

A mintapontok folytonos GIS térbeli elemzése a cukorrépa (*Beta vulgaris* L.) termésének és minőségének vizsgálata során

Tamás János¹ – Buzás István² – Nagy Ildikó¹

¹Debreceni Egyetem Agrártudományi Centrum,
Mezőgazdaságtudományi Kar,

Víz- és Környezetgazdálkodási Tanszék, Debrecen

²Kecskeméti Főiskola,

Környezettudományi Intézet, Kecskemét

tamas@gissserver1.date.hu

ÖSSZEFOGLALÁS

Egy ÉNy-magyarországi Cukorrépa tábla 20x20 m-es növény és talajvizsgálati eredményei alapján geostatistikai eljárásokkal vizsgáltuk a mintaterület homogenitását. A variogram számítások alapján a termésfelszín ÉD-i homogenitást mutatott. Az elemzés alapján javasolható a mintavételi távolság 17 m-re csökkentése. A termésminták variabilitásának irányultságát a variogram felszíni vizsgálatán alapuló irány variogram modellezte megfelelően. A mért termesztési és talajtani jellemzők térbeli kapcsolatának értékelésére módszertani fejlesztési eredményeket mutattunk be. Összehasonlítottuk a termésfelszínre végzett 5 térbeli becslési eljárást. Az 5 elemzett térbeli termésbecslési eljárás alapján megállapítható, hogy más eljárást (Local Polynomial-LP, Radial Basis Function-RBF) kell alkalmaznunk, ha a lokálisan extrém termés minták okait, illetve ha a teljes terület termésfelszínének alakulását kívánjuk értékelni (Inverse Distance Weighted-IDW, Global Polynomial-GP). Megfelelő paraméterezéssel a krigelés mindkét funkciót képes ellátni. A meglévő hagyományos Pearson korreláció eredményeinek analógiájára a térbeli korrelációs értékelési eljárást mutattunk be a talaj pH és a Cu tartalmának adatai alapján. A kereszt variogram számítás és a variogram felszínnek ÉD-i negatív korrelációt mutattak. A szimulációs számítások alapján a 30%-os mintaszám csökkentés a teljes mintaszámra viszonyítva 12%-os hibanövekedést mutatott Cu esetben. Az eljárás lehetőséget ad más egymással térben korreláló tulajdonságok mintaszámának és ezzel együtt járó vizsgálati költségeinek csökkentésére, illetve az azonos mintaszám felhasználásával végzett jobb mintavételi stratégiával a térbeli becslés megbízhatóságát növelni.

Kulcsszavak: cukorrépa, precíziós mezőgazdaság, térbeli becslés, kereszt variogram

SUMMARY

The homogeneity of a study area of 20x20 m used for beetroot production in North-West Hungary was analysed with geostatistical methods on the basis of measured plant and soil parameters. Based on variogram calculations (Equation 1 and 2), the yield surface showed homogeneity in North-South direction. Considering the results, decrease of sampling distance to 17 m can be suggested. The direction of the variability of yield (Figure 1) could be modelled with a direction variogram based on analysis of the variogram surface. In the study, developed methodological processes are presented for the analysis of spatial relationship between measured production and soil parameters. 5 spatial evaluation methods for yield surface were compared (Table 1). On the basis of the analysed methods, it can be stated that different

methods (LP, RBF) should be used when the reasons for locally extreme yields are in focus than in case when the yield surface of the whole area is estimated (IDW, GP). Using adequate parameters the kriging method is applicable for both functions. Similarly to the results of an ordinary Pearson correlation analysis, spatial correlation analysis was shown using soil pH and Cu concentration data. The results of cross variogram analysis (Equation 2) and the North-South direction of the variogram surface showed negative correlation (Figure 3). Based on simulation calculations, decrease of 30% in sampling points resulted in increase of 12% in error for the total sample number considering Cu concentration. The method provides a tool to decrease the cost of sampling and sample analyses of spatially correlating features, and to increase the reliability of spatial estimation using a better sampling strategy with the same sample number.

Keywords: sugar beet, precision agriculture, spatial estimations, cross variogram

BEVEZETÉS ÉS IRODALMI ÁTTEKINTÉS

Több tudományterületen, így a földtudományban (Isaaks és Srivastava, 1989; Cressie, 1993; Wackernagel, 1995; Bárdossy, 2002), a környezettudományban (Barnett és Turkman, 1997), a tájökológiában (Tóth és Rajkai, 1994) valamint a mezőgazdaságban (Tamás, 2001) is fokozatosan bevezetésre kerülnek a térinformatikában és geostatistikában alkalmazott elemzési eljárások. Ugyanakkor az ezen a területen dolgozó geomatematikuskok általában nem rendelkeznek mélyebb szakismeretekkel más területről, illetve a másik szakterületek művelői a térbeli kérdéseiket térbeli elemzésként nehezen vagy hibásan fogalmazzák meg (Várallyay, 1993; Németh, 1996). Szintén megfigyelhető, hogy a mezőgazdasági terepi gyors és ezért általában korlátozott képességű (pl. távolsággal fordítottan arányos becslésen alapuló) vizuális megjelenítést szolgáló szoftver eszközöket térinformatikai ok-okozati elemzések nélkül használják például a termésterképezés-tápanyaggazdálkodás kapcsolatának elemzésére (Tamás, 2001). A mintavételi pontok által reprezentált növény és termőhelyi tulajdonságok térbeli geostatistikai elemzéséhez ismerni kell a mintavételi pontok geodéziai helyzetét, amely lehetővé teszi a mintavételi pontok térbeli homogenitás-heterogenitás elemzését (Tamás és

Lénárt, 2002). Cukorrépa teszt növény vizsgálati adatait felhasználva módszertani fejlesztési eredményeket mutatunk be a térbeli korreláció, homogenitás és becslési eljárások alkalmazási feltételeinek elemzésére.

ANYAG ÉS MÓDSZER

A vizsgált cukorrépa mintaterületen a térbeli variancia, a becslések és az együttes krigelés geostatistikai alkalmazhatóságát értékeltük.

A hagyományos (nem georeferált) statisztikai vizsgálat nem képes figyelembe venni az N számú mintavételi pont térbeli elhelyezkedését. Ugyancsak nem értékelhető adott x mérési pontban x_1, y_1 koordinátával meghatározott vizsgálati növény z értékű tulajdonsága (pl. cukor tartalma), amit jelöljünk $z(x)$ -el és az adott h távolságvektorral leírt $z(x+h)$ pontban lévő x_2, y_2 koordinátával meghatározott növény azonos mért tulajdonságának térbeli kapcsolata. A szabatos szántóföldi kísérlet munkahipotézise szerint a térben random és egymással nem érintkező módon elhelyezett kezelési parcellák megfelelő ismétlésszámát biztosítva, a parcellánkénti kezeléseket adatai egymástól térben függetlenek és az eredmények bizonyos valószínűségi küszöbértéket meghaladóan szignifikánsan függenek a kezeléstől. A geostatistikai vizsgálatok munkahipotézisének alapja az ún. Tobler törvény, amelynek alapján az egymáshoz közelebb eső mintavételi pontpárok különbségeinek térbeli varianciája kisebb egyben autokorrelációjuk nagyobb, mint a távolabbi pontpároké (Burrough és McDonell, 1988). Ez a térbeli variabilitás a távolsággal növekszik, illetve az autokorreláció csökken és egy adott hatótávolság érték esetében a variabilitás stabilizálódik adott plató értéknél, illetve a korreláció ugyanitt közelít a 0-hoz. A mintavételi pontok környezetében ezt a korrelációt a véletlenszerű (mintavételi hiba) és a rendszeresen előforduló (mérőeszköz hiba) együttesen terheli. Az n számú mintából egy vizsgálati értékre $[n(n-1)]/2$ számú, azaz jelen esetben 1770 pontpár volt képezhető, amelyre illesztett variogram $\gamma(h)$ általános képlete az alábbi (Pannatier, 1996):

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [z(x_i) - z(x_i + h)]^2 \quad (1)$$

ahol $\gamma(h)$ a variogram értéke adott h távolságú vektor esetében,
 N a mintaszám,
 $z(x)$ a minta x pontban felvett értéke.

(1) where $\gamma(h)$ value of variogram at h separation distance vector,
 N sample number,
 $z(x)$ measured value at x sampling point.

A variogram érzékeny a kiugró extrém minta értékekre, a hatás azonban nem általános függ a pont térbeli pozíciójától és a variogram függvény

típusától. Az a pont, amelyik közelebb áll a vizsgálati terület széléhez kevésbé járul hozzá a variogram kialakításához, mint az, amelyik a vizsgálati tér centrumához közelebb található. Ha elméletben, egy szabályos vonalban elhelyezkedő mintapont sort vennénk figyelembe, akkor a kezdő és végpontok átlagosan, csak egyszer szereplnének minden egyes keresési távolsági egységben (h), míg a vonal belsejében szereplők többször is.

A termés mintapontok térbeli változékonyságának elemzésére elkészítettük a variogram felszint és optimalizáltuk a variogram modellt. Ezek után a nem mintázott térrészekre becslési eljárások összehasonlítását végeztük el. A pontadatbázis alapján 5 a termesztési gyakorlatban alkalmazható interpolációs becslési módszert hasonlítottunk össze. A vizsgált módszerek a következők: a krigelés, a globális polinomok (Global Polynomial-GP), a lokális polinomok (Local Polynomial Interpolation-LP), a távolsággal fordítottan súlyozott (Inverse Distance Weighted-IDW) valamint a sugár alapú (Radial Basis Functions-RBF) eljárások. A módszerek leírása megtalálható többek között (Isaaks és Srivastava, 1989) munkájában.

A mért növény és talaj tulajdonságok alapján 31 vizsgálati paraméterre meghatároztuk a Pearson féle korrelációt és ezek figyelembe vételével kereszt variogram (cross variogram) számítását végeztük. Ahhoz, hogy a korreláció erősségének változékonyságát a vizsgálati tér valamennyi pontjában meghatározhatassuk együttes krigelésre (cokriging) mutatunk be térbeli alkalmazást.

EREDMÉNYEK ÉS KÖVETKEZTETÉSEK

A variogram számítását valamennyi vizsgált paraméterre elvégeztük azonban terjedelmi okokból, mivel a számítási eljárás azonos, ezt a termésátlag alapján vezetjük le.

Az 1. ábrán vizuálisan is látható, hogy általában É-D irányban a termés értékek változékonysága kisebb, mint K-NY irányba. Az ÉK-i térrészben a nagyobb és a kisebb értékek térben egymáshoz közel találhatóak. A mért cukorrépa termésátlaga 84.16 (t/ha), standard szórása 17.82 (t/ha), a normalitás vizsgálatnál a Kolmogorov-Smirnov (K-S) próba $\alpha = 0.1$ értékű volt (kritikus K-S $\alpha = 0.10$ -nél 0.155).

A termés mintapontokra képzett variogram előállításának lépései a következők voltak: valamennyi mintapont között képzett mintapár különbségének számítása, a hisztogram képzése a mintapárookra és a modell függvény illesztése. A vizsgálat részletes matematikai leírása megtalálható többek között Isaaks és Srivastava (1989), valamint Wackernagel (1995) munkáiban. A variancia pontosabb lehatárolására adott keresési távolságon belül végezhető mindenirányú vagy adott szektoron belüli keresés. A keresési irány és a tûrési szög meghatározását a variogram felszíni diagramja segíti (2. ábra).

1. ábra: A cukorrépa termés mintavételi pontjainak térhelyes ábrázolása

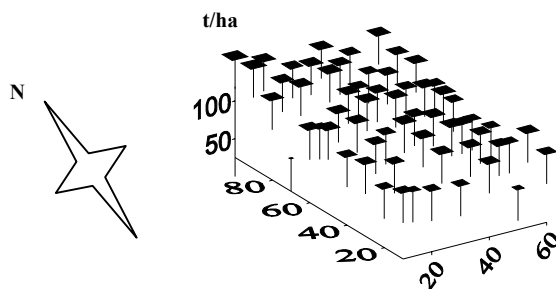


Figure 1: Georeferenced sampling points of the sugar beet yield

2. ábra: A termés mintavételi pontjainak variogram felszíne (a) és az irányvariogram modellje (b)

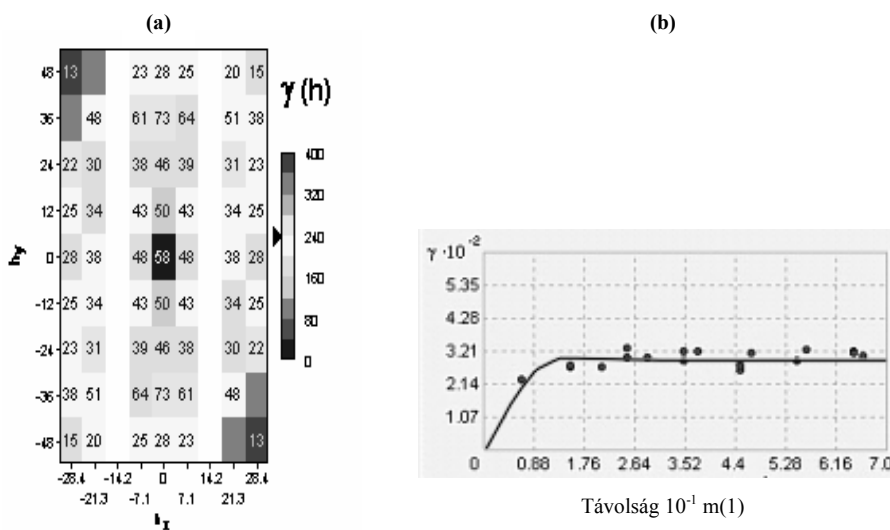


Figure 2: (a) Variogram surface and (b) directional variogram model of the yield samples
Distance 10⁻¹ m(1)

Ez egy olyan grafikon, ahol valamennyi keresési távolsági egységre ábrázoljuk a mért paraméter átlagos variabilitását, a távolságon belüli pontpárok számát, valamint a keresés irányát. A 2. (a) ábra északi tájolású, amelynek központjában a keresési távolság 0 és ez kifelé nő. A cél hogy a legalacsonyabb variabilitási irányt és tűrés szöget meghatározzuk, mivel távolabbi keresés során az autokorreláció a térben nem érvényesül.

A termésátlagpontok esetében ez a keresési irány az északi irányhoz óramutató irányában 175° az alkalmazott tűrés szög 45°. Ez igazolja az 1. ábra ÉD irányú homogenitását.

A termésátlagra illesztett $\gamma'(h)$ gömbi variogram modell típus függvénye az alábbi:

$$\gamma'(h) = 296,4 * \text{spherical}(17,3) \quad (2)$$

ahol $\gamma(h)$ a variogram értéke adott h távolságú vektor esetében,
spherical = variogram modell típusa.

(2) where $\gamma'(h)$ = sugar beet yield variogram value at h separation distance,
spherical = variogram model type.

A 2. függvény alapján a kísérleti mintavételezési távolságot, amely eredetileg 20 m volt csökkenteni kellene 17 m-re a mintavételezési homogenitás biztosítására, mivel ez a mindenirányú térbeli autokorreláció legnagyobb hatótávolsága. A variogram függvényt a Kriging interpoláció során használtuk fel. Ez az interpoláció egy súlyozási eljárást használ a számított rácpontok meghatározására (ahol tényleges mérést nem végeztünk), ahol a fenti hatótávolságon belül található mérési pontok értékeihez súlyokat allokálunk és az allokált súlyok összege mindig 1. Egyúttal elemeztük más becslési eljárás interpolátorainak hatását is ugyanezen termésadatokra. A vizsgált módszerek a következők voltak: a globális polinomok (Global Polynomial-GP), a lokális polinomok (Local Polynomial Interpolation-LP), a távolsággal fordítottan súlyozott (Inverse Distance Weighted-IDW) valamint a sugár alapú (Radial Basis Functions-RBF) eljárások. A GP és az LP gyors simító jellegű determinisztikus, míg az IDW és RBF gyors determinisztikus egzakt interpolátoroknak számítanak.

Minden egyes módszer esetében számítottuk a mért és becsült termésszín közötti reziduális értékeket és a mérési helyekre vonatkoztatva az eltérés szórását (1. táblázat). A becsült felszín rács távolsága 10 m-es volt.

A különböző becselő eljárások reziduális és standard szórási értékei

	LP hiba(1)	GP hiba(2)	RBF hiba(3)	IDW hiba(4)	Krigelés(5)
Reziduális érték [t/ha](6)	-0.93	0.07	-0.10	0.17	0.08
Standard szórás [t/ha](7)	16.54	17.04	14.88	15.39	14.97

Table 1: Residuals values and standard variation of different estimating methods

Local Polynomial(1), Global Polynomial(2), Radial Basis Functions(3), Inverse Distance Weighted(4), Kriging(5), Residual value(6), Standard variance(7)

A reziduális érték akkor pozitív, ha az interpolált érték alacsonyabb, mint a mért érték, illetve fordítva. A reziduális értékek a teljes vizsgálati térre térképezhetőek. A számítógépes vizsgálatok alapján megállapítható, hogy a simító jellegű GP abban az esetben használható eredményesen, ha a felszín lassan és fokozatosan változik. A széleken elhelyezkedő adatoknak a GP felszín kialakításban nagy szerepük lehet. Az LP a GP módszernél rugalmasabban képezi le a felszínt, azonban több döntési paramétert kell meghatározni és kevésbé flexibilis, mint a krigelés. Az IDW egy jó eljárás a felszín elsődleges áttekintésére ezért is használják a terméstérképek gyors megtekintésére, azonban az érzékeny felszíni átmenetek kezelésre már nagyon korlátozottan alkalmas. Az RBF hasonló felszínt produkál, mint az egzakt krigelés, azaz amikor a krigelésnél használt variogram $\gamma'(h)$ görbéje az

origóból indul. A krigelést optimális interpolátorként is szokták említeni, amely a lokális és globális varianciát is hatékonyan tudja modellezni. Hátránya hogy a variogram modell létrehozása igen nagy gyakorlatot igényel. A krigelés feltételezi, hogy az adatok random jellegű normál eloszlással rendelkeznek, ahol a random jelleg nem a pontok térbeli elhelyezkedésére, hanem az ott mért tulajdonságokra vonatkoznak.

Nemcsak a répa gyökértermésének térbeli eloszlását kell a gyakorlatban meghatározni, hanem korrelációs kapcsolatát más a cukoripar által igényelt paraméterekkel, illetve a talajvizsgálati értékekkel is. A Pearson féle (r) korrelációs értékeket 31 paraméterre számoltuk ki. Az ilyen módon kapott korrelációs mátrixból a $-1 \leq r \leq -0,5$ és a $0,5 \leq r \leq 1$ közötti értékeket tartottuk meg (2. táblázat).

A termés és a talaj pH Pearson féle korrelációs értékei

Korrelációs tényezők(1)	Termésátlag [t/ha](2)	Korrelációs tényezők(1)	pH [KCl](3)
Nettó termés [t ha ⁻¹](4)	0.97	Szénasavas mész [m/m%](9)	0.83
Nyerscukor [t ha ⁻¹](5)	0.91	Humusz [m/m%](10)	-0.75
Hasznos cukortermés [t ha ⁻¹](6)	0.87	Cu [mg/kg](11)	-0.69
Sűrűlé [%](7)	0.96	Mn [mg/kg](12)	-0.74
Cukor [%](8)	0.93	Fe [mg/kg](13)	-0.72
		Al [mg/kg](14)	-0.74
		Cd [mg/kg](15)	-0.78
		Co [mg/kg](16)	-0.72
		Pb [mg/kg](17)	-0.76

Table 2: Pearson correlation values of the yield and soil pH

Correlation factors(1), Sugar beet yield [t/ha](2), Soil pH [KCl](3), Net sugar beet yield [t ha⁻¹](4), Raw sugar yield [t ha⁻¹](5), White sugar yield [t ha⁻¹](6), Digestio [%](7), Q [%](8), CaCO₃ [m/m%](9), Humus [m/m%](10), Elements in soil samples [mg kg⁻¹](11-17)

A fenti statisztikai vizsgálat alapján viszonylag kevés számú volt a 31 paraméterből a közepes illetve szoros korrelációs érték. Ez a statisztikai mutató szintén nem képes figyelembe venni a minták helyét és az ott mért térbeli értékeket. A probléma feloldására térbeli analógiaként ebben az esetben az együttes krigelés térbeli hatását elemeztük. Az

együttes krigelés alapja hogy két változó térbeli variációját együttesen elemezzük. Amennyiben szoros pozitív vagy negatív előjelű összefüggés megállapítható (lásd 2. táblázat), akkor lehetőség van valamelyik változó mintaszámának csökkentésére. Az eredményekből a talaj réz és pH értékeire végzett elemzésen mutatjuk be az alkalmazást (3. ábra).

3. ábra: Az eredeti mintaszámra készült Cu-koncentráció [mg/kg] (a) és a pH (b), valamint a két minta kereszt variogram felszínei (c)

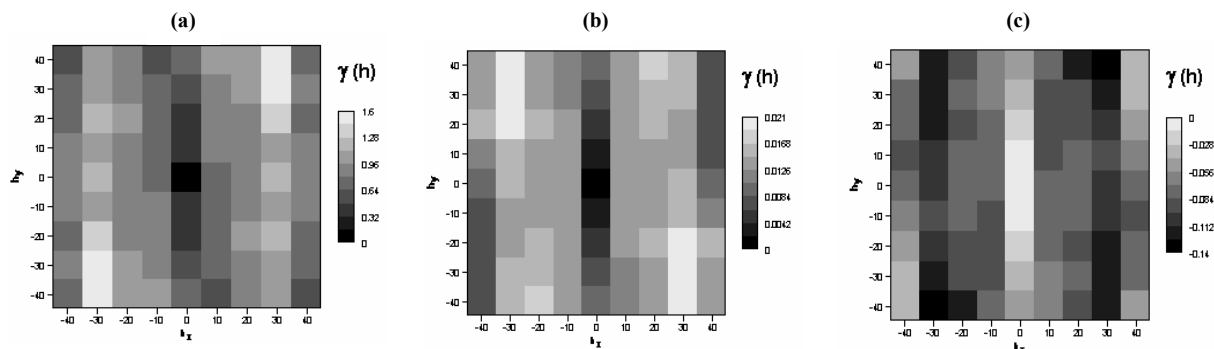


Figure 3: Variogram surface of original copper concentration (a) and pH (b) and cross variogram surface of both (c) sampling sets

A Cu tartalom és a pH értékek egyaránt ÉD irányban mutatják a legkisebb variációt ($\gamma'(h)$) ugyanakkor a kereszt variogram teljesen eltérő felszínű, hiszen itt a legnagyobb az eltérés a mért értékek között. A korrelációs r értékek alapján is a réz és a pH negatív térbeli összefüggést mutat, azaz néhány tizedes pH szint is már kevesebb mikroelem tartalmat és eloszlást jelez. Pannatier (1996) alapján a $\gamma(h)$ kiterjesztése a kétváltozós kereszt variogramra az alábbi:

$$\gamma_{12}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [z_1(x_i) - z_1(x_i + h)] \cdot [z_2(x_i) - z_2(x_i + h)] \quad (3)$$

ahol $\gamma_{12}(h)$ két változó kereszt variogram értéke adott h távolságú vektor esetén, ahol $\gamma(h)$ a variogram értéke adott h esetében, N a mintaszám, $z_1(x)$, a minta x pontban felvett z_1 értéke, $z_2(x)$, a minta x pontban felvett z_2 értéke.

(3) where $\gamma(h)$ value of variogram at h separation distance vector, N sample number, $z_1(x)$, z_1 measured value at x sampling point, $z_2(x)$, z_2 measured value at x sampling point.

Ennek a térbeli összefüggésnek alapján lehetséges a kisebb mintaszámú változó térbeli mintázatát számítani az együttes térbeli becslés (együttes krigelés) során, a nagyobb mintaszámra meghatározott variogram segítségével (4. ábra).

A modellben számítógéppel random módon csökkentettük a szabályos mintarács pontjainak számát 70%-ra (4. (c) ábrán fehér kereszttel jelölve). A pH és Cu $r=-0,69$ közepes negatív korrelációt mutatott, amelyet a fenti ábra ellenkező értelmű térbeli mintázata is jelez.

4. ábra: A mintavételi terület talaján az eredeti mintaszámú réz-koncentráció (a) és a pH (b) térbeli megoszlása, illetve a pH variogram és random módon redukált számú réz-koncentráció mintára újra becsült réz-koncentráció térbeli megoszlása (c)

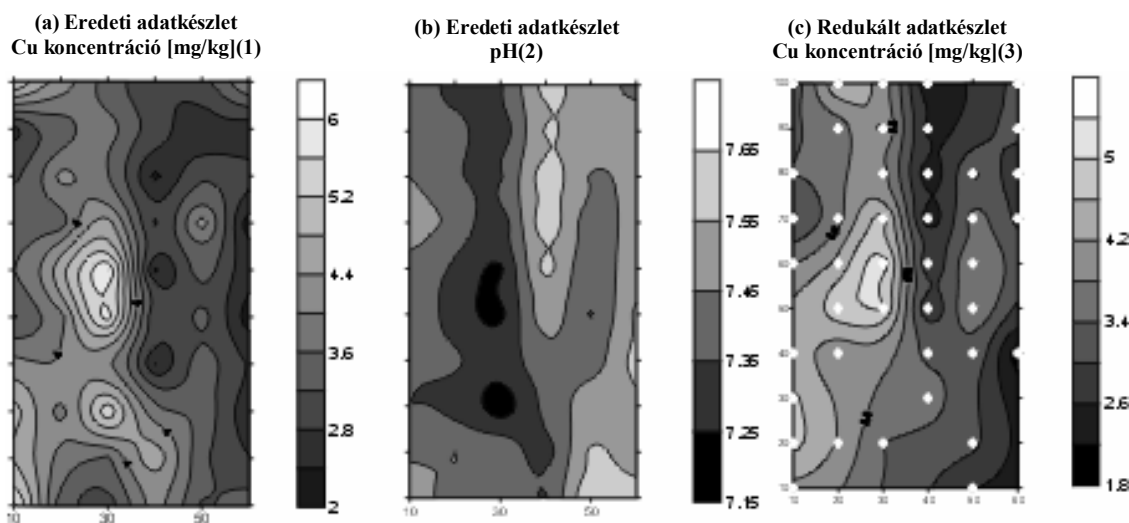


Figure 4: Original copper concentration and pH spatial pattern of the experimental site and estimated copper concentration pattern based on pH variogram and randomly reduced copper concentration soil sampling set
Cu concentration [mg/kg] original dataset(1), pH original dataset(2), Cu concentration [mg/kg] reduced dataset(3)

A kereszt variogram alapján a Cu térbeli mintázatát krigeléssel újra becsültük. A 30%-kal redukált adatkészleten, a standard hiba mindössze 12% volt az eredeti és a csökkentett mintaszámú becslés között. Mivel a Fe, Mn, Al, Cd, Co, Pb a pH-val még szorosabb korrelációt mutat, így azonos hibaszint mellett további mintaszám csökkenést, illetve azonos mintaszám mellett további bizonytalanság csökkentést lehet a módszerrel elérni. Gyakorlatban ez azt jelentheti, hogy ezen a minta területen az olcsóbban mérhető paraméter (jelen esetben a pH érték), azonos térbeli eloszlású mintázása mellett akár 30%-kal lehet a térben jól korreláló mikroelemek mérési költségeit kis mértékű információ veszteség nélkül csökkenteni.

ÖSSZEGRZÉS

Egy cukorrépa tábla betakarításkori növény és talajmintáinak adataira támaszkodva mutattuk be azokat a mezőgazdasági gyakorlatban kevésbé

használt geostatistikai eljárásokat, amelyek a vizsgálati tulajdonságok folyamatos térbeli elemzését képesek értékelni. A variogram modellszámítással megállapítható volt, hogy az alkalmazott mintasűrűség nem volt elegendő a minta mindenirányú homogenitásának biztosítására. A vizsgálati térben a természetlag É-től (195°) irányban, azaz közel ÉD irányban volt leghomogénebb. A variogram felszínének elemzése jelentősen segít a termelőnek a mintavételezés pontosításában. Az 5 elemzett térbeli termésbecslési eljárás alapján megállapítható, hogy más eljárást (LP, RBF) kell alkalmaznunk, ha a lokálisan extrém termés minták okait, illetve ha a teljes terület termésszínének alakulását kívánjuk értékelni (IDW, GP). Megfelelő paraméterezéssel a krigelés mindkét funkciót képes ellátni. A talaj pH és a Cu tartalmának példáján eredményesen mutattuk be, hogy a meglévő térbeli korreláció esetén, hogyan lehetséges a mintaszám illetve a térbeli bizonytalanság csökkentése.

IRODALOM

- Barnett, V.-Turkman, F. K. (1997): Pollution Assessment and Control. Statistics for the environment. John Wiley and Sons, Chichester, UK, 353.
- Bárdossy, Gy. (2002): Geomathematics in Hungarian Geology. Journal of Hungarian Geomathematics, Budapest, 1. 1-4.
- Burrough, A. P.-McDonell, A. R. (1988): Principles of Geographical Information Systems. Spatial Information Systems and Geostatistics, Oxford University Press, Oxford, 132-161.
- Cressie, N. A. C. (1993): Statistics for Spatial Data. Revised Edition, John Wiley and Sons, Inc, New York, 900.
- Isaaks, E. H.-Srivastava, R. M. (1989): An Introduction to Applied Geostatistics. Oxford Press, New York, 560.
- Krige, D. G. (1979): Lognormal de-Wijsian Geostatistics. Monograph of the South African Institute of Mining, 1-50.
- Matheron, G. (1965): La Theorie des Variables Regionalisees et ses Applications. Masson, Paris, 1-65.
- Németh T. (1996): Talajaink szervesanyag-tartalma és nitrogénforgalma. MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézet, Budapest, 337-349.
- Pannatier, Y. (1996): Variowin software for spatial analysis in 2D. Statistics and Computing, Springer, Berlin, 1-88.
- Tamás J. (2001): Precíziós Mezőgazdaság. Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest, 1-160.
- Tamás J.-Lénárt Cs. (2002): Terepi térinformatika és a GPS gyakorlati alkalmazása. Tankönyv. Debreceni Egyetem, Debrecen, 119-132.
- Tóth, T.-Rajkai, K. (1994): Soil and plant correlations in a solonetz grassland. Soil Science, 157. 253-262.
- Várallyay, Gy. (1993): Soil data-bases for sustainable land use: Hungarian case study. In: Greenland, D. J.- Szabolcs, I. (eds.) Soil resilience and sustainable land use CAB International, Wallingford, 469-495.
- Wackernagel, H. (1995): Multivariate Geostatistics. Springer, Berlin, 1-251.
- Webster, R.-McBratney, A. B. (1987): Mapping soil fertility at Broom's Barn by simple kriging. Journal of Soil Science, 40. 493-496.
- Webster, R.-Oliver, M. A. (1990): Statistical methods in soil and land resource survey. Oxford University Press, Oxford