

# Geoinformační systémy v aktivním managementu životního prostředí: data a možnosti hodnocení a modelování rizik

*J. Kolečka: Geoinformation Systems in Active Environmental Management: Data and Risk Evaluation and Modelling. Život. Prostr., Vol. 37, No. 1, 19 – 24, 2003.*

Development of geoinformation technology overruns requirements of most environmental inventors but does not satisfy needs of environmental modellers. At least, the homogenous multi-parameter territorial units are accepted as course scenes of various environmental processes and as addresses for optimising measures. The present environmental GIS are used for data storage, processing, documentation, analysis, modelling, as well as promotion and visualisation of suggested environmental measures. Four classes of environmental GIS are distinguished: 1. standard GIS with multi-layer analytic database used mostly for inventory; 2. developed GIS with multi-layer analytic and evaluation product database; 3. extended GIS, supported by simple expert systems (standard SW extensions) for static modelling procedures; 4. specialised GIS, based on modules representing expert knowledge for solving and/or modelling of selected problems.

## Otazníky kolem použití geoinformačních technologií ve sféře životního prostředí

Komplikovanost managementu životního prostředí na jedné straně a nebyvalý rozvoj geoinformačních technologií na straně druhé podpořily vznik a zdokonalení počítačových zpracovatelských systémů pro obsáhlé a početné tématické prostorové datové soubory. Zatímco moderní systémy dálkového průzkumu Země (DPZ) nebo družicové navigace (GPS) či digitalizační zařízení výrazně podporují efektivní sběr digitálních prostorových dat, výkonné geografické informační systémy (GIS) jsou dnes schopny provádět rozmanité, často i velmi komplikované matematicko-statistické operace. Komerční balíky programů GIS obvykle nabízejí širokou paletu metod pro úpravu, vyhodnocení a reprodukci dat i výsledků. Rozvoj technologické a programové báze GIS v některých směrech do značné míry předběhl rozhled běžného uživatele, který je tak najednou postaven před problém optimálního využití obvykle nákladných zařízení. Naopak, odborník určité specializace nezdědka po-

strádá v GIS některé nástroje, které by mohly pomoci řešení četných výzkumných i praktických úkolů. Implementace technologie GIS do managementu životního prostředí je klasickým případem, kdy se jen část úkolů může řešit standardními nástroji individuálních disponibilních technologií. Obvyklým řešením je kombinování různých programových balíčků, případně ve spojitosti s vlastními naprogramovanými postupy.

## Úkoly GIS v moderním managementu životního prostředí

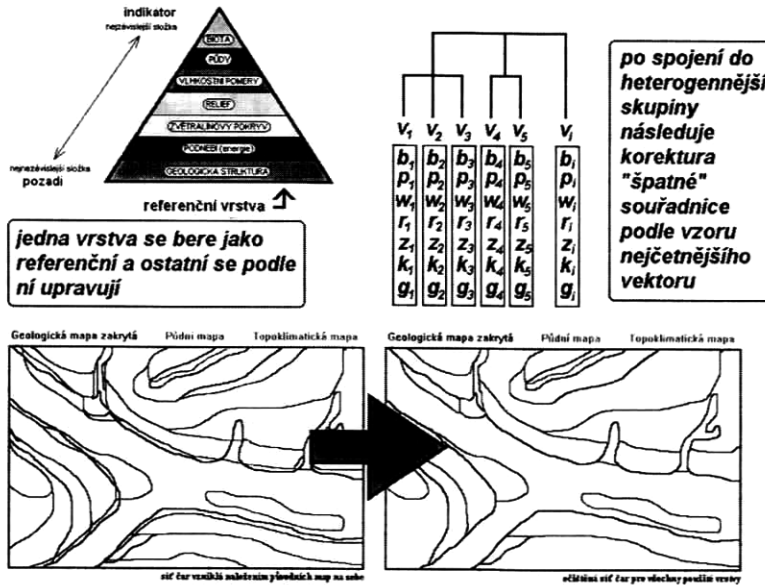
Standardní nasazení GIS v managementu životního prostředí obvykle sleduje tyto základní cíle:

- uložení, obhospodařování a reprodukci environmentálních prostorových dat,
- provedení prostorových či statistických analýz s těmito daty,
- modelování nejrůznějších situací v životním prostředí, které by sloužilo varovným či prognostickým účelům.

## METODY INTEGRACE VEKTOROVÝCH DAT:

**INTERAKTIVNĚ (manuálně) pomocí návodu (návštěvou každého areálu)**

**MECHANICKY pomocí neřízené klasifikace vektorů (clusterová analýza)**



1. Technologie logické integrace analytických dat o krajině pomocí tradičního formalizovaného postupu

Modelování průběhu dynamických přírodních či antropogenních jevů a procesů v krajině je stále naléhavější potřebou (Knapp, 2001). Počítačové simulace prostorových jevů, obzvláště negativních (např. požárů, postupu znečišťování vzduchu, vody a geologického prostředí, povodně či poškozování habitatu vzácných organismů apod.) jsou námětem řady expertních systémů budovaných nad standardními GIS (Wertz, 1991). Snaha řešit prostorové aspekty těchto jevů vede již principiálně k využití GIS při ochraně a optimalizaci využití přírodních zdrojů, inventarizaci, modelování a předpovědích ohrožení přírodními živly nebo haváriemi, ať již jde o krátkodobé operativní předpovědi či o středně a dlouhodobé výhledy.

Na rozdíl od dřívějšího chápání prostoru jako sumy různých proměnných, z nichž každá individuálně ovlivňuje výskyt a průběh jevů, novější pojetí charakterizuje prostředí jako logicky uspořádaný a funkčně integrovaný systém, v němž právě součinnost všech parametrů je podmínkou vzniku a jistého průběhu pochodů.

Proto jsou stále častěji vymezovány integrované prostorové jednotky, homogenní v těch vlastnostech, které jsou relevantní pro sledovaný proces. Představují *scény* pro průběh jevů a *adresy* pro jejich lokalizaci v procedu-

rách geoinformačních technologií. Jakmile proces do prostorové jednotky vstoupí, nebo v ní vznikne, chová se stejně po celé její ploše a diferencovaně jen podle času. Časové hledisko je tak stejně důležité jako strukturní (resp. účelově rozlišované) parametry jednotky. V závislosti na čase lze pozorovat, popsat a později modelovat, zda daný proces je jednotkou prohlubován, tlumen či pouze přenášen.

Integrace individuálních proměnných, reprezentovaných tematickými kartografickými soubory, může probíhat jak manuálně (s následující digitalizací, nebo on-screen s digitálními daty), tak i automatizovaně digitální cestou (obr. 1).

### Environmentální údaje v GIS

Pro rozmanité oblasti – obvykle administrativní jednotky různých řádů a jiná specifická zájmová území – se v jednotlivých zemích budují GIS, které mají za cíl jednak shromažďovat relevantní údaje o sledované oblasti a jednak, a to především, využít je pro konkrétní účely.

Regionální GIS shromažďují velké soubory údajů, často velmi odlišného obsahového charakteru a formy, jejichž společnou vlastností je pouze lokalizace v zájmovém území. Od oblastních GIS se vyžaduje editování uložených údajů, i podávání analytických informací – neboli jistým způsobem jejich vyhodnocování.

Citlivé environmentální údaje jsou v současné době poměrně výjimečně součástí běžných oblastních geoinformačních systémů. Význam těchto dat výrazně vzrůstá v GIS specializovaných na management životního prostředí, případně na problematiku přírodních hazardů. Ovšem ani v těchto případech není jejich úloha dominující a environmentální údaje, v drtivé většině analytické, jsou pouze jedním z datových souborů používaných k hodnocení území, případně ke klasifikaci a výběru vhodných teritorií.

Definice environmentálních dat může být značně široká. V obecné rovině lze za údaje o životním prostředí považovat analytické prostorové informace o jednotlivých složkách prostředí, ať již přírodních, ekonomických nebo humánních, dále údaje popisující nebo hodnotící například reálný nebo potenciální efekt lidských aktivit nebo rychlých přírodních procesů na život a díla člověka, na kvalitu životního prostředí, rovnováhu v krajině a bio-

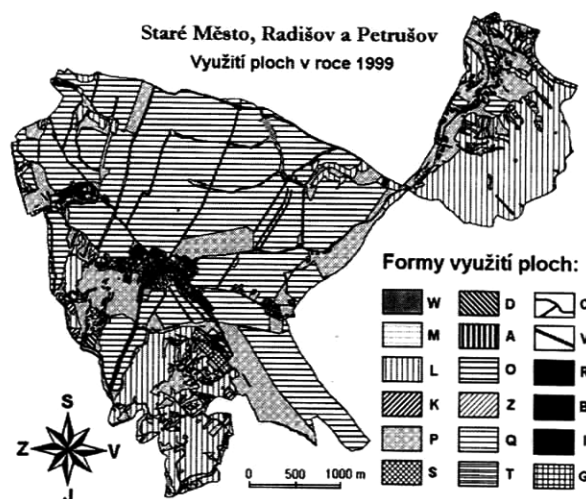
diverzitu. V optimálním případě jde o mnohparametrovou informační vrstvu s integrovanými údaji o charakteru životního prostředí v areálech.

Základní data o životním prostředí jsou součástí bloku dat o území v GIS. Tato jednorázová nebo multitemporální data jsou produktem inventarizace či monitoringu krajiny či životního prostředí a ukládána do GIS jako dokumentační materiál. Patří sem údaje o rozmístění ekosystémů, využití ploch (obr. 2) a jejich chronologických změnách, mj. o přírodních složkách prostředí, procesech v nich probíhajících, o výskytu chráněných území apod. Jejich význam v daném GIS je doplňkový, resp. poradní v managementu území.

Významnější postavení nabývají odvozená data o životním prostředí podporující jednoduché i složitější hodnotící operace s cílem posouzení environmentální rizikovosti (environmental risk assessment) zájmových území. Nejčastěji jde o využití a účelovou environmentální interpretaci rozmanitých údajů pro nejruznější tematická hodnocení (obr. 3). Součástí GIS se tak stávají regionalizační mapy znázorňující areály s různou náchylností k negativním environmentálním jevům, jako je např. riziko sesuvů, eroze půdy, znečištění půd a vod z různých zdrojů, případně se hodnotí role takových území v životním prostředí z hlediska např. stavu ekosystémů, estetického vzhledu krajiny, intenzity využívání přírodních zdrojů, únosnosti území apod. (obr. 4). Takto upravená data bezprostředně slouží rozhodovacím procesům v teritoriálním environmentálním managementu (Estes, McGwire, Fletcher, Foresman, 1987).

Klíčovou úlohu zaujímají environmentální data v těch GIS, které se cílevědomě zaměřují na mnohooborové integrování údajů v prostředí a na časoprostorové modelování environmentálních procesů a jevů. Předmětem modelování je obvykle vývoj některých rychlých procesů a havárií, nejčastěji požárů (fire management), odtoku a povodní (např. ANSWERS, CATCHMOD a DISTHMOD pro odtok, MIKE 11 pro povodně), pohybu podzemní vody (FLOWPATH), půdní eroze (ERDEP, Erosion 3D, AGNPS aj. – viz obr. 5), znečištění vod zemědělstvím (ISMAP, SAS, MINITAB, MODFLOW, MODPATH), šíření chorob lesních porostů, sukcese lesa apod., případně nástupu či ústupu živočichů v určitých areálech při znečištění prostředí (např. Band, Moore, 1995). Modely procesů slouží jako jistá forma vědecky podložené prognózy.

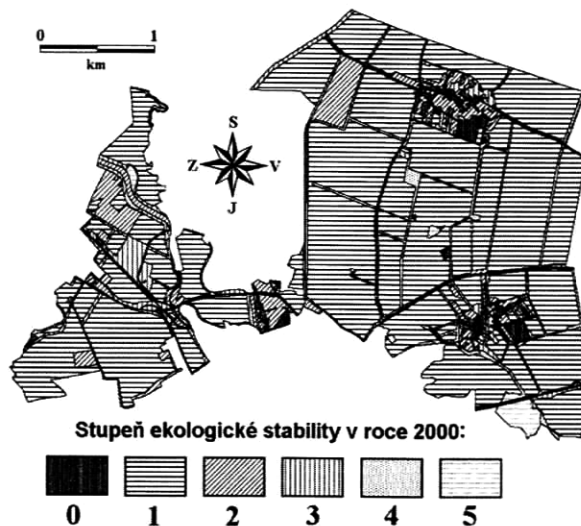
Jiným případem je počítačové modelování optimálního využití ploch (obr. 6). Environmentální data se pro účely modelování speciálně vybírají a upravují a často během procesu zpracování namátkově verifikují s empirickými hodnotami. Značnou nevýhodou GIS zaměřených na modelování a predikci dílčích přírodních nebo člověkem akcelerovaných, vyvolaných nebo kontrolova-

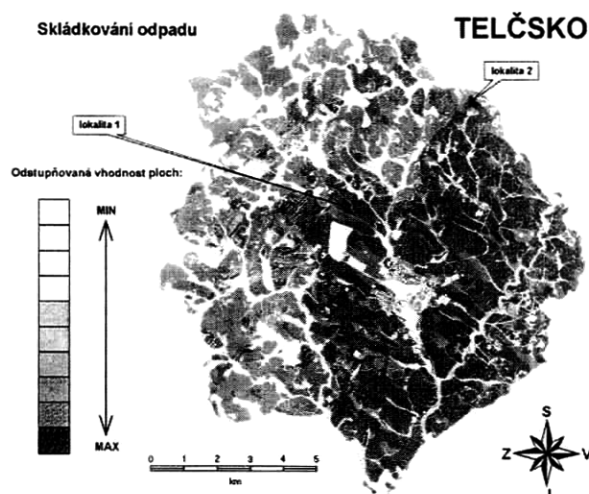


2. Využití ploch okolí Starého Města u Moravské Třebové: (W – vodní plochy, M – mokřady, L – lesy, K – keřové porosty, P – louky a pastviny, S – ovocné sady, D – plochy intenzivní drobné držby, A – sportoviště, O – orná půda, Z – zahrady, C – silnice, V – železnice, R – obytná zástavba, B – objekty služeb, I – výrobní objekty, G – hřbitovy)

3. Ekologická stabilita ploch v nivě řeky Morava severně od Kroměříže (stupeň ekologické stability 0 – zanedbatelný přínos pro ekologickou stabilitu, 1 – velmi nízký, 2 – nízký, 3 – průměrný, 4 – vysoký, 5 – velmi vysoký)

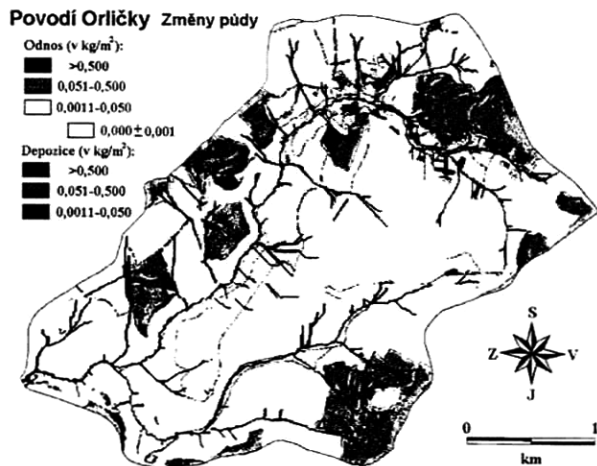
### KROMĚŘÍŽSKO Ekologická stabilita ploch





4. Příklad využití dat a technologie GIS ve spojení s údaji DPZ na vyhledávání vhodné lokality pro založení městské skládky v zázemí města Telč - World Heritage Site

5. Výstup z modelu Erosion 3D demonstruje přesun půdní hmoty v území po standardní dešťové srážce



ných jevů je jejich extrémní specializace a jednoúčelovost, prakticky vylučující použití k dalším účelům.

Zvláštním případem environmentálně specializovaných GIS jsou geoinformační systémy národních parků a jiných chráněných území. Tyto GIS se však až teprve po několika letech budování vyznačují prezencí integrovaných datových souborů, i to výjimečně. Na počátku jejich tvorby převládají převzaté údaje o složkách přírodního prostředí, a zejména o některých sociálně-ekonomických a topografických aspektech chráněných území (geologickém podkladu, půdách, lesech, využití ploch, hranicích,

komunikacích, tokoch apod.). Později se přidávají nebo dokonce vytvářejí údaje o stavu území, jeho složek, o některých aspektech antropogenního tlaku na přírodu atd. Používají se k prostorovým analýzám, hodnocením, syntézám a k modelování vybraných dynamických jevů. Za jistého zjednodušení představují východiska regionálních elektronických atlasů životního prostředí.

Vedle role archivační, informační či modelační je stále více posilována vizualizační funkce GIS. Přístupuje role propagační, neboť GIS a jeho produkty se stávají nástrojem ovlivňování širší veřejnosti s cílem přesvědčit ji o účelnosti konkrétního opatření, např. v oblasti výstavby, pozemkových úprav, schvalování územní projektové dokumentace aj.

### Environmentální GIS a jejich uživatelé

Podle charakteru uložené prostorové informace a očekávané kvalifikace konečného uživatele lze rozlišit v zásadě čtyři úrovně geoinformačního zabezpečení environmentálních GIS:

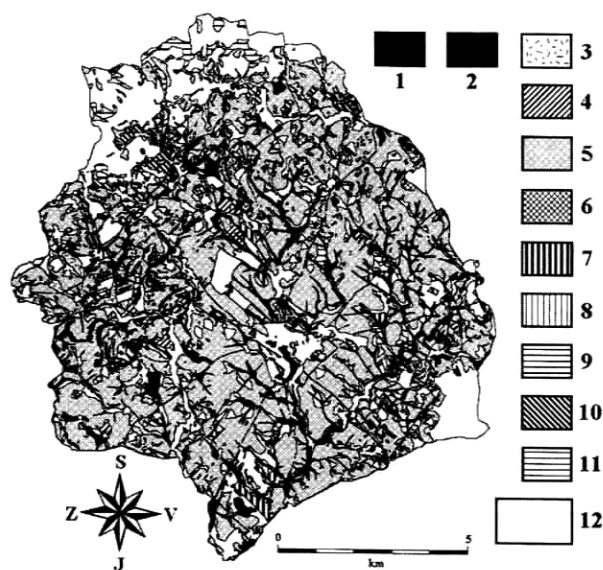
- **Mnohovrstevné základní informační zabezpečení** – obsahují digitální mapy těch faktorů prostředí, které jejich tvůrce považoval za relevantní pro řešenou problematiku. Obvykle jde o systematizovanou posloupnost map, která má (včetně doprovodného textu) uvést uživatele systému do problematiky, seznámit jej s územím, jeho vybranými rysy, vytvořit prostorovou představu o těch parametrech či objektech, které jsou důležité (z hlediska tvůrce) pro účelové hodnocení či rozhodování v konkrétních situacích. Digitální mapový soubor s expertními pokyny a návody je upraven tak, aby s ním mohl manipulovat uživatel bez kvalifikace v oblasti výpočetní techniky, zato však vybavený zkušenostmi v daném oboru. Tíha odpovědnosti za výběr parametrů, jejich hodnocení a rozhodování leží na uživateli, který sám musí vyhodnotit prezentované informace a integrovat je do podkladu.

- **Mnohovrstevné hodnotící informační zabezpečení** – již obsahuje nejen expertem připravené základní podklady a pokyny jak s nimi naložit, ale také jejich účelově interpretované verze. GIS tohoto typu obsahují základní informace o území ve zvláštních digitálních souborech a jejich individuální účelové verze orientované na rozmanité tematické hodnocení ploch, objektů, jevů, faktorů ve vztahu k vhodnosti území pro určité aktivity nebo podle míry nejistoty (hazardu) v území, případně i návrhy nejrůznějších opatření na zvýšení vhodnosti či snížení rizika. Uživatel obvykle není expertem ani v oblasti výpočetní techniky, ani v dané problematice odbornosti. Spíše mu přísluší výkonná (administrativní) řídicí a realizační úloha. Systémy tohoto typu prezentují logické řady hodnotících elektronických (digitálních) map s nejrůznější mírou vhodnosti, resp. ohrožení území havarie-

mi přírodního i antropogenního původu, např. bleskem, sesuvy, úniky obtížných či toxických látek (ropné havárie na pevnině i u pobřeží).

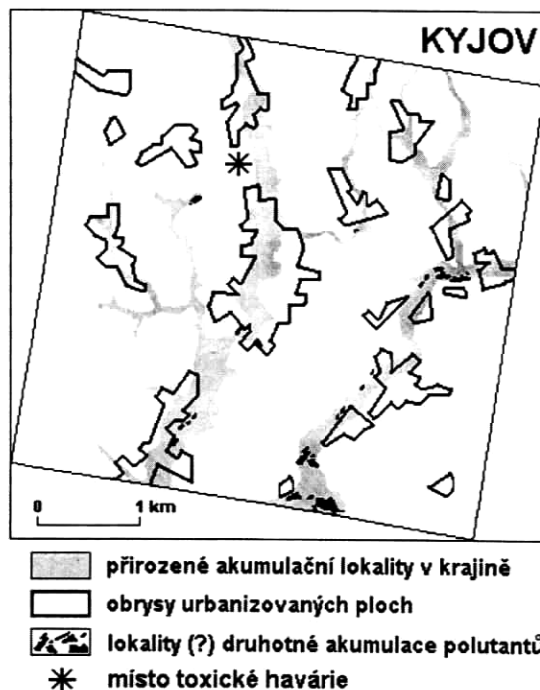
• **Produkty hodnotících statických modelů** – vycházejí ze znalosti souvislostí mezi *podmínkami, příčinami* a *důsledky* posuzovaných jevů v prostředí, jak přírodního, tak i antropického původu. Systémy tohoto typu již obsahují ostře oddělenou datovou základnu (soubor informací o území) a poznatkovou základnu (expertní systém obsahující pokyny jak s daty naložit, jaké výsledky očekávat a jak je hodnotit). Operace s daty se většinou zakládají na dotazníkovém přístupu, kdy se systém ptá, jaký další krok má učinit a uživatel si může vybrat z řady variant tu, která nejlépe odpovídá situaci. Obsahem operací je vytváření kombinací tematicky odlišných dat za účelem vyhledání *buď určitých kombinací* (prahových hodnot, nadprůměrných či podprůměrných kombinací spolupůsobení faktorů), *anebo všech reálně se vyskytujících kombinací*, které se mohou statisticky dále vyhodnocovat, zejména z hlediska poznání souvislostí mezi jevy (např. za jakých podmínek dosáhne určitý jev dané intenzity a teritoriálního rozsahu). Tímto postupem se možno dopracovat např. k diferenciaci území podle hodnot rizik či k územnímu průmětu důsledků např. havárie v určitém regionu (obr. 7). Jinou možností je provedení jednoduché prostorové analýzy s řadou datových vrstev pomocí matematické funkce (funkce) za účelem získání integrované hodnotící charakteristiky území (takové možnosti nabízí dnes většina komerčních programů GIS (např. Spatial Analyst jako extenze nad ArcView od ESRI). Příkladem aplikace mohou být např. odhady důsledků globální klimatické změny na určitý typ území.

• **Produkty dynamických a predikačních modelů, resp. systémů** – často využívají integrovaně více typů geoinformačních technologií (GIS, DPZ a GPS) a/nebo jsou založeny na komplikovaných statistických operacích využívajících funkční a pravděpodobnostní vztahy mezi relevantními proměnnými a zařazují do problematiky rovnocenný čtvrtý rozměr – čas. Stupeň vývoje těchto systémů je velmi rozmanitý. Programové vybavení vycházející z expertních poznatků je obvykle formalizovanou empirickou zkušeností, rozčleněnou do elementárních vztahů, funkcí a pokynů akceptujících široké spektrum relevantních proměnných. Je-li jednou z proměnných čas, pak každý krok modelování situace sledovaného jevu odpovídá jedné časové jednotce. Lze také, naopak, namodelovat určitou výslednou situaci a zjišťovat, za jaký čas k ní dojde. Časovou posloupnost namodelovaných (statických) stavů lze animovat, a tak vizuálně simulovat dynamiku jevu. Uživatel systému může být v extrémním případě i laik jen se zevrubnými znalostmi výpočetní techniky. Výsledky modelování musí však být kontrolovány zkušenou obsluhou tech-

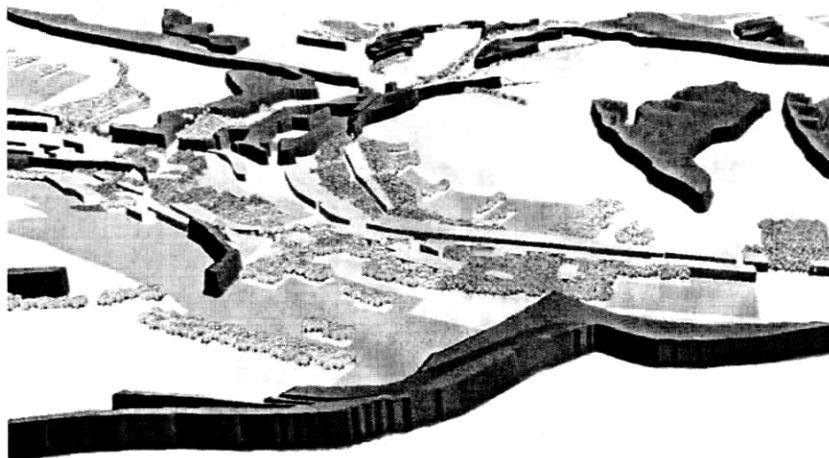


6. Vyhlednuté lokality pro optimální využití přírodních předpokladů sledovanými aktivitami v okolí města Telč na Českomoravské vrchovině (1 – alpské lyžování, 2 – rekreace u vody, 3 – bruslení, 4 – kemping a karavanning, 5 – golfová hřiště, 6 – sportovní stadióny, 7 – orná půda, 8 – ovocné sady, 9 – kulturní pastviny, 10 – hospodářské lesy, 11 – bydlení)

7. Vytipované plochy sekundární akumulace toxických látek po havárii v Kyjově-Boršově, vyhledané kombinováním postupu prostorové analýzy v GIS a analýzy družicového snímku SPOT







8. Výřez z 3D vizualizace digitálního modelu krajiny povodí Harasky v systému ERDAS Virtual GIS

niky. Tímto postupem se nejčastěji sleduje nebo předpovídá vývoj relativně velmi dynamických jevů, jako jsou požáry, pohyb polutantů v ovzduší (modely atmosférické disperze), ve vodě (hydrologické modely odtoku a disperze polutantů), v geologickém prostředí (geochemické modely) s krátkodobým i dlouhodobým výhledem, vývoj záplav i některé jevy v ekonomické a humánní sféře životního prostředí (šíření nemocí, možný pohyb sledovaných osob a skupin, např. demonstrantů, pohyb vozidel, únosnost dojíždky do zaměstnání aj.). Vzhledem k nezanedbatelnému zjednodušení je každý zapotřebí kalibrovat a verifikovat (Fedra, 1995).

#### Perspektivy GIS v managementu životního prostředí

Vedle klasických funkcí GIS nabývá v environmentálním (a krizovém) managementu nebývale na významu funkce modelační a aktuálně propagační. Tvorba digitálních statických či dynamických modelů teritoriálních segmentů životního prostředí se stává nejen prostředkem k lepšímu poznání rozmanitých přírodních i antropogenně podmíněných pochodů, účinným nástrojem v předvídání rozličných situací, které mohou jako výsledek jejich působení nastat, ale také nástrojem k ovlivňování laické a odborné veřejnosti při rozhodovacích procesech. Tuto skutečnost nemožno zanedbávat, neboť technologie, data a produkty GIS je zapotřebí předkládat co nejširšímu publiku. Takovou tvorbu GIS podporuje dnes již dostatečně rozvinutá, avšak pro tyto účely stále málo využívaná základna kvalitních programů.

Nezanedbatelná bude role vizualizačních 3D a 4D modelů i při posuzování estetického aspektu uvažovaných antropických zásahů do území (obr. 8), neboť umožní hodnocení více variant, jak je dnes již běžné v architektonických projektech využívajících technologie CAD. Zásahy do životního prostředí tradiční cestou *pokus-omyl* tím budou redukovány na minimum. Digitální modely prostředí nezastupitelně podporují rozhodovací procesy v území, v ochraně a tvorbě životního prostředí, a to jak v dlouhodobém výhledu, tak na operativní úrovni. S rozvojem multimédií a použitím technologií virtuální reality nabudou prostorově statické a animované, resp. simulární 3D a 4D aplikace GIS další přitažlivosti a praktického účinku.

*Všechny obrázky pocházejí ze studií a grantových projektů (GAČR č. 103/99/1470 Extrémní hydrologické jevy v povodí, GAČR č. 205/00/0782 Digitální model krajiny – perspektivní nástroj věd o Zemi), na kterých se autor podílel.*

#### Literatura

- Band, L. E., Moore, I. D.: Scale: Landscape Attributes and Geographical Information Systems. Scale Issues in Hydrological Modelling. Advances in Hydrological Processes. 1995, 9, p. 159 – 180.
- Estes, J. E., McGwire, K. C., Fletcher, G. A., Foresman, T. W.: Coordinating Hazardous Waste Management Activities Using Geographical Information Systems. Internat. Journal of GIS, 1, 1987, 4, p. 359 – 377.
- Fedra, K.: Chemicals in the Environment: GIS, Models, and Expert Systems. Toxicology Modeling, 1, 1995, 1, p. 43 – 55.
- Knapp, R.: Analýza povodní v GIS. Geoinfo, 8, 2001, 4, s. 24 – 25.
- Wertz, W.: Dynamic Fire Simulation for Training and Prediction. GIS World, 4, 1991, 3, p. 78 – 81.

**Doc. RNDr. Jaromír Kolečka, CSc., Katedra geografie Pedagogické fakulty Masarykovy univerzity, Poříčí 7, 603 00 Brno kolejka@jumbo.ped.muni.cz**