

## **PRIESTOROVÉ MODELOVANIE A GIS - HISTÓRIA, SÚČASNÉ TRENDRY A PERSPEKTÍVY**

**RNDr. Dagmar KUSENDOVÁ, CSc**

Prírodovedecká fakulta UK, Katedra kartografie, geoinformatiky a DPZ

### **Abstrakt**

Obsahom príspevku je stručná informácia o histórii, súčasných trendoch a perspektívach vývoja priestorového modelovania a geografických informačných systémov v kontexte procesu ich postupnej konvergencie, a to najmä v oblasti priestorového modelovania prírodných a humánnych procesov a javov.

### **Úvod**

Prírodné, technické, sociálne a ekonomické vedy spolu s praktickými úlohami efektívneho využitia krajiny a riadenia spoločnosti musia riešiť množstvo problémov, ktorých riešenie si vyžaduje rozsiahle údajové základne a komplexné modely skutočnosti. Geografické informačné systémy (GIS) vytvárajú vhodnú platformu pre spojenie súčasných trendov spoločnosti a vedy: matematizácie, geografizácie (ekologizácie) a informatizácie. GIS ako konglomerát možností databázových, štatistických, analytických a vizualizačných systémov, doplnených špecializovanými procedúrami, priťahuje pozornosť praktikov aj teoretikov. Odborníci zaoberajúci sa tvorbou a analýzou priestorových modelov v jednotlivých vedách hľadajú spôsoby využitia tohoto silného prostriedku vo svojich odboroch. Jedným z nich je aj integrácia procesu priestorového modelovania prírodných systémov s búrlivo sa vyvíjajúcou sa technológiou GIS. Cieľom príspevku je stručná informácia o histórii vývoja oboch disciplín a ich ďalšieho súčasného i budúceho spoločného rozvoja.

Históriu, tvorbou a použitím priestorových modelov a ich spojením s GIS sa zaoberalo veľa autorov (Birkin et al. 1996, Egenhofer a Golledge 1997, Fischer et al. 1996, Goodchild et al. 1995, Longley a Batty 1996, Yue-Hong Chou 1997, atď.). My sa v ďalšom oprieme o prácu Scholten a LoCascio (1997) a internetovské zdroje (Internet 1997).

### **Krátka história a oblasti použitia priestorových modelov**

Začiatok tvorby priestorových modelov a rozvoj priestorových analýz spadajú do obdobia 50.-60.-tych rokov a sú úzko spojené s genézou kvantitatívnej geografie a regionálnej (priestorovej) vedy v západných vyspelých krajinách. V počiatočných štádiách tvorby priestorových modelov sa kládol dôraz na použitie kvantitatívnych v podstate štatistických procedúr a techník. Tie boli zamerané najmä na štruktúrne analýzy bodových, čiarových, plošných prezentácií geografických objektov, javov a ich povrchov prezentovaných dvojdimenzionálnymi priestorovými modelmi - mapami. Neskôr sa kládol dôraz na pôvodné, charakteristické prvky a procesy geografického priestoru spolu s identifikáciou ich dôsledkov na časo-priestorový vývoj komplexných priestorových (prírodných) procesov.

V ostatných rokoch priestorové analýzy nie sú len priestorové (geo)štatistiky, ale stávajú sa účinným modelovacím nástrojom, ktorý sa zameriava na rôzne oblasti výskumu a štúdia:

- štatistických analýz priestorových údajov, ktoré poskytujú adekvátnejší a špecializovanejší rámec a metodológiu pre širokú škálu identifikovaných priestorových efektov a výsledkov o priebehu a vývoji priestorových procesov a javov,
- priestorových modelov, vrátane širokej škály rôznych priestorových modelov stochastických a deterministických procesov, spolu so spôsobmi ich použitia v rôznych prírodných, sociálnych a ekonomických vedách.

Priestorové modely sa stali súčasťou mnohých vedeckých výskumov, pričom ich ťažisko spočívalo, a aj dnes spočíva, v tvorbe a analýze:

- prírodných modelov (klimatické, atmosferické - vývoja počasia, rozptylu ovzdušia, šírenia hluku, hydrologické a hydrogeologické, erózne a pôdne modely, biologických ekosystémov, energetických systémov,...),
- sociálno-ekonomických (humánnych) modelov (modely regionálneho ekonomického rozvoja, využitia zeme, trhu s nemovitosťami, lokalizácie služieb a objektov, priestorovej difúzie, migračné modely, interakčné modely, transportné modely, urbanistické modely,...).

Ich integrálne formy začínajú radom modelov fyzikálnej disperzie, chemických reakcií a biologických systémov, pokračujú modelmi stochastických a deterministických prírodných systémov a končia obsiahlymi modelmi riadenia sociálno-ekonomických štruktúr a komplexnými modelmi hodnotenia a ochrany životného prostredia. Deterministické formy modelov sa pokúšajú

modelovať, resp. popísať známe fyzikálne zákony a stochastické zákony o popis prírodných procesov, ako je napr. erózia, prúdenie podzemných vôd, absorpcia polutantov.

V priestorových modeloch je dôležitým aspektom interakcia priestorových procesov s okolím v ktorom prebiehajú. Jedno-, dvoj- alebo troj-rozmerné prostredie tvorí buď "neživý" rámec sledovanému procesu v prípade jednoduchých priestorových modelov, akým je napríklad model povrchového odtoku, alebo môže byť "živý", t. j. modifikovaný daným procesom, ako je tomu napr. pri eróznio-akumulačných modeloch alebo modeloch absorpcie polutantov. Základná jednotka prostredia, podložia, resp. substrátu (napr. záchyt vody, sklon svahu) je modelovaná ako konečný element a priestor sa v týchto procesoch modeluje prostredníctvom disagregácie množiny týchto elementov, ktoré sa apriory považujú za kvázi homogénne.

Pri výskume priestorových objektov a javov sa využíva množstvo analytických metód, z ktorých sa často používajú napr.:

- analýza priestorového rozmiestnenia javov a objektov (odhad priestorovej variability procesov, ich kovariancie,...),
- priestorové priemerovanie (odhad priemerov (aritmetických, vážených,...) hodnôt parametrov sledovaných objektov a javov v danom regióne),
- priestorová separácia (tvorba homogénnych (sub)regiónov podľa princípu "minimálna priestorová variabilita vo vnútri regiónu - maximálna priestorová variabilita medzi rôznymi regiónmi", typizácia regiónov, regionalizácia,...),
- priestorová interpolácia a extrapolácia (doplňanie chýbajúcich údajov prostriedkami matematických a štatistických metód),
- zmeny priestorovej mierky (zväčšovanie - priestorová agregácia a zmenšovanie - priestorová disagregácia) a ďalšie metódy a postupy.

V dynamických - temporálnych procesoch a javoch sa používajú podobné postupy (časové priemery, variančné a kovariančné analýzy, interpolácie a extrapolácie v čase, zmeny časovej mierky, ...).

Vlastný vývoj mali priestorové modely v sociálno-ekonomických vedách v úzkom spojení s kvantitatívnou geografiou. V ostatných 10-tich rokoch bolo vyvinutých množstvo priestorových modelov s cieľom popísať, analyzovať, hodnotiť a prognózovať hospodársky vývoj v mnohých lokálnych, ale aj globálnych regiónoch. Modely sa nezaoberali len vnútornou štruktúrou týchto regiónov, ale aj ich vzájomnými vzťahmi. Tradičné modely týchto vedných odborov sa silne

orientovali a orientujú sa na riešenie lokačno-alokačných a interakčných problémov v geografickom priestore, pričom väčšina z nich je statických a priestor chápe skôr ako množinu diskretných bodov výskytu objektov a javov, než ako kontinuálne prebiehajúce procesy v čase a priestore.

Tvorba interakčných modelov založených na adjustácii pravdepodobnostných a entropických mier a výrazná priestorová autokorelácia týchto modelov viedli k rôznym mylným záverom a poznatkom. Nedostatok behaviorálneho kontextu (správania sa ľudí) viedlo v 70.-tych rokoch ku kritike kvantitatívnych modelov. Zvýšil sa dôraz na výskum individuálneho správania sa, resp. výberu jedincov v rôznych kontextoch (výber zamestnania, cesta za prácou,...). Toto všetko spolu s rastom behaviorálnych modelov vytvorilo vhodné podmienky pre rozvoj nových interakčných priestorových modelov.

Bohužiaľ aj tieto modely môžu byť explicitne spojené s individuálnymi rozhodnutiami na mikroúrovni a implicitne s rozdielne realizovanými rozhodnutiami na makroúrovni, t.j. rozhodnutia realizované na makroúrovni spoločnosti sú často v rozpore s empirickými zisteniami uskutočnených (individuálnych) rozhodnutí na mikroúrovni jedinca. Modely, ktoré sa dotýkajú napr. problémov regionálnej zamestnanosti, trhu s nemovitosťami, využitia zeme, transportu alebo multiobjektových a multikriteriálnych rozhodovacích analýz sa však dajú vhodne modifikovať.

Časovo-priestorové modely postupne prenikajú aj do negeografických disciplín ako je napr. zdravotníctvo, podnikový manažment, a pod.). Súčasný trend využitia priestorových modelov je zameraný najmä na:

- tvorbu scenárov a predpovedí výrobných procesov,
- tvorbu politiky analýzy vplyvov,
- tvorbu politiky výroby a spotreby.

#### **Integrácia priestorových modelov**

Trend integrácie prírodných a sociálno-ekonomických modelov v konečnom dôsledku vyústil do snáh o vytvorenie integrálnych typov priestorových modelov, ktoré by globálne hodnotili účinky jednotlivých priestorových procesov a javov, ich vzájomné vzťahy, otázky ďalšieho zásobovania spoločnosti (energiou, ...), jej efektívneho riadenia a kvality životného prostredia.

Zväčša majú integrálne typy modelov tieto spoločné črty:

- obsahujú nejakú verziu makroekonomického modelu,
- reprezentujú výrobu a spotrebu,
- sú úzko prepojené s energetickými (zásobovacími), ekonomickými a environmentálnymi systémami spolu s identifikáciou ich krízových stavov,
- reprezentujú priestor v diskretnom (nad, pod) regionálnom rámci.

Modely kvality prostredia pritom predstavujú obsiahle nástroje používané na stanovenie alternatívnych možností riadenia environmentálnej politiky na základe vybraných (ekonomických, prírodných,...) kritérií. V prípade ekonomických kritérií sú tvorené obyčajne týmito 5 hlavnými komponentmi:

- ekonomický model výroby a spotreby,
- produkčný model odpadov a emisií,
- environmentálny model (transformuje priestorovo-časové štruktúry environmentálnych nákladov do správ o stave prírodného prostredia),
- model vplyvov identifikujúci receptory a hodnoty koncentrácií život ohrozujúcich javov a stavov,
- strategický model riadenia, ktorý hodnotí účinnosť (efektivitu) a cenu jednotlivých alternatív strategického environmentálneho riadenia (manažmentu).

#### **Priestorové modely a GIS**

Prezentácia priestoru v prvej generácii počítačových priestorových modelov bola jednoduchá, až primitívna. V podstate sledovala organizáciu štatistických tabuliek, kde každý riadok bol spojený s jednou priestorovou jednotkou (štatistický obvod, región, bod) a atribúty prezentovali stĺpce tabuľky. Napríklad geometriu sietí, resp. sieťových priestorových štruktúr prezentovali vägne prezentácie dĺžok (prepravných časov) ich hrán (trás).

Zmena prišla spolu s objavením sa GIS, ktoré výrazne rozšírili možnosti organizácie priestorových údajov. Rozvoj výpočtovej techniky (zrýchlenie procesorov, rozšírenie pamäti,...) a rast disponibility priestorových údajov vytvorili vhodné podmienky pre tvorbu nových typov priestorových modelov, pre lepšie a efektívnejšie využitie už existujúcich údajov a podnietili zber nových údajov.

Začali sa riešiť otázky vzájomného vzťahu GIS a priestorových modelov s cieľom určiť ako sa dajú prispôbiť GIS tvorbe novej generácie priestorových modelov a ako sprístupniť ich tvorbu prostredníctvom technológie, resp. nástrojov GIS potencionálnym záujemcom. Tieto skutočnosti nastolili potrebu novej klasifikácie a stanovovania priestorových modelov, identifikácie najvýznamnejších oblastí ich použitia v prírodných a sociálno-ekonomických vedách ako aj oblastí, v ktorých by GIS boli najviac otvorené novým možnostiam implementácie priestorových modelov.

V oblasti GIS a modelovania už dlhšie vládne zhoda v názore, že úspech technológií GIS závisí okrem množstva iných faktorov aj od toho, ako široko zahrnie do svojich produktov silné modelovacie postupy a nástroje.

#### **Konvergencia priestorových analýz a GIS**

Priestorová analýza, ako samostatný vedný odbor, poskytuje široké spektrum metodológií a postupov, ktoré sú vysoko relevantné geoinformačným technológiám. Postupne sa včleňujú do programov GIS najmä formou analytických modulov. Dôležitosť integrácie GIS a priestorových analýz dokazuje napríklad aj realizácia 5 ročného projektu asociácie Európskej vedeckej nadácie GISDATA (Geographic Information Systems Data Integration and Data Base Design), v ktorom sa osobitná pozornosť venovala otázkam spojenia priestorového modelovania a technológií GIS.

Už v roku 1993 sa na prvom stretnutí špecialistov tohoto programu v Amsterdame vyhraničili dve oblasti výskumu, a to výskum analýz priestorových údajov a vlastné priestorové modelovanie včítane vysvetľovania analýz priestorových údajov, simulácie modelov, tvorby multiobjektových analýz, evaluačných analýz, a pod. V každej oblasti sa kládol dôraz na riešenie metodologických otázok, akými sú napr. hodnotenie potenciálu rôznych inovačných metodologických paradigiem - fuzzy množiny, neurónové počítačové techniky, atď.

Cieľom novozaloženej odbornej skupiny pre priestorové analýzy a GIS v rámci programu GISDATA bola najmä kooperácia európskych a severoamerických odborníkov pri výskume priestorových analýz formou výmeny znalostí, programov a údajov spolu s tvorbou publikácií zameraných na inovačné idey v oblasti sociálno-ekonomických a environmentálnych výskumov.

Riešili sa najmä otázky:

- všeobecnej použiteľnosti aplikácií priestorových analýz,
- tvorby nástrojov spoľahlivého merania tvarov a hraníc (obvodov),

- vizualizácie priestorových analýz,
- výskumu a kalibrácie priestorových analýz,
- tvorby a ďalšieho vývoja údajových modelov GIS pre podporu priestorových analýz.

Zoznam všetkých relevantných materiálov z práce odbornej skupiny sú uvedené v záverečnom zborníku GISDATA, 1997.

#### **Aplikácie priestorových analýz v GIS**

Základnou otázkou rozširovania aplikácií GIS, v kontexte tvorby priestorových modelov, je: "Ako sa dajú aplikovať GIS v humánných, prírodných, resp. priestorových vedách?".

Dôležitosť vývoja ďalších aplikácií v GIS potvrdzuje aj súčasný trend výskumu a vývoja geoinformačných technológií, ktorý sa hlavne zameriava na integráciu údajov, tvorbu údajových báz a rozširovanie aplikácií GIS. Ak sa pojem GIS používa na označenie geograficky orientovanej počítačovej technológie, alebo novej (vedeckej?) disciplíny, resp. integrovaných systémov pre rôzne aplikácie (Tuček 1996, Koreň 1995), tak z pohľadu priestorových analýz sú najvýznamnejšie práve aplikácie GIS, ktoré zaznamenali najmä v poslednom období výrazný nárast.

Dôležitá je skutočnosť, že možnosti priestorovej analýzy, syntéz poznatkov a modelovania odlišujú GIS od iných informačných systémov. Tento pohľad na GIS dominuje u ľudí a aplikácií s prírodovedným a sociálno-ekonomickým zameraním. Práve tieto systémy sú "geografické" v pravom zmysle slova (zamerané na krajinu a v nej prebiehajúce procesy). GIS sa tak stávajú jedným z prostriedkov prechodu od synkretického prístupu ku krajine k prístupu syntetickému (Tuček, 1996).

#### **Aplikácie GIS - všeobecne**

Pozrime sa bližšie na GIS z aplikačného hľadiska. Tak napr. J. Kolář (in Hodač a Soukup 1997) delí (geo)informačné systémy na dve skupiny:

1. Transakčné (procesné) - určené na zaznamenanie a vyhodnocovanie jednotlivých informácií podľa presne stanovených procesných pravidiel on-line, alebo dávkovo (systémy evidencie a správy).
2. Na podporu rozhodovania (modelovacie) - určené na analýzu a modelovanie rôznych javov prírodného a sociálno-ekonomického charakteru s cieľom skúmať ich, prognózovať a riadiť.

Ďalšie aplikačné delenie GIS uvádza J. Tuček (1996), ktorý vyčleňuje tieto dva smery aplikácií GIS:

1. Nešpecifikované viacúčelové databázy charakterizované veľkým objemom údajov s potrebou presnej lokalizácie (používanie obecné akceptovaných súradnicových systémov) a s dôrazom na vyhľadávanie v databáze. Implementujú sa najmä na viac užívateľských systémoch a pracovných staniciach -minipočítačoch. Zo softwarového hľadiska ide najmä o "veľké" systémy ako ARC/INFO, MGE, alebo GENASYS. Využívajú ich predovšetkým vládne a riadiace orgány, miestna správa, organizačné zložky inštitúcií pre potreby plánovania a rozhodovania, či odpočítovania a štatistického spracovania údajov.
2. Špecializované projekty zamerané na menšie dočasné databázy s jednoduchou lokalizáciou (v lokálnych súradnicových systémoch), s dôrazom na analýzy a modelovanie. Implementujú sa na pracovných staniciach, alebo častejšie na personálnych počítačoch. Ide o softwarové systémy ako PC ARC/INFO, MGE PC, resp. IDRISI, SPANS, a pod. Sú to najmä výskumné a vývojové aplikácie.

Aplikačný aspekt GIS je zdôrazňovaný aj dodávateľmi aplikácií a údajov, pre ktorých samotná technológia je nepoužiteľná - mŕtva pokiaľ ju nenaplnia údajmi spĺňajúcimi nároky používateľa na obsah a presnosť, pokiaľ ju "neoživia" predpísanými postupmi spracovania a vizualizáciou výsledkov na termináloch koncových užívateľov. Z hľadiska používateľa (riadiaceho či vedeckého pracovníka) je GIS predovšetkým aplikáciou - prostriedkom, ktorý používa na riešenie svojich problémov, pričom však nesmie zabudnúť na ich technologickú stránku, ktorá býva jedným z limitujúcich faktorov aplikácie.

V súvislosti so zdôrazňovaním významu GIS v oblastiach monitorovania, plánovania a riadenia životného a prírodného prostredia sa považujú za dôležité súčasti GIS (Streit, 1997):

- modelovanie dynamických priestorových procesov prostriedkami numerických a štatistických metód,
- znalostné prístupy, ktoré sú základom priestorových systémov pre podporu rozhodovania,
- integrácia poznatkov špecializovaných vedeckých a technických disciplín,
- vytváranie jednotného pojmového aparátu v oblasti získavania, štruktúrovania a spracovávaní geografických informácií.



### **Priestorové analytické nástroje GIS**

Analytické nástroje - funkcie GIS sú dôležitou súčasťou nielen priestorových analýz, ale aj vlastného procesu tvorby priestorových modelov. Tak ako používatelia geografických databáz potrebujú vizualizačné a niektoré analytické funkcie GIS, tak pre realizátorov priestorových analýz je zobrazovanie rovnako dôležité ako pripojenie atribútov k priestorovým objektom. Geovedné disciplíny vyvinuli veľké množstvo analýz, v ktorých zohrávajú úlohu práve priestorové charakteristiky - poloha, veľkosť, tvar objektov. Problematika tiež úzko súvisí so štatistickým chovaním objektov, či ich charakteristik. Analýzy v GIS sú preto úzko naviazané na priestorové i nepriestorové štatistické analýzy. Úzke sú aj nadväznosti na spracovanie údajov o povrchoch, chápaných ako priestorové štruktúry bodov, línií a plôch, s osobitným dôrazom na digitálne modely terénu. Javy, objekty, či fenomény sa totiž vyskytujú na zemskom povrchu - na terénnej ploche, ktorej charakteristiky s nimi úzko súvisia - korelujú. V neposlednom rade hrajú dôležitú úlohu aj analýzy a spracovanie obrazu najmä v súvislosti s diaľkovým výskumom Zeme.

Široký prehľad o súčasných druhoch analytických funkcií implementovaných do programoch GIS podáva J. Tuček (1996), kde napr. J. Star a J. Estes členia analytické funkcie GIS na:

1. *Priestorové operácie* - založené na priestorovej (lokalizačnej) časti informácií uložených v jednej, alebo viacerých informačných vrstvách, ktoré sa dajú ďalej rozdeliť na dve skupiny:
  - operácie založené na *prepojení* -connectivity *medzi lokalitami* (skúmanie vzdialenostných charakteristik medzi objektmi, sieťové analýzy, vytváranie zón - buffering),
  - operácie založené na *charakteristikách susednosti* -neighbour (u vektorových reprezentácií - analýzy založené na vlastnostiach susediacich plôch, polygónov, u rastrových reprezentácií - analýzy susedných buniek (filtrovanie,...)).
2. Meracie funkcie - založené na meraní vzdialeností, smeru medzi objektmi.
3. Štatistické (ne)priestorové analýzy.
4. Modelovanie procesov.

S. Cornelius a I. Heywood (in Tuček 1996) zdôrazňujú, že pre správne používanie nástrojov, ktoré GIS ponúkajú, je potrebné pochopiť podstatu "priestorových operácií". Povaha týchto operácií vyplýva z povahy geografických údajov a údajových modelov. Bez pochopenia toho, čo rôzne operácie spôsobia s údajmi a ako sú využiteľné z hľadiska danej aplikácie, nie je možné vybrať si vhodný systém, ani jeho nástroje. Pri analytickom prístupe k priestorovým

operáciám tiež môžeme zistiť potrebu niektorých postupov, ktoré GIS priamo neponúkajú, či dajú sa vykonať len komplikovaným spôsobom. Títo autori uvádzajú nasledovné členenie priestorových operácií:

1. *Jednoduché operácie* - vykonávajú sa len na jednotlivej informačnej vrstve, rastrovej, či vektorovej, ktoré ďalej členia na:
  - výpočty vzdialeností, plôch a obvodov,
  - otázky na databázu (priestorové a atribútové),
  - susedské funkcie (tvorba zón -buffering, reklasifikácie na rastrových reprezentáciách),
2. *Zložité operácie* - ťažiskové, ktoré vyžadujú použitie údajov:
  - z dvoch, alebo viacerých informačných vrstiev,
  - z dvoch, alebo viacerých objektov,
  - z informačnej vrstvy GIS a externého zdroja.

Do tejto skupiny radia autori aj rôzne varianty topologického prekrývania sa (overlay).

3. Kartografické modelovanie - postupy na integráciu (kombinovanie) informačných vrstiev na matematickom princípe podľa určitej schémy. Ide vlastne o mapovú algebru, prípadne o postupnosť používania analytických nástrojov.
4. Priestorová interpolácia.
5. Digitálne modely terénu.
6. Analýzy sietí.

Komerčný program GIS *MGE Intergraph* delí svoje moduly na základe logického usporiadania funkčných nástrojov na:

*Analyst* - základná analytická časť systému, v ktorom sa definujú topologické vzťahy medzi objektmi vo vektorovej reprezentácii a manipuluje s ich atribútmi (priestorové otázky, generovanie zón, (dis)agregácia plôch a atribútov,...)

*Network Analyst* - generovanie, obhospodarovanie, zobrazovanie a analyzovanie sieťových údajov spolu s rôznymi analýzami (vyhľadávanie optimálnych trás a lokácií,...),

*Grid Analyst* - spracovanie a analýzy rastrových reprezentácií (bunkových) údajov nástrojmi mapovej algebry, matematické operácie na a medzi rastrovými reprezentáciami, analýzy povrchov ocenených vzdialeností a hľadanie optimálnych trás, štatistické analýzy, generovanie zón,...

*Terrain Modeler* - tvorba a využívanie modelov terénu (rastrového i TIN modelu) s prostriedkami na analýzy sklonu a orientácie, analýzy viditeľnosti, prekryvanie povrchu terénu inými reprezentáciami a rôzne metódy vizualizácie,...

*Advanced Imager* - analýzy obrazov (najmä z DPZ) s možnosťou spektrálnych, priestorových a časových analýz, klasifikácie obrazov, detekciou hrán v obrazoch, atď.

Ďalší program GIS *Idrisi for Windows* (Eastman 1995) deli analytické funkcie GIS na:

1. *Geografické analýzy*, v rámci ktorých sa rozoznávajú:

- nástroje na dotazovanie (prehľadávanie) databázy,
- matematické operátory (mapová algebra),
- vzdialenostné operátory,
- kontextové (súvislostné) operátory.

2. *Štatistické analýzy* (s priestorovými a nepriestorovými analýzami).

3. *Analýzy obrazov*.

4. *Prostriedky pre podporu priestorového rozhodovania*.

5. *Prostriedky pre analýzu zmien a časových sérií*.

Z prehľadu uskutočneného J. Tučkom vyplýva, že sa postupne stierajú rozdiely medzi tým, či sa jednotlivé operácie uskutočňujú vo vektorových, rastrových alebo iných digitálnych priestorových údajových štruktúrach. Vhodné je členiť analytické nástroje GIS nielen na základe použitých prezentácií údajov (analýza vektorových dát, spracovanie atribútov, rastrové reprezentácie, analýzy obrazov, analýzy sietí, štatistické analýzy, a pod.), ale na základe ich funkčného a logického princípu, resp. podľa postupov nadväzného používania analytických nástrojov. Tento prístup by mal odstrániť nejednotnosť delení a umožňuje jasne definovať nástroje a postupy ich použitia.

Na základe takéhoto prístupu člení J. Tuček analytické nástroje GIS do 5 skupín, a to na:

- *štatistické analýzy* (aj keď najmä v prípade priestorových štatistických analýz to nie je celkom jednoznačné, pričom sem zaraďuje aj prostriedky pre priestorové interpolácie)
- *analýzy modelov terénu*,
- *analýzy obrazov* (predovšetkým z DPZ),
- *meracie funkcie*,
- *geografické analýzy*, ktoré doporučuje ďalej členiť na nástroje uskutočňujúce databázové otázky, mapovú algebru, vzdialenostné analýzy a analýzy sietí.

Z jednotlivých funkcií, ktoré sú vhodné a užitočné v procese modelovania v prostredí GIS sa javia najdôležitejšie tieto (Wegener 1995) :

- zber, príprava, zjednotenie a spracovanie zdrojových (primárnych) údajov,
- predmodelová príprava údajov formou ich vizualizácie, redukcie, resp. rozširovania (detailizácia) a preverovania ich vzájomných čiastkových vzťahov ,
- konceptualizácia priestorových modelov a ich vlastná tvorba,
- vylepšovanie vlastností priestorových modelov (kalibrácia modelov),
- prezentácia výsledkov modelovania,
- tvorba post-modelových senzitivnych analýz,
- efektívne generalizácie.

Z uvedeného zoznamu funkcií vyplýva, že využitie nástrojov GIS v procese modelovania sa sústreďuje predovšetkým na počítačové a konečné fázy tohto procesu.

#### **Výskum priestorových analýz v GIS a perspektívy vývoja**

Dôležitú úlohu zohrávajú súčasné GIS ako prostriedky výskumu postupov analýz údajov vstupujúcich do modelovania. Deklaruje sa potreba výskumu priestorových analýz, ktorý môže dopĺňať kartografické modelovanie GIS. Najmä dnes je treba vyvíjať stále novšie inováčné nástroje analýz priestorových údajov, ktoré by obzvlášť vyhovovali prostrediu GIS s bohatou údajovou bázou, ale chudobným teoretickým zázemím.

V súčasnosti by mohli techniky štatistických analýz priestorových údajov posilniť praktické využitie GIS najmä v týchto oblastiach (Scholten a LoCascio 1997):

- tzv. sampling (typizácia, výber) objektov z údajovej bázy a výber adekvátnej priestorovej rozlišovacej úrovne (mierky) pre realizáciu analýz,
- rektifikácia (úprava, korekcia, korigovanie, štandardizácia) údajov z rôznych zdrojov zo záujmovej oblasti,
- výskum analýz priestorových údajov s cieľom explanácie a výskumu údajových báz GIS v kontexte nových smerov výskumu (hľadanie údajových charakteristík vo forme trendov, priestorových odchýlok, štruktúr a asociácií),
- verifikácia, kalibrácia a explanácia priestorových údajových analýz zamerané na systematické údajové analýzy a testovanie vedeckých hypotéz.

Otázky spojenia nových analytických funkcií so štandardnými GIS sa stáva taktiež dôležitou oblasťou výskumu. Logické prepojenia priestorových údajových analýz a GIS sa identifikujú a skúmajú. M. Goodchild (in Scholten a LoCascio 1997) rozlišuje tri hlavné spôsoby tvorby tohto spojenia:

- plná integrácia priestorových analytických procedúr priestorových údajov do GIS,
- úzke spojenie štatistických analýz priestorových údajov v GIS,
- voľné spojenie štatistických analýz priestorových údajov v GIS, kde nezávislé moduly priestorových analýz sú spojené s GIS len prostredníctvom vstupných a výstupných údajových operácií a vizualizačných techník.

Všeobecné postupy v hlavnom smere výskumu analýz údajov, ako sú napríklad metóda najbližšieho suseda, autokorelačné testy, priestorové klasifikácie a generalizácie údajov, metódy zisťovania priestorových odchýlok a nepravidielností, by mali v budúcnosti zohrať významnú úlohu v technológiách GIS.

Hoci je verifikácia priestorových analýz v GIS veľmi dôležitá, stále chýbajú dôležité teórie výskumu analýz priestorových údajov a apriórne hypotézy. V dôsledku toho je tento výskum oveľa významnejší než samotná verifikácia analýz. Napriek tomu sa v 80. - 90.-tych rokoch nedosiahli uspokojivé výsledky na tomto poli. Je to najmä dôsledok nevhodného používania programov.

Podľa Scholten a LoCascio (1997) sa dajú identifikovať štyri typy priestorových modelov, pri tvorbe ktorých možno efektívne využiť súčasné GIS:

1. *Polohovo statické* - atribútové (nepriestorové) hodnoty sa menia, ale geometria priestoru (priestorové hodnoty) sa nemení v čase - typickými príkladmi je väčšina súčasných urbanistických a environmentálnych modelov, niektoré transportné modely, atď. Dnes existujú GIS a programy, ktoré sú vhodné pre tvorbu tohto typu modelu.
2. *Dynamické typu I* - jednotky, objekty, resp. javy menia svoju polohu aj atribúty v rámci danej geometrie priestorových štruktúr - väčšina dnešných komunikačných modelov. Pre tento typ modelov treba v súčasných GIS vytvoriť nástroje a implementovať funkcie na ich tvorbu, údajové modely GIS sú pravdepodobne adekvátne ich tvorbe.
3. *Dynamické typu II* - tok jednotiek (a vývoj) objektov a javov sa mení v závislosti od zmeny ich (spolu so zmenou) geometrie a priestorovej štruktúry. Pravdepodobne najvhodnejšie

prostredie pre tvorbu environmentálnych modelov vyššej generácie. Súčasnú GIS programy nie sú adekvátne tomuto typu modelov.

4. *Modely budúcnosti* - doteraz nevytvorené modely, ktoré budú vyžadovať od svojich tvorcov invenciu a nové prístupy k prezentácii priestorových a časových vzťahov (relácií). Množstvo priestorových javov je v zjavnej nerovnováhe k množstvu doteraz realizovaných snáh o vytvorenie tohto typu modelu. Súčasnú programy GIS a priestorové modely sú silno limitované prostriedkami, ktoré sú pre tento typ modelov potrebné.

Problematika tzv. voľného prístupu k tvorbe priestorových modelov v GIS nastoľuje ďalšie otázky: "Kto by mal mať prístup k priestorovým modelom? Prečo sa rieši otázka prístupu k tvorbe priestorových modelov v GIS?". Modely vytvárané v súčasných GIS sa dajú znehodnotiť alebo nesprávne vytvoriť a interpretovať v dôsledku neznalosti používateľov, alebo z dôvodov obmedzení (limitov), ktoré tieto modely vykazujú, resp. majú. Každý skupine by sa mala poskytnúť adekvátna úroveň prístupu k týmto modelom. Len funkčné modely môžu splniť svoju úlohu napr. v oblasti tvorby trhu. S týmto úzko súvisí vývoj nových modelových komponentov, ktoré by mali byť oveľa intuitívnejšie než súčasné a mohli by byť súčasťou GIS, ale samostatnými modelmi. Veľa času a úsilia sa vynakladá na implementáciu multidisciplinárnych aplikácií GIS. Jednoducho, ľahký prístup k algoritmom nestačí. V rámci každého algoritmu by mali "meta-informácie" indikovať, kde, kedy a s akými údajmi je vhodné model použiť. Dodatočné nástroje by mali byť potom použité na stanovenie platnosti modelu v rôznych podmienkach. Model by mal informovať o kvalite výsledkov modelovania. V podstate ide o taký proces modelovania, kde používateľ by mohol kontrolovať, riadiť a hodnotiť vstup, priebeh a výstup modelovania.

#### **Záver**

Najväčšou prekážkou širšieho použitia priestorových modelov a analýz v prostredí GIS v súčasnosti je ich špecifický charakter. Každá aplikácia je unikátna (jedinečná) s vlastnou množinou premenných v príslušných modeloch a analytických nástrojoch.

Priestorové usporiadanie, veľkosť, tvar, štruktúra a organizácia základných priestorových jednotiek, v ktorých sú údaje zbierané, ovplyvňujú charakter skúmaných priestorových procesov, ktoré môžu byť identifikované parametrami a ich stavovými veličinami závislými na danom priestorom rámci. Tento problém v súčasnosti priestorová štatistika intenzívne rieši. Počítačové neuronové prístupy a postupy sa môžu stať budúcou bázou nového "modus operandi" v analýzach

priestorových údajov s veľkým množstvom redundantných, chýbajúcich, hluchých alebo neurčitých údajov, pre ktoré sa použitie konvenčných štatistických techník ukazuje málo vhodné. GIS v kombinácii s efektívnymi priestorovými modelovými technikami, multimédiami a virtuálnou realitou predstavujú perspektívny interaktívny rozhodovací nástroj. Tým, že sa stala informácia dôležitou súčasťou riadenia sa GIS čoraz viac využívajú ako prostriedok podporujúci tvorbu strategických rozhodnutí, či už na lokálnej, regionálnej alebo globálnej úrovni. Aplikácie GIS sa tým presúvajú z oblasti operačných podporných systémov do oblasti strategických rozhodovacích systémov.

Vzájomné spojenie priestorového modelovania a GIS obohacuje tieto odbory a prispieva k tomu, že sa stávajú efektívnymi nástrojmi vedeckého výskumu a praxe.

#### **Literatúra**

- Birkin, M., Clarke, G., Clarke, M., Wilson, A. (1996). Intelligent GIS: Location Decisions and Strategic Planning. Cambridge, GeoInformation International, 288.
- Eastmann, J., R. (1995). Idrisi for Windows, Users Guide. Clark University, Clark Labs for Cartographic Technology and Geographic Analysis.
- Egenhofer, M., J., Golledge, R., E., (1997). Spatial and Temporal Reasoning in Geographic Information Systems. Oxford University Press, 320.
- Goodchild, M., Steyaert, L., Parks B., O., Johnston C., O., Maidment, D., R., Crane, M., P., Glendinning, S. (1996). GIS and Environmental Modelling: Progress and Research Issues. Cambridge, GeoInformation International, 486.
- Fischer, M., Scholten, H., Unwin, D. (1996). Spatial Analytical Perspectives on GIS in Environmental and Socio-Economic Sciences. London, GISDATA Series No. 5, Taylor and Francis.
- Hodač, J., Soukup, P. (1998): Analytické funkce katastru nemovitostí. In: Sborník páte konferencie GIS Ostrava'98. Ostrava, Vysoká škola báňská Technickej univerzity v Ostrave.
- Internet (1997). <http://www.shef.ac.uk/uni/academic/D-H/gis/spatmod.html>, resp. [spatanal.html](http://www.shef.ac.uk/uni/academic/D-H/gis/spatanal.html) alebo [spatmod.html](http://www.shef.ac.uk/uni/academic/D-H/gis/spatmod.html).
- Koreň, M. (1995). Svet priestorových informácií. Bratislava, GeoInfo, 1., Nadácia Geoinfo.
- Longley, P., Batty, M. (1996). Spatial Analysis: Modelling in a GIS Environment. Cambridge, GeoInformation International, 336.

- Scholten, H., J., LoCascio, A. (1997). GIS Application Research: History, Trends and Developments. In: Geographic Information Research at the Millennium. GISDATA Final Conference, Le Bischenberg, France, 13-17 September 1997. Strasbourg, European Science Foundation Social Science Programme GISDATA.
- Streit, U. (1997). Geoinformatics. Universität Munster, <http://ifgi.unimuenster.de/vorlesungen/geoinformatics>.
- Tuček, J. (1996). Geografické informačné systémy. Zvolen, Technická univerzita vo Zvolene.
- Wegener, M. (1995). GIS and Spatial Models. Specialist meeting on GIS and Spatial Models. Friiberghs Herrgård, Sweden, 14-18 June 1995. <http://www.shef.ac.uk/uni/academic/D-H/gis/spatmod.html>.
- Yue-Hong Chou (1997). Exploring Spatial Analysis in GIS. Cambridge, GeoInformation International, 500.

RNDr. Dagmar Kusendová, CSc.  
Katedra kartografie, GIS a DPZ, Prírodovedecká fakulta UK, Mlynská dolina, 842 15 Bratislava  
e-mail: [kusendova@fns.uniba.sk](mailto:kusendova@fns.uniba.sk)