

METODICKÉ ASPEKTY PRIESTOROVÉHO ROZLOŽENIA KLIMATICKÝCH PRVKOV V HORSKEJ OBLASTI

SPATIAL DISTRIBUTION OF THE CLIMATIC PARAMETERS IN MOUNTAINS – METHODOICAL ASPECTS

Sitková, Z.

Abstract

This paper deals with the theoretical analysis of the spatial distribution of climate (point) characteristics, as well as with the practical presentation of geostatistics and the regression analysis application on concrete subject area of the High Tatras. The GEO-EAS software was used for the geostatistical analysis of 11 precipitation measuring points. Average year sums of precipitation measured through the years of 1987-97 created the database. On the basis of the experimental - semivariogram and its parameters (nugget, sill, range) we obtained simple izohyet map using the kriging method. Consequently, the kriging results were transformed into the spatial shape using the IDRISI software. This paper assures that method presented in the following paper is applicable for the spatial analysis of the climate characteristics within the mountain regions.

Keywords: Spatial analysis. Precipitation. Geostatistics. Geo-Eas. GIS - Map algebra. Mountain area.

Translated by Magdaléna Soroková

Úvod

Charakteristika klimatických pomerov určitého územia sa spravidla odvodzuje z údajov nameraných na príslušných meteorologických stanicach – ide teda v zásade o bodové informácie. Bodový charakter majú však aj mnohé ďalšie charakteristiky zisťované napr. pri monitoringu ovzdušia, pri meraní depozičných vstupov alebo aj pri monitorovaní zdravotného stavu lesov. Keďže priestorové informácie sú často dôležitým vstupom pre modelovanie rôznych procesov v prírode, možno v ostatných rokoch hovoriť o narastajúcej potrebe zovšeobecňovať výsledky bodových meraní na celé záujmové územie.

Predložený príspevok si kladie za cieľ popísať niektoré metodické aspekty regionalizácie bodových (konkrétne klimatických) charakteristík v priestore. Teoretickým rozborom prác by sme chceli poukázať na rôzne prístupy k regionalizácii bodových dát a nájsť riešenie tohto problému v podmienkach horských členitých území s nedostatočnou a nerovnomernou sieťou meteorologických staníc. Za takéto záujmové územie možno považovať aj severnú časť Tatier (konkrétne ochranný obvod Javorina), pre ktoré sme na

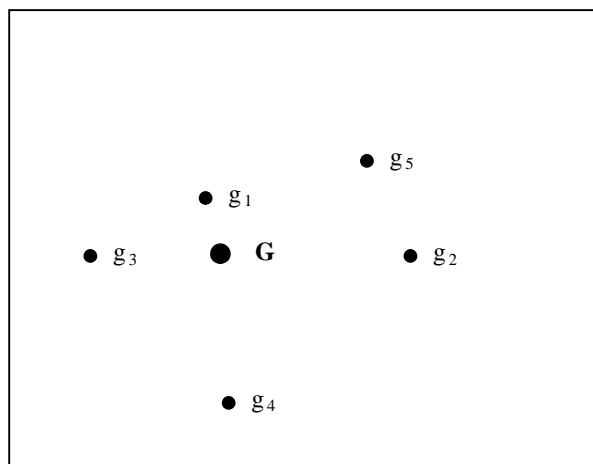
základe praktickej ukážky interpolácie zrážok pokúsili použiť geoštatistickú analýzu v prostredí GEO-EAS (Geostatistical Environmental Assessment Software) s následným zovšeobecnením informácie pomocou geografických informačných systémov.

Teoretický rozbor problematiky a literatúry

Ako je všeobecne známe klíma a počasie sú výsledkom interakcie veľkého množstva procesov, pôsobiacich na určitom mieste v konkrétnom čase. Priestorové rozdelenie fyzikálnych a chemických vlastností atmosféry blízko zemského povrchu je navyše týmto povrchom silno ovplyvňované. Spomenutým vzájomným pôsobením sa vytvárajú zložité vzťahy, ktoré komplikujú každý matematicko-štatistický postup zovšeobecnenia bodových údajov. Podľa GOLDBERGA (1997) sa regionalizácia bodových informácií na plošné môže principiálne uskutočniť dvoma rôznymi spôsobmi:

- *interpoláciou* nameraných údajov manuálnymi alebo numerickými postupmi
- *parametrizáciou* podľa empirických alebo teoretických metód v závislosti od objektívnych vplyvujúcich veličín

Významným nástrojom pre priestorovú analýzu a modelovanie regionalizovaných premenných prírodovedného charakteru sú geoštatistické metódy. Všeobecne možno základnú úlohu geoštatistiky definovať nasledovne (**Obrázok 1**): “na základe nameraných hodnôt $g_1 - g_n$ chceme odhadnúť hodnotu na nameranom bode G ” (BLAHA, 1992).



Obrázok 1 Zjednodušené znázornenie podstaty geoštatistických metód (BLAHA, 1992)

Figure 1 Simplified presentation of geostatistical methods fundamentals (BLAHA, 1992)

O vyriešenie obdobného problému nám často ide aj v klimatológii, keď je žiadúce poznať priestorové rozloženie teplôt vzduchu, zrážok či iných aj odvedených veličín (napr. potenciálnej evapotranspirácia, koeficientu zavlaženia) aj mimo miesta priameho merania,

čiže meteorologickej stanice. Ako sme už uviedli, takýto plošný či priestorový údaj môže slúžiť ako dôležitá vstupná informácia pre rôzne modely a výpočty aj v iných odboroch.

Väčšina “geoštatisticko-meteorologických” prác sústreďuje pozornosť najmä na priestorovú variabilitu dvoch základných prvkov, a to teploty vzduchu a atmosférických zrážok. Riešenia sa pochopiteľne viac či menej odlišujú, čo súvisí s rôznou veľkosťou a členitosťou záujmového územia, ako aj z rozličnej hustoty a rozmiestnenia staničnej siete. V práci autorov PHILLIPS *et.al.* (1992) sú porovnávané tri geoštatistické postupy (kriging, detrended kriging, cokriging) pre priestorovú analýzu zrážok v horskom území. Treba však spomenúť, že modelovým územím je obrovská rozloha o výmere približne 2,9 miliónov hektárov, s rozpätím nadmorských výšok od 0 m n.m. až po 3200 m n.m., pričom údaje o priemerných ročných zrážkach boli použité z 52 staníc. Pre rozsiahle boreálne lesy Kanady riešia problém priestorovej interpolácie klimatických prvkov autori NALDER–WEIN (1998), pričom údajovú základňu tvorí len 32 klimatických staníc. Oveľa bohatšiu databázu klimatických údajov spracovali geoštatistickými postupmi HOLAWE–DUTTER (1999), keď použili denné 20-ročné dáta z 456 zrážkomerných staníc v Rakúsku. SABOROWSKI–STOCK pri regionalizácii zrážok v pohorí Harz pracovali s 30-ročnými priemermi z 93 staníc.

Vidíme, že v porovnaní s našim záujmovým územím ide o neporovnateľné podmienky pri spracovaní údajov a to jednak z hľadiska nedostatočnej staničnej siete, ale najmä z dôvodu veľkej členitosti územia na pomerne malej rozlohe. Okrem toho je potrebné zdôrazniť, že výsledkom všetkých interpolačných metód (kriging metódy) je získanie hodnoty v ktoromkoľvek ľubovoľnom bode na základe váh, avšak bez zohľadnenia členitosti terénu a nadmorskej výšky, ktoré, ako vieme zohrávajú pri formovaní klímy (najmä mezo- a mikroklímy) kľúčovú úlohu. Podľa štúdií geoštatistickej literatúry sa ako vhodná interpolačná metóda javí predovšetkým cokriging, ktorá na ohodnotenie primárnej premennej používa druhú, pomocnú premennú, s ktorou silno koreluje. V niektorých programových prostrediach GIS sa objavuje interpolačná technika cokriging už ako hotový modul pre priestorovú analýzu údajov (napr. IDRISI 32-bitová verzia). Zatiaľ sme sa však s touto možnosťou regionalizácie priestorových dát hlbšie nezaoberali a v predloženom príspevku sa budeme venovať praktickej ukážke krigingu v prostredí GEO-EAS.

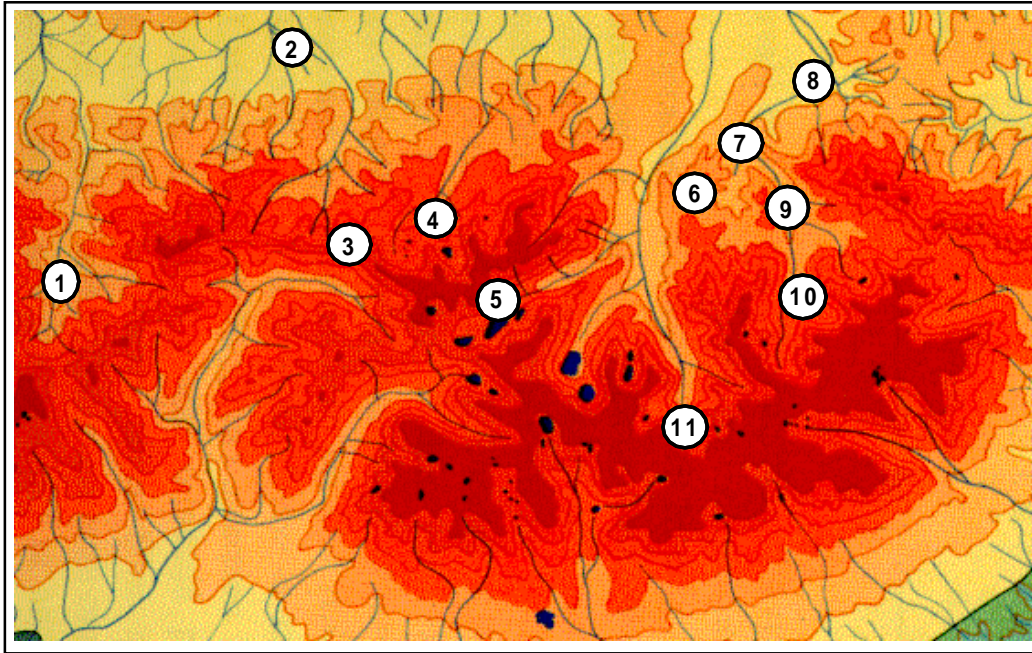
Ďalšiu skupinu prác tvoria práce autorov, ktorí uvedený problém riešili parametrizáciou výškovej závislosti sledovaného prvku (ENDERS, 1979) a zohľadnením topografických podmienok (posúdením náveterného a zúveterného efektu) napríklad aj za pomoci informácií z digitálneho modelu terénu (GOLDBERG, 1997). SCHEIFINGER (1998)

odvodzuje v prvom kroku taktiež výškovú závislosť teploty, resp. zrážok a na základe nej následne uskutočňuje interpoláciu na body bez merania. Za vhodný spôsob popísania priestorovej variability a regionalizácie priestorových dát ekologického charakteru považujú JANSEN *et.al.* (1997) kombináciu regresnej a geoštatistickej analýzy. Aj v týchto prácach však do regresnej analýzy vstupujú dáta z pomerne veľkého množstva meracích staníc, čo rozhodne nie je prípad severnej časti Tatier. Z uvedeného dôvodu vidíme, že “napasovať” optimálny spôsob regionalizácie premenných pre naše záujmové územie nie je triviálna úloha. Pre začiatok sme sa rozhodli pre uplatnenie metód priestorovej štatistiky (geoštatistiky) na konkrétnom modelovom príklade, pričom podrobnejší metodický postup uvádzame v ďalšej časti.

Materiál a metódy

Geoštatistickej analýze predchádzala príprava vstupného súboru údajov. Za modelové územie nám poslúžila oblasť ochranného obvodu Javorina s výmerou pôdneho fondu takmer 7 tisíc hektárov. Databázu údajov pre výpočet variogramu tvorili priemerné ročné sumy zrážok za obdobie rokov 1987-97. Priamo na modelovom území sa nachádza len jedna meteorologická stanica (Javorina) a 4 totalizátory, preto sme si museli pri spracovaní pomôcť aj údajmi z okolitých staníc (a totalizátorov) siete SHMÚ a Poľského štátneho hydrologicko-meteorologického ústavu. Celkový počet zrážkomerných bodov bol 11 (**Obrázok 2**).

Základnou podmienkou pri uplatňovaní geoštatistických metód je tzv. pravidlo stacionarity I a II rádu (stálosť priemerov a stálosť variability). Ide o to, aby sa hodnoty v priestore neustále menili bez náznaku nejakej pravidelnosti alebo systému. V prípade zrážok však dochádza k tomu, že ich množstvo sa viac či menej pravidelne s nadmorskou výškou zväčšuje. Prejavuje sa tu teda určitý trend, ktorý by sme mali odstrániť, aby bola dodržaná podmienka stacionarity. Do krigingu tak potom vstupujú hodnoty “očistené” od trendu, ktorý tam však po ukončení interpolácie musíme vrátiť. Ide v podstate o tzv. detrended kriging. V našom prípade sme odfiltrovali trend z hodnôt zrážok tak, že sme každú hodnotu zrážkomerného bodu opravili o celkový priemerný gradient medzi najvyššie a najnižšie situovanou stanicou, čím sme dostali hodnoty zrážok redukované na nadmorskú výšku najnižšie položenaj stanice (844 m. n.m.). Vstupným súborom pre výpočet variogramu boli teda opravené hodnoty zrážok.



Obrázok 2 Zrážkomerné body vstupujúce do geoštatistickej analýzy

1 - Hala Ornak, 2 - Zakopane, 3 - Kasprowy Wierch, 4 - Hala Gasienicowa, 5 - Dolina Pieciu Stawow Polskich, 6 - Starý Salaš, 7 - Javorina, 8 - Podspády, 9 - Ždiaranka Javorinka, 10 - Javorová dolina, 11 - Zelené Pleso

Figure 2 Precipitation measuring points used for geostatistics analysis

V ďalšom sme prostredníctvom programu Geo-Eas vykonali geoštatistickú analýzu na základe nasledovných troch krokov:

1. analýza variogramu
2. použitie metódy kriging
3. vytvorenie výstupu formou vrstevnicovej mapy (izohyet)

Analýza variogramu nasleduje po spustení príkazu VARIO v softvérovom prostredí Geo-Eas. Prvým krokom geoštatistickej analýzy je teda preskúmanie štruktúry dát za pomoci semivariogramu, ktorý udáva mieru priestorovej korelácie medzi susednými bodmi. Semi-variogram má nasledujúcu formu (BLAHA, 1992):

$$\gamma_{(h)} = 0,5 N_{(h)} * \sum (g_{xi+h} - g_{xi})^2$$

kde

$\gamma_{(h)}$ je semivariancia medzi bodmi merania pre vzdialenosť h a v určitom smere

$N_{(h)}$ počet párov bodov so vzdialenosťou h

g_{xi}hodnota nameraná na bode x_i

g_{xi+h} hodnota nameraná na bode vo vzdialenosti h

Na základe uvedeného matematického vyjadrenia sa vypočíta a zobrazí tzv. experimentálny semi-variogram, na ktorý sa potom prispôsobí teoretická krivka – model variogramu (Sférický, Logaritmický, Lineárny, Gaussov, Exponenciálny). Každý variogram je definovaný nasledovnými pojmami (SCHEER, 1999):

- *Nugget efekt* je spôsobený najčastejšie mikrovariabilitou empirických údajov, preto aj body, ktoré ležia blízko seba môžu nadobúdať veľmi rozdielne hodnoty. Na variograme sa táto skutočnosť prejaví tak, že nedôjde ku spojitosti s počiatkom súradnicového systému.
- *Sill (C)* – je to určitá hraničná hodnota, pri ktorej má model tendenciu sa zarovnať a ďalej k tejto hodnote asymptoticky pokračovať.
- *Range (a)* – pri tejto vzdialenosti dosahuje model maximálnu hodnotu alebo sill.

V ďalšej fáze sme spustili príkaz KRIGE, pre vykonanie interpolácie na základe semivariogramu. Kriging je metóda odhadu zohľadňujúca priestorovú variabilitu, ktorá sa prejavuje v semivariograme a možno ním dostať nielen odhadovanú hodnotu, ale súčasne aj varianciu odhadu. Váhy dát, používané na interpoláciu krigingom sú závislé od pozície voči interpolovanému bodu.

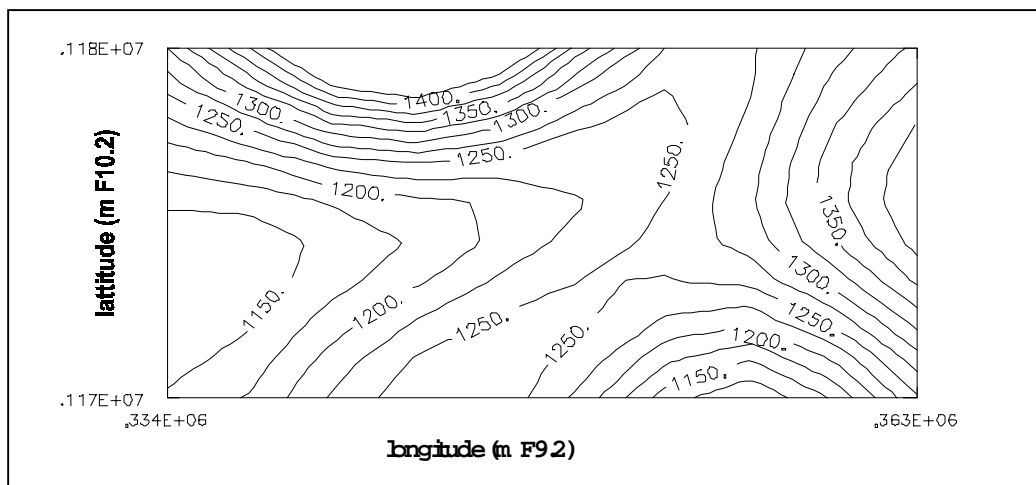
Vrstevnicovú mapu redukovaných zrážok sme vytvorili za pomoci príkazu CONREC. Nevýhodou pracovného prostredia Geo-Eas je jednak pomerne nízka kvalita grafických výstupov ako aj skutočnosť, že overenie správnosti použitého modelu môžeme uskutočniť len vizuálne SCHEER (1999).

Ako už bolo spomenuté do Krigingu vstupovali hodnoty ročných zrážok s odstráneným trendom, čiže výsledok musí byť spätne opravený o uskutočnenú redukciu. Využijeme pritom digitálny model terénu záujmového územia, ktorý nám podáva informáciu o nadmorskej výške každého bodu (pixla). V pracovnom prostredí Idrisi for Windows sme si postupnými krokmi vyextrahovali body s redukovanými zrážkami, ktoré sme spätne opravili o trend. Na základe súradníc bodov opravených zrážok sme podľa DTM vyhľadali k nim zodpovedajúce nadmorské výšky. Odvodením regresie medzi nadmorskou výškou a zrážkami sme získali regresnú rovnicu. Matematickými operáciami medzi jednotlivými mapovými vrstvami a následnou reklasifikáciou výsledku sme dostali zrážkové zóny záujmového územia za obdobie 1987-1997. Uvedený postup sa v terminológii geografických informačných systémov nazýva pojmom mapová algebra.

Zhrnutie výsledkov

Na základe zvolenej dĺžky intervalu vzdialenosti (lag), zvoleného smeru a samozrejme rozsahu výberu bol zostrojený všesmerový variogram, ktorý maximalizuje počet párov v každej triede vzdialenosti. Po preskúšaní a logickom posúdení viacerých možností sme nakoniec zvolili dĺžkový interval rovný 3000 a tak bolo 54 párov bodov rozdelených do deviatich tried. S ohľadom na priemerné vzdialenosti párov bodov a hodnoty v jednotlivých triedach sme následne určili ďalšie parametre variogramu (nugget, sill a range). Experimentálny variogram sme vyrovnali Gaussovým modelom. Značná rozkolísanosť variogramu je zapríčinená nehomogenitou súboru v dôsledku malého množstva vstupných údajov. Výraznejšie sa však prejavuje až po prekročení range, kde počet párov v triedach je malý a teda nemá podstatnejší vplyv na celý variogram.

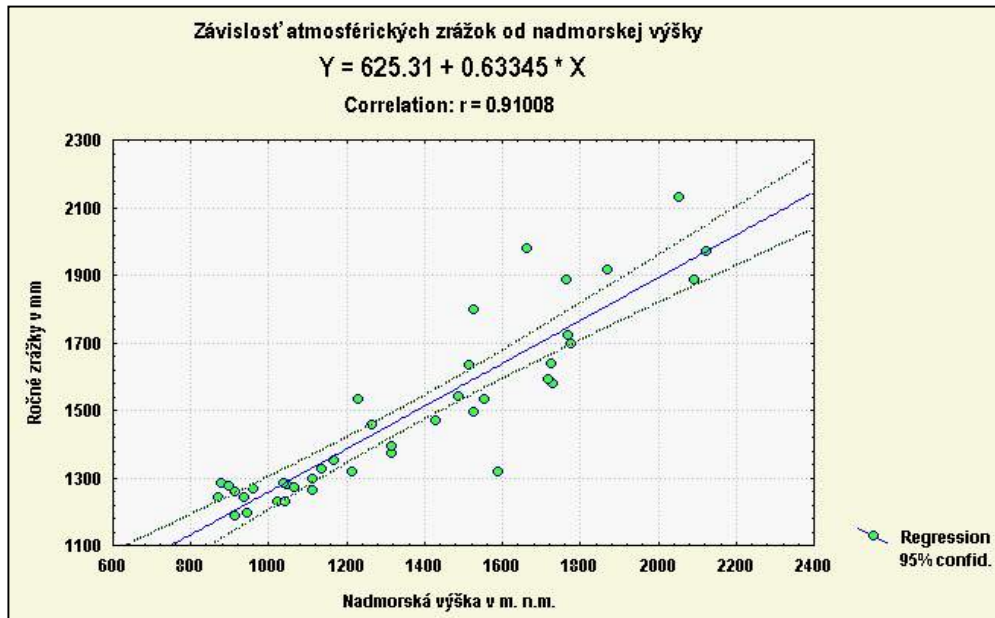
K interpolácii opravených (redukovaných) priemerných ročných zrážok bol použitý blokový kriging 2x2, na základe ktorého bolo možné vytvoriť výstupnú tématickú mapu. Izočiary nám v tomto prípade spájajú miesta s rovnakými hodnotami zrážok a sú odstupňované po 25 milimetroch (**Obrázok 3**).



Obrázok 3 Izohyety redukovaných zrážok odstupňovaných po 25 mm ako výsledok krigingu
Figure 3 Isohyet map of reduced precipitation as result of Kriging

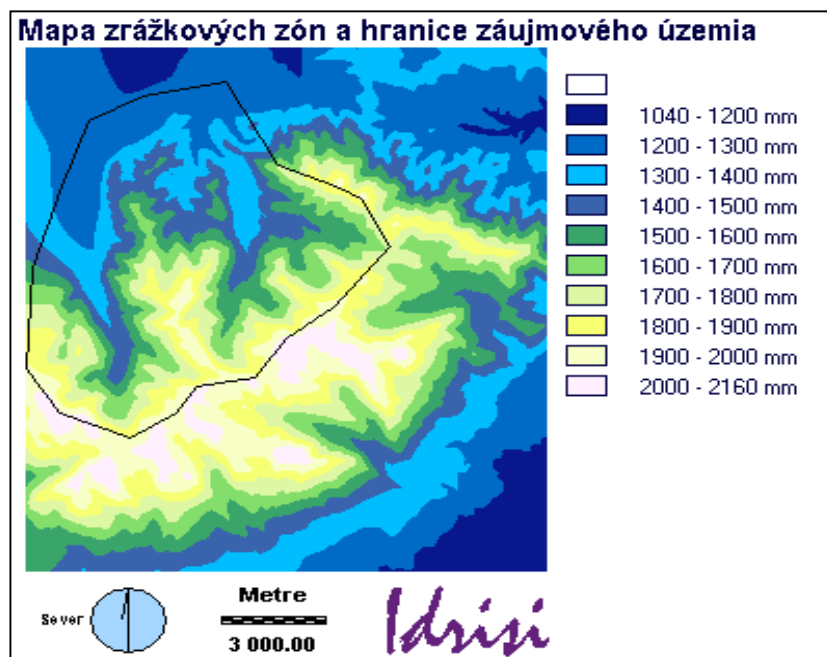
Informácia o rozložení redukovaných zrážok nám ďalej poslúžila ako podklad pre navrátenie "trendu" do opravených hodnôt. Z prostredia Geo-Eas sme využili náhodne vygenerovanú vzorku 100 bodov (so súradnicami X, Y a hodnotou Z - zrážky). Ako už bolo povedané pre každú redukovanú hodnotu zrážky bolo na základe súradníc X, Y určená presná nadmorská výška z DMT. Ku každej redukovanej zrážke bol spätne pripočítaný súčin celkového gradientu a výškového rozdielu medzi konkrétnou a najnižšou nadmorskou výškou.

Krigingom sme teda dostali podstatne bohatsi súbtor hodnôt, z ktorého bola odvodená lineárna závislosť, s vysokým stupňom tesnosti 0,91 (**Obrázok 4**). Nástrojmi mapovej algebry sme uvedenú regresnú rovnicu transformovali do rastrových súborov. Finálnym produktom je už reklasifikovaná mapa zrážkových zón po 100 mm (**Obrázok 5**).



Obrázok 4 Lineárna závislosť medzi nadmorskou výškou a ročnou sumou zrážok priemernou za roky 1987-1997

Figure 4 Linear regression between altitude and average year sums of precipitation 1987-97



Obrázok 5 Mapa zrážkových úhrnov (po 100 mm) s hranicami modelového územia

Figure 5 Precipitation map (by 100 mm) and boundary of interest area

Súhrn a záver

Úlohou predloženej práce bolo aspoň čiastočne priblížiť teoretické problémy regionalizácie klimatických charakteristík v priestore. Príspevok je doplnený aj o praktickú ukážku modelovania zrážok v členitom horskom teréne. Pri získavaní priestorového rozloženia zrážok sme použili kombináciu geoštatistickej a regresnej analýzy. V prostredí Idrisi sme mali okrem toho možnosť na podklade digitálneho modelu terénu aplikovať viaceré matematické operácie, takže z jednoduchej izolínovej mapy sme získali pomerne presnú informáciu o priestorovom rozložení zrážok za roky 1987-1997 pre konkrétne územie TANAPu.

Na záver je potrebné podotknúť, že v práci načrtnutý spôsob regionalizácie bodových údajov je aplikovateľný aj v členitom horskom teréne a je nesporne presnejší ako len jednoduché použitie mapovej algebry. Niektoré prostredia GIS ponúkajú už priamo nástroje pre priestorovú štatistiku, takže v budúcnosti uvažujeme sa zaoberať týmito vyspelejšími technikami. Obzvlášť pre atmosférické zrážky, ako veľmi premenlivý a od topografických podmienok silno závislý prvok je potrebné starostlivo voliť spôsob ich priestorovej interpolácie. Výsledky práce poslúžia ako báza pre ďalšie analýzy v modelovej oblasti, najmä ako východisko pri hľadaní príčin kalamitného rozpadu lesných porastov v Tatrách.

Kľúčové slová

Regionalizácia premenných. Geoštatistika. Mapová algebra. GIS. Zrážky. Horské oblasti.

Literatúra

- BLAHA, P., 1992.** *Geostatistische Grundlagen.* In: Große, H., Lehmann, G., Mittag, M. (Hrsg.): Planung, Gestaltung und Schutz der Umwelt. Band1, Studienmaterial f. EIPOS an der Technischen Universität Dresden, S. 72–86
- ENDERS, G., 1979.** *Theoretische Topoklimatologie. Nationalpark Berchtesgaden.* Forschungsberichte 1/1979. Herausgeber Nationalparkverwaltung Berchtesgaden. 80 s.
- GOLDBERG, V., 1997.** *Regionalisierung meteorologischer Größen im Osterzgebirge.* In: Wetter und Leben. Zeitschrift für angewandte Meteorologie. Jg. 49, 1997, Heft 4, S. 153-167
- HOLAWA, F.; DUTTER, R., 1999.** *Geostatistical study of precipitation series in Austria: time and space.* In: Journal of Hydrology 19 (1999) 70-82
- NALDER, I. A.; WEIN, R. W., 1998.** *Spatial interpolation of climatic Normals: test of a new method in the Canadian boreal forest.* In: Agricultural and Forest Meteorology 92 (1998) 211–225
- PHILLIPS, D. L.; DOLPH, J.; MARKS, D., 1992.** *A comparison of geostatistical procedures for spatial analysis of precipitation in mountainous terrain.* In: Agricultural and Forest Meteorology, 58 (1992) 119-141

SABOROWSKI, J., STOCK, R., 1993. *Regionalisierung von Niederschlägen im Harz.* In: All. Forst- u. J.-Ztg., 165. Jg., S. 117–122

SCHEER, L., 1999. *Uplatnenie metód geoštatistiky pri zisťovaní stavu lesa.* In: Acta Facultatis Forestalis. XLI, Zvolen-Slovakia, s. 239–251

SCHEIFINGER, H., 1998. *Endbericht zur FIW-General Synopse des Institutes für Meteorologie und Physik.* BOKU, Dezember 1998

PodĎakovanie

Riešená problematika je súčasťou grantových projektov VEGA MŠ 1/5222/98: "*Zmeny pôdnych vlastností typických lesných ekosystémov Slovenska pod vplyvom atmosférických depozícií.*" a 1/6060/99: "*Meniace sa zloženie atmosféry, predpokladané klimatické zmeny, vplyv na lesné ekosystémy a ich obhospodarovanie*".

Okrem toho by som sa chcela poďakovať Ing. Viliamovi Pichlerovi, PhD. za rady a pomoc pri práci v geoštatistickom prostredí programu Geo-Eas.

Acknowledgement

This paper was partially supported by finance from VEGA Grants No. 1/6060/99 and No. 1/5222/98. In addition, I would like to thank Ing. Viliam Pichler, PhD. for his assistance with the work in geostatistical software Geo-Eas.

Adresa autora

Ing. Zuzana Sitková
Katedra prírodného prostredia
Lesnícka fakulta TU vo Zvolene
T. G. Masaryka 24
960 01 Zvolen
e-mail: sitkova@vsld.tuzvo.sk