

STAVEBNÁ FAKULTA STU V BRATISLAVE

Ing. Tibor Lieskovský

Autoreferát dizertačnej práce

**VYUŽITIE GEOGRAFICKÝCH INFORMAČNÝCH
SYSTÉMOV V PREDIKČNOM MODELOVANÍ V
ARCHEOLÓGII**

na získanie akademického titulu philosophiae doctor, PhD.

v doktorandskom študijnom programe: 39-31-9 Geodézia a kartografia

Bratislava 2011

Dizertačná práca bola vypracovaná v dennej forme doktorandského štúdia na Katedre geodetických základov Stavebnej fakulty STU v Bratislave.

Predkladateľ: Ing. Tibor Lieskovský
Katedra geodetických základov
Stavebná fakulta, Slovenská Technická Univerzita v Bratislave
Radlinského 11, 813 68 Bratislava

Školiteľ: doc. Ing. Ernest Bučko, PhD.
Katedra geodetických základov
Stavebná fakulta, Slovenská Technická Univerzita v Bratislave
Radlinského 11, 813 68 Bratislava

Oponenti: Prof. PhDr. Jozef Bátora, DrSc.
Katedra archeológie
Filozofická fakulta, Univerzita Komenského v Bratislave
Gondová 2, 814 99 Bratislava
Slovenská republika

Prof. Ing. Bohuslav Veverka, DrSc.
Katedra mapování a kartografie
Fakulta stavební, České vysoké učení technické v Praze
Thákurova 7, 166 29 Praha 6
Česká republika

Doc. RNDr. Dagmar Kusendová, PhD.
Přírodovědecká fakulta, Univerzita Komenského v Bratislave
Mlynská dolina, 842 15 Bratislava
Slovenská republika

Autoreferát bol rozoslaný:

Obhajoba dizertačnej práce sa koná oh.
na Stavebnej fakulte STU, Radlinského 11, 813 68 Bratislava v knižnici Katedry geodetických základov.

prof. Ing. Alojz Kopáčik, PhD.
dekan Stavebnej fakulty STU

Obsah

Úvod.....	1
1 Predikčné modelovanie v archeológii	2
2 Cieľ dizertačnej práce a predpokladaný prínos.....	4
3 Vymedzenie záujmového územia	4
4 Metódy tvorby archeologického predikčného modelu.....	5
4.1 Konceptuálny návrh archeologického predikčného modelu	6
4.1.1 Naplnenie subsystému Archeologické dáta	7
4.1.2 Naplnenie subsystému Priestorové dáta.....	8
4.1.3 Naplnenie subsystému Environmentálne dáta	10
4.1.4 Naplnenie subsystému Klimatické dáta	11
4.2 Návrh priestorových analýz relevantných na účely archeologického predikčného modelovania.....	11
4.2.1 Analýzy reliéfu.....	11
4.2.2 Vzdialenostné analýzy	11
4.2.3 Analýzy environmentálnych podmienok	12
4.3 Štatistické testovanie výsledkov priestorových analýz	12
4.3.1 Testovanie štatistických rozdelení	13
4.3.2 Testovanie miery rozdielnosti	14
4.3.3 Testovanie vzájomnej korelácie dát.....	15
4.3.4 Zhodnotenie výsledkov štatistických analýz vybraných vrstiev	16
4.4 Štatistické testovanie pôdných typov	16
5 Návrh analytického archeologického predikčného modelu	17
5.1 Tvorba archeologického predikčného modelu založená na dvojhodnotovej logike ..	17
5.2 Tvorba archeologického predikčného modelu, založená na fuzzy logike.....	18
5.3 Induktívny prístup založený na štatistickom základe.....	19
5.4 Validácia archeologických predikčných modelov.....	21
5.5 Zhodnotenie procesu tvorby archeologického predikčného modelu na území Slovenska	24
6 Prínos pre vednú disciplínu a prax	25
Zoznam použitej literatúry a citovaných zdrojov.....	26
Zoznam publikovaných prác z danej problematiky	28

Úvod

Vo všetkých vedných a spoločenských oblastiach, ktoré pracujú s informáciami vzťahnutými k priestoru, predstavujú geografické informačné systémy (GIS) nenahraditeľný nástroj na získavanie a predovšetkým priestorovú analýzu dát.

K takýmto vedám patrí aj archeológia, ktorá spája poznatky z dávnej minulosti so súčasnou tvárou krajiny. GIS so svojimi analytickými nástrojmi sú prostriedkom na skúmanie priestorových vzťahov ako v archeológii, tak aj v mnohých iných oblastiach ľudského záujmu. GIS poskytujú komplexné prostriedky na zber, spracovanie, administráciu, analýzu a prezentáciu priestorových a tematických dát o reálnych, ale aj abstraktných historických objektoch.

Význam využitia GIS na archeologickú analýzu bol prirovnaný k „Objavu rádiokarbónového datovania“ (Neustupný, 1995). Zatiaľ čo tradičná archeológia sa v minulosti venovala takmer výlučne štúdiu artefaktov (nálezov), archeológia posledných desaťročí sa stále viac sústreďuje na doplnenie tohto štúdia výskumom ekofaktov a v nedávnej dobe i na prehĺbenie výskumu priestorového rozloženia archeologických prameňov. Ukázalo sa totiž, že priestorové vzťahy jednotlivých zložiek archeologických prameňov sú popri formálnych vlastnostiach ich jedinou pozorovateľnou vlastnosťou a obsahujú obrovské množstvo informácií o minulosti, z ktorých množstvo nebolo doteraz sledovaných (Neustupný, 2000). Tieto možnosti a poznatky otvárajú nový, komplexnejší pohľad na jednotlivé archeologické lokality a ich vzťah ku krajine.

Získané poznatky majú svoj význam nielen v pochopení vzťahu človeka ku krajine, ale aj pri ochrane kultúrneho a historického dedičstva. Príkladom je *archeologické predikčné modelovanie*, pomocou ktorého môžeme identifikovať oblasti pravdepodobného výskytu archeologických lokalít, a tým umožniť kroky na ich ochranu.

Cieľom práce je vytvorenie pilotného archeologického predikčného modelu na pragmatické účely (ochrana kultúrne – historického dedičstva) na území Slovenska.

Na problematiku sa pritom zameriavame z pohľadu geoinformatiky, jej metód a nástrojov pri tvorbe archeologických predikčných modelov a pri priestorových analýzach v archeológii. Venujeme sa problematike spracovania a evidencie údajov o archeologických lokalitách, bližšie sa zaoberáme konceptuálnym návrhom archeologického predikčného modelu, ako aj fyzickej realizácii priestorovej databázy so zohľadnením kvality údajov. Ďalej sa zoberáme využitím a spracovaním priestorových dát, ktoré sú nevyhnutné na tvorbu priestorových analýz. Zameriavame sa na ich použiteľnosť pri tvorbe priestorových analýz a to najmä z hľadiska kvality, mierky a časového faktoru. Bližšie sa venujeme vybraným vrstvám, ako digitálny model reliéfu, vrstva vodných tokov a pôd.

V prípade priestorových analýz sa bližšie zameriavame na vybrané analýzy, ktoré možno zaradiť k základným východiskám tvorby predikčných modelov, ako napr. analýza potenciálnych vodných tokov, analýza dostupnosti, morfológie atď.

Pri štatistickom spracovaní sa venujeme základným štatistickým analýzám vybraných vrstiev s poukázaním na problematiku štatistického spracovania a vyhodnotenia vzťahu archeologických lokalít ku krajine. Nosnú časť tvorí tvorba predikčných modelov. Pričom porovnáваме dva základné prístupy, indukzívne (odvodzované na základe vlastností archeologických lokalít) a deduktívne (vychádzajúce z posudzovania vlastností krajiny nevyhnutných pre výskyt archeologických lokalít). Na záver uvádzame odporúčania odvodené na základe skúseností pri tvorbe predikčných modelov s ohľadom na špecifické prostredie Slovenska.

1 Predikčné modelovanie v archeológii

Významným prínosom a aplikáciou GIS v archeológii je *archeologické predikčné modelovanie*, pomocou ktorého je možné ďalej skúmať a sledovať pravdepodobné správanie človeka v minulosti, jeho vplyv na okolité prostredie a naopak, vplyv prostredia na jeho aktivity.

Predikčné modelovanie možno definovať v zmysle (Goláň, 2003) napr. ako „Vysvetlenie sídelných „zákonov“ vo forme, ktorá nám umožňuje mapovať lokality, zodpovedajúce „podmienkam“, ktoré sú predpovedané modelom pre sídla. Na získanie tohto modelu sa analyzujú vzťahy medzi prostredím (environmentom) a lokalitami archeologických miest“.

Archeologické predikčné modelovanie možno vnímať buď v akademickej, alebo v pragmatickej rovine.

Primárnym cieľom predikčných modelov, zostrojených na akademické účely, je sledovať a modelovať priestorové vzťahy medzi jednotlivými archeologickými lokalitami a tým prispieť k lepšiemu poznaniu minulosti a historických súvislostí. V pragmatickej rovine umožňuje efektívnu ochranu a záchranu archeologických hodnôt, ktorá je väčšinou v rozpore s ekonomickými záujmami investorov.

Na území Slovenskej Republiky je ochrana archeologického dedičstva podmienená *Európskym dohovorom o ochrane archeologického dedičstva* z roku 1992 (Maltská konvencia), ku ktorému sa v roku 2001 zaviazalo aj Slovensko.

Tvorba archeologických predikčných modelov je vo svojej podstate veľmi špecifická záležitosť, pretože sa snažíme modelovať a predpokladať správanie človeka v minulosti na základe dnešných poznatkov. To vyžaduje pozeráť sa na krajinu aj „očami pravekého človeka“. Na objasnenie vzťahov a využívania krajiny je preto potrebné zvažovať viaceré faktory:

- faktor vhodnosti životného prostredia – požiadavky vhodnej ochrany pred prírodnými živlami, náročnosť a dostupnosť terénu a pod.,
- ekonomický faktor – ako možnosť výmeny tovaru a z toho vyplývajúca blízkosť ciest, dostupnosť zdrojov a pod.,
- faktor minimálnej námahy – požiadavka čo najväčšej efektivity,
- strategický faktor – obranné pozície, výhľad na okolie, prírodné prekážky a pod.,
- kultový (sakrálny) faktor – nebol ovplyvnený praktickými požiadavkami človeka, ale hral v jeho živote významnú úlohu (je aj najťažšie modelovateľný).

Okruhy jednotlivých analýz by sme mohli rozdeliť do nasledovných kategórií:

- a) *Environmentálne analýzy* – sledovaný je vzťah človeka k prírodnému prostrediu. Patria sem najmä analýzy reliéfu vychádzajúce z jeho morfometrických parametrov ako je sklon, orientácia voči svetovým stranám (expozícia), nadmorská výška, relatívna nadmorská výška, lokálna krivosť a pod.
- b) *Sociálne, resp. socio – ekonomické analýzy* – sledované sú premenné ako hustota lokalít, ich vzájomná vzdialenosť, prípadne vzdialenosť od rozličných typov zdrojov, resp. pôd.

Uvedené premenné mohli mať väčší alebo menší vplyv na výber lokality. Preukázať tento vplyv je možné pomocou štatistického testovania jednotlivých premenných. Celkovo sa predpokladá, že na voľbu lokality mal vplyv menší počet základných premenných, ostatné mali buď vplyv minoritný, alebo vznikli ako kombinácia viacerých faktorov.

Vstupné údaje tvoria základ na budovanie GIS ako nevyhnutného predpokladu pre priestorové analýzy. Údaje¹ sa nachádzajú v širokej škále foriem, od jednoduchých manuálne kreslených plánov a náčrtov (prevažne z počiatočnej éry systematického archeologického bádania), cez výsledky geodetických meraní, leteckej archeológie, knižného súpisu lokalít a pod. Zdroje týchto údajov sa v prípade archeológie dajú zhrnúť do nasledovných oblastí:

- archeologické údaje,
- environmentálne údaje,
- údaje z historických máp,
- historické dokumenty (písomné pramene),
- etnografické výskumy.

Archeologické a environmentálne údaje tvoria podklad, na ktorom sú budované priestorové analýzy. Historické a etnografické údaje slúžia predovšetkým ako opora pre archeologické interpretácie (Goláň, 2003).

Jedno z najčastejších základných rozdelení predikčných modelov vychádza z prístupu k ich tvorbe: induktívne (empirické) a deduktívne modely.

Induktívne (empirické) modely vychádzajú zo vzájomných vzťahov už známych archeologických lokalít k určitým atribútom krajiny. Predikcia nových lokalít potom spočíva v identifikácii a kvantifikácii týchto vzťahov a v následnej identifikácii miest v krajine, ktoré majú rovnaké alebo podobné parametre (Danielisová, 2005).

Deduktívne modely vychádzajú z prvotného vyhodnotenia vhodnosti krajiny k osídleniu. To znamená z vlastností, ktoré by krajina v miestach sídelného, pohrebného alebo iného areálu mala spĺňať. Pri tomto postupe slúžia už známe lokality na testovanie a kontrolu modelu.

Uvedené postupy sa navzájom nevyučujú. Aj pri tvorbe deduktívnych modelov vychádzame z empirických skúseností získaných výskumom. Dá sa skôr tvrdiť, že oba postupy poskytujú vzájomne sa dopĺňajúce výsledky a ich vhodná kombinácia dokáže vytvoriť kvalitný predikčný model.

Archeologické predikčné modelovanie sa začalo rozvíjať v päťdesiatych až šesťdesiatych rokoch minulého storočia, a to najmä v súvislosti s rozvojom geografických informačných systémov, ako aj nových poznatkov a postupov v archeológii.

Najväčší rozvoj zaznamenali predikčné postupy v archeológii predovšetkým v USA a v Kanade, v Európe sa prvé pokusy objavujú v osemdesiatych rokoch (napr. pre ostrov Hvar). V súčasnosti sa v mnohých krajinách stávajú integrálnou súčasťou programov starostlivosti o kultúrno-historické dedičstvo a aj predmetom akademického skúmania výskytu a vlastností archeologických lokalít.

Čo sa týka využitia predikčných modelov, možno pozorovať ich prevládajúce pragmatické využívanie na území USA a Kanady, kde sú modely využívané najmä pri skúmaní populácií pôvodného obyvateľstva. Používanie modelov podmieňujú podľa (Goláň, 2003) limitované možnosti archeologického výskumu: zástavba veľkých miest, obmedzený prístup na súkromné a vojenské pozemky, dostupnosť priestorových dát v digitálnej forme a v rozlíšení od malej až po veľkú mierku

Príkladom úspešného nasadenia predikčných modelov je *Archeological Predictive Model an Decision Support System for North Carolina Department of Transportation* (Madry, 2006). Tento model bol vypracovaný na základe údajov o viac ako 14 000 náleziskách a ich analýz kombináciou s dostupnými priestorovými dátami. Rozpočet projektu predstavoval päť mil. dolárov a počas štyroch rokov používania ušetril za každý rok viac ako

¹ V tejto podobe ich označujeme "údaje" (majú prevažne analógový charakter). V prípade ich počítačového spracovania a formalizácie používame terminologicky príslušný termín "dáta".

tri milióny dolárov prispôsobovaním plánovaných stavieb tomuto modelu a tým aj úspor nákladov na záchranný archeologický výskum.

Z praktického hľadiska využitia na ochranu archeologického a historického dedičstva sú tieto postupy používané najmä v Írsku a Holandsku (Willems, 2001), (Leusen a kol., 2005), kde sa tvorí a využíva *Indikatívna mapa archeologických hodnôt* (Indicatieve Kaart van Archeologische Waarden – IKAW).

Na Slovensku zatiaľ nebola tematika archeologickej predikcie podrobne spracovávaná. Náleziská sú vyhľadávané prevažne na základe leteckej prospekcie, systematických prieskumov vybraných oblastí a zo zdrojov archívu Archeologického ústavu SAV (CEANS – Centrálna evidencia archeologických nálezísk na Slovensku). Vzniklo ale viacero štúdií, zaoberajúcich sa problematikou vzťahu priestoru (krajiny) k výskytu archeologických lokalít. Prvým projektom zaoberajúcim sa predikciou archeologických lokalít na území Slovenska je grantová úloha „*Predikcia archeologických lokalít*“, č. APVV-0249-07, riešená v spolupráci Katedry geodetických základov SvF STU v Bratislave a AÚ SAV v Nitre. Spomínaná grantová úloha priamo súvisí s riešením tejto dizertačnej práce.

2 Cieľ dizertačnej práce a predpokladaný prínos

Cieľom dizertačnej práce je *vytvorenie archeologického predikčného modelu* s ohľadom na pragmatické využitie v praxi.

Na dosiahnutie cieľa práce je potrebné si vytýčiť nasledovné predpoklady a čiastkové úlohy:

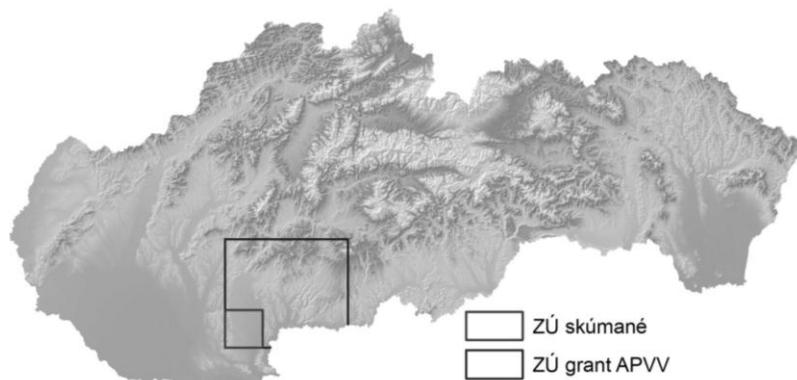
- Zhodnotenie dostupnosti a použiteľnosti priestorových a archeologických údajov s ohľadom na špecifické podmienky Slovenska so zameraním na ich využitie v predikčnom modelovaní.
- Návrh konceptuálnej štruktúry archeologického predikčného modelu.
- Analýza jednotlivých typov priestorových a štatistických analýz so stanovením ich relevantnosti a použiteľnosti na účely predikčného modelovania.
- Návrh metodiky na tvorbu archeologického predikčného modelu so zameraním na optimalizáciu postupu jeho tvorby a zohľadnením podmienok na území Slovenskej republiky, ako aj stavu a dostupnosti archeologických a priestorových dát.
- Analýza možností validácie predikčných modelov
- Testovanie archeologického predikčného modelu a jeho variantov.

Hlavným prínosom dizertačnej práce je prvá realizácia archeologického predikčného modelu na území Slovenskej republiky so zameraním na pragmatické účely. Vytvorený je na základe navrhovaného konceptuálneho APM so spracovaním metodického základu pre ďalšiu tvorbu a rozširovanie APM. Vstupné dáta a metódy pritom sú analyzované a testované z pohľadu geoinformatiky a s ohľadom na špecifická prístupnosti a kvality priestorových a archeologických dát na Slovensku. Poukázané je na nedostatky dostupných dát a limity z nich vyplývajúce s naznačením možných krokov na ich elimináciu.

3 Vymedzenie záujmového územia

Modelové územie sa nachádza na ploche 188 mapových listov Základnej mapy Slovenskej republiky v mierke 1:10 000 (ZM SR 10), čo predstavuje rozlohu približne 3 400 km². Model sa tým radí medzi predikčné modely regionálneho až nadregionálneho rozsahu. Hranice záujmového územia z pragmatických dôvodov nereprezentujú prirodzené územné celky, ale sú definované kladom mapových listov. Južná časť záujmového územia je vymedzená hranicou Maďarskej republiky. V rámci záujmového územia bolo vyčlenené

testovacie územie, na ktorom boli realizované testovania viacerých priestorových podkladov a analýz (Obrázok 3-1 „ZÚ Skúmané“).



Obrázok 3-1 Lokalizácia záujmového územia

4 Metódy tvorby archeologického predikčného modelu

Základné spracovanie archeologických údajov a ich priestorovej analýzy možno rámcovo rozčleniť na nasledujúce kroky (Macháček, 1997) a (Danielisová, 2005):

- *Definovanie problému.* Jedná sa o odpoveď na otázku „Prečo...?“, ktorá predpokladá komplexný prístup k riešeniu problému, čo uľahčuje práve počítačová technika. Zámerom modernej archeológie je pýtať sa, prečo sa určitý nález vyskytoval na určitom mieste v určitej historickej dobe. Formulácia tejto otázky je veľmi dôležitá pre ďalší postup práce.
- *Výber zdrojových dát a návrh štruktúry databázy.* Dáta a metódy, ktoré vyberáme, úzko súvisia s riešenou otázkou. Najskôr je nutné vytvoriť predbežný model študovaného problému na základe predchádzajúcich skúseností a poznatkov, ktorý je východiskom na stanovenie potrebných informácií v DB.
- *Tvorba analýz.* Jedným z hlavných dôvodov použitia GIS pri spracovaní archeologických údajov je schopnosť počítačových programov rýchlo a efektívne zoradovať, triediť, kombinovať, vyhľadávať a sumarizovať informácie. Pri veľkom počte záznamov ide o jediný spôsob spracovania veľkého objemu informácií.
- *Testovanie výsledkov.* Skôr ako prejdeme k vlastnej interpretácii získaných výsledkov, musíme overiť spoľahlivosť našich zistení. Z elementárnych postupov sem patrí napr. zisťovanie významnosti zhody alebo rozdielu medzi dvomi výbermi, štatistická závislosť medzi dvoma premennými (tzv. korelácia) a pod.
- *Interpretácia výsledkov.* Pokiaľ sa potvrdí, že na určitej hladine významnosti je možné prijať naše tvrdenie na základe štatistického testovania, je možné prejsť k interpretácii výsledkov, ktorá bude mať vyššiu váhu, keď bude vychádzať zo štatisticky overených výsledkov.

V prípade tvorby archeologických predikčných modelov nasledujú ďalšie fázy:

- *Tvorba archeologického predikčného modelu.* Pomocou získaných výsledkov analýz odvodzujeme sekundárne vrstvy, ktoré spĺňajú stanovené parametre. Následne ich kombinujeme do APM vo viacerých alternatívach.
- *Testovanie modelu.* Vytvorený model je potrebné otestovať na presnosť predikcie. Najvhodnejšie je testovať model na externých dátach (tzv. vonkajší test), t.j. na dátach, ktoré priamo nevstupovali do štatistických analýz.

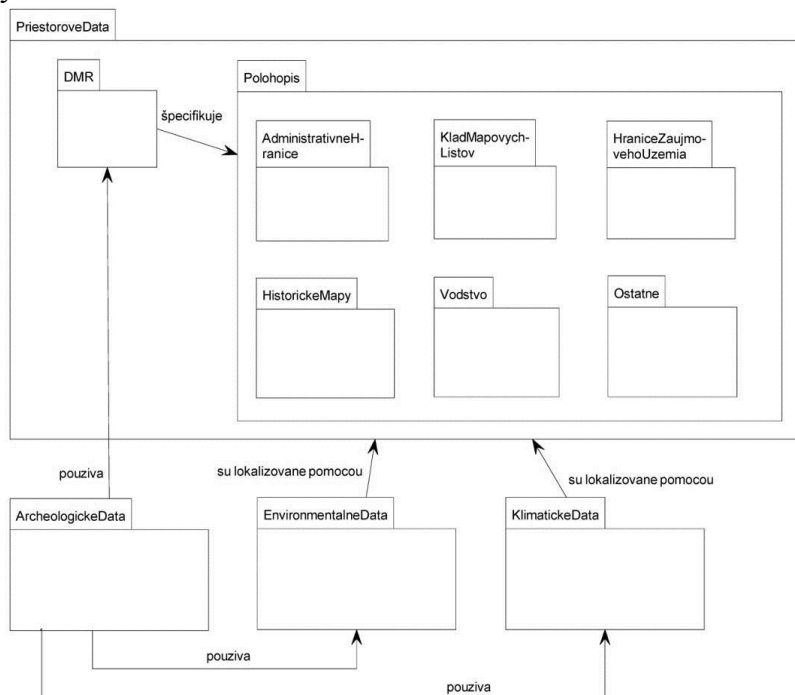
- *Zavedenie do praxe a spresňovanie modelu.* Táto fáza je závislá od účelu tvorby modelu. Dnes je možné výsledné predikčné mapy publikovať a šíriť zainteresovaným organizáciám a osobám pomocou internetu, a to buď vo forme jednoduchého zobrazenia v internetovom prehliadači (Stopková, Lieskovský, 2010), alebo pomocou webových mapových služieb (WMS).

4.1 Konceptuálny návrh archeologického predikčného modelu

Vhodne navrhnutá štruktúra priestorovej DB vychádza z konceptuálneho návrhu APM a predstavuje základ na tvorbu priestorových analýz v prostredí GIS. Vyplýva zo zväzenia dostupných zdrojov dát, pracovných postupov, predovšetkým však zo správneho navrhnutia štruktúry a parametrov databázy. Tvorba konceptuálneho návrhu APM sa dá pokladať za iteratívny proces. Konceptuálny návrh APM bol vytvorený s využitím unifikovaného modelovacieho jazyka (UML) a nástrojov pre počítačovo podporované softvérové inžinierstvo (CASE tools - Computer-Aided Software Engineering tools) v prostredí CASE nástroja Select Architect. Konceptuálny návrh APM sa skladá z viacerých subsystémov (balíčkov), pričom modelujeme aj vzájomný vzťah medzi nimi (Obrázok 4-1):

- *Priestorové dáta* - slúži na priestorovú lokalizáciu v modeli.
- *Archeologické dáta* - popisuje existujúce archeologické lokality a náleziská.
- *Klimatické dáta* - popisuje klimatické podmienky v modelovanej oblasti.
- *Environmentálne dáta* - popisuje charakteristiku pôdneho podložia v modelovanej oblasti.

Navrhovaný konceptuálny APM treba brať ako rámcové východisko pri fyzickej realizácii bázy priestorových dát.



Obrázok 4-1 Konceptuálny návrh APM (hlavná štruktúra balíčkov)

a) Subsystém Archeologické dáta

Subsystém *Archeologické dáta* obsahuje objekty klasifikované do príslušných tried objektov, ktoré sa skladajú z dvoch častí (bližší popis v Lieskovský a kol., 2011):

- dáta o *archeologickej lokalite* – dáta o archeologickom nálezisku, ktoré označuje archeologicky zistenú skutočnosť v určitom (bodovo) určenom geografickom priestore (archeologickej lokalite),

- dáta o *archeologickom zázname*, kde sa nachádzajú dáta o archeologickej akcii, vzťahnuté k príslušnej archeologickej lokalite, pričom sa predpokladá vzájomný vzťah 1:N.

b) Subsystem Priestorové dáta

Pri výbere objektov sme vychádzali zo štruktúry zdrojových dát s ohľadom na predpokladanú relevantnosť dát na účely predikčných analýz. Subsystem *Priestorové dáta* obsahuje objekty klasifikované do príslušných tried objektov, ktoré slúžia na:

- polohovú lokalizáciu (system *Polohopis*),
- výškovú lokalizáciu (system *DMR*).

c) Subsystem Klimatické dáta

Subsystem *Klimatické dáta* obsahuje objekty klasifikované do príslušných tried objektov, ktoré popisujú základné komponenty charakterizujúce klimatické podmienky v modelovanej oblasti (bližší popis v Lieskovský a kol., 2011):

d) Subsystem Environmentálne dáta

Do subsystemu *Environmentálne dáta* súhrne zahrňame dostupné dáta environmentálneho charakteru, ktoré sú použiteľné s ohľadom na časový faktor pri tvorbe archeologického predikčného modelu. Túto oblasť dát predstavujú najmä dáta, o ktorých sa dá predpokladať, že sa výrazne nemenili v čase (bližší popis v Lieskovský a kol., 2011):

- *areál pôdneho typu*,
- *areál litogenetických typov kvartérnych sedimentov*.

4.1.1 Naplnenie subsystemu Archeologické dáta

Spracovanie a naplnenie subsystemu Archeologické dáta bolo realizované v spolupráci s Archeologickým ústavom SAV v Nitre (AÚ SAV v Nitre). Východiskom pri tom boli publikované výstupy z archeologických výskumov, resp. povrchových prieskumov a už existujúcich databáz, pričom popisné údaje boli prevažne zhromaždené z centrálného archívu AÚ SAV v Nitre. Priebežne sa DB dopĺňovala lokalitami, ktoré sa vyskytujú len v publikáciách, resp. novými lokalitami, ktoré sa prejavujú pôdnymi príznakmi na podklade ortofotosnímkov s využitím leteckej prospekcie.

Pri návrhu databázovej štruktúry, ktorý vychádzal z konceptuálneho návrhu APM, bolo potrebné zohľadniť aj atribútovú štruktúru už existujúcej a používanej DB so záznamami CEANS, ktorá bola vytvorená na AÚ SAV v Nitre a predstavovala základný informačný zdroj. Ako ďalšie zdroje boli použité výsledky leteckých prieskumov, lokality zistené počas spracovania historických mapovaní a aj výsledky prieskumov a terénnych zberov vykonaných na záujmovom území.

Kritika prameňov

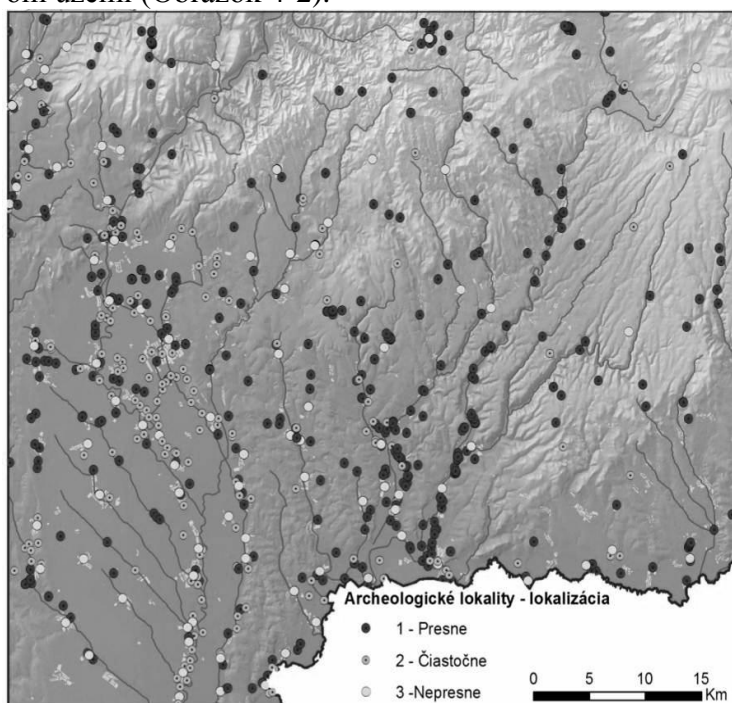
Možno skonštatovať, že system zhromažďovania a prístupnosti archeologických dát na Slovensku považovať za nedostačujúci a v porovnaní s Českou republikou, resp. inými európskymi krajinami, za veľmi zastaraný (Tencer, 2008). Nizky počet presne lokalizovaných lokalít a nízka konzistentnosť atribútovej štruktúry znemožňujú vykonávať relevantné analýzy zamerané na určité časové úseky, resp. určité typy lokalít.

Ako najzásadnejší problém sa ukázala nejednotnosť spôsobu určovania a kvality priestorovej lokalizácie archeologických lokalít. Výsledná presnosť bodového záznamu tak zodpovedá kritériám, stanoveným pre základnú evidenčnú jednotku systemu v budovanej databáze CEANS, ktorý predstavoval bod s priemerom 4 mm na mape s mierkou 1: 25 000, t.j. 100m v teréne (Bujna a kol., 1993). Tento bodový prístup s uvedenou mierou presnosti lokalizácie môže mať zásadný vplyv na výsledky analýz, najmä v členitom teréne.

Prirodzená povaha archeologických lokalít je plošného charakteru, pričom v bodovej forme sa vyskytujú len ojedinelé nálezy (napr. kamenná sekera) alebo depoty. Plošný rozsah archeologických lokalít môže byť rozsiahly (rádovo desiatky až stovky metrov) a svojou plochou môže lokalita pokrývať rozličné hodnoty sledovaného javu.

V DB sa nachádza 1 445 archeologických záznamov so 750 archeologickými lokalitami. Vo vybraných prípadoch sme priestorovú lokalizáciu nálezísk spresňovali, resp. zameriavali polohu nových nálezísk GNSS meraniami v teréne, resp. pomocou dát z Google Earth, týmto spôsobom sa podarilo overiť a rektifikovať cca. 15 % lokalít.

Vzhľadom na to, že zmysluplné priestorové analýzy sa dajú vykonávať len pri lokalitách so stupňom lokalizácie 1 a lokalitách overených v teréne, je potrebné tento počet zredukovať na 462. Pri analýzach sme sa rozhodli vzhľadom na presnosť vylúčiť aj neoverené lokality z I. vojenského mapovania (pôvodne vedené pod stupňom lokalizácie 1), čím sa počet lokalít znížil na 396. Z týchto 396 lokalít stupňa lokalizácie 1 bolo následne odobratých 10% na externú evidenciu pri štatistickom overovaní modelov, čím sa počet lokalít v analýze znížil na 356, čo z pôvodného počtu lokalít predstavuje 47%! Tým sa zmenil aj obraz distribúcie lokalít na záujmovom území (Obrázok 4-2).



Obrázok 4-2 Distribúcia všetkých archeologických lokalít a ich rozdelenie podľa stupňa lokalizácie

Uvedený stav evidencie archeologických lokalít považujeme za nevhodný a problematický. Neprítomnosť systematickej a verifikovanej DB archeologických lokalít spôsobuje jednak nejednoznačnosť pri priestorovej lokalizácii náleziska, zároveň znemožňuje kvalitné analýzy vzhľadom na časové, resp. funkčné zaradenie. V prípade potreby analýz týchto faktorov vznikajú každý rok individuálne DB autorov, ktoré sa líšia spôsobom a hĺbkou spracovania informácií aj spôsobom priestorovej lokalizácie.

4.1.2 Naplnenie subsystému Priestorové dáta

Hlavnou úlohou priestorových podkladov je poskytnúť základ na priestorovú lokalizáciu ostatných dát slúžiacich na podporu predikčných archeologických analýz. Značná časť priestorových podkladov je dostupná a poskytnutá v stredných mierkach, čo vzhľadom na regionálny charakter modelu môžeme pokladať za dostačujúce, ale zaniká tým možnosť detailnejšieho modelovania a predikcie lokalít.

4.1.2.1 Digitálny model reliéfu

Nosnou časťou subsystému DMR (ktorý je subsystémom subsystému Priestorové dáta) je digitálny model reliéfu (DMR) so svojimi objektmi ako východisko na výpočet viacerých morfometrických parametrov reliéfu (nadmorská výška, sklon, expozícia a pod.), na základe ktorých je možné odvodiť mnohé sekundárne informačné vrstvy, ako napr. nákladovú vzdialenosť, potenciálne vodné toky, mapu sklonov, relatívnych prevýšení, orientácie voči svetovým stranám a pod. Je to zároveň aj jeden z mála podkladov, ktorý spĺňa základný predpoklad archeologických priestorových analýz – nemennosť v čase – a to v prípade, ak pracujeme s DMR (zobrazuje prirodzený reliéf

Vzhľadom na obmedzenú dostupnosť DMR na Slovensku, sme pristúpili k jeho tvorbe pomocou vektorizácie vrstevníc ZM SR 10.

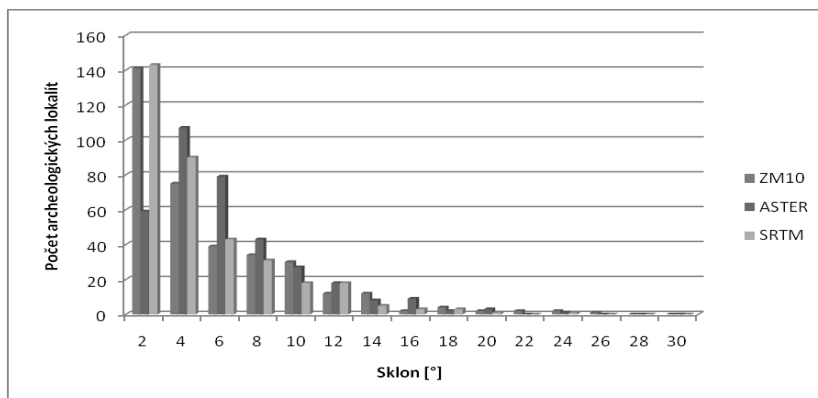
Následne boli vytvorené dva varianty DMR - prvý variant s krokom 10 m, druhý s krokom 20 m. Za finálnu verziu DMR bol zvolený variant s rozlíšením 20 m/pixel, keďže vyššie rozlíšenie by vzhľadom na spôsob tvorby primárneho zdroja dát na tvorbu DMR predstavovalo možný zdroj umelých chýb, vyplývajúcich z použitej interpolačnej metódy a kvality vstupných dát. Uvedený spôsob získania DMR je náročný na časové a ľudské zdroje (kvalitné spracovanie jedného mapového listu predstavuje 10 – 16 hodín práce v závislosti od kvality podkladu, členitosti územia a skúsenosti spracovateľa. Pristúpili sme preto k otestovaniu ďalších alternatív, ktoré v súčasnosti predstavujú globálne digitálne modely reliéfu, a to SRTM (Shuttle Topographic Radar Mission) s rozlíšením 3“ (cca. 90 m/pixel) a modelom ASTER GDEM (Global Digital Elevation Model). Oba uvedené modely sú voľne prístupné pre verejnosť. Pri testovaní sme sa zamerali jednak na výškovú presnosť, ale zároveň aj na použiteľnosť z hľadiska rozlíšenia.

Pri testovaní bol ako hlavný etalón použité body Štátnej priestorovej siete (ŠPS), pričom bola sledovaná výšková odchýlka. Podľa výsledkov testov sa ako najpresnejší model javí model získaný vektorizáciou ZM SR 10 s najnižšou strednou chybou (0,96 m), štandardnou odchýlkou, rovnako aj pomerne nízkym rozptylom odchýlok a výskytom extrémnych hodnôt.

Testovanie modelu SRTM prinieslo vyššiu strednú hodnotu, rozptyl odchýlok a aj výskyt extrémnych hodnôt. Ako zdroj nepresnosti predpokladáme nedostatočnú filtráciu porastov (50 % ZÚ predstavuje zalesnená oblasť).

Najmenej kvalitné výsledky prinieslo testovanie modelu ASTER-GDEM s jednoznačne najvyššou strednou chybou (14,21 m) a aj najmenej priaznivým priebehom jednotlivých odchýlok. Tento stav sa dá pripísať tiež nedostatočnému filtrovaniu porastov a hlavne relatívnej čerstvosti modelu (prvá verzia bola uvoľnená v roku 2010).

Ďalším posudzovaným parametrom bolo rozlíšenie jednotlivých DMR. Od rozlíšenia závisí priamo kvalita a detailnosť priestorových analýz a ich schopnosť zachytiť lokálne detaily. Rozdiel v rozlíšení možno napríklad demonštrovať v prípade závislosti výskytu archeologických lokalít od sklonu (Graf 4-1), kde sa v prípade modelu SRTM prejavuje tendencia vyššieho výskytu miernych sklonov, čo je následok určitej „vyhladenosti“ DMR pri nižšom rozlíšení DMR. V prípade modelu ASTER-GDEM sú výsledky analýzy sklonu značne skreslené. Výsledky testov poukazujú na to, že na účely archeologického predikčného modelovania je najvhodnejší DMR, odvodený vektorizáciou ZM SR 10. Praktické použitie modelu SRTM obmedzuje najmä jeho nízke rozlíšenie (90 m/ pixel) a aj pomerne vysoké stredné chyby. Model ASTER-GDEM zatiaľ diskvalifikuje jeho hrubý stav a nespracovanosť.



Graf 4-1 Porovnanie distribúcie archeologických lokalít v závislosti od sklonu odvodeného z rôznych DMR

4.1.2.2 Vodné toky

Dôležitým faktorom v archeologických analýzach je prítomnosť vody, a to hlavne vo forme povrchových vodných tokov. Na súčasných mapách je zachytený ich nový stav, čím sú možnosti predikčných analýz značne sťažené. Preto bolo potrebné pristúpiť k rekonštrukcii vodných tokov pomocou analýzy potenciálnych vodných tokov. Na výpočet sme použili algoritmus D8 s následným vyhladením priebehu potenciálnych tokov.

Vygenerované potenciálne vodné toky boli v rámci záujmového územia reklasifikované do tokov 1. - 3. rádu jednak v závislosti od zbernej plochy povodia (Kuna, 2008), a zároveň aj na základe prítomnosti vodných tokov na historických mapách. Problematické sa javí správne určenie tokov 3. rádu, o ktorých sa dá predpokladať, že môžu byť skôr sezónneho charakteru.

Vodné toky boli následne verifikované a porovnávané na testovacím území s použitím dostupných leteckých snímok, obsahujúcich informácie o zaniknutom vodnom toku vo forme pôdnych príznakov, spôsobených väčšou vlhkosťou pôd. Rovnako boli použité na porovnanie mapy I. a II. vojenského mapovania, pričom I. vojenské mapovanie, vzhľadom na spôsob a čas vzniku, slúži len na overenie prítomnosti a topologických vlastností vodného toku (nie geometrického tvaru a lokalizácie vodného toku).

Zamerali sme sa na zhodnotenie polohovej presnosti rôznych zdrojov. Použili sme vizuálnu kontrolu na vytipovaných územiach v závislosti od rádu toku a typu reliéfu. Do budúcnosti navrhujeme túto metódu zautomatizovať a využiť priečne profily. Najväčšie odchýlky (v rozsahu stoviek metrov až kilometrov) sa vyskytovali v prípade vodných tokov tretieho stupňa prevažne na rovinatom území. V ostatných prípadoch, teda nezregulovaných menších vodných tokoch sa ukázali výsledky modelovania potenciálnych vodných tokov pomerne uspokojivé (rádovo desiatky metrov). Najpresnejšie výsledky a najnižšie polohové odchýlky boli dosiahnuté v prípade vodných tokov prechádzajúcich hlbšími údoliami.

Pri modelovaní historickej siete vodných tokov sa ukázala ako vhodná kombinácia modelovania potenciálnych vodných tokov a máp II. vojenského mapovania.

4.1.3 Naplnenie subsystému Environmentálne dáta

Do subsystému *Environmentálne dáta* sme zahrnuli dostupné dáta, ktoré boli poskytnuté Geologickým ústavom Dionýza Štúra a Výskumným ústavom pôdoznanectva a ochrany pôd. Dôležitú časť subsystému Environmentálne dáta tvorí *Litogenetická mapa kvartérnych sedimentov* ktorá poskytuje informácie o sedimentoch vytvorených v období kvartéru. Táto mapa sa ukázala ako jeden z najdôležitejších prvkov pri predikcii. Predstavuje zdroj informácií o fluviálnych sedimentoch, ktoré indikujú priebeh vodných tokov v minulosti. Jej čiastočnou nevýhodou je absencia informácií o hrúbke usadenín.

Nosnú časť subsystému *Environmentálne dáta* predstavuje vrstva *pôdnych typov*. Hlavným zdrojom sú dáta z komplexného prieskumu poľnohospodárskych pôd Slovenska (Klečka a kol., 1985). S ohľadom na obtiažnu dostupnosť máp v uvedenej mierke v danom rozsahu a odlišnú taxonómiu pôdnych typov sme použili mapu pôdnych typov v mierke 1 : 50 000, poskytnutú Geologickým ústavom Dionýza Štúra.

4.1.4 Naplnenie subsystému Klimatické dáta

Klimatické podklady boli poskytnuté Slovenským hydrometeorologickým ústavom (SHMÚ) a zahŕňajú informácie o *klimatických oblastiach* a ich hraniciach, vyplývajúcich z priemerných zrážkových úhrnov za roky 1951–1980 a 1981–2000 a teplôt za roky 2004–2005. Použitie týchto dát výrazne obmedzuje viacero faktorov: jednak je to dodaná mierka (1 : 500 000), nízky počet spracovaných meteorologických staníc (na záujmovom území tri) a hlavne časový faktor, keďže meteorologické dáta sa za posledných päťdesiat rokov dajú len ťažko pokladať za klimatický normál (Wiederman, 2003).

4.2 Návrh priestorových analýz relevantných na účely archeologického predikčného modelovania

Pri návrhu priestorových analýz na záujmovom území sme vychádzali z fyzickej realizácie priestorovej DB, ako aj zo skúseností pri priestorových analýzach vybraných archeologických lokalít (Lieskovský, 2006). Sledované boli faktory, ktoré mohli mať najväčší vplyv na výskyt daných nálezísk.

4.2.1 Analýzy reliéfu

Pri týchto analýzach vychádzame z DMR, pričom sa zameriavame na morfometrické vlastnosti reliéfu.

Ako základné premenné sme použili: *nadmorskú výšku lokalít, sklon a orientáciu voči svetovým stranám – expozíciu*. K ďalším typom analýz DMR patrí aj analýza tvaru okolitého reliéfu. Predpokladáme, že práve charakteristika reliéfu do značnej miery ovplyvňovala výber útočiska a prehistorického človeka. Dôležitý bol ochranný (ochrana pred klimatickými vplyvmi), ale aj obranný faktor (nedostupnosť/strmosť reliéfu z určitých strán) (Lieskovský, 2006). V niektorých prácach (Goláň, 2003), (Danielisová, 2008) sa táto charakteristika uvádza pomocou tzv. RIM indexu (index „hrán“). RIM index sme doplnili charakteristikami lokálnej krivosti reliéfu, vrstvy zmeny lokálneho reliéfu v okruhu 100 m (predpokladaný okruh základného zázemia náleziska) a lokálneho reliéfu v okruhu 500 m (čo je podľa (König, 2007) je predpokladanou exploatačnou zónou).

4.2.2 Vzdialenostné analýzy

Vzdialenosť medzi lokalitami, resp. od dôležitých zdrojov a prvkov krajiny, predstavuje tiež jeden z dôležitých faktorov na výber osídlenia. V praxi sa ukazuje, že veľmi podstatná je najmä vzdialenosť od vodných zdrojov. Použili sme modelovanie vzdialeností pomocou nákladových vzdialenostných povrchov (*cost surface*).

Na výpočet sa na základe testovania (Danielisová, 2008) ako najvhodnejší javí modul *varcost* softvéru Idrisi – Kilimanjaro, ktorý umožňuje pokročilú analýzu týchto vzdialeností s použitím tzv. „*IDRISI algoritmu*“.

Medzi východiskové prvky, od ktorých boli riešené vzdialenostné analýzy, patria: *vrstva fluvialnych usadenín a sieť potenciálnych vodných tokov*. Nákladovú vzdialenosť sme previedli na jednotky minút chôdze.

4.2.3 Analýzy environmentálnych podmienok

Je pravdepodobné, že pedologické a klimatické faktory mohli tiež zohrať určitú úlohu pri voľbe lokalít, keďže ovplyvňovali úrodnosť aj dostupnosť zdrojov. Pri analýzach sme overovali predpoklad, že sídla ľudských aktivít sa nachádzajú na vhodných pôdach a v ich blízkosti (Danielisová, 2005), (Andřísek, 2008).

Vzhľadom na nominálnu povahu a aj na rôznorodé vlastnosti ovplyvňujúce jej vhodnosť sme pristúpili k analyzovaniu pôd viacerými prístupmi.

Prístup na základe vhodnosti pre historické poľnohospodárstvo:

V prvom prípade sme sa snažili pôdy reklasifikovať na základe tried vhodností pre historické poľnohospodárstvo. Pri reklasifikácii sme vychádzali z „expertného odhadu“ (EO) vykonaného archeobotanikom. Tento odhad bol vykonaný na základe poznatkov nadobudnutých pri štúdiu pravekého poľnohospodárstva (napr. Dreslerová, 1996), ako aj zo skúseností s predchádzajúcou aplikáciou predikčných modelov (Lieskovský a kol., 2008). Tento postup sa dá označiť za deduktívny prístup. Nedostatkom tohto prístupu je to, že ohodnotenie na stupnici od 1 – 6 sa nedá pokladať za kardinálne (teda že napr. vhodnosť kategórie 6 je šesťkrát väčšia ako vhodnosť kategórie 1).

Prístup na základe produkčného potenciálu:

Kvôli objektivizácii prístupu a možnosti konfrontovania s expertným odhadom sme jednotlivé pôdne typy reklasifikovali aj na základe metodiky používanej Výskumným ústavom pôdozvedectva a ochrany pôdy (VÚPOP) (Bielek a kol., 1998). Použili sme pritom premennú „produkčný potenciál“, ktorá ohodnocuje pôdy v 100 bodovej stupnici: 0 - málo úrodné pôdy, 100 - najúrodnejšie pôdy.

Prístup na základe najväčšieho zastúpenia pôdných typov v zázemí

Vzhľadom na určité limity predchádzajúcich prístupov, vyplývajúce najmä zo zamerania sa na vhodnosť pôd pre poľnohospodárstvo, sme sa rozhodli skúmať pôdne typy aj z hľadiska ich zastúpenia v okolí archeologickej lokality. Viedol nás k tomu predpoklad, že pôda a jej prítomnosť nie je viazaná výlučne len na poľnohospodárstvo, ale celkovo aj na hospodárstvo, a teda určuje aj vlastnosti, ako je prítomnosť lesa a pod. (Tóth a kol., 2011).

V prípade analýzy najväčšieho zastúpenia pôd na lokalite sme využívali fokálnu susedskú funkciu „majority“, ktorá pre každú bunku rastra priradí hodnotu najzastúpenejšieho javu (pôdy) v zvolenom polomere (100 m, 500 m, 1 000 m).

4.3 Štatistické testovanie výsledkov priestorových analýz

Po odvodení jednotlivých sekundárnych vrstiev je nutné tieto vrstvy štatisticky testovať. Pri týchto analýzach bol sledovaný jav danej premennej na vybraných archeologických vzorkách – tzv. „ALA“ (archeologické lokality analyzované). Tieto lokality reprezentujú lokality prvého stupňa lokalizácie, z ktorých bola náhodným výberom vopred odobratá 10 % vzorka na externú evidenciu presnosti predikčných modelov. Zároveň bola sledovaná distribúcia danej premennej v celej krajine ako podklad na následné štatistické testovanie nezávislosti dvoch premenných. Za testovaciu vzorku bolo zvolených 10 000 náhodne vybraných bodov v rámci krajiny – tzv. „TVP“ (testovacia vzorka pozadia). Čo sa týka charakteristiky archeologických dát na záujmovom území, dá sa tvrdiť, že dáta sú vzhľadom na celkový priestorovo nesystematický² charakter archeologických výskumov a prieskumov na Slovensku značne nereprezentatívne. Zvýšeniu výpovednej hodnoty výsledkov štatistických analýz by tiež prospelo aj zvýšenie ich počtu, keďže na rozlohe

² Pod pojmom „priestorovo nesystematický“ je v tomto prípade uvažovaná absencia celkového plošného vzorkovania krajiny v zmysle metodiky uvedenej napr. v (Kuna, 2004), resp. (Dresler a Macháček, 2008)

územia 3 400 km² vstupuje do testovania cca. 350 lokalít pre celý časový úsek (od praveku až po stredovek).

4.3.1 Testovanie štatistických rozdelení

V prvom kroku bola vykonaná základná deskriptívna štatistika, a to vo forme určenia základných parametrov hodnôt danej premennej na lokalitách a v krajine.

Pri štatistickom testovaní vychádzame z predpokladu, že pokiaľ mala určitá premenná vplyv na rozloženie lokalít, tak existuje štatisticky významný rozdiel medzi hodnotami tejto premennej na archeologických lokalitách a na zvyšku územia (krajiny), resp. že lokality sú naakumulované na malých územiach, ktoré sa významne líšia od zvyšku záujmového územia (Goláň, 2003).

Základným krokom bolo testovanie, či sa distribúcia daného javu na archeologickej lokalite a v krajine líši alebo nie. Môžeme predpokladať, že v prípade odlišnosti mal daný jav a jeho vlastnosti vplyv na existenciu archeologických lokalít. V prípade zhody vlastností sa dá predpokladať žiadny, resp. zanedbateľný vplyv. Bola vytvorená základná hypotéza **H₀**: *Lokality a krajina sa svojimi vlastnosťami neodlišujú*. V protiklade k tomu bola stanovená alternatívna hypotéza **H₁**: *Lokality a krajina sa svojimi vlastnosťami odlišujú*. Aplikované boli viaceré metódy na zisťovanie štatistickej významnosti rozdielu hodnôt medzi archeologickými lokalitami (ALA) a zvyškom krajiny (TVP).

Vzhľadom na to, že u jednotlivých premenných nie je možné predpokladať normálne rozdelenie, rozhodli sme sa použiť neparametrické testy. Medzi tieto metódy patrí napríklad *Kolmogorov-Smirnovov test*, ktorý je testom významnosti zhody empirického a teoretického rozdelenia, teda overuje, či vzorky pochádzajú z jedného základného súboru. Ďalší aplikovaný test bol neparametrický *Mann-Whitney rank-sum test*. Test sa používa pri porovnaní mediánov dvoch nezávislých vzoriek. Test odpovedá na otázku, či je rozdiel mediánov (presnejšie priemerov poradi) dvoch skupín štatisticky významný, alebo iba náhodný.

V prípade nominálnych dát je v archeológii rozšírené používanie *Pearsonovho Chi-kvadrát testu dobrej zhody* (Danielisová, 2008b), ktorý vychádza z frekvenčnej tabuľky (tabuľka početností) a testuje nulovú štatistickú hypotézu, ktorá tvrdí, že početnosti v jednotlivých kategóriách sa rovnajú očakávaným (teoretickým) početnostiam (Chajdiak, 2007). Výsledky boli spracované do tabuľky (Tabuľka 4-1), z ktorej vyplýva, že až na výnimky (oslzenie reliéfu) majú všetky premenné vplyv a hypotéza **H₀**: *Lokality a krajina sa svojimi vlastnosťami neodlišujú* sa takmer vo všetkých premenných zamietajú. V (Tabuľka 4-1) sú veľmi nízke hodnoty P nahradené hodnotou $P = 0.00000$, pričom čím je nižšia hodnota P , tým viac je pravdepodobné zamietnutie nulovej hypotézy. Znak „-“, v tabuľke znamená že hodnota nebola daným testom zistiteľná (platí pre nominálne dáta).

Tabuľka 4-1 Porovnanie vybraných testov

Vrstvy	Kolmogorov - Smirnov	Kruskal - Wallis	Chi - kvadrát
	p	p	p
Celoročné oslnenie	0.00015	0.29997	0.12230
CDToky123	0.00000	0.00000	0.00000
CDToky23	0.00000	0.00000	0.00000
CDFLToky123	0.00000	0.00000	0.00000
CDFLToky23	0.00000	0.00000	0.00000
CDFluvinOut	0.00000	0.00000	0.00000
Krivosť	0.00290	0.00120	0.00478
Lokal Relief 500m	0.00000	0.00000	0.00000
Lokal Relief 100m	0.00000	0.00000	0.00000
Nadmorská výška	0.00000	0.00000	0.00000
Orientácia	0.00530	0.02570	0.01270
Orientácia od severu	0.01090	0.06360	0.03782
Oslnenie Veget. obdobie	0.00050	0.53680	0.04780
RIM index	0.01011	0.00140	0.08930
Sklon	0.00000	0.00000	0.00000
Vhodnosť pôdy (Exp. o.)	-	-	0.00000
Vhodnosť pôdy (Exp. o.) 100 m	-	-	0.00003
Vhodnosť pôdy (Exp. o.) 300 m	-	-	0.00008
Vhodnosť pôdy (Exp. o.) 500 m	-	-	0.00012
Pôdy produkč. pot.100 m	-	-	0.00001
Pôdy produkč. pot.300 m	-	-	0.00004
Pôdy produkč. pot.500 m	-	-	0.00005
Pôdy majority100 m	-	-	0.00000
Pôdy majority300 m	-	-	0.00000
Pôdy majority500 m	-	-	0.00000

4.3.2 Testovanie miery rozdielnosti

Testy na preukázanie štatistickej významnosti rozdielu dokážu určiť, či sú hodnoty daného javu rozdielne a na akej hladine významnosti. Nedokážu ale určiť, do akej miery sú rozdielne. Táto informácia je dôležitá aj z hľadiska určovania váh a teda vplyvu jednotlivých premenných. Na kvantifikovanie miery rozdielnosti sme použili koncept, ktorý ideovo vychádzal z tzv. „Lorentzovej krivky“, z ktorej sme následne odvodili „koeficient koncentrácie“, založený na rovnakých princípoch ako „Giniho koeficient“ (Řezáč, 2010).

Hodnoty koeficientu koncentrácie pre každú premennú boli vypočítané pomocou skriptu vytvoreného v štatistickom softvéri „R“ a sú zaznamenané v (Tabuľka 4-2).

Na základe Lorentzových kriviek a koeficientov koncentrácie sa dá usúdiť, že najvýraznejší vplyv na výskyt má vzdialenosť od hraníc fluvialných usadenín.

Naopak ak by sme pracovali s nákladovou vzdialenosťou k všetkým vodným tokom (CDToky123), dostávame sa k pomerne nízkym číslam koeficientu koncentrácie. Je to podmienené tým, že záujmové územie je pomerne bohaté na prítomnosť povrchových vodných tokov a tým sa vzdialenosť od všetkých tokov stáva príliš všeobecný prediktor.

Tabuľka 4-2: Vypočítané koeficienty koncentrácie

Vrstva	koeficient koncentrácie	Vrstva	koeficient koncentrácie
Celoročné oslnenie	12.56 %	RIM index	9.96 %
CDToky123	17.85 %	Sklon	22.50%
CDToky23	26.26 %	Vhodnosť pôdy (Exp. o.)	-
CDFLToky123	27.27 %	Vhodnosť pôdy (Exp. o.) 100 m	-
CDFLToky23	33.51 %	Vhodnosť pôdy (Exp. o.) 300 m	-
CDFluvilnOut	38.44 %	Vhodnosť pôdy (Exp. o.) 500 m	-
Krivosť	10.03%	Pôdy produkč. pot.100 m	-
Lokal Relief 500m	17.85 %	Pôdy produkč. pot.300 m	-
Lokal Relief 100m	20.38 %	Pôdy produkč. pot.500 m	-
Nadmorská výška	25.48 %	Pôdy majority100 m	-
Orientácia	7.24 %	Pôdy majority300 m	-
Orientácia od severu	6.48 %	Pôdy majority500 m	-
Oslnenie Veget. obdobie	11.67 %		

4.3.3 Testovanie vzájomnej korelácie dát

Značným a mnohokrát prehliadaným problémom je vzájomná korelácia javov. Javy sú pokladané za vzájomne nezávislé, pričom sú často skryto korelované.

Tieto korelácie môžu značne skreslovať interpretáciu analýz a výsledky predikčného modelovania, pretože môžu priradiť určitej kombinácii javov neprímerane vysokú váhu, ktorá vznikne kombináciou korelovaných javov. Na určenie závislosti medzi dvoma premennými sme použili nasledovné dva testy:

Pearsonov koeficient korelácie:

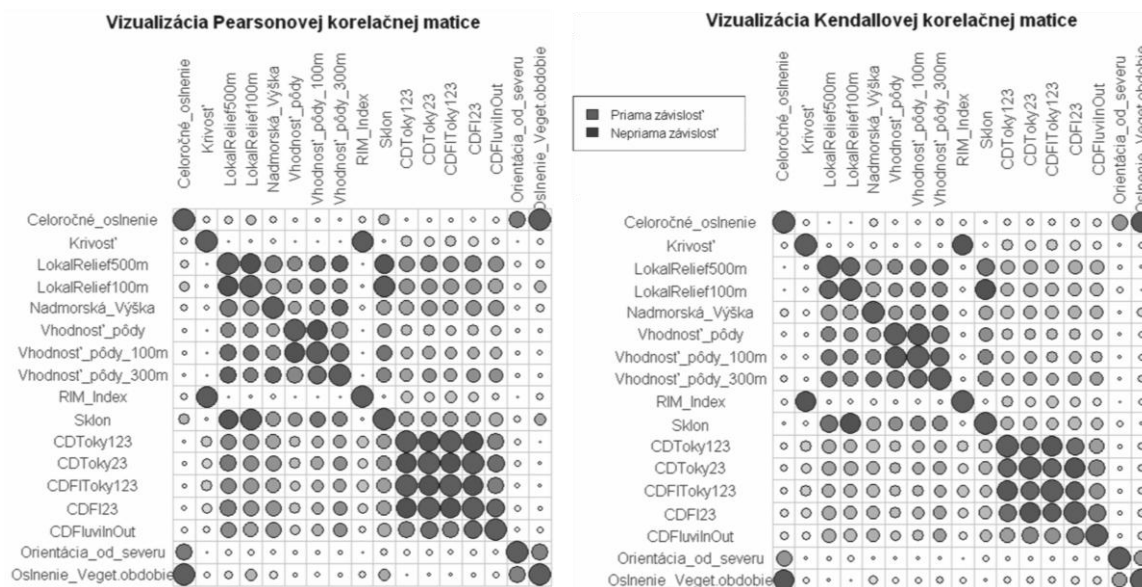
Pearsonov koeficient korelácie nadobúda len hodnoty z intervalu $\langle -1,1 \rangle$. Hodnoty ležiace pri okrajoch intervalu pritom svedčia o vysokej lineárnej závislosti medzi premennými. V prípade viac ako dvoch premenných používame tzv. Pearsonovu korelačnú maticu, ktorá má na pozícii (i, j) Pearsonov koeficient korelácie premenných X_i a X_j .

Kendallov koeficient korelácie

Niektoré javy a premenná nemusia byť v priamom lineárnom vzťahu, môžu byť vo vzťahu nelineárnom. V tomto prípade by Pearsonov koeficient korelácie nadobúdal hodnoty blízke nule, premenné sú napriek tomu v určitom vzťahu. Výhodiskom je použitie Kendallovho koeficientu korelácie.

Podobne ako pri Pearsonovom koeficiente korelácie, aj Kendallov koeficient korelácie nadobúda hodnoty z intervalu $\langle -1,1 \rangle$, pričom krajné hodnoty svedčia o veľmi silnej závislosti medzi premennými. Kendallov korelačná matica je potom definovaná analogicky ako Pearsonova.

Získané hodnoty korelačného koeficientu sme vizuálne znázornili vo forme korelačnej matice (Obrázok 4-3), pričom na vyjadrenie priamej závislosti bola použitá červená farba a na vyjadrenie nepriamej závislosti modrá farba, čím je závislosť výraznejšia, tým je väčší krúžok.



Obrázok 4-3 Vizualizácia Personovej (vľavo) a Kendallovej (vpravo) korelačnej matice

4.3.4 Zhodnotenie výsledkov štatistických analýz vybraných vrstiev

Na základe výsledkov testovania *rozdielov štatistických rozdelní* sme sa rozhodli vylúčiť vrstvy celoročného oslnenia reliéfu, expozície a RIM indexu. Tieto vrstvy mohli byť ovplyvnené tým, že značná časť uzemia s veľkým výskytom známych lokalít sa nachádza v rovinatej oblasti.

Skúmanie *vzájomnej korelácie* poukázalo na veľkú koreláciu navzájom podobných javov, ako sú vzdialenosti od vodných tokov a fluviálnych usadenín a ich kombinácie, lokálneho reliéfu v okruhu 100 m a 500 m a oslnenia reliéfu celoročného a vo vegetačnom období. Táto závislosť je logická a očakávaná vzhľadom na to, že uvedené vrstvy majú spoločný základ a vzájomne sa líšia len v parametroch.

Na základe výsledkov týchto foriem testovania boli v konečnom dôsledku vybrané len parametre „Sklon reliéfu“, „Nákladová vzdialenosť k hraniciam fluviálnych usadenín“, „Nákladová vzdialenosť k veľkým a stredným tokom“ (za predpokladu že tieto vrstvy predstavujú vzájomnú alternatívu). Vybrané vrstvy spĺňajú podmienky vplyvu na výskyt archeologických lokalít, majú zo všetkých parametrov najvýraznejší vplyv a nie sú vzájomne korelované.

4.4 Štatistické testovanie pôdných typov

Vzhľadom na to, že dáta o pôdach sú prevažne nominálneho (kategorického) charakteru, nebolo možné prikrčiť k ich testovaniu všetkými uvedenými metódami. Z metód testovania štatistických rozdelení bola aplikovateľná jedine metóda *Pearsonovho Chi-kvadrát testu dobrej zhody*. Výsledky testov sú uvedené v (Tabuľka 4-1). Testy preukázali zamietnutie hypotézy **H0: Lokality a krajina sa svojimi vlastnosťami neodlišujú** vo všetkých prístupoch k analyzovaniu pôd na vysokej hladine významnosti. Teda sa potvrdil predpoklad, že pôdy a pôdne typy mali vplyv na voľbu umiestnenia lokalít.

V prípade určenia miery rozdielnosti nebolo možné použiť koeficient koncentrácie. Pristúpili sme preto k testovaniu pomocou rozdielu distribúcií, kde platí pravidlo, že čím je rozdiel vyšší, tým výraznejší vplyv mal daný jav na výskyt lokalít.

Celkové zhrnutie analýz pôd na základe rozdielov distribúcie (váhy) je uvedené v nasledovnej tabuľke (Tabuľka 4-3).

Tabuľka 4-3: Rozdiel distribúcií (váh) pre jednotlivé prístupy a okruhy

	Na lokalite	okruh 100 m	okruh 500 m	okruh 1000 m
Pôdy vhodnosť (expertný odhad)	0.2891	0.2706	0.3517	0.1596
Pôdny typ (produkčný potenciál)	0.5191	0.5023	0.3422	0.4525
Pôdny typ (najväčšie zastúpenie v okolí)	0.5191	0.5233	0.5241	0.448

Z výsledkov vyplýva, že najnižší vplyv (váhu) by malo určenie vhodnosti pôdy na základe expertného odhadu (EO), kde sa najviac prejavuje v okolí 500 m. Hodnotenie na základe produkčného potenciálu už prinieslo vyšší vplyv. Tento prístup sme sa napriek tomu rozhodli vylúčiť vzhľadom na jeho výlučne súčasný prístup.

Najvyšší rozdiel distribúcií sa prejavuje pri prístupe založenom na skúmaní najväčšieho zastúpenia pôdneho typu v okolí (majority) a to konkrétne v okruhu 500 m.

Celkovo je problematika pôd v predikčnom modelovaní oblasťou, ktorá si vyžaduje zvýšenú pozornosť. Vplyv pôd a ich blízkosti má určité vplyv na voľbu lokality, problematický môže byť ale prístup k spracovaniu týchto dát (napríklad riešenie podmienky „na vhodných pôdach a v ich blízkosti“). Problematické môžu byť aj samotné dáta o pôdach. Z časového hľadiska pôdy nepredstavujú invariantu, ale zložku, ktorá sa vyvíja a mení v čase.

5 Návrh analytického archeologického predikčného modelu

Pri tvorbe predikčného modelu sme sa rozhodli testovať viacero prístupov od čisto deduktívneho (založeného na expertnom odhade, skúsenostiach z terénu, zmienkach v literatúre a konzultáciách s archeológmi) až po čisto induktívny prístup (založený len na výsledkoch priestorových analýz a ich štatistickom spracovaní).

Cieľom dizertačnej práce je vytvoriť APM so zameraním na pragmatické účely (ochrana kultúrno – historického dedičstva) a na predikciu lokalít s pravdepodobnosťou výskytu archeologického nálezu všeobecne. Preto sme sa zoberali celým časovým úsekom od praveku až po stredovek.

Pri tvorbe APM v prostredí GIS vo všeobecnosti používame operácie prekrytia nad rastrovými vrstvami. Tieto vrstvy sú väčšinou odvodené z pôvodných dát na základe induktívneho, alebo deduktívneho prístupu. Dôležité je správne identifikovať a určiť parametre týchto vrstiev, a to vo forme stanovenia jednotlivých kategórií (tried) vo vnútri vrstvy, stanovenia váhy vrstvy, ako aj jej celkového vplyvu.

Pomocou geoprocených modelov, skriptov v štatistickom softvéri R a makier v programe MS Excel sme vytvorili viacero variantov APM so zameraním na automatizáciu výpočtových procesov. Mnohé z verzií APM možno diferencovať len na základe minimálnych odlišností vo výpočtových a kombinačných postupoch.

5.1 Tvorba archeologického predikčného modelu založená na dvojhodnotovej logike

Prístup založený na dvojhodnotovej logike vychádza z princípu, že daný jav v krajine je rozdelený na dve kategórie a to 1 – vhodný, 0 – nevhodný.

V prípade archeologického predikčného modelovania takto môžeme jednoducho modelovať a riešiť úlohy ako: „lokality sa nachádzajú do 300 m od vodných tokov“, „lokality sa nachádzajú na J a JZ svahoch“ a pod. Práve preto sa tento prístup využíva najviac v deduktívne tvorených modeloch, kedy parametre týchto analýz môžu byť stanovené na základe EO

Počas riešenia APM sme sa rozhodli overiť riešenie niektorých takto postavených tvrdení, a to vo forme deduktívneho prístupu k predikčnému modelovaniu. Vychádzali sme zo všeobecných predpokladov založených na početných zmienkach v literatúre, skúsenosti z praxe a konzultácií s archeológmi. Zamerali sme sa na tieto úvahy:

- Lokality sa nachádzajú väčšinou do 300 m od vodných tokov.
- Ako alternatívny predpoklad sme zvolili hypotézu, že lokality sa nachádzajú v blízkosti hraníc záplavových zón (v našom prípade hraníc fluviaálnych usadenín).
- Lokality sa nachádzajú na miernom svahu.
- Pre výskyt lokalít je dôležitá prítomnosť vhodných pôd.

Pomocou funkcie reklasifikácie sme vytvorili nasledujúce binárne rastrové vrstvy:

- T - vrstva nákladovej vzdialenosti od veľkých a stredných tokov do 4 minút chôdze (na rovine pri predpokladanej rýchlosti chôdze 5 km/h to predstavuje cca. 333 m).
- F - vrstva nákladovej vzdialenosti k hraniciam fluviaálnych usadenín do 4 minút chôdze (v zmysle vzdialenosti z vnútornej aj vonkajšej časti nivy).
- S - vrstva sklonu reliéfu do 6° .
- P - vrstva najvhodnejších pôd na základe EO (kategória č. 5 a č. 6).

V deduktívnom prístupe je možné určiť váhy len EO. V našom prípade sme použili jednotkové (rovnocenné váhy) $W_T = W_F = W_S = W_P = 1$. Vychádzali sme pri tom z dostupných zdrojov, napr. (Goláň, 2003), (Dresler, Macháček, 2008), kde uvedené váhy týchto vrstiev sú prevažne rovnocenné. Vytvorili sme štyri verzie APM, založené na deduktívnom prístupe (vyjadrené písmenom „d“ v názvoch modelov):

- APM d1 – kombinácia vzdialenosti k veľkým a stredným tokom, sklonu reliéfu a vhodných pôd.
- APM d2 - kombinácia vzdialenosti k veľkým a stredným tokom a sklonu reliéfu. Pre jeho tvorbu platí:
- APM d3 – kombinácia vzdialenosti k hraniciam fluviaálnych usadenín, sklonu reliéfu a vhodných pôd. Pre jeho tvorbu platí:
 - APM d4 – kombinácia vzdialenosti k hraniciam fluviaálnych usadenín a sklonu reliéfu.

5.2 Tvorba archeologického predikčného modelu, založená na fuzzy logike

Do procesu rozhodovania o vhodnosti, resp. nevhodnosti lokality ako potenciálneho archeologického náleziska, vstupuje viacero parametrov (sklon reliéfu, vzdialenosť od vodných tokov, vhodnosť pôdy, vzdialenosť od fluviaálnych usadenín a pod.). Reprezentácia všetkých faktorov v sebe zahŕňa istý stupeň neurčitosti. Na elimináciu vplyvu neurčitých faktorov alebo nepresných dát môžu byť všetky parametre modelované prostredníctvom vhodne stanovených fuzzy množín.

Pri multikriteriálnom rozhodovaní v GIS často používame základné operácie s množinami, medzi ktoré patrí prienik, zjednotenie a doplnok množiny. V prípade práce s ostrými množinami sú tieto výrokové operácie známe z dvojhodnotovej booleovskej algebry.

Na rozdiel od operátorov booleovskej logiky je ich zovšeobecnenie pre fuzzy množiny definované viacerými rôznymi spôsobmi. Fuzzy prienik (konjunkcia) je definovaný pomocou tzv. triangulárnych noriem (t-noríem) a fuzzy zjednotenie (disjunkcia) pomocou triangulárnych konoríem (t-konoríem) (Navara, Olšák, 2002).

Pre aplikáciu fuzzy prístupov je potrebné poznať tvar a priebeh funkcií príslušnosti, ktorý môžeme stanoviť na indukčnom základe, t.j. vychádzať z výsledkov priestorových analýz a štatistického spracovania. Druhou alternatívou je ich deduktívne určenie na základe predpokladaných vlastností, expertného odhadu alebo skúseností, pričom práve fuzzifikácia

nám môže takýto odhad lepšie a hodnovernejšie kvantifikovať. Pri analytickom prekryvaní vrstiev je tiež potrebné poznať vlastnosti fuzzy operátorov a voliť ich s ohľadom na vlastnosti a povahu skúmaného javu. Zamerali sme sa na porovnania rozdielu v použití dvojhodnotovej logiky (kapitola 5.3) a fuzzy logiky v prípade aplikácie deduktívneho prístupu. Možnosti modelovania založenom na kombinácii deduktívneho a induktívneho prístupu sú bližšie uvedené v (Ďuračiová a kol., 2011) a (Lieskovský a kol., 2011).

Podkladové vrstvy reprezentujú rozhodovacie kritériá vhodnosti lokality ako archeologického náleziska. Pre potenciálne archeologické nálezisko potom platí:

1. nachádza sa na vhodnom type pôdy,
2. v primeranej vzdialenosti od fluvialných usadenín,
3. na miernom svahu.

Na základe vyššie uvedených skutočností môžeme pre každú kombináciu vstupných vrstiev zo záujmového územia vytvoriť štyri verzie APM:

- APM d_FM – fuzzy deduktívny, prienik T_M (minimová t-norma),
- APM d_FS – fuzzy deduktívny, prienik T_P (súčinová t-norma),
- APM d_FL – fuzzy deduktívny, prienik T_L , (Łukasiewiczova t-norma)
- APM d_FW – fuzzy deduktívny, agregáčna operácia h_w (vážený priemer).

5.3 Induktívny prístup založený na štatistickom základe

V predchádzajúcich kapitolách sme sa zoberali deduktívnym prístupom, pričom v rámci modelovania sú určené hodnoty (koeficient príslušnosti, booleovská hodnota) pre každú zastúpenú vrstvu na základe EO. Určenie týchto hodnôt reflektuje skúsenosti, resp. stav poznania daného javu, ich určenie však možno z matematického hľadiska pokladať za subjektívne.

V prípade matematicko – štatistických (induktívnych) prístupov sa snažíme túto hodnotu odvodiť na základe skúmania hodnôt daných javov na známych lokalitách.

Na určenie vplyvu danej triedy na prítomnosť lokalít sme použili dáta zistené na známych archeologických lokalitách a na náhodne rozmiestnených bodoch v krajine (kapitola 4.4). Pri kvantifikovaní vplyvu danej triedy sme pritom použili premennú nazvanú „index významnosti“. Aplikovali sme pritom dva prístupy k jej výpočtu:

Podielový index významnosti:

Tento index je založený na vzťahu (Kuna, 2008), (Leusen a kol., 2005):

$$I_P = p_a / p_k \quad (5.37)$$

kde I_P predstavuje podielový index významnosti,

p_a je relatívna početnosť archeologických lokalít na danom jave (triede javu),

p_k je relatívna početnosť daného javu v celom záujmovom území.

Rozdielový index významnosti:

Vychádza zo vzťahu napr. (Leusen a kol., 2005):

$$I_R = p_a - p_k \quad (5.39)$$

kde I_R predstavuje rozdielový index významnosti (RIV),

p_a je relatívna početnosť archeologických lokalít na danom jave (triede javu),

p_k je relatívna početnosť daného javu v krajine (záujmovom území)..

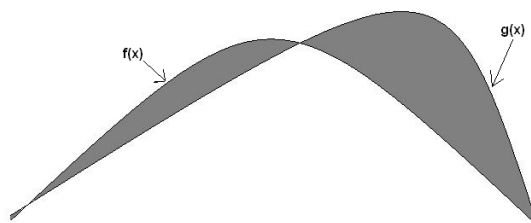
Pri archeologickom predikčnom modelovaní sa dá predpokladať, že pri voľbe lokality nie všetky vrstvy mali rovnakú váhu. Pri tvorbe APM je potrebné túto skutočnosť zohľadniť.

Induktívne stanovenie váh sme vykonali pomocou postupu navrhnutého na základe konzultácií s Mgr. Miroslavom Sabom z Katedry matematiky a deskriptívnej geometrie na SvF STU v Bratislave. Tento postup spočíva v porovnaní odlišností dvoch distribúcií javu na

lokalitych $f(x)$ a javu v krajine $g(x)$. Vychádzame z predpokladu, že čím viac sú tieto dve distribúcie odlišné, tým mal daný jav väčší vplyv na voľbu lokality. Koeficient odlišnosti dvoch rozdelení definujeme nasledovným spôsobom:

$$w(f, g) = \int_{-\infty}^{\infty} |f(x) - g(x)| dx \quad (5.40)$$

Názorne ho môžeme ilustrovať na (Obrázok 5-1)



Obrázok 5-1 Všeobecný rozdiel distribúcií javu na lokalitách a javu v krajine

Takto vypočítané váhy uvádzame v (Tabuľka 5-1).

Tabuľka 5-1 Váhy pre jednotlivé vrstvy

Názov vrstvy	Váha
Nákladová vzdialenosť od veľkých a stredných vodných tokov	0.588
Nákladová vzdialenosť od hraníc fluvialnych usadenín	0.843
Sklon reliéfu	0.376
Najväčšie zastúpenie pôdneho typu v okruhu 500 m	0.5241

Vytvorili štyri verzie APM, každý v dvoch variantoch:

- APM i1 PIV – kombinácia vzdialenosti k veľkým a stredným tokom, sklonu reliéfu a pôdnych typov najviac zastúpených v okruhu 500 m s aplikáciou PIV.
- APM i1 RIV – kombinácia vzdialenosti k veľkým a stredným tokom, sklonu reliéfu a pôdnych typov najviac zastúpených v okruhu 500 m s aplikáciou RIV.
- APM i2 PIV - kombinácia vzdialenosti k veľkým a stredným tokom a sklonu reliéfu s aplikáciou PIV.
- APM i2 RIV - kombinácia vzdialenosti k veľkým a stredným tokom a sklonu reliéfu s RIV.
- APM i3 PIV – kombinácia vzdialenosti k hraniciam fluvialnych usadenín, sklonu reliéfu a pôdnych typov najviac zastúpených v okruhu 500 m s aplikáciou PIV.
- APM i3 RIV – kombinácia vzdialenosti k hraniciam fluvialnych usadenín, sklonu reliéfu a pôdnych typov najviac zastúpených v okruhu 500 m s aplikáciou RIV.
- APM i4 PIV – kombinácia vzdialenosti k hraniciam fluvialnych usadenín a sklonu reliéfu s aplikáciou PIV.
- APM i4 RIV – kombinácia vzdialenosti k hraniciam fluvialnych usadenín a sklonu reliéfu s aplikáciou RIV.

Pristúpili sme preto aj k alternatívnemu induktívnemu spracovaniu modelov s predpokladom všeobecného vplyvu vrstiev. K tomuto rozhodnutiu nás vedie aj to, že v prípade pre jednotlivé vrstvy máme stanovené váhy, pričom ich škála je dosť rozdielna. V prípade sklonu reliéfu je váha určená na 0.376, pre nákladovú vzdialenosť od hraníc

fluviálnych usadenín je váha až 0.847 (tabuľka 5-1). Tým sa môžu čiastočne kompenzovať nedostatky z označenia vplyvu jednotlivých vrstiev za všeobecný.

Obdobne sme preto znova vytvorili štyri verzie APM, každý znova v dvoch variantoch. Pričom modely sme označili ako APM neredukované (APM NR)

5.4 Validácia archeologických predikčných modelov

Zmysluplnému použitiu APM v praxi by malo bezpodmienečne predchádzať ich overenie na vybranej vzorke dát a ich následné zhodnotenie – validácia.

Samotná validácia môže byť realizovaná dvoma spôsobmi:

1. formou interného (testovanie vnútornej presnosti vychádzajúce z toho istého súboru dát, z ktorého bol vygenerovaný výsledný APM),
2. formou externého testu (hodnotenie spoľahlivosti predikcie na základe nezávislej vzorky dát).

Proces validácie klasifikácie je vo všeobecnosti založený na evaluácii zatriedenia, ktorá požaduje existenciu vzorky dát so známymi výsledkami klasifikácie. V praxi to znamená, že je potrebné mať dáta o lokalitách, pri ktorých poznáme zastúpenie alebo absenciu daného javu (výskyt archeologických nálezov) na nich. V DB archeologických lokalít máme k dispozícii dáta o známych archeologických lokalitách, avšak absentujú informácie o negatívnych záznamoch, čo výrazne obmedzuje možnosti aplikácie štandardných metód validácie (napr. klasifikačnej chybovej matice a výpočtu Cohenovho indexu κ (Ivanová, 2007)).

Jedna s nami navrhovaných metód validácie APM určenie „efektivity APM“, ktorú môžeme zdefinovať funkciou:

$$e = \frac{l_v}{k_v} - \frac{l_n}{k_n}, \quad (6.01)$$

kde:

l_v je % testovaných archeologických lokalít, ktoré boli príslušným APM identifikované na „území s vysokou vhodnosťou“,

l_n je % testovaných archeologických lokalít, ktoré boli príslušným APM identifikované na „území s nízkou vhodnosťou“,

k_v je % záujmovej oblasti, ktorá je APM klasifikovaná v kategórii „územie s vysokou vhodnosťou“,

k_n je % záujmovej oblasti, ktorá je APM klasifikovaná v kategórii „územie s nízkou vhodnosťou“.

Pre e platí, že čím je hodnota, ktorú nadobúda, vyššia, tým je predikcia efektívnejšia.

Ďalšou možnosťou je napr. výpočet koeficientu koncentrácie K_k , ktorý je daný Lorentzovou krivkou, a pre ktorý tiež platí, že jeho vyššie hodnoty zodpovedajú efektívnejšej predikcii.

Návrh metódy komplexnej validácie APM bude predmetom ďalšieho výskumu, pretože klasické metódy hodnotenia klasifikácie nie je možné použiť vzhľadom na charakter archeologických záznamov na Slovensku, v ktorých absentujú informácie o lokalitách s negatívnym výsledkom prieskumov.

Výsledky APM tvorených s použitím binárnej logiky (Kapitola 5.1) sú uvedené v (Tabuľka 5-2)

Tabuľka 5-2 Výsledky testovanie APM tvorených s použitím binárnej logiky

TEST	Model	Percentuálne zastúpenie				index významnosti		Efekt.	Koeficient koncentrácie
		Vysoká vhodnosť		Nízka vhodnosť		Vysoká vhodnosť	Nízka vhodnosť		
		lokality [%]	krajina [%]	lokality [%]	krajina [%]				
Int.	APM d1	24	16	76	84	1.50	0.90	0.60	7.38
	APM d2	41	25	59	75	1.64	0.79	0.85	15.35
	APM d3	26	10	74	90	2.60	0.82	1.78	16.31
	APM d4	45	16	55	84	2.81	0.65	2.16	28.45
Ext.	APM d1	35	16	65	84	2.19	0.77	1.41	18.50
	APM d2	55	25	45	75	2.20	0.60	1.60	29.62
	APM d3	30	10	70	90	3.00	0.78	2.22	20.47
	APM d4	53	16	47	84	3.31	0.56	2.75	36.00

Výsledky testov poukazujú na nízku predikčnú schopnosť takto zjednodušené postavených modelov.

Výsledky testovania APM tvorených pomocou fuzzy logiky uvádzame v (tabuľke 5.3),

Tabuľka 5-3 Výsledky testovanie APM tvorených s použitím fuzzy logiky

TEST	Model	Percentuálne zastúpenie				index významnosti		Efekt.	Koeficient koncentrácie
		Vysoká vhodnosť		Nízka vhodnosť		Vysoká vhodnosť	Nízka vhodnosť		
		lokality [%]	krajina [%]	lokality [%]	krajina [%]				
Int.	APM d_FM	37	13	49	80	2.85	0.61	2.23	31.65
	APM d_FS	35	12	49	80	2.92	0.61	2.30	31.80
	APM d_FL	34	12	53	82	2.83	0.65	2.19	29.42
	APM d_FW	50	19	55	80	2.63	0.69	1.94	31.75
Ext.	APM d_FM	35	13	45	80	2.69	0.56	2.13	35.89
	APM d_FS	35	12	45	80	2.92	0.56	2.35	35.97
	APM d_FL	35	12	52	82	2.92	0.63	2.28	30.90
	APM d_FW	55	19	45	80	2.89	0.56	2.33	35.87

Pri hodnotení výsledkov sme sa v tomto prípade zamerali na vplyv aplikácie jednotlivých fuzzy logických operátorov (t-noriem) na výsledky predikcie. Z tabuľky vyplýva, že najhoršie výsledky dosahuje Łukasiewiczova t-norma (APM d_FL), a to pre jej príliš reduktívny charakter. Vzhľadom na to, že fuzzy prístup prináša prirodzenejší spôsob modelovania rozhodovacích kritérií ako ostrý (binárny) prístup, modely vytvorené na základe takéhoto prístupu vedú k vyššej efektívnosti predikcie.

Nižšia efektívnosť APM založených na deduktívnom prístupe v našom prípade spočíva vo veľkom percente lokalít, ktoré boli predikované na územiach s nízkou vhodnosťou. Príčiny treba hľadať v nízkom nastavení hraníc jednotlivých tried, ako aj v logickom predpoklade výlučného vplyvu vrstiev, pričom tieto príčiny navzájom úzko súvisia.

Význam binárnej logiky, resp. deduktívneho prístupu v archeologickom predikčnom modelovaní je napriek uvedeným vlastnostiam opodstatnený. Oba prístupy sú úspešne aplikované v praxi, pri vytváraní APM na základe archeologických teórií a poznatkov z praxe. Úspešným príkladom predikcie môže byť napr. (Danielisová, 2008b).

Výsledky testovania APM založených na indukčnom prístupe s uvážením výlučného vplyvu vrstiev môžeme zhrnúť do (Tabuľka 5-4).

Z uvedených výsledkov vyplýva, že indukčný prístup v našom prípade poskytuje najlepšie výsledky a kvalitu predikcie archeologických lokalít.

Stále je však prítomné značné množstvo nesprávne predpovedaných lokalít (vyskytujú sa na územiach, ktoré sme označili za nevhodné). Je to podmienené viacerými faktormi, pričom za hlavný môžeme označiť ponímanie vstupných vrstiev ako výlučných. Výsledky testovania APM, ktoré boli tvorené s uvažovaním všeobecného vplyvu váh, sú uvedené v (Tabuľka 5-5)

Tabuľka 5-4 Výsledky testovania APM tvoreného indukčným prístupom s výlučným vplyvom vrstiev

TEST	Model	Percentuálne zastúpenie				index významnosti		Efekt.	Koeficient koncentrácie
		Vysoká vhodnosť		Nízka vhodnosť		Vysoká vhodnosť	Nízka vhodnosť		
		lokality [%]	krajina [%]	lokality [%]	krajina [%]				
Int.	APM i1 PIV	48	19	52	81	2.53	0.64	1.88	30.17
	APM i1 RIV	48	20	52	80	2.40	0.65	1.75	29.12
	APM i2 PIV	60	34	40	66	1.76	0.61	1.16	27.62
	APM i2 RIV	62	29	38	71	2.14	0.54	1.60	34.05
	APM i3 PIV	49	20	51	80	2.45	0.64	1.81	29.64
	APM i3 RIV	49	20	51	80	2.45	0.64	1.81	28.56
	APM i4 PIV	63	30	37	70	2.10	0.53	1.57	34.74
	APM i4 RIV	63	30	37	70	2.10	0.53	1.57	34.37
Ext.	APM i1 PIV	55	19	45	81	2.89	0.56	2.34	36.65
	APM i1 RIV	55	20	45	80	2.75	0.56	2.19	29.12
	APM i2 PIV	62	34	38	66	1.82	0.58	1.25	36.86
	APM i2 RIV	67	29	33	71	2.31	0.46	1.85	42.70
	APM i3 PIV	55	20	45	80	2.75	0.56	2.19	35.70
	APM i3 RIV	55	20	45	80	2.75	0.56	2.19	35.32
	APM i4 PIV	70	30	30	70	2.33	0.43	1.90	42.58
	APM i4 RIV	70	30	30	70	2.33	0.43	1.90	42.95

Tabuľka 5-5 Výsledky testovania APM tvoreného indukčným prístupom s všeobecným vplyvom vrstiev

TEST	Model	Percentuálne zastúpenie				index významnosti		Efekt.	Koeficient koncentrácie
		Vysoká vhodnosť		Nízka vhodnosť		Vysoká vhodnosť	Nízka vhodnosť		
		lokality [%]	krajina [%]	lokality [%]	krajina [%]				
Int.	APM NR i1 PIV	76	45	24	55	1.69	0.44	1.25	38.54
	APM NR i1 RIV	72	44	28	56	1.64	0.50	1.14	33.27
	APM NR i2 PIV	76	49	24	51	1.55	0.47	1.08	26.68
	APM NR i2 RIV	67	43	16	40	1.56	0.40	1.16	30.13
	APM NR i3 PIV	67	31	24	59	2.16	0.41	1.75	40.64
	APM NR i3 RIV	69	33	15	43	2.09	0.35	1.74	41.32
	APM NR i4 PIV	72	34	20	58	2.12	0.34	1.77	45.66
	APM NR i4 RIV	67	31	20	53	2.16	0.38	1.78	42.15
Ext.	APM NR i1 PIV	77	45	23	55	1.71	0.42	1.29	37.76
	APM NR i1 RIV	67	44	33	56	1.52	0.59	0.93	32.03
	APM NR i2 PIV	80	49	20	51	1.63	0.39	1.24	30.70
	APM NR i2 RIV	70	43	13	40	1.63	0.33	1.30	38.30
	APM NR i3 PIV	75	31	20	59	2.42	0.34	2.08	46.11
	APM NR i3 RIV	75	33	10	43	2.27	0.23	2.04	49.86
	APM NR i4 PIV	75	34	18	58	2.21	0.31	1.90	49.31
	APM NR i4 RIV	70	31	20	53	2.26	0.38	1.88	44.35

V prípade modelov s uvážením všeobecného vplyvu vrstiev sa výrazne znížil počet lokalít, ktoré sa nachádzajú na miestach označených za nevhodné. Toto zlepšenie sa prejavilo na úkor efektivity modelu, pretože takto boli generované aj pred tým vylúčené a maskované plochy vzniknuté „šumom“. Na jeho vzniku sa podieľa viacero faktorov, napríklad nezohľadnenie rozdielu medzi rôznymi typmi lokalít (hlavne výšinných lokalít v extrémnych polohách), nepresnosť archeologických a priestorových dát a pod. Je to spôsobené tým, že induktívny prístup skúma dáta „tak ako sú“, bez zohľadnenia predpokladaných a prirodzených vlastností daného javu.

5.5 Zhodnotenie procesu tvorby archeologického predikčného modelu na území Slovenska

Na základe skúseností z návrhu konceptuálneho modelu APM, tvorby a fyzickej realizácie DB môžeme skonštatovať, že celý proces je výrazným spôsobom komplikovaný stavom a dostupnosťou priestorových dát na Slovensku

Značný problém predstavuje stav evidencie archeologických dát na Slovensku, ktorý je nevyhovujúci a zastaraný. Lokalizácia je prevádzaná bodovým spôsobom, bez priestorového rozčlenenia jednotlivých komponent. Presnosť lokalizácie archeologických lokalít ich v takmer 50% vylučuje zo zmysluplného použitia na priestorové analýzy (stupeň lokalizácie 2 a 3), pre analýzy na úrovni veľkých a stredných mierok (mikroregióny a regióny) je nie vždy postačujúci aj stupeň lokalizácie 1 (+/- 50 m). Tento problém je možné eliminovať geodetickým zameriavaním nových lokalít, resp. preverovaním a opakovaným zameraním existujúcich lokalít, čo prináša dodatočné finančné a časové náklady. Chýba aj priestorovo systematický zber dát (vzorkovanie krajiny), čím sa komplikuje situácia pri hodnotení priestorových analýz štatistickými metódami. Vzhľadom na uvedené skutočnosti odporúčame tvorbu univerzálnych APM pre pragmatické účely na úrovni stredných mierok (cca. 1 : 50 000), pričom takto je možné identifikovať informačne podhodnotené územia, resp. v prípade v kombinácii s územnými plánmi identifikovať potenciálne ohrozené územia, kde je potrebné tvoriť individuálne predikčné modely (na úrovni mikroregiónov) na základe predstihových prieskumov a zo zohľadnením lokálnych a sociálnych faktorov. Tieto predstihové prieskumy by bolo vhodné vykonávať formou povrchového zberu so systematickým vzorkovaním krajiny, leteckej archeológie a dopĺňaním dát zo zdrojov, ako sú historické mapy, prípadne služby ako Google Earth alebo Bing Maps.

Archeologické predikčné modely je nevyhnutné pred nasadením v praxi podrobiť validácii, za ideálny stav sa dá pokladať, ak je validácia zložená na lokalitách, ktoré nijakým spôsobom nevstupovali do procesu tvorby APM. V prípade výlučne deduktívneho prístupu to môžu byť všetky lokality nachádzajúce sa na ZÚ, v prípade induktívneho prístupu musí byť na tento účel vyčlenená vzorka externých testovacích lokalít, resp. previesť validáciu modelu prieskumom priamo v teréne. Objektívnu validáciu APM komplikuje neprítomnosť údajov o negatívnych výsledkoch terénnych aktivít, preto je nevyhnutné do budúcnosti zhromažďovať informácie aj o nich.

Na základe výsledkov testovania, ktoré preukazujú dobrú zhodu medzi externými a internými archeologickými dátami boli vybrané tri finálne APM:

1. APM NR i4 PIV - štatistický neredukovaný induktívny archeologický predikčný model s použitím podielového indexu významnosti. Kombinuje faktory sklonu a nákladovej vzdialenosti k hraniciam fluvialných usadenín. Použitie modelu odporúčame pri požiadavke čo najkvalitnejšej predikcie archeologických lokalít s akceptovaním časovo aj výpočtovo náročného spracovania.

2. APM NR i3 RIV - štatistický neredukovaný induktívny archeologický predikčný model s použitím rozdielového indexu významnosti. Kombinuje faktory sklonu, nákladovej vzdialenosti k hraniciam fluviálnych usadenín a najväčšieho zastúpenia pôdnych typov v okruhu 500 m. Použitie modelu odporúčame pri pevne stanovenej požiadavke zakomponovania vhodnosti pôdnych typov do archeologickej predikcie.
3. APM d FM - fuzzy deduktívny archeologický predikčný model s použitím minimovej t-normy. Kombinuje faktory sklonu a nákladovej vzdialenosti k hraniciam fluviálnych usadenín. Na predikciu archeologických lokalít používa fuzzy prístup na podklade expertného odhadu. Použitie modelu odporúčame pri nedostatku vstupných informácií o archeologických lokalitách.

6 Prínos pre vednú disciplínu a prax

Na Slovensku zatiaľ problematika predikčného modelovania nebola komplexne skúmaná. Vzhľadom na potenciál GIS, priestorovej archeológie a aj archeologických predikčných modelov pri ochrane kultúrno – historického dedičstva, je potrebné preskúmať možnosti aplikovania týchto prístupov s ohľadom na špecifiká regiónu aj na dostupné priestorové a archeologické dáta.

Cieľom práce bolo vytvorenie pilotného archeologického predikčného modelu so zameraním na pragmatické účely (ochrana kultúrno – historického dedičstva).

Samotný *prínos dizertačnej práce pre vednú disciplínu a prax* vyplýva zo splnenia stanoveného cieľa a možno ho špecifikovať nasledovne:

- Návrh konceptuálnej štruktúry APM s ohľadom na špecifické podmienky na Slovensku s využitím štandardných nástrojov interoperability ako sú UML a CASE nástroje.
- Fyzická realizácia priestorovej DB v súlade s navrhnutým konceptuálnym APM ako aj s archeologickou DB CEANS.
- Analýza viacerých variantov DMR (ASTER GDEM, SRTM, DMR zo ZM 10) z pohľadu ich použitia na účely archeologickej predikcie.
- Analýza možností a návrh metodiky rekonštrukcie siete historických vodných tokov.
- Analýza stavu archeologických údajov na Slovensku a návrh odporúčaní na zvýšenie ich kvality.
- Zhodnotenie relevantnosti rôznych typov priestorových analýz (analýza morfológie reliéfu, analýza nákladových vzdialeností, analýza vhodnosti pôd) na účely archeologického predikčného modelovania na základe ich štatistického testovania.
- Overenie možnosti implementácie fuzzy logiky v archeologickom predikčnom modelovaní.
- Návrh metodiky tvorby APM s ohľadom na jeho ďalšie použitie a konkrétne požiadavky používateľov založený na kombinácii viacerých prístupov.
- Zostavenie zásad a podmienok validácie APM
- Vytvorenie 3 finálnych variantov APM vhodných na predikciu archeologických lokalít v regionálnom rozsahu s ohľadom na účel a podmienky ich použitia.

Zoznam použitej literatúry a citovaných zdrojov

- ANDRÍSEK, E. (2008):** *Analýza sídelných areálov doby železnej a doby rímskej v Liptovskej kotline*. Diplomová práca, Filozofická fakulta UKF, Nitra.
- BIELEK, P., ŠURINA, B., ILAVSKÁ, B., VILČEK, J. (1998):** *Naše pôdy (poľnohospodárske)*. Výskumný ústav pôdnej úrodnosti, Bratislava, ISBN 80-85361-42-6.
- BUJNA, J., KUZMA, I., JENIS, J. (1993):** *CEANS – Centrálna evidencia archeologických nálezísk na Slovensku – Projekt systému*. In: Slovenská archeológia XLI 2. AÚ SAV, Nitra, s. 367-386. ISSN 1335 – 0102.
- DANIELISOVÁ, A. (2005):** *Rizika, charakter a rozsah hlavnej etapy záchranného archeologického výzkumu Archeologická pilotní studie stavby pro výstavbu golfového hřiště mezi obcemi Kbely, Vinoř a Satalice*. Archeologický ústav AV ČR, Praha, 58 s.
- DANIELISOVÁ, A. (2008):** *Oppidum České Lhotice v konxtetu svého sídelního zázemí. (The oppidum of České Lhotice and its hinterland)*. (nepubl. disertační práce, Ústav pro pravěk a ranou dobu dějinnou, FF UK), Praha., 298 s.
- DRESLER, P., MACHÁČEK, J. (2008):** *Hospodářské zázemí raně středověkého centra na Pohansku u Břeclavi*. In: J. Macháček (ed.): *Počítačová podpora v archeologii 2*. Ústav archeologie a muzeologie, Masarykova univerzita, Brno, s. 120-147. ISBN 978-80-254-1781-2.
- DRESLEROVÁ, D. (1996):** *Modelování přírodních podmínek mikroregionu na základě archeologických dat*, In: Archeologické rozhledy 48, Archeologický ústav AV ČR, Praha, s. 605-712. ISSN 0323-1267.
- ĎURAČIOVÁ, R., LIESKOVSKÝ, T., KROČKOVÁ, K., SABO, M. (2011):** *Multikriteriálne rozhodovanie pomocou fuzzy množín v prostredí GIS a jeho využitie v archeologickej predikcii*. In: Geodetický a kartografický obzor 09/2011, Český úřad zeměměřický a katastrální a ÚGKK SR v nakladatelství Vesmír s.r.o., Praha, ISSN 0016-7096 (v tlači).
- GOLÁŇ, J. (2003):** *Archeologické prediktivní modelování pomocí geografických informačních systémů : Na příkladu území jihovýchodní Moravy*. Dizertačná práca, Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta, Brno.
- IVÁNOVÁ, I. (2007):** *Modelling of the data quality in the spatial domain*. Slovak Journal of Civil Engineering, vol. XV – 2007/2. Bratislava, ISSN 1210-3896.
- KLEČKA, M. a kol. (1985):** *Bonitácia Čs. poľnohospodárskych pôd a smery jej využitia*. 1. diel. FMZVŽ, MZVŽ, MP VŽ, Praha, Bratislava.
- KÖNIG, T. (2007):** *Vývoj včasnostredovekého osídlenia dolného Váhu*. Dizertačná práca, Katedra archeológie FFUK, Bratislava.
- KUNA, M. (2004):** *Nedestruktivní archeologie. Teorie, metody a cíle*. Academia, Praha, ISBN 80-200-1216-8.
- KUNA, M. (2008):** *Analýza polohy pravěkých mohylových pohřebišť pomocí geografických informačních systémů*. In: J. Macháček (ed.): *Počítačová podpora v archeologii 2*. Ústav archeologie a muzeologie, Masarykova univerzita, Brno, s. 79-92. ISBN 978-80-254-1781-2.

- LEUSEN, M., DEEBEN, J., HALLEWAS, D., KAMERMANS, H., VERHAGEN, P., ZOETBROOD, P. (2005):** *A Baseline for Predictive Modelling in the Netherlands*. Amersfoort, p. 25-92. ISBN 90-5799-060-1
- LIESKOVSKÝ, T. (2006):** *Priestorové analýzy prehistorických objektov na mapách*. Diplomová práca, KGZA STU SvF, Bratislava.
- LIESKOVSKÝ, T., KUCHARÍK, M., HORÁK, J. (2008):** *Hodnocení dopadu výstavby paralelní dráhy letiště Praha – Ruzyně na archeologické kulturní dědictví*. Labrys, Praha.
- LIESKOVSKÝ, T., FAIXOVÁ CHALACHANOVÁ, J., ĎURAČIOVÁ, R., BLAŽOVÁ, E. (2011):** *Archeologické predikčné modelovanie z podľadu geoinformatiky*. REMPrint, s.r.o., Bratislava, 187 s. ISBN 978-80-970741-0-4.
- MADRY S. (2006):** *A GIS-Based Archaeological Predictive Model and Decision Support System for the North Carolina Department of Transportation*. In GIS and Archaeological Site Location Modeling, CRC Press Taylor & Francis Group, Boca Raton, p. 317-334 ISBN 0415315484
- MACHÁČEK, J. (ed.) (1997):** *Počítačová podpora v archeológii*. Ústav archeologie a muzeologie, Filozofická fakulta Masarykovy univerzity, Brno, 258.s. ISBN 80-210-1562
- NAVARA, M., OLŠÁK, P. (2002):** *Základy fuzzy množin*. Vydavatelství ČVUT, Praha, 136 s. ISBN 80-01-02585-3.
- NEUSTUPNÝ, E. (1995):** *Beyond GIS*. In: Lock, G., Stančíč, Z (eds.): *Archaeology and Geographical Information Systems: a European Perspective*, Taylor&Francis, London-Bristol, s. 133-139. ISBN 074840208X.
- NEUSTUPNÝ, E. (2000):** *Predikce areálů archeologického zájmu*. In memoriam Jan Rulf. - (Ed. Pavlů, I.). Archeologický ústav AV ČR, Praha, s. 319-324. ISBN: 80-86124-27-4.
- ŘEZÁČ, M (2010):** Alternativní indexy predikční síly credit scoringových modelů. In: Forum statisticum Slovaca 2/2010, Slovenská štatistická a demografická spoločnosť, Bratislava, s. 129-134. ISSN 1336-7420.
- TENCER, T. (2007):** *Geografické a archeologické priestorové dáta z územia Slovenska*. In: J. Macháček (ed.): *Počítačová podpora v archeológii 2*. Ústav archeologie a muzeologie, Masarykova univerzita, Brno, s. 181-196. ISBN 978-80-254-1781-2.
- TÓTH, P., DEMJÁN, P., GRIAČOVÁ, K (2011):** *Adaptation of settlement strategies to environmental conditions in southern Slovakia in the Neolithic and Eneolithic*. Documenta Praehistorica XXXVIII (2011). Faculty of Arts, Department of Archaeology and National and University Library, University of Ljubljana 2011.
- WIEDERMANN, E. (2003):** *Archeoenviromentálne štúdie prehistorickej krajiny*. UKF, Nitra, ISBN 80-8085-596-9.
- WILLEMS, W. J. H. (2001):** *Současný vývoj archeologické památkové péče v Nizozemí a v Evropě*. In: Archeologické rozhledy. Archeologický ústav AV ČR, Praha, vol. 53, n.3, s. 564-575. ISSN 0323-1267.
- STN 73 0401-3 (2009):** *Terminológia v geodézii a kartografii*. Časť 3: Terminológia kartografie a geografických informačných systémov, Slovenský ústav technickej normalizácie, Bratislava.
- Zákon č. 49 z 19. decembra 2001 o ochrane pamiatkového fondu. Zbierka zákonov č. 49/2002, čiastka 23, s 536-549.

Zoznam publikovaných prác z danej problematiky

LIESKOVSKÝ, T. (2006): *Priestorové analýzy prehistorických objektov*. In: Kartografické listy, 14, 2006, p. 116-120, ISBN 80-89060-08-0.

LIESKOVSKÝ, T. (2007): *Využitie geografických informačných systémov pri predikatívnom modelovaní v archeológii*, In: Zborník Juniorstav 2007, VUT Brno, 2007, ISBN 978-80-214-3337-3.

LIESKOVSKÝ, T., KÖNIG T. (2007): *Spracovanie archeologických údajov z archeologických nálezísk dolného povazia v prostredí GIS*. In: Kartografické listy, 15, 2007, p. 69-76, ISBN 80-89060-10-8.

LIESKOVSKÝ, T., KUZMA I. (2007): *Analysis of roundel visibility in GIS environment*. In: Študijné zvesti Archeologického ústavu SAV 41, 2007, ISBN 978-80-89315-00-0.

KUZMA, J., LIESKOVSKÝ, T. (2008): *Analýza viditeľnosti rondelov v prostredí GIS*. In: *Ve službách archeologie: časopis venovaný 75. narodeninám PhDr. Zlatice Čilinskej, DrSc.* ISSN 1802-5463, č. 2/2008, s. 7-13.

LIESKOVSKÝ, T., FAIXOVÁ CHALACHANOVÁ, J. (2008): *Príprava zdrojových dát na predikčné modelovanie v archeológii*. In: Zborník referátov GIS Ostrava 2008, . VŠB TU Ostrava 2008, ISBN 978-80-254-1340-1.

LIESKOVSKÝ, T., KUCHARÍK, M., HORÁK, J. (2008): *Hodnocení dopadu výstavby paralelní dráhy letiště Praha – Ruzyně na archeologické kulturní dědictví*. Labrys, Praha 2008.

LIESKOVSKÝ, T., BLAŽOVÁ, E., BARTÍK, M., FAIXOVÁ CHALACHANOVÁ, J. (2009): *Využívanie historických-vojenských máp na archeologické predikčné modelovanie*. In: zborník z konferencie „Historické mapy 2009“, Kartografická spoločnosť SR, Bratislava 2009, ISBN 978-80-89060-14-6, s. 124-132.

VAJSÁBLOVÁ, M., HUDEC, R., LIESKOVSKÝ, T. (2009): *Digitálny model reliéfu Veľkomoravského hradiska Neštich*. In: GIS V ARCHEOLÓGII, STU – Vydavateľstvo STU, Bratislava 2009, ISBN 978-80-227-3028-6.

LIESKOVSKÝ, T. (2009): Mapovanie na našom území s ohľadom na stredné Požitavie. In: Regionálny portál Požitavia, zitava.sk, ISSN 1338-4422, http://www.zitava.sk/zitava/zitava.php?page_id=historia_mapovanie_na_nasom_uzemi

FAIXOVÁ CHALACHANOVÁ, J., LIESKOVSKÝ, T., PAPČO, J., BLAŽOVÁ, E., BARTÍK, M. (2010): *Archaeological Predictive Modelling in Slovakia*, In: Fusion of Cultures. Abstracts of the XXXVIII Conference on Computer Applications and Quantitative Methods in Archeology, Granada, Spain 2010, ISBN 978-84-693-0772-4, s. 719.

LIESKOVSKÝ, T., FAIXOVÁ CHALACHANOVÁ, J., PAPČO, J., BLAŽOVÁ, E., BARTÍK, M. (2010): *Pilotný projekt archeologického predikčného modelovania na území*

Slovenska. Poster z IX. ročníku konferencie „Počítačová podpora v archeológii“, 19.-21.5.2010, Litomyšl 2010, ČR (zborník dosiaľ nevydaný).

LIESKOVSKÝ, T. (2010): *Aplikácia GIS pri ochrane kultúrneho dedičstva*. In: Zborník z konferencie „XVI. Medzinárodné SK-PL-CZ geodetické dni“, Tatranská Lomnica 13.-15.5.2010. Slovenská spoločnosť geodetov a kartografov, Bratislava 2010, s. 37. ISBN 978-80-969692-5-8.

STOPKOVÁ, E., LIESKOVSKÝ, T. (2010): *Možnosti publikovania archeologických dát vo webovom prostredí*. In: GIS v archeológii 2010: Zborník z medzinárodnej konferencie „GIS v archeológii 2010“, Nitra 25.-26.11.2010. Archeologický ústav SAV, Nitra 2010, s. 155-162, ISBN 978-80-89315-25-3.

VAJSÁBLOVÁ, M., ĎURAČIOVÁ, R., LIESKOVSKÝ, T., DURDOVANSKÝ, T. (2010): *Transformácie dát medzi súradnicovými systémami používanými na území Slovenska v prostredí GIS*. In: Kartografické listy 2010 : Ročenka Kartografickej spoločnosti SR, ročník 18 (2010). - Bratislava : Kartografická spoločnosť SR. - ISSN 1336-5274. - ISBN 978-80-89060-16-0. - S. 105-116.

LIESKOVSKÝ, T., FAIXOVÁ CHALACHANOVÁ, J., ĎURAČIOVÁ R., BLAŽOVÁ, E. (2011): *Archeologické predikčné modelovanie z pohľadu geoinformatiky*. Bratislava 2011, REMPrint s.r.o., 187 s., ISBN 978-80-970741-0-4.

ĎURAČIOVÁ, R., LIESKOVSKÝ, T., KROČKOVÁ, K., SABO, M. (2011): *Multikriteriálne rozhodovanie pomocou fuzzy množín v prostredí GIS a jeho využitie v archeologickej predikcii*. In: Geodetický a kartografický obzor 09/2011, Český úřad zeměměřický a katastrální a ÚGKK SR v nakladatelství Vesmír s.r.o., Praha 2011, ISSN 0016-7096 (v tlači).

BLAŽOVÁ, E., LIESKOVSKÝ, T. (2011): *Využitie GIS a jeho nástrojov pre tvorbu archeologického predikčného modelu*. In Študijné zvesti Archeologického ústavu SAV, 2011, č. 49, ISSN 0560-2793 (v tlači).

Summary

The thesis dealt with pilot predictive model which was formed on the area of Slovak republic. This work was supported by the Slovak Research and Development Agency under the contract No. APVV-0249-07. It was the first application of archaeological predictive modeling in Slovakia. The South part of central Slovakia with the area of 3400 km² was investigated within the project. It was assumed more pragmatic application of an archaeological predictive model (APM), mainly as an auxiliary tool for land planning of buildings (dams, highways, etc.) where a possibility of huge impact on archaeological heritage is expected. There were issues with quality of provided data in Slovakia (archaeological, and spatial) especially in spatial accuracy, resolution, and attribute quality. Therefore we decided to deal with “technical GIS details” such as quality testing and suitability of various data while creating databases and doing analyses.

Database of archaeological sites was filled by using various sources (sites present in Institute of Archaeology of Slovak Academy of Sciences (IAR SAS) archives, published in literature, etc.).

For purposes of this work it was necessary to build up a database of spatial data (Digital Elevation Models (DEM), pedologic maps, waters, etc.) and also a database of archaeological sites for APM creation. We concentrated on quality testing of available DEM (SRTM, ASTER GDEM, TM 10) from point of view of geometric accuracy, topographic accuracy and suitability for modeling of historic phenomena (possibility of eliminating artificial objects) in presented paper. All DEMs were statistically tested using points of State Levelling Network. We tested appropriate approach to hydrology because presence of the water is one of the crucial constituents in APM creating. We focused on testing certain data sources: 1st, 2nd and 3rd Military mapping, potential watercourses, present watercourses and fluvial sediments. We concentrated both on geometric properties of rivers and statistical relevancy with respect to existing database of archaeological sites.

In analytical part we were focusing to analyze spatial relationship between landscape and archaeological sites. Environmental parameters (morphology of relief, cost distances from water sources and using of soils) were analyzed. Results of spatial analyses were tested by various statistical methods test, focused to difference in statistical distributions and to recognize (inner) correlations between data.

In the main part of the thesis (creating of APM) we analyzed different approach to archeological predictive models creation. We applied deductive approach with using binary and fuzzy logic, also inductive approach (based on results of statistical analyses) was used. Various forms and variations of APM was created by using of geoprocessing and statistical scripts. Models were tested by using of internal (known) dataset of archeological sites and by using of external set of archeological sites. On the base of the test were 3 versions of model chosen. The inductive model based on combination of slope and cost distance, the inductive model based on combination of slope and cost distance and majority of soil types and the deductive model based on combination of slope and cost distance.