchu, který má teplotu pod bodem mrazu. Na zemský povrch dopadá, pokud je zde teplota pod bodem mrazu (Fry & Co., 2010).

Kroupy: jsou stejně jako mrznoucí déšť tvořeny v atmosféře. Na zemský povrch dopadají, i pokud je zde teplota vyšší než 0°C. (Fry & Co., 2010). Padají z bouřkových mraků a jen v přeháňkách. Kroupy jsou kuličky ledu, které dosahují průměru od 5mm až do 50mm (Pokorná, Záborská 2008).

Vertikální srážky se vyskytují samostatně, v přeháňkách nebo smíšeně. Jako například déšť se sněhem apod. (Pokorná, Záborská 2008).

3.5 Srážky v České republice

Česká republika se nachází v oblasti hlavního evropského rozvodí. Atmosférické srážky jsou jedním z hlavních zdrojů vody v České republice. V České republice jsou srážky typické svou prostorovou a časovou proměnlivostí. V období od října do března jsou srážky především s menší intenzitou a s delším trváním. Naopak v měsících od dubna do září jsou zde srážky s větší intenzitou a krátkodobým trváním (Tolasz, 1964).

Na meteorologických stanicích se zaznamenává množství srážek, ale také druh srážek, dobu trvání srážek a také jejich intenzitu. Intenzita srážek je udávána v milimetrech za minutu anebo za hodinu. Zjišťuje se ombrografem nebo srážkoměrem a následným vyhodnocením grafického záznamu závislém na čase. V dnešní době roste distanční odhad intenzity srážek, pro které se používají data s radarů a družic. Množství srážek se zjišťuje pomocí pozorovatele, který musí odvádět kvalitní práci z důvodu pečlivého zaznamenávání i malých srážkových úhrnů horizontálního charakteru, jako je například rosa (Tolasz, 1964).

3.5.1 Průměrný roční úhrn srážek v České republice:

Průměrný roční úhrn srážek, který je vyobrazen na mapách v příloze č. 1 byl sestavený ČHMÚ Praha, interpolací podle metody Petra Šercla. Jedná se o průměrný sezonní úhrn srážek pro každé roční období v ČR „*Výsledná mapa prostorového rozložení srážkových úhrnů byla stanovena jako vážený průměr úhrnů měřených a vypočtených, přičemž váhovým koeficientem byla hodnota koeficientu determinace.*“ (Tolasz, 1964).

V České republice se roční úhrn srážek pohybuje od 410 mm do 1 700mm. Na našem území převažují srážky v letním období, což je od dubna do září. V tomto

období spadne na naše území až 2/3 srážek z celoročního srážkového úhrnu. (Pokorná, Zábranská 2008). Průměrný úhrn srážek v letním období je znázornění na mapě v příloze č. 2.

4. Měření srážek

Pro měření srážek máme dva druhy srážkových dat, bodová a prostorová data. Přístroje, které se používají pro získání bodových dat, se nazývají srážkoměry a totalizátory. Prostorová data lze získat dvěma způsoby měření a to pomocí radarů, anebo družic (Máca, 2014).

Tam, kde není možné získat data pomocí měření, musíme využít metodu odhadů srážkových dat. K tomuto odhadu slouží interpolační metody pro plošné rozdělení srážek (Máca, 2014).

Druhů interpolačních metod je velké množství, nejpoužívanější interpolační metody jsou například: Aritmetický průměr, Thiessenovy polygony, Optimální interpolace, Spline (metoda minimální křivosti), IDW (metoda inverzních vzdáleností), Kriging (geostatistické metody), (Máca, 2014).

U srážek se musíme sledovat různé parametry (doba trvání, úhrn, intenzitu,...), abychom si mohli udělat obraz například o plošném rozložení srážek, atd. Pojem srážková výška se udává množství srážek, jež je definovaná jako vrstva vody v milimetrech, která je vytvořena z deště, na určité ploše a bez odtoku, vsaku nebo výparu. Srážkový úhrn jsou srážky, které spadly v jednom určitém bodě. Další charakteristikou deště je například jeho intenzita, která se vyjadřuje v milimetrech za minutu (Kemel, Kovář, 1980).

Srážky se měří pomocí sítí srážkoměrných stanic. Abychom získali co nejpřesnější hodnoty srážek, je nutné, aby síť stanic byla správně navržena a hlavně byla dostatečně hustá (Pokorná, Zábranská, 2008).

Přístroje, které jsou umístěny ve srážkoměrných stanicích, se nazývají srážkoměry neboli ombrometry nebo také zapisující dešťoměr neboli ombrograf. Dalším přístrojem umístěným ve srážkoměrných stanicích jsou totalizátory. Totalizátory se umísťují na těžko dostupných místech, aby se data mohla zachycovat po delší období (Kemel, 1996).

4.1 Bodové měření srážek:

4.1.1 Srážkoměry

Přístrojem, který se nazývá srážkoměr, se měří výška srážek. Jedná se o plechovou nádobu, která má tvar válce. Do této nádoby je shora nasazena nálevka, která zachycuje srážky. Zachycená voda stéká na dno plechového válce, kde je umístěna nádoba. Srážkoměr musí být umístěn na volném prostranství, kde není větrno ani srážkový stín. Záchytná plocha musí být umístěna 1m nad zemí. Data se vyhodnocují každý den v ranních hodinách. Srážky spadlé do nádoby se přelijí do kalibrované nádoby a určí se úhrn srážek s přesností na desetiny milimetru. V České republice se používají srážkoměry, které mají záchytnou plochu o velikosti 500 cm² (Šilar, 1996)

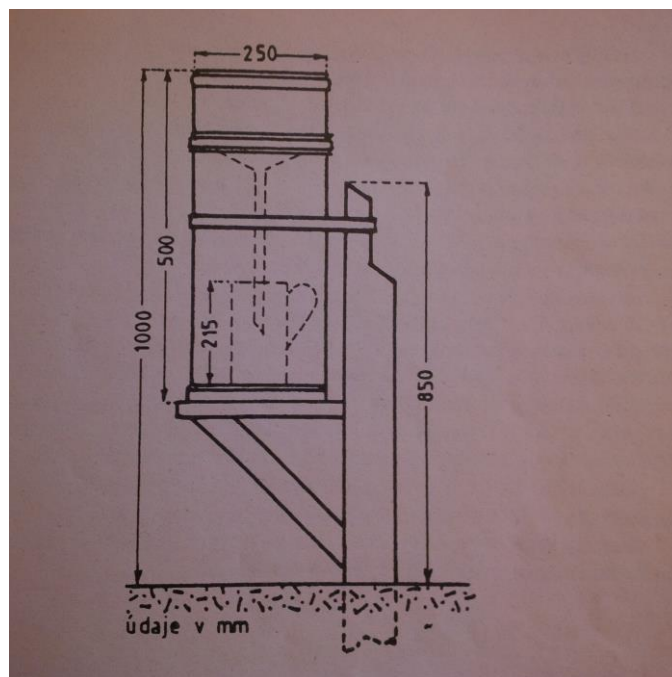
Srážkoměry dělí se podle technologie záznamu: člunkové srážkoměry

váhové srážkoměry

plovákové srážkoměry

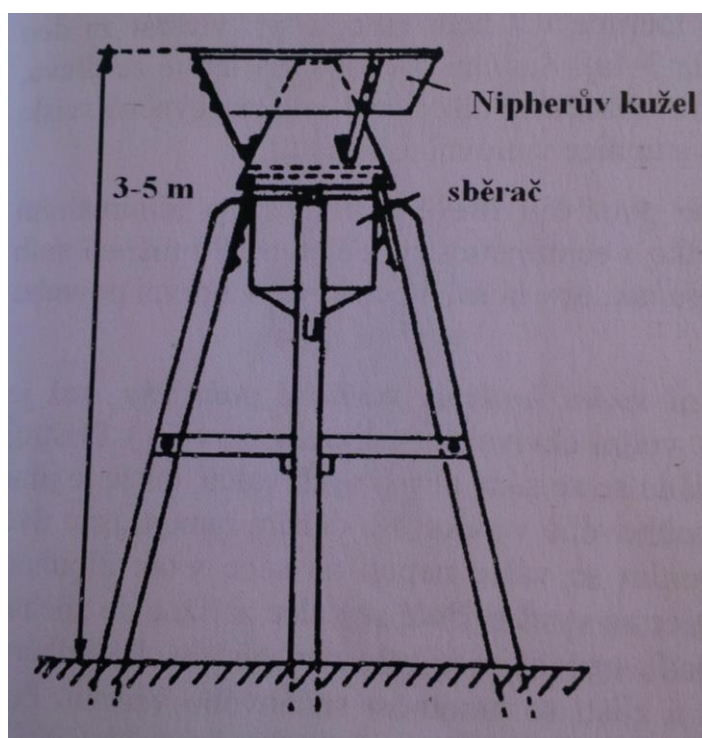
Člunkový srážkoměr je modernější a přesnější přístroj než zapisující dešťoměr. Princip měření srážek je založeno na překlápění člunku, který je pod výtokem nálevky. Záchytná plocha tohoto srážkoměru se pohybuje od 200cm² do 500cm².

Váhový srážkoměr pracuje na principu vážení srážek tenzometrickými váhami. Záchytná plocha těchto srážkoměrů je 500cm² (Pokorná, Zábranská, 2008).



Obr. č. 1 – Srážkoměr

Totalizátor (ombrometr): Tyto přístroje se používají ve špatně dostupných oblastech, jelikož se srážkový úhrn s jeho pomocí zjišťuje pro delší interval, než je 24 hodin. Totalizátor se skládá z nádoby ve tvaru válce s kónickým dolním i horním dílem. Pro omezení účinku větru je chráněn záchytný otvor Nipherovým kuželem. Záchytná nádoba má velikost podle toho jaký je zamýšlen interval měření srážek a podle srážkového úhrnu ve špatně dostupném místě. Totalizátor je umístěný asi 3m až 5m nad terénem a je připevněný na trojnožce (Pokorná, Zábranská, 2008).



Obr. č. 2 – Totalizátor

4.2 Měření sněhových srážek

Pro správné zjištění dat se musí zjistit, jaká je vrstva sněhu nad terénem. Tuto vrstvu změříme pomocí sněhoměrné latě, která může být přenosná nebo také pevně upevněna k zemi (Hrádek, Kuřík, 2008).

Z odebraného vzorku sněhu se zjišťuje, jaká je vodní hodnota sněhu, která se zjistí rozpuštěním odebraného vzorku. Výsledek zjistíme jako poměr původního nerozpuštěného vzorku a vzorku rozpuštěného (Kemel, 1996).

Dalším přístrojem na měření sněhových srážek je váhový sněhoměr neboli sněhoměrné váhy, který se používá v jarním období při tání sněhu. Slouží ke zjišťování objemu, který odteče formou tajícího sněhu z povodí (Kemel, 1996).

4.3 Síť srážkoměrných stanic v České republice

V České republice je jedna stanice v průměru na 79 km² s tím, že v členitém terénu jako jsou například horské oblasti, musí být síť stanic hustější. Všechny tyto stanice u nás spravuje Český hydrometeorologický ústav (ČHMÚ), který také provádí pozorování a zpracovává data, které jsou na jednotlivých stanicích naměřena (Pokorná, Zábranská, 2008).

V České republice se nachází celkově 802 stanic, z čehož jich je 559 dobrovolných a 38 z nich má nerozsáhlejší pozorovací program. Na špatně přístupných místech se nacházejí totalizátory, kterých je v ČR 26 (www.pocasicz.cz). Mapu sítě srážkoměrných stanic nalezneme v příloze č. 3.

Každá stanice je detailně popsána, je uveden název stanice, její zeměpisné souřadnice. Pro každou stanici se vypracovává náčrt, kde je přesně zakreslena její poloha a také poloha a typy všech přístrojů, které se na dané stanici nacházejí (Kemel, Kovář, 1980).

Všechny data a hodnoty zjištěné v jednotlivých srážkoměrných stanicích na našem území se každý měsíc posílají do ČHMÚ, kde se data zkontrolují a porovnají se se stanicemi, které jsou k sobě blízko, aby se popřípadě předešlo hrubým chybám. Data se takto připravují na další zpracování (matematicko-statistické) nebo také pro publikování (Pokorná, Zábranská, 2008).

4.4 Plošné měření srážek

Radarová data: radarová pozorování se většinou používají pro krátkodobé předpovědi srážek. Radiolokátor skenuje každých 5 minut odrazivost, pomocí které se určuje intenzita srážek, která se vypočítá pomocí Mashall-Palmerova vztahu. Tyto radary získávají údaje o srážkách nepřímým měřením (Goudenhoofdt and Delobbe, 2008).

Družicová data: v dnešní době jsou družicová data nezbytnou součástí pro měření srážek a jejich vyhodnocování. Družicová data jsou tvořena dvěma částmi a to kosmickým a pozemním systémem. Kosmický systém monitoruje naši planetu a atmosféru a pozemní systém přijímá a zpracovává meteorologické informace (www.is.muni.cz).

5. Časové a plošné rozdělení srážek

Abychom mohli vyhodnotit časové, a plošné rozdělení srážek pro určitou oblast je nutné získat velké množství dat, které je nutno různými statistickými metodami zpracovat (Kemel, Kolář, 1980).

Při vyhodnocování dat jsou důležitá data různých srážkových charakteristik jako například úhrny srážek za dny, měsíce a roky, dále jsou důležité informace o tom, kolik srážkových dní bylo v jednotlivých měsících, průměrné srážkové úhrny za měsíce, rok, kdy byli nejvyšší a nejnižší úhrny srážek za určité období apod. Při zpracování dat se většinou používá názorné grafické znázornění těchto dat (Pokorná, Zábranská, 2008).

5.1. Časové rozdělení

Časové rozdělení srážek je rozdělení kde se jedná o výskyt a naměřené hodnoty srážek v určitých obdobích na konkrétním místě (Hrádek, Kuřík, 2008).

Největší pravděpodobnost výskytu srážek je v ranních nebo také v odpoledních hodinách. Menší pravděpodobnost výskytu srážek je v dopoledních hodinách nebo v noci (Pokorná, Zábranská, 2008).

Pro časové rozložení srážek jsou důležité údaje o Srážkovém úhrnu (denní, měsíční, za určité období), Dlouhodobý průměrný srážkový úhrn (měsíční, za určité období, roční), Nejvyšší dlouhodobý průměrný měsíční a roční úhrn srážek, Nejnižší dlouhodobý průměrný měsíční a roční úhrn srážek, Nejvyšší denní úhrn srážek za několik let (Hrádek, Kuřík, 2008).

Nejlepší zhodnocení srážkových poměrů na určitém místě ukazuje roční úhrn srážek, který je znázorněn z dlouhodobého hlediska. Množství spadlých srážek na určitém místě je ovlivněno nejen zeměpisnou polohou, ale také nadmořskou výškou a také orientací území na světové strany. Například na horách, kde proudí vlhké vzdušné hmoty, je vyšší roční úhrn srážek než na odvrácených stranách hor (Kemel, 1996).

5.2 Plošné rozdělení srážek

Plošné rozdělení srážek závisí na nadmořské výšce. Plošné rozdělení srážek můžeme i názorně zobrazit a to pomocí izohyet (Kemel, Kolář, 1980).

Izohyety jsou čáry, pomocí kterých spojíme místa na mapě se stejným srážkovým úhrnem. Úhrny, které tyto čáry spojují, mohou být za různé časové období, například za rok, měsíc, den, dokonce i na jednotlivé deště. Konstruuje se podobně jako

vrstevnice. Pro sestrojení izohyet jsou zapotřebí data ze všech srážkoměrných stanic za stejné období (Kemel, Kolář, 1980).

Pokud nějaké údaje z jakéhokoliv důvodu chybí, musíme je doplnit. Doplnění těchto údajů se dělá interpolační metodou (Pokorná, Zábranská, 2008).

Při zpracování materiálu, pomocí kterého se sestrojují izohyety, se musí ověřit jejich homogenita. Musí se ověřit, jestli některá ze stanic nebyla například posunuta nebo pokud došlo ke změnám podmínek (například výstavba nové budovy, postupný růst stromů,...), pokud dojde na některé z těchto ovlivnění, musí se údaje o měření opravit (Kemel, 1996).

6. Určení srážkové výšky na povodí

Srážková výška je tloušťka vrstvy vody, která je ze spadlých srážek na území povodí. Srážková výška se dá určit několika způsoby (Kemel, 1996).

Nejjednodušší způsob určení srážkové výšky je výpočet aritmetického průměru srážek ze všech stanic na povodí. Tato metoda se dá použít pouze v rovinném terénu. Pokud určujeme srážkovou výšku na větším rovinném území, tak na se na mapu přikládá čtvercová síť. Tam kde ve čtvercích údaje o srážkách chybí, tak se opět použije aritmetický průměr. Tento postup se opakuje několikrát při různých polohách čtvercové sítě (Raghunath, 2006).

Velmi častou metodou, která se používá je metoda polygonů neboli metoda Thiessena. Spojují se srážkoměrné stanice tak, aby vznikla trojúhelníková síť. Jejich plochy se určují zplanimetrováním a přisouzením jako váhu k úhrnům každé stanice (Kemel, 1996). Hledaná výška srážek na povodí se vypočítá z výrazu:

$$H_s = \frac{\sum_i h_i p_i}{\sum_i p_i} = \frac{\sum_i h_i p_i}{F}$$

H_s = srážková výška (mm)

h_i = srážkový úhrn v i -té svislici (mm)

p_i = velikost plochy i -tého mnohoúhelníku (km^2)

F = celková plocha povodí (km^2)

Dalším a nejspolehlivější metodou je použití map s vykreslenou izohyetou. Podle toho jak potřebujeme přesné údaje lze využít několik způsobů výpočtů (Kemel, 1996).

- a) Stanovení srážkové výšky váženým průměrem středních hodnot izohyet:

$$H_s = \frac{\sum \left[\frac{1}{2} (h_i + h_{i+1}) * F_i \right]}{F}$$

H_s = srážková výška (mm)

F_i = plocha povodí mezi sousedními izohyetami (km²)

F = celková plocha povodí (km²)

- b) Stanovení srážkové výšky pomocí hyetografické křivky. Jedná se o vztah mezi výškou srážek, která je znázorněna izohyetou a částí ploch povodí, kde je určitá výška srážek překročena nebo dosažena (Hrádek, Kuřík, 2008).

7. Interpolační metody

Interpolace je odhad neznámých hodnot ze známých naměřených nebo zjištěných hodnot v okolí. Jde o lokální odhad, kde odhadujeme například množství spadlých srážek v místě, kde tato hodnota nebyla naměřena (Juříková, Šeděnková, 2008).

Interpolační metody dělíme na exaktní a aproximační. Exaktní interpolační metody jsou takové, které zachovávají původní hodnoty. Aproximační metody jsou takové, u kterých dochází k „vyhlazení“ hodnot i v místech, kde byly hodnoty naměřeny. Nejčastějšími interpolačními metodami jsou takové metody, které jsou založené na lineárním průměru z okolních naměřených hodnot (Juříková, Šeděnková, 2008).

7.1 Aritmetický průměr

Jedná se o nejjednodušší způsob interpolační metody. Lze však použít pouze v oblastech, kde je rovina. Určuje průměr plošných srážek na celém povodí (Raghunath, 2006).

Aritmetický průměr se získává jednoduchým způsobem a to zprůměrováním množství srážek na jednotlivých stanicích.

Výsledek těchto výpočtů může být však jen orientační. Pokud ovšem máme na povodí dostatečně hustou srážkoměrnou síť a povodí není z hlediska nadmořské výšky příliš členité, pak je tato metoda vhodná a dostačující (Raghunath, 2006).

Vzorec pro výpočet aritmetického průměru plošných srážek na povodí je:

$$P_{ave} = \frac{\sum P_1}{n}$$

Kde $\sum P_1$ = suma srážek u jednotlivých srážkoměrných stanic

n = počet srážkoměrných stanic

Ve větších oblastech je tato metoda nepřesná, kvůli velkému kolísání množství srážek (Raghunath, 2006).

Jednou z možností jak využít aritmetického průměru je přikládání čtvercové sítě na mapu zájmového území. Tam, kde nejsou údaje o srážkách, tak pomocí lineární interpolace tyto hodnoty dopočítáme, vypočteme aritmetický průměr všech srážek na povodí. Tento postup se dělá několikrát po sobě a v různé poloze čtvercové sítě (Pokorná, Zábranská, 2008).

7.2 Metoda izohyet

Přesnější metodou pro určení úhrnu srážek na ploše je metoda izohyet. Tato metoda se může využívat i na členitějším terénu. Izohyeta je čára, která spojuje místa se stejným srážkovým úhrnem (Kemel, 1996).

Můžeme využít 3 typy výpočtu, podle toho jaký stupeň přesnosti potřebujeme. Prvním typem výpočtu je početní přibližný. Nejdříve se změří plochy mezi rozvodnicí a mezi dvěma sousedními izohyetami a přiřadíme k nim úhrn srážek, který získáme pomocí aritmetického průměru (Pokorná, Zábranská, 2008).

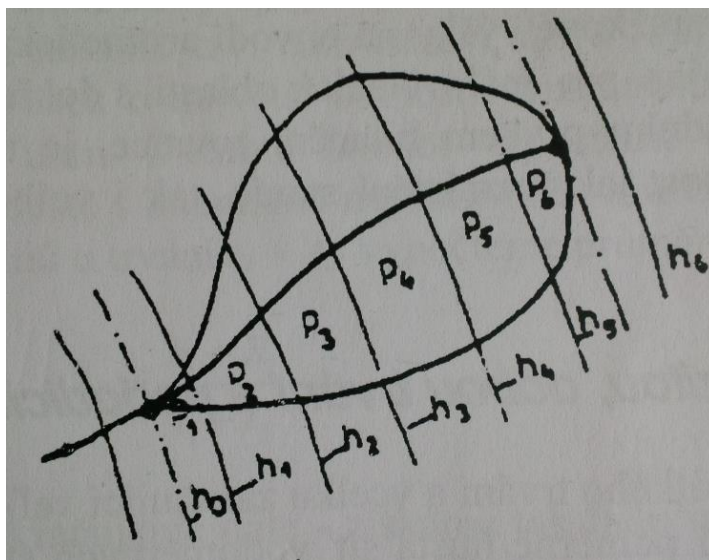
Výšku srážek poté vypočítáme pomocí vzorce:

$$H_s = \frac{\sum \left[\frac{1}{2} (h_i + h_{i+1}) \right] * p_i}{F}$$

H_s = srážková výška (mm)

p_i = plocha povodí mezi sousedními izohyetami (km²)

F = celková plocha povodí (km²)



Obr. č. 3 – Početní přibližná metoda

Druhou metodou výpočtu izohyet je metoda početní přesnější. Tento způsob se řeší pomocí sousedících izohyet nebo popř. rozvodnicí. Plochy, které jsou uzavřené sousedícími izohyetami nebo rozvodnicí slouží jako základna komolých kuželů. Výška komolých kuželů je rovna kroku izohyet. Pomocí planimetrování se určí plochy základen a pomocí vzorce se určuje objem jednotlivých vrstev (Pokorná, Záborská, 2008).

Vzorec pro objem vrstev je:

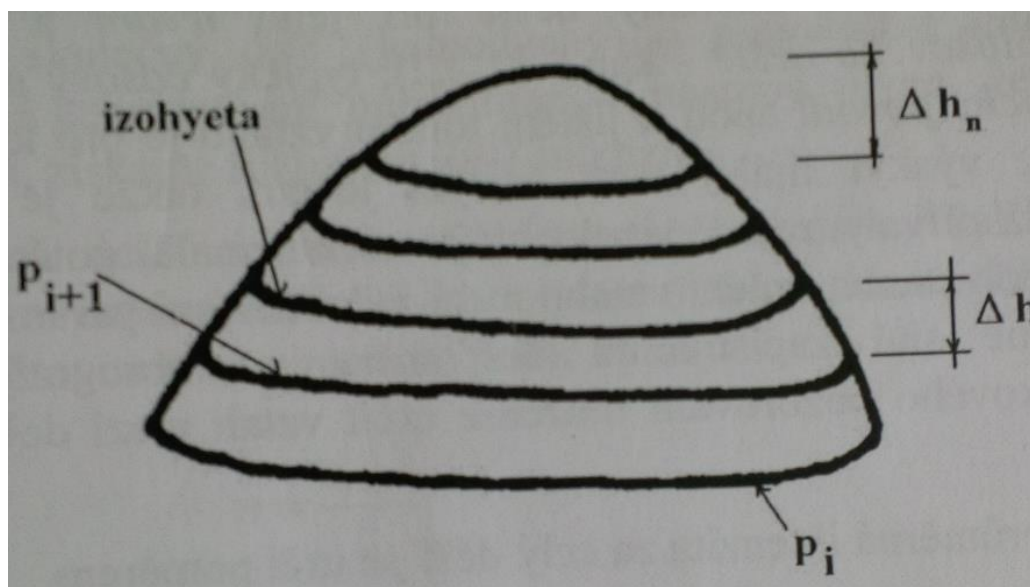
$$O_{1,i} = \frac{1}{3} \Delta h (p_i + \sqrt{p_i p_{i+1}} + p_{i+1})$$

Jednotlivé dílčí objemy se sečtou a připočítají se objemy všech kuželů. Základnou kužele může být buď plocha, která je uzavřena izohyetou v místě s největšími úhrny nebo uzavřena mezi částí rozvodnice a nejvyšší izohyetou. Pokud se jedná o uzavření mezi dvěma izohyetami potom je vrcholem místo s nejvyššími úhrny. Pokud je to uzavření mezi izohyetou a rozvodnicí, tak poté je vrcholem bod s nejvyšším srážkovým úhrnem (Pokorná, Záborská, 2008).

Pro výpočet objemu horní části vypočteme následujícím vzorcem:

$$O_{2,i} = \frac{1}{3} \Delta h_n p_n$$

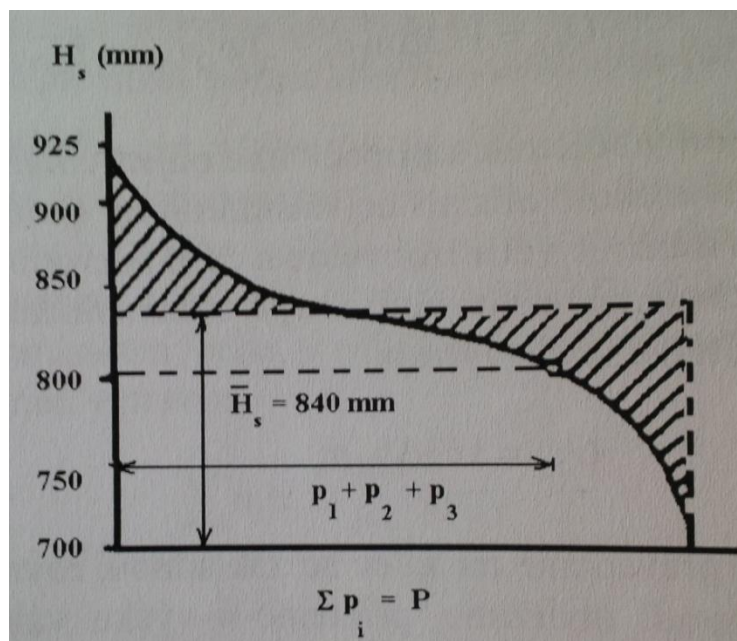
Celkový zjištěný objem se převede na válec, který je roven ploše povodí. Poté k nejnižšímu srážkovému úhrnu přičteme výšku válce a tím zjistíme průměrnou srážkovou výšku na zájmovém povodí (Pokorná, Zábranská, 2008).



Obr. č. 4 – Početní přesnější metoda

Třetí metodou výpočtu izohyet je metoda graficko-početní. Tato metoda využívá pro výpočet srážkového úhrnu hyetografické křivky. Na svislou osu se vynáší minimální a maximální srážkové úhrny, které jsou dané různými izohyetami. Na vodorovnou osu se vynáší plochy, na které byly tyto minimální nebo maximální hodnoty dosaženy anebo překročeny. Po spojení těchto vnesených hodnot, plynulou čarou, získáme hyetografickou křivku (Serrano, 1997).

Celková plocha povodí se zjišťuje zplanimetrováním uzavřené plochy. Vznikne obdélník, jehož horní strana nám vyjadřuje hledanou hodnotu, která udává srážkovou výšku (Serrano, 1997).



Obr. č. 5 – graficko-početní metoda

Volba metody závisí na členitosti terénu, na hustotě srážkoměrných stanic, které se na povodí nachází a na požadované přesnosti (Pokorná, Záborská, 2008).

7.3 Thiessenovy polygony

Thiessenovy polygony nebo také metoda nejbližšího souseda jsou nejstarší interpolační metodou, která se používá. Tato metoda je velmi rozšířená, protože je rychlá a jednoduchá jelikož jsou k výpočtu potřeba pouze bodová data z oblasti povodí, na kterém se výpočet provádí. Tuto metodu vymyslel americký inženýr Thiessen na počátku dvacátého století (Raghunath, 2006).

Jedná se o metodu, která řeší nerovnoměrné rozmístění srážkoměrů na povodí. Thiessenovi polygony rozdělují povodí na části, které jsou přiřazeny k jednotlivým stanicím, podle vzdálenosti od jednotlivých srážkoměrných stanic. Ke každému bodu na povodí je tak přiřazena nejbližší srážkoměrná stanice. Jednotlivým datům, se kterými počítáme, jsou pak na základě rozdělení přiřazovány určité váhy, které závisí na velikosti plochy přiřazené k jednotlivým stanicím (Serrano, 1997).

Plocha povodí je tedy rozdělena na síť polygonů, které pravidelně pokrývají území. Poté se uvažuje, že množství srážek, v každém polygonu je stejné jako množství srážek, které bylo naměřeno v přístrojích konkrétní srážkoměrná stanice náležící ke každému polygonu (Raghunath, 2006).

Tento vztah vyjadřuje rovnice, která určuje průměrnou výšku srážek pro celé povodí:

$$P_{ave} = \frac{\sum A_1 P_1}{\sum A_1}$$

$\sum A_1$ = celková plocha povodí

Výsledky získané z této rovnice jsou přesnější, než výsledky získané obyčejným aritmetickým průměrem.

Jednou z nevýhod této metody je, že pokaždé, když se změní umístění jakékoliv stanice, musí se změnit i polygony. Je také využitelná pouze v místech, kde je topografie v každém z polygonů stejná, aby bylo rozdělení srážek uvnitř polygonů stejné. Pokud použijeme tuto metodu, pak musíme počítat s chybami, které tato metoda obnáší a to s nepřesnými údaji a to hlavně na hranicích těchto polygonů, jelikož zde dochází ke skoku hodnot srážkového úhrnu nebo intenzity deště (Raghunath, 2006).

Thiessenovy polygony se používají v méně členitém terénu, proto je nelze použít například v horských oblastech. Tato metoda je jednou z nejpoužívanějších metod pro stanovení množství srážek spadlého na povodí (Serrano, 1997).

7.3.1 Konstrukce Thiessenových polygonů

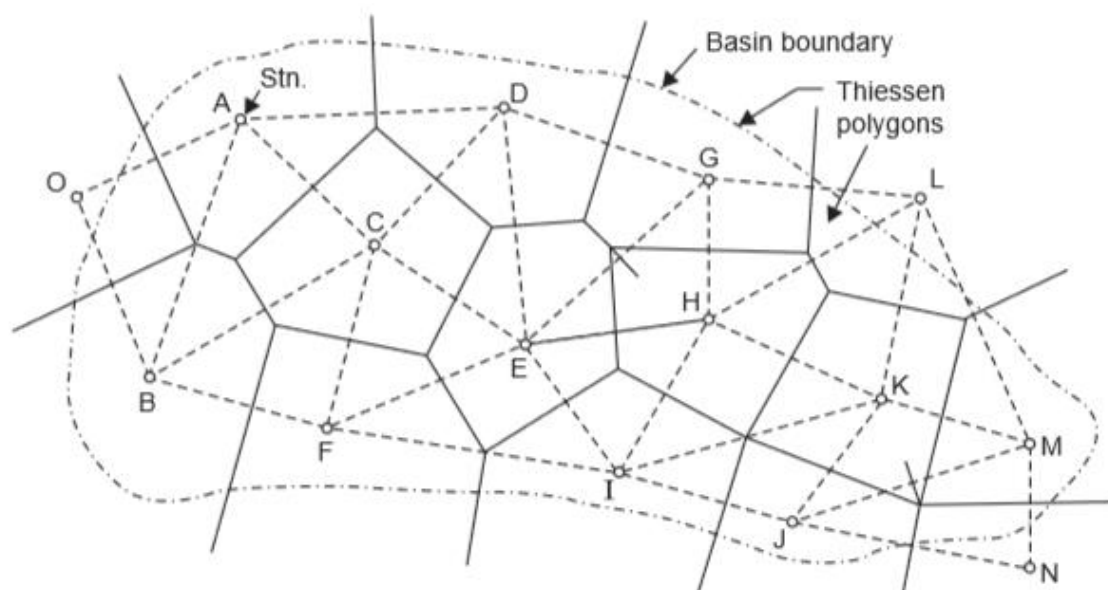
Nejprve se na mapě spojí srážkoměry úsečkami. Pokud není v povodí dostatečné množství srážkoměrných stanic, tak je možné zahrnout i srážkoměry mimo uvažované povodí (Raghunath, 2006).

Srážkoměrné stanice se spojují takovým způsobem, aby vznikla trojúhelníková síť v níž se strany trojúhelníků neprotínají. Uprostřed každé spojnice srážkoměrů se načrtnou kolmice, které by se měli protnout v jednom bodě. Kolmice vytvoří strany polygonů. Každý polygon by měl být navržen tak, aby jeho hranice byly stejně vzdáleny od každého sousedního srážkoměru a také by měly být ortogonálně mezi dvěma srážkoměry (Serrano, 1997).

Pokud využíváme i některé srážkoměrné stanice mimo povodí, tak se uvažuje pouze o tu část, která připadá na uvažované povodí. Po sestavení polygonů se pomocí planimetru zjistí plocha každého polygonu. Pokud se měří pomocí planimetru,

tak by se každá plocha měla změřit minimálně třikrát a poté spočítat průměr z těchto hodnot. Poté se spočítá suma těchto polygonů a měla by vyjít celková plocha povodí s chybou menší než 10% (Raghunath, 2006).

Chyba se poté rozdělí rovnoměrně mezi polygony. Tyto úlohy se v dnešní době měří například pomocí některého z programů GIS (Serrano, 1997).



Obr. č. 6 – Thiessenovy polygony

N – O – srážkoměrné stanice

Basin Boundary – spojnice srážkoměrů

Thiessen polygons – Thiessenovy polygony

7.4 Polynomická interpolace

Polynomická interpolace je založena na prokládání algebraické nebo trigonometrické polynomické funkce pro celou oblast, kde jsou srážková data monitorována a počítána (Tabios, Salas, 1985).

Obecnou polynomickou funkci můžeme zapsat ve tvaru:

$$h_o = \sum_{k=1}^m a_k \phi_k(x_o, y_o)$$

h_o = interpolovaná hodnota v bodech (x_o, y_o)

a_k = polynomičký koeficient

$\phi_k(x_o, y_o)$ = podmínka vymezená souřadnicemi x a y

m = celkový počet členů určení

Pro sestavení interpolace jsou v tomto případě možné dva způsoby. Prvním způsobem je metoda nejmenších čtverců. V tomto způsobu se vypočítává odhad h_o , který má požadavek, že počet stanic, ze kterých jsou data sbírána (n) je větší než celkový počet členů určení (m) (Tabios, Salas, 1985).

V tomto případě se postupuje podle následujícího vzorce:

$$\hat{h}_j = \sum_{k=1}^m a_k \phi_k(x_j, y_j)$$

j=1, ..., n

h_j = interpolovaná hodnota v bodech (x_o, y_o)

a_k = polynomičký koeficient

$\phi_k(x_o, y_o)$ = podmínka vymezená souřadnicemi x_j a y_j stanice j

m = celkový počet členů určení

Pokud chceme odhadnout parametr a_k , $k=1, \dots, m$ musíme vypočítat minimální součet chyb, vypočtených následujícím výpočtem:

$$F = \sum_{j=1}^n [h_j - \hat{h}_j]^2$$

Derivací výrazu F s ohledem na polynomičký koeficient (a_k), $k=1, \dots, m$ a rovno nule, tak dostaneme:

$$\sum_{i=1}^m a_i \sum_{j=1}^n \phi_k(x_j, y_j) \phi_i(x_j, y_j) = \sum_{j=1}^n h_j \phi_k(x_j, y_j)$$

k=1, ..., m

Polynom koeficientu je možno získat:

Stupeň	k	$\phi_k(x_j, y_j)$	m
0	1	1	1
1	2 – 3	x y	3
2	4 – 6	x ² xy y ²	6
3	7 – 10	x ³ x ² y xy ² y ³	10
4	11 – 15	x ⁴ x ³ y x ² y ² xy ³ y ⁴	15
5	16 – 21	x ⁵ x ⁴ y x ³ y ² x ² y ³ xy ⁴ y ⁵	21

Tabulka č. 1 – Algebraické členy polynomické funkce stpně 0 – 5

$$a_k = \sum_{j=1}^n \alpha_{kj} h_j$$

Kde:

$$\alpha_{kj} = \sum_{i=1}^m \psi_{ki} \phi_i(x_j, y_j)$$

Když poté spojíme rovnice 3 a 7, pak dostaneme:

$$h_o = \sum_{j=1}^n \left[\sum_{k=1}^m \alpha_{kj} \phi_k(x_o, y_o) \right] h_j$$

Výslednou interpolaci pomocí metody nejmenších čtverců vypočteme podle vzorce:

$$w_j = \sum_{k=1}^m \alpha_{kj} \phi_k(x_o, y_o)$$

Dalším způsobem jak sestavit interpolaci je metoda přesnější než metoda nejmenších čtverců. V tomto případě se koeficient a_k hodnotí, tak, že h projde všemi pozorovacími hodnotami. To znamená, že celkový počet členů a stanic, ze kterých získáváme data, musí být stejný ($m = n$) (Tabios, Salas, 1985).

Pro odhad koeficientu polynomu se použije následující výraz:

$$h_j = \sum_{k=1}^n a_k \phi_k(x_j, y_j)$$

$j=1, \dots, n$

Řešením koeficientu a_k je potom rovnice:

$$a_k = \sum_{j=1}^n \beta_{kj} h_j$$

$k=1, \dots, n$

β_j = prvek inverzní matice $n \times n$ s prvky $\phi_k(x_j, y_j)$

Substitucí koeficientu a_k dostaneme rovnici:

$$h_o = \sum_{j=1}^n \left[\sum_{k=1}^m \beta_{kj} \phi_k(x_o, y_o) \right] h_j$$

Výslednou interpolaci pomocí druhého způsobu získáme pomocí vzorce:

$$w_j = \sum_{k=1}^n \beta_{kj} \phi_k(x_o, y_o)$$

(Tabios, Salas 1985).

7.5 IDW

Metoda vážených inverzních vzdáleností (IDW) je široce využívanou metodou interpolace. Tato metoda byla poprvé využita v roce 1985. Odhad srážek u této metody se počítá pomocí váženého průměru z bodových měření okolních stanic. Jednotlivé váhy mají vlivy podle toho jak je určitá stanice vzdálena od místa, kde chceme srážku odhadnout (Wagner & Co. 2012).

Tato metoda je založena stejně jako Thiessenovi polygony na geometrii povodí. Zjišťování dat se skládá ze dvou částí. První část jsou optimální odhady parametrů pro metodu IDW. Tyto odhady jsou vytvořeny pomocí optimální interpolace. Druhá část řeší dopočítávání nejistot každého z odhadů. Data nevyžadují přepracování a snadno se přenesou například do programu GIS (Tomczak, 1998).

Velkou nevýhodou této metody je, že nebere v úvahu některé důležité faktory, jako jsou nadmořská výška a směr větru. Tato metoda při svém výpočtu tedy některé faktory zanedbává (Tomczak, 1998).

Pro získání dat je nejprve nutné vypočítat odhady parametrů, je to výhradně mezi dvěma body, našeho zájmu $(x_o; y_o)$ a určeným bodem $(x_j; y_j)$, podle vzorce:

$$h_o = \sum_{j=1}^n w_j h_j$$

w_j = váha dané stanice

h_j = srážka v dané stanici

S ohledem na vzdálenost, která je dána rovnicí:

$$d_{oj} = \sqrt{(x_o - x_j)^2 + (y_o - y_j)^2} \quad ; \quad j=1, \dots, n$$

Je váha interpolovaných dat vyjádřena rovnicí:

$$w_j = \frac{f(d_{oj})}{\sum_{i=1}^n f(d_{oi})}$$

$f(d_{oj})$ = funkce vzdáleností, kterou vypočítáme pomocí vzorce:

$$f(d_{oj}) = \frac{1}{d_{oj}^b}$$

b = aplikační konstanta

Jeden z hlavních nedostatků metody IDW je, když jedna nebo více srážkoměrných stanic jsou blízko u sebe, tak ve výsledných měřeních vznikají chyby (Tabios, Salas, 1985).

7.6 Optimální interpolace

Optimální interpolace je jedna z posledních starších technik interpolace. Tato metoda je používána na celém světě. Jedná se o metodu nejmenších čtverců (Barth & Col., 2008).

Pro odhad srážkového procesu na námi zvoleném povodí se v optimální interpolaci používají vzorce. Váhy pro odhad srážek jsou v tomto případě uváděny jako minimalizace rozptylu chyby interpolované a odhadované hodnoty (Tabios, Salas, 1985).

Odhadovaná hodnota je dána rovnicí:

$$\sigma_{\epsilon}^2 = \text{var}(h_o - \widehat{h}_o) = \text{var}(h_o - \sum_{j=1}^n w_j h_j)$$

σ_{ϵ}^2 = Váha dané stanice

h_o = srážkový proces

\widehat{h}_o = odhad srážkového procesu

n = počet stanic

w_j = váha dané stanice

h_j = srážka v dané stanici

Tato rovnice lze také rozepsat do tohoto tvaru:

$$\sigma_{\epsilon}^2 = \sigma^2 - 2 \sum_{j=1}^n w_j \text{cov}(h_o h_j) + \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n w_i w_j \text{cov}(h_i h_j)$$

σ_{ϵ}^2 = rozptyl srážkového procesu ho

$cov(h_0 h_j)$ = kovariance mezi h_i a h_j

S ohledem na váhy srážek se tato rovnice minimalizuje a postavíme každou z nich tak, aby byla rovna nule (Tabios, Salas, 1985).

Poté tedy dostaneme rovnici:

$$\sum_{j=1}^n w_j cov(h_i h_j) = cov(h_0 h_j)$$

$j=1, \dots, n$

Pokud uvažujeme homogenitu rozptylu, poté můžeme přepsat rovnici do tohoto tvaru:

$$cov(h_i h_j) = \sigma_i \sigma_j \rho(h_i h_j) = \sigma^2 \rho(h_i h_j)$$

a také:

$$cov(h_0 h_j) = \sigma^2 \rho(h_0 h_j)$$

$\rho(h_i h_j)$ a $\rho(h_0 h_j)$ = koeficient prostorově korelovaný

Abychom mohli tyto korelační postupy odhadnout, je nutné získat funkci pro prostorovou korelaci. Pokud je prostorově korelovaná struktura homogenní a izotropní, pak se může člen $\rho(h_i h_j)$ popsat jako člen, který je závislý pouze na vzdálenosti dvou bodů i a j . Tímto se celý výpočet zjednoduší jelikož člen $\rho(h_i h_j)$ se změní na $\rho(d_{ij})$. V tomto případě bude h_{ij} vzdálenost mezi dvěma body, které jsou zadané souřadnicemi (x_i, y_i) a (x_j, y_j) (Tabios, Salas, 1985).

Poté můžeme rovnici vyjádřit takto:

$$\sum_{i=1}^n w_i \rho(d_{ij}) = \rho(d_{oj})$$

$j=1, \dots, n$

d_{oj} a d_{ij} = vzdálenost mezi body x_o a x_j

ρ = korelovaný prostorový koeficient

Po správném vyřešení těchto rovnic získáme potřebné váhy pro správný odhad srážek v námi zvoleném povodí (Tabios, Salas, 1985).

Chyby při optimální interpolaci mohou být minimalizovány v každém bodě (x_o , y_o) a to pomocí substituce rovnice $\sum_{j=1}^n w_j cov(h_i h_j) = cov(h_o h_j)$ do rovnice $\sigma_{\epsilon}^2 = \sigma^2 - 2 \sum_{j=1}^n w_j cov(h_o h_j) + \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n w_i w_j cov(h_i h_j)$ pomocí rovnice $\sum_{i=1}^n w_i \rho(d_{ij}) = \rho(d_{oj})$ a poté získáme rovnici:

$$\widehat{\sigma_{\epsilon 0}^2} = \sigma^2 \left[1 - \sum_{j=1}^n w_j \rho(d_{oj}) \right]$$

Další podmínkou, kterou musíme vzít v úvahu je, že součet vah musí být roven jedné a to z důvodu nestrannosti odhadu (Tabios, Salas, 1985).

Podmínku tedy vyjádříme rovnicí:

$$\sum_{j=1}^n w_j = 1$$

Tento způsob řešení chyb není vždy řešitelný, jelikož je zde více proměnných. Tento problém řeší Lagrangeův multiplikátor.

Nové váhy pro řešení úhrnu srážek budou tedy získány z nové rovnice:

$$\sigma_{\epsilon}^2 = \sigma^2 - 2 \sum_{j=1}^n w_j \text{cov}(h_o h_j) + \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n w_i w_j \text{cov}(h_i h_j) + 2\lambda \left[\sum_{i=1}^n w_i - 1 \right]$$

λ = Langrangeův multiplikátor

Langrangeův je pro lepší matematický výpočet násoben dvěma. Ale pokud tuto rovnici minimalizujeme s ohledem na váhy, pak dostaneme rovnici:

$$\sum_{i=1}^n w_i \rho(d_{ij}) + \lambda = \rho(d_{oj}) ; \quad j=1, \dots, n$$

V homogenních s izotropních podmínkách korelovaných srážek přechází celá rovnice do tvaru:

$$\sum_{i=1}^n w_i \rho(d_{ij}) + \lambda = \rho(d_{oj}) ; \quad j=1, \dots, n$$

a také

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1$$

Tato rovnice musí být řešena společně se získanými váhami srážek (Tabios, Salas, 1985).

7.7 Spline

Tato metoda byla popsána až v roce 1990. Hlavní výhodou spline oproti ostatním interpolačním metodám je, že nevyžaduje předchozí auto-kovariační odhad. Auto-kovariační odhad je odhad prostorové struktury, který může být obtížné odhadnout a následně vyhodnocovat (Hutchinson, 2007).

V této metodě se zjišťované hodnoty získávají pomocí matematických funkcí. Při zjišťování hodnot se musí vzít v úvahu dvě podmínky: první podmínkou je prokládaná matematická funkce, která prochází naměřenými body. Druhou

podmínkou je funkce splinová – flexibilní povrch prochází přesně naměřenými body a zároveň zde musí být minimální zakřivení (Hutchinson, 2007).

Funkce spline lze zapsat následujícím způsobem:

$$g_i = g(x_i) + \sum_{j=1}^p \beta_j \psi(r_i)$$

g_i = funkce spline

$g(x_i)$ = polynomická funkce

β_j = nezná koeficienty bodů, které jsou měřeny

$\psi(r_i)$ = radiální základní funkce, která je závislá na vzdálenosti r_i

r_i = vzdálenost mezi bodem z a dalším bodem, který zjišťujeme

p = počet měřených bodů

I v této metodě je potřebné počítat s tím, že se vyskytnou nějaké chyby v měření a odhadu dat. Parametr p určuje kompromis mezi naměřenými daty a drsností povrchu. Kontrola správnosti výpočtu se zkontroluje tak, že vezmeme jednu ze stanic, ve které jsme naměřili data a pomocí okolních stanic dopočítáme hodnotu parametrů v dané stanici. Chybu zjistíme tak, že vyhodnotíme rozdíl mezi naměřenými hodnotami a hodnotami dopočtenými (Hutchinson, 2007).

Jelikož se jedná o jednu z novějších metod, její velkou výhodou je, že na její výpočet existují různé počítačové programy. (Hutchinson, 2007)

7.8 Kriging

Kriging neboli krigování je interpolační metoda, která je určena k použití jako součást procesu odhadu nebo predikce. Jedná se o geostatistickou metodu, jež je založena na předpokladu prostorové homogenity. (McCuen, Snyder, 1986)

Pro tuto metodu se používá lokální odhad, může se jednat buď o bodový odhad, nebo o blokový odhad. Bodovým odhadem se rozumí výpočet pravděpodobné hodnoty v bodě, kde nebylo provedeno měření. Blokový odhad je odhad dat na malé ploše na, které nebyly hodnoty naměřeny (Bárdossy, 1997).

Krigování má tři základní výchozí podmínky: první podmínkou je lineární kombinace hodnot, které do výpočtu vstupují.

Druhou podmínkou je nestranný odhad. Vyjadřuje podmínku, že průměrná chyba by měla být rovna nule.

Třetí podmínkou je minimalizace rozptylu odhadu.

Tyto základní podmínky se transformují do lineárních rovnic, které se sestavují pro výpočet vah jednotlivých, zjišťovaných bodů (Stein, 2001).

Interpolace Krigingem je rozdělena na čtyři části. Prvním krokem je sestavení empirického variogramu. Dalším krokem je proložení teoretického variogramu, dále pak odhad vah srážek a posledním krokem je bodový odhad dané srážky (Bárdossy, 1997).

7.8.1 Variabilita

Zde hrají velkou roli náhodné funkce. Proměnná funkce znamená, že pro každý bod v určité oblasti máme odpovídající proměnnou. Tato proměnná je potom základem pro realizaci náhodné funkce. Ve velkém množství případů není možné ověřit, že je parametr realizací náhodné funkce, jelikož se uvažuje pouze s jednou jedinou realizací (Bárdossy, 1997).

Základní hypotéza se nazývá silná stacionarita. To lze vyjádřit vzorcem:

$$P(R(u_1) < w_1, \dots, R(u_n) < w_n) = P(R(u_1 + h) < w_1, \dots, R(u_n + h) < w_n)$$

P = pravděpodobnost

$R(u_1)$ = náhodná funkce

w_n = možná hodnota

h = vzdálenost

Tato rovnice znázorňuje, jak jsou vzájemně uspořádané body závislé na distribuci náhodné funkce (Bárdossy, 1997).

7.8.2 Variogram

Variogram můžeme definovat jako rozptyl přírůstků. Musí však splňovat několik podmínek. Ve variogramu jsou i takové vlastnosti se kterými se počítá i bez

matematického popisu (Clark, 1979). Tyto vlastnosti můžeme zapsat několika jednoduchými vzorci:

$$\gamma(0) = 0$$

$$\gamma(h) \geq 0, \text{ pro všechny vektory } h$$

$$\gamma(h) = \gamma(-h), \text{ pro všechny vektory } h$$

U variogramu předpokládáme, že rozptyl přírůstků mezi dvěma body je rostoucí. Růst je předpokládán mezi těmito body.

Pokud, ale vzdálenost překročí určitý limit, pak variace přírůstků dále neroste.

Pro všechny $h \neq 0$ je $\gamma(h) \geq C(0) > 0$. Toto je způsobeno chybným měřením nebo náhodou v komponentě, která nemá prostorovou závislost.

Graf variogramu se vykresluje, tak že vzdálenost (h) je vynášena na osu x a hodnota variogramu na ose y . (Clark, 1979).

Variogram je jedním z klíčových prvků při odhadu srážek pomocí interpolační metody krigingu (Bárdossy, 1997).

7.8.3 Empirický variogram

Empirický variogram musí být sestaven na základě dat, které známe. Empirický variogram se odhaduje pomocí následujícího vzorce:

$$\gamma^*(h) = \frac{1}{2n(h)} \sum_{\substack{u_i - u_j = h}} (R(u_i) - R(u_j))^2$$

$\gamma^*(h)$ = hodnota empirického variogramu se vzdáleností h

$n(h)$ = počet bodů, které jsou odděleny pomocí vzdáleností h

Takto se počítá takzvaný empirický variogram, který je počítán z dat, která jsou rozmístěna pravidelně. Jestliže jsou, ale data, ze kterých se variogram sestavuje, nepravidelně rozmístěna musí se ještě počítat s podmínkou (Bárdossy, 1997):

$$u_i - u_j = h, \text{ pokud } |u_i - u_j| - |h| \leq \varepsilon$$

ε = dvojnásobná tolerance vzdálenosti h

Aby byl získán dobrý odhad a sestaven správný empirický variogram, je potřeba nejméně 30 párů dat s odpovídající danému intervalu, které mají stejnou vzdálenost (Bárdossy, 1997).

7.8.4 Teoretický variogram

Empirické variogramy jsou odhady teoretických variogramů. Jelikož empirické variogramy jsou vypočítávány pouze pro určitý počet vzdáleností (h).

Vektory, které mají jinou délku, musí být také definovány. Definujeme je pomocí jednoduché lineární interpolace (Bárdossy, 1997).

Nevýhodou ovšem je, že v tomto případě nemusí být splněny všechny potřebné podmínky, které pro tvorbu variogramu potřebujeme.

Existuje velké množství modelů teoretických variogramů. Některé teoretické variogramy jsou například: sférický variogram, exponenciální variogram, ..., (Bárdossy, 1997).

7.8.5 Proložení teoretického variogramu

Empirické lomené čáry musí být proloženy teoretickými křivkami, jelikož empirické variogramy nemají statisticky vlastnosti teoretického variogramu. Teoretická čára závisí pouze na tom, jak dobře dokáže splýnout s čarou empirického variogramu (Bárdossy, 1997).

Můžeme použít několik možných způsobů prokládání empirických křivek teoretickými.

Nejjednodušší metodou je metoda odhadu. Je jednoduchá, ale není ji statisticky možné zpracovat. Velkou výhodou je, že zakreslení a vyhodnocení křivky odhalí problémy při výpočtech, anebo při sběru dat.

Tyto problémy se statisticky zjistit nedají. Pokud nám vycházejí v empirických křivkách nějaké extrémy, musí být jasné důvody a následně jsou pak zpracovány. (Bárdossy, 1997).

Další metodou prokládání křivek může být použití metody nejmenších čtverců. Nevýhodou této metody je, že se nedají zjistit chyby při sběru dat nebo chyby

z výpočtu. Další velkou nevýhodou je také to, že tato metoda počítá s tím, že chyby jsou závislé, což ve většině případů neplatí. (Bárdossy, 1997).

7.8.6 Odhad vah a srážek

I v této metodě stejně jako u jiných lze použít pro bodový odhad následující rovnici:

$$h_o = \sum_{j=1}^n w_j h_j$$

h_o = odhadovaná srážka

w_j = váha dané stanice

h_j = srážka v dané stanici

V této metodě se hodnoty vah dané stanice odvíjejí od hodnot, které jsou získávány variogramem. Rozptyl odhadované a měřené hodnoty musí být minimální. (Tabios, Salas, 1985).

Variogram můžeme napsat pomocí rovnice:

$$\gamma(h_{ij}) = \frac{1}{2} \text{var}[h_i - h_j]$$

$\gamma(h_{ij})$ = hodnota variogramu, která má vzdálenost h

$\gamma(h_{ij})$ = vzdálenost, která odděluje body i a j

h_i = náhodná proměnná

Tuto rovnici můžeme napsat i jako:

$$\gamma(h_{ij}) = \sigma^2 - \text{cov}(h_{ij})$$

σ^2 = rozptyl srážek

Když přepíšeme předchozí rovnici pro $cov(h_i h_j) = cov(d_{ij})$ dostaneme:

$$\sigma_\epsilon^2 = \sigma^2 - 2 \sum_{j=1}^n [\sigma^2 - \gamma(d_{oj})] + \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n w_i w_j [\sigma^2 - \gamma(d_{ij})]$$

σ_ϵ^2 = rozdíl chyb interpolované hodnoty od odhadované hodnoty

Rovnici lze minimalizovat, pokud zohledníme váhy, dostaneme rovnici:

$$\sum_{i=1}^n w_i [\gamma(d_{ij}) - \sigma^2] = \gamma(d_{oj}) - \sigma^2$$

$j=1, \dots, n$

Rovnice musí být řešena současně pro odhad vah w_j

Následně se počítá odhad a rozptyl chyb, k tomuto výpočtu použijeme rovnici:

$$\hat{\sigma}_\epsilon^2 = \sigma^2 \left[1 - \sum_{j=1}^n w_j \right] + \sum_{j=1}^n w_j \gamma(d_{oj})$$

$\hat{\sigma}_\epsilon^2$ = odhad pro rozptyl chyby, která byla interpolována a odhadnuta

Odhad musí být nestranný, a proto se musí počítat ještě s podmínkou, jejíž vzorec je:

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1$$

Současně musí být řešeny získané váhy. V tomto případě se rozptyl chyby získá následující rovnicí:

$$\hat{\sigma}_\epsilon^2 = \sum_{j=1}^n w_j \gamma(d_{oj}) + \lambda$$

Existují ještě další způsoby interpolace pomocí krigingu. (Tabios, Salas, 1985)

8. Interpolační metody používané v České republice

Jednou z nejčastějších interpolačních metod, které jsou užívané v České republice je metoda IDW neboli metoda inverzních vzdáleností. Touto interpolační metodou byla počítaná srážková data v Brně, řešil Hellebrand, 2011.

V tomto článku je ověřována interpolační metoda, která je nejčastěji využívána a to metoda inverzních vzdáleností. Vstupní data pro tento výzkum byla data, která byla naměřena v městě Brně. Jedná se o data z 16 srážkoměrných stanic, ve kterých se nachází člunkové srážkoměry. Velikost území, na kterém vyhodnocování dat probíhalo, bylo velké přibližně 100 km². Když se tedy stanice a rozloha zprůměrují, pak na jednu stanici vychází přibližná rozloha 6,25 km². Jelikož jsou stanice relativně blízko sebe, tak byla použita numerická optimalizační technika, která se nazývá mřížková vyhledávací metoda (Hellebrand, 2011).

Ještě před tím, než se mohla provádět vlastní interpolace, tak bylo potřeba sestavit postup pro přípravu srážkoměrných událostí. Tato příprava se sestává ze dvou částí a to z časového intervalu pro redistribuci intenzit (t_r) a druhou částí je agregační časový krok (t_a).

Jelikož srážkoměry v Brně mají citlivost pouze 0,2 mm srážky na jedno překlopení, tak byla vytvořena metodika, která tento nedostatek eliminovala a upravila primární záznam. Tato metodika spočívá v tom, že srážkové intenzity byly pouze rozděleny do delšího časového úseku a mohli tak být čitelné i nižší hodnoty. V tomto případě byl agregační časový krok stanoven na 5 minut. Tyto agregované pětiminutové úseky srážek byly potom použity jako vstupní data pro interpolaci (Hellebrand, 2011).

Srážky, se kterými se zde počítá, byly naměřeny v období od března do října v letech 2003-2009. Tato měření obsahují 368 srážkových událostí, z nichž bylo vybráno 6 nejextrémnějších událostí. Pro interpolaci byly vypočítány sub optimální hodnoty, které znázorňovaly celkovou chybu interpolace.

Z výsledků, které byly vyhodnoceny je patrné, že IDW metoda podceňuje vyšší hodnoty srážkových úhrnů. Toto je velký problém zejména při extrémních a krátkodobých srážkách. Bylo také zjištěno, že metoda IDW je závislá na časoprostorové struktuře místa, kde spadnou srážky. Čím je tedy prostor homogennější, tím je tato metoda interpolace přesnější. Z výsledků výpočtu interpolační metodou IDW bylo zjištěno, že nejnižší chyba byla téměř vždy

dosažena, pokud jsou pro výpočet využity všechny dostupné srážkoměry, a to proto, že jsou srážkoměry relativně blízko od sebe (Hellebrand, 2011).

Jedním z největších problémů ve všech interpolačních metodách je určení optimální chyby. Pokud se ovšem provedou předběžné návrhy a studie může být chyba v interpolaci minimální (Hellebrand, 2011).

Další výpočet srážkových úhrnů pomocí interpolačních metod, které byly použity v České republice, se můžeme dočíst v článku: „Interpolation techniques used data quality control and calculation of technical series: an example of a Central European daily time series“. Zájmovým územím pro tyto výpočty byla jižní a jihovýchodní část České republiky (České Budějovice, Vysočina, Jižní Morava, Zlín a menší část Středních Čech). Data byla sbírána v období 1991 - 2007. Interpolace srážkových dat byla počítána pomocí IDW a krigingu (Štěpánek & Co., 2011).

Jako nejlepší byly stanoveny čtyři srážkoměrné stanice na území České republiky. Tyto čtyři stanice byly vybrány tak, aby každá reprezentovala rozdílné klimatické poměry. Tyto čtyři stanice a jejich nejbližší sousední stanice byly v tomto projektu řešeny. V tomto projektu byly hodnoceny různé parametry jako maximální a minimální teploty, relativní vlhkost, srážky,... (Štěpánek & Co., 2011).

9. Závěr

Interpolační metody jsou v hydrologii potřebné ve stejných oblastech jako studie vodní bilance, předpověď průtoků srážkovo-odtokovými modely, transpirace dat anebo také návrhy hydrometeorologické sítě. (Tabios, Salas, 1985).

V dnešní době se pro dopočet srážkových úhrnů používá velké množství interpolačních metod. Některé z nich jsou na výpočet jednodušší, ale nejsou tak přesné jako interpolační metody, které jsou počítány přes složitější vzorce. V dnešní moderní době nám pro výpočet srážkových úhrnů může pomoci i moderní technika. Existuje množství počítačových programů, se kterými je jednodušší výsledky získat. Jedním z těchto programů je například GIS.

Cílem této práce bylo zjistit, jaké interpolační metody se pro odhad srážek používají, popsat je a také zjistit jaké z nich jsou nejpřesnější a také jaké interpolační metody se používají v České republice.

Méně přesnými interpolačními metodami jsou metody jako aritmetický průměr a Thiessenovy polygony jelikož tyto metody nezohledňují některé faktory, jako třeba nadmořskou výšku, apod. Jedny z nepřesnějších interpolačních metod jsou IDW neboli metoda inverzních vzdáleností a vůbec nejpřesnější interpolační metodou je kriging. Tyto metody jsou založeny na výpočtech, které se skládají z více kroků. Proto jsou také tyto metody nejpřesnější.

V České republice se používají pro výpočet srážkových úhrnů interpolační metody jako IDW a Kriging.

10. Přehled literatury a použitých zdrojů

10.1 Knihy

BÁRDOSSY A., 1997: Introduction to Geostatistics, University of Stuttgart, Institute for Hydraulic Engineering and Water Resources Management, Stuttgart, 50 s.

BARTH A. & COL, 2008: Introduction to Optimal Interpolation and Variational Analysis, Geohydrodynamic and Environment Research, 35 s.

CLARK I, 1979: Practical geostatistics, Applied Science Publisher LTD, London

FRY & CO., 2010: Velká encyklopedie počasí a změna klimatu, Praha: Svojtka and Co., Praha, 512 s.

GOUDENHOOFDT E., DELOBBE L., 2008: Evaluation of radar-gauge merging methods for quantitative precipitation estimates, Royal Meteorological Institute of Belgium, Brussels, Belgium: 195 – 203.

HELLEBRAND R., 2011: Vodní hospodářství, příloha listy CzWA: 262 – 265.

HRÁDEK F., KUŘÍK P., 2008: Hydrologie, Česká zemědělská universita v Praze, Fakulta životního prostředí, Praha, 280 s.

HUTCHINSON M. F., 2007: Interpolating mean rainfall using thin plate smoothing splines, International Journal of Geographical Information Systems: 385 – 403.

JUŘIKOVSKÁ L., ŠEDĚNKOVÁ M, 2008: Odhad plošných srážek pro povodí řeky Olše, Institut geoinformatiky, Hornicko-geologická fakulta, VŠB-TU, Ostrava

KEMEL M., KOLÁŘ V., 1980: Hydrologie, Vydavatelství ČVUT, Fakulta stavební, Praha, 222 s.

KEMEL M., 1996: Klimatologie, Meteorologie, Hydrologie, Vydavatelství ČVUT, Praha, 289 s.

MÁČA P, 2014: Hydrologie pro bakaláře, Česká zemědělská univerzita v Praze, fakulta životního prostředí, Praha, 126 s.

MCCUEN R. H., SNYDER W. M., 1986: Hydrologic Modeling: Statistical Methods and Applications, Englewood Cliffs, New Jersey, 568 s.

MUNZAR J, 1941: Malý průvodce meteorologií, Mladá fronta 1989, Praha, 247 s.

POKORNÁ D., ZÁBRANSKÁ J., 2008: Hydrologie a Hydropedologie, Vysoká škola chemicko-technická v Praze, Praha, 218 s.

RAGHUNATH H. M., 2006: Hydrology, New age international (P) limited, publishers, 463 s.

SERRANO S. E., 1997: Hydrology for Engineers, Geologist and Enviromental Professionals, HydroScience Inc. Lexington, Kentucky, 468 str.

STEIN L. M., 2001: Interpolation of Spatial Data, Springer, Berlin, 249 s.

ŠILAR J., 1996: Hydrologie v životním prostředí, Univerzita Jana Evangelisty Purkyně, Ústí nad Labem, 136 s.

ŠTĚPÁNEK P., ZEDNÍČEK P. A HUTH R., 2011: Interpolation techniques used data quality control and calculation of technical series: an example of a Central European daily time series, Czech Hydrolometeorological Institute: 87 – 98 s.

TABIOS G. Q., SALAS J. D., 1985: A Cmparative Analysis of Techniques for Spatial Interpolation of Precipitation, Water Resource Bulletin: 365 – 380.

TOLASZ R., 2007: Atlas podnebí Česka 1961 – 2000 = Climate Atlas of Czechia, Český hydrometeorologický ústav, Praha, Olomouc, 255 s.

TOMCZAK M., 1998: Spatial Interpolation and its Uncertainty Using Automated Anisotropic Inverse Distance Weighting (IDW) - Cross-Validation/Jackknife Approach, Journal of Geographic Information and Decision Analysis: 383 – 406.

WAGNER P. D., FIENER P., WILKEN F., KUMAR S., SCHNEIDER K., 2012: Comparison and evaluation of spatial interpolation schemes for daily rainfall in data scarce regions, Andras Bardossy, Editor-in-Chief, with the assistance of Uwe Haberlandt, Associate Editor: 389 – 400.

10.2 Internetové zdroje:

RUDA A., 2014: Klimatologie a hydrogeografie pro učitele, Fakulta informatiky Masarykovy univerzity, Praha:
https://is.muni.cz/do/rect/el/estud/pdf/ps14/fyz_geogr/web/pages/01-uvod.html,

cit: 17. 3. 2016

POLSKI.COM, 2016: Počasícz.cz, online: <http://www.pocasicz.cz/aktuality-o-pocasi/aktuality-471/zmeny-a-kolisani-klimatu-i-dil-2169>, cit: 19. 3. 2016

CHMI.CZ, 2016: Český hydrometeorologický ústav, Praha:
http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/poboc/OS/stanice/ShowStations_CZ.html, cit:
19. 3. 2016

11. Seznam obrázků a tabulek

Obr. č. 1 – Srážkoměr

POKORNÁ D., ZÁBRANSKÁ J., 2008: Hydrologie a Hydropedologie, Vysoká škola chemicko-technická v Praze, Praha, 218 s.

Obr. č. 2 – Totalizátor

POKORNÁ D., ZÁBRANSKÁ J., 2008: Hydrologie a Hydropedologie, Vysoká škola chemicko-technická v Praze, Praha, 218 s.

Obr. č. 3 – Početní přibližná metoda

POKORNÁ D., ZÁBRANSKÁ J., 2008: Hydrologie a Hydropedologie, Vysoká škola chemicko-technická v Praze, Praha, 218 s.

Obr. č. 4 – Početní přesnější metoda

POKORNÁ D., ZÁBRANSKÁ J., 2008: Hydrologie a Hydropedologie, Vysoká škola chemicko-technická v Praze, Praha, 218 s.

Obr. č. 5 – Graficko-početní metoda

POKORNÁ D., ZÁBRANSKÁ J., 2008: Hydrologie a Hydropedologie, Vysoká škola chemicko-technická v Praze, Praha, 218 s.

Obr. č. 6 – Thiessenovy polygony

RAGHUNATH H. M., 2006: Hydrology, New age international (P) limited, publishers, 463 s.

Tab. č. 1 - Algebraické členy polynomické funkce stpně 0 – 5

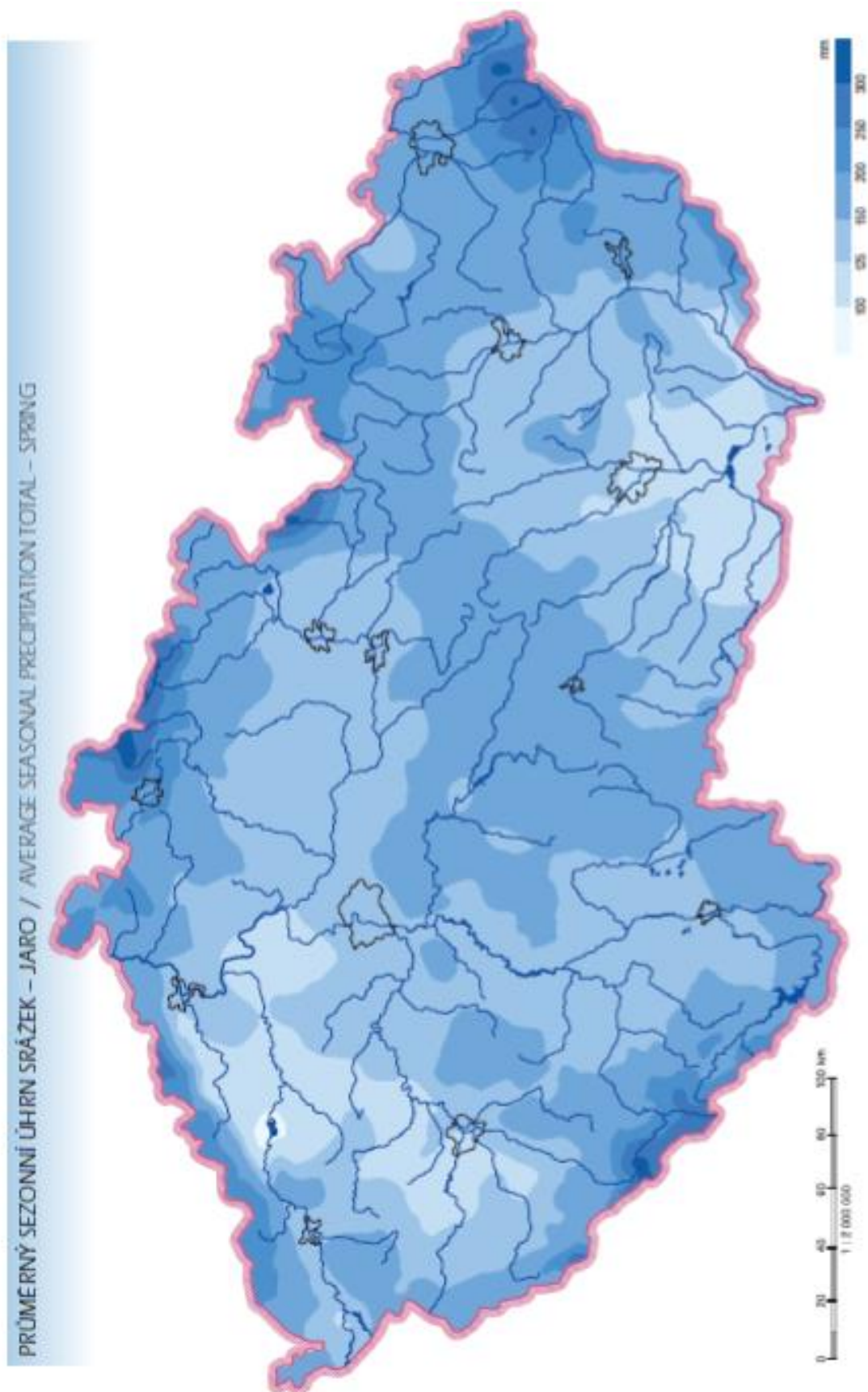
TABIOS G. Q., SALAS J. D., 1985: A Comparative Analysis of Techniques for Spatial Interpolation of Precipitation, Water Resource Bulletin: 365 – 380.

Příloha č. 1 a č. 2 - FRY & CO., 2010: Velká encyklopedie počasí a změna klimatu, Praha: Svojtka and Co., Praha, 512 s.

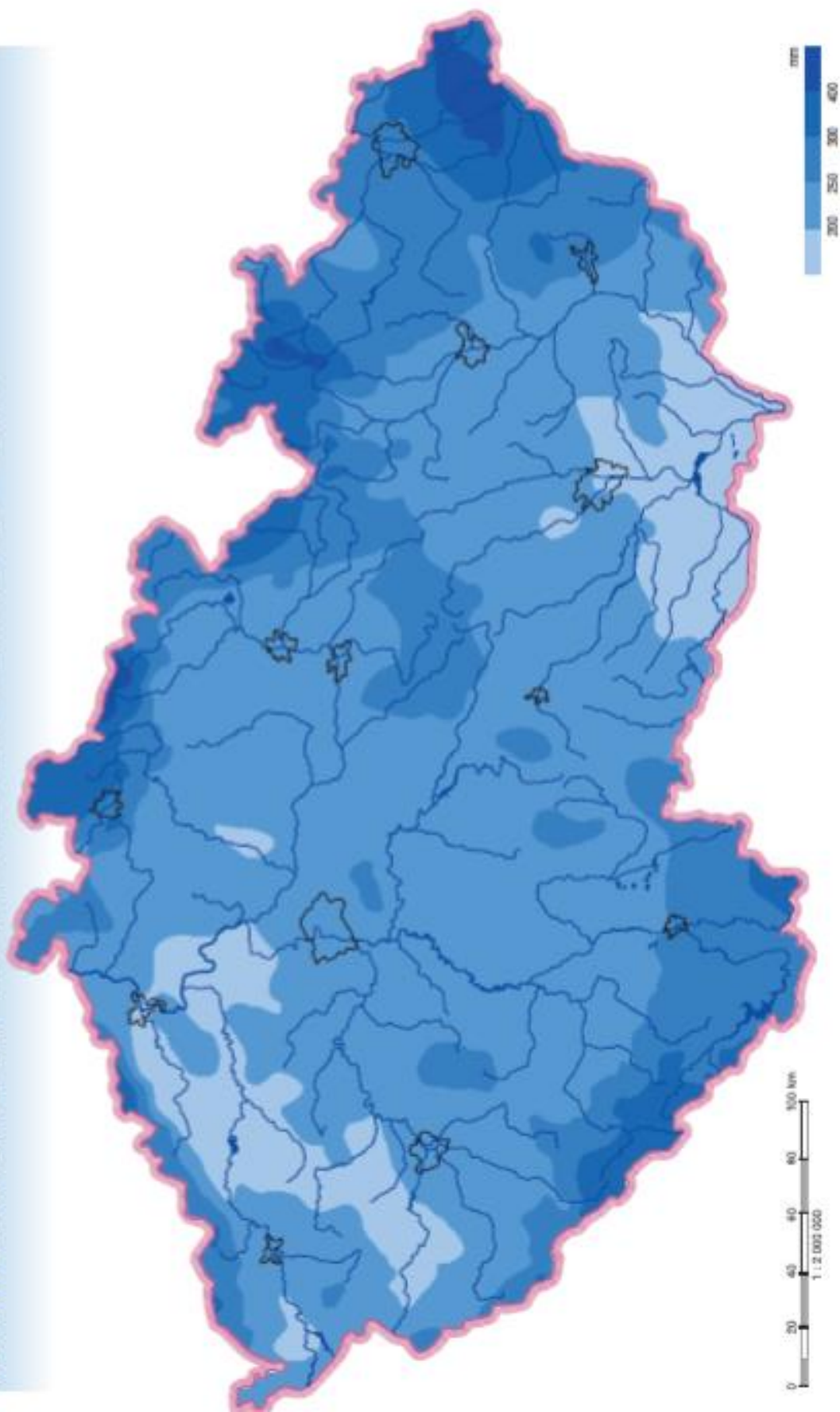
Příloha č. 3 - CHMI.CZ, 2016: Český hydrometeorologický ústav, Praha:
http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/poboc/OS/stanice/ShowStations_CZ.html, cit:
19. 3. 2016

12. Přílohy

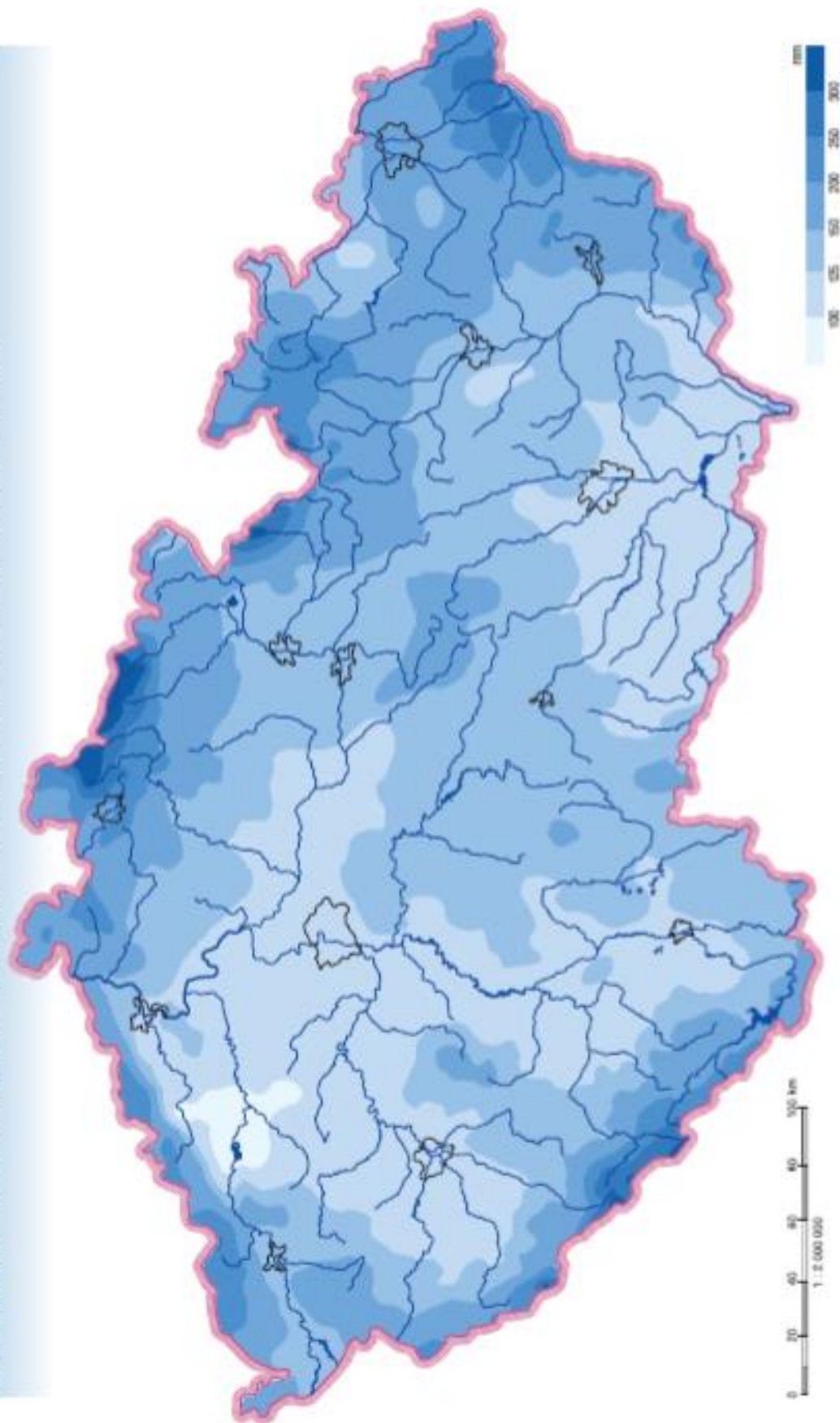
12.1 Příloha č. 1



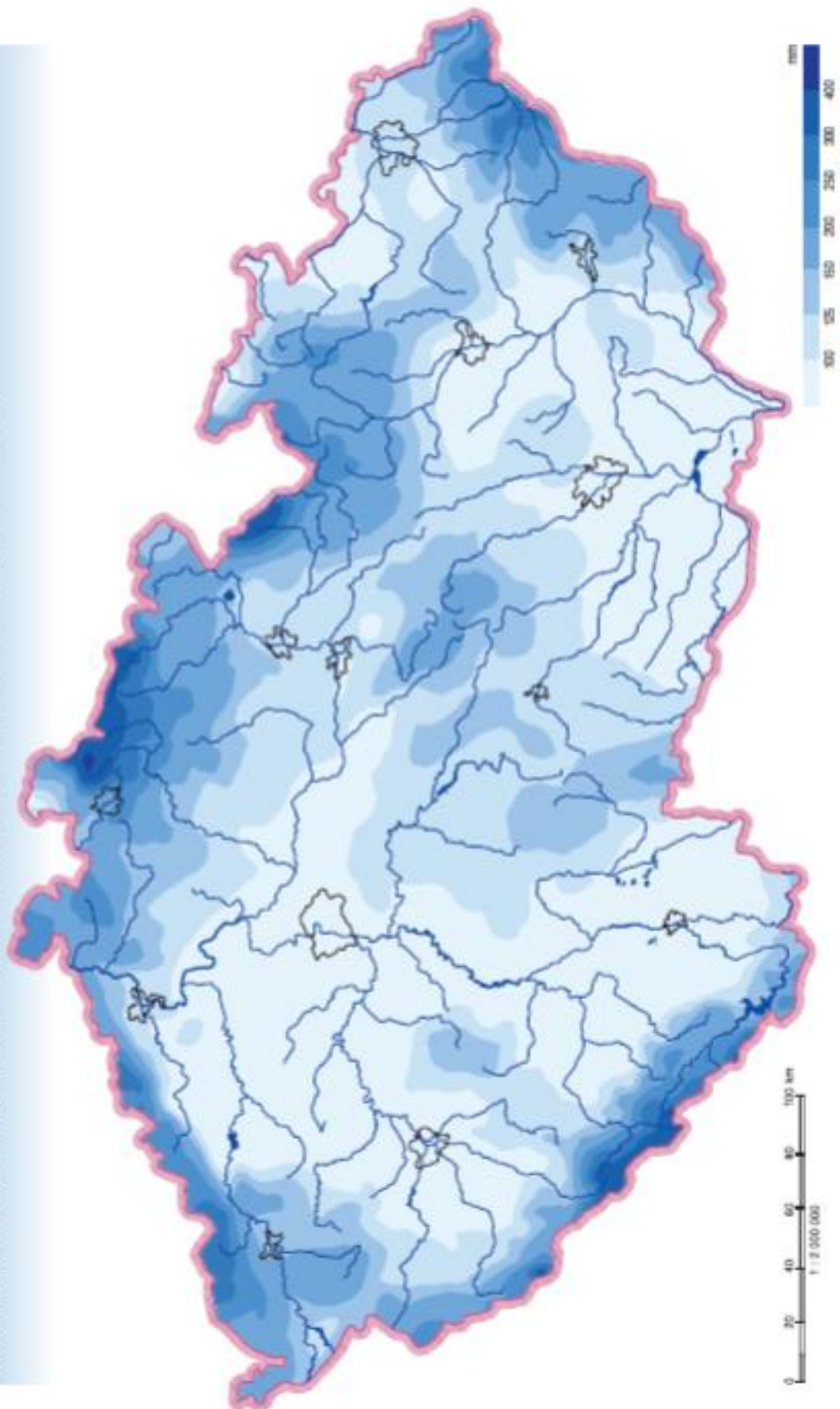
PRŮMĚRNÝ SEZONNÍ ÚHRN SRÁŽEK – LÉTO / AVERAGE SEASONAL PRECIPITATION TOTAL – SUMMER



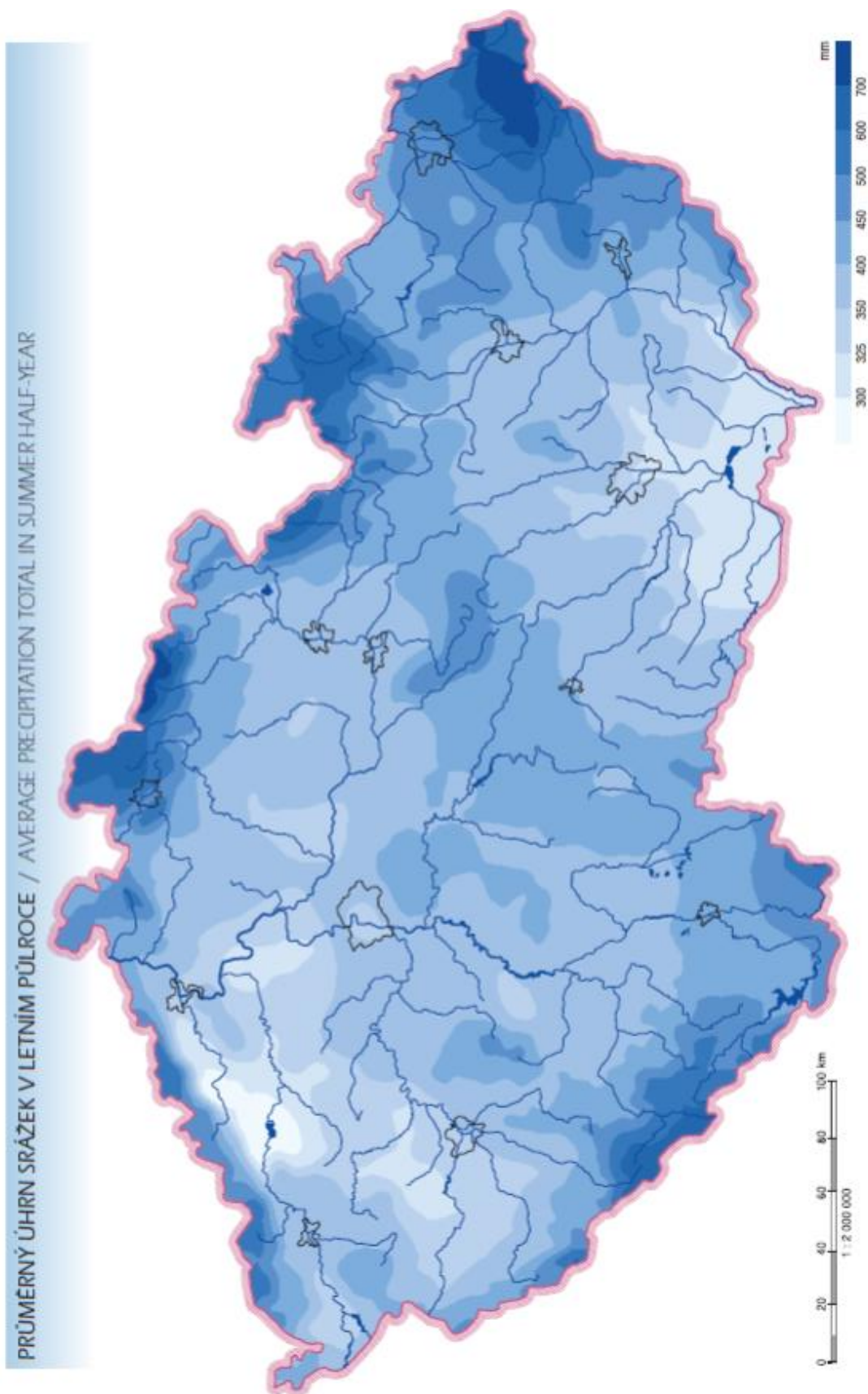
PRŮMĚRNÝ SEZONNÍ ÚHRN SRÁŽEK – PODZIM / AVERAGE SEASONAL PRECIPITATION TOTAL – AUTUMN



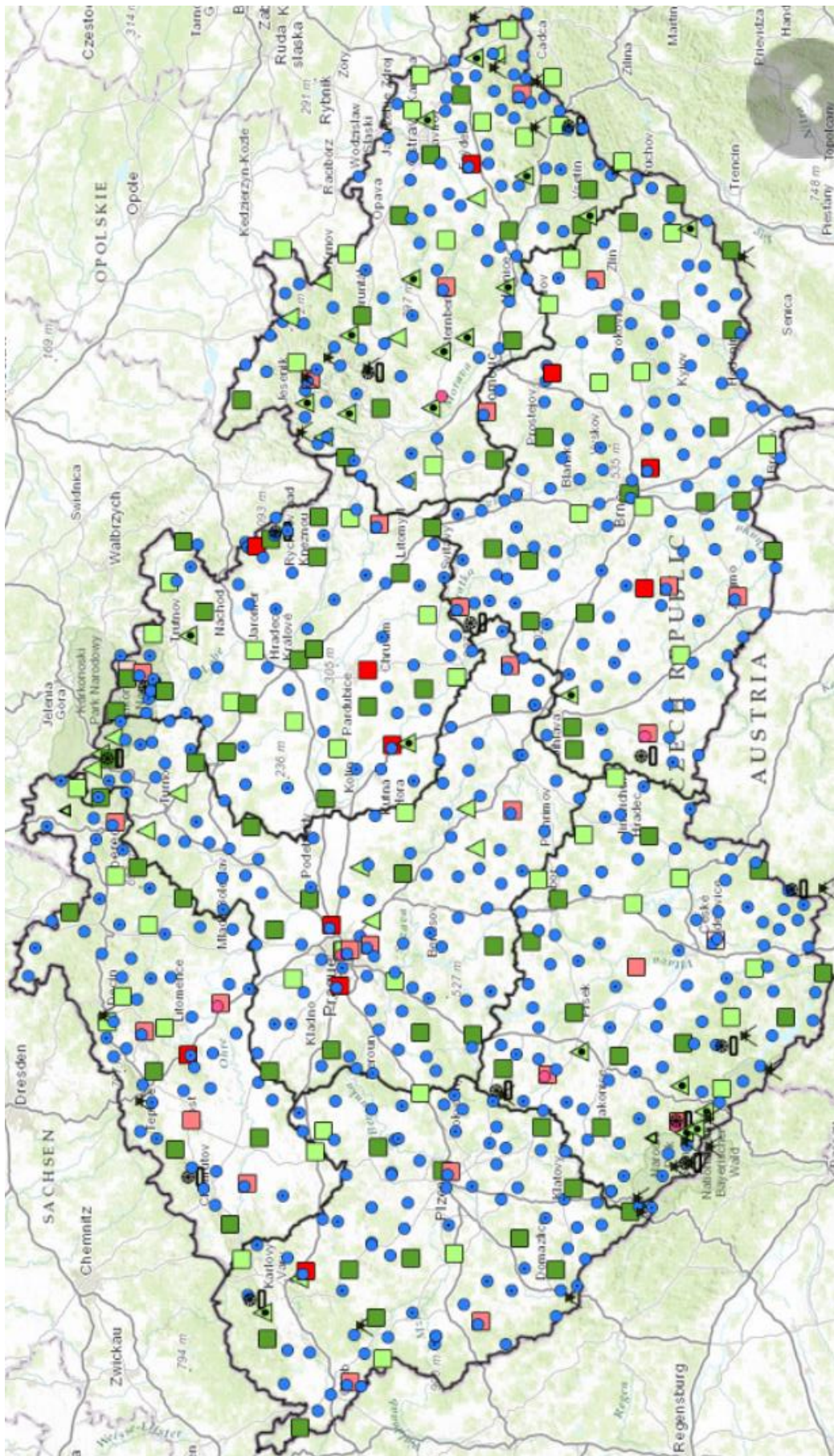
PRŮMĚRNÝ SEZONNÍ ÚHRNĚ SRÁŽEK – ZIMA / AVERAGE SEASONAL PRECIPITATION TOTAL – WINTER

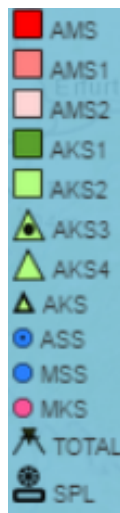


12.2 Příloha č. 2



12. 3 Příloha č. 3





AMS - automatizovaná meteorologická stanice

AMS1 - automatizovaná meteorologická stanice komb. typu

AMS2 – automatizovaná meteorologická stanice bez obsluhy

AKS1 - automatizovaná klimatologická stanice I. typu

AKS2 - automatizovaná klimatologická stanice II. typu

AKS3 - automatizovaná klimatologická stanice III. typu

AKS4 - automatizovaná klimatologická stanice IV. typu

AKS – automatizovaná klimatologická stanice

ASS – automatizovaná srážkoměrná stanice

MSS – manuální srážkoměrná stanice

MKS – manuální klimatologická stanice

TOTAL - totalizátor

SPL – sněhoměrná polštář