

POROVNANIE VÝSLEDKOV INTERPOLÁCIÍ PRI TVORBE MÁP V PRESNOM POĽNOHOSPODÁRSTVE

Jozef HALVA

Katedra krajinného plánovania a pozemkových úprav, Fakulta záhradníctva a krajinného inžinierstva, Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, Hospodárska 7, 949 01, Nitra, Slovenská republika
jozef.halva@uniag.sk

Abstrakt

Základným podkladom pre analýzy v systéme presného poľnohospodárstva sú mapy (informačné, aplikačné). Ich spoľahlivosť závisí od priestorovej presnosti údajov, spôsobu ich zberu, rozboru a aplikovaného interpolačného algoritmu pri tvorbe.

Podkladové údaje v presnom poľnohospodárstve vychádzajú najčastejšie zo zberu v diskretných bodoch. Pre využitie informácií získaných odbermi a analýzami vzoriek sa vytvárajú mapy spojitého povrchu metódami interpolácií a extrapolácií. Množstvo dostupných interpolačných metód, navyše s možnosťou definovania parametrov, nám dáva i množstvo rôznych výsledkov. V procese presného poľnohospodárstva, ktoré je založené aj na princípe rôznorodosti pôdneho celku, má výsledok interpolácie podstatný vplyv na ďalšie nadväzujúce činnosti.

V príspevku je spracované porovnanie najčastejšie používaných interpolačných metód na výslednú mapu reakcie pôdy. Reakcia pôdy je veľmi dôležitá vlastnosť, ktorá významne ovplyvňuje pôdnu úrodnosť a výživu rastlín. Vhodná pôdna reakcia je totiž základným predpokladom optimálnej výživy rastlín. Z pôdnych vzoriek, odobratých z diskretných bodov na vybranom pôdnom celku, sa metódami agrochemického skúšania zistila hodnota pH. Následne sa aplikovali najčastejšie používané interpolačné metódy a to IDW, Kriging, spline s tenziou a regularizovaný spline. Pre zjednodušenie boli interpolačné parametre pri definovaní ponechané implicitne nastavené. Vzájomným porovnávaním výsledných máp sa zisťovali rozdiely v jednotlivých výsledkoch interpolácií. Pre lepšie hodnotenie sa odobrali v kritických miestach kontrolné vzorky, analyzovali sa a výsledky hodnôt pH z agrochemického skúšania porovnávali s dosiahnutými výsledkami interpolácií.

Tak ako i v aplikáciách využívajúcich digitálny model terénu je možné pozorovať rozdiely i vo vytvorených podkladoch pre presné poľnohospodárstvo. Samozrejme, rozdiely dosiahnuté v podkladoch sa prejavajú i v následnom plánovaní činností a hlavne množstva látok aplikovaných za účelom dosiahnutia optimálnych úrod.

Abstract

The fundamental basis for the analysis of precision farming system, are the maps (information, applications). Their reliability depends on the spatial accuracy of the collection method, analysis and applied Interpolation algorithm used for maps creation.

Basic information in precision farming are mostly based on the discrete points collection. Information collected from sampling and analysis are used to create maps of continuous surface interpolation methods and extrapolations. The available quantity of interpolation methods, in addition to the possibility of defining parameters, gives us many different results. In the process of precision farming that is based on the principle of heterogeneous field, the result of interpolation has significant impact on other related activities.

The paper is compares the most often used interpolation methods to map the resulting soil reaction. Soil reaction is very important attribute, which significantly affects soil fertility and plant nutrition. Suitable soil reaction is essential for optimal plant nutrition. From the soil samples taken from the discrete points on the selected field, the agrochemical testing methods determine the pH. Consequently were applied the most frequently used interpolation methods and IDW, Kriging, spline with tension and regularization spline. To simplify the interpolation, the parameters are left implicit in the definition set. Mutual comparisons of the

resulting maps were identified individual differences in the results of interpolation. For better evaluation were taken at critical points control samples and they were analyzed and the results of pH testing of agrochemical were compared with the results obtained by interpolation.

As well as in the applications using digital terrain model we can see the as differences in the creation of documents for precision farming. Of course, differences obtained in the documents are reflected in subsequent planning activities and in particular amount of substance applied for optimum yields.

Klíčová slova: interpolácie presné poľnohospodárstvo

Keywords: interpolation precision farming system

1. ÚVOD

Presné poľnohospodárstvo je systém výroby, ktorý chápe podmienky v rámci poľa odlišne, zohľadňuje, že pole ako celok a pôda so svojimi vlastnosťami (vlhkosťou, zásobou živín atď.) predstavuje priestorovo diferencované prostredie a vyžaduje vykonávanie správnych operácií správnym spôsobom na správnom mieste a na správnom čas.

Nevyhnutným predpokladom úspešného hospodárenia na pôde je poznanie vlastností pôdy (Nozdrovický a kol. 2008). Na základe máp pôdnych vlastností, máp obsahu živín v pôde, máp dosahovaných úrod sa v systéme presného poľnohospodárstva realizujú konkrétne zásahy. Pre tento účel sa vykonáva odber pôdnych vzoriek a ich následná analýza. Medzi prvými a dôležitými krokmi rastlinnej výroby presného poľnohospodárstva sa považuje vytváranie máp vlastností pôd z analýz odobratých vzoriek. Pomocou technológií geografických informačných systémov, sa spracovávajú dáta do informačných vrstiev. Využívajú sa pri tom interpolačné techniky, ktoré z diskretných údajov (analyzovaných odobratých vzoriek) vytvárajú spojitý povrch (model).

Najčastejšie používané metódy interpolácií pri tvorbe modelov sú nasledovné:

IDW - Pri priestorovej interpolácii metódu inverzných vzdialeností (angl. Inverse Distance Weighting - IDW), interpolovaná hodnota nadmorskej výšky bunky „Z“ je vypočítaná z nadmorských výšok bodov ležiacich v určenej vzdialenosti od stredu bunky.

KRIGING - Kriging je geoštatistickou metódou odhadu. Základ tejto metódy je úroveň, na ktorej sa mení variancia medzi bodmi v priestore. Táto úroveň je vyjadrená variogramom, ktorý ukazuje ako sa menia priemerné rozdiely medzi hodnotami v bodoch so vzdialenosťou medzi bodmi. Patrí medzi exaktné metódy interpolácie a môže poskytovať veľmi presné výsledky (Voženílek, 2001).

SPLINE - Metóda "splajnov" využíva matematicky definované krivky, ktoré interpolujú jednotlivé časti povrchu po častiach. Základný výraz spline interpolácia minimálnej krivosti vychádza z nasledovných dvoch požiadaviek na výsledok interpolácie: povrch musí presne prechádzať dátovými bodmi a povrch musia mať minimálnu kriosť. (ArcGIS 9.2 Desktop Help). Výsledný povrch často býva veľmi hladký, preto je vhodnejšie ho používať skôr pri interpolácii veľmi hladkých povrchov (javov) (Voženílek, 2001).

Regularizovaný spline vytvára hladší, postupne sa meniaci povrch s hodnotami, ktoré môžu ležať mimo rozsah vstupných dát.

Spline s tenziou ovplyvňuje tuhosť povrchu v závislosti na charaktere modelovaného javu. Vytvára menej vyhladený povrch s hodnotami viac viazanými v rozsahu vstupných dát.

Podobne ako pri modelovaní reliéfu i v prípade modelovania vlastností pôdneho celku, obsahu živín, príp. máp úrod získaných diskretnými odbermi, je vplyv interpolačnej metódy významným faktorom ovplyvňujúcim výsledok. O to významnejšia je presnosť dosiahnutých modelov, o čo viacej od nich závisia ďalšie činnosti aplikovania princípov presného poľnohospodárstva. V nasledujúcom príklade poukážeme na rozdielnosť výsledkov použitím rôznych interpolačných metód na príklade tvorby mapy reakcie pôdy (pH). Reakcia pôdy je veľmi dôležitá vlastnosť, ktorá významne ovplyvňuje pôdnu úrodnosť a výživu rastlín.

Vhodná pôdna reakcia je totiž základným predpokladom optimálnej výživy rastlín. Zároveň je jedným z ukazovateľov pôdnej úrodnosti. V prípade nepriaznivej pôdnej reakcie - nízke pH (tj. $\text{pH} < 7$), sa do pôdy pridáva vápenaté hnojivo. Hodnota pH sa tak zvyšuje. V prístupe k hospodáreniu systémom presného poľnohospodárstva je práve tvorba máp potreby hnojenia dôležitou súčasťou, nakoľko od nej sa odvíja i lokalizácia a množstvo aplikovania vápenatých hnojív.

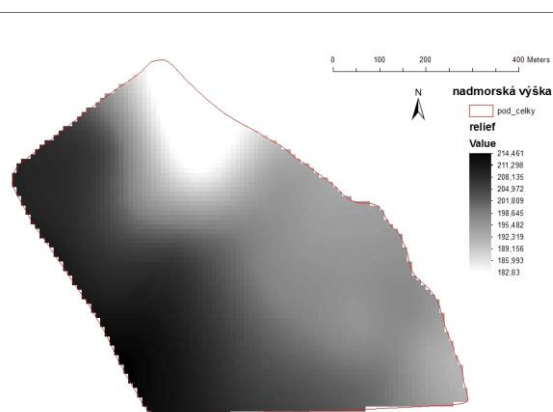
Hodnotenie kvality a presnosti vytvoreného modelu pôdnej reakcie je v podstate tiež analýzou modelu. Kontrola presnosti sa najčastejšie vykonáva porovnaním s referenčnými dátami (kontrolné meranie) (Oksanen, 2006). Najčastejšia metóda pre posúdenie presnosti je pomocou RMS chyby, (Root Mean Square) čo je stredná kvadratická odchýlka. Znárodňuje odmocninu z priemerného štvorca odchýlky nameraných hodnôt od namodelovaných. Okrem spomínanej možnosti pre posúdenie presnosti interpolovaných modelov sa do tohto kroku zaraďujú aj výpočty pomocou deskriptívnej štatistiky, transformácie medzi súradnicovými systémami a globálne respektíve lokálne analýzy semivariogramov. Tento krok si však vyžaduje vstupné dáta pomocou, ktorých bude presnosť vyhodnotená. Vhodné metódy pre posúdenie presnosti sú aj pomocou grafických výstupov (Podhorányi, 2011). Napr. veľmi účinne sa dajú zistiť rozdiely medzi jednotlivými modelmi vygenerovaním profilov. Vhodným grafickým hodnotením je i súčasné zobrazenie modelov v 3D na sebe, kde sú rozdiely zrejme práve z prekryvania jednotlivých modelov. Pri tomto hodnotení ale treba poznamenať, že nie je možné zistiť presnosť generovaných modelov v porovnaní so skutočnosťou, ale len medzi jednotlivými modelmi.

2. ZBER ÚDAJOV A ANALÝZA PÔDNYCH VZORIEK

Zber priestorových údajov a odber vzoriek pôdy na analýzu prebiehal v území neďaleko intravilánu obce Kolířany v Nitrianskom okrese dňa 10. augusta 2011. Na vybranom pôdnom celku sa metódou mriežky odobrali diskretné vzorky pôdy a prijímačom Trimble Juno SB pomocou aplikácie Trimble TerraSync zamerala priestorová informácia o mieste odbere. Odber a analýzu vzoriek sme rozdelili do dvoch skupín. Prvých 24 odobratých vzoriek slúžilo na tvorbu mapových podkladov. Druhých 13 vzoriek slúžilo na následné overovanie presnosti použitých interpolácií. Z odobratých vzoriek sa v laboratóriu predpísaným spôsobom zhotovili pôdne výluhy z ktorých bola prístrojom WTW PH 3310 určená hodnota pH.



Obr. 1. Vybraný pôdny celok s miestami odberov

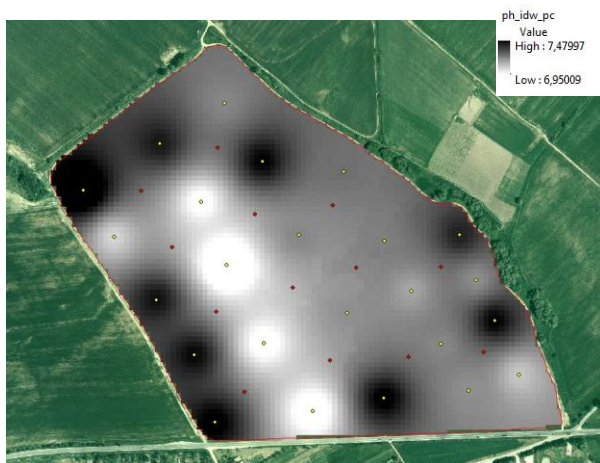


Obr. 2. DMR pôdneho celku

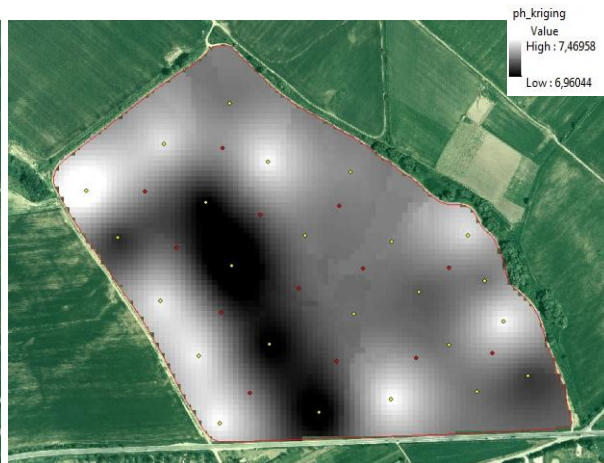
3. METÓDY TVORBY MÁP PÔDNEJ REAKCIE (pH)

Z nameraných o mieste odberu a údajov reakcie pôdy (pH) bol vytvorený súbor vo formáte databázy pre software ArcMap, kde sa tvoril interpoláčnymi metódami model reakcie pôdy (pH). K modelovaniu pomocou preddefinovaných nastavení parametrov boli využité interpolačné metódy IDW, Kriging, regulovaný spline a spline s tenziou. Pri všetkých modeloch bolo nastavené rozlíšenie rastra 10 m. Prvý testovaný model

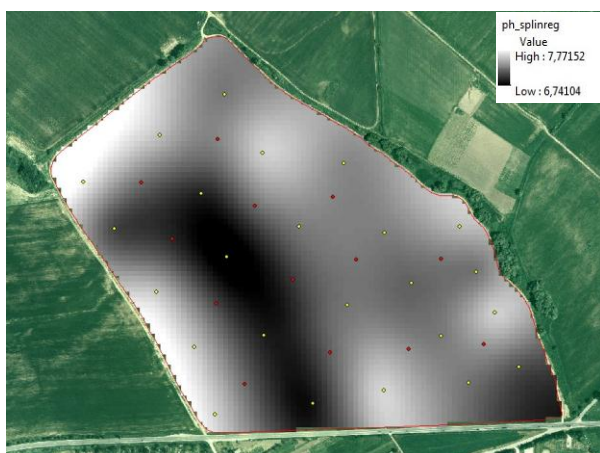
reakcie pôdy bol vytvorený pomocou IDW s parametrami sila 2 a počet susedov 12. Ďalšie v poradí sa vytvorili DMR pomocou geoštatistickej metódy Kriging s preddefinovanými parametrami, ďalší model metódou spline s tenziou s parametrami: váha 0,1 a počet bodov 12 a ako štvrtý v poradí model Ph, ktorého presnosť sa hodnotila, bol vytvorený interpolačnou metódou regularizovaný spline s parametrami: váha 0,1 a počet bodov 12.



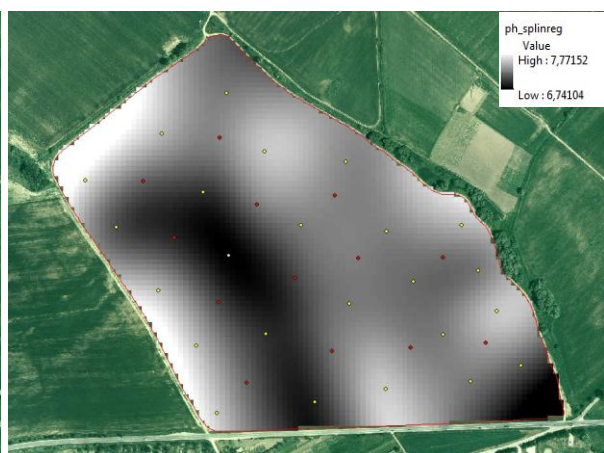
Obr. 3 IDW interpolácia pH



Obr. 4 Kriging interpolácia pH



Obr. 5 Spline s tenziou interpolácia pH



Obr. 6 Regularizovaný spline interpolácia pH

4. METÓDY HODNOTENIA KVALITY INTERPOLOVANÝCH MODELOV pH

Na testovanie presnosti modelov bola zvolená množina 13 určených bodov s meranými hodnotami pH. Porovnávali sme pH údaje z odobratých kontrolných vzoriek s pH údajmi vygenerovanými z vytvorených máp. Ako prvé sa vypočítali rozdiely (chyby) medzi skutočnými hodnotami nameranými údajmi pH v kontrolných bodoch a hodnotami, ktoré vznikli z interpolácii máp pH zo vzťahu :

$$\Delta pH_i = pH_i - pH_i^* \quad (1)$$

Kde: ΔpH_i - chyba

pH_i – známa hodnota z merania

pH_i^* – odhadovaná hodnota z interpolácie

Pre hodnotenie presnosti sa najčastejšie používajú RMS chyby, (Root Mean Square) čo je stredná kvadratická odchýlka. Znázorňuje odmocninu z priemerného štvorca odchýlky nameraných hodnôt od namodelovaných. Do vzorca pre výpočet RMS sa ako modelová situácia zadáva hodnota pH pre danú bunku, a ako skutočná hodnota sa zadáva hodnota pH nameraná na odobratých vzoriek:

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\Delta P h_i)^2} \quad (2)$$

Kde: RMS - stredná kvadratická chyba
 $\Delta p h_i$ - rozdiely v atribúte – chyba
 n - počet prvkov (meraní)

Charakteristika presnosti interpolovaných modelov sa ďalej hodnotila aj podľa štandardnej odchýlky pH bodov σ :

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P h_i - \overline{P h})^2} \quad (3)$$

Kde: σ = štandardná odchýlka výšky bodov
 $p h_i$ – hodnota meraného javu
 $\overline{P h}$ – aritmetický priemer hodnôt meraného javu
 n – počet prvkov (meraní),

podľa rozptylu σ^2 :

$$\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P h_i - \overline{P h})^2 \quad (4)$$

Kde: σ^2 = rozptyl
 $p h_i$ – hodnota meraného javu
 $\overline{P h}$ – aritmetický priemer hodnôt meraného javu
 n – počet prvkov (meraní),

a podľa variačného rozpätia R:

$$R = p H_{max} - p H_{min} \quad (5)$$

Kde: R = variačné rozpätie
 $p H_{max}$ - maximálna hodnota chyby
 $p H_{min}$ - minimálna hodnota chyby.

Generované modely pôdnej reakcie (pH) sa hodnotili i medzi sebou pomocou profilov vedených týmito modelmi v daných líniách. Výsledkom je grafické znázornenie priebehu jednotlivých modelov a zrejmy rozdiel v interpolovaných hodnôt. Takéto hodnotenie však nemá preukazný charakter z hľadiska presnosti interpolovaných hodnôt, ale poukazuje iba na rozdiely medzi jednotlivými modelmi.

Ďalším spôsobom nášho hodnotenia bolo porovnanie následného využitia týchto máp. Je zrejmé, že tak ako sú dosahované rozdielne výsledky interpolovaných hodnôt, tak rozdielna bude i aplikácia látok do pôdy. Hodnotenie týmto spôsobom má i ďalší význam a to práve možnosť preukázať vyjadrenie potreby príslušných dodávaných látok do pôdy nielen v množstve a lokalizácií ale i možnosť vyjadrenia vo finančnej náročnosti. Pre naše hodnotenie sme použili porovnanie modelov podľa potreby hnojenia vápenatým hnojivom na dosiahnutie neutrálnej hodnoty pH v pôde (pH = 7).

5. VÝSLEDKY HODNOTENIA INTERPOLOVANÝCH MODELOV pH

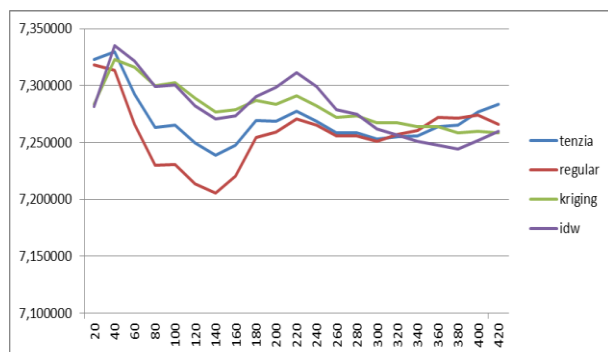
Rozdielom hodnôt meraných pH a pH získaných z interpolovaných modelov sa vypočítala odchýlka (ΔpH) (1), ktorá bola základom hodnotenia charakteristík presnosti podľa vzťahov (2)(3)(4)(5). Z týchto charakteristík je možné posúdiť, ktorý interpolačný model má najpresnejšie vyjadrenie voči skutočným hodnotám pH pôdy a predstavuje teda optimálny model pre použitie na následné aplikácie v systéme presného pôdohospodárstva. Výsledky hodnotenia sú uvedené v nasledujúcej tabuľke.

Tab 1. Hodnotenie presnosti modelov pH

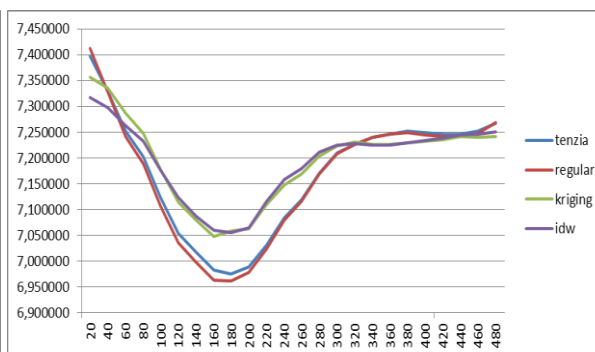
	Priemerná chyba pH	Stredná kvadratická chyba RMS pH	Štandardná odchýlka σ pH	Rozptyl σ^2 pH	Variačné rozpätie R pH
IDW	0,032496	0,043565	0,0290	0,0008	0,1034
Kriging	0,029399	0,041179	0,0288	0,0008	0,0934
Spline regul.	0,021142	0,025614	0,0145	0,0002	0,0491
Spline tenz.	0,00652	0,008018	0,0047	0,0000	0,0142

Z dosiahnutých výsledkov hodnotenia presnosti vygenerovaných máp pôdnej reakcie (pH) rôznymi metódami je zrejmé, že ako najnevhodnejšie sa javí použitie metódy inverzných vzdialeností (IDW). Taktiež v prípade modelovania pomocou metódy Kriging sa prejavili výrazné rozdiely, ktoré vyplývajú z algoritmu výpočtu. Podobne ako pri metóde IDW sú zrejmé už z interpolovaného modelu, kde v okolí vstupných bodov so známou hodnotou pH vznikajú tzv.oká (pozri obr. 3 a 4). Najmenšie rozdiely sa prejavili pri použití metód Spline, zrejme práve vďaka použitiu tzv. vyhladzovacieho parametru pri interpoláciách.

Pre lepšiu predstavu rozdielov medzi jednotlivými modelmi sme využili hodnotenie kvality metódu profilov cez interpolované modely. Spracované boli v kroku 20 m. Zobrazenie jednotlivých profilov cez interpolované modely pH hodnôt su v obr. 7 a 8.

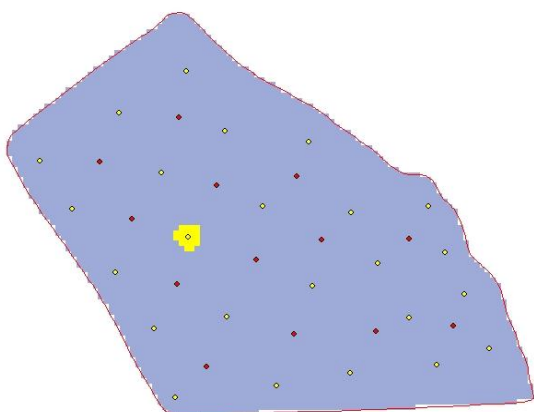
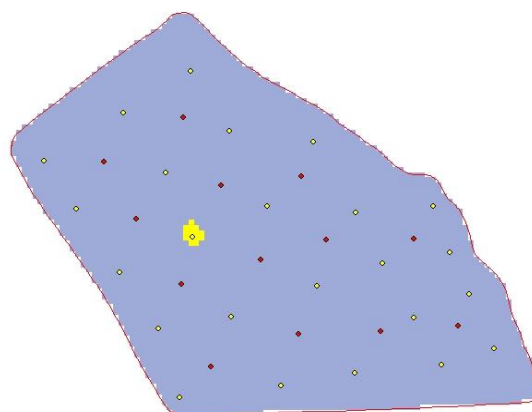
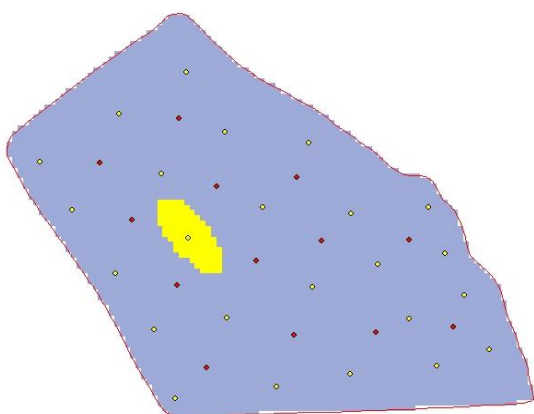
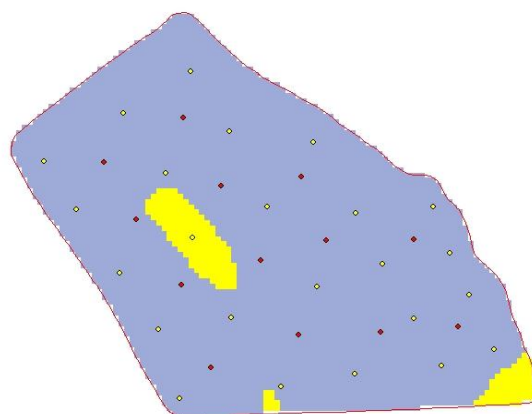


Obr. 7 Profil modelov pH v linii 1



Obr. 8 Profil modelov pH v linii 2

Výsledky ďalšieho hodnotenia modelov pomocou ich následného využitia v procese presného poľnohospodárstva nám zobrazujú aplikačné mapy potreby vápnenia. Za optimálnu hodnotu pH pôdy bola uvažovaná neutrálna pôdna reakcia ($\text{pH} = 7$). Potreba vápnenia vznikla doplnením interpolovaných modelov pH do tejto úrovne. V zobrazovaných mapách sú lokality, kde je potrebné dodať vápenaté hnojivo znázornené žltou farbou, modrou sú miesta bez potreby vápnenia.

**Obr. 9** Potreba vápnenia (IDW)**Obr. 10** Potreba vápnenia (kriging)**Obr. 11** Potreba vápnenia (Spline tenzion)**Obr. 12** Potreba vápnenia (Spline regularized)

Zo vzniknutých máp potreby vápnenia je teda zrejme nielen lokalizácia miest potreby dodania vápenatých hnojív ale aj ich množstvo. Všetky tieto údaje následne dokážu technické a technologické zariadenia a stroje využívané v procese presného poľnohospodárstva využiť pri aplikácií. Samozrejme, že aplikácia potrebných látok do pôdy nezávisí iba od tohto jedného faktoru, ale vplyva na to rad ďalších údajov, napr. iné pôdne charakteristiky, prípustné jednorázové množstvo aplikovanej látky atď (Rataj, Havránková, 2005). Podstatný je ale práve rozdiel v aplikačných mapách, ktorý vznikol len na základe použitých interpolačných metód. Tento rozdiel sa v konečnom dôsledku prejaví nielen v množstve aplikovaných vápenatých hnojív, ich finančnej náročnosti, ale napríklad i v množstve prejazdov techniky po pôdnom celku, či samotnom environmentálnom vplyve na životné prostredie.

6. ZÁVER

Analýzy modelov predstavujú matematickú formuláciu rôznych procesov. Je nutné si ale uvedomiť, že výsledky vygenerované, zobrazované v mapovom podklade, poprípade v priestore a používané pre ďalšie úlohy sú vždy závislé od podkladov a metód interpolácií, na základe ktorých bol model vyhotovený (Šinka a kol. 2011). Aj pôvod vstupných údajov má okrem interpolačných metód významný vplyv na presnosť modelovania akéhokolvek údaje. Taktiež pri samotnom výbere interpolačnej metódy je dôležité vziať do úvahy všetky faktory, ktoré vstupujú nielen do tvorby ale i následného využitia modelu..

Táto problematika je známa hlavne užívateľom GIS pri tvorbe digitálneho modelu reliéfu, no nie je dostatočne známa pri aplikáciách v presnom poľnohospodárstve. Práve táto, čoraz viac používaná, metóda hospodárenia využíva vo veľkej miere modelovanie pôdnych vlastností a obsahu živín v pôde, za účelom tvorby aplikačných máp. Výsledky dosiahnuté v príspevku poukazujú na rozdielnosť výsledku pri

interpolovaní povrchu, čo zdôrazňuje význam výberu interpolačnej metódy z hľadiska jej vplyvu na presnosť nielen modelov ale i následných aplikácií.

LITERATURA

ARCGIS (2010) Domovské stránky ArcGIS Desktop, ESRI, online:

(<http://www.esri.com/software/arcgis/index.html>)

Nozdrovický a kol. (2008) Presné pôdohospodárstvo Implementácia s podporou informačných technológií a techniky. Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre. Nitra ISBN 978-80-552-0123-8

Oksanen, J. (2006) Digital Elevation Model Error in Terrain Analysis. Faculty of Science, Helsinki.

Podhoranyi, M. (2011) Digitálne výškové dáta pre modelovanie povodní: Hodnotenie presnosti DMR, In Zborník z konferencie GIS Ostrava 2011, VŠB TU Ostrava.

Rataj, V., Havránková, J. (2005) Monitoring využívania poľnohospodárskej techniky. In Trendy vo vývoji poľnohospodárskych strojov a technológií v ekosystéme kultúrnej krajiny Zborník z medzinárodnej vedeckej konferencie (CD-ROM), Dudince. Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre. Nitra ISBN 80-8069-523-7

Šinka, K., Horák, J., Kondrlová, E., Štekauerová, V., Čimo, J. (2011) Estimates of nitrous oxide (N₂O) emission arable soils in the selected region of Slovakia using a process-based agro-ecosystems model. In Journal of International Scientific Publications: Ecology & Safety [seriál]. - Burgas : Science & Education Foundation. - ISSN 1313-2563. - Vol. 5, part. 1 (2011), s. 229-240

Voženílek, V. (2001) Integrace GPS/GIS v geomorfologickém výskumu. Univerzita Palackého, Olomouc. ISBN 80-244-0383-8.