

# ODHAD PLOŠNÝCH SRÁŽEK PRO POVODÍ ŘEKY OLŠE

Lucie Juříková<sup>1</sup>, Monika Šeděnková<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institut geoinformatiky, Hornicko-geologická fakulta, VŠB-TU Ostrava,  
17.listopad u 15/2172, 708 33 Ostrava-Poruba, Česká Republika  
[lucie.jurikovska@vsb.cz](mailto:lucie.jurikovska@vsb.cz), [monika.sedenkova@vsb.cz](mailto:monika.sedenkova@vsb.cz)

**Abstrakt.** Atmosférické srážky, stejně jako většina meteorologických veličin, mají spjitý charakter v prostoru i v čase. Klasická měření pozemních stanic mohou být spjitá v čase, jsou však omezena na pozorovací stanoviště nebo jejich blízké okolí. V současnosti existuje celá řada interpolačních metod, u kterých je však nutné zvážit jejich vhodnost pro konkrétní případ použití. V meteorologii se běžně používá metoda optimální interpolace, která je založena na principu interpolace nově naměřených hodnot na základě autokorelačních analýz do tzv. předběžného pole. Jako předběžné pole se používá výstup z předchozího běhu modelu, do kterého se matematickými technikami zavádějí nově naměřené hodnoty a pole meteorologických veličin se opravují. Cílem toho příspěvku je porovnat a ukázat rozdíly mezi jednotlivými interpolačními metodami v různých programových produktech (GRASS, ArcGIS) a nalézt vhodnou interpolační metodu pro vybrané pilotní území, jímž je povodí řeky Olše. V tomto území je k dispozici celkem 11 srážkoměrných stanic, které jsou ve vlastnictví s.p. Povodí Olše. Území bývá často zasaženo přívalovými srážkami a vzhledem k nevhodné poloze meteorologického radaru jsou předpovědi pro toto území málo spolehlivé. Doporučené postupy pak při vhodném zobecnění mohou být použity i v jiných územích.

**Klíčová slova:** meteorologie, interpolace, srážky, GIS

**Abstract. Estimation of precipitation in the watershed Olse.** Precipitation, as well as most of meteorological variables, have a continuous character in area and time. Classic measurements can be continuous in time, but they are limited by their position. There is a lot of interpolation methods at present, but it is necessary to consider their felicity. The standard method used in meteorology is optimal interpolation one, i.e. interpolation of new observed values into so-called “preliminary field“ based on autocorrelation analysis, (mean “information effect” analysis of new observed values according to measurement errors and according to variability of analysed field). This method includes calculations of various factors, which influence precipitation field. The contribution presents basic geostatistical methods for precipitation interpolation using diverse software (GRASS, ArcGIS). The pilot project is conducted on a small watershed Olse where there are distinctive changes in the river-basin. There is eleven measurement stations, which belong to s.p. Povodí Odry. Recommended processes can be used in the other areas.

**Keywords:** meteorology, interpolation, rainfall, GIS

## 1 Úvod

Hydrologické modelování představuje důležitý nástroj při správě vodních toků a řízení povodí. Předpovídání průběhu a intenzity srážek, průtokového režimu a jejich vlivu na vývoj povodňových situací, je v současné době velmi frekventovanou úlohou, neboť v posledních letech byl nejen v České republice zaznamenán poměrně častý výskyt extrémních srážko-odtokových jevů ([1]). Pole srážek je velmi proměnlivé v prostoru a čase. Pro detailní vystižení jeho topologie by musela být k dispozici velmi hustá srážkoměrná síť. Spolehlivost meteorologických předpovědí a tím i hydrologických modelů je ovlivňována vstupními daty. Kvalita těchto dat bývá různorodá a především množství dat (množství měřicích stanic) bývá nedostatečné.

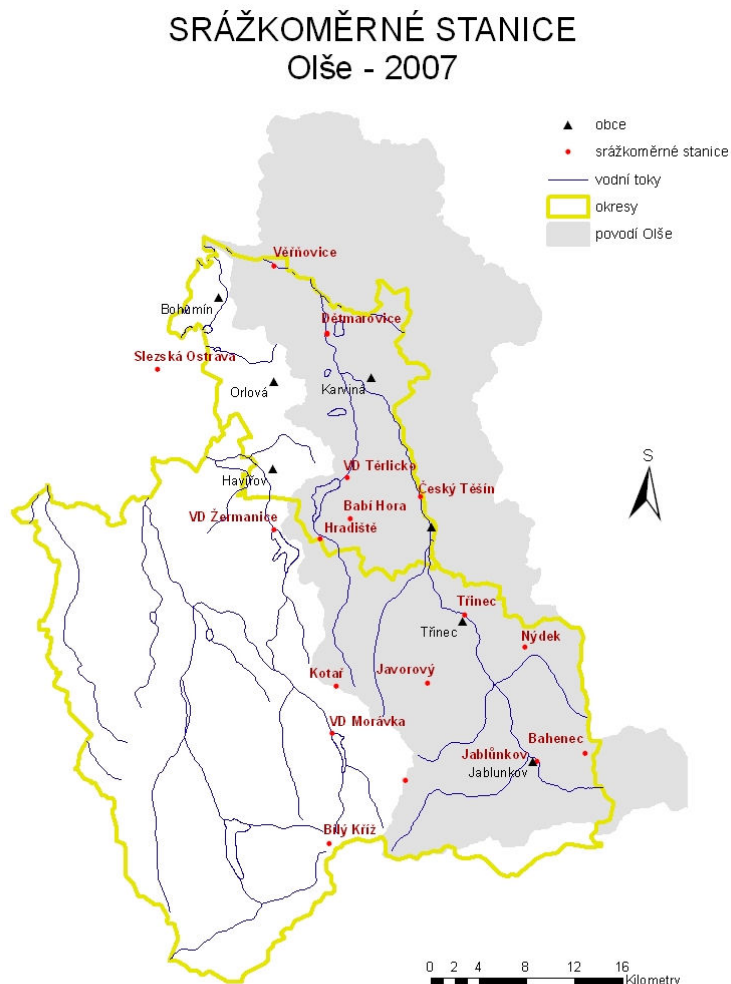
Interpolačních metod existuje celá řada a přes jejich obecný matematický a statistický základ je potřebné zvažovat vhodnost jejich použití pro konkrétní aplikace, především v souvislosti s chováním sledovaného jevu a rozložením míst se známou hodnotou. Například pro odhad srážek v horských oblastech jsou nevhodné především metody, které nerespektují nadmořskou výšku a použití těchto metod poté vede k podhodnocení srážek v těchto oblastech.

Mezi standardní metody využívané v meteorologii patří metoda optimální interpolace tj. interpolace nově naměřených hodnot na základě autokorelačních analýz (analýz průměrného „informačního vlivu“ nově naměřených hodnot vzhledem k chybám měření a variability analyzovaných polí) do tzv. předběžného pole. Jako předběžné pole se používá výstup z předchozího běhu modelu (obvykle se jedná o výstup 6h starý, ale principiálně to může být třeba klimatická analýza zachovávající fyzikální konzistenci), do kterého se matematickými technikami zavádějí nově naměřené hodnoty a pole meteorologických veličin se opravují. Cílem příspěvku je ukázat rozdíly v interpolaci úhrnů srážek zaznamenaných na srážkoměrných stanicích za použití vybraných programů (ArcGIS, GRASS GIS) a v nich dostupných implementací interpolačních metod. Rozdíly v interpolaci mají dopad na interpretaci vývoje srážkového pole a rovněž na následné srážkoodtokové modelování.

## 2 Pilotní území

Jako pilotní území bylo vybráno povodí řeky Olše, ve kterém je k dispozici celkem jedenáct měřících stanic ve vlastnictví s.p. Povodí Odry (obr. 1). Jedná se o tok druhého řádu odvodňující zájmové území do řeky Odry. Jejím nejdůležitějším levostranným přítokem je řeka Stonávka. Povodí má rozlohu 1118 km<sup>2</sup>, z toho 479 km<sup>2</sup> leží na území Polska. Tento fakt samozřejmě ovlivňuje dostupnost dat a jejich rozmístění.

V horním toku, od Jablunkova po Třinec, tok Olše tvoří hranici mezi Slezskými a Moravskoslezskými Beskydami. Od Těšína ke Karvině a od Zawady k soutoku Olše a Odry tvoří česko-polskou hranici.



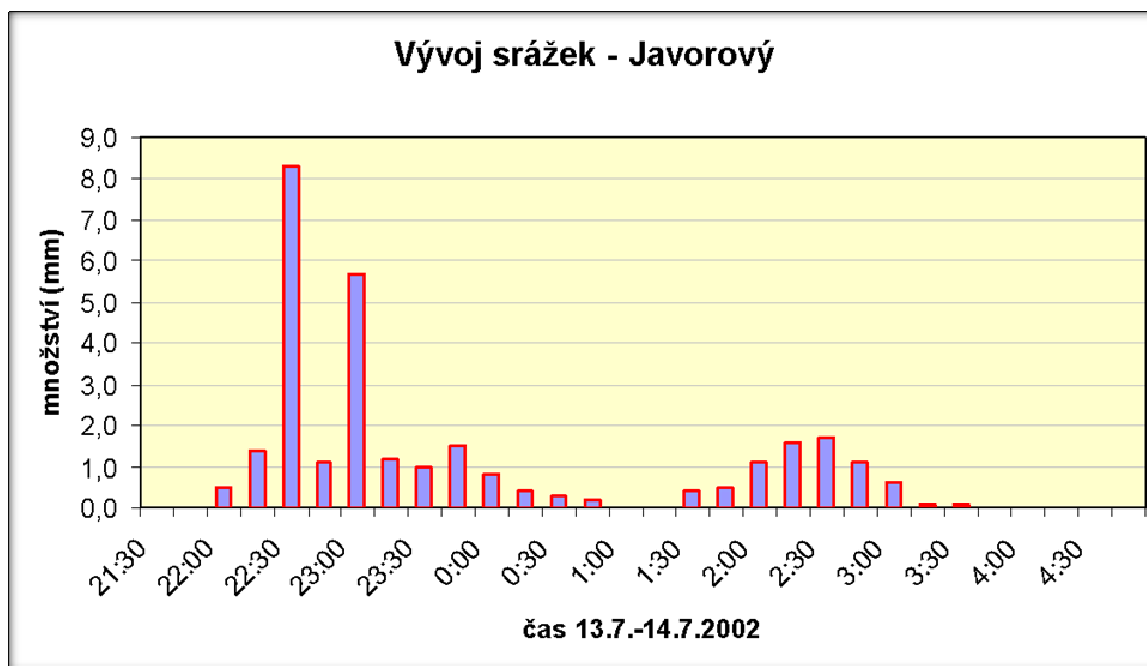
**Obr.1.** Rozmístění srážkoměrných stanic

### 3 Data

Jednotlivé interpolační metody byly vyzkoušeny na datech z Povodí Odry, státní podnik. K dispozici byla data ze tří srážkových epizod: 11.-23.7.2002, 7.-21.3.2005, 23.-28.8.2005. Poskytnutá data byla ve formátu CSV a jednalo se o 15-ti minutové intervaly zaznamenaných srážek u všech 17-ti srážkoměrných stanic.

**Tab.1.** Seznam srážkoměrných stanic

Název stanice	Nadmořská výška (m. n. m.)	Majitel objektu
VD Morávka	530	Povodí Odry
VD Těrlicko	295	Povodí Odry
VD Žermanice	300	Povodí Odry
Jablunkov	395	ČHMÚ
Český Těšín	260	Povodí Odry
Dětmarovice	215	Povodí Odry
Věřňovice	200	Povodí Odry
Hradiště	275	Povodí Odry
Slezská Ostrava	210	Povodí Odry
Bohumín	195	ČHMÚ
Bahenec	780	Povodí Odry
Nýdek	490	Povodí Odry
Třinec	300	Povodí Odry
Javorový	880	Povodí Odry
Babí Hora	423	Povodí Odry
Kotař	790	Povodí Odry
Bílý Kříž	890	ČHMÚ



**Obr.2:** Ukázka vývoje srážek na stanici Javorový

## 4 Interpolační metody

Interpolace je procedura odhadu neznámých hodnot ze známých (naměřených, zjištěných) hodnot v okolí. Zpravidla jde o tzv. lokální odhad, kdy odhadujeme hodnotu zájmové veličiny v bodě, kde nebyla primárně zjištěna nebo naměřena.

Interpolační procedury zahrnují řadu metod, kterými se provádí výpočet neznámé hodnoty - polynomická regrese, Fourierovy řady, spliny, klouzavé průměry, krigování. Některé z nich se využívají jen pro rozsáhlé datové soubory (např. obrazové záznamy).

Důležitým kritériem rozdělení interpolačních metod je, zda zachovávají původní hodnoty, tj. zda v místech se známou hodnotou je v interpolovaném souboru tatáž hodnota. Takové interpolační metody můžeme označit za exaktní, na rozdíl od aproximačních (vyhlazovacích) metod, kde dochází k vyhlazení hodnot i v místech se známou hodnotou ([2]).

Nejběžnějšími metodami jsou metody založené na váženém lineárním průměru z okolních hodnot.

Obecně to lze vyjádřit pomocí vzorce:

$$z^* = \sum (w_i * z_i) \quad (1)$$

kde  $z^*$  představuje odhad hodnoty,  
 $w_i$  váhu (bezrozměrné číslo od 0 do 1),  
 $z_i$  známé hodnoty

### 4.1 Metoda minimální křivosti

Metoda využívá splinových funkcí. Konkrétně se používají bikubické B-spliny. Každá část povrchu je reprezentována samostatnou polynomickou funkcí, odvozenou z lokálních hodnot, přitom musí být zajištěna spojitost sousedních polynomických funkcí na jejich styku (v případě kubických polynomů musí být totožné první dvě derivace). Generuje hladké povrchy a ctí naměřené hodnoty. Je poměrně rychlá. Nevýhodná je u některých typů polí, kde potřebujeme částečné vyhlazení hodnot nebo tehdy, kdy je nepřipustné vytváření falešných maxim a minim v poli. Metoda minimální křivosti nejenom interpoluje, ale je schopna i vypočítat nižší a vyšší hodnoty, než byly ve vstupních datech (záleží na okolních hodnotách).

Metoda není vhodná v případě, kdy vstupní body jsou blízko u sebe a sousedi mají velmi rozdílné hodnoty. Do výpočtu vstupuje rozdíl hodnot bodů a jejich vzdálenost.

### 4.2 Metoda inverzních vzdáleností

Metoda inverzních vzdáleností (inverse distance weighting - IDW) využívá při výpočtu váženého lineárního průměru. Vahou použitou ve výpočtu je reciproká hodnota vzdálenosti měření od lokálního odhadu s mocninou  $p$ . Pro mocninu  $p$  se často používá hodnota 2 (pak jde o IDS - inverse distance square), obecně se doporučují hodnoty mezi 1 a 3. Vyšší hodnota mocniny znamená více dramatický průběh pole a větší vliv nejbližších hodnot. V primární podobě jde o exaktní interpolační metodu.

Metoda neumí vypočítat hodnotu vyšší nebo nižší než jsou vstupní naměřené hodnoty. Tím může docházet k určitému zkreslení výsledku, především pokud se jedná např. o povrch.

### 4.3 Geostatistické metody

Mezi geostatistické metody odhadu patří krigování. Odhady jsou počítány na základě vážených lineárních průměrů, kde je pro každé místo optimalizována soustava vah tak, aby měl výsledný odhad co nejmenší chybu (rozptyl odhadu) ([2]). Ke krigování je nutné provést strukturální analýzu a popsat vztahy ve zkoumaném poli,

někdy se ale situace zjednodušuje předpokladem lineárního semivariogramu. Teoreticky by při nulovém zbytkovém rozptylu mělo jít o exaktní metodu, praktické implementace však ukazují chování aproximační, tedy vyhlazení původních hodnot.

K základním předpokladům pro provádění geostatistických odhadů patří pro většinu metod (vyjma neparametrických) požadavek normální distribuce interpolované veličiny, stacionarita a homogenita, ze kterých vyplývá i požadavek na stejný rozptyl v poli.

Jednoduché krigování je nejjednodušší metodou krigování. K výpočtu je potřeba průměrná hodnota veličiny v poli.

U základního krigování se předpokládá, že prostorová proměnná má neznámou, ale konstantní střední hodnotu.

## 5 Interpolační metody v ArcGIS a GRASS GIS

V programovém prostředí ArcGIS je možné vyzkoušet jak obecné interpolační metody (IDW a metoda minimální křivosti), tak i geostatistické (krigování). V GRASS GIS je dostupná metoda inverzních vzdáleností. V obou programových prostředcích je možné u všech metod definovat různé parametry. Lze zvolit způsob výběru bodů, spadajících do výpočtu (počet, někdy min. a maximální počet, někdy počet pro jednotlivé úhlové sektory). Vedle stanovování počtu bodů je možné stanovit i vyhledávací poloměr, který určuje z jaké maximální vzdálenosti budou údaje zahrnuty do výpočtu a rovněž do jaké vzdálenosti bude prováděna extrapolace izolinií. Pokud existují v datovém souboru shluky dat, které spolu nesouvisí a nemají být propojeny izoliniemi, je třeba volit vyhledávací poloměr menší než 1/2 vzdálenosti krajních bodů těchto sousedících shluků.

Metoda inverzních vzdáleností (IDW) v programovém produktu ArcGIS umožňuje zadání mocniny pro vzdálenosti. Nastavení funkce umožňuje kombinovat zadání počtu vstupních bodů se vzdáleností, v jaké budou vstupní body vyhledávány. Výpočet byl proveden z 11 bodů s mocninou 2 a vzdáleností 12 km.

Metoda inverzních vzdáleností (IDW) v programovém produktu GRASS GIS nedovoluje zadání mocniny pro vzdálenosti, používá se pouze mocnina 2. Lze nastavit počet bodů, které vstupují do výpočtu (standardně je nastaveno 12 nejbližších bodů). Výpočet byl proveden z 11 bodů s mocninou 2.

U metody minimální křivosti (spline) v programovém produktu ArcGIS je možné v nastavení výpočtu vybrat variantu metody regularizovanou (regularized) nebo pod napětím (tension). Při výběru varianty pod napětím (tension) se vytváří plošší povrch než u metody regularized. Tato metoda není dostupná GRASS GIS. Při testování byla použita varianta pod napětím (tension) s vahou 0,1 a k výpočtu bylo použito 11 bodů.

Geostatistical Analyst poskytuje velmi širokou škálu metod krigování a také vhodné nástroje na předchozí exploratorní a strukturní analýzu včetně stanovení teoretického modelu semivariogramu resp. kovariační funkce a odhadu jeho parametrů.

U obou metod krigování byla zvolena varianta neighborhood a do výpočtu bylo zahrnuto 11 bodů.

## 6 Výsledky

Z výsledků je zřejmé, že metody IDW v obou programech jsou prakticky totožné. Metoda minimální křivosti vytváří nereálná maxima na východ od maximální naměřené hodnoty. Jednoduché krigování jednak poněkud stírá prostorové rozložení naměřených hodnot určitým vyhlazením, ještě horší však jsou vyšší hodnoty na jižním okraji za měřenými místy, což ukazuje na nevhodně provedenou extrapolaci. Nejlépe z posouzení tvarů izolinií vychází základní krigování.

Pro jednotlivé metody byla vypracována popisná statistika, všechny metody kromě metody spline měly minimum 0, maximum 15 a průměr 2,9. Metoda spline měla minimum -1 (což je samozřejmě chybné a muselo by být provedeno umělé omezení), maximum 16 a průměrnou hodnotu 4,74.

Pro usnadnění výběru vhodné interpolační metody se využívá tzv. bumerangového testu, kdy se pro bod se známou hodnotou provede výpočet lokálního odhadu z ostatních hodnot. Výsledkem je vypočtená hodnota v

místě, kde známe skutečnou hodnotu. Můžeme tedy stanovit chybu odhadu v tomto místě a následně pro všechny body.

**Tab.2.** Výsledky bumerangového testu (mm)

Název stanice	Naměřená hodnota	IDW	Jednoduché krigování	Základní krigování
Nýdek	0,8	1,1	1,5	0,9
Bahenec	0,8	1,2	1,8	0,9
Třinec	1,0	1,2	1,5	0,9
Javorový	1,0	1,1	1,7	0,8
Babí Hora	1,4	0,9	0,7	0,3
Věřňovice	8,0	9,1	6,2	11,0
Dětmarovice	15,0	4,1	4,0	5,6
Český Těšín	2,0	1,8	1,6	2,5
Jablunkov	1,0	0,9	1,4	0,8
Hradiště	0,0	1,5	1,4	1,4
VD Těrlicko	0,8	1,7	2,7	3,8
VD Morávka	1,4	1,1	1,8	1,8
VD Žermanice	1,0	0,9	1,7	0,9
Slezská Ostrava	0,0	0,6	1,0	0,8
Bohumín	0,0	0,9	1,4	0,9
Kotař	1,4	1,2	2,2	0,4
Bílý Kříž	1,4	0,9	1,8	1,1

Jako nejlepší vychází metoda základního krigování. Tento výsledek se dal očekávat, jelikož vlastností krigování je snaha minimalizovat rozptyl a tím i celkovou chybu.

## 7 Poděkování

Autoři děkují s.p. Povodí Odry za poskytnutá data. Příspěvek vznikl na základě finanční podpory interního grantu VŠB – TU Ostrava “Odhad plošných srážek s využitím srážkoměrných dat v povodí řeky Olše”.

## 8 Závěr

Při tvorbě mapových podkladů rozložení srážek jsou využívány geostatistické postupy a nástroje mapové algebry geografického informačního systému. Metody IDW a krigování umožňují provádět objektivní analýzu uvažovaného pole, tj. umožňují odhadnout hodnotu sledované charakteristiky v libovolném místě pole. Za předpokladu, že vyšetřované pole je statisticky homogenní, je odhad získaný metodou kriging optimální v tom smyslu, že je nestranný a jeho střední kvadratická chyba je minimální. Programové vybavení geografického informačního systému umožňuje při aplikaci interpolační metody kriging vypočítat chyby odhadu interpolovaných hodnot. Hodnoty těchto chyb ukazují mimo jiné na účelnost zahuštění staniční sítě a naopak.

Výsledky ukázaly, že nejvhodnější metodou je základní krigování. Do výpočtu je však nutné zahrnout další faktory, jenž značně ovlivňují rozložení srážek např. nadmořská výška, směr proudění větru.

## Reference

1. Horák, J. Úvod do geostatistiky a interpolace prostorových dat. *GIS Ostrava 2002, sylabus pro účastníky semináře Geostatistika*. Ostrava, 2002.
2. Horák, J. *Prostorová analýza dat*. Skripta VŠB-TU Ostrava, Ostrava, 2006.
3. Sokol Z., Řezáčová D., Pešice P. Odhad bodových i plošných srážek s využitím srážkoměrných a radarových dat. *Meteorologické zprávy*. 1/56. 2003 str. 1-12.

4. Český hydrometeorologický ústav. <http://www.chmi.cz/uoco/isko/groc/gr01cz/obsah.html>
5. Dirks K.N., Hay J.E., Stow C. D., Harris D.  
[http://www.sciencedirect.com/science?\\_ob=ArticleURL&\\_udi=B6V6C-3VWNBKC-4&\\_user=822117&\\_rdoc=1&\\_fmt=&\\_orig=search&\\_sort=d&view=c&\\_acct=C000044516&\\_version=1&\\_urlVersion=0&\\_userid=822117&md5=52e702465d2cab12e258dd1e0a05dff3](http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6V6C-3VWNBKC-4&_user=822117&_rdoc=1&_fmt=&_orig=search&_sort=d&view=c&_acct=C000044516&_version=1&_urlVersion=0&_userid=822117&md5=52e702465d2cab12e258dd1e0a05dff3)