

MATEMATIKA NA POZADÍ GEOGRAFICKÝCH INFORMAČNÍCH SYSTÉMŮ

VÍT PÁSZTO A LUKÁŠ MAREK

ABSTRAKT. V posledních letech se stává geoinformatika a její nástroje (zejména GIS – geografický informační systém, materiály DPZ – dálkový průzkum Země, GPS – Global positioning system, mapové servery, aj.) samozřejmou součástí života lidí na celém světě. Mnohdy si ani uživatel neuvedomí, že právě geoinformatika v daný moment slouží k jeho lepšímu rozhodování. Příkladem může být navigace řidiče vozidla po silniční síti pro dosažení svého cíle. Anž by to bylo zřejmé, tak onen řidič používá dohromady hned několik (geo)informačních technologií – samotný přístroj s GPS čipem, mapové podklady, vektorové vrstvy silniční sítě, letecký či družicový snímek, či 3D modely budov. Avšak na pozadí všeho je správná síťová analýza pro nalezení nejkratší/nejrychlejší cesty, jež využívá matematických algoritmů, jelikož se jedná o optimalizační úlohy v orientovaném a ohodnoceném grafu. A obdobně každá GIS analýza využívá matematického aparátu, ať jednoduchého nebo složitějšího. Účelem tohoto příspěvku není představení nových matematických formulí pro řešení prostorových analýz, ale ukázat použití základních matematických principů v nejrůznějších aplikacích. Autoři chtějí přiblížit čtenářům geoinformatiku jakožto aplikační vědní disciplínu, a podnítit tak jejich zájem o interdisciplinární spolupráci.

1. ÚVOD

Ve 20. století byla v geografických vědách hlavním rysem jejich kvantifikace [14, 16]. Později po 2. světové válce byly dostupné prostředky počítačů, jež umožnily vznik geoinformatiky či geomatiky. Nasazení matematiky v geografických disciplínách nově mohlo využít výpočetních kapacit počítačů. Již zavedené matematické metody mohly být rychleji implementovány, testovány a dále rozšiřovány tak, aby výsledné analýzy byly přesnější a spolehlivější. Geografie se dostávala do počítačového prostředí, a tak mohly vznikat první geografické informační systémy (GIS). Vznikl tím i nový vědní obor – geoinformatika (v zahraničí často termín geomatika či „geographical information science“).

Matematické úlohy a metody jsou dnes již plně vnořeny do nástrojů GIS pro analýzy geodat, jež reprezentují geografické jevy a procesy. Specialisté GIS dnes nepotřebují znát všechny matematické metody, rovnice a vztahy do detailu, nicméně je důležité rozumět jejich funkci, významu a použití. Následující příspěvek ukazuje fundamentální matematické vztahy a jejich použití. Autoři si nekladou za cíl dokazovat či rozvíjet jejich formule ani vyvozovat závěry z jejich (ne)správného použití. Důraz je kladen na to, aby si čtenář uvědomil, že matematika se skrývá ve

Klíčová slova. geoinformatika, GIS, aplikace matematiky, prostorová data, GIS analýza.

Práce byla podpořena projektem A-Math-Net Síť pro transfer znalostí v aplikované matematice (CZ.1.07/2.4.00/17.0100).

všech přírodních vědách, geoinformatiku nevyjímaje. Příspěvek má za cíl seznámit čtenáře s aplikacemi GIS, inspirovat je pro zlepšení použití matematických metod v daných aplikacích a nabídnout možnost interdisciplinární spolupráce.

2. CO JE GEOINFORMATIKA A GIS

Existuje mnoho definic, co je to geoinformatika, avšak během svého vývoje lze použít následující tvrzení, že geoinformatika je souhrn vědeckých poznatků a moderních technologií, které se zabývají strukturou a charakterem prostorové informace, jejím reálným zachycením, uložením, klasifikací, analyzováním, zobrazováním a předáváním uživatelům formou geovizualizací, včetně zajištění správného pochopení zobrazované skutečnosti (upraveno podle [21]). Geografický informační systém (GIS) je podmnožinou geoinformatiky a zahrnuje součinnost hardware, software, prostorových dat a lidí, kteří jej používají [22, 25, 27]. Někdy jsou tyto čtyři komponenty podrobněji rozepsány (zejména segment lidí) a přidávají se k nim také uživatelé, programátoři, instituce, poskytovatelé dat, klienti, techničtí pracovníci a další [3].

Geografický informační systém se liší od klasických informačních systému podstatnou věcí – dokáže efektivně pracovat s prostorovými daty. Daty, které mimo své ostatní atributy obsahují také polohopisnou informaci (určení polohy pomocí souřadnic). A celý systém pak pracuje s prostorovými databázemi, nad kterými lze provádět velké množství prostorových operací a analýz.

Výsledky GIS operací a analýz je potřeba také přenášet dále na uživatele a informaci zobrazovat. Společně s poznatky z kartografie a počítačové grafiky disponuje GIS silným nástrojem pro vizualizaci prostorových dat, a to pomocí statické (analogové nebo digitální) či dynamické mapy, mapovou aplikací, animacemi, videi, ale v poslední době také virtuální a tzv. augmented realitou. Geografické informační systémy tak umožňují, resp. geoinformatika umožňuje vysoce efektivně prostorová data sbírat, ukládat, spravovat, analyzovat, modelovat a v neposlední řadě zobrazovat.

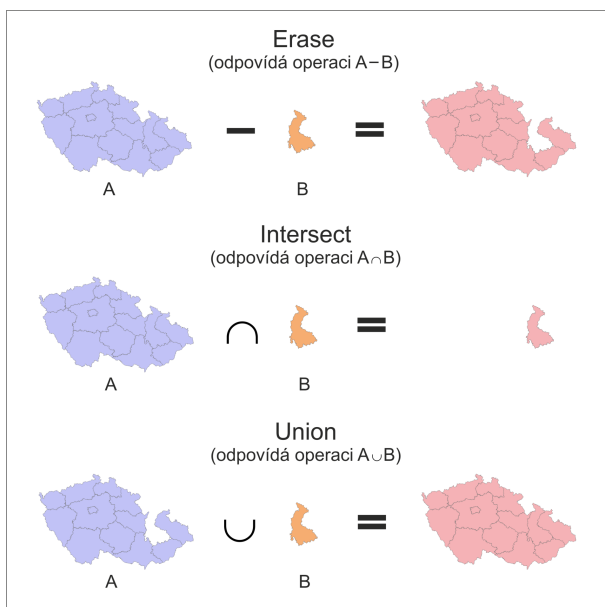
3. APLIKACE MATEMATIKY V GEOINFORMATICE A GIS

Ke zcela nejzákladnějším a nejběžnějším účelům v rámci GIS analýz je použita algebra (v GIS označení jako tzv. mapová algebra) a teorie množin. Velmi významným prvkem v rámci GIS je práce s topologií, jež je i vzhledem k práci s prostorovými daty zcela klíčová v pojetí GIS. Široké uplatnění nachází aplikace matematiky při řešení úloh se souřadnicovými systémy (transformace, projekce, apod.).

Komplikované jsou také úlohy, které vyžadují liniová data, tzv. síťové analýzy. Nejruznější optimalizační a jiné úlohy se v GIS neobejdou bez teorie grafů a algoritmů nad nimi. Převratnou záležitostí v přírodních vědách bylo použití teorie fuzzy množin a fuzzy logiky, jež je dnes implementována v mnohých GIS softwarech. V poslední době také stále častěji proniká do oblasti geoinformatiky koncept fraktální geometrie a teorie chaosu. Následující text krátce seznamuje s těmito aplikacemi matematiky ve spojení s GIS a geoinformatikou.

3.1. Teorie množin, mapová algebra, logické operátory

Základní poznatky z teorie množin, algebry či výrokové logiky naleznou své uplatnění i v rámci geoinformatiky. Tím nejelementárnějším příkladem využití teorie množin v prostředí GIS jsou, z pohledu geoinformatiky, tzv. overlay operace jako je Erase, Intersect, Union a další (Clip, Update, Identity). První tři jmenované odpovídají postupně operacím rozdílu, průniku a sjednocení dvou množin. Operace odpovídající doplňku množiny v GIS nemá své pojmenování.

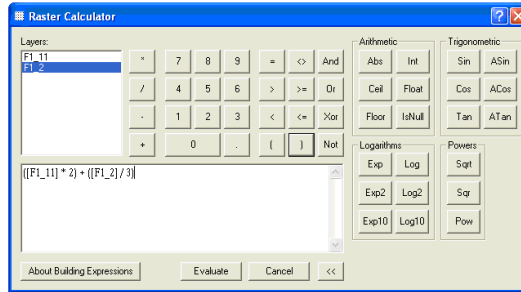


Obrázek 1. Základní množinové operace v GIS.

Principy komutativnosti a asociativnosti množin, stejně tak jako distributivnost a dalších lze samozřejmě použít také při GIS operacích. Tyto operace jsou v praxi využity např. k přípravě dat do dalších analýz, při výběrech vrstev, spojování vrstev, při modelování, aj.

Mapová algebra zahrnuje další zcela základní operace s GIS vrstvami a dá se uplatnit pouze na rastrová data (gridy, letecké či družicové snímky, obrazové formáty). Jednotlivé vrstvy jsou pak jednoduše podle daného předpisu kombinovány, kdy každý pixel rastru získá novou hodnotu. Těchto operací je využíváno při práci s materiály dálkového průzkumu Země (DPZ), např. při hodnocení multispektrálních družicových snímků pomocí různých indexů (Normalized Difference Vegetation Index – NDVI, aj.).

Logické operátory a jejich pravidla se používají v rámci GIS jako v programovacích jazycích. V rámci GIS byly dříve vyvíjeny nativní programovací jazyky jednotlivých softwarů, od čehož se postupně ustupovalo a dnes je již pro vývoj GIS použito běžných programovacích jazyků (Visual Basic, C++, Python). Práce



Obrázek 2. Ukázka mapové algebry v Raster Calculatoru v prostředí ArcGIS 9.x.

v GIS neprobíhá pouze pomocí dialogových oken, lze samozřejmě vstoupit do prostředí pro psaní skriptů. Stejně tak je použito i jazyka SQL při dotazování. Logické operátory jako je konjunkce (And), disjunkce (Or), negace (Not), implikace (If...then...), ekvivalence (If and only if...). Jejich implementaci lze vidět i na předešlém obrázku.

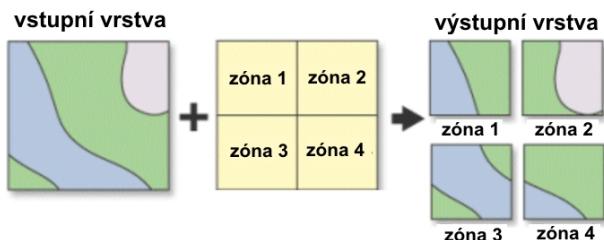
3.2. Topologie

Důležitým konceptem v rámci struktury geografických informačních systémů a manipulace či dotazování s prostorovými daty uvnitř nich je topologie. Kromě informace o své poloze dokážou prostorová data uchovávat také informace o topologii (zejména o sousedství), na jejichž základě je s nimi možné pracovat obdobně jako s množinami. Topologie v pojetí GIS je tedy sada pravidel a chování, která modelují, jak mezi sebou body, linie nebo polygony sdílejí geometrii [5]. Aby byla data topologicky čistá, využívá se zejména topologických konceptů – konektivity (dvě linie se na sebe napojují v uzlech), definice plochy (linie, které uzavírají nějakou plochu, definují polygon) a také sousednosti (princip okřídlené hrany – linie mají směr a nesou informaci o objektech napravo a nalevo od nich)[1].

Právě topologie geografických objektů umožňuje jednu ze základních analytických funkcí GIS – topologické překrytí [10]. Topologickým překrytím je myšlena skupina operací s množinami, kde množinou je myšlena informační vrstva obsahující jeden nebo více prvků. Základními operacemi jsou myšleny průnik (intersect), sjednocení (union) a prostorové přiřazení (identity). Speciálními případy topologických operací jsou potom clip, erase, update, split a dále také merge (spojení dvou vrstev do jedné a odstranění hranic mezi objekty se stejnými atributy) a dissolve (rozpuštění hranic objektů na základě stejné vlastnosti)[1].

3.3. Projekce a transformace

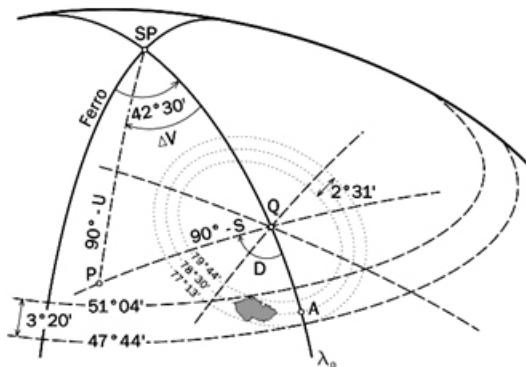
Země má ve skutečnosti velmi nepravidelný tvar, jehož nejbližší aproximací je geoid. Geoid je těleso tvořené ekvipotenciální plochou, která se co nejvíce přimyká střední klidové hladině moří a oceánů a zároveň prochází daným nulovým bodem [17]. Geoid je ovšem stále velmi složité a matematicky nedefinovatelné těleso, a je tedy pro svůj složitý tvar nevhodný ke zpracování v kartografii a GIS. Nahrazuje se proto matematicky jednoduššími tělesy nebo plochami, které jsou nazývány jako



Obrázek 3. Topologické operace split [4].

referenční. Jednotlivé referenční plochy či tělesa se od sebe liší (elipsoid, koule, rovina) svými parametry a také přesností nahrazení zemského tělesa [23]. Nejčastěji používanými přesnými referenčními plochami jsou elipsoidy, z nichž v ČR jsou využívány zejm. Besselův elipsoid (zeměměřičská praxe), Krasovského elipsoid (vojenská mapování) a elipsoid WGS 1984, jehož střed je totožný s těžištěm Země a je využíván jako základní pro satelitní měření polohy v systému NAVSTAR GPS [26].

Při mapování je nutné znát kvůli přesné lokalizaci mapovaného objektu nejen použitý referenční elipsoid, ale také kartografické zobrazení, tedy způsob, jakým má být převedeno zobrazení povrchu Země z referenčního povrchu do roviny (mapy). Kartografické zobrazení je dáno matematicky vyjádřenou závislostí mezi zeměpisnými souřadnicemi na referenční ploše a souřadnicemi v zobrazovací rovině [24]. Pro státní mapová díla ČR je typické využití Souřadnicového systému jednotné trigonometrické sítě katastrální (S-JTSK), který je definován Besselovým elipsoidem a Křovákovým zobrazením (dvojitě konformní kuželové zobrazení v obecné poloze) [2].



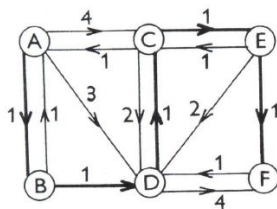
Obrázek 4. Křovákovo zobrazení [6].

V různých částech světa (nebo i na území jednoho státu) se pro různé účely používají odlišné souřadnicové systémy a pro práci s prostorovými daty vzniká

nutnost transformací mezi nimi. Tyto transformace zajišťují transformační rovnice a právě zde je matematika nepostradatelným prvkem k úspěšnému fungování GIS.

3.4. Síťové analýzy

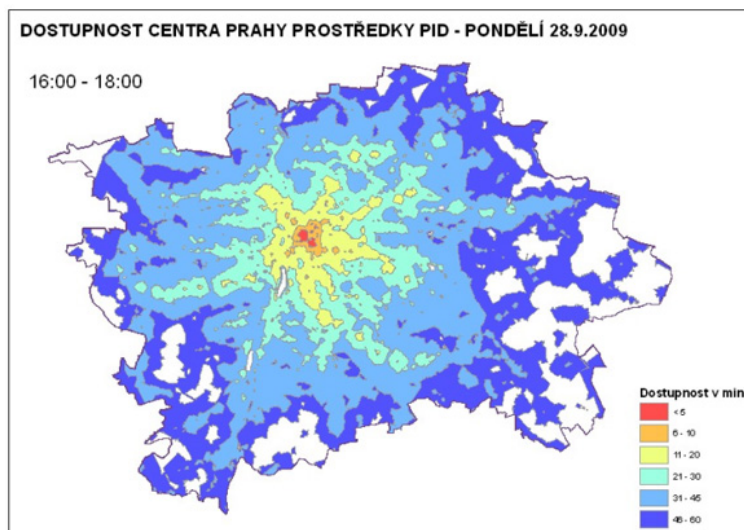
Typickým příkladem skloubení matematického aparátu a geografických informačních systémů jsou síťové analýzy. V tomto případě jde o analýzy nad hranami a uzly orientovaných či neorientovaných grafů. Jde tedy o otázky, jimiž se zabývá teorie grafů a algoritmy, které jsou aplikovány na prostorová data. Typickými řešenými úlohami jsou zde optimalizace grafů, hledání kostry grafu apod. V prostředí GIS jde zejména o sítě, které mají svůj nezanedbatelný prostorový rozměr a jsou nějakým způsobem lokalizovány – produktovody, silniční síť nebo také síť hydrologická. Problémy, které jsou na těchto sítích řešeny, jsou tedy analogicky hledání nejkratší, nejrychlejší nebo optimální cesty, logistický problém obchodního cestujícího nebo také dostupnost či obslužnost uzlů v síti (např. dostupnost škol, zóny obslužnosti obchodních domů, dopravní dostupnost a spádovost)[7].



Obrázek 5. Příklad vyhledání nejlevnější cesty v grafu [12].

V geografickém prostoru algoritmy pracují zejména s euklidovskou metrikou, ale možné je také další ohodnocení hran či uzlů pomocí vlastností terénu, dopravních omezení nebo socioekonomických ukazatelů. Pro popis grafů a optimalizaci v grafech se používají maticové nebo relační struktury. Především to jsou matice incidence, matice sousednosti, matice dosažitelnosti a dále potom distanční matice nebo matice impedance [12, 13]. Nejvyžívanějšími algoritmy v prostředí GIS jsou např. Dijkstrův, Floydův či Dantzigův [12]. GIS kromě statického modelování optimální dopravní trasy přes zadané body umožňuje také interaktivní volbu trasy a tímto způsobem může ve svých analýzách zhodnotit také znalosti operátora.

Za všechny stručně popíšeme Dijkstrův algoritmus, který je často používán pro vyhledávání nejkratší nebo nejlevnější cesty či zařízení. Cesta je vyhledávána na základě váženého grafu a množiny obsahující počáteční a cílovou pozici. Pokud chceme nalézt nejvhodnější cestu z výchozího umístění s do cílové destinace d , pak Dijkstrův algoritmus udržuje množinu uzlů S , pro kterou již byla nalezena nejkratší cesta z počátečního bodu. Algoritmus dále opakovaně prochází zbývajících uzlů množiny a vyhledává ty, které mají cesty minimální váhy. Po každém průchodu dojde k aktualizaci nejvhodnější cesty. Algoritmus pokračuje až do doby, než je do S přidána pozice cíle. Algoritmus zároveň splňuje tyto podmínky [12]. Je konečný, protože v každém průchodu jeho cyklem se do množiny navštívených uzlů přidá právě jeden uzel. Průchodů cyklem je nejvýše tolik, kolik má graf vrcholů. V grafu se nesmějí vyskytnout záporné hodnoty.



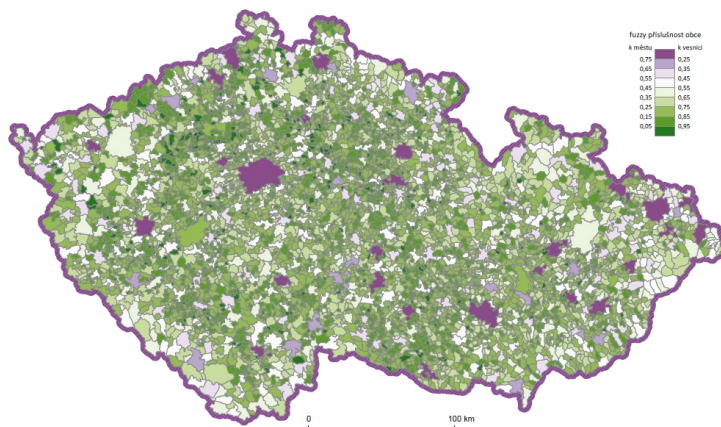
Obrázek 6. Časová dostupnost centra Prahy prostředky PID [9].

3.5. Fuzzy množiny a fuzzy logika

Teorie fuzzy množin a fuzzy logiky přinesla způsob, jak se vypořádat s neurčitostí, i do geoinformatiky. Reálné geografické procesy a jevy nejsou již samy ze své podstaty diskrétní či jasně ohraničené. Nicméně jejich abstrakce v GIS musí být jasně dána geometrií. V posledních letech však metody fuzzy množin a logiky umožňují, aby reprezentace těchto geografických jevů a procesů mohla být reprezentována také vágnějšími strukturami. Fuzzy škála, funkce příslušnosti, alfa řez, princip rozšíření, algebraické operace s fuzzy množinami a další principy lze velice efektivně využít i v rámci GIS. Konkrétní aplikace lze nalézt například při hodnocení sesuvů půdy, typické použití je při řešení ekotonů (přechodné zóny mezi dvěma a více biotopy [11]), dále například při hodnocení rizik sněhových lavin, při prostorových rozhodovacích procesech, ale i například při vymezování venkovských a městských typů obcí [18]. Na obrázku 6 je ukázka určení míry příslušnosti obce k venkovskému či městskému typu pomocí 8 indikátorů, na které byla uplatněna funkce příslušnosti.

3.6. Fraktální geometrie

Ke konci 60. let lze datovat vznik odvětví matematiky zabývající se teorií chaosu a fraktály. Přelomová práce Benoita Mandelbrota [15] shrnula myšlenky a představy o fraktální geometrii, jež se stala široce akceptovaným odvětvím matematiky. Základní principy soběpodobnosti, soběpříbuznosti, měřítkové invariance, mocninových zákonů, fraktální dimenze a další je možné aplikovat i na geografické jevy a procesy, které jsou v GIS reprezentovány jednotlivými vrstvami. Již prostě



Obrázek 7. Míra příslušnosti obcí ČR k venkovskému či městskému typu.

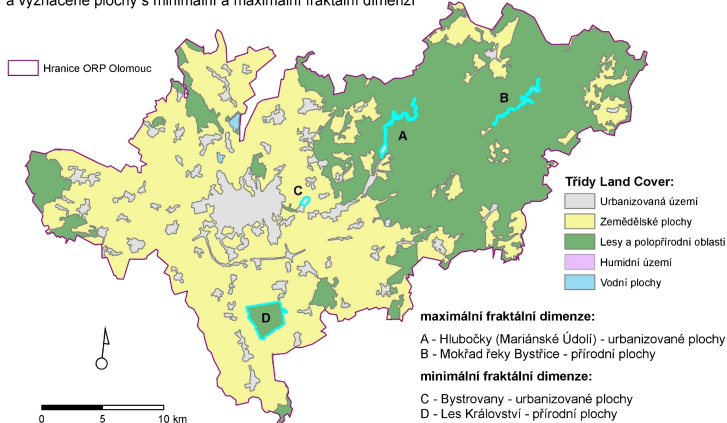
zobrazení zemského povrchu na leteckém snímku, tzv. krajinná matrix [8] – mozaika jednotlivých bodových, liniových a plošných prvků krajiny, vykazuje fraktální charakter. Všude, kde má význam hodnotit komplexnost tvarů krajiny, se fraktální geometrie dá použít. Snad nejčastější použití fraktální geometrie je v oblasti urbanní geografie při analýzách měst, silniční sítě v nich, struktury města, aj. Fraktální geometrii lze aplikovat také na hodnocení krajinných ploch, pro analýzu říční sítě, pro klasifikaci objektů na základě fraktální dimenze, pro analýzu tzv. landscape pattern a hlavně také na hodnocení využití země (land-use) či pokryvu povrchu (land-cover). Na obrázku 7 je znázorněna analýza land-cover v rámci území ORP Olomouc s vyznačením ploch s největší a nejmenší fraktální dimenzí ([19, 20]).

4. ZÁVĚR

Geoinformatika jako mladý obor silně orientovaný na aplikační rovinu čerpá z poznatků tradičních věd, mezi které patří právě matematika, a snaží se jejich teorii nejen využít, ale zároveň i rozšířit o prostorový aspekt. Matematika je tedy obsažena ve velké části veškerých úkonů, ke kterým GIS slouží. Při sběru dat a jeho zpracování jsou využity transformace a souřadnicové systémy, v případě rastrových dat je možné se zmínit o kompresních algoritmech pro jejich skladování. Analýza prostorových dat je doslova protkána funkcemi. Ať už jde o topologické překrytí, síťové analýzy, interpolační metody nebo o modelování a simulaci přírodních či demografických jevů, vždy jde o aplikaci matematických vztahů na prostorová data. Jak je možné vidět na příkladě použití fraktálů a fuzzy logiky, tak GIS jako věda se snaží držet krok s nejnovějšími trendy v matematice a snaží se je uchopit tak, aby přinesly užitek i do světa prostorových analýz. V tomto příspěvku tak byly zmíněny pouze ty nejzákladnější příklady použití matematického aparátu v geoinformatice. Téměř ve všech oblastech geoinformatiky, kde hraje matematika zásadní aplikační roli, je prostor pro vylepšování a inovování těchto matematických metod.

LAND COVER ORP OLOMOUC V ROCE 2000

a vyznačené plochy s minimální a maximální fraktální dimenzí



Obrázek 8. Land-cover ORP Olomouc v roce 2000 a vyznačené plochy s minimální a maximální fraktální dimenzí.

Nabízí se tak jedinečná možnost spolupráce napříč těmito dvěma vědními obory, která by byla pro všechny strany prospěšná.

REFERENCE

- [1] M. Břehovský, K. Jedlička: *Úvod do geografických informačních systémů*, el. skripta, dostupné z: <http://gis.zcu.cz/studium/ugi/e-skripta/ugi.pdf>, 2007.
- [2] V. Čada: *Geografické informační systémy v informační společnosti. Sborník příspěvků z konference EurOpen*, dostupné z: <http://www.europen.cz/Anot/29/HLAVNI.pdf#page=95>, 2005.
- [3] M.N. DeMers: *GIS for Dummies*, Wiley Publishing, Indianapolis, 2008.
- [4] Environmental Systems Research Institute: *ArcGIS Desktop 9.3 Help*, dostupné z: [http://webhelp.esri.com/arcgisDESKTOP/9.3/index.cfm?TopicName=Split_\(Analysis\)](http://webhelp.esri.com/arcgisDESKTOP/9.3/index.cfm?TopicName=Split_(Analysis)), 2010.
- [5] Environmental Systems Research Institute: *GIS Topology: An ESRI White Paper*, dostupné z: http://www.esri.com/library/whitepapers/pdfs/gis_topology.pdf, 2005.
- [6] Fakulta dopravní: *Přesná transformace souřadnic ze systému WGS-84 do systému S-JTSK*, dostupné z: <http://transformace.webst.fdv.cvut.cz/Iframe/Krovak.jpg>, 2009.
- [7] M.M. Fischer: *GIS and network analysis*, v D. Hensher, K. Button, K. Haynes, P. Stopher (editoři): *Handbook of transport geography and spatial systems*, Amsterdam, Oxford, Pergamon Press, 2004.
- [8] R.T.T. Forman: *Land Mosaics: the ecology of landscape and region*, CUP, Cambridge, 1995.
- [9] Geoportál: *Geografická data Prahy na jednom místě: Co je GIS?*, dostupné z: <http://geoportal.praha.eu/cs/clanek/11/co-je-gis>, 2011.
- [10] M. F. Goodchild: *Towards an Enumeration and Classification of GIS Functions*, Proceedings, International Geographic Information Systems Symposium: The Research Agenda II, National Aeronautics and Space Administration, Washington, D.C., 1987, 67–77.
- [11] A.J. Hansen, F. DiCasteri: *Landscape boundaries. Consequences for biotic diversity and ecological flows*, Springer-Verlag, New York, 1992.
- [12] J. Horák: *Prostorová analýza dat*, Ostrava: Vysoká škola báňská Technická univerzita Ostrava, dostupné z: http://gislinb.vsb.cz/hor10/PAD/Skripta/PAD_skriptaF.pdf, 2002.

- [13] M.J. Kuby a kol.: *International encyclopedia of human geography*, v R. Kitchin, N. Thrift (editoři), Elsevier, Amsterdam, 2009, 391–398.
- [14] A.M. MacEachren: *An evolving cognitive-semiotic approach to geographic visualization and knowledge construction*, Information Design Journal **10** (1) (2000), 26–36.
- [15] B.B. Mandelbrot: *The Fractal Geometry of Nature*, W. H. Freeman, San Francisco, 1983.
- [16] D.R. Montello: *Cognitive map-design research in the twentieth century: Theoretical and empirical approaches*, Cartography and Geographic Information Science **29** (2002), 283–304.
- [17] National Oceanic and Atmospheric Administration: *The NGS Geoid Page*, dostupné z: <http://www.ngs.noaa.gov/GEOID/>, 2011.
- [18] V. Pászto, L. Marek, P. Tuček: *Modeling of rural and urban areas delimitation in GIS using fuzzy sets: A case study*, Neural Network World, spec. č., AI and GIS, Praha (2011), v tisku.
- [19] V. Pászto, L. Marek, P. Tuček: *Perspectives of fractal geometry in GIS analyses*, Sborník symposia GIS Ostrava 2011, Ostrava, 2011.
- [20] V. Pászto, L. Marek, P. Tuček: *Fractal Dimension Calculation for CORINE LandCover Evaluation in GIS – A Case Study*, Proceedings of Databases, Texts, Specifications and Objects Conference, Písek, 2011.
- [21] P.L.N. Raju: *Fundamentals of geographical information system*, Satellite Remote Sensing and GIS Applications in Agricultural Meteorology, Proceedings of the Training Workshop, Dehra Dun, India, 2003, 103–120.
- [22] P. Rapant: *Geoinformatika a geoinformační technologie*, VŠB-TU Ostrava, 2006.
- [23] J.P. Snyder: *Map projections a map working manual*, U.S: geological survey professional paper 1395, United states government printing office, Washington, 1987.
- [24] E. Srnka: *Matematická kartografie*, Vojenská akademie Antonína Zápotockého, 1. vydání, Brno, 1986.
- [25] J. Tuček: *Geografické informační systémy, principy a praxe*, Computer Press, Praha, 1998.
- [26] B. Veverka, M. Čechurová: *Kartografické metody výzkumu a jejich uplatnění v geografii*, kapitola v Metody geografického výzkumu. Miscellanea geographica, 13, Plzeň, 2007.
- [27] V. Voženilek: *Geografické informační systémy I*, Univerzita Palackého v Olomouci, skriptum, 2000.

Vít Pászto, Katedra geoinformatiky, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Palackého v Olomouci, Tr. Svobody 26, 771 46 Olomouc, Česká republika,
e-mail: vit.paszto@gmail.com

Lukáš Marek, Katedra geoinformatiky, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Palackého v Olomouci, Tr. Svobody 26, 771 46 Olomouc, Česká republika,
e-mail: lukas.marek@upol.cz