

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH  
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA

Studijní program: N4106 Zemědělská specializace

Studijní obor: Pozemkové úpravy a převody nemovitostí

Katedra: Katedra krajinného managementu

Vedoucí katedry: doc. Ing. Pavel Ondr, CSc.

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Výpočet prostorové distribuce srážek různými metodami  
a vyhodnocení rozdílu v úhrnech srážek na vybraném povodí

Vedoucí diplomové práce: Ing. Václav Bystřický, Ph.D.

Autor: Bc. Miroslav Vávra

České Budějovice, duben 2013

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH

Fakulta zemědělská

Akademický rok: 2011/2012

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Bc. Miroslav VÁVRA  
Osobní číslo: Z11870  
Studijní program: N4106 Zemědělská specializace  
Studijní obor: Pozemkové úpravy a převody nemovitostí  
Název tématu: Výpočet prostorové distribuce srážek různými metodami a vyhodnocení rozdílů v úhrnech srážek na vybraném povodí  
Zadávací katedra: Katedra krajinného managementu

### Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

- Výběr vhodného území (povodí) s dostatečně hustou sítí srážkoměrů.
- Analýza časových řad srážkových úhrnů ze srážkoměrů.
- Výpočet prostorové distribuce srážek různými metodami.
- Vyhodnocení rozdílů v úhrnech srážek ve vybraném území.
- Vyhodnocení rozdílů v úhrnech srážek mezi jednotlivými početními metodami.

Rozsah grafických prací: dle potřeby  
Rozsah pracovní zprávy: 40-50 stran textu  
Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická  
Seznam odborné literatury:

**Manuály GIS programů.**

Brutsaert, W. Hydrology: An introduction. Cambridge University Press, 2005, 605 s.

Havlíček a kol. Agrometeorologie. SZN Praha, 1986

Serrano, E.S. Hydrology for Engineers, Geologists and Environmental Professionals. HydroScience Inc. Lexington, Kentucky, 1997, 468 s.

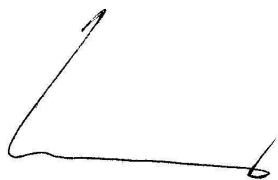
Maidment, D.R. (ed.). Handbook of hydrology. McGraw-Hill, New York, 1993, 1424 s

časopisy: Hydrological processes, Journal of hydrology, Meteorological applications, Water resources management, atd.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Václav Bystřický**  
Katedra krajinného managementu

Datum zadání diplomové práce: **8. března 2012**

Termín odevzdání diplomové práce: **30. dubna 2013**




Ing. Karel Suchý, Ph.D.

proděkan pověřený vedením ZF

JIHOČESKÁ UNIVERZITA  
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH  
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA  
studijní oddělení  
Studentská 13 ④  
370 05 České Budějovice

L.S.



prof. Ing. Tomáš Kvítek, CSc.  
vedoucí katedry

V Českých Budějovicích dne 15. března 2012

### **Prohlášení:**

Prohlašuji, že svoji diplomovou práci jsem vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury. Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své diplomové práce, a to v nezkrácené podobě (v úpravě vzniklé vypuštěním vyznačených částí archivovaných Zemědělskou fakultou JU) elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách.

V Českých Budějovicích dne .....

.....

## **Poděkování:**

V první řadě bych chtěl poděkovat svým blízkým a hlavně rodičům za soustavnou podporu.

Dále bych chtěl velmi poděkovat vedoucímu práce Ing. Václavu Bystřickému, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady, materiály, pomoc, a hlavně velikou ochotu a trpělivost. Rovněž bych chtěl tímto poděkovat Ing. Petru Fučíkovi z VÚMOP Praha za poskytnutí datových souborů a informací z povodí Kopaninského toku.

Nakonec bych rád poděkoval také RNDr. Radimu Tolaszovi, Ph.D. a jeho kolegům z ČHMÚ za pomoc při objasnění cizího výrazu.

**Abstrakt:** Tato diplomová práce se zabývá různými metodami výpočtu prostorové distribuce srážek a vyhodnocením rozdílů v úhrnech srážek na vybraném povodí. Cílem této práce bylo vybrat vhodné metody výpočtu plošného rozložení srážek a tyto metody následně vytvořit. Metody byly z většiny vytvářeny v prostředí GIS. Dalším cílem bylo posoudit rozdíly měsíčních srážkových úhrnů z hydrologických let 2006 a 2007 vypočtených v povodí pomocí vybraných metod. Vybrané metody výpočtu prostorové distribuce srážek v povodí byly: aritmetický průměr, Thiessenovy polygony, metoda izohyet a metoda vážené inverzní vzdálenosti (IDW). Jako vhodné povodí bylo vybráno povodí Kopaninského potoka, kde je instalována relativně hustá srážkoměrná síť.

V průběhu řešení této práce muselo být zájmové území rozšířeno ještě o území mezi použitými srážkoměry vymezené v prostředí GIS. Důvodem pro rozšíření byl fakt, že rozložení srážkoměrů v povodí Kopaninského toku nedovolovalo vytvořit izohyety v celém tomto povodí.

Při výpočtu a porovnání výsledků jednotlivých metod bylo zjištěno, že výsledky použitých metod se vzájemně překvapivě téměř neliší. Dále bylo konstatováno, že ani dostatečně hustá síť srážkoměrů nezaručí 100% přesnost výpočtu množství srážek ve vybrané oblasti z důvodu jejich mimořádné variability.

*Klíčová slova:* srážkové úhrny, aritmetický průměr, Thiessenovy polygony, metoda izohyet, metoda IDW, povodí Kopaninského toku

**Abstract:** This thesis engages various methods of calculation of the spatial distribution of precipitation and the evaluation of differences in totals of rainfall in a chosen catchment. The aim of this work was to choose suitable methods for the calculation of areal rainfall and subsequently to create those methods. Most methods were developed in the GIS program. The next objective was to explore differences in monthly precipitation from hydrological years 2006 and 2007 calculated in the catchment by chosen methods. Chosen methods for the calculation of the spatial distribution of precipitation in the catchment were: arithmetic mean, Thiessen polygons, isohyetal method and inverse distance weighting method. (IDW). As a suitable catchment was selected the catchment of the Kopaninský stream where relatively dense rainfall measurement network is installed.

During the solution of this thesis the area of interest had to be extended by the area between the used rain gauges which was delimited in the GIS program. The reason for an enlargement was a fact that a decomposition of rain gauges in the catchment of the Kopaninský stream did not permit the creation of isohyetal lines in this whole catchment.

During the calculation and the comparison of results of individual methods was found that results of used methods were surprisingly nearly the same. It was also stated that not even sufficient dense rain gauges network does not guarantee 100% exactness for calculating the amount of the precipitation in the selected area because of their extraordinary variability.

*Keywords:* rainfalls, arithmetic mean, Thiessen polygons, isohyetal method, IDW method, the catchment of the Kopaninský stream

## **OBSAH:**

<b>1. ÚVOD</b> .....	<b>9</b>
<b>2. LITERÁRNÍ REŠERŠE</b> .....	<b>10</b>
2.1 Srážky .....	10
2.1.1 Charakteristika srážek .....	10
2.1.2 Vznik srážek .....	11
2.1.2.1 Vznik srážek ve vyšších zeměpisných šířkách.....	12
2.1.2.2 Vznik srážek v nižších zeměpisných šířkách.....	13
2.1.3 Rozdělení srážek .....	13
2.1.3.1 Padající srážky.....	14
2.1.3.2 Usazené srážky.....	16
2.2 Faktory ovlivňující úhrny srážek.....	17
2.2.1 Geografické rozložení srážek.....	17
2.2.2 Faktory ovlivňující srážkové úhrny .....	18
2.3 Metody výpočtu prostorové distribuce srážek.....	21
2.3.1 Aritmetický průměr.....	23
2.3.2 Thiessenovy polygony .....	24
2.3.2.1 Konstrukce Thiessenových polygonů .....	24
2.3.3 Metoda izohyet .....	27
2.3.3.1 Konstrukce izohyet .....	27
2.3.4 Další metody .....	30
2.4 Distribuce srážek v malém povodí .....	32
<b>3. MATERIÁL</b> .....	<b>36</b>
3.1 Popis povodí Kopaninského potoka .....	36
<b>4. METODY</b> .....	<b>42</b>
4.1 Sběr dat.....	42
4.2 Úprava dat .....	44



4.3 Použité metody .....	45
4.3.1 Aritmetický průměr.....	46
4.3.2 Thiessenovy polygony .....	46
4.3.3 Metoda vážené inverzní vzdálenosti (IDW) .....	47
4.3.4 Metoda izohyet .....	48
4.4 Statistické hodnocení.....	49
<b>5. VÝSLEDKY A DISKUZE.....</b>	<b>50</b>
5.1 Výpočet úhrnů srážek jednotlivými metodami .....	50
5.1.1 Aritmetický průměr.....	50
5.1.2 Thiessenovy polygony .....	51
5.1.3 Metoda vážené inverzní vzdálenosti (IDW) .....	54
5.2 Vyhodnocení rozdílů ve vypočtených úhrnech srážek jednotlivými početními metodami v povodí.....	56
5.3 Vyhodnocení rozdílů ve vypočtených úhrnech srážek jednotlivými početními metodami v území vymezeném v prostředí GIS .....	62
5.4 Statistické vyhodnocení rozdílů v úhrnech srážek naměřených na jednotlivých srážkoměrných stanicích .....	71
<b>6. ZÁVĚR.....</b>	<b>74</b>
<b>7. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY A ZDROJŮ.....</b>	<b>75</b>
7.1 Literatura .....	75
7.2 Ostatní zdroje .....	82
<b>8. SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK A GRAFŮ.....</b>	<b>83</b>
8.1 Seznam obrázků .....	83
8.2 Seznam tabulek.....	84
8.3 Seznam grafů.....	85

# 1. ÚVOD

Atmosférické srážky jsou nedílnou součástí života na Zemi a jednou ze základních složek oběhu vody v přírodě. Srážky jsou primární zdroj pitné vody a jsou velice důležité pro většinu lidských činností. Rovněž také zásadně určují ráz krajiny, její vegetační kryt a vodohospodářské poměry. Je známo, že srážky vykazují místně i časově velké výkyvy. Proto je důležité průběh srážek měřit a pozorovat, abychom byli schopni lépe předpokládat a případně i modelovat situace, které po srážkové činnosti mohou nastat. Je však třeba si uvědomit, že právě díky své velké časové a prostorové proměnlivosti je velice obtížné srážky měřit přesně, a to i v měřítku malého povodí (několik km<sup>2</sup>). Tato proměnlivost je způsobena mnoha faktory, jak v rámci velkých území (nadmořská výška, zeměpisná poloha, srážkový stín), tak i v rámci malých území (sklon, antropogenní vlivy). Proměnlivost srážek ve velkých povodích není tak markantní, jelikož se tyto lokální výkyvy od normálu v celkovém průměru ztratí, avšak v malých povodích mohou být tyto výkyvy znatelnější.

Problém odhadu prostorové distribuce srážek spočívá v tom, že srážkoměry, pomocí nichž se srážky měří, měří srážky pouze v místě, kde je srážkoměr instalován. Předpokládá se však, že množství srážek zachycených srážkoměrem nemusí být shodné s množstvím, které spadlo např. půl kilometru od instalovaného srážkoměru. Proto bylo navrženo množství metod, které vhodným způsobem rozprostrou množství srážek naměřené v jednotlivých srážkoměrech na celé povodí (či jiné zájmové území). Tyto metody výpočtu prostorové distribuce srážek se často konstrukcí a následným výpočtem vzájemně liší a předpokládá se, že i dosažené výsledky budou navzájem odlišné.

Cílem této diplomové práce je tedy vybrat povodí s dostatečnou srážkoměrnou sítí, dále vybrat vhodné metody výpočtu prostorové distribuce srážek pro toto povodí, aplikovat je na naměřená data a výsledky mezi sebou porovnat.

## 2. LITERÁRNÍ REŠERŠE

### 2.1 Srážky

Atmosférické srážky jsou částice, které vznikají následkem kondenzace vodní páry v ovzduší a vyskytují se v kapalně nebo pevné fázi v atmosféře, na povrchu země nebo také na předmětech v atmosféře (Kopáček a Bednář, 2005). Jedná se tedy o všechnu vodu jak v kapalném, tak tuhém skupenství, jež vypadává z různých druhů oblaků (popř. z mlhy), nebo která se usazuje na zemském povrchu. Srážky, které vypadávají z oblaků, ale nedosahují zemského povrchu, se označují jako *virga* neboli srážkové pruhy (Munzar a kol., 1989).

#### *Jednotky měření*

Při měření srážek se udává, jak vysoko by voda stála, kdyby neodtékala, ani se do země nevsakovala a ani se nevypařovala. Pokud spadne např. na 1 m<sup>2</sup> plochy 1 litr (tj. 0,001 m<sup>3</sup>) deště, stojí poté voda na této ploše patrně do výšky 0,001 m tedy 1 mm. Proto je praktické udávat výšku srážek rovnou v milimetrech (Trabert, 1910). Bednář (2003) dodává, že u tuhých srážek se měří voda vzniklá po jejich úplném roztátí. Dle Bíla a Müllera (2008) pak celkové množství srážek kombinuje množství vody z roztátého sněhu a množství vody z dešťových srážek.

#### 2.1.1 Charakteristika srážek

Žádný meteorologický prvek nevykazuje časově a místně tak velkou variabilitu jako srážky (Trabert, 1910). Obecně platí, že srážky jsou základní součástí celosvětového koloběhu vody. Význam srážek pro lidstvo je evidentní, jedná se totiž o primární zdroj pitné vody. Srážky jsou také důležité pro většinu lidských činností, nejvíce však pro zemědělství, které je pravděpodobně na srážky nejcitlivější (Glickman, 2000). Atmosférické srážky jsou důležitým činitelem, který ovlivňuje počasí i podnebí. V kombinaci s teplotou vzduchu zásadně určují ráz krajiny a její vegetační kryt. (Munzar a kol., 1989). Beven (2001) ještě doplňuje, že srážky hrají klíčovou roli při určování povrchových hydrologických procesů. Mohou však být člověku také nebezpečné. Jak uvádí Khairullin (1993), silné srážky mohou vyvolat povodně, sesuvy půdy, bahnotoky, laviny, vodní erozi atd. Tyto přírodní katastrofy mohou způsobit velké materiální škody, ale i škody na lidských životech.

*Množství srážek* dopadnuvších na zemský povrch udáváme v mm vodního sloupce (Vysoudil, 1997). Podle Kešnera (1985) je *intenzita srážek* množství srážek udávané v mm vypadávající za 1 minutu. V minutách či hodinách se udává *trvání srážek*. Mezi intenzitou a trváním deště existuje nepřímý vztah, a to takový, že dlouhotrvající srážky mívají menší intenzitu a naopak. *Srážkový úhrn* je dle Vysoudila (1997) dlouhodobé množství srážek za zvolený časový interval. Tímto intervalem je nejčastěji den, měsíc nebo rok. Jowett a kol.(1993) tvrdí, že ze čtyř vlivů počasí (srážkový úhrn, denní teplotní maximum, denní teplotní minimum a teplota rosného bodu) je denní úhrn srážek ten nejdůležitější.

### **2.1.2 Vznik srážek**

Dle Cedilnik a Pristov (2007) se základní myšlenka vzniku srážek vztahuje k procesu zvaném autoconversion (český ekvivalent tohoto slova dle informací z ČHMÚ neexistuje). Jedná se o děj počátečního růstu a kolizních procesů, které umožní přeměnu oblačných částic (které nevypadávají) na padající srážky. Autoconversion je kombinace dvou mechanismů: 1) dešťové kapičky nebo sněhové částičky narůstají na úkor vody nebo ledových částic v oblaku. 2) Sněhové vločky narůstají díky toku vodní páry z podchlazených oblačných kapiček. Autoconversion je výchozí proces, který vede k tvorbě srážek v oblacích a přesnost této definice je hlavním faktorem při hodnocení tvorby srážek. Tento proces popsalo mnoho vědců jako např. Kessler (1969), Rutledge a Hobbs (1983) Zhao a Carr (1997) jako proces vzniku srážek poté, co obsah vody v oblaku dosáhne určité hodnoty nazývané autoconversion práh. Avšak hodnoty těchto prahů, jež vědci používali, jsou zcela odlišné, což by vedlo k velkému rozpětí vypočtených srážkových intenzit. Dle Smith (1990) spočívá řešení tohoto problému ve změně koncepce vzniku srážek. Je přesnější definovat vznik srážek jako vznik části oblačného spektra skládajícího se z velkých kapek, které vypadávají ven jako srážky.

Je známo, že srážky vylučují jen ty oblaky, které mají složení, jež umožňuje narůstání částic do takové velikosti (váhy), aby překonaly sílu výstupných proudů vzduchu, následně propadaly směrem k zemi a dosáhli ji dříve, než se vypaří (Kešner, 1985). Krška (2006) uvádí, že nezbytným předpokladem vzniku srážek je přítomnost kondenzačních jader v ovzduší. Kondenzační jádra jsou buď kapalné, nebo pevné částice jako např. kyselina sírová, různé soli (NaCl, KCl), křemen, slída, mikroorganismy, ale především prach a exhalace, jejichž význam v poslední době

roste stále více. Obecně lze tvrdit, že koncentrace kondenzačních jader klesá s přibývajícím výškou a naopak roste se vzdáleností od moře. Velikosti kondenzačních jader jsou zcela nepatrné. Kondenzační jádra, na nichž nejčastěji dochází ke kondenzaci mají poloměr větší než  $10^{-7}$  m. Dle Havlíčka a kol. (1986) všeobecně platí, že srážky nevypadávají z oblaků stejného složení, tedy z mraků, které jsou tvořeny pouze ledovými krystalky nebo pouze vodními kapénkami. V takových oblacích totiž nejsou podmínky k narůstání částic. Dle Uhlíře (1961) naopak nejvíce srážek vzniká ze smíšených oblaků, které jsou složeny z tekutých i tuhých prvků. Jedná se o bouřkové mraky (Cumulonimbus) a dešťové slohy (Nimbostratus). Dalším typem těchto oblaků je dle Havlíčka a kol. (1986) vysoká sloha (Altostratus). Prvotní podmínkou vzniku srážek je tedy přítomnost vodních kapek a ledových krystalů v jednom oblaku. Tento stav může nastat v případě, kdy oblak dosáhne během svého vertikálního vývoje výšek, ve kterých se teplota vzduchu pohybuje od  $-10$  do  $-16^{\circ}\text{C}$  (Krška, 2006). Obecně lze tedy říci, že obsah vody v oblaku, vztah mezi vodními kapičkami a ledovými krystalky v oblačné vrstvě, a tím tedy i intenzita atmosférických srážek a jejich fáze jsou založeny na vertikálním rozložení teplot a vlhkosti (Akimov, 2004).

### ***2.1.2.1 Vznik srážek ve vyšších zeměpisných šířkách***

Bednář (1989) tvrdí, že ke vzniku srážek ve vyšších zeměpisných šířkách je nezbytná přítomnost ledových částic v oblaku. Dojde tedy k situaci, kdy při teplotách pod  $0^{\circ}\text{C}$  menší část přechlazených maličkých vodních kapiček, která obsahuje vhodná krystalizační jádra, zmrzne v ledové částičky. Protože je napětí nasycené vodní páry nad ledem nižší než nad vodou, přechází vodní pára z přechlazených kapek na ledové krystalky, které tímto způsobem postupně narůstají, zatímco kapičky přechlazené vody se vypařují (Astapenko a Kopáček, 1987). Soukupová (2009) popisuje, že po dosažení kritické velikosti, kdy pádová rychlost ledových krystalků převyší rychlost vzestupných proudů vzduchu, začnou tyto částice padat k zemi. V oblasti, kde teplota překročí  $0^{\circ}\text{C}$  (pod hranicí nulové izotermy) částice roztají a změní se v dešťové kapky. Havlíček a kol. (1986) uvádí, že dešťové kapky vypadávají jen do velikosti průměru 7 mm. V případě, že jsou větší, tříští se na menší kapky. Z popisu vzniku srážek je patrné, že jakýkoli druh srážek v mírných zeměpisných šířkách má svůj původ v ledových krystalcích (Astapenko a Kopáček, 1987).

### **2.1.2.2 Vznik srážek v nižších zeměpisných šířkách**

Dle Soukupové (2009) vypadávají v nízkých zeměpisných šířkách intenzivní srážky (ve formě tropických lijáků) z tzv. teplých oblaků. Tyto oblaky jsou níž než hladina nulové izotermy. Tady se uplatňuje tzv. koalescenční teorie vzniku srážek. Samotnému vzniku srážek tu předchází koalescence, tedy splývání srážejících se kapek. Kopáček a Bednář (2005) uvádějí, že podmínkou, která je nezbytná pro vznik srážek podle koalescenční teorie, je velký obsah kapalné vody a vodní páry v oblaku. To je typické právě pro oblaky v rovníkové zóně. Vzestup vodní páry v atmosféře vede totiž ke zvýšení průměrných srážek a ke zvýšení četnosti výskytu intenzivních srážek (Arnell a Reynard, 1996). Lohmann a Lesins (2002) dodávají, že zejména v teplých mracích hraje také klíčovou roli při vzniku srážek různé rozložení velikosti a složení kondenzačních jader v oblaku.

Mezi kondenzačními jádry se dle Bednáře (1989) vyskytují obří kondenzační jádra o poloměrech alespoň několik mikrometrů. Koncentrace těchto jader bývá řádově menší než koncentrace ostatních kondenzačních jader přítomných ve vzduchu. Pravděpodobně jsou tyto relativně velké částice tvořeny hygroskopickými krystalky mořských solí, na kterých mohou za vhodných podmínek vznikat kapky až o řád větších rozměrů než kapičky, jež se vytvářejí na ostatních kondenzačních jádrech. Bednář (2003) dále uvádí, že takto vzniklé relativně velké kapky zachycují následně při vzájemných srážkách menší kapičky, a tím narůstají do rozměrů, při kterých začnou padat skrze vzestupné proudy, které formují oblak. Při pádu kapky dále narůstají koalescencí s malými kapičkami, dokud nedorostou do určité velikosti (záleží na konkrétních podmínkách uvnitř oblaku), kdy se samovolně rozpadají na několik větších zbytků a značný počet mikroskopických kapiček. Rozpad je způsoben skutečností, že blána povrchového napětí již není schopna udržet takový objem vody. Větší zbytky jsou vzestupnými proudy vzduchu unášeny vzhůru, opět narůstají koalescencí a celý proces se opakuje. Takto vzniká situace, kdy je v mraku zásoba větších vodních kapek, a při oslabení vzestupných proudů působením tíže nahromaděné vody dojde k jejich vypadnutí.

### **2.1.3 Rozdělení srážek**

Uhlíř (1961) tvrdí, že srážky rozdělujeme podle charakteru jejich průběhu na tři typy: *trvalé srážky*, *přehánky* a *mrholení*. *Trvalé srážky* bývají na rozsáhlém

území, mají menší intenzitu. Obvykle padají po dlouhou dobu, nejčastěji z oblaků Nimbostratus. *Přeháňky* padají na malém území, mají poměrně velkou intenzitu a trvají krátkou dobu. Vypadají z mohutných konvekčních a bouřkových mraků (Cumulonimbus). Dle Kopáčka a Bednáře (2005) se při přeháňkách často vyskytují silné nárazy větru, v letním období dokonce bouřky s krupobitím. Jako třetí typ uvádí Uhlíř (1961) *mrholení*, Tyto srážky vypadávají z oblaků Stratus. Jedná se o drobné kapičky o rozměrech 0,05 až 0,5 mm (Havlíček a kol., 1986).

Munzar a kol. (1989) dělí srážky podle skupenství na *kapalné* a *tuhé*. Podle původu (způsobu vzniku) pak na *padající* (vertikální) a *usazené* (horizontální). Dle Bednáře (1989) je pojem „usazené srážky“ v tomto smyslu určitá československá terminologická záležitost a jak sám uvádí, obecně se v mezinárodní terminologii nepoužívá. Mezi srážky padající patří dle Kopáčka a Bednáře (2005) *děšť*, *mrznoucí děšť*, *mrholení*, *mrznoucí mrholení*, *sníh*, *sněhové krupky*, *sněhová zrna*, *zmrzlý děšť*, *ledové jehličky* a *kroupy*. Astapenko a Kopáček (1987) uvádějí, že mezi usazené srážky patří *rosa*, *jiní*, *námraza* a *ledovka*. Soukupová (2009) usazené srážky navíc doplňuje o *jinovatku* a *ovlhnutí*.

### **2.1.3.1 Padající srážky**

#### *Děšť*

Dle Soukupové (2009) se jedná o kapalné srážky, které vypadávají z oblaků jako kapky o průměru větším než 0,5 mm. Obvykle je velikost kapek deště 1-2 mm. Při trvalém dešti vypadávají kapky přibližně stejných rozměrů. V přeháňkách se pak vyskytují kapky rozdílných velikostí (většinou jako první padají velké kapky). Bednář (1989) doplňuje, že o dešti hovoříme také v případě, kdy jsou kapky menší než 0,5 mm, pokud vypadávají velmi hustě. Havlíček a kol. (1986) uvádí, že děšť vypadává z oblaků Altostratus (vysoká sloha) a Nimbostratus (dešťová sloha). Děšť z Nimbostratu bývá trvalého charakteru s velkým plošným dosahem. Posledním mrakem je Cumulonimbus, který přináší nejintenzivnější srážky, a to hlavně v letních měsících.

#### *Mrznoucí děšť*

Je to děšť, jehož kapky mrznou po dopadu na prochlazený zemský povrch nebo mrznou na prochlazených předmětech (Bednář, 1989). Vysoudil (1997) uvádí, že tímto způsobem vzniká *ledovka*.

### *Mrholení*

Jedná se o druh srážek tvořený drobnými kapičkami o průměru menším než 0,5 mm, avšak nesmějí mít takovou intenzitu, aby byly považovány za déšť (Kopáček a Bednář, 2005). Seifert (1987) píše, že takovéto kapičky vypadávají z oblaku velmi pomalu, obvykle se dokonce vznášejí a udržují se dlouho ve vzduchu.

### *Mrznoucí mrholení*

Malé kapičky mrholení dopadají na prochlazený zemský povrch a zde mrznou. Jde tedy o stejný princip jako v případě mrznoucího deště. (Bednář, 1989).

### *Sníh*

Roth (1999) tento druh srážek popisuje jako tuhé srážky, které vypadávají z oblaků Stratocumulus a Nimbostratus při záporných teplotách (teplotách pod nulou). Tyto srážky se skládají z ledových šesterečných krystalků, většinou hvězdicovitě rozvětvených. Krystalky vznikají ve velkých výškách při teplotě -12 až -16°C. Husté sněžení s velkými vločkami se nejčastěji vyskytuje při teplotách kolem 0°C.

### *Sněhové krupky*

Jedná se o tuhé srážky v podobě malých a neprůhledných ledových zrněk. Tvoří se při střetu přechlazených vodních kapek s ledovými krystalky. Přechlazené kapky a ledové krystalky se přitom „spečou“. Sněhové krupky se nejčastěji vyskytují při bouřkách a přeháňkách (Roth, 1999).

### *Sněhová zrna*

Tento druh tuhých srážek popisuje Kopáček a Bednář (2005) jako malá a neprůhledná zrnka ledu o velikosti menší než 1 mm. Při dopadu se nerozbíjejí, ani neodskakují.

### *Zmrzlý déšť*

Zmrzlý déšť vzniká v případě, kdy nad prochlazenou pevninu, nad níž leží vzduch s teplotou pod 0°C, pronikne vzduch s teplotami nad 0°C doprovázený deštěm. Kapky deště následně při průletu studenou přízemní vrstvou zmrznou na průhledné ledové částice v průměru do 5 mm. (Astapenko a Kopáček, 1987).



### *Ledové jehličky*

Bednář (1989) popisuje tyto tuhé srážky jako jednoduché ledové krystalky, které se vznášejí ve vzduchu nebo klesají malou pádovou rychlostí k zemi.

### *Kroupy*

Dle Roth (1999) jsou kroupy kulovité, vejčité nebo hruškovité kousky ledu. Vypadávají z oblaků ve formě přeháňky hlavně při bouři. Jejich poloměr kolísá od 5 do 50 mm. Kroupy vypadávají jen z vertikálně mohutných mraků – Cumulonimbů. Při rozříznutí kroupy je patrné střídání průsvitných a matných vrstev. Kroupy totiž narůstají ve spodní části mraku průsvitnou ledovou vrstvou (přimrzají přehlazené vodní kapičky) a ve svrchní části matnou vrstvou, díky přimrzání ledových jader (Havlíček a kol., 1986).

### **2.1.3.2 Usazené srážky**

Soukupová (2009) uvádí, že usazené (horizontální) srážky vznikají tehdy, když se tenká vrstva vzduchu, která těsně přiléhá k chladnému zemskému povrchu nebo povrchu různých předmětů, a která je nasycená vodní parou, ochladí dotykem s těmito povrchy až na teplotu rosného bodu.

### *Rosa*

Bednář (1989) popisuje tento druh srážky jako usazeninu kapalné vody na zemském povrchu, na rostlinách nebo na různých předmětech. Vzniká kondenzací vodní páry při poklesu povrchové teploty pod teplotu rosného bodu.

### *Jíní*

Jak tvrdí Kešner (1985), platí pro jíní (neboli šedý mráz) stejné vztahy jako při vzniku rosy, jen teplota rosného bodu musí být nižší než 0°C. Jíní je, jak uvádí Soukupová (2009), tvořeno bílými lesklými krystalky ledu, které se usazují na trávě a různých vodorovných plochách.

### *Námraza*

Námraza je tvořena zrnitými ledovými částicemi a mnohdy bývá zdobena krystalickými útvary v podobě větviček. Nejčastěji se tvoří na stavbách, stromech, sloupech a drátech, a to ze strany převládajícího směru větru (Seifert, 1987).

### *Ledovka*

Dle Soukupové (2009) se jedná o hladký průhledný a kompaktní ledový povlak. Na zemském povrchu se vytvoří souvislá plocha ledu. Při delším usazování může lámat svou vahou větve apod. Vzniká zmrznutím deště na podchlazených předmětech.

### *Jinovatka*

Havlíček a kol. (1986) jinovatku popisuje jako kyprou usazeninu, která se na slunci třpytí. Na rozdíl od jíní se tvoří na elektrickém vedení, větvích, jehličí, na hranách a rozích předmětů a budov. Pokud trvají příznivé podmínky pro její tvorbu delší dobu, jinovatka zvláště proti větru značně narůstá (Bednář, 1989).

### *Ovlhnutí*

Ovlhnutí je popisováno jako tenký vodní povlak, který se vyskytuje např. na kamenech, především ale na vertikálních plochách, zdech, sloupech, kmenech stromů, a to zejména na návětrné straně. Vzniká při přílivu teplého vlhkého vzduchu, který následuje po chladném počasí (Kopáček a Bednář, 2005).

## **2.2 Faktory ovlivňující úhrny srážek**

Na celém světě množství srážek vykazuje značné prostorové a časové změny. Ty jsou způsobeny rozdíly v typu a rozsahu rozvoje procesů produkujících srážky a ovlivněním místními a regionálními faktory jako je topografie či směr větru (Wilson a Atwater, 1972). Plošné rozložení srážek a závislost srážek na nadmořské výšce, jsou často studovaná meteorologická a klimatologická témata. Výsledné srážkové mapy s ročním nebo menším časovým rozlišením se používají například v klimatologii (Palecki a kol., 2004), jako vstupy do hydrologických modelů (Singh a Frevert, 2002a, 2002b), a při vyhodnocování numerických modelů předpovědi počasí (Beck a kol., 2004).

### **2.2.1 Geografické rozložení srážek**

Dle Soukupové (2009) geografické rozdělení srážek na Zemi úzce souvisí se všeobecnou cirkulací atmosféry. Obvykle platí, že:

- 1) Od oceánu směrem do vnitrozemí srážky ubývají.
- 2) Srážky přibývají se zvyšováním nadmořské výšky, až do hranice pásma maximálních srážek (2-3 km nad hladinou moře), pak srážek zase ubývá.
- 3) Na návětrných svazích horských masivů je více srážek než na svazích závětrných (zde jde o tzv. srážkový stín).

Vysoudil (1997) tvrdí, že základní příčinou prostorového rozložení srážek na Zemi v průběhu celého roku je celkový režim oblačnosti. Vzhledem k tomu, že srážky jsou závislé na teplotních poměrech a vzhledem k charakteru všeobecné cirkulace atmosféry, jsou srážky na Zemi rozloženy zonálně. Na pevnině je však rozložení srážek velmi nerovnoměrné a vliv místních geografických podmínek se projevuje mnohem výrazněji než u jiných meteorologických prvků nebo klimatických charakteristik.

Dle Davie (2008) mohou být různé vlivy na srážky rozděleny na *statické* a *dynamické*. Statické vlivy jsou nadmořská výška, poloha a sklon. Tyto vlivy se mezi bouřkovými událostmi nemění. Dynamické vlivy jsou naopak ty, které se mění a jsou z velké části způsobeny kolísáním počasí. Dynamické meteorologické struktury v troposféře a topografické rysy způsobují dočasné a prostorové proměnlivosti srážek. Měření, hodnocení a modelování těchto variant může poskytnout poučný pohled do srážkových jevů, zejména v oblasti jejich analýzy a předpovědi (Sen a Habib , 1998). Ve světovém měřítku jsou vlivy na rozdělení srážek hlavně dynamické, zapříčiněné rozdílnými modely počasí, ale jsou zde také statické faktory jako topografie, která může způsobit hlavní změny díky efektu srážkového stínu. V pevninském měřítku mohou být velké srážkové rozdíly připsány směsi statických a dynamických faktorů (Davie, 2008).

### **2.2.2 Faktory ovlivňující srážkové úhrny**

#### *Nadmořská výška*

Je všeobecně známo, že nadmořská výška výrazně ovlivňuje prostorové rozložení srážek nejen v horských oblastech. Orografický výstup, k němuž dochází na návětrných svazích, způsobuje, že vznikají vzduchové hmoty, které expandují (zvětšují svůj objem) a adiabaticky se ochlazují (při zvětšování objemu plynu plyn koná práci, vnitřní energie klesá a dochází k ochlazení), což má za následek

zvýšení relativní vlhkosti, vytváření oblačnosti a srážek. Tento princip je hlavním důvodem pro zvýšení množství srážek s nadmořskou výškou (Barros a Lettenmaier, 1994). Vysoudil (1997) toto potvrzuje, avšak dodává, že zvyšování srážkových úhrnů s rostoucí nadmořskou výškou je limitované výškou hladiny kondenzace, která může být ve výšce 2000 m (Alpy), ale i 5000 m (Pamír). Krešl (2001) uvádí, že přírůstek srážek, který připadá na každé zvýšení nadmořské výšky o 100 m se nazývá srážkový gradient. Vztah mezi srážkami a nadmořskou výškou je základní předpoklad používaný ve většině metod mapování srážek v horách (Barros a Lettenmaier, 1994).

Vztah mezi srážkami a topografií je ovšem složitější. Ačkoliv většina studií dokazuje zvyšování srážek s nadmořskou výškou, může se tento vztah značně lišit a někdy nemusí platit vůbec (Blumer, 1994). Vztah mezi srážkami a nadmořskou výškou nepochybně závisí na délce zkoumaného období. Srážko-výškový vztah byl zdařilý pro klimatologické mapování ročních údajů, ale byl zde evidentní velký rozptyl v denních srážkách (Ahrens, 2006). Vztahy mezi srážkami a nadmořskou výškou jsou silně ovlivněny kvalitou dat (Ciach a kol., 2000). Je však známo, že měření srážkoměry je ovlivněno různými druhy chyb (výpar, ztráty způsobené větrem, foukání sněhu, ovlhnutím). Tyto chyby lze ale snížit vhodnými opravnými postupy (Sevruk, 1986). U srážek v různých výškách a dobách trvání je třeba analyzovat také původ srážkové činnosti, tedy synoptickou situaci (typ tlakového systému a atmosférické fronty). Ta má vliv nejen na mechanismy tvorby srážek, ale také na intenzitu srážek (Twardosz, 2007).

### *Zeměpisná poloha*

Dle Seiferta (1987) je rozložení srážek na zemském povrchu nepravidelné. Některé oblasti trpí díky své geografické poloze ,a tedy odpovídajícímu klimatu, dlouhotrvajícím nedostatkem srážek. Naopak oblasti, které jsou především v blízkosti moří a oceánů, mají srážek nadbytek.

Rozložení srážek na Zemi je dle Kemela (1996) takové, že okolo rovníku jsou srážkové úhrny více jak 2000 mm za rok. Směrem na sever a na jih od rovníku úhrn klesá. Minima 500 mm dosahuje v pásmu 15-30 stupňů severní a jižní šířky. Zde také nalézáme většinu pouští. V mírném klimatickém pásmu srážek opět přibývá. V tomto pásmu je dosahováno úhrnů v mezích 500-1000 mm za rok v důsledku vzniku

a střetu teplých a studených front. V polárních oblastech jsou srážkové úhrny opět velmi nízké, nižší než 300 mm za rok.

#### *Poloha vůči světovým stranám*

Davie (2008) uvádí, že vliv polohy je méně důležitý než vliv nadmořské výšky, ale stále může hrát důležitou roli v rozdělení srážek v celém povodí. Ve vlhkých středních zeměpisných šířkách (od 35° do 65° severně nebo jižně od rovníku) jsou hlavním zdrojem srážek cyklonální systémy přicházející od západu. Svahy v rámci povodí orientované na východ jsou přirozeně více chráněné vůči dešti, než ty orientované na západ. Výsledkem tedy je, že na svahy, které mají polohu orientovanou na převládající směry větrů, spadne více srážek. Vysoudil (1997) tvrdí, že jižní svahy jsou mnohem intenzivněji ozařované než ostatní svahy, což vede k výraznějšímu prohřívání vzduchu v přízemní atmosféře a vzniku výrazné konvekce (vertikální pohyb vzduchu způsobený vyšší teplotou vzduchu oproti okolní atmosféře). Tímto způsobem vzniká kupovitá oblačnost, a tedy i intenzivnější vypadávání srážek.

#### *Sklon*

Z rozborů vlivu sklonu svahu na měření srážek můžeme dle Zapletala (2005) předpokládat, že v případě většího povodí s různým sklonem a orientací svahů se protichůdné vlivy navzájem vyrovnají a nemusíme k této skutečnosti přihlížet. V horském povodí se strmými svahy je však užitečné, vzít tento vliv v potaz.

#### *Srážkový stín*

Davie (2008) uvádí, že tam, kde je mohutný a vysoký pevninský masiv, je běžné, že srážky jsou značně vyšší na jedné straně než na straně druhé. Když je vlhkost vázaná vzduchovou masou přesouvána přes topografickou bariéru, uvolní déšť, takže množství srážek často inklinuje ke zvýšení právě na návětrné straně hor, kde dochází ke zdvihu vzduchových mas (Hanson, 1982). Takové vlivy návětrí zmiňuje Vysoudil (1997) i v ČR (návětrné strany Jeseníků, Beskyd a Karpat). Závětrná strana horských překážek naopak vede k vytváření srážkového stínu jako v případě oblasti podkrušnohorského zlomu (Vysoudil, 1997).

### *Antropogenní vlivy*

Problém se týká především menších oblastí (aglomerací), kde dochází na malé ploše k velkému uvolňování energie. To může vést k ovlivnění energetické bilance místa, což se může projevit i změnou srážkových poměrů. Obecně lze vymezit 3 skupiny lidských činností, které by mohli mít vliv na změnu srážkového režimu:

- 1) Budování velkých městských a průmyslových aglomerací
- 2) Budování velkých vodních nádrží
- 3) Odlesňování

Pro všechny tyto skupiny je typická výrazná změna charakteru aktivního povrchu, který má za následek změny v místní cirkulaci ovzduší (Červený a kol., 1984).

### *Interakce*

Dva nebo více z výše uvedených faktorů na sebe mohou vzájemně působit, a proto je důležité vzít v úvahu jejich společný účinek (Abebe a Savenije, 1995). Například je známo, že vztah mezi sklonem a plochou je schopen dobře popsat povodí. Avšak hlavním nedostatkem tohoto vztahu je omezená schopnost reprezentovat různorodost v rámci povodí (Cohen a kol., 2008).

## **2.3 Metody výpočtu prostorové distribuce srážek**

Analýza prostorové distribuce srážek studuje jejich oblastní proměnlivost. U rozdílných množství srážek zaznamenaných z několika srážkoměrů napříč povodím po bouřce, po měsíci, po roce nebo po několika letech je často nutné odhadnout rovnocenné (ekvivalentní) množství srážek pro celé povodí (Serrano, 1997). Dle Davie (2008) se měřičské techniky zaměřují na měření srážek na přesném místě (případně na extrémně malé ploše). Ve skutečnosti potřebují hydrologové vědět, jaké množství srážek spadlo na mnohem větší ploše. Obvykle je touto plochou povodí. K přesunutí bodového měření na prostorově distribuovaný odhad je nezbytné použít nějakou formu prostorového průměrování. Prostorové průměrování se musí pokusit spočítat nerovnoměrné rozložení srážkoměrů v povodí a různé faktory, o nichž víme, že ovlivňují prostorovou distribuci srážek (tj. nadmořská výška, poloha a sklon). Pro prostorovou proměnlivost srážek mají klasické techniky analýzy časových řad a jejich interpretace omezené použití protože nesplňují požadavek na stejnou vzdálenost odběru. Nicméně, pokrok byl dosažen

v adaptaci a aplikaci statistických metod pro nerovnoměrné vzorky dat (North a kol., 1982).

Existují rozdílné statistické techniky, které řeší problémy prostorové distribuce srážek a s rozvojem používání Geografických informačních systémů (GIS) je často triviální záležitostí provést výpočet. Stejně jako u všech výpočetních úloh i zde je důležité mít dobré znalosti, jak tato technika funguje, aby případné nedostatky byly plně pochopeny (Davie, 2008). Protože jsou srážky základním prvkem bilanční rovnice, je potřeba věnovat pozornost nejen rozmístění stanic, ale i volbě metody výpočtu srážkové výšky, která dopadla na povodí. Srážková výška je tloušťka vrstvy vody ze srážek, rozprostřené na půdorysný průmět povodí a volba metody výpočtu této veličiny závisí jednak na reliéfu, dále hustotě sítě pozorovacích stanic a nakonec na požadované přesnosti (Kemel, 1996).

Existují 3 základní metody výpočtu prostorové distribuce srážek, které jsou: *aritmetický průměr*, *metoda Thiessenových polygonů* a *metoda izohyet* (Bedient a Hubert, 2002). Další metody jsou např. *metoda vážené inverzní vzdálenosti (IDW)* a *kriging*. Tyto metody se často používají pro odhad hodnot chybějících množství srážek (Teegavarapu a Chandramouli, 2005). Davie (2008) rozšiřuje tyto metody ještě o *hypsometrickou metodu*.

Bedient a Hubert (2002) tvrdí, že pro oblasti, kde srážkoměry chybí, poskytují zajímavou alternativu odhady množství srážek založené na radaru. Meteorologické radiolokátory se dle Daňhelky (2007) používají k detekci srážkové oblačnosti na rozsáhlé ploše až do vzdálenosti v okruhu 100 až 300 km od radaru. Radar vyšle elektromagnetické pulzy o určité vlnové délce a zachytí část energie odražené zpět od kapalných částic v atmosféře. Radar tedy měří odrazivost od vodních částic rozptýlených v atmosféře. Pozitivní rysy radarového a srážkoměrného měření mohou být kombinovány sloučením obou typů dat. Slučovací metoda udržuje prostorovou strukturu radarových polí a správné kvantitativní hodnoty pomocí měření srážkoměru. (Tartaglione a kol. 2008). Nicméně, radarová měření jsou ovlivněna různými typy chyb, a transformace měřené radarové odrazivosti od výskytu deště není zdaleka přesná (Kitchen a Blackall, 1992). Ciach a kol. (2000) uvádí, že ve většině studií jsou použity pouze data ze srážkoměrů, protože spolehlivost dat meteorologického radaru je považována za nedostatečnou.

### 2.3.1 Aritmetický průměr

Dle Daňhelky (2007) je metoda aritmetického průměru nejjednodušší metodou výpočtu průměrné srážky na povodí. Tato metoda představuje průměr plošných srážek. Jak tvrdí Krešl (2001), průměrnou srážku v povodí vypočteme jednoduše jako aritmetický průměr všech uvažovaných srážkoměrů. Výsledek však může být pouze orientační. Tato metoda je dostačující, pokud jsou srážkoměry rovnoměrně rozmístěny a jednotlivé kolísání není vzdáleno od srážkového průměru (Bedient a Hubert, 2002). Serrano (1997) potvrzuje, že pro rovnoměrně hustě rozloženou srážkoměrnou síť v povodí je nejjednodušší přístup použití aritmetického průměru a uvádí jeho vzorec jako:

$$\bar{P} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N P_i$$

Kde:  $\bar{P}$  je průměrné množství srážek nad oblastí (mm)

$P_i$  je množství srážek ve srážkoměru (mm)

$N$  je počet srážkoměrů

Bedient a Hubert (2002) píší, že metoda není příliš přesná pro velké oblasti, kde množství srážek kolísá. Na rozsáhlých územích lze dle Kemela (1996) postupovat také způsobem, kdy na mapu přiložíme čtvercovou síť, doplníme čtverce bez srážkových údajů hodnotami získanými lineární interpolací a dále aritmetickým průměrem všech hodnot získáme průměrnou výšku srážek na povodí. Tento postup je vhodné udělat několikrát při různé poloze čtvercového rastru. Metoda výpočtu výšky srážek na povodí aritmetickým průměrem, popř. metoda čtvercové sítě je vhodná jen pro málo členité oblasti, které mají dobře navrženou pozorovací síť.

Davie (2008) říká, že jednoduchý aritmetický průměr by fungoval tam, kde by v povodí byly odebírány vzorky z rovnoměrně rozložených srážkoměrů a kde by nebyla rozmanitost v topografii. Jestliže by tyto podmínky byly někdy skutečně splněny, pak je však nepravděpodobné, že by zde byl více jak jeden srážkoměr, který by odebíral vzorky z povodí. Z tohoto důvodu se aritmetický průměr používá vzácně. Metoda aritmetického průměru totiž odhaduje oblast jako



celek (nedělí povodí na menší plochy), což může dělat výsledek této metody nedostatečný (Wang a kol., 2010).

### **2.3.2 Thiessenovy polygony**

Krešl (2001) píše, že metoda polygonová (také zvaná Hortonova nebo Thiessenova) je velmi výhodná, zvláště s ohledem na pracnost při stanovení řady hodnot průměrných srážek v povodí (např. měsíčních). Tato metoda je důležitá pro hodnocení množství srážek v oblasti (povodí). Kvůli své vysoké přesnosti a rychlosti výpočtu je široce používána v praxi. Výpočet metodou Thiessenových polygonů je jednoduchý, protože jsou potřeba pouze bodová data z oblasti (Zhou a kol., 2009). Principem metody Thiessenových polygonů je rozdělení povodí na části, které jsou přiřazovány k jednotlivým srážkoměrným stanicím na základě vzdálenosti od těchto stanic. Každému bodu povodí je tak teoreticky přiřazena hodnota z nejbližší srážkoměrné stanice. Vstupním datům (množství srážek) z jednotlivých stanic jsou poté přiřazeny váhy podle podílu plochy povodí příslušné k dané stanici. (Daňhelka, 2007). Serrano (1997) dodává, že široce rozloženým srážkoměrům jsou přiděleny větší plochy než těm méně rozloženým. Uvnitř každé plochy je předpokládáno, že množství srážek je zaznamenáváno tím jedním příslušným srážkoměrem. Je třeba geometrické konstrukce k načrtnutí polygonů, jež vymezují plochu vztahující se ke srážkoměru.

Bedient a Hubert (2002) popisují metodu Thiessenových polygonů jako metodu, která umožňuje prostorové vážení množství srážek z každého přístroje. Polygon je těžištěm bodů bližších danému srážkoměru než k jakémukoliv jinému. Tato metoda tedy předpokládá, že množství srážek v kterémkoli bodě v povodí odpovídá množství srážek naměřených v nejbližším srážkoměru (Cheng a kol., 2012).

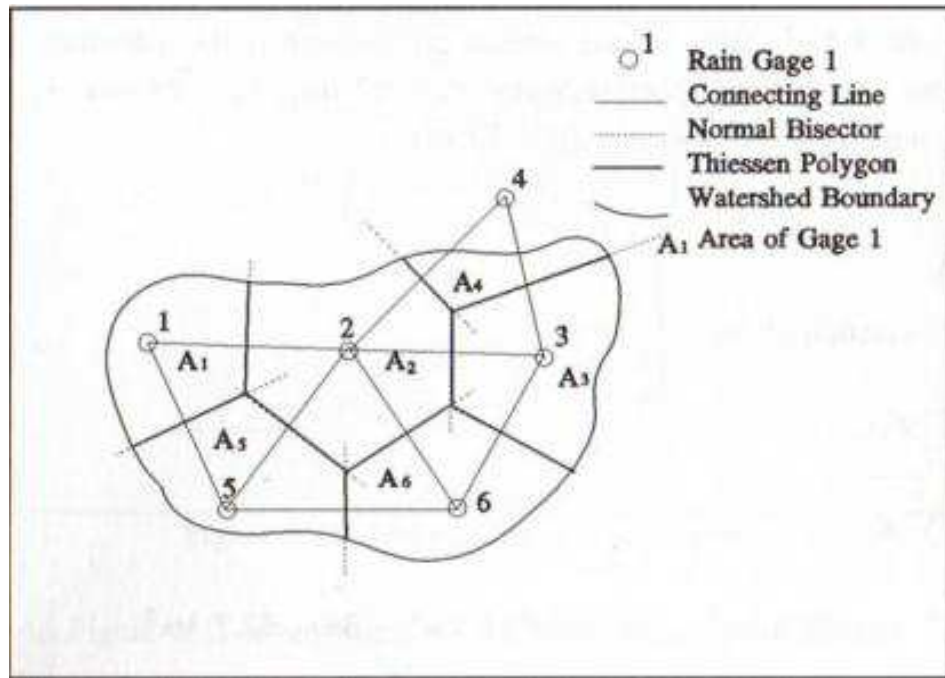
#### **2.3.2.1 Konstrukce Thiessenových polygonů**

Nejprve se spojí srážkoměry úsečkami (Serrano, 1997). Spojující úsečky jsou zakresleny mezi stanicemi umístěnými na mapě (Bedient a Hubert, 2002). Dle Serrano (1997) je kvůli nedostatku srážkových informací v některých povodích často užitečné, zahrnout sem i srážkoměry mimo povodí (obrázek č. 2-1). Dle Kemela (1996) se srážkoměrné stanice spojují takovým způsobem, aby vznikla trojúhelníková síť, ve které se strany trojúhelníků neprotínají.

Dále se načrtnou kolmice uprostřed každé spojnice srážkoměrů (přerušované čáry v obrázku č. 2-1) Kolmice trojúhelníku by se měly protínat v jednom bodě. Tyto kolmice tvoří strany Thiessenových polygonů (silné pevné čáry v obrázku č. 2-1) (Serrano, 1997). Poté kolmice prodloužíme a dostaneme polygony. Kolmice jsou tedy zakresleny tak, aby formovaly polygony kolem každého srážkoměru (Bedient a Hubert, 2002). Každý polygon je koncipován na mapě tak, že hranice polygonů jsou stejně vzdáleny od každého srážkoměru a koncipovány v pravém úhlu (ortogonálně) vůči myšlené čáře mezi dvěma srážkoměry (Davie, 2008). Pro srážkoměry poblíž hranice povodí se strany prodlouží až do hranice povodí. Pro srážkoměry mimo hranici povodí, jako srážkoměr číslo 4 v obrázku č. 2-1, se zvažuje jen ta část, která je uvnitř povodí (Serrano, 1997).

Jakmile jsou polygony sestaveny, určí se plocha každého polygonu obklopující srážkoměr (Davie, 2008). Poměr plochy každého polygonu uvnitř hranice povodí k celkové ploše je používán k vážení množství srážek každé stanice (Bedient a Hubert, 2002). Plochy se určí např. pomocí planimetru, a přitom není nutné určovat skutečné plochy, stačí údaj v jednotkách planimetru, nebo v relativním, procentuálním vyjádření (Kemel, 1996).

Serrano (1997) je důslednější a tvrdí, že plocha každého polygonu se odhadne pomocí polárního planimetru nebo počítačového digitizéru, kdy je třeba změřit každý polygon minimálně třikrát, a poté spočítat průměrnou plochu. Suma ploch všech polygonů by se měla rovnat celkové ploše povodí. V dnešní době se Thiessenovy polygony konstruuji relativně snadno a rychle v některém z GIS programů.



Obr. č. 2-1: Konstrukce Thiessenových polygonů

zdroj: (Serrano, 1997)

Průměrné množství srážek se pak dle Serrano (1997) vypočte vzorcem:

$$\bar{P} = \frac{\sum_{i=1}^N P_i A_i}{\sum_{i=1}^N A_i}$$

Kde:  $\bar{P}$  je průměrné množství srážek nad oblastí (mm)

$P_i$  je množství srážek ve srážkoměru (mm)

$A_i$  je plocha každého polygonu (km<sup>2</sup>)

Metoda je dle Daňhelky (2007) velmi objektivní a umožňuje dokonce postupně zpřesňovat váhy stanic s rostoucí délkou pozorovaného období. Nevýhodou však je, že není flexibilní, protože při změně souboru srážkoměrných stanic (i při výpadku pozorování) nebo pro každé nové území se musí vytvořit nová síť polygonů. Metoda je tedy unikátní pro každou síť srážkoměrů, ale neumožňuje vzít v úvahu orografické vlivy, tedy vlivy vzniklé změnou výšky (Bedient a Hubert, 2002).

Davie (2008) tvrdí, že tato technika je skutečně platná jen tam, kde je topografie stejná uvnitř každého polygonu, aby mohlo být bezpečně předpokládáno, že rozložení srážek je uvnitř polygonu stejné. Metoda Thiessenových polygonů

umožňuje zvážit hustotu srážkoměrné sítě a relativní vzdálenost mezi srážkoměry, nicméně tuto metodu nemůžeme aplikovat v horských oblastech, protože v těchto oblastech je vliv orografie důležitější než měření rozlišení vztažené na hustotu srážkoměrů (Serrano, 1997).

Proto dle Kemela (1996) použijeme Thiessenovu metodu v méně členitém terénu, protože je méně pracná a přitom pro uvedený typ oblasti co do přesnosti srovnatelná s metodami používajícími izohyety. Bedient a Hubert (2002) tvrdí, že tato metoda je pravděpodobně nejvíce používaná metoda ke stanovení průměrného množství srážek v povodí.

### **2.3.3 Metoda izohyet**

Dle Taesombat a Sriwongsitanon (2009) mapa izohyet představuje křivky spojující místa se stejným množstvím srážek. Serrano (1997) uvádí, že tato metoda je jednou z nejpoužívanějších metod ke studování prostorové distribuce srážek. Metoda dovoluje výpočet průměrného množství srážek nad oblastí povodí, a dokonce dává vizuální popis prostorové distribuce srážek. Navíc může být použita v horských oblastech.

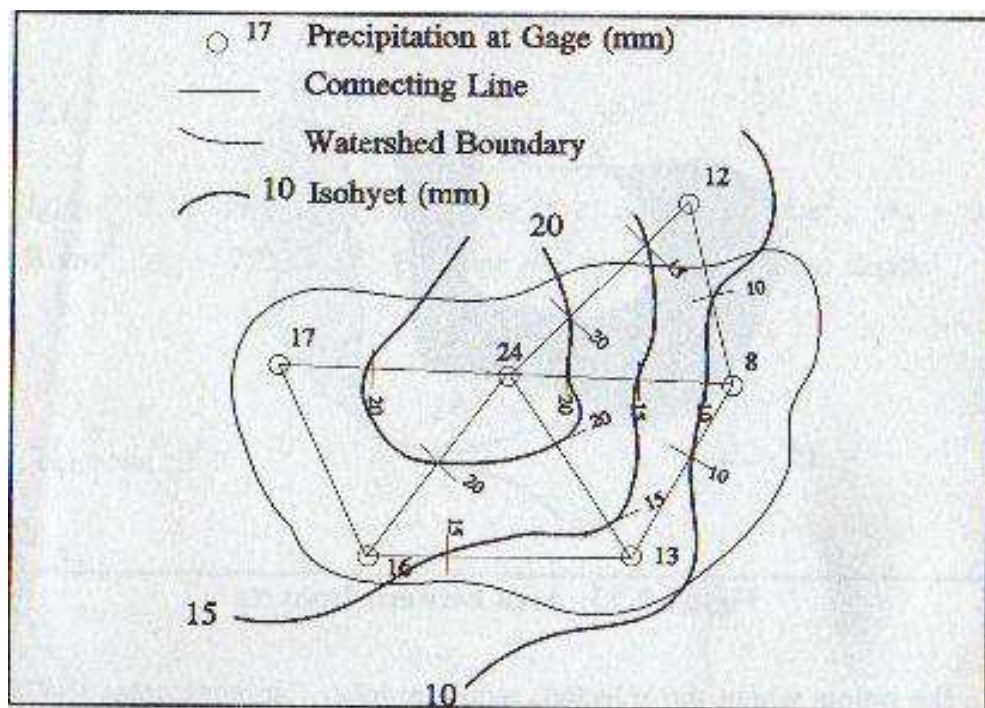
Dle Bedient a Hubert (2002) zahrnuje metoda izohyet kreslení křivek stejného množství srážek (izohyet) a je nejpřesnější metodou. Avšak kvůli rozsáhlé síti srážkoměrů je třeba kreslit izohyety přesně a přes celé povodí. Izohyety představují analogii ke konceptu konstrukce vrstevnic, tedy čar, spojujících místa se stejnou nadmořskou výškou k pozorování proměnlivosti terénu. A protože konstrukce map izohyet má stejná pravidla jako při vytváření map vrstevnic, jakýkoliv počítačový program vytvořený na kreslení vrstevnic může být použit za účelem kreslení izohyet. Je zapotřebí co největšího počtu srážkoměrů, jelikož čím větší je hustota srážkoměrů, tím větší je rozlišení a tím přesnější jsou linie izohyet (Serrano, 1997). Tam, kde je velké množství srážkoměrů uvnitř povodí, může být mapa distribuce srážek v povodí získána interpolací mezi srážkovými hodnotami, které vytvářejí vyhlazený (smooth) srážkový povrch (Davie, 2008).

#### **2.3.3.1 Konstrukce izohyet**

Serrano (1997) uvádí, že se srážkoměry spojí přímkami. Rozhodne se interval izohyet založený na rozsahu hodnot srážkového množství, na počtu srážkoměrných

stanic a požadovaném rozlišení. V obrázku č. 2-2 je minimum srážek 8 mm (srážkoměr 3) a maximum 24 mm (srážkoměr 2). Je zde 6 srážkoměrů a je tedy vhodné vytvořit 3 izohyety v intervalu 5 mm, čímž získáme rozlišení odpovídající počtu srážkoměrů. Vzniknou tedy 3 izohyety: jedna pro 10 mm, druhá pro 15 mm a třetí pro 20 mm. Protože je konstrukce izohyet v podstatě lineární interpolace bodových hodnot, bylo by nelogické kreslit intervaly neodpovídající počtu srážkoměrů. Dále se vyhledají místa, kde vybrané celo-číselné izohyety křížují spojnice mezi srážkoměry. Jak je vidět v obrázku č. 2-2, je v prvním srážkoměru 17 mm srážek a ve druhém srážkoměru 24 mm srážek. Izohyeta, která má hodnotu 20 mm protíná spojnici mezi těmito srážkoměry. K nalezení místa protnutí si musíme všimnout rozdílu v množství srážek mezi srážkoměry a ten činí 7 mm. Rozdělí se tedy spojnice mezi těmito srážkoměry na 7 stejných intervalů. Označí se místo s 20 mm na spojnici. Poté se tento proces opakuje na všech spojnicích. Body se stejným množstvím srážek se spojí křivkou, přičemž tyto křivky vytvoří izohyety. Teoreticky všechny tyto body dokazují stejné množství srážek. Proces se opakuje, dokud nejsou všechny izohyety nakresleny.

Mapa izohyet dává vizuální znázornění ploch s velkým srážkovým množstvím (okolo srážkoměru 2) a s malým srážkovým množstvím (okolo srážkoměrů 3,4 a 6). Odhadnou se plochy mezi izohyetami. Je třeba si uvědomit, že  $a_1$  a  $a_4$  obsahují plochy mezi krajními izohyetami a hranicemi povodí. Součet ploch musí dát celkovou plochu povodí (Serrano, 1997). Číslování srážkoměrů v obrázku č. 2-2 je shodné s číslováním srážkoměrů v obrázku č. 2-1, ale číselné označení bylo z důvodů přehlednosti vypuštěno a nahrazeno množstvím srážek naměřeným na jednotlivých srážkoměrech.



Obr. č. 2-2: Konstrukce metody izohyet

zdroj: (Serrano, 1997)

Výpočet množství srážek je založen na hledání průměrného množství srážek mezi každou dvojicí křivek a násobené plochou mezi nimi. Dále sečteme tyto násobky a dělíme je celkovou plochou povodí. Tato metoda může zahrnovat orografické vlivy a morfologii bouřek, a může tak představovat přesnou mapu srážkového modelu (Bedient a Hubert, 2002).

Jak uvádí Davie (2008), prostorový průměr následně vypočteme vzorcem:

$$R = \sum_{i=1}^N \frac{r_i a_i}{A}$$

Kde: **R** je průměrné množství srážek nad oblastí (mm)

**a<sub>i</sub>** je plocha mezi izohyetami (km<sup>2</sup>)

**r<sub>i</sub>** je průměrné množství srážek mezi izohyetami (mm)

**A** je celková plocha povodí (km<sup>2</sup>)

Metoda izohyet je flexibilní, ale potřebuje dostatečné množství stanic, a to zejména pokud je v povodí velká plošná proměnlivost srážek (Daňhelka, 2007).

Dle Davie (2008) může být s příchodem GIS interpolace a kreslení izohyet hotové poměrně snadno, ačkoli je zde několik různých způsobů provedení interpolace. Interpolace dělí povodí do malých síťových buněk a poté přiřadí srážkovou hodnotu každé síťové buňce (to je vyhlazený srážkový povrch). Jednodušší metoda interpolace je „metoda nejbližšího souseda“, kde přidělená hodnota srážek síťovému čtverci je úměrná nejbližším srážkoměrům.

### 2.3.4 Další metody

#### *Metoda vážené inverzní vzdálenosti (Inverse Distance Weighting – IDW)*

Daňhelka (2007) píše, že se metoda IDW většinou používá u menších povodí. Zvolí se bod, pro který se vypočte srážkový úhrn. Pro výpočet průměrné srážky na povodí se nejčastěji uvažuje geografické těžiště povodí a stanice v jeho okolí (většinou v určitém omezeném okruhu). Výpočet je pak řešený váženým průměrem, kdy váhou je převrácená hodnota vzdálenosti dané stanice od zvoleného bodu.

Dle Stříže a Němce (2011) je vzorec metody IDW:

$$O = \frac{\sum \frac{v}{(h + s)^p}}{\sum \frac{1}{(h + s)^p}}$$

Kde: **O** je odhad množství srážek v daném bodě

**v** je hodnota srážek v okolním bodě (srážkoměru)

**h** je vzdálenost mezi daným bodem a srážkoměrem

**s** je faktor shlazení (standardně 0)

**p** je faktor přiblížení (standardně 2)

Dle tvrzení Wang a kol. (2010) je u této metody výhodou jednoduchý výpočet. Je ale vhodná pouze pro malé oblasti s jednoduchým reliéfem a oblasti s rovnoměrně rozloženými stanicemi. V opačném případě budou výsledky s velkými chybami. Tato metoda je nejčastěji používanou metodou pro odhad chybějících srážkových údajů. Někdy je dokonce tato metoda kombinována s tvorbou Thiessenových polygonů, kvůli snížení vzdálenosti a tím zvýšení váhy, tedy převrácené hodnoty vzdálenosti (Teegavarapu a Chandramouli, 2005).

## *Kriging*

Více komplikovaná technika je použití krigingu, kde interpolovaná hodnota pro každou buňku je odvozena se znalostí, jak spolu navzájem blízké srážkoměry úzce souvisí z hlediska jejich vzájemného rozdílu (Davie, 2008). U Krigingu se v zásadě jedná o převod bodových hodnot na plošnou informaci ve formě gridu, proto je využíván zejména v distribuovaných hydrologických modelech. Povodí se rozdělí do pravidelné gridové sítě. Pro každý bod sítě je poté vypočtena hodnota srážky (Daňhelka, 2007). Ukázalo se, že v oblastech se silně se lišící intenzitou srážek, metody jako kriging apod., poskytují mnohem lepší odhad než jakákoliv z běžně používaných technik jako je např. aritmetický průměr (Syed a kol., 2003).

## *Hypsometrická metoda*

Dle Davie (2008) je známo, že množství srážek je ovlivňováno nadmořskou výškou (tj. vyšší nadmořská výška, vyšší množství srážek) a je vhodné předpokládat, že se znalost nadmořské výšky povodí může týkat odhadu prostorové distribuce srážek. Nejjednodušším indikátorem nadmořské výšky povodí je hypsometrická (nebo hypsografická) křivka. Je to křivka znázorňující plošný poměr povodí nad nebo pod určitou nadmořskou výškou. Hodnoty křivky mohou být odvozeny z map pomocí planimetru nebo pomocí digitálního výškového modelu (DEM) v GIS. Hypsometrická metoda poté vypočítá vážený průměr založený na poměru povodí mezi dvěma nadmořskými výškami a měřené množství srážek mezi těmito nadmořskými výškami.

Existuje značné množství dalších metod výpočtu prostorové distribuce srážek. Např. Murugesu a Günter (1998) uvádí metodu IDF křivek (Intensity-duration-frequency curves). Dle Serrano (1997) jsou to např. multikvadratická interpolace, eyeball isohyetal method nebo least-squares surface method. Ashraf a kol. (1997) uvádí co-kriging a Teegavarapu a Chandramouli (2005) uvádí Coefficient of correlation weighting method (CCWM), metodu nejbližšího souseda a co-kriging radarových a srážkoměrných dat. Další metody jsou např. block kriging method (Cheng a kol., 2012) nebo dle Taesombat a Sriwongsitanon (2009) metoda The thin plate splines (TPS).

Avšak i přes jejich velké množství, tyto metody většinou vyžadují vysokorychlostní počítače, a tudíž nejsou tak praktické jako tradiční metody



aritmetického průměru, Thiessenových polygonů a metody izohyet, které nevyžadují tolik údajů a proto nejsou tak náročné na technické vybavení (Fiedler, 2003).

Jelikož je všeobecně známo, že je nemožné získat skutečné hodnoty plošných srážek, je tedy obtížné rozhodnout, která metoda funguje nejlépe, a lze tvrdit, že žádná metoda není obecně považována za standard (Sokol a Bližňák, 2009).

## **2.4 Distribuce srážek v malém povodí**

Dorninger a kol. (2008) uvádí, že znalost plošné distribuce srážek je rozhodující pro mnoho vědních oborů, např. pro hydrologii, agrometeorologii či klimatologii, stejně jako pro praktické činnosti jako např. řízení využívání půdy (land use management). Analýza dešťových srážek je důležitá pro řízení vodních zdrojů. Průměrné srážky jsou často používány k výpočtu prostorových srážek např. regionu a jsou vstupem do různých srážko-odtokových modelů. Průměrné srážky v povodí jsou obvykle vstupem do koncepčních modelů odtokových hydrogramů, ale také do ostatních hydrologických analýz, hlavně do analýz, které se používají na povodňové modelování. Nicméně tyto metody jsou založeny na odpovídající síti srážkoměrů. Teoreticky, čím více se nainstaluje srážkoměrů, tím přesnější budou srážková data. Avšak množství srážkoměrů je omezené kvůli jejich ceně a zároveň kvůli geografickým omezením (Cheng a kol., 2012). Nevýhoda pozemních srážkoměrů spočívá v tom, že údaj získaný ze srážkoměru reprezentuje pouze lokalitu (bod) jeho umístění. S přihlédnutím k velké plošné proměnlivosti srážek tak může na základě naměřených bodových úhrnů dojít ke špatnému odhadu celkových srážek v povodí (Daňhelka, 2007).

Při hydrologických výpočtech nevystačíme dle Krešla (2001) se srážkoměrnými údaji jedné stanice. Nejčastěji je třeba stanovit průměrné množství srážek spadlých v povodí (obecně lze uvažovat jakoukoliv přesně vymezenou plochu), tj. výšku vodního sloupce, který by srážky vytvořili při rovnoměrném rozprostření na ploše povodí za předpokladu, že se nevsakují, nevypaňují, ani neodtékají. Když se stanovuje průměrné množství srážek, vychází se ze srážkoměrných údajů sítě stanic, které leží na uvažované ploše (povodí) a v jejím bezprostředním okolí tak, že spojnice okolních stanic ohraničují celou zájmovou plochu. Vysoká hustota srážkoměrných sítí je nutná pro představu skutečné prostorové proměnlivosti srážek (Bacchi a Kottegoda, 1995).

Odhad množství srážek v povodí však může obsahovat tyto chyby: Selhání jednotlivých srážkoměrů při sběru dat, dále chyby pozorovatele nebo zpracovatele, či selhání srážkoměrné sítě (Dingman, 1988). Obecně platí, že u všech typů srážkoměrů dochází při měření ke ztrátám, tedy že naměřená množství srážek jsou menší než množství na zem skutečně spadlá (Daňhelka, 2007). Teegavarapu a Chandramouli (2005) uvádí, že systematické chyby při měření srážkoměry mohou být různé. Jedná se o ztrátu vody během měření, ztráta adhezí (přilnavostí) na povrch srážkoměru či stříkání kapek z kolektoru. Kompletní nedostatek údajů může být zapříčiněn také selháním srážkoměru. Další chyby v zaznamenávání srážek jsou způsobeny růstem stromů a problémy přístrojů či technik, které při měření množství srážek používáme. Tyto chyby závažným způsobem ovlivňují kontinuitu srážkových dat a dokonce ovlivňují i výsledky hydrologických modelů, protože tyto modely používají množství srážek jako vstupní data.

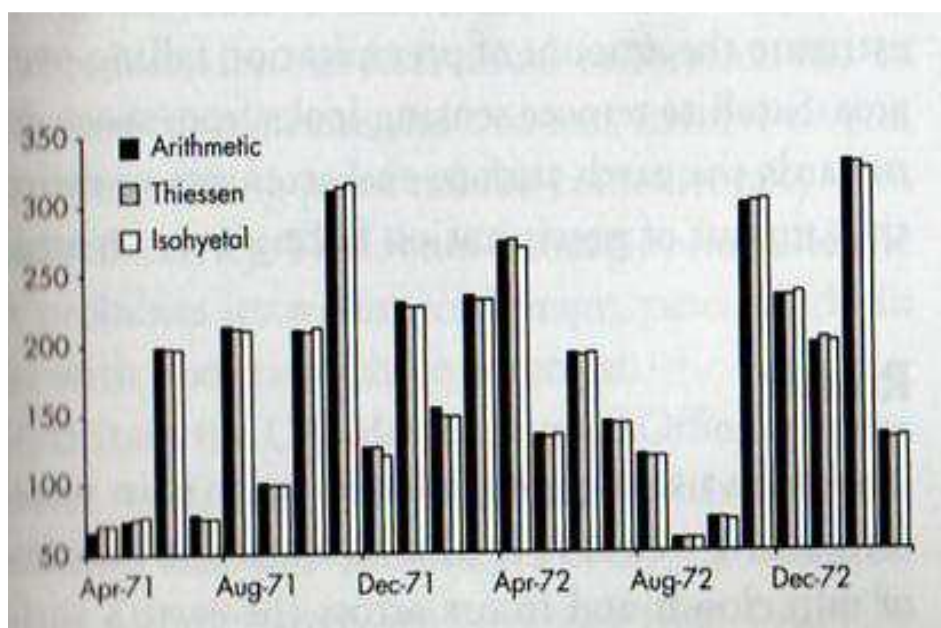
Ztráty při měření srážkoměry jsou dle Daňhelky (2007) způsobeny především větrem. V tomto případě dochází, vzhledem ke zhuštění proudnic v těsném okolí srážkoměru, ke zvýšení rychlosti větru, a tím k vychýlení dráhy dešťových kapek a k jejich odnosu mimo záchytnou plochu srážkoměru. Zapletal (2005) tvrdí, že další nejistotou je výběr místa pro srážkoměr. Je totiž známo, že vhodných míst, kde je srážkoměr dostatečně chráněný proti vlivům turbulence a zároveň má okolo sebe dostatek volného prostoru pro poskytnutí údajů typických pro danou oblast, je málo. Přes tyto uvedené výhrady nelze říci, že výsledky nejsou použitelné. Hlavně v případech, kdy se jedná o průměrné hodnoty z dlouhých řad pozorování, lze předpokládat, že náhodné chyby se navzájem dobře eliminují.

#### *Výzkumná studie*

Existuje značné množství metod pro výpočet plošného množství srážek z bodových srážkových hodnot, ale žádná metoda nemůže poskytnout více než jen odhad skutečné hodnoty (Mehrotra a Singh, 1998). Při výpočtu průměrného množství srážek uvnitř studované oblasti, je známo několik způsobů, které jsou zmiňovány v literatuře. Jedná se o aritmetický průměr, Thiessenovy polygony a metodu izohyet. Tyto metody jsou převážně mechanické a jsou široce používané v praxi (Sen a Habib, 1998). Toto potvrzuje také Fiedler (2003) tvrzením, že tři v podstatě dostupné metody pro výpočet prostorové distribuce srážek jsou právě

tyto metody. Přestože se obecně ví, že množství srážek dosahují v rámci malých prostorových měřítek (nejčastěji povodí) často i značných rozdílů, je jen velmi málo studií, které by se tímto problémem zabývaly do detailu. Jedna studie, která zkoumala prostorovou proměnlivost srážek v rámci malého povodí, byla provedena v Plynilimonských výzkumných povodích ve středním Walesu (Davie, 2008).

Clarke a kol. (1973) uvádí, že při nastavování hydrologické monitorovací sítě v povodích Wye a Severn bylo instalováno 38 srážkoměrů, aby se pokusily charakterizovat kolísání srážek. Měřičská síť měla 18 srážkoměrů v povodí Severn (celková plocha 8,7 km<sup>2</sup>) a 20 srážkoměrů v povodí Wye (10,55 km<sup>2</sup>). Byla analyzována měsíční data pro období mezi dubnem 1971 a březnem 1973 za účelem výpočtu plošného srážkového průměru pomocí protikladných metod. Tyto metody byly aritmetický průměr, metoda Thiessenových polygonů a metoda izohyet. Výsledky jsou vidět v obrázku č. 2-3. Množství srážek na ose y je udáno standardně v mm vodního sloupce.



Obr. č. 2-3: *Prostorové průměrné (měsíční) množství srážek z povodí Wye vypočtené pomocí tří různých metod*

zdroj: (Davie, 2008)

Nejvíce překvapující vlastností na obrázku č. 2-3 je nedostatek rozdílů v počítaných hodnotách, a to, že nenásledují žádný pravidelný vzor. Občas je aritmetický průměr větší než ostatní, zatímco v jiných měsících je menší.

Když se podíváme na celkové množství srážek za dvouleté období, Thiessenův výpočet je o 0,3% menší než aritmetický průměr, zatímco metoda izohyet je o 0,4% menší. Při analýze dat za účelem zjištění počtu srážkoměrů pro plnou charakteristiku distribuce množství srážek bylo zjištěno, že se počet mění s denním chodem srážek a s ročním obdobím. Při výzkumu měsíčních dat, byla prokázána větší variabilita v zimních srážkách než v letních. Jak pro léto, tak pro zimu se ukázalo, že méně než 5 srážkoměrů (pro Wye) výrazně zvýší rozptyl (Davie, 2008).

Více detailní statistické analýzy srážkových hodinových průměrů prokázaly, že je zapotřebí mnohem více srážkoměrů. Čtyři srážkoměry by daly přesnost v plošném odhadu okolo 50%, zatímco 90% přesnosti by vyžadovalo 100 srážkoměrů (Clarke a kol., 1973). Avšak Taesombat a Sriwongsitanon (2009) tvrdí, že není možné instalovat srážkoměry na tolik míst, jak bychom potřebovali, vzhledem k limitujícím faktorům jako jsou rozpočtová omezení, nedostupnost některých oblastí či nedostatek vhodných zaměstnanců.

Clarke a kol. (1973) dále uvádí, že závěry, které byly získány z výše uvedené studie, jsou velkým znepokojením pro hydrologii. Zdá se, že dokonce i na malé povodí je třeba velké množství srážkoměrů, abychom se pokusily správně odhadnout hodnoty srážek. Předpoklad značných prostorových změn srážek je platný obzvláště pro krátce trvající a silné bouřky. Dle Changnona (2001) pak mají tyto intenzivní srážky spojené s bouřkami velmi často tendenci vyvolat lokální záplavy, sesuvy půdy a škody na silnicích a mostech.

Je známo, že v praxi je základní problém, posouzení účinku bodových srážek na plochu povodí, jelikož je toto posuzováno na základě řídké a nerovnoměrné sítě měřících stanic (Sen a Habib , 1998). Navíc neexistuje žádná záruka, že bodové srážky zachycené srážkoměrem jsou spolehlivým vodítkem pro srážky v bezprostředním okolí (Summer, 1988). Toto potvrzuje Clarke a kol. (1973) konstatováním, že ačkoliv je poměrně snadné srážky měřit, je velmi obtížné měřit je přesně a jejich variabilita dokonce i v rámci relativně malého povodí je mimořádná.

## 3. MATERIÁL

### 3.1 Popis povodí Kopaninského potoka

#### *Úvod*

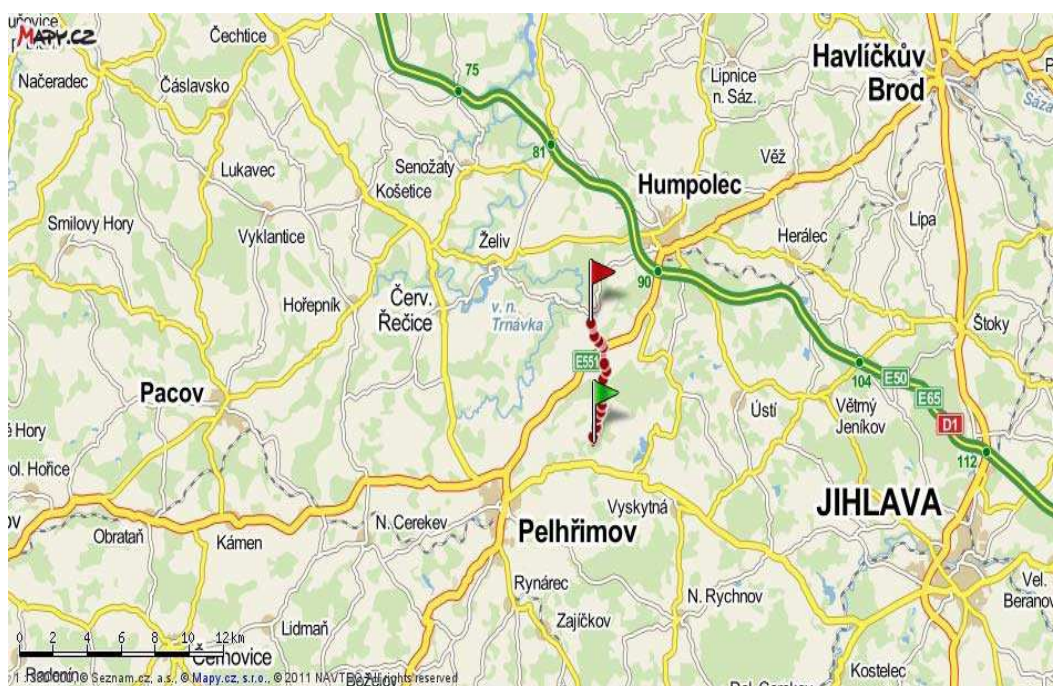
Jedná se o experimentální povodí Výzkumného ústavu meliorací a ochrany půdy, v.v.i. (VÚMOP). Experimentální povodí byla zakládána nejméně od 70. let minulého století. Šlo o uplatnění vědomé snahy vybudovat několik reprezentativních povodí, ve kterých by bylo dlouhodobě možné sledovat hydrologický režim a provádět experimenty k řešení problémů vodního hospodářství zemědělsky využívané krajiny (Švihla a kol., 1992).

Dle Doležal a kol. (2006) v těchto povodích jsou sledována povodí nejen jako celek, ale také jejich dílčí součásti. Převážil komplexní pohled na provoz malých povodí pro účely výzkumu. Rozsah monitoringu byl dříve omezen technickými limity, ale od 90. let se situace zlepšovala díky příchodu měřicí a registrační techniky vyšší úrovně. Postupem času také do pozadí ustoupily zemědělské aspekty vodního hospodářství krajiny a byly zdůrazněny aspekty ochrany krajiny. Navíc povodně v roce 1997 a 2002 zvýšily zájem o procesy v povodí a současně zvýšily potřebu kvalifikovaně posuzovat vliv vodohospodářských opatření na odtokový režim, a to nejen na experimentálních povodích VÚMOP. V současné době je základním cílem na těchto povodích kvantifikace hydrologické bilance, srážkoodtokových vztahů a mechanismu tvorby odtoku a jakosti vod v podmínkách převážně zemědělsky využívaných malých povodí v parovinných a pahorkatinných oblastech ČR.

Experimentální povodí Kopaninského potoka bylo založeno v roce 1985. Původním účelem byl výzkum regulační drenáže na lučních stanovištích. Od roku 1992 je zde systematicky sledována jakost vody v hlavním toku, ale i na cca. 17 přítocích (potocích, drenážích, pramenech). Díky tomu je možno rozlišit funkci jednotlivých lokalit a jejich podíl na odnosu dusíku. Zvláštní význam je přikládán infiltračním oblastem povodí. Na tomto povodí jsou standardně měřeny srážky, průtok, teplota vody a vzduchu, výpar, výška a objemová hmotnost sněhu. Dále je zde měřena radiace, vlhkost vzduchu, rychlost a směr větru, kvalita vody a hladina podzemní vody (Doležal a kol., 2006).

## Lokalizace

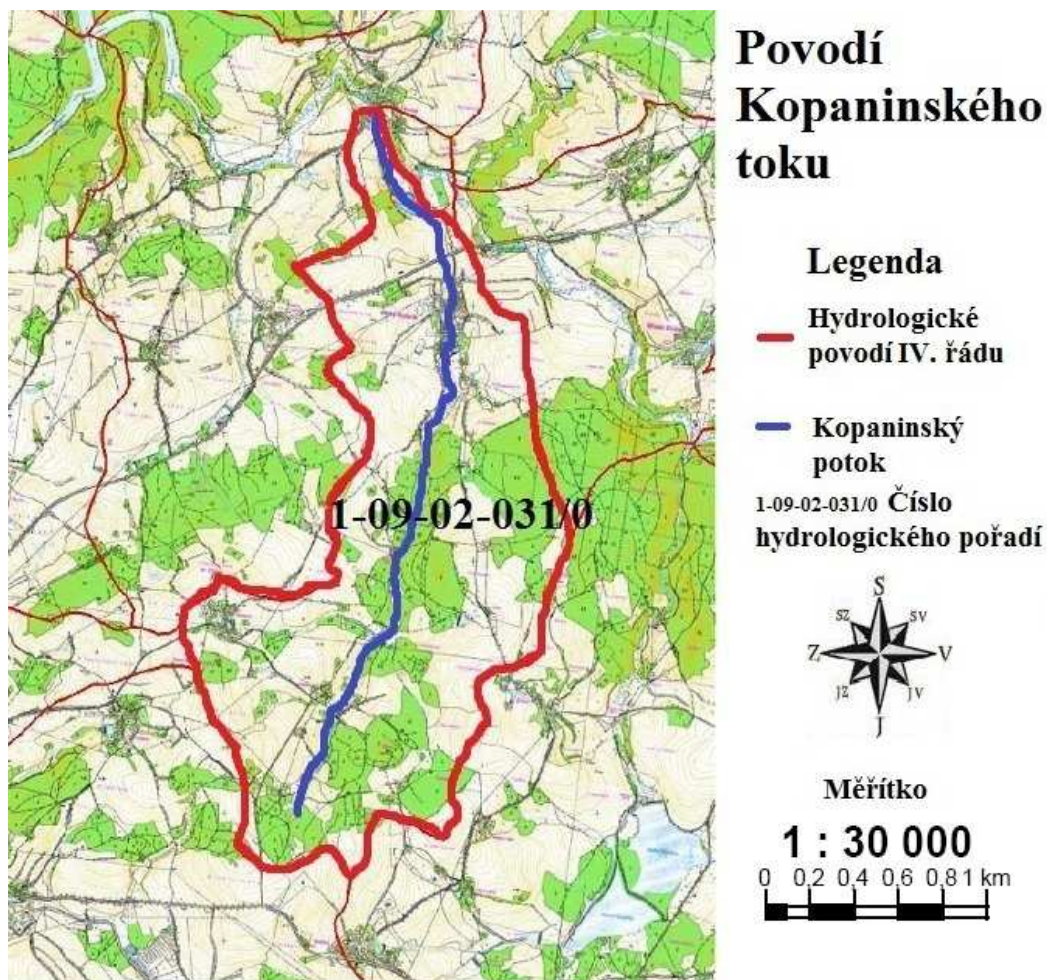
Povodí Kopaninského potoka se nachází v kraji Vysočina v okrese Pelhřimov, severovýchodně od Pelhřimova a jihozápadně od Humpolce. Území protíná silnice I. třídy č. 34. Povodí zasahuje do katastrálních území obcí Plevnice, Strměchy, Jelcovy Lhotky, Chvojnov, Žirov, Velký Rybník u Humpolce, Onšovice u Dehtářů a Kletečná u Humpolce. Širší geografické vazby s provizorním vyznačením Kopaninského potoka (z důvodu větší přehlednosti) jsou patrné z obrázku č. 3-1.



Obr. č. 3-1: Širší geografické vazby Kopaninského potoka

zdroj: (www.mapy.cz, 2012) upraveno pro potřeby této práce

Povodí je ohraničeno rozvodnicí Kopaninského potoka, jež se jako levostranný přítok vlévá do Jankovského potoka. Jankovský potok se dále vlévá do řeky Želivky. Jedná se o malé zemědělské povodí IV. řádu o rozloze 8,731 km<sup>2</sup>. Povodí se rozkládá v rozmezí nadmořských výšek 467 – 624 m.n.m. Nejvyšším bodem v povodí je Pavlíčkův kopec (624 m.n.m.). Tento kopec se nachází v jihozápadní části povodí. Sklon povodí je 2,6% a průměrná nadmořská výška povodí je 523 m.n.m. Délka Kopaninského potoka je 6,544 řkm. Hranice povodí (rozvodnice) a trasa toku je dobře patrná z obrázku č. 3-2.



Obr. č. 3-2: Mapa povodí IV. řádu Kopaninského potoka

zdroj: (www.heis.vuv.cz, 2012) upraveno pro potřeby této práce

### *Geomorfologie*

Dle geomorfologického členění patří území do provincie Česká Vysočina, subprovincie Česko-moravská soustava, oblasti Českomoravská vrchovina, celku Křemešnická vrchovina, podcelku Želivská pahorkatina, okrsku Hořepnická pahorkatina. Hořepnická pahorkatina je plochou pahorkatinou se zarovnaným povrchem rozřezaným neckovitými údolími vodních toků tvořená rulami a křemenci s vystupujícími křemencovými suky. Území náleží k erozně denudačnímu typu reliéfu (Demek, 1965).

### *Geologie*

Dle Váňa a kol. (2001) náleží povodí Kopaninského potoka do oblasti, která je součástí nejstarší strukturní jednotky Českého masivu, tedy moldanubika. Co se týče stratigrafie, její sedimentární základ je tvořen nejnižším proterozoikem

až archaikem. Častý je výskyt biotitické a sillimanit-biotitické pararuly. Moldanubikum bylo vyzdviženo během hercynské orogeneze. Vývojem říčních niv a zvětráváním skalních bloků je zde zastoupen kvartér. Alpínská orogeneze způsobila vznik nových zlomů a rozlámání Českého masivu. Kvartér je zde zastoupen zvětráváním skalních bloků a vývojem říčních niv. Svoboda (1964) tvrdí, že se zde nachází převážně biotitické granodiority a křemenné diority s občasným výskytem granitu. Menší část území je pak tvořena především svorovými rulami a pararulami až migmatity s vložkami vápenců, erlanů, kvarcitů, grafitu a amfibolitu

### *Pedologie*

Pro tuto oblast jsou charakteristické středně těžké až střední lehčí kambizemě modální na rulách. Plošně jsou zde dále výrazněji zastoupeny kambizemě oglejené a pseudogleje modální na rulách. V zamokřených oblastech, zpravidla s výskytem svahových pramenišť, dominují pseudogleje modální. Občasně se v povodí vyskytují i gleje modální (Podhrázská a Uhlířová, 2005).

### *Klima*

Atlas podnebí Česka (2007) uvádí, že povodí Kopaninského potoka se dle Quittovy klasifikace nachází na rozhraní mírně teplých oblastí MW4 (MT4) a MW7 (MT7). Quittova klasifikace rozlišuje 3 oblasti a 23 rajonů (některé se v ČR nevyskytují). Nížiny spadají do oblasti teplé, střední polohy do oblasti mírně teplé a vyšší polohy do oblasti chladné. Dle Končeka se povodí nachází v oblasti B5, která je popisována jako oblast mírně teplá, mírně vlhká, vrchovinná s průměrnou roční teplotou 6 – 7 °C.

Dle Quitt (1971) je *mírně teplá oblast MW4* charakterizovaná krátkým létem, které je mírné, suché až mírně suché. Přechodné období je krátké, s mírným jarem a mírným podzimem. Zima je normálně dlouhá, mírně teplá a suchá s krátkým trváním sněhové pokrývky.

*Mírně teplá oblast MW7* je charakterizovaná normálně dlouhým létem, které je mírné a mírně suché. Přechodné období je krátké, s mírným jarem a mírně teplým podzimem. Zima je normálně dlouhá, mírně teplá, suchá až mírně suchá s krátkým trváním sněhové pokrývky (Quitt, 1971).



Parametry obou klimatických oblastí (rajonů) jsou dobře patrné z tabulky č. 3-1.

Parametr	Klimatické oblasti	
	MW4	MW7
Počet letních dní	20 – 30	30 – 40
Počet dní s průměr. teplotou 10 °C a více	140 – 160	140 – 160
Počet dní s mrazem	110 – 130	110 – 130
Počet ledových dní	40 – 50	40 – 50
Průměrná lednová teplota	-2 – -3	-2 – -3
Průměrná červencová teplota	16 – 17	16 – 17
Průměrná dubnová teplota	6 – 7	6 – 7
Průměrná říjnová teplota	6 – 7	7 – 8
Průměr. počet dní se srážkami 1 mm a více	110 – 120	100 – 120
Suma srážek ve vegetačním období	350 – 450	400 – 450
Suma srážek v zimním období	250 – 300	250 – 300
Počet dní se sněhovou pokrývkou	60 – 80	60 – 80
Počet zatažených dní	150 – 160	120 – 150
Počet jasných dní	40 – 50	40 - 50

Tab. č. 3-1: *Klimatické charakteristiky dle Quitta*

zdroj: (Atlas podnebí Česka, 2007)

#### *Srážky a vítr*

Srážkové úhrny pro vybrané povodí jsou měřeny na třech stanovištích. Na tomto povodí se měří pomocí 2 různých typů srážkoměrů. Jsou zde dva manuální srážkoměry s lidskou obsluhou situované v lokalitách „U Němců“ a „U Turků“. Dále je zde jedna automatická kontinuálně pracující stanice T7U.

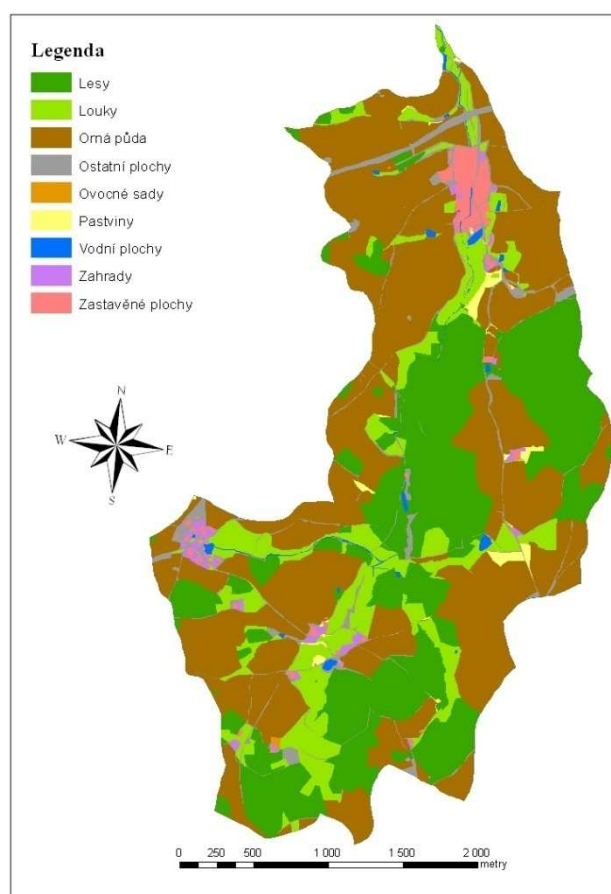
Dlouhodobý roční průměr srážek dle Doležala a kol. (2002) činí 665 mm. Tento údaj byl získán ze stanice Humpolec v období 1901 – 50. Ve vegetačním období je srážkový úhrn v rozmezí od 350 do 450 mm. Srážky v zimním období se pohybují v rozmezí od 250 do 300 mm.

Co se týče větru v povodí, byly zde dle Váňi a kol. (2001) zjištěny převažující západní větry s roční průměrnou rychlostí 0,69 m/s. Hodnota rychlosti větru byla

získána z automatické stanice T7U. Údaj o převažujícím směru větru byl získán z observatoře ČHMÚ Košetice.

### Využití území

Na ploše povodí Kopaninského potoka hospodaří celkem 2 zemědělská družstva (Zemědělské družstvo Kojčice a SPV Pelhřimov, a.s.) a několik samostatně hospodařících zemědělců. Výrobní typ v této zemědělské oblasti je bramborářsko-žitný. Pěstují se zde především brambory a obiloviny (nejčastěji pšenice ozimá a jarní ječmen). Dále se zde pěstuje kukuřice a v posledních letech také řepka ozimá. Plocha povodí je nejvíce využívána jako zemědělská půda (48,8% území). Dále se zde vyskytují lesní komplexy (30,6% území). Nejčastěji se jedná o smrkové monokultury. V povodí je zastoupen také trvalý travní porost (13,7% území). Jedná se především o sečené luční porosty. Zbývající část území je tvořena malými vodními nádržemi (0,7% území) a zastavěnou plochou (6,2% území). Využití území v roce 2011 je přehledně znázorněno v obrázku č. 3-3.

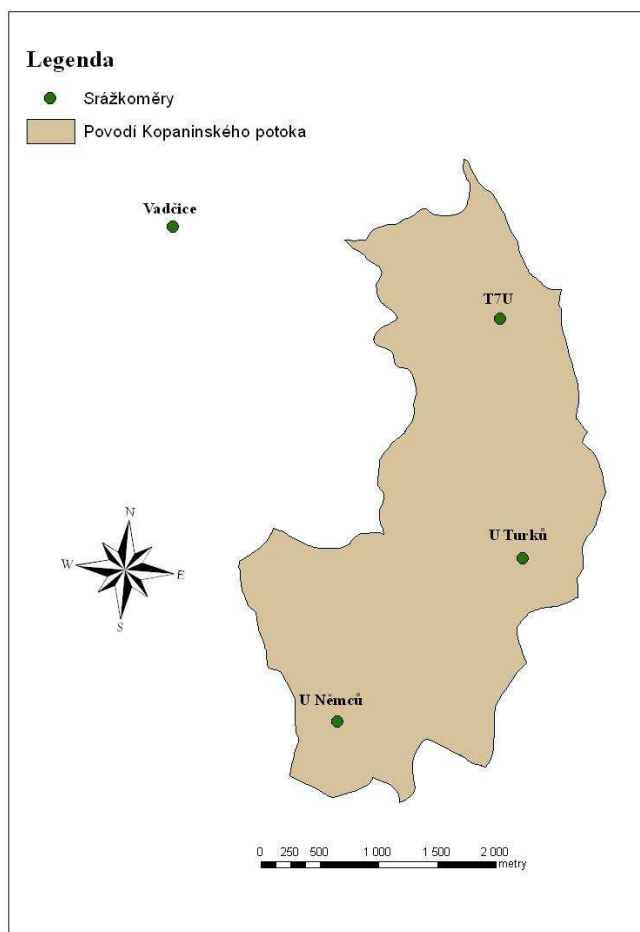


Obr. č. 3-3: Mapa využití půdy v povodí Kopaninského potoka

## 4. METODY

### 4.1 Sběr dat

Do výpočtu prostorové distribuce srážek je zapotřebí zahrnout údaje z co možná nejvíce srážkoměrů. Čím více srážkoměrů, tím přesnější odhad získáme. Pro zvolené povodí byla použita data ze 4 srážkoměrů. Tři srážkoměry jsou lokalizovány přímo v povodí. Jedná se o 2 manuální srážkoměry „U Němců“ a „U Turků“, a dále pak o automatickou stanici T7U. Zbylý manuální srážkoměr „Vadčice“ je situován na sousedním povodí IV. řádu Dehtáře. V povodí Dehtáře se rovněž nachází experimentální povodí VÚMOP, v.v.i. Na tomto experimentálním povodí není vyvinuta stálá vodoteč a zde prováděný monitoring slouží k výzkumu tvorby jakosti drenážních a podzemních vod (Doležal a kol., 2006). Prostorové uspořádání jednotlivých srážkoměrů je znázorněno v obrázku č. 4-1.



Obr. č. 4-1: *Mapa umístění všech srážkoměrů, jejichž data byla použita pro výpočet prostorové distribuce srážek ve vybraném povodí*

Jak již bylo uvedeno, srážkoměry „U Němců“, „U Turků“ a „Vadčice“ jsou manuální srážkoměry s lidskou obsluhou. Jedná se tedy o standardní srážkoměry. Ty jsou tvořeny válcovým pouzdem opatřeným nálevkou se záchytnou plochou 500 cm<sup>2</sup>. Srážkoměry jsou otevřené bez zábrany proti vypařování a jsou vybaveny hrotovými zábranami proti kontaminaci nálevky ptactvem. Dešťové srážky se z nálevky svádějí do sběrné nádoby o objemu 2l. Výška srážek zachycených v nádobě se měří speciální odměrkou s přesností na 0,1 mm (Slabá, 1972). Výška zachycených srážek je odečítána denně v 7:00 dobrovolníkem za minimální poplatek. Tyto srážkoměry měří jen tekuté srážky. Dle informací od VÚMOP je od roku 2012 měření v lokalitách „U Němců“ a „U Turků“ pozastaveno z důvodů nedostatku financí. Standardní srážkoměr je zachycen na obrázku č. 4-2.



Obr. č. 4-2: *Manuální srážkoměr s lidskou obsluhou*

U srážkoměru T7U se jedná o automatickou kontinuálně pracující stanici. Je to vzorkovač srážek, tedy srážkoměr se zachytnou plochou 500 cm<sup>2</sup> a s citlivostí 0,1 mm/puls, který je určen k měření tekutých srážek využívající mechanismu "děleného překlápěcího člunku". Tato stanice neměří tuhé srážky, protože není vyhřívaná. Srážkoměr sestává z válcového pláště, hliníkového kruhu, nálevky, mechanismu překlápěcího člunku, otvorů s mřížkou pro vytékání vody a libely pro kontrolu vodorovné plochy. Měření je založeno na principu počítání pulsů od překlopení děleného překlápěcího člunku umístěného pod výtokem nálevky. Dešť protéká otvorem ve středu nálevky do horní poloviny děleného nakloněného člunku. Když se horní polovina naplní 3,5 ml srážek, člunek se překlopí. Tím se pod výtok nálevky umístí druhá polovina děleného člunku a současně vyteče voda z nyní spodní poloviny člunku. Magnet, který je vhodně umístěn v těle člunku, při překlopení vytvoří puls, který zaznamenává připojená registrační jednotka ([www.fiedler-magr.cz](http://www.fiedler-magr.cz), 2013).

## 4.2 Úprava dat

Potřebná data množství srážek spadlých na povodí Kopaninského potoka poskytl VÚMOP, v.v.i., jakožto instituce, zajišťující v tomto experimentálním povodí, mimo jiné, měření srážek. Dat ze srážkoměrů bylo velké množství, u některých srážkoměrů byly poskytnuty mnohaleté řady srážkových úhrnů, avšak překryv dat ve smyslu společných časových řad mezi těmito srážkoměry byl relativně malý. Nakonec byly z těchto mnohaletých řad získány společná data naměřených srážkových úhrnů v rozmezí od 1.11.2005 do 31.10.2007, tedy srážková data pro hydrologické roky 2006 a 2007. Naměřená množství srážek bylo potřeba upravit, aby mohla být následně použita jako vstupní data pro vybrané metody výpočtu prostorové distribuce srážek.

Nejprve bylo třeba odstranit data o srážkových úhrnech v zimních měsících (prosinec, leden, únor) z obou hydrologických roků, a to ze všech 4 srážkoměrů. Důvodem této úpravy byl fakt, že srážkoměry nejsou vyhřívané. To znamená, že sněhové srážky přístroj v podstatě nezaznamená, ale v případě deště či teploty nad 0°C, dojde k roztátí sněhu (může zde být i několik dní), a poté je naměřen, namísto denního úhrnu srážek, úhrn za delší časové období, což jednoznačně ovlivňuje přesnost dat.

Následující úprava se týkala dat ze srážkoměru T7U. Ta byla uvedena v 10-ti minutových intervalech, kdežto u ostatních srážkoměrů se jednalo o data denní. Bylo třeba data nejprve upravit na hodinová. Tato úprava byla provedena v programu Microsoft Office Excel 2007. Dále bylo třeba sečíst hodinové srážkové úhrny na úhrny denní. Při součtu hodinových dat na data denní, musel být použit interval hodinových úhrnů od 7:00 příslušného dne do 7:00 následujícího dne, jak je tomu u zbylých srážkoměrů (srážkoměrů s lidskou obsluhou). Součet byl taktéž proveden v aplikaci Excel.

Poslední úprava se již týkala dat ze všech srážkoměrů. Opětovně bylo použito programu Excel, a to k sumarizaci denních srážkových úhrnů na měsíční. Převedením a počítáním s měsíčními úhrny zabráníme obrovskému objemu výsledků s malou vypovídací schopností. Výstupy z použitých metod výpočtu prostorové distribuce srážek z měsíčních dat budou více přehledné a lépe porovnatelné.

Kompletně upravená srážková data, která vstupovala do samotných výpočtů buď jednotlivých metod pro výpočet prostorové distribuce srážek v povodí, nebo do statistického prokázání rozdílů mezi výsledky těchto metod a statistického hodnocení rozdílů mezi měsíčními srážkovými úhrny, byla tedy v podobě měsíčních srážkových úhrnů z hydrologických roků 2006 a 2007 vyjma zimních měsíců (prosinec, leden, únor).

### **4.3 Použité metody**

Jako nejvhodnější metody pro výpočet prostorové distribuce srážek byly použity metody: *aritmetický průměr*, *metoda Thiessenových polygonů*, *metoda izohyet* a *metoda vážené inverzní vzdálenosti (IDW)*. Tyto metody byly vybrány na základě mnoha tvrzení uvedených v literárním přehledu této práce. První tři metody jsou považovány za základní metody pro výpočet prostorových srážek v rámci malého povodí (Davie, 2008). Jsou také, dle tvrzení Bedient a Hubert (2002), poměrně jednoduché na provedení i výpočet a zároveň poměrně přesné. Dle Fiedler (2003) je jejich další nespornou výhodou fakt, že nevyžadují tolik vstupních údajů, a proto nejsou příliš náročné na technické vybavení (není potřeba vysokorychlostních počítačů). Bedient a Hubert (2002) dále tvrdí, že metoda izohyet je z těchto tří metod metodou nejpřesnější. Sen a Habib (1998) doplňují, že metoda izohyet je nejpoužívanější metodou zobrazující plošné srážkové výkyvy.

Metoda vážené inverzní vzdálenosti IDW (z anglického Inverse Distance Weighting) je dle Wang a kol. (2010) vhodná pro malá povodí s jednoduchým reliéfem a s rovnoměrně rozloženými srážkoměrnými stanicemi. Její výhodou je relativně jednoduchý výpočet. Nejčastěji se používá pro odhad chybějících srážkových údajů.

K vyhodnocení a úpravě dat byl použit software Microsoft Office Excel 2007 od firmy Microsoft a ArcGIS for Desktop 10 od firmy Esri. ArcGIS je kompletní systém pro navrhování a spravování řešení prostřednictvím použití geografických znalostí. Umožňuje provádět hloubkovou analýzu, zlepšit interpretaci dat a dále umožňuje provádět informovanější rozhodnutí na vysoké úrovni (www.esri.com, 2013). Microsoft Excel 2007 byl použit především pro úpravu srážkových úhrnů ze srážkoměrů na měsíční data. Dále se využil pro finální výpočet prostorové distribuce srážek z vybraných metod a pro prezentaci těchto výsledků formou tabulek a grafů. Z ArcGIS byla použita aplikace ArcMap 10 pro výpočet celkové plochy povodí, pro mapové výstupy, ale především pro rozdělení území pomocí vhodných nástrojů na menší plochy (polygony) a výpočet jejich ploch, nebo pro vytvoření postupných přechodů (barevné spektrum, izohyety) mezi srážkovými hodnotami (úhrny) v rámci povodí. Nástroje použité v aplikaci ArcMap 10 závisely na faktu, jaká metoda prostorové distribuce byla v danou chvíli vytvářena.

#### **4.3.1 Aritmetický průměr**

Tato metoda je všeobecně uznávána jako nejjednodušší metoda výpočtu prostorové distribuce srážek v povodí. Pro výpočet aritmetického průměru bylo dostačující použít pouze aplikaci Excel. V této aplikaci byla vytvořena přehledná tabulka měsíčních srážkových úhrnů z jednotlivých srážkoměrných stanic. Následně se vypočítalo průměrné množství srážek pro povodí Kopaninského potoka ze všech srážkoměrných stanic pro každý měsíc pozorovaného období.

#### **4.3.2 Thiessenovy polygony**

V práci již bylo uvedeno, že metoda Thiessenových polygonů je podle Bedient a Hubert (2002) pravděpodobně nepoužívanější metodou prostorové distribuce srážek v malém povodí. Dle Kemela (1996) je tato metoda obecně považována za poměrně přesnou, ale je vhodné ji použít v méně členitém terénu

(ne v horských oblastech). Při vytváření Thiessenových polygonů byla použita aplikace ArcMap 10.

Programový nástroj „Create Thiessen polygons“ vytvoří Thiessenovy polygony z vlastností vstupních bodů (srážkoměrů). Rozdělí tedy povodí na jednotlivé polygony v závislosti na vzájemné poloze srážkoměrných stanic. Uvnitř každého polygonu se nachází pouze jeden srážkoměr. Jakékoli místo uvnitř polygonu je bližší k přiřazenému srážkoměru (srážkoměru uvnitř polygonu) než k ostatním srážkoměrům v povodí, případně i mimo povodí. Předpokladem je, že množství srážek naměřené v jednotlivých srážkoměrech je stejné v celé ploše polygonů k těmto srážkoměrům příslušných.

Jelikož byl pro výpočet použit i jeden srážkoměr mimo povodí Kopaninského potoka, vytvořené polygony svou plochou značně přesahovaly plochu povodí. Byla tedy potřeba provést úpravu tak, aby se polygony omezily pouze na plochu zájmového povodí. Následoval výpočet velikosti ploch jednotlivých polygonů uvnitř povodí.

Nakonec byl v programu Excel proveden samotný výpočet průměrného množství měsíčních srážek pomocí váženého průměru (vzorec viz. Serrano (1997), str. 26), kde vahou jsou myšleny podíly plochy povodí jednotlivých polygonů k celkové ploše povodí. Čím větší je plocha polygonu, tím větší má polygon váhu. Tímto způsobem byly získány výsledky průměrných měsíčních srážkových úhrnů v pozorovaném období v povodí Kopaninského potoka.

#### **4.3.3 Metoda vážené inverzní vzdálenosti (IDW)**

Pro malé povodí, kde není velké množství srážkoměrů, je vhodnou metodou pro výpočet prostorové distribuce srážek právě metoda vážené inverzní vzdálenosti, jejíž výhodou je relativně jednoduchý výpočet (Daňhelka, 2007). Při tvorbě metody IDW byla, stejně jako u Thiessenových polygonů, použita aplikace ArcMap 10. Tato metoda při svém vytváření a současně výpočtu, pracuje již, na rozdíl od metody Thiessenových polygonů, se srážkovými daty (měsíční srážkové úhrny), které jsou součástí atributové tabulky vrstvy se srážkoměrnými stanicemi.

Použitý programový nástroj „IDW“ interpoluje rastrový povrch z bodů za využití techniky vážené inverzní vzdálenosti. Určuje tedy hodnotu v dané buňce (pixelu) pomocí lineárně vážené kombinace množiny vstupních bodů, kdy váhou



je převrácená hodnota vzdálenosti. To znamená, že čím dále je konkrétní bod (srážkoměr) od zjišťované buňky, tím menší má na její hodnotu vliv. Výstupem této metody je rastrová vrstva s vypočteným množstvím srážek uvnitř každého pixelu. Ve výstupní vrstvě bylo změněno zobrazení srážkových hodnot z jednotlivých intervalů na plynulý přechod těchto zobrazovaných hodnot. Pro výpočet konkrétních hodnot byla vypočtená plocha omezena pouze na území zvoleného povodí. Vypočtená průměrná hodnota srážek v povodí pro daný měsíc byla poté uvedena ve vlastnostech výstupní vrstvy.

Celý tento proces musel být opakován v závislosti na rozsahu zkoumaného období, protože v každém měsíci obou hydrologických let (vyjma zimních srážek) byly samozřejmě naměřeny jiné srážkové úhrny.

#### **4.3.4 Metoda izohyet**

Tato metoda je dle Serrano (1997) jednou z nejpoužívanějších metod ke studiu prostorové distribuce srážek. Umožňuje nejen výpočet průměrného množství srážek nad oblastí, ale dává také vizuální popis rozložení srážek. Vytvoření metody proběhlo také v aplikaci ArcMap 10. K vytvoření izohyet byly, jako v případě IDW, potřeba měsíční srážkové úhrny z atributové tabulky vrstvy srážkoměrných stanic.

Jako první byl použit programový nástroj „Create TIN“. TIN (z anglického Triangular irregular network) je nepravidelná trojúhelníková síť. Tento nástroj vytváří členitý povrch ze vstupních dat (v našem případě ze srážkových dat). TINy jsou digitální geografická data na bázi vektorů. Tento vektorový TIN musel být pro další použití převeden pomocí dalšího programového nástroje „TIN To Raster“ na rastr.

Následně byly pomocí programového nástroje „Surface Contour“ vytvořeny izolinie. Tento nástroj spojuje místa se stejnou hodnotou v rastrové datové sadě. Nejčastěji představují izolinie vrstevnice, ale díky vstupním srážkovým datům se jednalo o izohyety. Izohyety byly vytvořeny v intervalu 2 mm. Aby bylo možné vypočítat plochy mezi izohyetami byl použit programový nástroj „Feature To Polygon“, který z linií izohyet vytvořil uzavřené polygony.

Samotný výpočet průměrného množství měsíčních srážek byl proveden v programu Excel použitím váženého průměru (vzorec viz. Davie (2008), str. 29).

Vahou jsou, jako u Thiessenových polygonů, myšleny podíly plochy povodí jednotlivých polygonů vzniklých mezi dvěma izohyetami k celkové ploše povodí.

Celý postup tvorby izohyet a výpočtu průměrného množství měsíčních srážek byl opakován ještě devětkrát (vegetační období dvou hydrologických let), protože vstupní srážková data se pro jednotlivé měsíce lišila.

#### 4.4 Statistické hodnocení

Statistické hodnocení v této práci bylo provedeno pomocí jedné z metod pro porovnání libovolného počtu průměrů. Tyto metody se souhrnně nazývají analýza rozptylu. Dle Hendla (2004) analýzu rozptylu (analysis of variance), známou také pod názvem ANOVA, rozvinul R. A. Fisher začátkem 20. století. Jedná se o třídu statistických modelů a technik, které lze využít v mnoha výzkumných situacích.

Použitou statistickou metodou byla *analýza rozptylu při jednoduchém třídění* (one-way ANOVA). Dle Lepš (1996) jsou u této metody objekty klasifikované (zařazené do skupin) podle jednoho faktoru, proto se této analýze říká ANOVA – jednoduché třídění, častěji jednocestná analýza variance.

Hendl (2004) uvádí, že tato metoda analyzuje difference průměrů sledované závisle proměnné mezi skupinami, které jsou určeny jednou kategoriální nezávisle proměnnou (faktorem). Zkoumá se, zda skupiny vytvořené tímto faktorem jsou podobné, nebo zda jednotlivé průměry tvoří nějaké identifikované shluky.

Výše popsaná metoda byla v této práci použita dvěma způsoby:

1. Prokázání statisticky průkazných rozdílů mezi měsíčními srážkovými úhrny vypočtenými jednotlivými metodami výpočtu prostorové distribuce srážek.
2. Statistické vyhodnocení rozdílů průměrných měsíčních srážkových úhrnů na jednotlivých srážkoměrných stanicích.

Statistické hodnocení bylo provedeno v programu Statistica 10 od firmy StatSoft. Program Statistica 10 je komplexní systém obsahující prostředky pro správu dat, jejich analýzu, vizualizaci a vývoj uživatelských aplikací. Poskytuje široký výběr základních i pokročilých technik speciálně vyvinutých pro podnikání, vytěžování dat, vědu a inženýrské aplikace (www.statsoft.cz, 2013).

## 5. VÝSLEDKY A DISKUZE

### 5.1 Výpočet úhrnů srážek jednotlivými metodami

Přesné srážkové údaje mají zásadní význam pro mnoho aplikací v oblasti ochrany životního prostředí. K získání prostorově distribuovaných srážkových dat je zapotřebí interpolace naměřených bodových hodnot. Nicméně v územích, kde není dostatečně hustá srážkoměrná síť, může vést použití různých interpolačních metod k velkým rozdílům, a tedy k odchylkám od skutečného prostorového rozložení srážek (Wagner a kol., 2012).

V této kapitole byly nakonec použity pouze 3 metody výpočtu prostorové distribuce srážek aplikované na povodí Kopaninského potoka. Jednalo se o *aritmetický průměr*, *Thiessenovy polygony* a *metodu IDW*. Metoda izohyet, i přes to, že je považována za základní metodu výpočtu prostorové distribuce srážek, v této části práce použita nebyla. Důvodem jejího vynechání byla skutečnost, že nedostatek srážkoměrů vhodně rozmístěných uvnitř i okolo povodí Kopaninského potoka nedovoloval vytvořit izohyety přes celé povodí, což by ovšem data značně zkreslovalo. Daňhelka (2007) je stejného názoru když uvádí, že tato metoda vyžaduje ke svému vytvoření dostatečné množství srážkoměrných stanic, což ve vybraném povodí splněno nebylo. Toto potvrzuje také Serrano (1997) tvrzením, že čím větší je hustota srážkoměrů, tím přesnější jsou linie izohyet.

Pro použití metody vážené inverzní vzdálenosti (IDW) hovořil fakt, že tato metoda není příliš složitá na vytvoření i výpočet a dle Wang a kol. (2010) se jedná o nejčastěji používanou metodu pro odhad chybějících srážkových údajů. Tato metoda se dle Daňhelky (2007) většinou používá právě v malých povodích. Navíc rozložení srážkoměrných stanic ve zkoumaném povodí je pro vytvoření a výpočet metody IDW dostačující.

#### 5.1.1 Aritmetický průměr

Výpočet aritmetického průměru byl v této kapitole porovnání tří metod výpočtu prostorové distribuce srážek v povodí Kopaninského potoka proveden jako první, protože je co do softwarové i časové náročnosti nejjednodušší. Průměrný měsíční úhrn srážek v povodí vypočtený použitím aritmetického průměru pro každý měsíc

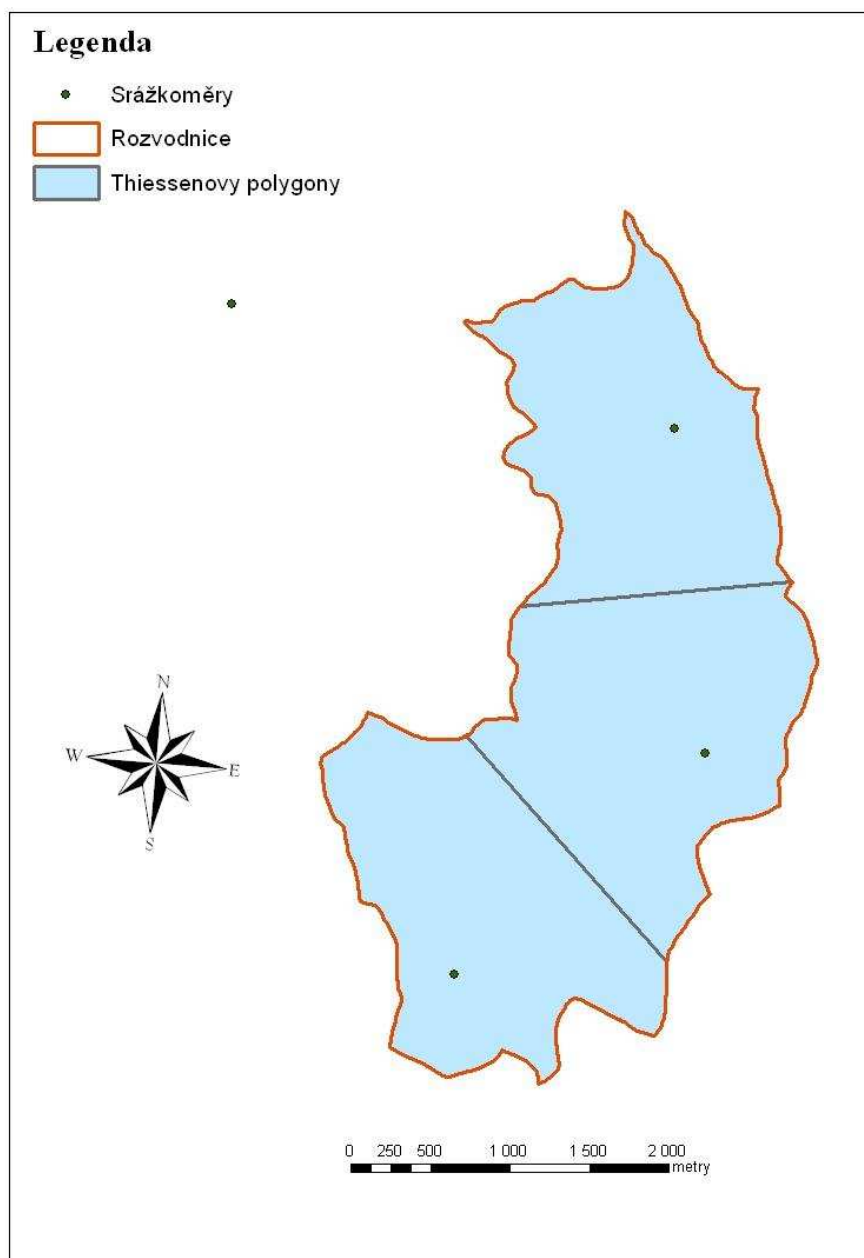
pozorovaného období spolu s měsíčními srážkovými úhrny z jednotlivých srážkoměrných stanic, je uveden v tabulce č. 5-1.

Měsíce	U Němců [mm]	U Turků [mm]	Vadčice [mm]	T7U [mm]	Aritmetický průměr [mm]
Listopad 05	23,9	22,1	19,4	16,8	<b>20,6</b>
Březen 06	76,8	66,5	60,6	66,4	<b>67,6</b>
Duben 06	74,6	72,4	66,6	67,2	<b>70,2</b>
Květen 06	117,6	107,4	115,3	113,4	<b>113,4</b>
Červen 06	113,4	126,9	71,9	90,4	<b>100,7</b>
Červenec 06	53,4	56,4	56,4	57,8	<b>56,0</b>
Srpen 06	167,3	173,7	159	152,2	<b>163,1</b>
Září 06	5,5	7,3	8,65	5,4	<b>6,7</b>
Říjen 06	24,2	23,3	21,2	21	<b>22,4</b>
Listopad 06	36,5	32,3	26,4	25,2	<b>30,1</b>
Březen 07	54,6	46	48,6	52	<b>50,3</b>
Duben 07	4,6	5,4	29,3	5,8	<b>11,3</b>
Květen 07	70,6	76,4	65,4	69,6	<b>70,5</b>
Červen 07	82,5	74,4	55,1	71,4	<b>70,9</b>
Červenec 07	120,5	105,6	96,7	97	<b>105,0</b>
Srpen 07	43,7	35,4	42,7	40,1	<b>40,5</b>
Září 07	152,4	140,5	139	132,2	<b>141,0</b>
Říjen 07	31,7	32,7	29,3	26,2	<b>30,0</b>

Tab. č. 5-1: Aritmetickým průměrem vypočtený průměrný měsíční úhrn srážek v povodí pro jednotlivé měsíce hydrologických let 2006 a 2007

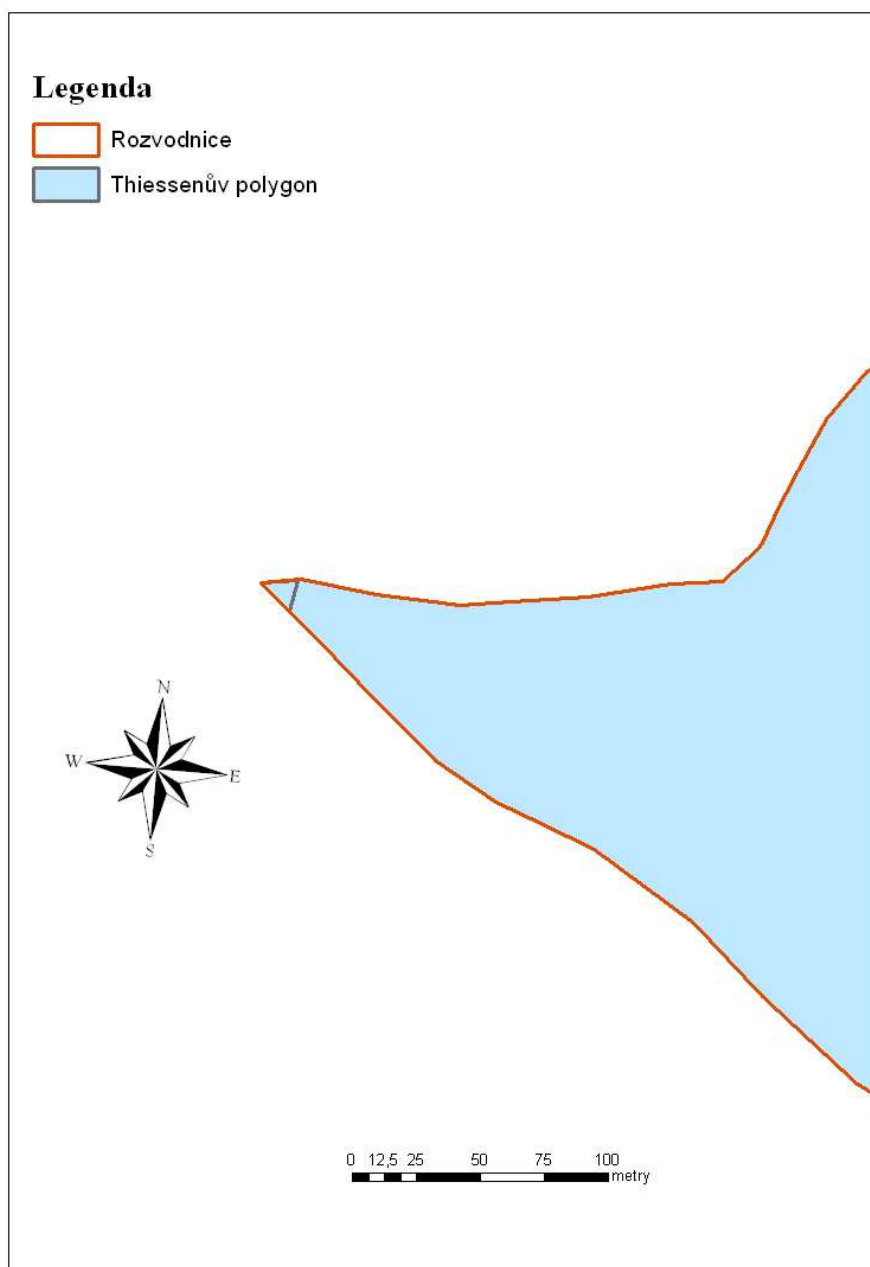
### 5.1.2 Thiessenovy polygony

Před samotným výpočtem prostorové distribuce srážek v povodí pomocí Thiessenových polygonů byly vytvořeny zmíněné polygony v povodí okolo jednotlivých srážkoměrů v programu ArcMap 10. Plocha těchto polygonů sloužila následně při výpočtu jako váha. V povodí vznikly celkem 4 polygony (jejich počet odpovídá počtu srážkoměrů), avšak čtvrtý polygon, příslušný ke srážkoměru mimo povodí, je velmi malý a při použití měřítku výstupní mapy není zřetelný. Obrázek č. 5-1 zobrazuje rozdělení povodí na Thiessenovy polygony. Hranice polygonů jsou tvořeny jasně patrnými úsečkami v povodí spolu s rozvodnicí (hranicí povodí).



Obr. č. 5-1: *Thiessenovy polygony vytvořené v zájmovém povodí*

Čtvrtý a nejmenší polygon tedy patří ke srážkoměru Vadčice, který se nachází mimo vybrané povodí. Tento polygon není při základním měřítku mapových výstupů pro tuto práci (1:20 000) z obrázku vůbec vidět. Je lokalizován při severní hranici povodí na samotném okraji severozápadního výběžku a je dobře patrný z obrázku č. 5-2.



Obr. č. 5-2: Nejmenší Thiessenův polygon vytvořený v povodí Kopaninského toku

Po vytvoření polygonů následoval samotný výpočet průměrného měsíčního úhrnu srážek v povodí. Výpočet byl proveden v programu Microsoft Excel 2007 pomocí váženého průměru. Výpočet průměrného měsíčního úhrnu srážek v povodí dle metody Thiessenových polygonů, který byl proveden pro každý měsíc pozorovaného období spolu s měsíčními srážkovými úhrny z jednotlivých srážkoměrných stanic, je uveden v tabulce č. 5-2.

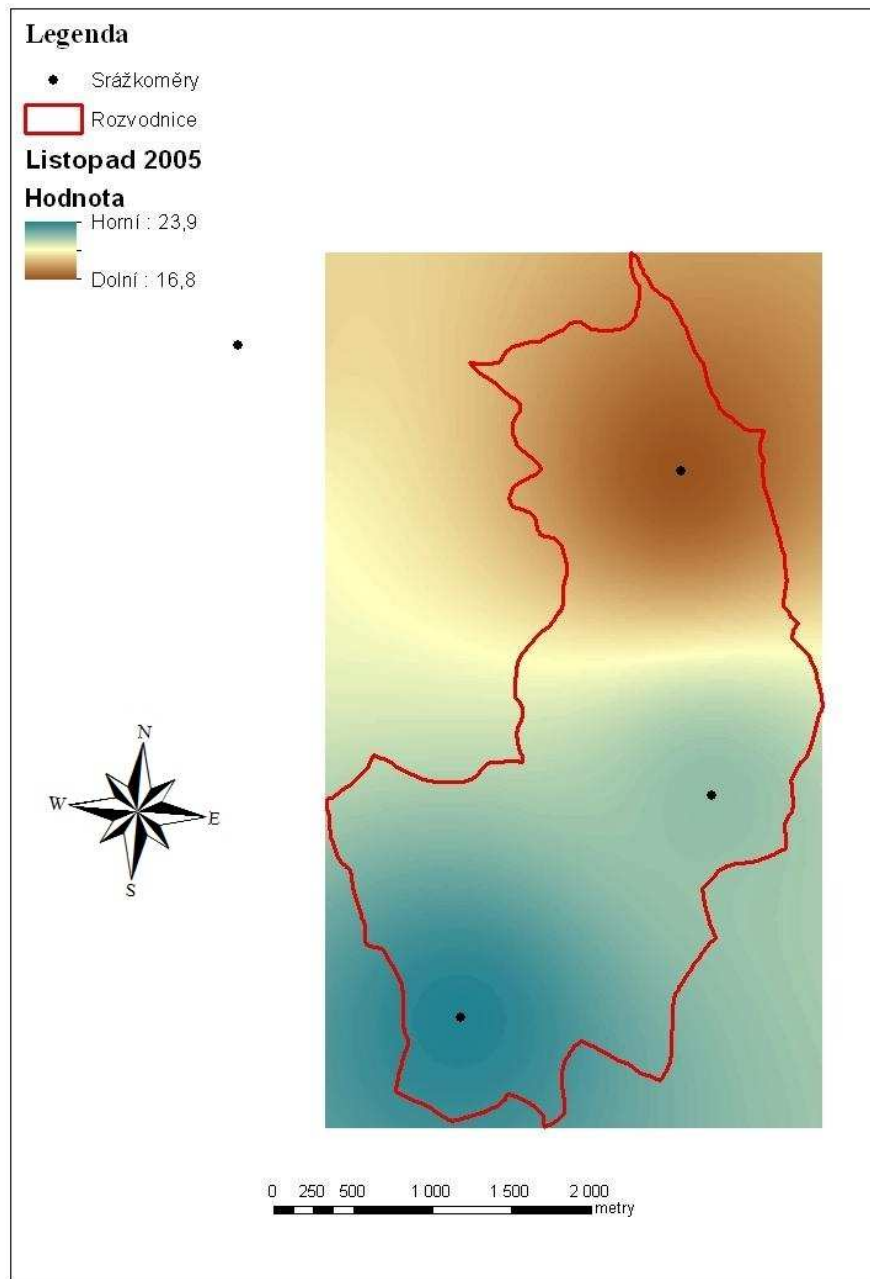
Měsíce	U Němců [mm]	U Turků [mm]	Vadčice [mm]	T7U [mm]	Vážený průměr [mm]
Listopad 05	23,9	22,1	19,4	16,8	<b>21,0</b>
Březen 06	76,8	66,5	60,6	66,4	<b>69,8</b>
Duben 06	74,6	72,4	66,6	67,2	<b>71,5</b>
Květen 06	117,6	107,4	115,3	113,4	<b>112,6</b>
Červen 06	113,4	126,9	71,9	90,4	<b>110,8</b>
Červenec 06	53,4	56,4	56,4	57,8	<b>55,9</b>
Srpen 06	167,3	173,7	159	152,2	<b>164,7</b>
Září 06	5,5	7,3	8,65	5,4	<b>6,1</b>
Říjen 06	24,2	23,3	21,2	21	<b>22,9</b>
Listopad 06	36,5	32,3	26,4	25,2	<b>31,4</b>
Březen 07	54,6	46	48,6	52	<b>50,7</b>
Duben 07	4,6	5,4	29,3	5,8	<b>5,3</b>
Květen 07	70,6	76,4	65,4	69,6	<b>72,3</b>
Červen 07	82,5	74,4	55,1	71,4	<b>76,1</b>
Červenec 07	120,5	105,6	96,7	97	<b>107,7</b>
Srpen 07	43,7	35,4	42,7	40,1	<b>39,6</b>
Září 07	152,4	140,5	139	132,2	<b>141,7</b>
Říjen 07	31,7	32,7	29,3	26,2	<b>30,3</b>

Tab. č. 5-2: Metodou Thiessenových polygonů vypočtená prostorová distribuce srážek v povodí pro jednotlivé měsíce hydrologických let 2006 a 2007

### 5.1.3 Metoda vážené inverzní vzdálenosti (IDW)

Jako poslední byla v této kapitole vytvořena a zároveň vypočtena metoda IDW. V programu ArcMap 10 vznikla rastrová vrstva z naměřených bodových měsíčních srážkových hodnot, kde každému pixelu byla na základě váženého průměru inverzní vzdálenosti jednotlivých stanic vypočtena hodnota srážek pro konkrétní měsíc. Hodnoty srážek se pohybovaly v intervalu mezi nejvyšším a nejnižším naměřeným srážkovým úhrnem pro daný měsíc. Vznikl tak mapový výstup, který nerozděloval povodí do menších oblastí (polygonů), ale který jednotlivými barvami ve zvoleném barevném spektru a jejich postupným přechodem reprezentoval množství a změnu srážkového úhrnu v příslušném měsíci. Výsledkem metody IDW byla tedy nejen vypočtená příslušná hodnota měsíčních srážek v každém pixelu v povodí, ale především vypočtené průměrné množství srážek v povodí pro daný měsíc. Tato metoda zároveň vytvořila také vizuální popis rozložení srážek nad tímto povodím v příslušném měsíci.

Prostorová distribuce srážek metodou IDW musela být pro každý měsíc pozorovaného období vytvořena zvlášť. Rozmezí (v obrázku označené jako „Hodnota“) množství srážek pro listopad 2005, spolu s jednotlivými barvami spektra a jejich postupným přechodem, reprezentujícími množství a změnu srážek v povodí, je znázorněno v obrázku č. 5-3. Množství srážek je udáno v mm vodního sloupce.



Obr. č. 5-3: Prostorové rozložení srážek ve vybraném povodí vytvořené metodou IDW pro listopad 2005



Výsledky průměrných měsíčních úhrnů srážek v povodí, vypočtené dle metody IDW pro každý měsíc pozorovaného období spolu s měsíčními srážkovými úhrny z jednotlivých srážkoměrných stanic, jsou uvedeny v tabulce č. 5-3.

Měsíce	U Němců [mm]	U Turků [mm]	Vadčice [mm]	T7U [mm]	Vážený průměr [mm]
Listopad 05	23,9	22,1	19,4	16,8	<b>20,6</b>
Březen 06	76,8	66,5	60,6	66,4	<b>66,4</b>
Duben 06	74,6	72,4	66,6	67,2	<b>71,9</b>
Květen 06	117,6	107,4	115,3	113,4	<b>112,2</b>
Červen 06	113,4	126,9	71,9	90,4	<b>105,7</b>
Červenec 06	53,4	56,4	56,4	57,8	<b>55,0</b>
Srpen 06	167,3	173,7	159	152,2	<b>160,9</b>
Září 06	5,5	7,3	8,65	5,4	<b>6,4</b>
Říjen 06	24,2	23,3	21,2	21	<b>22,3</b>
Listopad 06	36,5	32,3	26,4	25,2	<b>30,1</b>
Březen 07	54,6	46	48,6	52	<b>49,2</b>
Duben 07	4,6	5,4	29,3	5,8	<b>7,7</b>
Květen 07	70,6	76,4	65,4	69,6	<b>70,8</b>
Červen 07	82,5	74,4	55,1	71,4	<b>69,8</b>
Červenec 07	120,5	105,6	96,7	97	<b>105,2</b>
Srpen 07	43,7	35,4	42,7	40,1	<b>39,7</b>
Září 07	152,4	140,5	139	132,2	<b>139,4</b>
Říjen 07	31,7	32,7	29,3	26,2	<b>29,9</b>

Tab. č. 5-3: Metodou vážené inverzní vzdálenosti (IDW) vypočtené srážkové úhrny v povodí pro jednotlivé měsíce hydrologických let 2006 a 2007

## 5.2 Vyhodnocení rozdílů ve vypočtených úhrnech srážek jednotlivými početními metodami v povodí

Při porovnání výsledků vybraných metod výpočtu prostorové distribuce srážek v povodí Kopaninského potoka se vycházelo ze studie provedené v letech 1971 až 1973 Clarke a kol. (1973), která se zabývala rovněž prostorovou distribucí srážek v malém povodí a porovnáním výsledků použitých metod jejího výpočtu. Studie byla realizována v povodí Wye v Plynilimonských výzkumných povodích ve středním Walesu. Použité metody byly: *aritmetický průměr*, *Thiessenovy polygony* a *metoda izohyet*.

Původním záměrem bylo samozřejmě najít ještě alespoň jednu takovou studii, s níž by bylo možné výsledky této práce porovnat. Realitou však je, že metodou výpočtu prostorové distribuce srážek v malém povodí a srovnáním výsledků jednotlivých metod se téměř nikdo nezabývá. Toto potvrzuje i Davie (2008) tvrzením, že přestože se obecně ví, že množství srážek dosahují v rámci malých prostorových měřítek (nejčastěji povodí) obvykle i značných rozdílů, je jen velmi málo studií, které by se tímto problémem zabývaly do detailu. Sám Davie (2008) ve své knize uvádí jako případovou studii problematiky výpočtu distribuce srážek v malém povodí právě studii Clarke a kol. (1973). Je pravda, že existuje řada studií, např. Wagner a kol. (2012), Taesombat a Sriwongsitanon (2009) či Zhenyao a kol. (2012), které se zabývají výpočtem prostorové distribuce srážek a dokonce i porovnáním různých metod, avšak v povodích, jejichž velikost se pohybuje v řádech tisíců km<sup>2</sup>. V těchto rozsáhlých povodích jsou ale výsledky značně ovlivněny orografií či převládajícími směry větru.

Zajímavé je, že se výpočtu množství srážek dopadnuvších na plochu malého povodí věnuje jen málo vědců, přestože mnoho z nich, např. Wagner a kol. (2012) nebo Dorninger a kol. (2008) tvrdí, že znalost plošné distribuce srážek je rozhodující pro mnoho vědních oborů, a to především v oblasti ochrany přírody, a dále uvádějí, že prostorové srážky jsou vstupem do různých srážko-odtokových modelů nebo do analýz, které se používají na povodňové modelování. Nicméně např. Cheng a kol. (2012) poukazuje na problém nedostatečného množství srážkoměrných stanic i v malých povodích, způsobený hlavně finanční náročností srážkoměrů a jejich obsluhy. Mehrotra a Singh (1998) navíc uvádějí, že žádná metoda výpočtu prostorové distribuce srážek nemůže poskytnout více než jen odhad skutečného množství srážek v povodí.

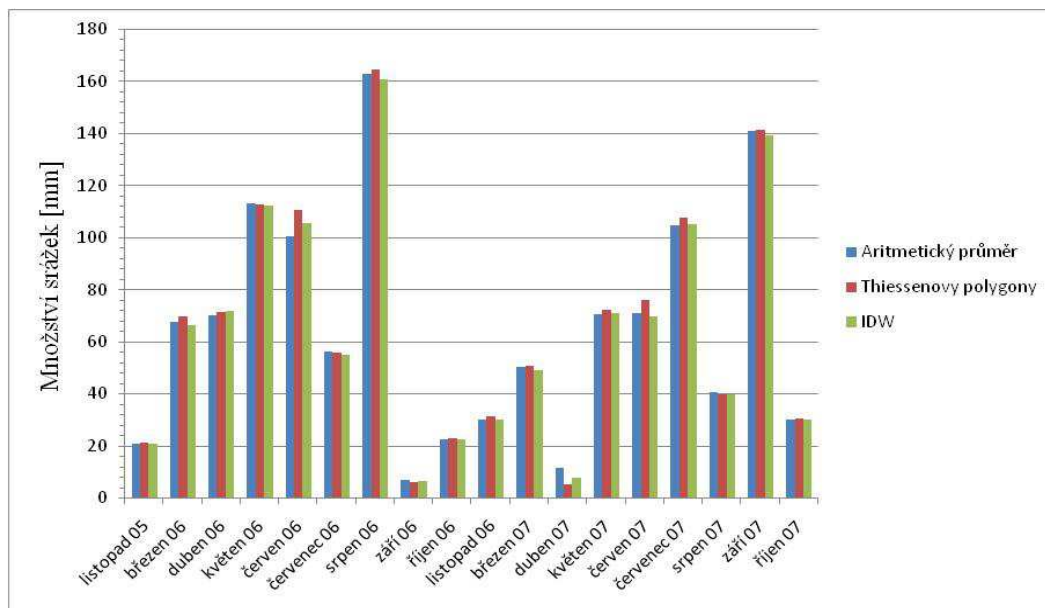
Je tedy pravděpodobné, že z důvodu nedostatečné srážkoměrné sítě, a faktu, že výpočet množství plošných srážek je spíše odhad skutečného množství, se vědci přestali problematikou určení plošných srážek v malém povodí intenzivně zabývat, protože skutečné množství srážek se nejspíše ani v malém povodí, i přes všechny metody jejich výpočtu, nepodaří přesně určit, a to z důvodu obecně známého faktu, který uvádí už Trabert (1910), že žádný meteorologický prvek nevykazuje časově a místně tak velké změny jako srážky.

Výsledky výpočtu prostorové distribuce srážek ze všech tří metod jejich výpočtu, které byly použity v povodí Kopaninského toku, jsou pro názornost uvedeny v tabulce č. 5-4. Výsledky jsou v tabulce uvedeny pro každý měsíc pozorovaného období.

<b>Měsíce</b>	<b>Aritmetický průměr [mm]</b>	<b>Thiessenovy polygony [mm]</b>	<b>IDW [mm]</b>
Listopad 05	20,6	21	20,1
Březen 06	67,6	69,8	66,4
Duben 06	70,2	71,5	71,9
Květen 06	113,4	112,6	112,2
Červen 06	100,7	110,8	105,7
Červenec 06	56	55,9	55
Srpen 06	163,1	164,7	160,9
Září 06	6,7	6,1	6,4
Říjen 06	22,4	22,9	22,3
Listopad 06	30,1	31,4	30,1
Březen 07	50,3	50,7	49,2
Duben 07	11,3	5,3	7,7
Květen 07	70,5	72,3	70,8
Červen 07	70,9	76,1	69,8
Červenec 07	105	107,7	105,2
Srpen 07	40,5	39,6	39,7
Září 07	141	141,7	139,4
Říjen 07	30	30,3	29,9

Tab. č. 5-4: Měsíční úhrny srážek v povodí Kopaninského potoka vypočtené použitými metodami výpočtu prostorové distribuce srážek pro jednotlivé měsíce hydrologických let 2006 a 2007

V tabulce jsou uvedeny konkrétní číselné hodnoty vypočtených měsíčních srážkových úhrnů, avšak pro větší přehlednost a lepší orientaci byl z těchto dat vytvořen graf č. 5-1.



Graf č. 5-1: Měsíční úhrny srážek v povodí Kopaniského potoka vypočtené použitými metodami výpočtu prostorové distribuce srážek pro jednotlivé měsíce hydrologických let 2006 a 2007

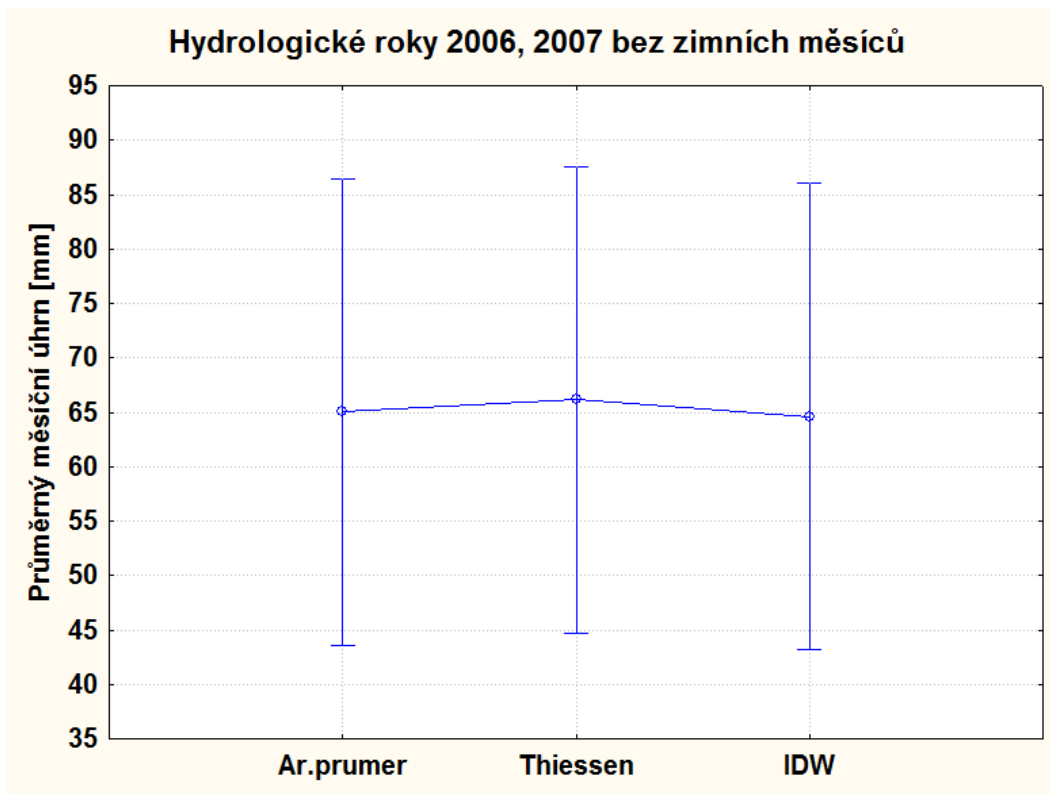
Nejvíce překvapující vlastností v grafu č. 5-1 je, že se výsledky jednotlivých metod nijak zásadně neliší. Při pohledu do tabulky č. 5-4 je patrné, že rozdíly jsou jen v několika milimetrech a v některých měsících dokonce jen v desetinách milimetru. Největší rozdíl je v červnu 2006 a činí 10,1 mm. Naopak nejmenší rozdíl je v říjnu 2007 a činí 0,4 mm. Průměrný rozdíl pak činí 2,6 mm. Při pohledu na celkové vypočtené množství srážek z pozorovaného období je vidět, že výpočet metodou Thiessenových polygonů je o 1,7% větší než aritmetický průměr, zatímco výpočet metodou IDW je o 0,6% menší než aritmetický průměr. Tyto výsledky jsou přehledně uvedeny v tabulce č. 5-5.

	<b>Rozdíly mezi použitými metodami</b>
Největší rozdíl [mm]	<b>10,1</b>
Nejmenší rozdíl [mm]	<b>0,4</b>
Průměrný rozdíl [mm]	<b>2,6</b>
Celkový vypočtený úhrn (aritmetický průměr) [mm]	<b>1170,3</b>
Celkový vypočtený úhrn (Thiessenovy polygony) [mm]	<b>1190,5</b>
Celkový vypočtený úhrn (IDW) [mm]	<b>1163,2</b>
Aritmetický průměr [%]	<b>100</b>
Metoda Thiessen. polygonů-aritmetický průměr [%]	<b>+1,7</b>
IDW-aritmetický průměr [%]	<b>-0,6</b>

Tab. č. 5-5: *Rozdíly mezi výsledky jednotlivých metod výpočtu plošných srážek v povodí Kopaninského toku*

Další vlastností je, že výsledky nenásledují žádný pravidelný vzor, což znamená, že někdy má výpočet metodou Thiessenových polygonů nejvyšší hodnotu úhrnu, někdy je to zase aritmetický průměr a v jednom případě je nejvyšší hodnoty úhrnu dosaženo metodou IDW. Přesto však lze říci, že aplikací metody Thiessenových polygonů je v tomto povodí nejčastěji dosaženo nejvyšších vypočtených srážkových úhrnů. Nejmenších vypočtených úhrnů je nejčastěji dosaženo metodou IDW.

Provedená analýza rozptylu (ANOVA) potvrdila výše popsanou “nerozdílnost“ jednotlivých metod, protože neprokázala rozdíly v průměrech vypočtených měsíčních srážkových úhrnů na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$ . Toto je dobře patrné z grafu č. 5-2.



Graf č. 5-2: Graf průměrů s odchylkami (průměr  $\pm 0,95$  interval spolehlivosti) vypočtených měsíčních úhrnů použitými metodami pro hydrologické roky 2006 a 2007

V této práci již bylo uvedeno, že pro výpočet prostorové distribuce srážek v povodí Kopaninského toku byly použity naměřené měsíční srážkové úhrny ze 4 srážkoměrů. Vybrané povodí a výzkumné povodí Wye mají přibližně stejnou rozlohu. Povodí Kopaninského toku zaujímá rozlohu 8,73 km<sup>2</sup> a povodí Wye se rozprostírá na ploše 10,55 km<sup>2</sup>. Avšak při porovnání hustoty srážkoměrné sítě v obou povodích je již patrný značný rozdíl. V povodí Wye byla totiž instalována měřičská síť, která měla 20 srážkoměrů. Je tedy předpokládáno, že výsledky jednotlivých metod použitých v povodí Wye budou vykazovat díky husté srážkoměrné síti větší vzájemné rozdíly. Tyto rozdíly by měli vzniknout tím, že některé metody jsou považovány za přesnější, a proto by se při husté srážkoměrné síti měly odlišit od metod méně přesných. Když se však porovnají vypočtené výsledky s výsledky z povodí Wye, není v nich překvapivě velký rozdíl. Tamní vypočtené výsledky taktéž nenásledují žádný pravidelný vzor a téměř žádný rozdíl není ani v celkovém vypočteném množství srážek za pozorované období. Výpočet metodou Thiessenových polygonů zde byl sice menší než aritmetický

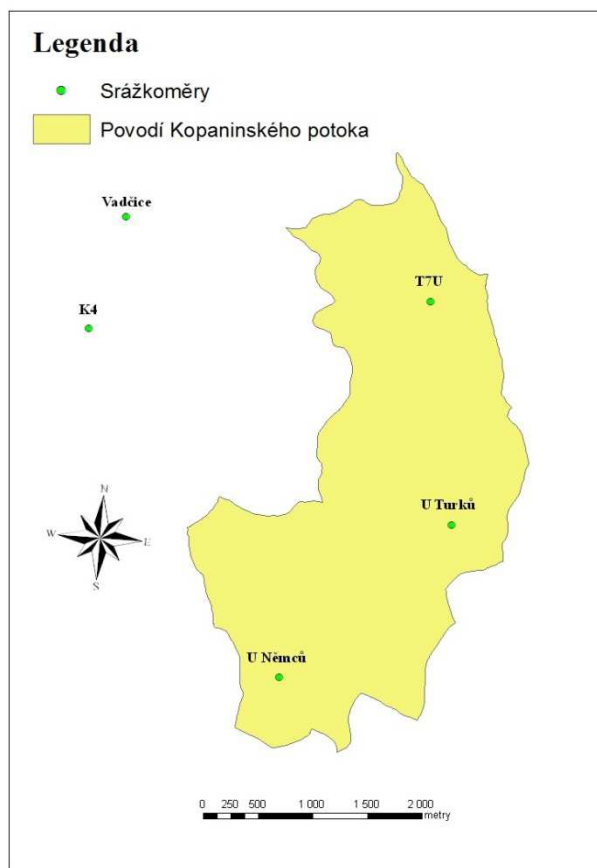
průměr, ale jen o 0,3%. Metoda izohyet je pak menší než aritmetický průměr o 0,4%. Rozdíly mezi jednotlivými metodami jsou tedy dokonce menší než rozdíly metod použitých v Kopaninském povodí, a to i přes skutečnost, že v povodí Wye bylo instalováno pětinašobné množství srážkoměrů.

Z dosažených výsledků porovnaných s výsledky z Wye je patrné, že nelze ani spolehlivě říci, která metoda vypočítává vyšší úhrny než ostatní. V povodí Wye vycházely nejvyšší úhrny vypočtené aritmetickým průměrem, kdežto v povodí Kopaninského toku vycházejí nejčastěji nejvyšší úhrny vypočtené metodou Thiessenových polygonů. Dalším problémem je fakt, že dle Clarke a kol. (1973) dokonce ani 20 srážkoměrů v povodí Wye nestačilo na spolehlivý výpočet plošných srážek v tomto povodí a není tedy možnost porovnat přesnost jednotlivých použitých metod. Toto potvrzuje i Sokol a Bližňák (2009) tvrzením, že je všeobecně známo, že je nemožné skutečné hodnoty plošných srážek získat, a proto je obtížné rozhodnout, která metoda funguje nejlépe.

### **5.3 Vyhodnocení rozdílů ve vypočtených úhrnech srážek jednotlivými početními metodami v území vymezeném v prostředí GIS**

V této kapitole již byly použity všechny 4 metody výpočtu prostorové distribuce srážek. Zahrnout i metodu izohyet umožňoval fakt, že oblast výpočtu nebyla vybrané povodí, ale území, které GIS při výpočtu jednotlivých metod (mimo aritmetického průměru) vytvářel mezi srážkoměry. Rozmístění srážkoměrů bylo tedy dostačující pro vytvoření izohyet přes celé toto území. Rozloha území činí 8,52 km<sup>2</sup>, má tedy přibližně stejnou rozlohu jako povodí Kopaninského potoka.

Území vytvořené v prostředí ArcMap 10, jehož lomové body tvořily jednotlivé srážkoměry, umožňoval zahrnout také pátý srážkoměr K4. Jedná se o identickou automatickou kontinuálně pracující stanici jakou je i srážkoměr T7U. Automatická stanice K4 je umístěna na sousedním povodí IV. řádu Dehtáře. Data z tohoto srážkoměru byla uvedena v 10-ti minutových intervalech a upravena stejným způsobem jako data z předchozích čtyř použitých srážkoměrů. Umístění srážkoměru K4 je znázorněno v obrázku č. 5-4.



Obr. č. 5-4: *Mapový výstup pozice srážkoměru K4 vůči ostatním srážkoměrným stanicím*

Kompletně upravená data ze srážkoměrů, která sloužila pro výpočet prostorové distribuce srážek a k následnému statistickému hodnocení, byla použita pouze pro měsíce z malého vegetačního období (průměrná denní teplota nad 10°C) z obou hydrologických let 2006 a 2007. Toto období zahrnuje pro Humpolec dle Čvančary (1962) a dle Podnebí ČSSR-Tabulky (1961) měsíce květen až září příslušného roku. Důvodem zahrnout do výpočtů pouze měsíce malého vegetačního období byla snaha ověřit, zda se neprojeví rozdíly mezi výsledky vypočtenými jednotlivými metodami v měsících, kdy se vyskytují přívalové srážky (dešťové přeháňky s krátkou dobou trvání ale velkou intenzitou), jelikož srážkoměr K4 vykazoval mnohdy relativně odlišné naměřené hodnoty oproti zbylým srážkoměrům. Měsíční srážkové úhrny pro malé vegetační období naměřené na jednotlivých srážkoměrných stanicích jsou uvedeny v tabulce č. 5-6.



Měsíce	U Němců [mm]	U Turků [mm]	Vadčice [mm]	T7U [mm]	K4 [mm]
květen 06	117,6	107,4	115,3	113,4	104,6
červen 06	113,4	126,9	71,9	90,4	107,8
červenec 06	53,4	56,4	56,4	57,8	45,0
srpen 06	167,3	173,7	159,0	152,2	136,1
září 06	5,5	7,3	8,7	5,4	6,9
květen 07	70,6	76,4	65,4	69,6	64,5
červen 07	82,5	74,4	55,1	71,4	34,7
červenec 07	120,5	105,6	96,7	97,0	98,6
srpen 07	43,7	35,4	42,7	40,1	37,6
září 07	152,4	140,5	139,0	132,2	124,6

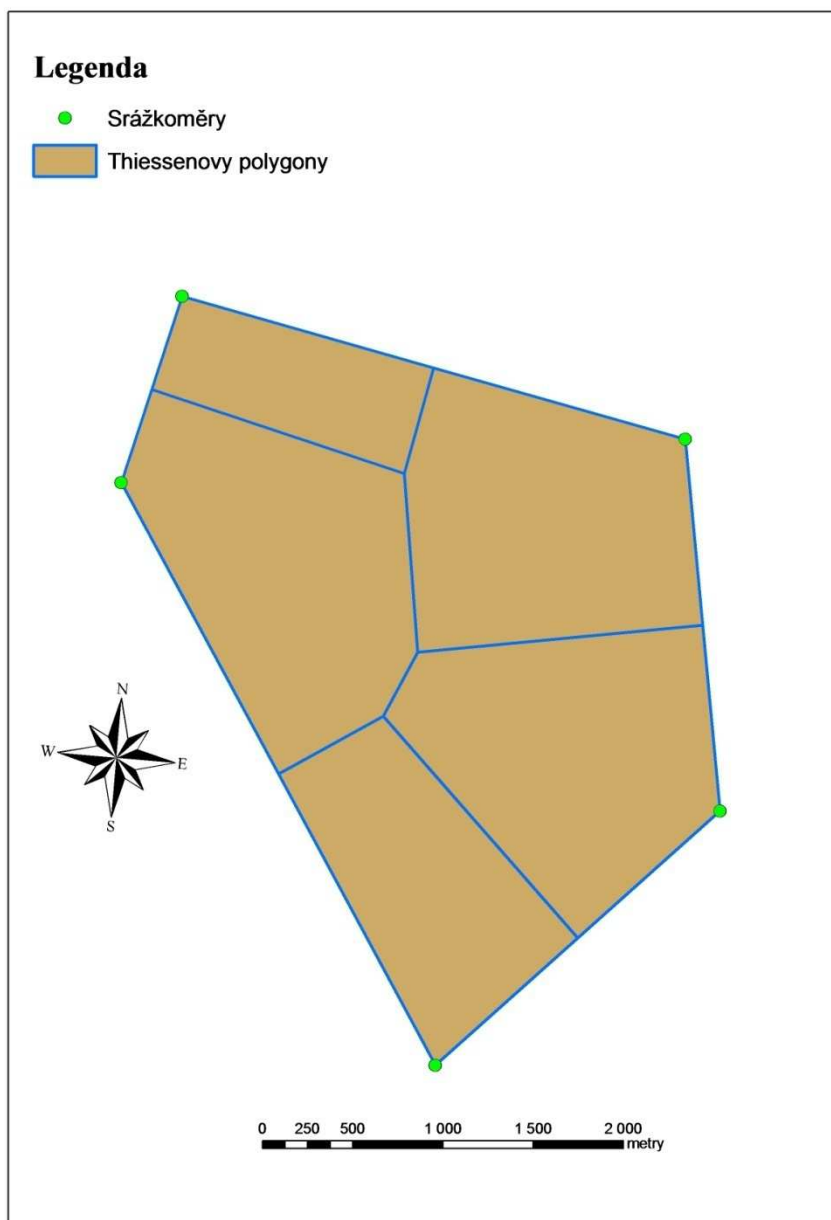
Tab. č. 5-6: Měsíční srážkové úhrny z jednotlivých srážkoměrů pro malé vegetační období hydrologických let 2006 a 2007

#### *Aritmetický průměr*

Aritmetický průměr byl vypočten stejně jako v kapitole 5.1. této práce. Výsledek této metody je spolu s výsledky ostatních metod uveden v tabulce č. 5-7. Pro lepší přehlednost je tato souhrnná tabulka vložena až za popis výsledků poslední metody použité v této kapitole.

#### *Thiessenovy polygony*

Výpočet průměrného měsíčního srážkového úhrnu v území vymezeném v prostředí GIS pro malé vegetační období hydrologických let 2006 a 2007 byl vypočten stejně jako pro povodí Kopaninského toku v kapitole 5.1. Výsledků bylo dosaženo pomocí váženého průměru v programu Microsoft Excel 2007. Tyto výsledky jsou, stejně jako v případě výsledků vypočtených aritmetickým průměrem, uvedeny v tabulce č. 5-7. Rozdělení území na jednotlivé polygony je patrné z obrázku č. 5-5.

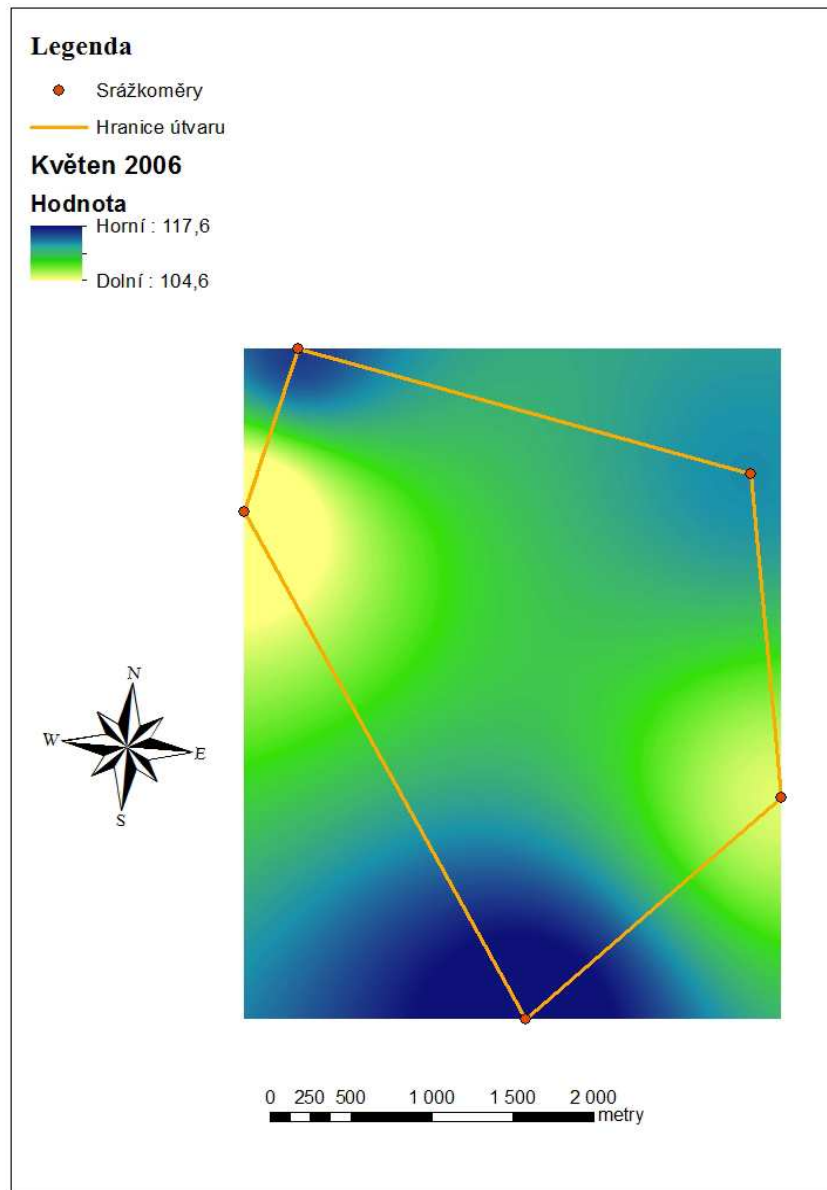


Obr. č. 5-5: Thiessenovy polygony vzniklé v území vymezeném v prostředí GIS

#### *Metoda vážené inverzní vzdálenosti (IDW)*

Tato metoda byla taktéž vytvořena a současně vypočtena stejným způsobem jako v kapitole 5.1. Došlo tedy opět nejen k výpočtu průměrného měsíčního srážkového úhrnu pro jednotlivé měsíce v území vymezeném v GIS, ale také k vytvoření vizuálního popisu rozložení srážek nad tímto územím. Výsledky vypočtené pomocí této metody jsou rovněž uvedeny v souhrnné tabulce č. 5-7. Rozmezí („Hodnota“) množství srážek pro květen 2006 spolu s barvami zvoleného spektra a jejich

postupným přechodem, reprezentujícím množství a změnu srážek v území, je znázorněno v obrázku č. 5-6. Množství srážek je udáváno v mm vodního sloupce.

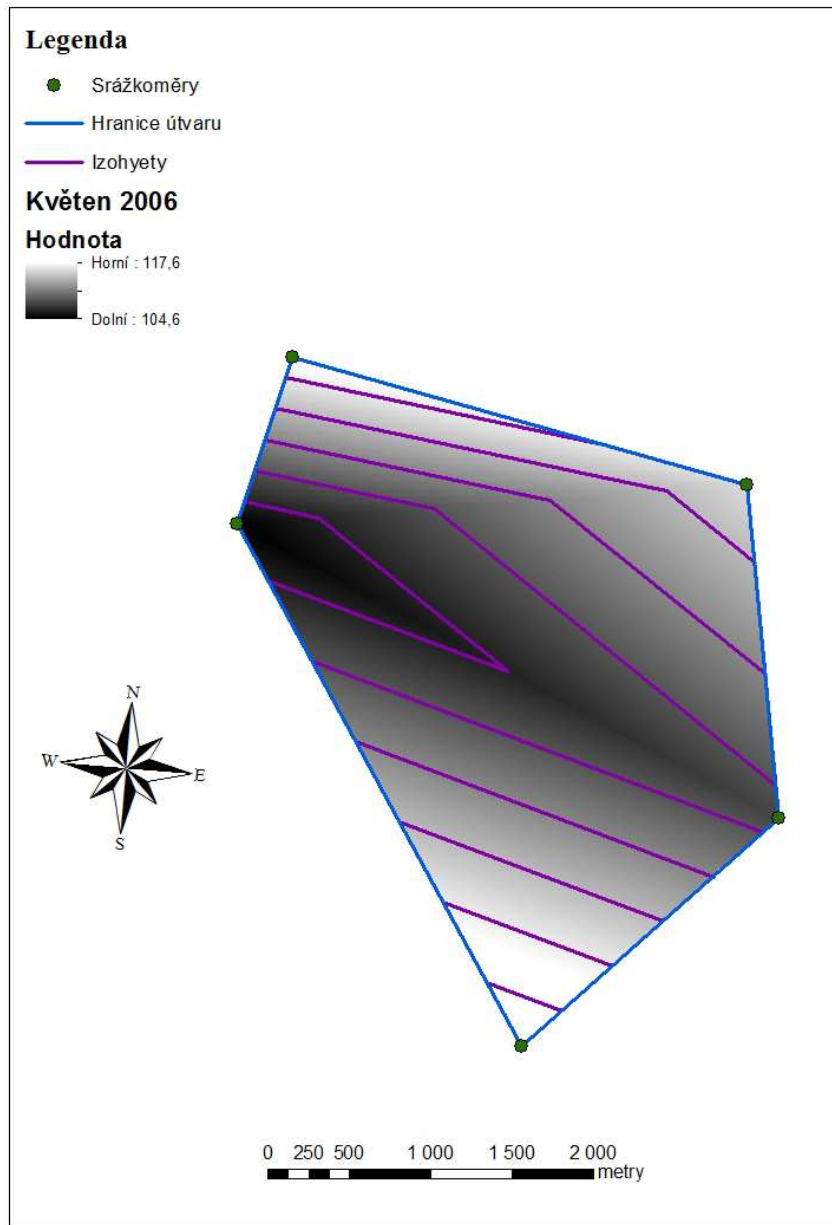


Obr. č. 5-6: Rozložení srážek nad územím vymezeným v GIS vzniklé metodou IDW pro květen 2006

#### *Metoda izohyet*

Metoda izohyet byla v této kapitole vytvořena a vypočtena jako poslední. V porovnání s ostatními použitými metodami se jednalo o nejsložitější metodu jak pro vytvoření, tak pro výpočet. Tato metoda pomocí izohyet taktéž vytváří vizuální popis prostorové distribuce srážek pro jednotlivé měsíce nad vymezeným

územím. V území byly tedy vytvořeny izohyety, což jsou linie stejné jako vrstevnice, jen s tím rozdílem, že nespojují místa se stejnými nadmořskými výškami, ale místa se stejnými srážkovými úhrny. Izohyety vytvořené v zájmovém území jsou dobře patrné z obrázku č. 5-7. Ostrý „lom“ izohyet je způsoben nedostatečným množstvím srážkoměrů. Rozsah („Hodnota“) množství srážek je udáváno v mm vodního sloupce.



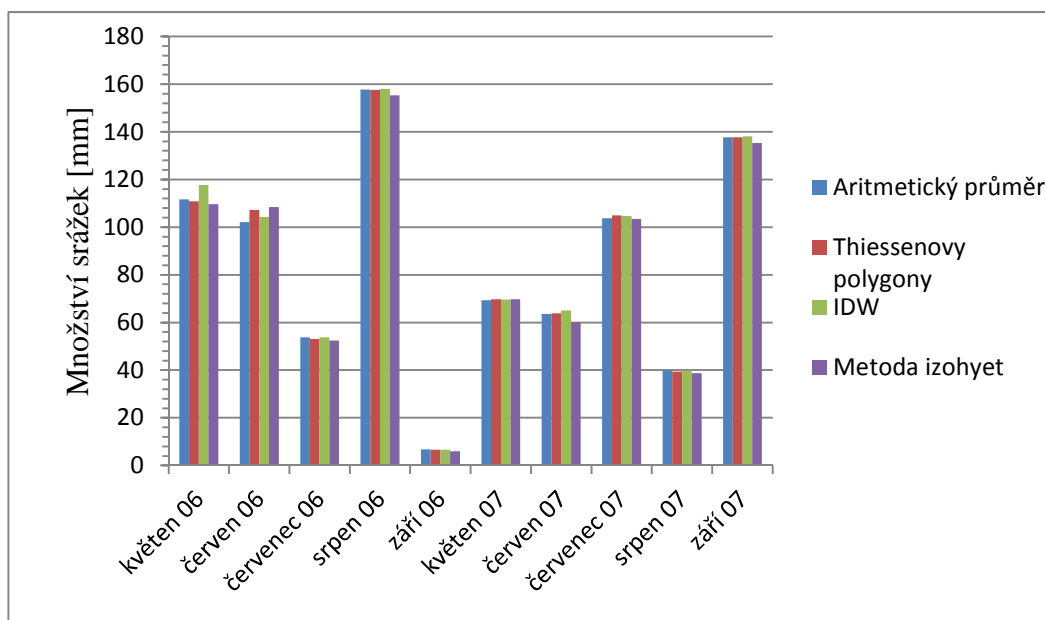
Obr. č. 5-7: *Izohyety představující prostorovou distribuci srážek v území vymezeném v prostředí GIS*

Výsledky výpočtu průměrných měsíčních srážkových úhrnů pro malé vegetační období hydrologických let 2006 a 2007, spolu s měsíčními srážkovými úhrny vypočtenými zbylými metodami, jsou uvedeny v přehledné tabulce č. 5-7.

Měsíce	Aritmetický průměr [mm]	Thiessenovy polygony [mm]	IDW [mm]	Metoda izohyet [mm]
květen 06	111,7	110,9	111,7	109,6
červen 06	102,1	107,2	104,2	108,4
červenec 06	53,8	53,1	53,7	52,4
srpen 06	157,7	157,6	158	155,3
září 06	6,8	6,6	6,6	6
květen 07	69,3	69,8	69,6	69,7
červen 07	63,6	63,9	65	60,1
červenec 07	103,7	105	104,6	103,4
srpen 07	39,9	39,4	39,8	38,7
září 07	137,7	137,7	138,1	135,3

Tab. č. 5-7: Celkový úhrn srážek v území vymezeném v prostředí GIS vypočtený použitými metodami pro jednotlivé měsíce malého vegetačního období hydrologických let 2006 a 2007

Pro větší přehlednost byl z těchto dat vytvořen graf č. 5-3.



Graf č. 5-3: Měsíční úhrny srážek v území vymezeném v prostředí GIS vypočtené použitými metodami výpočtu prostorové distribuce srážek pro měsíce malého vegetačního období hydrologických let 2006 a 2007

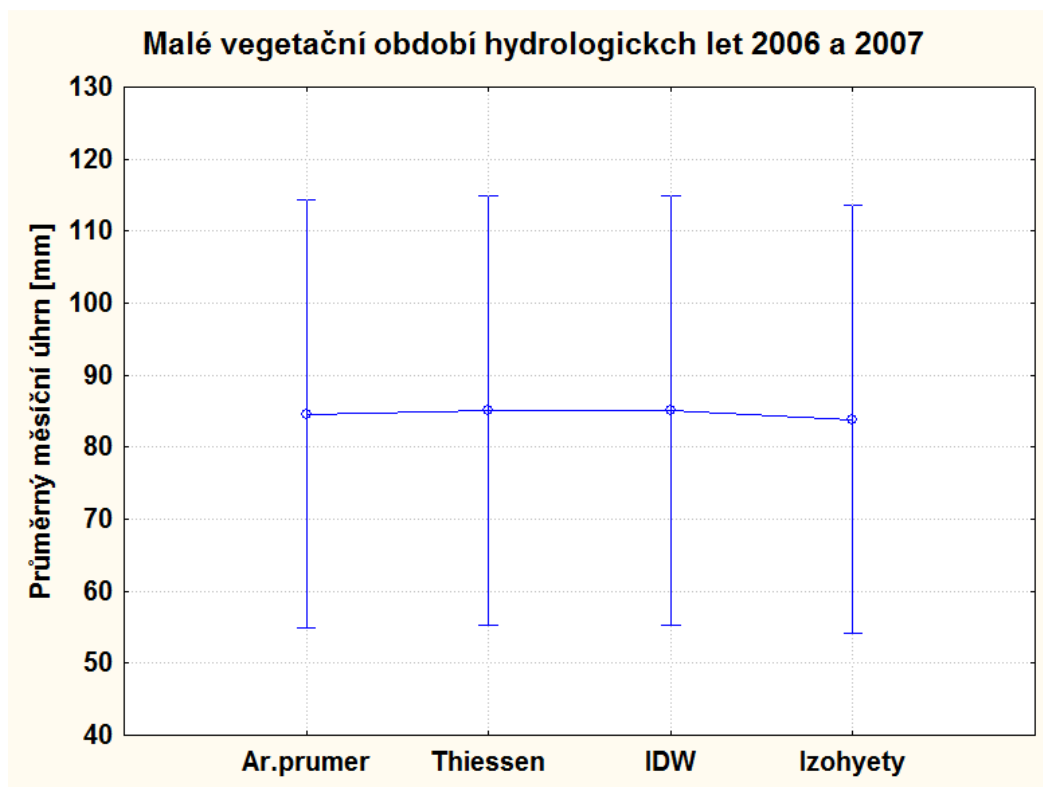
Z grafu 5-3 je patrné, že výsledky metod se opět téměř neliší. Při pohledu do tabulky 5-7 je zřejmé, že rozdíly mezi výsledky jednotlivých metod se pohybují jen od desetin milimetru po několik milimetrů, přesněji od 0,5 mm (květen 2007) do 6,3 mm (červen 2006). Průměrný rozdíl činí 2,4 mm. Při porovnání celkových množství srážkových úhrnů vypočtených jednotlivými metodami za malé vegetační období se ukázalo, že výpočet metodou Thiessenových polygonů je o 0,6% větší než aritmetický průměr, výpočet metodou IDW je taktéž o 0,6% větší a výpočet metodou izohyet je naopak o 0,9% menší než aritmetický průměr. Tyto výsledky jsou uvedeny v tabulce č. 5-8.

	<b>Rozdíly mezi použitými metodami</b>
Největší rozdíl [mm]	<b>6,3</b>
Nejmenší rozdíl [mm]	<b>0,5</b>
Průměrný rozdíl [mm]	<b>2,4</b>
Celkový vypočtený úhrn (aritmetický průměr) [mm]	<b>846,2</b>
Celkový vypočtený úhrn (Thiessenovy polygony) [mm]	<b>851,2</b>
Celkový vypočtený úhrn (IDW) [mm]	<b>851,3</b>
Celkový vypočtený úhrn (metoda izohyet) [mm]	<b>838,9</b>
Aritmetický průměr [%]	<b>100</b>
Metoda Thiessen. polygonů-aritmet. průměr [%]	<b>0,6</b>
IDW-aritmetický průměr [%]	<b>0,6</b>
Metoda izohyet-aritmetický průměr [%]	<b>-0,9</b>

Tab. č. 5-8: *Rozdíly mezi výsledky metod výpočtu plošných srážek v území vymezeném v prostředí GIS*

Dále je patrné, že pokud se jedná o nejvyšší vypočtené úhrny, není ve výsledcích žádný pravidelný vzor. Nejvyšších vypočtených úhrnů totiž dosáhly v některém měsíci všechny použité metody. Co se týče nejnižších vypočtených úhrnů, zde lze jistou pravidelnost najít. Z 10 měsíců pozorovaného období byl nejnižší úhrn vypočten v 8 měsících metodou izohyet.

Provedená analýza rozptylu (ANOVA) znovu (stejně jako v kapitole 5.2) potvrdila výše popsanou “nerozdílnost“ jednotlivých metod, protože neprokázala rozdíly v průměrech vypočtených měsíčních srážkových úhrnů na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$ . Toto je dobře patrné z grafu č. 5-4.



Graf č. 5-4: Graf průměrů s odchylkami (průměr  $\pm 0,95$  interval spolehlivosti) vypočtených měsíčních úhrnů použitými metodami pro malé vegetační období hydrologických let 2006 a 2007

Při porovnání výsledků s výsledky z povodí Kopaninského potoka je evidentní, že došlo ke změně. V povodí Kopaninského toku byla totiž metoda IDW menší než aritmetický průměr, nyní je tomu naopak. Výpočet metodou Thiessenových polygonů zůstal stále větší než výpočet aritmetickým průměrem, ale rozdíl se snížil téměř o 2/3. Dalším rozdílem je fakt, že v tomto území vymezeném v prostředí GIS je, na rozdíl od povodí Kopaninského potoka, nejvyšších úhrnů nejčastěji dosahováno nejen Thiessenovými polygony, ale i aritmetickým průměrem.

Při porovnání výsledků této kapitoly s výsledky z povodí Wye zjistíme, že také v tamní studii vypočítává metoda izohyet nejnižší úhrny. V této kapitole je z tabulek č. 5-6 (měsíční srážkové úhrny z jednotlivých srážkoměrů) a č. 5-7 (celkový úhrn srážek vypočtený použitými metodami) patrné, že izohyety vhodně začlení i nejnižší srážkové úhrny (ve 2 měsících dokonce nižší o desítky mm), které oproti zbylým srážkoměrům nejčastěji vykazoval srážkoměr K4. To by naznačovalo, že metoda izohyet je metodou nejpřesnější. Problémem ale je, že nejsou k dispozici srážkové úhrny vstupující do výpočtů prostorové distribuce

srážek v povodí Wye, a tak není důkaz o tom, zda tamní měsíční úhrny dosahovaly podobných rozdílů. Navíc, jak již bylo uvedeno, ani hustá srážkoměrná síť pro přesné vypočtení prostorové distribuce srážek nestačí. Lze tedy těžko rozhodnout, zda je metoda izohyet skutečně metodou nejpřesnější.

#### 5.4 Statistické vyhodnocení rozdílů v úhrnech srážek naměřených na jednotlivých srážkoměrných stanicích

Srážkové úhrny naměřené na jednotlivých srážkoměrech vykazovaly někdy, jak v denních, tak v měsíčních úhrnech, značné rozdíly. Vybrané rozdíly v denních srážkových úhrnech jsou uvedeny v tabulce č. 5-9.

<b>Datum</b>	<b>U Němců [mm]</b>	<b>U Turků [mm]</b>	<b>Vadčice [mm]</b>	<b>K4 [mm]</b>	<b>T7U [mm]</b>
16.5.2006	16,5	9,8	33,9	23,2	29,4
19.6.2006	12,4	19,8	30,1	21,3	14,8
29.6.2006	19,7	60,7	0	53,4	42,6
30.6.2006	4	24,6	20,5	13,9	13,8
12.7.2006	3,5	28,6	23,7	20,8	29,8
7.8.2006	42,3	52,6	53,8	39,5	45,2
29.5.2007	3,3	0,4	13,5	3,2	3,4
25.6.2007	0	9,5	10,6	0	8,6
19.7.2007	30,8	34,9	13,1	12,3	17,6
20.8.2007	11,4	4	3,6	4,4	2,6

Tab. č. 5-9: Vybrané rozdíly v denních úhrnech naměřených na jednotlivých srážkoměrech z obou hydrologických let 2006 a 2007

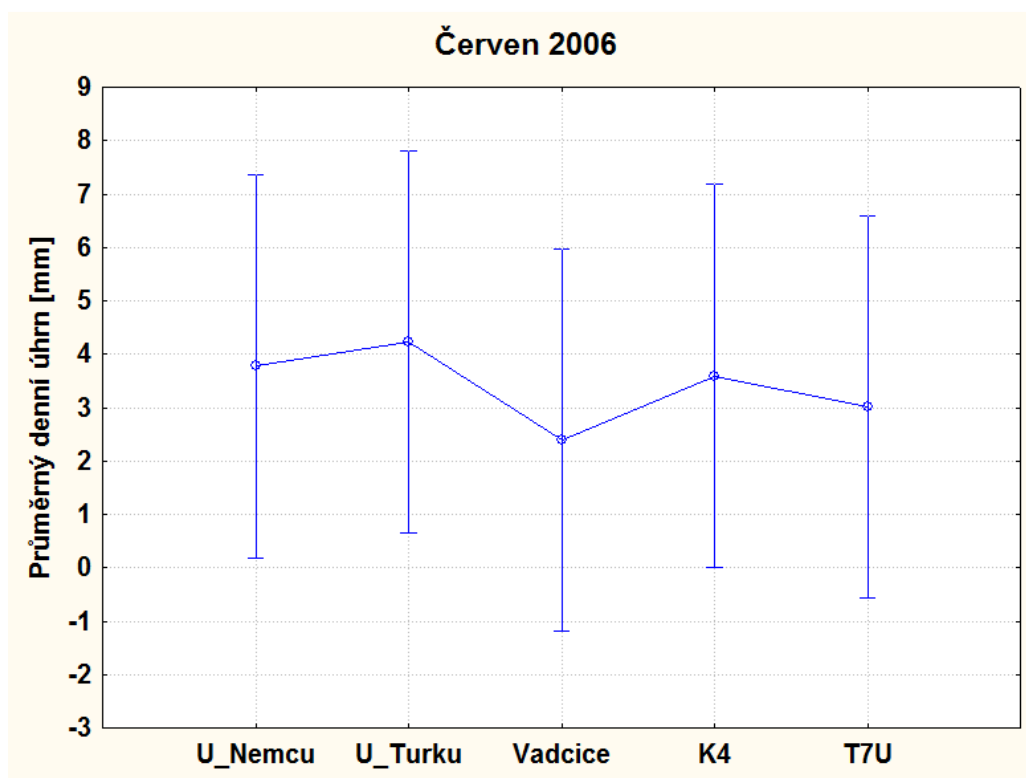
Vybrané rozdíly v měsíčních srážkových úhrnech jsou přehledně uvedeny v tabulce č. 5-10.

<b>Měsíc</b>	<b>U Němců [mm]</b>	<b>U Turků [mm]</b>	<b>Vadčice [mm]</b>	<b>K4 [mm]</b>	<b>T7U [mm]</b>
květen 06	117,6	107,4	115,3	104,6	113,4
červen 06	113,4	126,9	71,9	107,8	90,4
srpen 06	167,3	173,7	159,0	136,1	152,2
červen 07	82,5	74,4	55,1	34,7	71,4
červenec 07	120,5	105,6	96,7	98,6	97,0

Tab. č. 5-10: Vybrané rozdíly v měsíčních úhrnech naměřených na jednotlivých srážkoměrech z obou hydrologických let 2006 a 2007

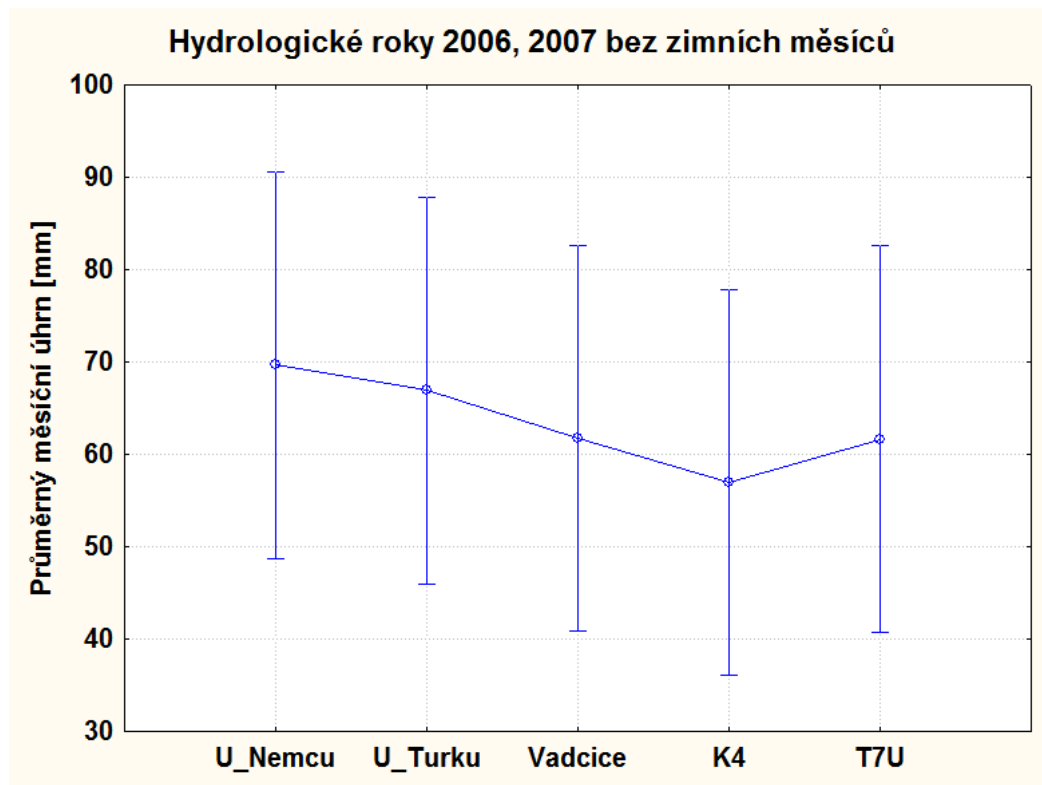


Při otestování těchto dat analýzou rozptylu (ANOVA) nebyla prokázána statistická rozdílnost průměrů na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$ . Otestován byl měsíc červen 2006, kde byly naměřeny největší rozdíly v denních úhrnech srážek na jednotlivých srážkoměrech (viz. tabulka č. 5-9) s neprůkazným výsledkem, jak je vidět z grafu č. 5-5.



Graf č. 5-5: Graf průměrů s odchylkami (průměr  $\pm 0,95$  interval spolehlivosti) pro červen 2006

Dále bylo testováno období obou hydrologických let 2006 a 2007 (měsíční úhrny srážek) také s neprůkazným výsledkem, jak je patrné z grafu č. 5-6.



Graf č. 5-6: Graf průměrů s odchylkami (průměr  $\pm 0,95$  interval spolehlivosti)  
pro oba hydrologické roky 2006 a 2007

Neprůkazný výsledek analýzy rozptylu (ANOVY) vyjadřuje, že v obou případech není statisticky průkazný rozdíl mezi použitými daty (naměřenými úhrny).

## 6. ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo především posoudit rozdíly ve výpočtu prostorové distribuce srážek ve vybraném povodí mezi použitými metodami a případně rozhodnout, která z těchto metod je nejpřesnější. Jako vhodné povodí bylo vybráno povodí Kopaninského toku, které má v poměru k ploše, kterou zaujímá, relativně hustou síť srážkoměrných stanic.

Z dosažených výsledků v této práci vyplývá, že použité metody aritmetického průměru, Thiessenových polygonů, metody izohyet a metody IDW se ve výsledcích liší jen nepatrně. Vypočtené výsledky taktéž nenásledují žádný pravidelný vzor. To znamená, že nejvyšších vypočtených úhrnů je dosaženo v různých měsících různými metodami. Výpočtu nejnižších úhrnů bylo v této práci i porovnávané studii dosahováno metodou izohyet, která vhodně začleňovala někdy i značně nižší úhrny, naměřené na některé z použitých srážkoměrných stanic. To by naznačovalo, že tato metoda je z ostatních zde použitých metod, metodou nejpřesnější. Toto potvrzují i vědci, kteří se prostorovou distribucí srážek zabývají. Avšak z práce také vyplynulo, že i přes velké množství srážkoměrů (20 srážkoměrů v ploše 10 km<sup>2</sup>) je nemožné skutečné hodnoty plošných srážek získat. Navíc instalování tak velkého množství srážkoměrů v povodí je velmi finančně náročné.

Závěrem lze konstatovat, že je obtížné rozhodnout, která metoda je nejpřesnější. Avšak výsledky jednotlivých použitých metod v této diplomové práci se lišily jen minimálně. Lze tedy tvrdit, že i přes použití různých metodických postupů jsou výsledky téměř shodné. To znamená, že volba metody výpočtu závisí spíše na rozhodnutí jedince, než na požadované přesnosti. Při výběru je ovšem nutné zohlednit vlastnosti jednotlivých metod, dále počet a umístění srážkoměrů a také morfologii terénu, která je často pro výběr metody rozhodující.

## 7. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY A ZDROJŮ

### 7.1 Literatura

1. **Abebe, B. B., Savenije, H. H. G.** Filtering the effect of orography from moisture recycling patterns. *Physics and Chemistry of the Earth*, 1995, roč. 20, s. 521-526.
2. **Ahrens, B.** Distance in spatial interpolation of daily rain gauge data. *Hydrology and Earth System Sciences*, 2006, roč. 10, s. 197-208.
3. **Akimov, I. V.** Precipitation calculation method based on parameterization of distribution function evolution and its performance in global spectral atmospheric model. *Journal of Hydrology*, 2004, roč. 288, s. 105-120.
4. **Arnell, N. W., Reynard, N. S.** The effects of climate change due to global warming on river flows in Great Britain. *Journal of Hydrology*, 1996, roč. 183, s. 397-424.
5. **Ashraf, M., Loftis, J. C., Hubbard, K. G.** Application of geostatisticals to evaluate partial weather station network. *Agricultural Forest Meteorology*, 1997, roč. 84, s. 255-271.
6. **Astapenko, P. D., Kopáček, J.** *Jaké bude počasí?* Lidové nakladatelství, Praha, 1987, 303 s.
7. **Atlas podnebí Česka.** Český hydrometeorologický ústav, Praha, 2007, 255 s.
8. **Bacchi, B., Kottegoda, N.** Identification and calibration of spatial correlation patterns of rainfall. *Journal of Hydrology*, 1995, roč. 165, s. 311-348.
9. **Barros, A. P., Lettenmaier, D. P.** Dynamic modeling of orographically induced precipitation. *Reviews of Geophysics*, 1994, roč. 32, s. 265-284.
10. **Beck, A., Ahrens, B., Stadlbacher, K.** Impact of nesting strategies in dynamical downscaling of reanalysis data. *Geophysical Research Letters*, 2004, roč. 31, s. 1910-1920.
11. **Bedient, P. B., Hubert, W. C.** *Hydrology and floodplain analysis.* Prentice – Hall, Inc., USA, 2002, 763 s.

12. **Bednář, J.** Pozoruhodné jevy v atmosféře. Academia, Praha, 1989, 240 s.
13. **Bednář, J.** Meteorologie. Portál, Praha, 2003, 223 s.
14. **Beven, K.** How far can we go in distributed hydrological modeling? Hydrology and Earth System Sciences, 2001, roč. 5, s. 1-12.
15. **Bíl, M., Müller, I.** Faculty of Sciences, Palacký University in Olomouc, Geomorphology, 2008, roč. 99, s. 246-253.
16. **Blumer, F.** Altitudinal dependence of precipitation in the Alps. Swiss Federal Institute of Technology, ETH Zurich, 1994, 242 s.
17. **Cedilnik, J., Pristov, N.** ALARO-0 microphysics: autoconversion, collection, evaporation/melting. 19. 4. 2007, version from 18. 4. 2007.
18. **Ciach, G., Morrissey, M., Krajewski, W. F.** Conditional bias in radar rainfall estimation. Journal of Applied Meteorology, 2000, roč. 39, s. 1941-1946.
19. **Clarke, R. T., Leese, M. N., Newson, A. J.** Analysis of Plynilimon raingauge network: April 1971-March 1973. Institute of Hydrology, 1973, roč. 27. In: Davie, T. Fundamentals of hydrology. Routledge, New York, 2008, 200 s.
20. **Cohen, S., Willgoose, G., Hancock, G.** A methodology for calculating the spatial distribution of the area-slope equation and the hypsometric integral within a catchment. Journal of Geophysical Research-Earth Surface, 2008, roč. 113.
21. **Červený, J., Boehm, B., Bubeníčková, L., Buchtele, J., Čulík, J., Daňková, H., Friga, J., Hladný, J., Kříž, V., Kurpelová, M., Nedelka, M., Šebek, O., Škulec, Š., Vaníček, K., Vitoslavský, J., Závodský, D.** Podnebí a vodní režim ČSSR. Státní zemědělské nakladatelství, Praha, 1984, 414 s.
22. **Čvančara, F.** Zemědělská výroba v číslech. Díl 1. Státní zemědělské nakladatelství, Praha, 1962, 1170 s.
23. **Daňhelka, J.** Operativní hydrologie: Hydrologické modely a nejistota předpovědí. Nakladatelství ČHMÚ, Praha, 2007, 104 s.
24. **Davie, T.** Fundamentals of hydrology. Routledge, New York, 2008, 200 s.
25. **Demek, J.** Geomorfologie českých zemí. Nakladatelství Československé akademie věd, Praha, 1965, 335 s.

26. **Dingman, S. L.** Application of kriging in estimating mean annual precipitation in a region of orographic influence. *Water Resources Bulletin*, 1988, roč. 24, s. 329-339.
27. **Doležal, F., Kulhavý, Z., Kvítek, T., Soukup, M., Čmelík, M., Fučík, P., Novák, P., Peterková, J., Pilná, E., Pražák, P., Tippl, M., Uhlířová, J., Zavadil, J.** Hydrologický výzkum v malých zemědělských povodích. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 2006, roč. 54, s. 137-150.
28. **Doležal, F., Čmelík, M., Kulhavý, Z., Kvítek, T., Pilná, E., Soukup, M., Tippl, M.** Úvod. Základní charakteristika pokusných povodí. 2002. In: Doležal, F. Pokusná zemědělsko-lesní povodí VÚMOP ve středočeském krystaliniku. Srovnání základních souborů dat. Sborník z workshopu, Nové Hrady, 16. října 2001, VÚMOP, Praha, 2002, s. 5-12.
29. **Dorninger, M., Schneider, S., Steinacker, R.** On the interpolation of precipitation data over complex terrain. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 2008, roč. 101, s. 175-189.
30. **Fiedler, F. R.** Simple, practical method for determining station weights using Thiessen polygons and isohyetal maps. *Journal of Hydrologic Engineering*, 2003, roč. 8, s. 219-221.
31. **Glickman, T. S.** Glossary of Meteorology. 2nd Edition. American Meteorological Society, Boston, 2000.
32. **Hanson, C. L.** Distribution and stochastic generation of annual and monthly precipitation on a mountainous watershed in southeast Idaho. *Water Resources Bulletin*, 1982, roč. 18, s. 875-883.
33. **Havlíček, V., Coufal, V., Špánik, F., Uhrecký, I., Klabzuba, J., Kurfuerst, J., Prošek, P., Bureš, R.** Agrometeorologie. Státní zemědělské nakladatelství, Praha, 1986, 264 s.
34. **Hendl, J.** Přehled statistických metod zpracování dat, Portál, Praha, 2004, 584 s.
35. **Changnon, S. A.** Damaging thunderstorm activity in the United States. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 2001, roč. 82, s. 597-608.

36. **Cheng, Ch., Cheng, S., Wen, J., Lee, J.**, Effects of Raingauge Distribution on Estimation Accuracy of Areal Rainfall. *Water Resour Manage*, 2012, roč. 26, s. 1-20.
37. **Jowett, I. G., Thompson, C. S., Pearson, C. P., Mckerchar, A. I.** Rainfall and runoff in the upper Waitaki catchment. *New Zealand Freshwater Miscellaneous Report*, 1993, roč. 188, s. 59.
38. **Keblouti, M., Ouerdachi, L., Boutaghane, H.** Spatial Interpolation of Annual Precipitation in Annaba-Algeria - Comparison and Evaluation of Methods. *Energy Procedia*, 2012, roč. 18, s. 468-475.
39. **Kemel, M.** *Klimatologie, meteorologie, hydrologie*. Vydavatelství ČVUT, Praha, 1996, 289 s.
40. **Kessler, E.** The distribution and continuity of water substance in atmospheric circulations. *Meteorological Monographs*, 1969, roč. 10, s. 84.
41. **Kešner, B.** *Agrometeorologie*. Státní pedagogické nakladatelství, Praha, 1985, 272 s.
42. **Khairullin, K. S.** Antropogenic activities and the problems of micro- and mesoclimate of cities. Technical conference on tropical urban climates, WCACP-24, WMO/TD, No. 538. Dhakka, Bangladesh. 1993.
43. **Kitchen, M., Blackall, R. M.** Representativeness errors in comparisons between radar and gage measurements of rainfall. *Journal of Hydrology*, 1992, roč. 134, s. 13-33.
44. **Kopáček, J., Bednář, J.** *Jak vzniká počasí?* Nakladatelství Karolinum, Univerzita Karlova v Praze, 2005, 268 s.
45. **Krešl, J.** *Hydrologie*. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2001, 128 s.
46. **Krška, K.** *Meteorologie*. Akademické nakladatelství CERM s.r.o., Brno, 2006, 304 s.
47. **Lepš, J.** *Biostatistika*. Biologická fakulta Jihočeské Univerzity v Českých Budějovicích, České Budějovice, 1996, 166 s.

48. **Lohmann, U., Lesins, G.** Stronger constraints on the anthropogenic indirect aerosol effect. *Science*, 2002, roč. 298, s. 1012-1015.
49. **Mehrotra, R., Singh, R. D.** Spatial disaggregation of rainfall data. *Hydrological Sciences Journal*, 1998, roč. 43, s. 91-102.
50. **Munzar, J., Krška, K., Nedelka, M., Pejml, K.** Malý průvodce meteorologií. Mladá fronta, Praha, 1989, 247 s.
51. **Murugesu, S., Günter, B.** Transformation of point rainfall to areal rainfall: Intensity- duration-frequency curves. *Journal of Hydrology*, 1998, roč. 204, s. 150-167.
52. **North, G. R., Bell, T. L., Cahalan, F.** Sampling errors in the estimation of empirical orthogonal functions. *Monthly Weather Review*, 1982, roč. 110, s. 699-706.
53. **Palecki, M. A., Angel, J. R., Hollinger, S. E.** Storm precipitation in the United States. Part I: Meteorological characteristics. *Journal of Applied Meteorology*, 2004, roč. 44, s. 933-946.
54. **Podhrázká, J., Uhlířová, J.** Možnosti stanovení účinnosti ochrany před povodněmi retencí krajiny: Výstup etapy 06 výzkumného záměru VÚMOP Praha. VÚMOP, Praha, 2005, 29 s.
55. **Podnebí ČSSR-Tabulky.** HMÚ, Praha, 1961, 380 s.
56. **Quitt, E.** Klimatické oblasti Československa. *Studia Geographica*, Geografický ústav ČSAV, Brno, 1971, 73 s.
57. **Roth, G. D.** *Wetterkunde für alle.* BLV Verlagsgesellschaft, München, 1999, 296 s.
58. **Rutledge, S. A., Hobbs, P. V.** The mesoscale and microscale structure and organization of clouds and precipitation in midlatitude cyclones. VIII. A model for the 'seeder-feeder' process in warm-frontal rainbands. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 1983, roč. 40, s. 1185-1206.
59. **Seifert, V.** Rozumíme počasí? Barevný průvodce. Artia, Praha, 1987, 191 s.
60. **Sen, Z., Habib, Z. Z.** Point cumulative semivariogram of areal precipitation in mountainous regions. *Journal of Hydrology*, 1998, roč. 205, s. 81-91.



61. **Serrano, S. E.** Hydrology for Engineers, Geologists and Environmental Professionals. HydroScience Inc. Lexington, Kentucky, 1997, 468 s.
62. **Sevruk, B.** Correction of precipitation measurements: Swiss experience. In: Sevruk, B. Correction of precipitation measurements. Zurcher Geographische Schriften, Swiss Federal Institute of Technology, ETH, Zurich, 1986, roč. 23, s. 187-196.
63. **Singh, V. P., Frevert, D. K.** Mathematical models of large watershed hydrology. Water Resources Publications, Highlands Ranch, CO, 2002, s. 914.
64. **Singh, V. P., Frevert, D. K.** Mathematical Models of Small Watershed Hydrology and Applications. Water Resources Publications, Highlands Ranch, CO, 2002, s. 972.
65. **Slabá, N.** Návod pro pozorovatele meteorologických stanic ČSSR. Nakladatelství ČHMÚ, Praha, 1972, 224 s.
66. **Smith, R. N. B.** A scheme for predicting layer clouds and their water content in a general circulation model. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 1990, roč. 116, s. 435-460.
67. **Sokol, Z., Bližňák, V.** Areal distribution and precipitation–altitude relationship of heavy short-term precipitation in the Czech Republic in the warm part of the year. Atmospheric Research, 2009, roč. 94, s. 652-662.
68. **Soukupová, J.** Atmosférické procesy (základy meteorologie a klimatologie). Česká zemědělská univerzita v Praze, 2009, 191 s.
69. **Stríž, M., Němec, L.** Prostorová analýza sněhových dat. Stretnutie sneharov, Ziar, 2011, Sborník.
70. **Summer, G.** Precipitation. Process and Analysis. John Wiley, New York, 1988, 455 s.
71. **Svoboda, J.** Regionální geologie ČSSR. Nakladatelství Československé akademie věd, Praha, 1964, 380 s.
72. **Syed, K. H., Goodrich, D. C., Myers, E. D., Sorooshian, S.** Spatial characteristics of thunderstorm rainfall fields and their relation to runoff. Journal of Hydrology, 2003, roč. 271, s. 1-21.

73. **Švihla, V., Damašková, H., Kynclová, J., Šimunek, O.** Monografie. Výzkumný objekt Ovesná Lhota. VÚMOP Praha, 1992, 156 s. In: Doležal, F., Kulhavý, Z., Kvítek, T., Soukup, M., Čmelík, M., Fučík, P., Novák, P., Peterková, J., Pilná, E., Pražák, P., Tippl, M., Uhlířová, J., Zavadil, J. Hydrologický výzkum v malých zemědělských povodích. Journal of Hydrology and Hydromechanics, 2006, roč. 54, s. 137-150.
74. **Taesombat, W., Sriwongsitanon, N.,** Areal rainfall estimation using spatial interpolation techniques. ScienceAsia, 2009, roč. 35, s. 268-275.
75. **Tartaglione, N., Gabella, M., Michaelides, S. C.** Short range forecast verification of convective rain for a night-time event over the area of Cyprus. Atmospheric Research, 2008, roč. 88, s. 13-24.
76. **Teegavarapu, R. S. V., Chandramouli, V.** Improved weighting methods, deterministic and stochastic data-driven models for estimation of missing precipitation records. Journal of Hydrology, 2005, roč. 312, s. 191-206.
77. **Trabert, V.** Meteorologie a klimatologie. J. Otto, Praha, 1910, 168 s.
78. **Twardosz, R.** Diurnal variation of precipitation frequency in the warm half of the year according to circulation types in Kraków, South Poland. Theoretical and Applied Climatology, 2007, roč. 89, s. 229-238.
79. **Uhlíř, P.** Meteorologie a klimatologie v zemědělství. Československá akademie zemědělských věd, Praha, 1961, 402 s.
80. **Váňa, M., Holoubek, I., Pacl, A., Pekárek, J., Smrčková, V., Machálek, P., Helešic, J., Šeda, Z., Adamec, V., Janouch, M., Honzák, J., Ansorgová, A., Kohoutek, J., Holoubková, I., Šatalov, V., Dutčák, S., Fottová, D., Hruška J., Hofman, J., Anděl, P.** Quality of the Natural Environment in the Czech Republic at the Regional Level. Results of the Košetice Observatory. Nakladatelství ČHMÚ, Praha, 2001, 189 s.
81. **Vysoudil, M.** Meteorologie a klimatologie pro geography. Vydavatelství Univerzity Palackého, Olomouc, 1997, 232 s.
82. **Wagner, P. D., Fielner, P., Wilken, F., Kumar, S., Schneider, K.** Comparison and evaluation of spatial interpolation schemes for daily rainfall in data scarce regions. Journal of Hydrology, 2012, roč. 464-465, s. 388-400.

83. **Wang, H. R., Ye, L. T., Xu, X. Y., Feng, Q. L., Jiang, Y., Liu, Q., Tang, Q.** Bayesian networks precipitation model based on hidden Markov analysis and its application. *Science China, Technological science*, 2010, roč. 53, s. 539-547.
84. **Wilson, J. W., Atwater, M. A.** Storm rainfall variability over Connecticut. *Journal of Geophysical Research*, 1972, roč. 77, s. 3950-3956.
85. **Zapletal, M.** *Hydrologie. Vyšší odborná škola vodního hospodářství a ekologie Vodňany*, 2005, 98 s.
86. **Zhao, Q., Carr, F. H.** A prognostic cloud scheme for operational NWP models. *Monthly Weather Review*, 1997, roč. 125, s. 1931-1953.
87. **Zhenyao, S., Lei, CH., Qian, L., Ruimin, L., Qian, H.** Impact of spatial rainfall variability on hydrology and nonpoint source pollution modeling. *Journal of Hydrology*, 2012, roč. 472-473, s. 205-215.
88. **Zhou, Q., Liu, G., Zhang, Z. T.** 17th International conference on Geoinformatics, 2009, roč. 1 a 2, s. 749-753.

## 7.2 Ostatní zdroje

1. **ArcGIS: Features. Esri: software** [online]. 2012 [cit. 2013-02-06]. Dostupné z: <http://www.esri.com/software/arcgis/features>
2. **Mapy** [online]. 2012 [cit. 2012-11-09]. Dostupné z: <http://mapy.cz/#x=15.247007&y=49.492245&z=10>
3. **Produkty: snímače meteorologických veličin. Fiedler-Mágr** [online]. 2010 [cit. 2013-02-06]. Dostupné z: <http://www.fiedler-magr.cz/cs/produkty/snimace-meteorolog-velicin/destove-srazky/srazkomer-sr03>
4. **Řešení: Statsoft** [online]. 2011 [cit. 2013-02-04]. Dostupné z: <http://www.statsoft.cz/reseni/reseni/>
5. **Vodní hospodářství a ochrana vod: Hydroekologický informační systém VÚV TGM** [online]. 2012 [cit. 2012-11-09]. Dostupné z: [http://heis.vuv.cz/data/webmap/isapi.dll?map=mp\\_heis\\_voda&](http://heis.vuv.cz/data/webmap/isapi.dll?map=mp_heis_voda&)

## 8. SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK A GRAFŮ

### 8.1 Seznam obrázků

Obr. č. 2-1: Konstrukce Thiessenových polygonů .....	26
Obr. č. 2-2: Konstrukce metody izohyet .....	29
Obr. č. 2-3: Prostorové průměrné (měsíční) množství srážek z povodí Wye vypočtené pomocí tří různých metod.....	34
Obr. č. 3-1: Širší geografické vazby Kopaninského potoka .....	37
Obr. č. 3-2: Mapa povodí IV. řádu Kopaninského potoka.....	38
Obr. č. 3-3: Mapa využití půdy v povodí Kopaninského potoka .....	41
Obr. č. 4-1: Mapa umístění všech srážkoměrů, jejichž data byla použita pro výpočet prostorové distribuce srážek ve vybraném povodí.....	42
Obr. č. 4-2: Manuální srážkoměr s lidskou obsluhou .....	43
Obr. č. 5-1: Thiessenovy polygony vytvořené v zájmovém povodí.....	52
Obr. č. 5-2: Nejmenší Thiessenův polygon vytvořený v povodí Kopaninského toku..	53
Obr. č. 5-3: Prostorové rozložení srážek ve vybraném povodí vytvořené metodou IDW pro listopad 2005.....	55
Obr. č. 5-4: Mapový výstup pozice srážkoměru K4 vůči ostatním srážkoměrným stanicím .....	63
Obr. č. 5-5: Thiessenovy polygony vzniklé v území vymezeném v prostředí GIS.....	65
Obr. č. 5-6: Rozložení srážek nad územím vymezeným v GIS vzniklé metodou IDW pro květen 2006.....	66
Obr. č. 5-7: Izohyety představující prostorovou distribuci srážek v území vymezeném v prostředí GIS .....	67

## 8.2 Seznam tabulek

Tab. č. 3-1: <i>Klimatické charakteristiky dle Quitta</i> .....	40
Tab. č. 5-1: <i>Aritmetickým průměrem vypočtený průměrný měsíční úhrn srážek v povodí pro jednotlivé měsíce hydrologických let 2006 a 2007</i> .....	51
Tab. č. 5-2: <i>Metodou Thiessenových polygonů vypočtená prostorová distribuce srážek v povodí pro jednotlivé měsíce hydrologických let 2006 a 2007</i> .....	54
Tab. č. 5-3: <i>Metodou vážené inverzní vzdálenosti (IDW) vypočtené srážkové úhrny v povodí pro jednotlivé měsíce hydrologických let 2006 a 2007</i> .....	56
Tab. č. 5-4: <i>Měsíční úhrny srážek v povodí Kopaniského potoka vypočtené použitými metodami výpočtu prostorové distribuce srážek pro jednotlivé měsíce hydrologických let 2006 a 2007</i> .....	58
Tab. č. 5-5: <i>Rozdíly mezi výsledky jednotlivých metod výpočtu plošných srážek v povodí Kopaninského toku</i> .....	60
Tab. č. 5-6: <i>Měsíční srážkové úhrny z jednotlivých srážkoměrů pro malé vegetační období hydrologických let 2006 a 2007</i> .....	64
Tab. č. 5-7: <i>Celkový úhrn srážek v území vymezeném v prostředí GIS vypočtený použitými metodami pro jednotlivé měsíce malého vegetačního období hydrologických let 2006 a 2007</i> .....	68
Tab. č. 5-8: <i>Rozdíly mezi výsledky metod výpočtu plošných srážek v území vymezeném v prostředí GIS</i> .....	69
Tab. č. 5-9: <i>Vybrané rozdíly v denních úhrnech naměřených na jednotlivých srážkoměrech z obou hydrologických let 2006 a 2007</i> .....	71
Tab. č. 5-10: <i>Vybrané rozdíly v měsíčních úhrnech naměřených na jednotlivých srážkoměrech z obou hydrologických let 2006 a 2007</i> .....	71

### 8.3 Seznam grafů

Graf č. 5-1: <i>Měsíční úhrny srážek v povodí Kopaniského potoka vypočtené použitými metodami výpočtu prostorové distribuce srážek pro jednotlivé měsíce hydrologických let 2006 a 2007</i> .....	59
Graf č. 5-2: <i>Graf průměrů s odchylkami (průměr <math>\pm 0,95</math> interval spolehlivosti) vypočtených měsíčních úhrnů použitými metodami pro hydrologické roky 2006 a 2007</i> .....	61
Graf č. 5-3: <i>Měsíční úhrny srážek v území vymezeném v prostředí GIS vypočtené použitými metodami výpočtu prostorové distribuce srážek pro měsíce malého vegetačního období hydrologických let 2006 a 2007</i> .....	68
Graf č. 5-4: <i>Graf průměrů s odchylkami (průměr <math>\pm 0,95</math> interval spolehlivosti) vypočtených měsíčních úhrnů použitými metodami pro malé vegetační období hydrologických let 2006 a 2007</i> .....	70
Graf č. 5-5: <i>Graf průměrů s odchylkami (průměr <math>\pm 0,95</math> interval spolehlivosti) pro červen 2006</i> .....	72
Graf č. 5-6: <i>Graf průměrů s odchylkami (průměr <math>\pm 0,95</math> interval spolehlivosti) pro oba hydrologické roky 2006 a 2007</i> .....	73