PRIESTOROVÁ ANALÝZA DÁT Z POVRCHOVÉHO ZBERU NA LOKALITE VRÁBLE-FIDVÁR

Dominik Drozd*

**Archeologický ústav Slovenskej akadémie vied, Akademická 2, 949 21 Nitra, drozd10@uniba.sk*

Abstract: Spatial analysis of fieldwalking data from the site of Vráble-Fidvár. The goal of this study is to introduce selected methods of spatial analysis and their contribution to evaluation of fieldwalking data. Spatial analysis encompasses various methods suitable for identification, objective evaluation and visualization of spatial patterns which are present in obtained data. This article primarily deals with sampled data, collected during a 2007 fieldwalking campaign. The dataset consisting of potsherds was spatially autocorrelated, using the global and local Moran's I coefficient, which was used to identify clusters of finds. Spatial pattern of the settlement was visualised by geostatistical interpolation method – kriging.

Keywords: spatial analysis, Early Bronze Age, fieldwalking, spatial autocorrelation, kriging

Abstrakt: Cieľom tohto príspevku je predstavenie vybraných metód priestorovej analýzy a demonštrácia ich prínosu k spracovaniu dát z povrchového zberu. Priestorová analýza zahŕňa rozličné metódy umožňujúce identifikáciu, objektívne vyhodnotenie a vizualizáciu priestorovej štruktúry na základe dostupných dát. Článok sa primárne venuje vzorke z dát získaných počas povrchového zberu v roku 2007. Súbor keramických fragmentov bol podrobený analýze priestorovej autokorelácie s využitím globálneho a lokálneho Moranovho I, prostredníctvom ktorého boli identifikované najvýraznejšie zhľady nálezov. Priestorová štruktúra sídliska bola vizualizovaná pomocou geoštatistickej interpolačnej metódy kriging.

Kľúčová slova: priestorová analýza, staršia doba bronzová, povrchový zber, priestorová autokorelácia, kriging

<https://doi.org/10.46283/musarch.2021.1.2.03>

1. Úvod

Lokalita Fidvár sa nachádza na južnom okraji mesta Vráble a patrí k najznámejším a najpodrobnejšie preskúmaným náleziskám na území Slovenska (*obr. 1*). V rámci početných terénnych aktivít tu bolo zachytené rozsiahle opevnené sídlisko zo staršej doby bronzovej, ktoré pokrývalo, vo svojej vrcholnej fáze, približne 11 ha veľkú plochu. Okrem predmetného sídliska tu bolo lokalizované eneolitické a germánske osídlenie a aj dva rímske pochodové tábory (*Bátora a kol. 2009; Bátora a kol. 2015; Bátora – Tóth – Rassmann 2015*).

Článok sa primárne venuje problematike priestorovej analýzy a jej možnosti pri spracovaní dát z povrchového zberu z polohy Fidvár. Metódy priestorovej analýzy zatiaľ nie sú v rámci slovenskej archeológie využívané v takej miere ako v zahraničí. Ich využitie úzko súvisí so základným prehľadom v štatistike a nevyhnutnou potrebou práce s výpočtovou technikou (geografický informačný systém – GIS, programovací jazyk R).

Záujmovou oblasťou priestorovej analýzy je priestorová štruktúra, t. j. spôsob, akým sú sledované prvky usporiadané v priestore a ich vzájomné priestorové pôsobenie (*Clarke 1977, 10*). Analýza priestorovej štruktúry zahŕňa súbor techník, ktoré sú závislé na lokalizácii skúmaných objektov. Dôležitým prvkom sa z tohto dôvodu stáva získavanie priestorovej informácie pomocou GPS prístrojov (*Goodchild 1996, 241*). Tieto metódy vo väčšine prípadov pochádzajú z iných vedných odborov, najmä geografie a geológie (*Hodder – Orton 1976, 1*). V kontexte predloženého článku sú rozpracované dve oblasti priestorovej analýzy: priestorová autokorelácia a kriging.

Obr. 1. Poloha lokality Vrable-Fidvár (zdroj dát: ÚGKK SR, Google Maps).

Fig. 1. Site of Vrable-Fidvár (source: ÚGKK SR, Google Maps).

2. Predmet a cieľ výskumu

Súbor dát, ktorý bol podrobený priestorovej analýze, je tvorený systematickou vzorkou zo súboru keramických fragmentov. Tie pochádzajú z povrchového zberu, realizovaného Archeologickým ústavom SAV v Nitre, Römisch-Germanische Kommission DAI vo Frankfurte nad Mohanom a Otto-Friedrich-Universität v Bambergu. Pre potreby zberu bola využitá analytická metóda zberu vo štvorcovej sieti (tiež rastrová metóda; *obr. 2*). Štvorcová sieť je zložená zo sektorov s postupne sa zväčšujúcou plošnou rozlohou (5×5 , 10×10 , 10×20 a 20×20 m). Systematická vzorka bola zvolená prostredníctvom dvojfázového vzorkovania, v procese ktorého boli aplikované metódy stratifikovaného a adaptívneho zhlukového vzorkovania. Kombinácia týchto techník zabezpečila (i) rovnomerné, proporčné pokrytie plochy a (ii) odsledovanie najvýraznejších koncentrácií nálezov na skúmanej ploche. Stratifikácia plochy tiež viedla k rozdeleniu štvorcovej siete na štyri menšie priestory – strata (A, B, C, D), ktoré boli zadefinované na základe veľkosti sektorov (*obr. 3*) a pokrývali jednotlivé časti lokality (A – centrálna časť, B – rezidenčná časť, C a D – periféria).

Vzorka sa skladala z 513 sektorov (celkovo 1168, t. j. 44 % pokrytie) a obsahovala 8918 keramických fragmentov s výslednou hmotnosťou 172 654 gramov. Z hľadiska pravekého a včasnohistorického osídlenia výrazne dominujú nálezy datované do obdobia staršej doby bronzovej (58,65 %). Druhou najpočetnejšou kategóriou je eneolitická keramika (1,14 %), nasledovaná fragmentami zaradenými do obdobia doby rímskej (0,69 %), doby laténskej (0,08 %) a neolitu (0,02 %). Zvyšok keramického materiálu bol tvorený nálezmi zaradenými do skupiny stredovek/novovek (2,26 %) a nedatovanými fragmentami (37,15 %).

Cieľom výskumu bolo zaznamenanie, charakteristika a vizualizácia priestorovej štruktúry osídlenia lokality Fidvár v praveku a včasnohistorickom období na základe dostupnej vzorky. K dosiahnutiu vytýčeného cieľa boli aplikované inovatívne metódy priestorovej analýzy. Hlavnou myšlienkou predloženého článku je prezentácia techník, pomocou ktorých je možné zachytiť a interpretovať výrazné zhluky nálezov. Pomocou nadobudnutých výsledkov je možné vzorku interpolovať a vizualizovať základné priestorové trendy prítomné na skúmanej ploche.

Obr. 2. Analýza digitálneho výškového modelu. A – nadmorská výška (v metroch nad morom) (podľa Drozd 2020, obr. 1); B – tieňovaný reliéf; C – sklon terénu (v stupňoch); D – orientácia sklonu (0° – sever; 90° – východ; 180° – juh; 270° – západ) (zdroj dát: ÚGKK SR; výškový systém: Bpv; systém súradníc: S-JTSK Křovák East North, EPSG: 5514; vizualizácia: D. Drozd).

Fig. 2. Digital elevation model analysis. A – elevation (meters above sea level) (after Drozd 2020, fig.1); B – hillshade; C – slope (degrees); D – aspect (0° – north; 90° – east; 180° – south; 270° – west) (source: ÚGKK SR; elevation system: Bpv; coordinate system: S-JTSK Křovák East North, EPSG: 5514; visualization: D. Drozd).

3. Použité metódy

Priestorová analýza bola realizovaná výhradne prostredníctvom počítačového programu R- Studio na báze R 4.0.3. Ide o globálne využívaný nástroj vhodný pre štatistickú a priestorovú analýzu, ktorý sa postupne etabluje aj v rámci archeológie (napr. Carlson 2017).

Prvá etapa výskumu spočívala v analýze miery priestorovej autokorelácie v rámci chronologicko-priestorových dát (neolit, eneolit, doba bronzová, doba laténska, doba rímska). Následne boli výsledky použité pre zostrojenie interpolovaného povrchu s využitím metódy kriging.

3. 1. Priestorová autokorelácia

V rámci priestorovej analýzy predstavuje priestorová autokorelácia jeden z najdôležitejších konceptov. Jej podstatu zdefinoval v roku 1970, americký geograf Waldo R. Tobler myšlienkou, ktorá je v súčasnosti známa ako „prvý

Obr. 3. Stratifikácia plochy (podľa Drozd 2020, obr. 3A).

Fig. 3. Stratification of the researched area (after Drozd 2020, fig. 3A).

zákon geografie“¹ („First Law of Geography“; Tobler 1970). Jej význam spočíva v tvrdení, že z hľadiska atribútov sú si priestorovo bližšie pozorovania podobnejšie ako tie vzdialenejšie – ako najčastejší príklad býva uvádzaná nadmorská výška.

Základným nástrojom pre vypočítanie miery priestorovej autokorelácie je koeficient Moranovho I. Meranie autokorelácie je testom nulovej hypotézy (H_0), ktorá predpokladá náhodné usporiadanie pozorovaní v priestore, čo znamená, že hodnota Moranovho I je nulová ($I = 0$). K zhlukovaniu javov dochádza pokiaľ Moranovo I dosahuje pozitívne hodnoty ($I = 1$ alebo $I > 0$), hovoríme o pozitívnej priestorovej autokorelácii. Naopak, negatívna priestorová autokorelácia sa prejavuje v podobe negatívneho koeficientu ($I = -1$ alebo $I < 0$) a predstavuje situáciu, v ktorej sú blízke pozorovania z pohľadu atribútov, rozdielne (obr. 4).

Pri testovaní nulovej hypotézy vstupuje do procesu aj p-hodnota, ktorá vyjadruje štatistickú signifikanciu výsledných hodnôt. Porovnávaná je s hladinou významnosti α , ktorá je stanovená na základe žiadanej spoľahlivosti. Najčastejšie je využívaná hodnota 95% ($\alpha = 0,05$), prípadne 99% ($\alpha = 0,01$). Pokiaľ je p-hodnota nižšia alebo rovná hladine významnosti, je možné ju označiť za štatisticky signifikantnú a zamietnuť nulovú hypotézu (Triola 2004, 377).

Graficky je možné Moranovo I vyjadriť prostredníctvom korelogramu alebo tzv. Moranovho diagramu (obr. 5). Ten predstavuje typ grafu, ktorý znázorňuje charakter zachytených zhlukov hodnôt. Skladá sa zo štyroch kvadrantov: pravý horný kvadrant H-H (*high-high*

Obr. 4. Princíp priestorovej autokorelácie. $I = 1$ – pozitívna priestorová autokorelácia; $I = -1$ – negatívna priestorová autokorelácia; $I = 0$ – nulová priestorová autokorelácia (autor: D. Drozd).

Fig. 4. Principle of spatial autocorrelation. $I = 1$ – positive spatial autocorrelation; $I = -1$ – negative spatial autocorrelation; $I = 0$ – spatial autocorrelation is null (author: D. Drozd).

¹ „Everything is related to everything else, but near things are more related than distant things.“ (Tobler 1970, 3).

Voľný preklad z originálu: „Všetko súvisí so všetkým, ale bližšie javy si sú príbuznejšie ako vzdialenejšie javy.“

Obr. 5. Moranov diagram (autor: D. Drozd).

Fig. 5. Moran's plot (author: D. Drozd).

– *zhlukovanie vysokých hodnôt*) a ľavý spodný L-L (*low-low* – *zhlukovanie nízkych hodnôt*) predstavujú pozitívnu priestorovú autokoreláciu. Naopak, ľavý horný L-H (*low-high* – *nízke a vysoké hodnoty*) a pravý dolný H-L kvadrant (*high-low* – *vysoké a nížke hodnoty*) reprezentujú negatívnu autokoreláciu. Línia priečne pretínajúca graf vyjadruje mieru pozitívnej alebo negatívnej autokorelácie (Anselin 1996).

Moranovo I je vo svojej podstate tzv. globálnou štatistikou, čo znamená, že jej výsledkom je jedna štatistika pre celý skúmaný priestor a tým pádom je pre jeden parameter získaný jeden odhad (Hodder – Orton 1976; Wheatley – Gillings 2002). Využitie globálnej štatistiky však v určitých prípadoch môže naraziť na určité limity. Keďže, ako bolo spomenuté, jej výsledkom je iba jedna súhrnná hodnota, nedokáže zachytiť premenlivosť koeficientu Moranovho I v sledovanom priestore. Tento koncept sa nazýva stacionarita modelu a predmetom výskumu je variabilita štatistických vzťahov a procesov v skúmanom priestore (Crema 2020, 155). Hlavná otázka pre výskum variability Moranovho I tak môže byť sformulovaná nasledovne: „Kde dochádza k najvýraznejšiemu *zhlukovaniu* pozorovaní v rámci skúmaného priestoru?“.

Pre potreby merania lokálnych trendov bol vyvinutý koeficient lokálneho Moranovho I (LMI), tiež známy pod skratkou LISA (*Local Indicator of Spatial Autocorrelation*), ktorého autorom je Luc Anselin (Anselin 1995). Koeficient LISA však poskytuje len informáciu o miere *zhlukovania* a neodpovedá na zásadnú otázku: „*Aké hodnoty sa v priestore zhlukujú – vysoké alebo nížke?*“. Z hľadiska identifikácie *zhlukovaných* hodnôt bol využitý koeficient lokálneho Getisovho (a Ordovho) G (Getis – Ord 1992), ktorého zobrazenie pomocou bublinového grafu umožňuje lokalizovať napríklad koncentrácie vysokých a nízkych hodnôt hustoty keramických fragmentov v priestore.²

3. 2. Kriging

Pozitívna priestorová autokorelácia je nevyhnutným predpokladom pre možnosť interpolácie vzorky pomocou metódy kriging. Ide o geoštatistickú interpolačnú metódu, ktorú vyvinul juhoafrický bankský inžinier Danie G. Krigge v spolupráci s francúzskym matematikom Georgesom Matheronom (Matheron 1963; 1971). Metóda našla svoje

2 K ďalším aplikáciám lokálnej priestorovej autokorelácie patrí napr. výskum korelácie dátumov na mayských monumentoch (Premo 2004), identifikácia chronologickej neistoty v kultúre Džómon (Crema – Bevan – Lake 2010) alebo analýza obilných zŕn na lokalite Hornstaad-Hörnle (Styring a kol. 2016).

uplatnenie v rôznych vedných odboroch ako geológia, geografia alebo pedológia, no v čoraz väčšej miere sa začína presadzovať aj na poli archeológie (napr. *Zubrow – Harbaugh 1978; Conolly – Lake 2006*).

Z dôvodu integrácie geoštatistiky predstavuje kriging o niečo komplikovanejší spôsob interpolácie dát, ktorý však poskytuje presnejšie výsledky ako iné metódy (inverzné váženie vzdialenosti, spline interpolácia) a to najmä vďaka empiricky získavaným parametrom interpolácie (*Conolly 2020, 123*).

Proces sleduje vzťah medzi rozdielmi vo zvolenej premennej páru vzoriek a ich priestorového umiestnenia (vzdialenosť medzi bodmi). Tento vzťah je vyobrazený prostredníctvom grafu, ktorý sa nazýva variogram (zastar. aj semi-variogram). Variogram znázorňuje vzdialenosť medzi vzorkami (os X) v metroch a štatistiku nazývanú (semi) variancia (γ) na osi Y. Táto štatistika vyjadruje variabilitu druhej mocniny rozdielov v premennej medzi dvoma vzorkami (bodmi) v rámci definovanej vzdialenosti (*Matheron 1963, 1250; Conolly 2020, 124*).

Základnou formou variogramu je mračno (*variogram cloud*), prípadne jeho prehľadnejšia podoba – tzv. vzorka (*variogram sample*). Ide o všesmerové (*omnidirectional*), tzv. izotropické variogramy, ktoré indikujú mieru vplyvu vzdialenosti na priestorovú štruktúru dát.

Opak izotropie predstavuje anizotropia a práve možnosť výskumu jej miery v dátach je jednou z výhod metódy kriging. Predmetom merania anizotropie je sledovanie priestorového trendu v určitom definovanom smere – orientácia priestorovej autokorelácie na svetové strany. Pre výskum prítomnosti anizotropie v dátach sú najbežnejšie využívané dve techniky, (i) zostrojenie mapy variogramu (*variogram map*) a (ii) smerové variogramy (*directional/anisotropic variograms*).

Výskum anizotropie priamo ovplyvňuje možnosti pri zostrojení teoretického modelu variogramu, na základe ktorého je vytvorený súvislý interpolovaný povrch. Pokiaľ je preukázaná anizotropia, je potrebné tento fakt vziať do úvahy a teoretický model vyhotoviť pomocou smerového diagramu. Ak sú dáta izotropické, teoretický model je skonštruovaný prostredníctvom vzorky, ktorá je všesmerová.

Proces tvorby teoretického modelu variogramu spočíva v aproximácii krivky na základe empiricky získaných parametrov, ku ktorým patrí rozsah modelu (*range*), prah (*sill*) a počiatočný bod krivky (*nugget*). Tieto hodnoty sú manuálne zadané do programu R-Studio, ktorý ich s využitím funkcie *fit.variogram* mierne upraví a prispôbi krivku danému modelu.

Výsledným výstupom procesu je predikčný model, ktorý zobrazuje priestorovú štruktúru prítomnú v sledovanom súbore dát. Zostrojenie predikčného modelu je možné realizovať pomocou niekoľkých techník. Medzi základné formy patrí (i) obyčajný, (ii) univerzálny a (iii) jednoduchý kriging (*Wackernagel 1995, 74n; Olea 1999, 7n; Conolly 2020, 125*). Najpoužívanější metódou, aplikovanou aj v kontexte tohto článku, je obyčajný kriging, ktorého hlavnou výhodou je široké využitie vo väčšine situácií z dôvodu najmenšieho počtu predpokladov. Jediným podstatným predpokladom je stacionarita variancie dát v skúmanom priestore (*Wackernagel 1995, 74n*).

4. Výsledky priestorovej analýzy a diskusia

Pred začiatkom analýz bola stanovená nulová hypotéza (H_0): V priestore vymedzenom štvorcovou sieťou nie je prítomná priestorová autokorelácia medzi jednotlivými pozorovaniami a teda ich distribúcia je výsledkom náhodného procesu.

Alternatívna hypotéza (H_A) znela: V priestore vymedzenom štvorcovou sieťou je prítomná priestorová autokorelácia medzi jednotlivými pozorovaniami a teda dochádza k ich zhľukovaniu.

Výpočet miery priestorovej autokorelácie závisí na vytvorení susedstva pozorovaní, v rámci ktorého je skúmaný ich vplyv na okolité javy. Susedstvo bolo, v prípade lokality Fidvár, zostrojené na základe vzdialenosti príkazom *dnearneigh*. Funkcia definuje požadovaný interval vzdialenosti, v ktorej sú vyhľadávané susedné body pozorovaní. Požiadavkou pri spracovaní dát bolo, aby každý priestorový jav mal minimálne jedného suseda (*obr. 6*), čo vo výsledku predstavovalo interval vzdialenosti od 0 do 29 m. Následne mohla byť jednotlivým bodom priradená ich váha, t. j. ich vplyv na susedné body (bližšie majú väčší vplyv ako vzdialenejšie).

Výsledné hodnoty koeficientu globálneho Moranovho I boli zhrnuté v tabuľke, spoločne s príslušnými p-hodnotami pri 99 % spoľahlivosti (*tab. 1*) a graficky znázornené pomocou Moranovho diagramu (*obr. 7*). Z hľadiska

Obr. 6. Sieť susedných bodov určená pre analýzu priestorovej autokorelácie (autor: D. Drozd).

Fig. 6. Network of neighbours used for the analysis of spatial autocorrelation (author: D. Drozd).

data	Moranovo I	p-hodnota
NEO	-0,0015	= 0,4828
ENEO	0,044	= 6,08e-3
SDB	0,43	< 2,2e-16
LTN	-0,01	= 0,69
RIM	0,006	= 0.3283

Tab. 1. Výsledky analýzy globálnej priestorovej autokorelácie; NEO – neolit; ENEO – eneolit; SDB – staršia doba bronzová; LTN – doba laténska; RIM – doba rímska

Tab. 1. Results of the global spatial autocorrelation analysis; NEO – Neolithic; ENEO – Eneolithic; SDB – Early Bronze Age; LTN – La Tène period; RIM – Roman period

v priestore periférie sídliska, najmä na jeho južnom a juhozápadnom okraji. Hodnota lokálneho Moranovho I je však pomerne nízka ($I_{RIM} = 1,232$, porov. s nálezmi z eneolitu $I_{EN} = 4,046$) a ich distribúciu nie je možné označiť za zhlukovanie v pravom slova zmysle.

Ostatné zachytené obdobia vykazujú nulovú až negatívnu lokálnu priestorovú autokoreláciu, čo znamená, že v rámci celkového počtu keramických fragmentov je ich distribúcia náhodná (tab. 2).

Analýza miery pozitívnej autokorelácie poukázala na možnosť vytvorenia predikčného modelu len na príklade nálezov zo staršej doby bronzovej a eneolitu, ktoré jedine vykazovali pozitívne hodnoty globálneho a/alebo lokálneho Moranovho I. Pokus o interpoláciu bol realizovaný aj na nálezoch z doby rímskej. Počas procesu sa však preukázali nízke hodnoty globálnej a lokálnej autokorelácie a predikčný model nebolo možné zostrojiť. V záverečnej interpretácii je tak možné vychádzať len z analýzy lokálnej priestorovej autokorelácie nálezov z doby rímskej.

chronologicko-priestorových dát je možné zamietnuť nulovú hypotézu iba pri nálezoch zo staršej doby bronzovej. Pri ostatných zachytených obdobiach sa hodnota Moranovho I pohybuje okolo nuly, pričom p-hodnota je väčšia ako hladina významnosti ($p > \alpha$) – tieto javy sú výsledkom náhodného procesu a nulová hypotéza nemôže byť zamietnutá.

Zaujímavá situácia nastala pri nálezoch datovaných do obdobia eneolitu. Napriek nulovej priestorovej autokorelácií (0,044), bola získaná štatisticky významná p-hodnota ($p = 0,006$), ktorá umožňuje zamietnuť nulovú hypotézu. Tento výsledok môže indikovať prítomnosť lokálnej pozitívnej autokorelácie, ktorú globálne Moranovo I nezachytilo.

Detailnejší pohľad na chronologicko-priestorové vzorce reprezentujúce jednotlivé obdobia umožňuje získať informácie o pravekej a včasnohistorickej štruktúre osídlenia lokality. Dominantné postavenie v rámci všetkých nálezov majú keramické fragmenty patriace do staršej doby bronzovej. Lokálna analýza prostredníctvom Moranovho I a Getisovho G identifikovala vo vymedzenom priestore najvýraznejšie zhluky keramických fragmentov v centrálnej časti sídliska (obr. 8). Nižšie, no stále významné hodnoty, vytvárajúce menšie uzatvorené zhluky, sú prítomné v rôznych častiach lokality.

Na lokálnej úrovni sa výraznejšie v centrálnej časti sídliska prejavujú nálezy datované do obdobia eneolitu. Vytvárajú tu menšie, neucelené koncentrácie, pričom ich ojedinelá prítomnosť je evidovaná na celej ploche. Tá je však pravdepodobne výsledkom náhodného procesu. Zaznamenateľný je aj mierne zvýšený počet nálezov z doby rímskej

Obr. 7. Grafické zobrazenie globálnej priestorovej autokorelácie prostredníctvom Moranovho diagramu. A – neolit; B – eneolit; C – staršia doba bronzová; D – doba laténska; E – doba rímska (autor: D. Drozd).

Fig. 7. Graphic representation of global spatial autocorrelation through Moran's plot. A – Neolithic; B – Eneolithic; C – Early Bronze Age; D – La Tène period; E – Roman period (author: D. Drozd).

Pred začiatkom interpolácie vzorky bolo potrebné sa vysporiadať s pozitívnym skreslením dát, keďže metóda kriging je citlivá na vychýlenú distribúciu (Bevan – Conolly 2009). Normalizácia prebehla pomocou tzv. Box-Coxovej transformácie.

Anizotropia dát bola sledovaná prostredníctvom mapy variogramu, ktorá v ani jednom prípade nepreukázala vychýlenie distribúcie v definovaných smeroch (0° – sever/juh; 45° – severovýchod/juhozápad; 90° – západ/východ a 135° – severozápad/juhovýchod). Distribúcia dát tak mohla byť označená ako izotropická (obr. 9).

Z tohto dôvodu mohol byť teoretický model variogramu (obr. 10) zostrojený na základe všesmerovej vzorky, prostredníctvom funkcie *fit.variogram*, ktorá umožňuje automatickú konštrukciu krivky pomocou empiricky získaných parametrov, (i) rozsahu, (ii) prahu a (iii) počiatočného bodu. Výsledkom namodelovanej krivky bol súvislý interpola-

Obr. 8. Grafické zobrazenie lokálnej analýzy dát vykazujúcich pozitívnu priestorovú autokoreláciu. A – eneolit – LMI; B – eneolit – Getisovo G; C – staršia doba bronzová – LMI; D – staršia doba bronzová – Getisovo G; E – doba rímska – LMI; F – doba rímska – Getisovo G (autor: D. Drozd).

Fig. 8. Graphic representation of local data analysis exhibiting positive spatial autocorrelation. A – Eneolithic – LMI; B – Eneolithic – Getis' G; C – Early Bronze Age – LMI; D – Early Bronze Age – Getis' G; E – Roman period – LMI; F – Roman period – Getis' G (author: D. Drozd).

vaný povrch – predikčný model, vytvorený prostredníctvom metódy obyčajného kriginu. Ten umožnil vizualizáciu priestorovej štruktúry lokality Fidvár z hľadiska chronologicko-priestorových vzorcov, ktoré vykazovali dostatočnú mieru pozitívnej autokorelácie (*obr. 1f*).

Pri všeobecnom pohľade na výsledky priestorovej analýzy sa v predikčnom modeli, postavenom na nálezoch zo staršej doby bronzovej, najvýraznejšie prejavuje štruktúra reprezentovaná priestorovo ohraničenými koncentraciami,

Obr. 9. Mapy variogramu poukazujúce na izotropiu dát. A – eneolit; B – staršia doba bronzová (autor: D. Drozd).
Fig. 9. Variogram maps showing the isotropy of data. A – Eneolithic; B – Early Bronze Age (author: D. Drozd).

Obr. 10. Teoretický model variogramu. A – eneolit; B – staršia doba bronzová (autor: D. Drozd).
Fig. 10. Theoretical variogram model. A – Eneolithic; B – Early Bronze Age (author: D. Drozd).

Obr. 11. Predikčný model – kriging. A – eneolit; B – staršia doba bronzová (autor: D. Drozd).
Fig. 11. Prediction surface model – kriging. A – Eneolithic; B – Early Bronze Age (author: D. Drozd).

data	min	1Q	priemer	median	3Q	max
NEO	-1,200704	0,003521	-0,001486	0,003521	0,003521	0,003521
ENEO	-1,26731	-0,05234	0,04437	0,02260	0,06220	4,04594
SDB	-1,31767	0,01404	0,54874	0,19794	0,52480	8,74874
LTN	-1,186913	0,009327	-0,010055	0,009327	0,009327	0,009327
RIM	-2,18750	-0,02660	0,00594	0,04543	0,04543	1,23192

Tab. 2. Výsledky analýzy lokálnej priestorovej autokorelácie; min – minimálna hodnota; 1Q – prvý kvartil; 3Q – tretí kvartil; max – maximálna hodnota; NEO – neolit; ENEO – eneolit; SDB – staršia doba bronzová; LTN – doba laténska; RIM – doba rímska.

Tab. 2. Results of the local spatial autocorrelation analysis; min – minimal value; 1Q – first quartile; 3Q – third quartile; max – maximal value; NEO – Neolithic; ENEO – Eneolithic; SDB – Early Bronze Age; LTN – La Tène period; RIM – Roman period.

Obr. 12. Plán geomagnetického merania (upravené podľa *Falkenstein et al. 2008*, obr. 3).

Fig. 12. Plan of geomagnetics (after *Falkenstein et al. 2008*, fig. 3).

ktoré sú viditeľne usporiadané v tvare kruhu. Radiálny vzorec bol zachytený v priestore medzi priekopami B a C, de kopíruje ich priebeh, taktiež na okraji strata B, lemujúc periferiu sídliska. Na periférii sú koncentrácie od seba vo väčšej miere separované, no prítomný radiálny charakter je stále viditeľný.

O vytváraní rôzne veľkých a priestorovo ohraničených zhlukov v smere od akropoly sa zmieňuje aj skoršia odborná literatúra, (v ktorej však chýba poznámka o radiálnom charaktere štruktúry) v súvislosti s predbežným vyhodnotením výsledkov povrchového zberu (*Bátora et al. 2008*; *Falkenstein et al. 2008*).

Obr. 13. Porovnanie (A) hustoty zásobných jám na lokalite a (B) predikčného modelu zobrazujúceho koncentrácie nálezov (A – Rassmann et al. 2017, obr. 6; B – autor: D. Drozd).

Fig. 13. Comparison of (A) density of pits at the site and (B) prediction surface model (A – Rassmann et al. 2017, fig. 6; B – author: D. Drozd).

Pri interpretácii zhlukov keramických fragmentov predstavuje dôležitú otázku miera ich korelácie s prítomnými archeologickými objektmi, ktoré je možné evidovať na mape geomagnetických meraní,³ prípadne boli potvrdené exkavačnou činnosťou v určitých častiach lokality.

Geomagnetický plán (obr. 12), okrem priekop a pôdorysov obydí, indikuje prítomnosť početných kruhových anomálií, ktoré boli na základe odkryvu interpretované ako zásobné jamy (Bátora et al. 2012, 120). Podľa plánu distribúcie zásobných, neskôr odpadových, jám v priestore sídliska sú najväčšie zhľuky evidované medzi priekopou B a C a na periférii sídliska (obr. 13). Tieto zhľuky korelujú so zachytenými koncentraciami keramických fragmentov na základe vzorky, ale taktiež aj so skoršími poznatkami (Rassmann et al. 2017, 85) o distribúcii dát na lokalite.

Najvýraznejšie koncentrácie keramických nálezov boli v procese priestorovej analýzy preukázané v centrálnej časti sídliska. Táto plocha, v rámci štvorcovej siete reprezentovaná stratom A, predstavuje z hľadiska hustoty nálezov a miery zhľukovania najintenzívnejšie osídlenú časť lokality. Toto tvrdenie je možné podporiť vývojom osídlenia na lokalite (obr. 14).

Prvé súvislejšie osídlenie sa spája práve s centrálnym priestorom sídliska a prítomnosťou kultúry Kosihy-Čaka/Makó. V období staršej doby bronzovej tu bolo založené osídlenie s celkovou rozlohou okolo 0,3 ha, ktoré sa postupne rozšírilo až do svojej vrcholnej podoby (11 ha). Počas poslednej fázy, obdobia maďarovskej kultúry sa plocha výrazne zmenšila na približne desatinu svojej pôvodnej veľkosti – 1 ha (Bátora et al. 2012, 125). Centrálna časť sídliska bola intenzívne využívaná od počiatkov až po zánik osídlenia na lokalite Fidvár. Napriek silnejšiemu vplyvu erózie, vysoké hodnoty hustoty nálezov je možné stotožniť práve s pretrvávajúcou sídliskovou aktivitou.

Okrem nálezov z obdobia staršej doby bronzovej bolo možné interpolovať aj súbor dát patriaci do obdobia eneolitu. Lokálny koeficient Moranovho I zachytil menšie, neorganizované zhľuky v priestore akropoly s hodnotou 4,046. Pri interpretácii, je možné vysloviť predpoklad súvisu tohto materiálu s prítomnosťou eneolitického sídliska kultúry Kosihy-Čaka/Makó, ktoré sa nachádzalo v tejto časti plochy. Na druhej strane, už spomínaná erózna činnosť, ktorá bola dôsledkom strmého sklonu terénu na západnom okraji lokality, znižuje reprezentatívnosť týchto záverov a ich výpovedná hodnota je diskutabilná.

Včasnohistorické osídlenie je doložené nálezmi z obdobia doby rímskej. Keďže nebolo možné vzorku interpolovať, pre potreby interpretácie je možné využiť len výsledky lokálnej priestorovej autokorelácie. K výraznejšiemu nárastu výskytu týchto nálezov dochádza v južnej a juhozápadnej časti plochy v priestore strat C a D (periféria). Ojedinelé nálezy je možné identifikovať aj v rámci strat A a B, ktoré sú pravdepodobne výsledkom náhodného procesu.

3 Realizátorom geomagnetických meraní boli Geographisches Institut v Heidelbergu a Otto-Friedrich-Universität v Bambergu.

Obr. 14. Vývoj osídlenia lokality Fidvár (Rassmann et al. 2017, obr. 2).

Fig. 14. Development of the settlement at the site of Vráble-Fidvár (Rassmann et al. 2017, fig. 2).

Keramické fragmenty z doby rímskej nevytvárajú priestorové zhľuky, čo dosvedčili výsledky priestorovej autokorelácie, ako globálnej (0,006) tak aj lokálnej (1,232).

Lokalizácia týchto nálezov na južnej časti periférie sídliska však nie je náhodná. Ich priestorové umiestnenie súhlasí s už skoršími zisteniami v odbornej literatúre (Bátora et al. 2009), v ktorej sú zhrnuté prvotné závery ohľadom materiálu z povrchového zberu. Za najmladší materiál boli považované nálezy z doby rímskej, nachádzajúce sa na južnom a juhozápadnom okraji sídliska zo staršej doby bronzovej, ktoré pravdepodobne indikujú prítomnosť germánskeho sídliska zisteného už v roku 1980 pri stavbe plynovodu (Točík 1981). Nálezy tak na základe výslednej priestorovej distribúcie, ktorá koreluje s už dostupnými informáciami, môžu byť interpretované práve v súvislosti s predmetným sídliskom (Bátora et al. 2009; 2015, 28).

Potrebné je sa však zmieniť o prítomnosti krátkodobého rímskeho pochodového tábora, ktorého dvojité priekopa, na základe geomagnetických meraní, zasahuje do priestoru sídliska zo staršej doby bronzovej. Tento zásah je viditeľný najmä v južnej časti strata B. Určité ojedinelé keramické fragmenty z doby rímskej by tak bolo možné pripísať aj prítomnosti tohto tábora nachádzajúceho sa v bezprostrednej blízkosti sídliska.

Dôležitým výsledkom aplikácie metód priestorovej analýzy je tiež poznatok, že iba na základe zvolenej vzorky keramického materiálu s vysokou presnosťou zachytila priestorové špecifiká sídliskovej štruktúry lokality z hľadiska pravekého a včasnohistorického osídlenia. Svojimi výstupmi odpovedá na otázku, položenú v odbornom článku (Rassmann et al. 2018), ktorou sa autori pýtajú, či bola v prípade lokality Vráble-Fidvár tak intenzívna a časovo náročná stratégia zberu naozaj potrebná: „*The question which arises is, whether such an intensive and time consuming strategy is truly necessary.*“⁴ (Rassmann et al. 2018, 223). Priestorová analýza priniesla pomerne spoľahlivé poznatky o štruktúre osídlenia na lokalite Vráble-Fidvár, ktoré korelujú s predchádzajúcimi informáciami.

Je možné vysloviť tvrdenie, že prezentované metódy predstavujú efektívny spôsob vysporiadania sa s veľkými množstvami dát prostredníctvom štatistiky a výpočtovej techniky. Napriek tomu, že tieto metódy ešte nie sú v slovenskej archeológii etablované, je dôležité na ich existenciu poukázať. Z archeológie sa stáva veda, ktorá vo veľkej

4 Voľný preklad z originálu (Rassmann et al. 2018): „*Vzniká otázka, či tak intenzívna a časovo náročná stratégia, je naozaj potrebná.*“

miere preberá pokročilé metódy vychádzajúce z geológie, geoštatistiky a matematiky, ktoré jej umožňujú objektívne analyzovať dostupné dáta. Keďže vývoj týchto metód úzko súvisí s rýchlym rozvojom výpočtovej techniky, ide o jedno z najprogresívnejších odvetví archeológie – jeho poznaním, pochopením a zakomponovaním do výskumu môže slovenská archeológia len získať.

5. Záver

Primárnym cieľom predloženého článku bolo objasnenie priestorovej štruktúry osídlenia lokality Vráble-Fidvár v pravekom a včasnohistorickom období. Analytický prístup k realizácii povrchového zberu (rastrová metóda) umožnil, pre dosiahnutie vytýčeného cieľa, aplikovať vybrané metódy priestorovej analýzy. Vzorka získaných dát bola podrobená analýze priestorovej autokorelácie, ktorá zachytila výrazné zhlukovanie nálezov zo staršej doby bronzovej a v menšej miere aj z obdobia eneolitu a doby rímskej. Tieto priestorové trendy boli spracované do prehľadnej grafickej podoby pomocou interpolačnej metódy kriging.

Najmä z hľadiska štruktúry osídlenia v staršej dobe bronzovej sa jasne preukázala typická črta – kruhový vzorec súvisiaci s radiálnym usporiadaním obydľí pochádzajúcim z klasickej fázy únětickej kultúry. Najsilnejšie koncentrácie boli identifikované v centrálnej časti sídliska. Vysoké hodnoty hustoty nálezov súvisia s dlhodobým osídlením, t. j. intenzitou osídlenia tohto priestoru. Počiatky prítomnosti kultúr zo staršej doby bronzovej sa viažu práve na centrálnu časť sídliska, kedy sa tu nachádzalo sídlisko hatvanskej kultúry. Po postupnom rozmachu a kulminácii sa osídlenie výrazne zmenšuje a v období maďarovskej kultúry opäť okupuje iba centrálny priestor.

Nálezy z obdobia eneolitu tvoria iba malé nevýrazné koncentrácie v centrálnej časti, kde bolo zaznamenané osídlenie kultúry Kosihy-Čaka/Makó. Keďže však tento priestor podľahol erózii, nadobudnuté výsledky sú prinajmenšom diskutabilné a ich relevantnosť otázná. Ostatné zachytené eneolitické nálezy sú, podľa výsledkov priestorovej analýzy, dôsledkom náhodného procesu. Dôležitým poznatkom však ostáva fakt, že v priestore lokality Fidvár bolo eneolitické osídlenie prítomné.

Z hľadiska včasnohistorického osídlenia sa najvýraznejšie prejavujú nálezy z doby rímskej. Ich zvýšená pravdepodobnosť výskytu bola zaznamenaná v južnej až juhozápadnej časti periferie sídliska. Výskyt nálezov je možné stotožniť so zachytenou prítomnosťou germánskeho sídliska (Točík 1981; Bátora et al. 2009). Pri interpretácii nálezov z doby rímskej je dôležité pripomenúť existenciu rímskeho pochodového tábora, ktorý zasahoval do priestoru periferie sídliska z juhovýchodnej strany. Je možné vysloviť domnienku, že určité nálezy by bolo možné spojiť aj s prítomnosťou tohto tábora.

Bibliografie

- Anselin, L. 1995: Local Indicators of Spatial Association – LISA. *Geographical Analysis* 27-2, 93–115.
- Anselin, L. 1996: The Moran Scatterplot as an ESDA Tool to Assess Local Instability in Spatial Association. In: Fischer, M. – Scholten, H. – Unwin, D. (eds.): *Spatial Analytical Perspectives on Gis in Environmental and Socio-Economic Sciences*. London, 111–125.
- Bátora, J. – Tóth, P. – Rassmann, K. 2015: Centrálné sídlisko zo staršej doby bronzovej vo Vrábľoch. In: Bátora, J. – Tóth, P. (eds.): *Keď bronz vystriedal med'*. Bratislava – Nitra, 123–138.
- Bátora et al. 2008 – Bátora, J. – Eitel, B. – Falkenstein, F. – Rassmann, K. 2008: Fidvár bei Vráble – Eine befestigte Zentralsiedlung der Frühbronzezeit in der Slowakei. In: Müller, J. – Czebreszuk, J. – Kadrow, S. (eds.): *Defensive structures from Central Europe to the Aegean in the 3rd and 2nd Millenium BC*. Poznań – Bonn, 97–107.
- Bátora a kol. 2009 – Bátora, J. – Eitel, B. – Falkenstein, F. – Rassmann, K. 2009: Výsledky povrchovej prospekcie na lokalite Fidvár pri Vrábľoch. *Archeologické výskumy a nálezy na Slovensku v roku 2007*, 25–27.

- Bátora et al. 2012* – Bátora, J. – Behrens, A. – Gresky, J. – Ivanova, M. – Rassmann, K. – Tóth, P. – Winkelmann, K. 2012: The rise and decline of the Early Bronze Age settlement Fídvár near Vráble, Slovakia. In: Kniesel, J. a kol. (eds.): Collapse or Continuity? Environment and Development of Bronze Age Human Landscapes. Bonn, 111–132.
- Bátora a kol. 2015* – Bátora, J. – Hüssen, C.-M. – Ölvecký, R. – Rajtár, J. – Rassmann, K. – Tóth, P. – Winkelmann, K. 2015: Výsledky archeologického výskumu a prieskumu vo Vrábľoch. Archeologické výskumy a nálezy na Slovensku v roku 2010, 26–30.
- Bevan, A. – Conolly, J. 2009*: Modelling Spatial Heterogeneity and Nonstationarity in Artefact-Rich Landscapes. *Journal of Archaeological Science* 36 (4), 956–964.
- Carlson, D. L. 2017*: Quantitative Methods in Archaeology Using R. Cambridge.
- Clarke, D. L. 1977*: Spatial Information in Archaeology. In: Clarke, D. L. (ed.): Spatial Archaeology. New York, 1–32.
- Conolly, J. 2020*: Spatial interpolation. In: Gillings, M. – Hacıgüzeller, P. – Lock, G. (eds.): Archaeological Spatial Analysis: A Methodological Guide. Abingdon-New York, 118–134.
- Conolly, J. – Lake, M. 2006*: Geographical Information Systems in Archaeology. Cambridge.
- Crema, E. 2020*: Non-stationarity and local spatial analysis. In: Gillings, M. – Hacıgüzeller, P. – Lock, G. (eds.): Archaeological Spatial Analysis: A Methodological Guide. Abingdon-New York, 155–168.
- Crema, E. R. – Bevan, A. – Lake, M. 2010*: A probabilistic framework for assessing spatio-temporal point patterns in the archaeological record. *Journal of Archaeological Science* 37 (5), 1118–1130.
- Drozd, D. 2020*: Analytický povrchový zber na lokalite Vráble – Fídvár. Stav bádania a možnosti spracovania dát. *Slovenská archeológia, Supplementum* 1, 103–111.
- Falkenstein, F. 2008* – Falkenstein, F. – Bátora, J. – Eitel, B. – Rassmann, K. 2008: Fídvár bei Vráble – Archäologische Prospektionen auf einer befestigten Zentralsiedlung der Frühbronzezeit in der Slowakei. *Mitteilungen der Berliner Gesellschaft für Anthropologie, Ethnologie und Urgeschichte* 29, 38–50.
- Getis, A. – Ord, J. K. 1992*: The Analysis of Spatial Association by Use of Distance Statistics. *Geographical Analysis* 24, 189–206.
- Goodchild, M. F. 1996*: Geographic Information Systems and Spatial Analysis in the Social Sciences. In: Aldenderfer, M. – Maschner, H. D. G. (eds.): Anthropology, Space and Geographic Information Systems. Oxford, 241–250.
- Hodder, I. – Orton, C. 1976*: Spatial analysis in archaeology. Cambridge.
- Matheron, G. 1963*: Principles of geostatistics. *Economic Geology* 58, 1246–1266.
- Matheron, G. 1971*: The Theory of Regionalized Variables and Its Applications. *Les Cahiers du Centre de Morphologie Mathématique de Fontainebleau* 5. Paris.
- Olea, R. A. 1999*: Geostatistics for Engineers and Earth Scientists. New York.
- Premo, L. 2004*: Local spatial autocorrelation statistics quantify multi-scale patterns in distributional data: An example from the Maya Lowlands. *Journal of Archaeological Science* 31, 855–866.
- Rassmann et al. 2017* – Rassmann, K. – Reiter, S. – Bátora, J. – Müller-Scheessel, N. 2017: The Vráble toolbox: A multi-disciplinary investigation of settlement change. In: Heeb, B. S. – Szentmiklósi, A. – Krause, R. – Wemhoff, M. (eds.): The Rise And Fall of Defended Sites In Late Bronze Age And Early Iron Age Of South-East Europe. Berlin, 79–90.

- Rassmann *et al.* 2018 – Rassmann, K. – Bátor, J. – Müller-Scheessel, N. – Reiter, S. – Ivanova, M. – Behrens, A. – Radloff, K. – Bača, M. 2018: Tracing Taphonomic Processes. Multiple Layer Analysis of Ceramic Distribution from Surface Collection and Excavation at the Early Bronze Age Settlement of Vráble-Fidvár. *Slovenská archeológia* 66, č. 2, 219–234.
- Styring *et al.* 2016 – Styring, A. – Maier, U. – Stephan, E. – Schlichtherle, H. – Bogaard, A. 2016: Cultivation of choice: New insights into farming practices at Neolithic lakeshore sites. *Antiquity* 90, 95–110.
- Tobler, W. R. 1970: A computer movie simulating urban growth in the Detroit region. *Economic Geography* 46, 234–240.
- Točík, A. 1981: Prieskumy a záchranné výskumy na juhozápadnom Slovensku v roku 1980. *Archeologické výskumy a nálezy na Slovensku v roku 1980*, 296–310.
- Triola, M. F. 2004: *Elementary Statistics*. London.
- Wackernagel, H. 1995: *Multivariate Geostatistics*. Berlin.
- Wheatley, D. – Gillings, M. 2002: *Spatial Technology and Archaeology: The Archaeological Applications of GIS*. Boca Raton, Florida.
- Zubron, E. B. W. – Harbaugh, J. W. 1978: Archaeological prospecting: kriging and simulation. In: Hodder, I. (ed.): *Simulation models in archaeology*. Cambridge, 18–29.

Summary

This article presents results obtained from spatial analysis of the surface finds collected during fieldwalking campaign (2007) at the site of Vráble-Fidvár. The population of the finds was systematically sampled, in a manner, that the final sample would be representative of the whole population. The study area was stratified into four smaller strata, which were (i) randomly sampled and then (ii) subjected to adaptive cluster sampling for the identification of clusters. This sample was spatially autocorrelated using both global and local Moran's I and finally interpolated and visualised by geostatistical method of kriging.

Through spatial autocorrelation, several clusters of Early Bronze Age finds were identified. Most notably, a radial pattern exhibited in the residential area and parts of the periphery. Also, strong autocorrelation was identified in the central part of the site. These results could be interpreted in accordance with previous knowledge about the structure of the site. Early Bronze Age Fidvár is known for its specific residential structure – radial organisation of houses. Located clusters could be correlated with clusters of pits and house structures present on the geomagnetic plan. High values of density of finds in the central area was probably the result of intensity of settlement activity. It was in this part where the first small settlement (Hatvan culture – ca. 0.3 ha) was established. Then, the size of the settlement increased (Únětice culture – ca. 11 ha) significantly. In the final phases of activity (Maďarovce culture – ca. 1 ha), the settlement diminished and was once again covering the central part.

As for other spatio-temporal patterns, the eneolithic finds exhibited stronger autocorrelation in the central part, possible outcome of the small Kosiň-Čaka/Makó settlement. Due to erosion, which destroyed a significant part of the central area – these results are, at best, debatable.

Last but not least, a higher amount of Roman period potsherds were located in the south and south-west of the Early Bronze Age settlement. Interpretation was based on the previous information about Germanic settlement by A. Točík in 1981, with which it correlated rather well. In this case, a presence of two Roman military camps (one of them visible in south part of the site), needs to be mentioned as some of the finds may be presumably also assigned to them.