

VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ –
TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA

Hornicko-geologická fakulta
Institut geoinformatiky

DISERTAČNÍ PRÁCE

Ostrava 2010

Ing. Karel Jedlička

VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ –
TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA



Hornicko-geologická fakulta
Institut geoinformatiky

Geomorfologický informační systém

disertační práce

autor: Ing. Karel Jedlička

školitel: Prof. RNDr. Vít Voženílek, CSc.

Ostrava 2010

Autorské prohlášení

Disertační práci jsem vypracoval samostatně a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

Byl jsem seznámen s tím, že na moji disertační práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – využití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a využití díla školního a § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně, ke své vnitřní potřebě, disertační práci užít (§ 35 odst. 3).

Souhlasím s tím, že jeden výtisk disertační práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u školitele.

Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.

Bylo sjednáno, že užít své dílo – disertační práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

.....
Karel Jedlička

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval svému školiteli prof. RNDr. Vítovi Voženílkovi, CSc. za vedení práce. Prof. RNDr. Jozefu Minárovi, CSc. a RNDr. Pavlu Mentlíkovi, Ph.D. za cenné rady ke koncepci práce. Kolegům Doc. Ing. Václavu Čadovi, CSc., Ing. et Mgr. Otakaru Čerbovi, Ing. Radkovi Fialovi a Ing. Janu Ježkovi za mnohé konzultace. V neposlední řadě chci poděkovat svojí rodině, manželce Renátě a synu Jakubovi za jejich podporu a toleranci.

Karel Jedlička

Anotace

Geomorfologický informační systém (GmIS) je speciálním typem geografického informačního systému (GIS) se zaměřením na geomorfologii. Geomorfolog jej může využívat při všech činnostech geomorfologického výzkumu. Základní funkcionality GmIS spočívá v podpoře sběru, ukládání a správy dat v geomorfologické databázi. Dále GmIS nabízí nástroje pro zpracování dat a geomorfologickou analýzu. Účelem práce je popsat činnosti, při kterých může použití GmIS usnadnit geomorfologovi práci, a pro tyto činnosti navrhnout a implementovat nástroje. Jedná se například o nástroje pro tvorbu digitálního modelu reliéfu a z něj odvozených povrchů, tvorbu elementárních forem, nástroje pro podporu terénního mapování a jeho zpracování, výpočty morfometrických charakteristik (nejen) elementárních forem, tvorbu vyšších hierarchických forem, vymezení povodí, nástroje pro podporu tvorby geomorfologické mřížky, atp.

Klíčová slova: geomorfologie, geomorfologická analýza, geografický informační systém, geomorfologický informační systém, geomorfologická databáze.

Annotation

Geomorphologic Information System (GmIS) is a special type of Geographic Information System (GIS) focused on geomorphology. GmIS can be helpful to geomorphologist in various situations in research. The fundamental functionality of the GmIS is to support collection, to store and maintain relevant geomorphologic data in a geomorphic database. It also has to offer special analytical tools for geomorphologic analysis. The deal of the dissertation is to describe activities in whose the GmIS can be helpful to a geomorphologist. Consequently the dissertation describes the design and implementation of tools whose can be used in such activities. These tools support namely: creation of digital terrain model and derived surfaces, creation of elementary forms, terrain mapping and processing of its results, computing of morphometric characteristic of elementary forms, creation of higher levels of morphologic forms, delimitation of watersheds, morphometric characteristic of watersheds, geomorphic network creation support, etc.

Keywords: geomorphology, geomorphic analysis, geographic information system, geomorphologic information system, geomorphologic database.

Obsah

OBSAH	1
1. ÚVOD.....	4
2. VÝCHODISKA PRÁCE.....	5
2.1. Cíl.....	5
2.2. Metody a postup zpracování.....	6
2.2.1. Použité metody	6
2.2.2. Postup zpracování	7
2.2.3. Základní použitá terminologie	11
2.2.4. Charakteristika zájmových území	14
2.3. Současný stav řešené problematiky	18
2.3.1. Geomorfologie a (geo)informační technologie	18
2.3.2. Shrnutí současného stavu	21
3. NÁVRH GMIS	23
3.1. Koncepce GmIS	23
3.2. Návrh struktury geomorfologické databáze.....	26
3.3. Identifikace činností v GmIS	29
3.4. Interakce uživatele s GmIS (pomocí případů užití).....	30
3.4.1. Zajištění otevřenosti systému.....	31
3.4.2. Vytvoření vzorové zdrojové geomorfologické databáze (GmDB)	33
3.4.3. Import převzatých datových vrstev	34
3.4.4. Tvorba DMR a odvozených povrchů.....	37
3.4.5. Elementarizace reliéfu zájmové oblasti	39
3.4.6. Terénní mapování	44
3.4.7. Výpočet morfometrických charakteristik polygonů elementárních forem.....	46
3.4.8. Výpočet morfometrických charakteristik hranic elementárních forem.....	49
3.4.9. Určení morfogenetických vlastností elementárních forem	54
3.4.10. Tvorba vyšších úrovní forem reliéfu (hierarchická regionalizace)	55
3.4.11. Vymezení povodí.....	59
3.4.12. Výpočet morfometrických charakteristik pro povodí a polopovodí	61
3.4.13. Tvorba geomorfologické mřížky	63

4. REALIZACE GMIS	67
4.1. Volba technologií	68
4.1.1. Otevřené technologie pro GmIS	68
4.1.2. Komerční technologie pro GmIS	69
4.1.3. Nástroje SW inženýrství pro podporu vývoje GmIS	71
4.1.4. Struktura ESRI Geodatabáze z pohledu GmIS	72
4.1.5. Nástroje pro tvorbu a dokumentaci datové struktury geodatabáze	79
4.1.6. Nástroje pro vývoj a dokumentaci geomorfologických funkcí GmIS	80
4.2. Realizace struktury geomorfologické databáze	81
4.2.1. Převzaté vrstvy	81
4.2.2. Základní geomorfologické vrstvy	84
4.2.3. Speciální geomorfologické vrstvy	96
4.2.4. Přesnost klíčových vrstev geomorfologické databáze	97
4.3. Realizace geomorfologických operací a analytických funkcí.....	97
4.3.1. Zajištění otevřenosti a tvorba struktury systému	98
4.3.2. Tvorba digitálního modelu reliéfu a odvozených povrchů	101
4.3.3. Vytvoření duální datové reprezentace elementárních forem georeliéfu	103
4.3.4. Terénní mapování a jeho následná interpretace	105
4.3.5. Výpočet morfometrických charakteristik polygonů elementárních forem.....	106
4.3.6. Výpočet morfometrických charakteristik hranic elementárních forem.....	108
4.3.7. Určení morfogenetických vlastností elementárních forem a tvorba vyšších úrovní forem reliéfu	112
4.3.8. Tvorba geomorfologické mřížky	115
5. NASAZENÍ GMIS V ZÁJMOVÝCH ÚZEMÍCH	118
5.1. Okolí Prášílského jezera	118
5.2. Devínská kobyla.....	120
5.3. Okolí Turčianské kotliny	122
6. VÝSLEDKY.....	125
6.1. Koncepce GmIS	125
6.2. Realizace prototypu GmIS.....	126
6.3. Závěry z nasazení GmIS	128
7. DISKUSE.....	130
8. ZÁVĚR.....	132

POUŽITÉ ZDROJE	134
SEZNAM AUTOROVÝCH PUBLIKACÍ	141
SEZNAM OBRÁZKŮ	145
SEZNAM TABULEK	148
PŘÍLOHY	149

1. Úvod

S nástupem výpočetní techniky začaly snahy o využití digitálních technologií pro účely věd o Zemi (a tedy i geomorfologie). Nejprve vznikaly jednoúčelové algoritmy pro řešení konkrétních úloh, například pro tvorbu digitálního modelu reliéfu, rastru sklonů svahů, rastru expozičních svahů, apod. Ty bylo následně možno řetězit do složitějších procesů, např. nalezení nejčastějšího sklonu svahu s jižní orientací. I jedna z největších firem produkující geografický software – ESRI (Environmental Systems Research Institute) začínala jako institut, který prováděl geografické analýzy na zakázku. Z modulů, které v rámci zakázek vytvořila, potom následně začala skládat první *geografický informační systém* (GIS).

Prozkoumávání možností geografických informačních systémů ovlivnilo i geomorfologii, která začala využívat nástrojů GIS pro konkrétní analýzy (např. zjištění minimální, maximální, průměrné a nejčastější nadmořské výšky povodí) a začlenila je do svých metodických postupů. Pro účely této práce bude na veškeré využitelné nástroje nahlíženo právě z hlediska jejich možného využití v geomorfologii, i když mnoho z nich má i širší využití.

Spojení geoinformačních technologií s geomorfologií umožňuje, jak aplikace klasických geomorfologických metod v počítačovém prostředí, tak i vývoj nových geomorfologických metod, které byly v analogové podobě pro svoji náročnost neproveditelné.

2. Východiska práce

2.1. Cíl

Geomorfologický informační systém (GmIS), jak jej chápe Minár et al. (2005), lze označit jako specifický druh GIS, který je zaměřen na práci s geomorfologickými daty ve smyslu všech jeho čtyř funkcí: vstupu, správy, analýzy a prezentace prostorových informací, Voženílek (1996). GmIS poskytuje geomorfologii nástroje a techniky, kterých může využívat při terénním mapování (sběr dat). Dále sebraná data, spolu s převzatými podkladovými daty (pro něž poskytuje importní nástroje), ukládá do strukturované geomorfologické databáze. Dobře strukturovaná databáze umožňuje provádět geomorfologické analýzy. Zde se GmIS stává výkonným nástrojem, který usnadňuje práci geomorfologa. Samozřejmě poskytuje i nástroje pro následnou prezentaci výsledků. Zmiňované požadavky na funkcionalitu GmIS kladou na zvolenou technologii velké nároky. Po srovnání požadavků na GmIS s členěním typů geografického software je patrné, že při tvorbě GmIS lze potenciálně využít skoro všechny typy geosoftwaru (viz podkapitola 2.2.3).

Autor práce se zabývá koncepcí GmIS, kterou postuloval ve spolupráci s kolektivem prof. Minára, rozpracovanou v pracích Minár et al. (2005) a Mentlík et al. (2006), která navazuje na Voženílkovu koncepci využití moderních mapovacích metod pro geomorfologii (Voženílek et al. (2001)).

Hlavním cílem práce je vytvoření koncepce geomorfologického informačního systému a její ověření na zvoleném území, a to včetně testování funkčnosti. GmIS bude navržen podle koncepce popsané v pracích Minár et al. (2005) a Mentlík et al. (2006), ve kterých technologickou stránku systému popisoval autor práce. Systém bude poskytovat geomorfologům nástroje, postupy a metody pro sběr, analýzu a prezentaci informací o zpracovávaném území. Zvolená území jsou popsána v podkapitole 2.2.4.

Pro splnění hlavního cíle je třeba problém dekomponovat a definovat *dílčí cíle*, které lze rozdělit na koncepční a realizační. *Koncepční cíle* práce jsou následující:

- i. Identifikace geomorfologických požadavků na GmIS.
- ii. Definice koncepce GmIS.
- iii. Návrh struktury geomorfologické databáze (GmDB) jako součásti GmIS.
- iv. Identifikace činností v GmIS.

Realizační cíle jsou následující:

- v. Volba dostatečně robustního¹ technologického řešení pro GmIS.
- vi. Realizace struktury geomorfologické databáze.
- vii. Realizace fundamentálních geomorfologických operací a analýz v GmIS pomocí geomorfologických nástrojů.
- viii. Zajištění otevřenosti GmIS pro přidávání dalších analytických funkcí.
- ix. Dokumentace GmIS.

Dílčí cíle lze za sebou seřadit následovně. V první řadě se jedná o zjišťování uživatelských požadavků a tvorbu konceptuálního modelu. Je třeba identifikovat činnosti, při kterých může být GmIS použitelný. Ty je třeba dokumentovat a implementovat pro ně nástroje. Proto je jako první potřeba navrhnout robustní strukturu geografické (resp. geomorfologické) databáze, a to v takovém prostředí, které následně umožňuje realizaci široké škály zmiňovaných funkcí, které mohou geomorfologovi pomáhat ve všech částech jeho práce, tj. od sběru, přes zpracování a analýzu dat až po výslednou prezentaci výsledků.

2.2. Metody a postup zpracování

GmIS vznikl ve spolupráci pracovníků ZČU a UK v Bratislavě, autor práce řešil jeho geoinformatickou část. Koncepce vznikala v rámci projektu AIP ČR č. 106 „Geomorfologický informační systém jako základ environmentálních aplikací“ a projektu č: CZ-35 „Geomorfologický a environmentální informační systém jako nástroj výzkumu a managementu krajiny“. Je popsána v Minár et al. (2005) a Mentlík et al. (2006). Realizace GmIS je podporována Výzkumným záměrem MŠM 4977751301 „Spojitě a diskrétní matematické struktury a vývoj odpovídajících metod jejich zkoumání“, konkrétně sekcí „Aplikace geometrie a informatiky v technologiích, geodézii a kartografii“.

2.2.1. Použité metody

Základním stavebním kamenem vědecké práce je seznámení se se stávajícím stavem řešené problematiky za pomoci **rešerše a studia odborné literatury** a dnes již i dalších, zejména elektronických, zdrojů.

Pro práci na GmIS se autor musel seznámit s celou řadou **geomorfologických metod a postupů**. Protože autor předkládané práce má vzdělání v geomatice a geoinformatice, ale nemá hluboké geomorfologické znalosti, spojil se s geomorfology. Jejich prostřednictvím

¹ Robustní v matematickém smyslu slova – malá změna na vstupu způsobí pouze malou změnu na výstupu, systém se nechová nestabilně. Ve vztahu k návrhu GmIS je třeba robustnost chápat tak, že malá změna vstupních požadavků je implementovatelná malou změnou v návrhu, a proto nezpůsobí velké změny v architektuře systému. Prostředkem k dosažení robustní architektury systému bude použití návrhových technik založených na UML (viz podkapitola 2.2.2).

se postupně seznamoval konkrétními postupy. Nejprve samozřejmě s terénním mapováním a sběrem dokumentačních materiálů. Geomorfologické mapování (viz např. Demek (1972), Létal (2005) či Voženílek & Sedlák (2004)) je možné označit jako vytváření tematických map na podkladě topografické mapy (v digitální podobě pak na podkladě topografické databáze²). Je možné jej provádět jak klasickými, tak i digitálními technologiemi, zejména za pomoci přijímače GPS – globálního polohového systému (podrobně popisuje např. Voženílek et al. (2001)). Autor také v průběhu práce získal informace o způsobech zpracovávání nasbíraných materiálů, analýzách vzorků a metodách jejich datování. Při návrhu a následné realizaci GmIS se autor zaměřil zejména na metody a postupy, jejichž některou část je možné algoritmizovat. Tyto metody a postupy byly autorem nejprve analyzovány (podkapitola 3.4), a následně pro ně byly v digitálním prostředí GmIS realizovány nástroje (podkapitola 4.3).

Z (geo)informačních technologií jsou v práci využívány metody **projektování informačních systémů**, a to zejména **návrh systému**, na který navazuje jeho **realizace**. Návrh systému je rozdělen na návrh struktury datové základny a na návrh postupů algoritmizace dějů (činností) v systému. Datová základna je realizována v databázovém stroji s důrazem na prostorovou složku dat, tj. v prostorové, respektive geografické databázi (spatial database / geographic database³). Činnosti probíhající v systému jsou realizovány v událostně řízeném a objektově orientovaném vývojovém prostředí GIS.

Jednotlivé kroky návrhu i realizace GmIS byly **publikovány** v odborných časopisech a na konferencích (spolu s touto prací realizují publikace dílčí cíl ix).

2.2.2. Postup zpracování

Postup vývoje nového systému lze členit jak vertikálně, tak horizontálně. Vertikální členění, které je použito v této práci, se skládá ze čtyř následujících fází:

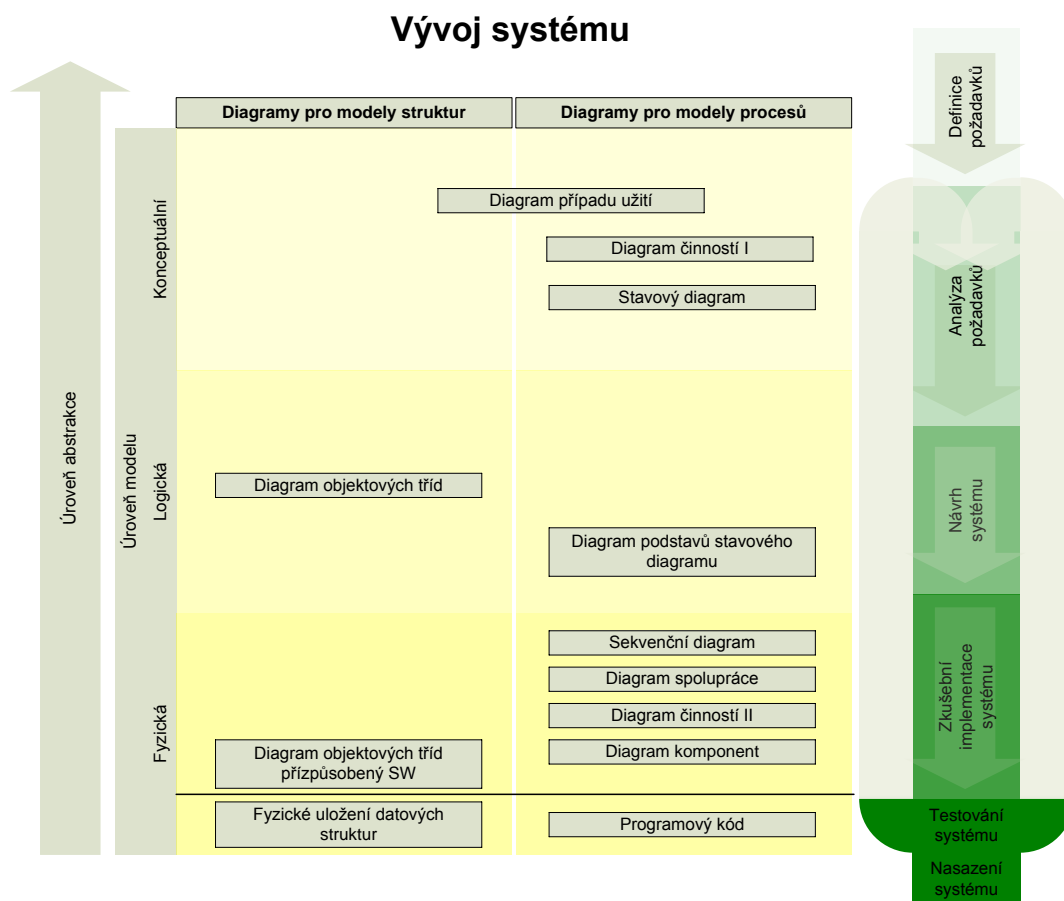
- a) V rámci *teoretické přípravy* je provedeno studium současného stavu řešené problematiky, rešerše literatury a je definována základní terminologie.
- b) V následující fázi *návrhu* systému je proveden sběr uživatelských požadavků. Na základě jejich analýzy je definována koncepce navrhovaného systému.
- c) Po dokončení návrhu následuje *realizační fáze*, ve které je vytvořen prototyp systému. Prototyp je nasazen a testován v zájmových územích.

² V ČR se jedná většinou o Základní bázi geografických dat (ZABAGED) produkovanou Českým úřadem zeměměřickým a katastrálním (ČÚZK) nebo o Digitální model území 1 : 25 000 (DMÚ 25) vytvářený Vojenským geografickým a hydrometeorologickým úřadem (VGHMÚř).

³ Pojem spatial database používají většinou autoři, jejichž původní vzdělání je v klasickém IT. Pojem geographical databases je užíváný geografové, geomatiky, částečně i geoinformatiky – u nich záleží, zda u nich převažuje „G“ či „IT“.

- d) V poslední fázi vývoje dochází k zpracování poznatků získaných při nasazení systému v zájmových územích.

Horizontálně je v práci vývoje systému rozdělen na *práci s datovými strukturami* (návrh struktury a vazeb datové báze, plnění databáze daty) a na *identifikaci a následnou realizaci činností, které v systému budou probíhat*. Historicky se obě oblasti vyvíjely částečně odděleně a tak pro práci s datovými modely existuje tzv. ERA model⁴ a pro návrh a vývoj algoritmů (realizujících činnosti) v systému vývojové diagramy. V poslední době se prosazuje ucelený pohled na návrh systému, kdy je pro obě části návrhu systému používán jazyk UML (Unified Modeling Language – UML) a nad ním postavená metodika unifikovaného procesu vývoje aplikací (zkráceně UP), Arlow & Neustadt (2007).



Obr. 2.1 UML nástroje pro vývoj systému. Zpracováno podle Bell (2003a-c), Quatrani (2003).

⁴ ERA model (Entity Relationship Attribute model) – model vizuálně zobrazující strukturu (geo)databáze, tj. tabulky (třídy entit) a relace (vztahy mezi nimi). U tabulek popisuje i jejich vnitřní strukturu, kterou tvoří atributy (sloupce v tabulce), entity (jednotlivé řádky v tabulce: vlastnosti entity jsou reprezentovány konkrétními hodnotami atributů).

Možný postup při vývoji systému s využitím UML, ze kterého je patrná jak vertikální posloupnost prací tak horizontální členění na strukturu a procesy, je znázorněn na obr. 2.1. Obrázek nepopisuje teoretickou přípravu. Je z něj ale dobře patrný postup od konceptuální, přes logickou, až po fyzickou úroveň návrhu systému a UML diagramy, které lze v různých stádiích vývoje použít.

Na konceptuální úrovni návrhu systému je potřebné začít zjišťováním a definováním uživatelských požadavků, které jsou následně analytickým procesem rozděleny na funkční a nefunkční a zaznamenány. Funkční požadavky určují, jaké chování bude systém nabízet, nefunkční požadavky specifikují vlastnosti nebo omezující podmínky systému (Arlow & Neustadt (2007)). Funkční požadavky jsou dále rozpracovávány (dekomponovány) do jednotlivých případů užití. Pro jednotlivé případy užití jsou identifikovány scénáře (zapisované do diagramů případů užití) a následně do stavových diagramů zakreslovány stavy, ve kterých se může systém v daném případě užití nacházet (pro GmIS nevyužito).

Dále je v logickém modelu precizováno chování systému v jednotlivých případech užití (buď jako specifikace podstav stavového diagramu, nebo v případě GmIS do tabulky specifikace případu užití) a je definován logický model struktur systému v diagramu objektových tříd

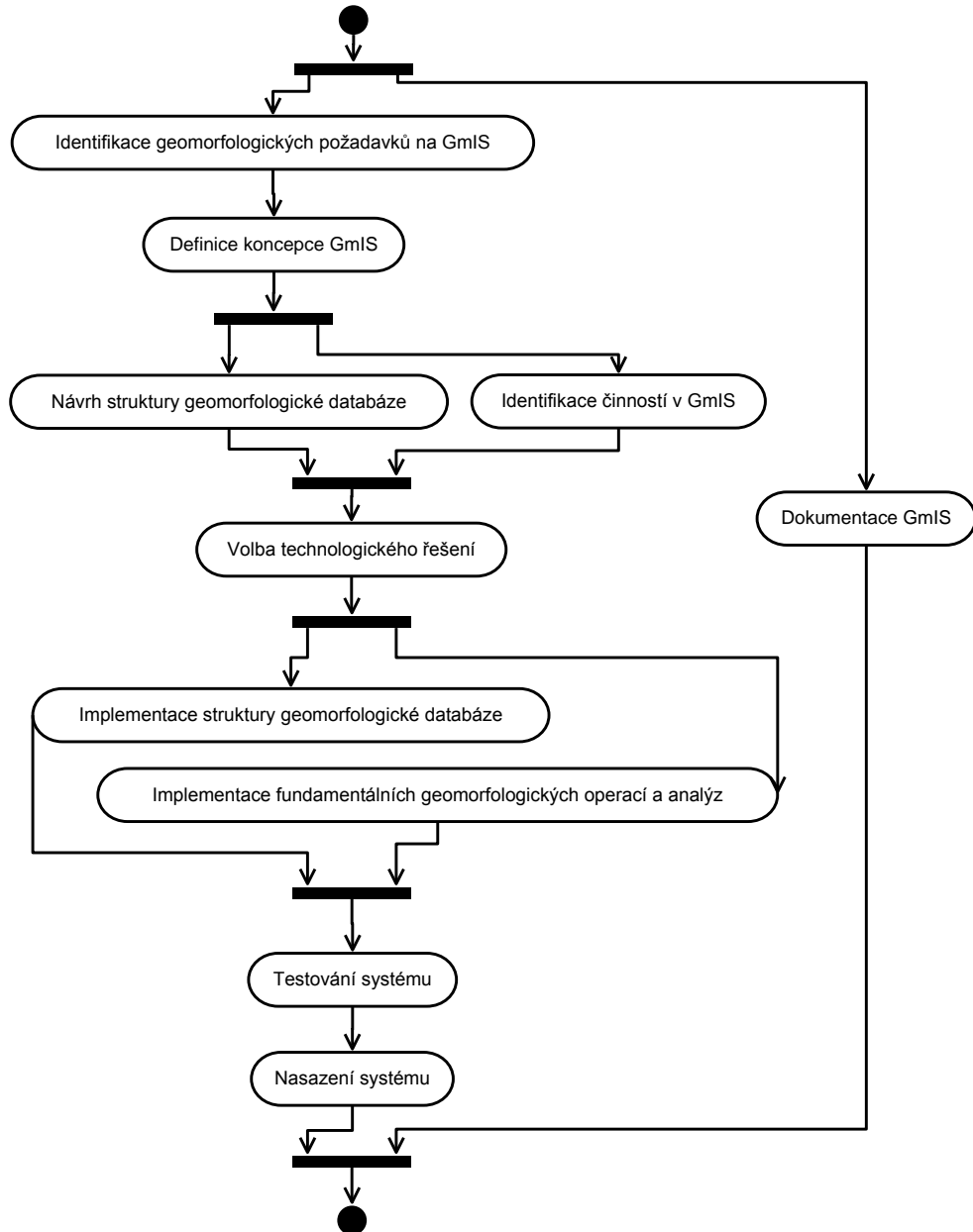
Na fyzické úrovni návrhu systému dochází k realizaci datových struktur (možno využít diagramy objektových tříd přizpůsobené SW, případně rovnou fyzické uložení struktur) a konkrétních algoritmů (různé diagramy sloužící pro dokumentaci chování algoritmu, ale hlavně vlastní programový kód).

Závěrečnou fází návrhu je testování vyvinutého systému, většinou na určitém pilotním projektu nebo v rámci případové studie. Celý vývoj systému má iterativní charakter. Počet iterací (návratů z fyzické úrovně na logickou, eventuálně konceptuální úroveň) je nepřímo úměrný kvalitě prvotního návrhu, ovšem minimálně jedno opakování po testování pilotního projektu lze očekávat vždy.

Při vývoji geomorfologického informačního systému bylo postupováno podle výše uvedených zásad. Konkrétní kroky jsou znázorněny na schématu na obr. 2.2.

Nejprve byly v koncepční fázi *identifikovány geomorfologické požadavky* na systém. Všechny požadavky byly odvozeny od základního, který vyžaduje, aby geomorfologický informační systém byl postaven na koncepci elementárních forem georeliéfu (viz podkapitola 3.1, geomorfologický pohled). Na základě toho byla *definována koncepce systému* (úvod kapitoly 3 a její první podkapitola 3.1), navržena *koncepce struktury geomorfologické datové báze* systému (podkapitola 3.2) a *identifikovány činnosti v GmIS*

(podkapitola 3.3). Podkapitola 3.4, podle geomorfologických požadavků dále navrhuje postupy vedoucí k realizaci činností v digitálním prostředí.



Obr. 2.2 Postup vývoje geomorfologického informačního systému.

V realizační fázi vývoje systému následuje volba vhodné technologie, která je popsána v podkapitole 4.1. Dalším krokem při realizaci systému je *realizace navržené datové struktury* do zvolené ESRI geodatabáze (podkapitola 4.2) a *realizace algoritmů a postupů, realizujících navržené činnosti* ve vývojových prostředích software ArcGIS (4.3). Potom je třeba systém *otestovat nasazením na pilotních zájmových územích*: Okolí Prášílského

jezera, Devínská kobyła a Turčianská kotlina, viz kapitola 5. V průběhu celého vývoje GmIS probíhá dokumentace prací, za kterou lze považovat tuto disertační práci.

Unifikovaného modelovacího jazyka a jeho diagramů bylo využito v koncepční a logické fázi návrhu systému. Až struktura výsledného datového modelu je dokumentována pomocí uzpůsobeného nástroje Geodatabase Diagrammer, založeného na ERA diagramech (viz podkapitola 4.1.5), který je hojně používán pro dokumentaci struktury geodatabáze. Realizované geomorfologické operace a funkce jsou dokumentovány v grafickém prostředí ModelBuilder, které vychází z vývojových diagramů, dále pak komentovaným zdrojovým kódem (více viz podkapitola 4.1.6).

2.2.3. Základní použitá terminologie

Geomorfologie je mezinárodní asociací geomorfologů (International Association of Geomorphologists – IAG) definována jako interdisciplinární a systematická věda o tvarech a formách zemského povrchu a procesech, které je utvářejí a mění (<http://www.geomorph.org/>).

Pro termín **geografický informační systém** existuje mnoho různých definic, které jsou si více či méně podobné. Následují vybrané definice představující pohled různých institucí a autorů na GIS:

- USGS (United States Geological Survey) definuje GIS jako počítačový systém schopný pořizovat, ukládat, manipulovat a zobrazovat geograficky odkazovanou informaci (data propojená s jejich umístěním). Do GIS zahrnuje i samotná data a zainteresované pracovníky.
přeloženo z http://webgis.wr.usgs.gov/globalgis/tutorials/what_is_gis.htm.
- ESRI chápe GIS jako integrovaný soubor počítačového software a dat používaný pro zobrazování a správu informací o geografických místech, analýzu prostorových vztahů a modelování prostorových procesů. Tvrdí, že GIS poskytuje rámec pro sběr a organizaci dat a k nim vztažených informací, tak aby mohla být zobrazována a analyzována (přeloženo z Kennedy (2001)).

České zdroje chápou GIS obdobně, například:

- Výkladový slovník ministerstva hospodářství definuje GIS jako organizovanou kolekci počítačového technického vybavení, programového vybavení, geografických dat a personálu, která je určena k účinnému sběru, pamatování, údržbě, manipulaci, analýze a zobrazování všech forem geograficky vztažené informace (Neuman (1996)).

- V později vydaném slovensko-českém Terminologickém slovníku geodézie kartografie a katastra je GIS chápán obdobně a to jako organizovaný soubor počítačového hardware, software geografických údajů a personálu určený k efektivnímu sběru, uchovávání, obnovování, manipulaci, analýze a zobrazování všech geograficky vztáhnutých informací (ČÚZK (1998)).

V práci je GIS chápán podle definice uvedené v práci Voženílek (1996):

- „*GIS je organizovaný, počítačově založený systém hardware, software a geografických informací, vyvinutý ke sběru, správě, zpracování a prezentaci prostorových dat s důrazem na jejich prostorové analýzy.*“

Tato definice je samozřejmě podobná předešlým uvedeným definicím, ale akcentuje prostorovou analýzu. Právě schopnost geografických informačních systémů zpracovávat a analyzovat vstupní data na základě jejich prostorových vazeb nejvíce odlišuje GIS od ostatních informačních systémů. Možnost algoritmizace analytických metod v počítačovém prostředí zase GIS odlišuje od jeho předchůdce zachycujícího prostorové vztahy mezi objekty – analogové mapy.

Na GIS lze nahlížet ze tří koncepčních pohledů: *evidenčně databázového, analytického a kartografického* (Maquire (2001), Longley et al. (2001)):

- *Databázová (evidenční) koncepce* klade důraz na zpracování a uchování velkého objemu dat. Data dokáže transformovat do informací o svěřeném území, má robustní databázovou strukturu.
- *Kartografická koncepce* klade důraz na tvorbu map (ať už v analogové nebo digitální podobě).
- *Analytická koncepce* klade důraz na analytické prostředky umožňující zkoumat zejména prostorové vztahy.

Platí přitom, že *GIS řešení* jako konkrétní aplikace geoinformačních technologií na určitou problematiku je často kombinací všech tří aspektů. Například analytický GIS (pod který lze zařadit i GmIS) by měl být založen na dobře navržené geografické databázi a mít schopnost poskytovat kartograficky korektní výstupy.

Dále lze GIS členit na jeho komponenty: software, hardware, data, lidi a metody⁵. Z hlediska vývoje GmIS je důležité si uvědomit různorodost zejména kategorie

⁵ Toto členění lze nalézt v celé řadě on-line zdrojů zabývajících se GIS:

- http://www.sfu.ca/rdl/GIS/tour/comp_gis.html
- <http://www.mapsofworld.com/gis/components.html>
- <http://maic.jmu.edu/sic/gis/components.htm>
- http://bgis.sanbi.org/GIS-primer/page_12.htm

(geo)software. GIS samozřejmě využívá většinu obecných informačních technologií, od operačního systému a sítí až po systémy řízení bází dat. Ale i vlastní geosoftwarové⁶, jak lze softwarovou část GIS nazvat, lze poměrně podrobně kategorizovat. Softwarová část GIS se potenciálně (záleží na funkcionalitě konkrétního SW) skládá z nástrojů umožňujících jednotné ukládání a správu atributové, prostorové i časové složky dat; analytických a kartografických funkcí pro zpracování dat a (grafického) uživatelského rozhraní. Longley et al. (2001) na základě rešerše uvádí, že je obvyklé geografický software členit do šesti následujících typů:

- *Profesionální GIS* – je chápán jako software, který umožňuje realizovat všechny činnosti vyjmenované v definici geografického informačního systému (sběr, správa, zpracování, analýza a prezentace dat). Je zpravidla určen pro pokročilé zpracování a analýzy dat, jako datovou základnu využívá databázový stroj umožňující integrovaně spravovat atributovou i prostorovou složku dat a může běžet jako desktop nebo i jako serverová aplikace.
- *Desktop (stolní) GIS* – velmi rozšířená kategorie GIS určená pro jednoduchou správu a zpracování dat a následně pro jejich vizualizaci. Nemá však takové analytické schopnosti jako profesionální GIS.
- *Příruční (hand-held) GIS (+ GPS)* – určený pro mobilní/příruční zařízení jakými jsou mobilní telefony, PDA, mini-notebooky, atp. Je určen většinou pro navigaci nebo jako součást většího GIS, pro který provádí sběr a aktualizaci dat.
- *Komponentní GIS* – sada komponent, ze které je možno sestavit GIS aplikaci nebo přizpůsobit existující software „na míru“ konkrétnímu problému. Lze využít pro vývoj specifických nástrojů, např. pro geomorfologické analýzy.
- *GIS prohlížečka* – odlehčená verze Desktop GIS určená pouze pro prohlížení geografických dat, volně šiřitelná. V druhé polovině 90 let bylo využití GIS prohlížečky jednou z mála možností, jak dostat geografická data k širší uživatelské obci. Pro nutnost instalace desktopové aplikace postupně tento typ GIS zdomácněl především v intranetech větších firem, nicméně najdou se i internetově úspěšné prohlížečky geodat. Lze sem zařadit například aplikaci Google Earth.
- *Internetový GIS* – primárně určený pro prohlížení dat, v případě využití webových služeb lze internet GIS zejména do budoucna chápat, jako tenkého klienta připojujícímu se k profesionálnímu GIS serveru.

• <http://www.mapsofindia.com/gis/gis-components.html>

⁶ Longley et al. již v roce 2001 (tedy ještě před velkým vývojem v open source oblasti v posledních letech) uvádí, že až 100 softwarových systémů jejich tvůrci označují za schopné práce s mapou a mající schopnosti GIS.

Při tvorbě GmIS je využíváno funkcionality profesionálního GIS propojeného s databázovým strojem. Dále je využíváno komponentního GIS pro přizpůsobení softwarové aplikace geomorfologickým účelům a příručního GIS pro terénní sběr dat. Pro publikaci a šíření výstupů lze potenciálně uvažovat i o GIS prohlížeče, resp. internetovém GIS.

2.2.4. Charakteristika zájmových území

Zájmová území pro případové studie přibývala postupně, jak v průběhu vývoje systému autor spolupracoval s různými geomorfology. Nutno podotknout že vymezení zájmových území neprováděl autor sám, ale právě dále zmiňovaní geomorfologové na základě jejich odborné erudice.



Obr. 2.3. Prostorové rozmístění zájmových území GmIS.

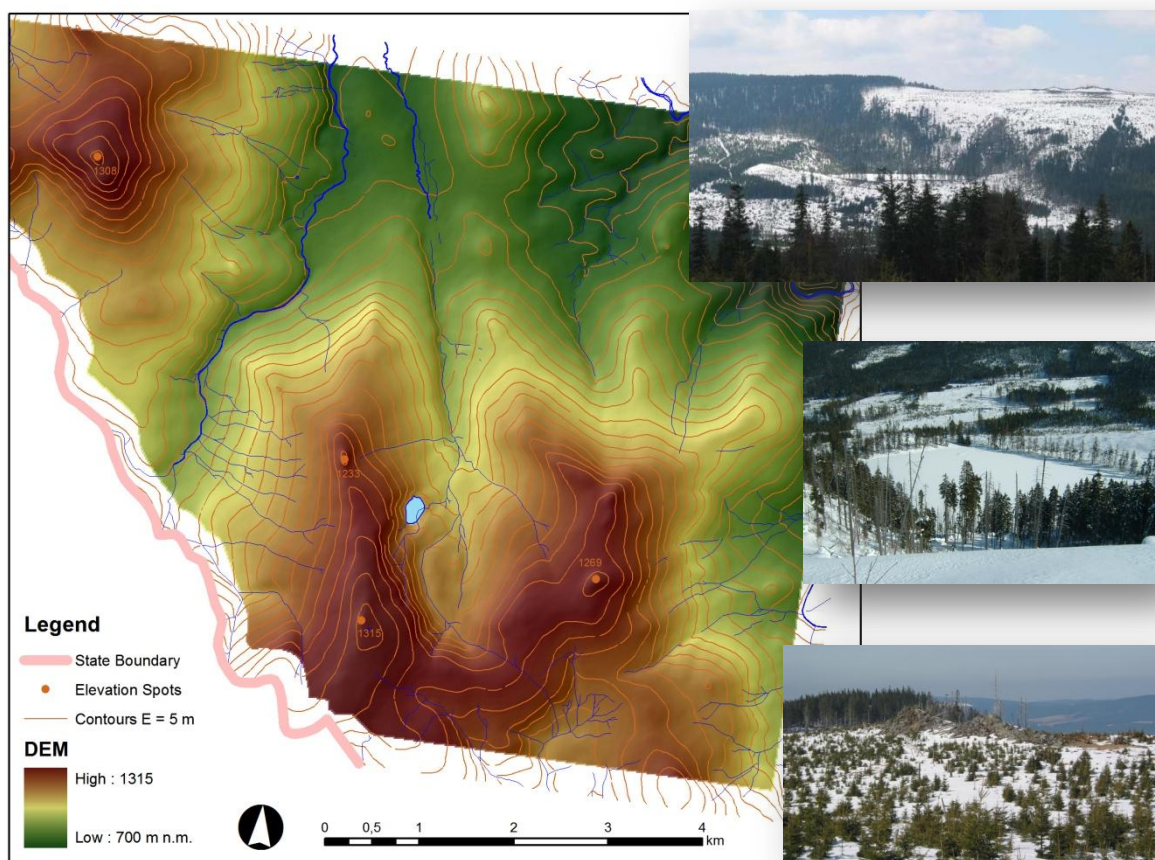
Území, na kterých bylo v průběhu návrhu a vývoje geomorfologického informačního systému nasazeno a testováno autorovo řešení, jsou charakterizována v následujícím textu a vyznačena na přehledné mapce na obr. 2.3. Nasazení GmIS v jednotlivých lokalitách je popsáno v podkapitole 5.

i. Okolí Prášílského jezera

Prvním zájmovým územím, které autor vybral pro případovou studii GmIS bylo okolí Prášílského jezera na Šumavě, pro účely geomorfologického výzkumu vymezené v Mentlík (2002), (zobrazeno na obr. 2.4):

Do zájmového území bylo zahrnuto celé povodí Jezerního potoka. Ten vytéká z Prášílského jezera. Povodí potoka leží na okrajovém svahu, který odděluje Kvildské pláně od níže položených Kocháňovských plání. Kvildské pláně jsou nejrozsáhlejším okrskem geomorfologického podcelku Šumavské pláně. Jsou charakterizovány plochým zarovnaným povrchem v nadmořské výšce 1 000–1 100 m n. m. Na západě na Kvildské pláně navazuje Debrnická hornatina, která je součástí Železnorudské hornatiny a Kocháňovské pláně. Kocháňovské pláně mají podobný charakter reliéfu jako Kvildské pláně jsou však položeny níže, převážně ve výškovém rozpětí 800–900 m.

Jezerní potok protéká poměrně výrazným údolím, které směřuje k severu. Nejvyšším bodem povodí je vrchol Poledníku (1 315 m n. m.) a nejnižším bodem je ústí Jezerního potoka do Prášílského potoka (820 m n. m.), do kterého ústí zprava. Prášílský potok je pravým přítokem Křemelné. Zájmová oblast tak náleží do povodí Otavy resp. Vltavy.

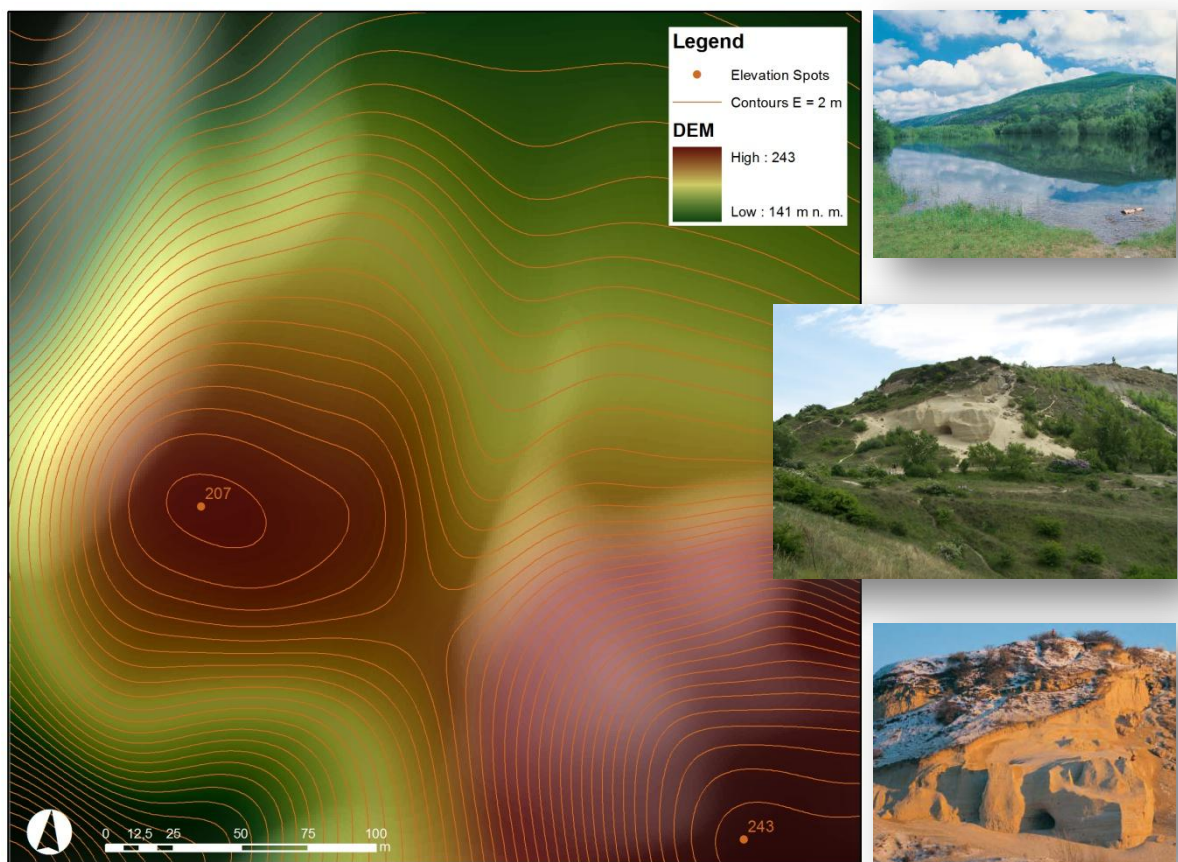


Obr. 2.4. Okolí Prášílského jezera. Fotografie převzaty z Mentlík (2005).

ii. Devínská Kobyla

Dalším zájmovým územím vybraným pro nasazení GmIS je Devínská Kobyla (obr. 2.5), vymezená pro účely výzkumu Minářem např. v publikaci Minář (2003):

Zájmové území se nachází v okolí Devínskej Novej Vsi (západná periféria Bratislavy). Území leží na významné geomorfologické hranici – hranici Karpat a Panónské pánve. Relativní blízkost dalších dvou velkých geomorfologických jednotek – Alp a Českého masívu, dává tomuto prostoru vysokou míru mladé tektonické aktivity, na kterou se při seizmické činnosti přímo, či zprostředkovaně váže celá řada katastrofických procesů (různé gravitační deformace, či povodně a eroze různého typu.

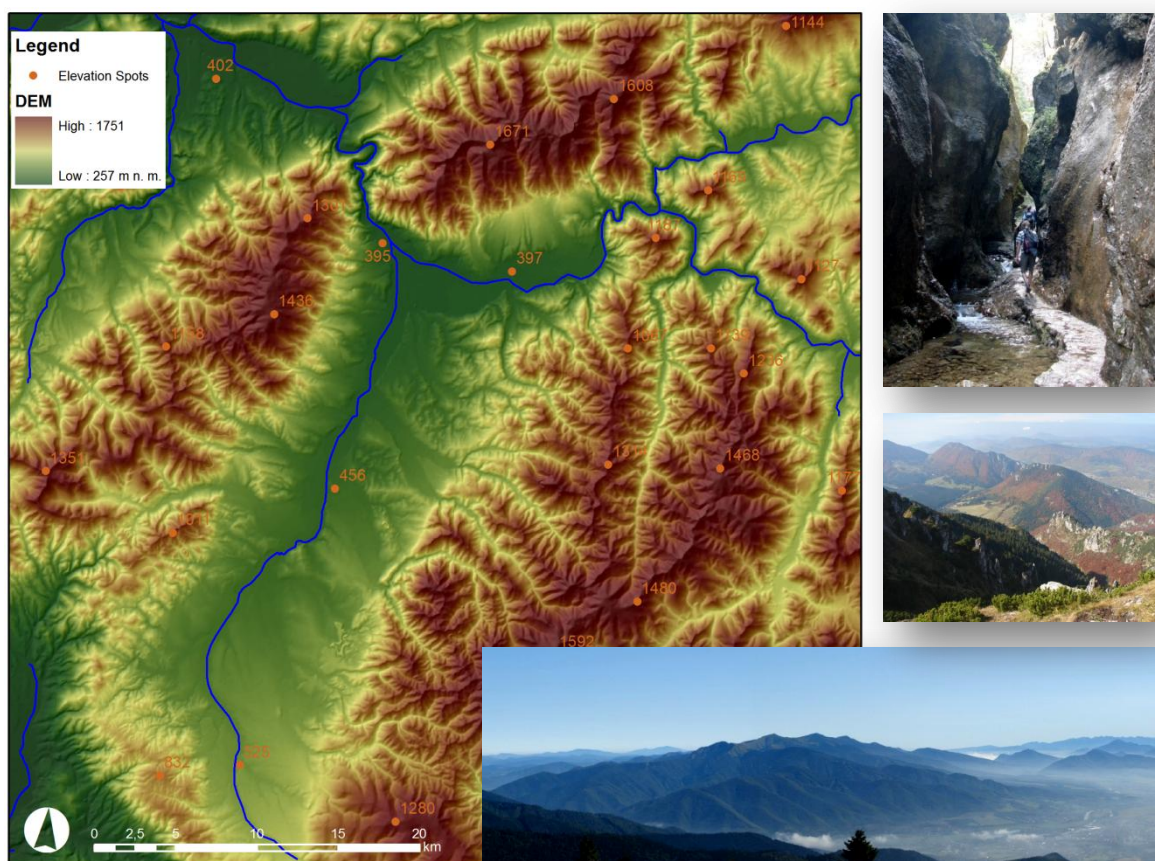


Obr. 2.5. Slovinec, Devínská Kobyla. Fotografie převzaty z Minář & Mičian (2002) a z Pacina (2008).

iii. Okolí Turčianské kotliny

Třetím zájmovým územím, na kterém byl nasazen GmIS, je rozsahem větší oblast okolí Turčianské kotliny (obr. 2.6). Její vymezení je převzato z publikace Sládek (2006):

Celé zájmové území se nachází v (z hlediska geomorfologického členění) západokarpatské provincii, subprovincii Vnitřní Západní Karpaty, ve Fatransko-tatranské oblasti. Zabírá okrajové části geomorfologických jednotek Turčianské kotliny (jižní část), Hornonitranské kotliny (severní okraj), Žiaru, Malé Fatry (jihovýchodní okraj), Velké Fatry (jihozápadní okraj), Kremnických vrchů (severozápadní okraj) a Strážovských vrchů (východní okraj). Sládek (2006). Ve vybraném území se nachází široké spektrum morfografických typů georeliéfu (od nížin k horám) a také různorodé geomorfologické formy (od širokých a plochých náplavových rovin po ostré horské hřebeny. Jedlička & Sládek (2009).



Obr. 2.6. Okolí Turčianské kotliny. Fotografie převzaty z Jedlička & Sládek (2009).

2.3. Současný stav řešené problematiky

2.3.1. Geomorfologie a (geo)informační technologie

Počátky pokusů o využití počítačové algoritmizace prostorových analýz v geomorfologii shrnuje například Chorley (1972). Uvádí, že na přelomu padesátých a šedesátých let byly prováděny první výpočty na počítačích druhé generace⁷. Zapojení počítačů umožnilo postupný rozvoj a širší nasazování kvantitativních geomorfologických metod. Chorley (1972) rozlišuje dvě hlavní kvantitativní geomorfologické školy. První škola se zaměřuje na aplikaci kvantitativních metod v geologii. Jako příklad takovéto aplikace uvádí prostorové analýzy bodových dat pomocí trendových povrchů. Druhá geomorfologická škola je zaměřena primárně na vazby geomorfologie a humánní geografie a zabývá se prostorovými vazbami mezi geografickými jevy a lidskou činností, zejména tvorbou modelů vhodnosti umístění konkrétního typu aktivity. Obě skupiny používaly modely založené na jednoduchých vektorových modelech na vstupu, na výstupu produkovaly matice, resp. rastry. Rané generace počítačů totiž byly zaměřeny na import vstupů z externí paměti, sekvenční zpracování kódu a následný export výstupu na vnější paměťové médium. Z hlediska využití výpočetní techniky v geomorfologii takovým způsobem, jakým ji lze využívat v současné době, bylo ovšem třeba dalšího vývoje. Kromě již zmiňovaných paměťových médií se jednalo samozřejmě o rychlost zpracovávání příkazů (frekvence procesoru), způsoby vizualizace (počítačová grafika) a s ní související vynález počítačové myši a definice interaktivního grafického uživatelského rozhraní Graphic User Interface – GUI).

Z hlediska možností správy datové základny GIS byl ovšem důležitý zejména vývoj databázových systémů. Při jejich vývoji hrála klíčovou roli Coddova koncepce relačního datového modelu (Codd (1970), později doplněna v Codd (1990)). Aby byly databáze využitelné i pro správu prostorových, zemskému povrchu vztažených dat, bylo třeba klasické databáze rozšířit o možnost ukládání a správy dvojrozměrných dat. V geografických informačních systémech byl dříve (a v mnohých případech stále je)⁸ používán duální koncept uložení dat, spočívající v uložení prostorové složky dat jiným způsobem než atributové složky. Příkladem duálního konceptu ukládání dat, který využívá databázového stroje je geografický informační systém Arc/INFO (r. 1982)⁹. Ten pro správu, uchovávání a analýzu geometrie používá modul Arc a pro správu atributů používá databázový modul INFO¹⁰.

⁷ Členění generací počítačů lze nalézt např. na: http://cs.wikipedia.org/wiki/Dějiny_počítačů

⁸ Například formát design file (*.dgn) a jeho jediný atribut ms-link, pro propojení na atributovou databázi nebo formát shapefile (*.shp), propojený přes indexový soubor (*.shx) k atributové složce uložené ve formátu dBase III (*.dbf), více v <http://www.esri.com/library/whitepapers/pdfs/shapefile.pdf>.

⁹ <http://www.esri.com/about-esri/about/history.html>

¹⁰ <http://www.udel.edu/topics/software/special/gis/arcinfo.html#over>

Firma Oracle, jakožto přední výrobce klasických atributových (lexikálních) systémů pro řízení báze dat (SŘBD, anglicky DBMS – Data Base Management System) začala s vývojem modulů umožňujících ukládání prostorových dat přímo do databáze v roce 1984 v rámci projektu Kanadské hydrografické služby (CHS)^{11, 12}, ve verzi Oracle 4. Přesto uběhla ještě dlouhá doba, než vznikly systémy umožňující ukládání prostorové i atributové složky dat do jednoho datového úložiště, které plně umožní využít potenciál propojení obou složek dat. Po přepsání jádra systému nabídla firma Oracle první možnost ukládat obě složky dohromady ve verzi Oracle 7 pod názvem SDO (Spatial Data Option) v roce 1992. Od verze Oracle 8 (r. 1997) je již prostorové rozšíření pojmenováno Spatial^{12,13}. V roce vznikla norma SQL:1999 (označováno též jako SQL 3), která umožňovala definovat uživatelské datové typy, pomocí kterých bylo možno do databáze uložit a zpětně pomocí SQL interpretovat prostorovou složku dat. Firma ESRI nabídla technologii postavenou na principu jednotného datového úložiště v roce 1999, kdy v rámci software ArcGIS 8.0 představila datový formát ESRI Geodatabase. Dalším významným databázovým systémem s podporou ukládání prostorové složky dat je databáze PostgreSQL. Její nativní datové formáty se sice pro účely GIS ukázaly jako nevhodné¹⁴, ale od roku 2001 je možno tuto databázi rozšířit o modul PostGIS, který umožňuje efektivní uložení, správu i analýzu prostorové složky dat. Ta je v databázi uložena ve formátu definovaném ve specifikaci Open Geospatial Consortium: *Simple Features for SQL*¹⁵. Technologii Geography Data Objects představenou s první verzí software Geomedia (r. 1997) nelze považovat za datové úložiště. Jedná se pouze o rozhraní, které umožní aplikaci Geomedia přístup k již existujícím úložištím, více viz Intergraph (2002).

Z hlediska prostorových analýz je velmi důležitá podpora topologických vztahů mezi jednotlivými prvky v geografické databázi. Rozšíření PostGIS podporu topologických vztahů zatím (prosinec 2009) neposkytuje¹⁶. Zatímco Oracle podporuje řešení spočívající v ukládání prostorových dat přímo do topologické datové struktury, ESRI v geodatabázi ukládá geometrii a topologie je definována a validována následně pomocí uživatelsky definovaných topologických pravidel. Porovnáním obou přístupů se zabývá studie Baars (2003), stručně shrnutá v Baars et al. (2004).

Paralelně s vývojem v oblasti geoinformačních informačních systémů a technologií, probíhalo studium možností jejich využití pro geomorfologii. V geomorfologické literatuře

¹¹ http://en.wikipedia.org/wiki/Canadian_Hydrographic_Service#Technology

¹² http://en.wikipedia.org/wiki/Oracle_Spatial

¹³ http://en.wikipedia.org/wiki/Oracle_Database

¹⁴ <http://www.refractions.net/products/postgis/history/>

¹⁵ <http://www.opengeospatial.org/standards/sfs/>

¹⁶ <http://trac.osgeo.org/postgis/wiki/UsersWikiPostgisTopology>

existuje řada článků, které se zabývají integrací geografických informačních systémů do geomorfologických metod zpracování a analýzy dat

Již např. Barsch & Dikau (1989) a Dikau (1992) popisují problémy, se kterými je třeba počítat při konverzi z analogových systémů (na příkladu geomorfologických map) geomorfologických map do digitálních datovýchází (digitální geomorfologické základní mapy).

Z českých autorů se tvorbou geomorfologické mapy v počítačovém prostředí zabývá například Demek et al. (1997) (podle legendy z Demek (1972)). Autorský kolektiv však v tomto případě akcentuje pouze kartografické hledisko a primárním výstupem je opět mapa, byť zpracovaná digitální technologií, a nikoli geografická respektive geomorfologická datová báze vhodná pro analytické operace. Další práce zabývající se kartografickými aspekty propojení geomorfologie a GIS jsou například Kusendová (2000) či Létal (2005)

O možnostech geografických informačních systémů při analýzách a modelování v počítačovém prostředí píší např. Burrough & McDonnell (1998) a později Fortheringham (2001). Zdůrazňují úlohu GIS v procesu přípravy a zpracování dat do podoby vhodné pro analýzu, či tvorbu modelu. Úlohu GIS při vlastní analýze (její provedení, případně export dat ve vhodném formátu do externího analytického či modelovacího software) a při následné vizualizaci. Z českých autorů popisuje modelování v GIS (se zaměřením na geomorfologii) např. Voženílek (1994) a (1997). Principy vhodných moderních metod pro sběr prostorové složky geografických dat (a i další aspekty environmentálních aplikací GIS) popisuje Voženílek (2000) a dále práce Voženílek et al. (2001), Mentlík (2002) a Voženílek a Sedlák (2004).

Databázově evidenčními aspekty geomorfologického informačního systému se zabývají například práce Kusendová (1995) a Minár (1996), lze sem zařadit i dříve zmiňované práce Barsch & Dikau (1989), Dikau (1992). V poslední době byly týmem okolo Gustavssona publikovány tři články zabývající se „geomorfologickou GIS databází“ či „geomorfologickým mapovacím systémem“ (Gustavsson, et al. (2006), Gustavsson, et al. (2008), Gustavsson & Kolstrup (2009)). Gustavssonova geomorfologická GIS databáze je tvořena z již existující geomorfologické mapy. Její *geomorfologická část* je založena na plošném vyjádření (ne nutně elementárních) forem georeliéfu. Databáze obsahuje ještě datové sady vztahující se ke *geologickému podloží a vodopisu*. Všechny zmíněné datové sady obsahují vždy pouze tři datové vrstvy (plošnou, liniovou a bodovou) a nejsou dále nijak strukturovány. Databázi doplňuje vrstva povrchových vrtů se stratigrafickými informacemi, digitální model reliéfu ve formě rastru, vrstevnice, kóty, letecký ortofoto snímek a geografická jména. Gustavssonův projekt tak sice má databázové pozadí, ovšem

nevyužívá data primárně pro geomorfologické analýzy nýbrž nad takto vytvořenou a naplněnou databází dále Gustavsson vytváří legendu, pomocí které v ArcGIS opět vizualizuje, tentokrát interaktivní, geomorfologickou mapu.

Koncepce geomorfologického GIS postulovaná Gustavssonovým autorským kolektivem má asi nejbližší koncepci geomorfologické databáze v GmIS GmIS definované v publikacích Minár et al. (2005) a Mentlík et al. (2006) (do kterých přispíval i autor tezí), ovšem není tak komplexní, jako geomorfologická databáze v GmIS (více viz podkapitoly 3.2 a 4.2). Ta má podstatně bohatší strukturu a poskytuje bohatší datovou základnu pro geomorfologické analýzy. Důležitá je zejména duální reprezentace elementárních forem reliéfu a na ní navázané tabulky s morfometrickými a morfogenetickými charakteristikami (viz podkapitola 4.2.2 ii).

2.3.2. Shrnutí současného stavu

V literatuře je popsána řada koncepcí využití geoinformačních technologií pro geomorfologii, nikoli však implementovaný integrující systém (GmIS), jehož základem by byla geomorfologická datová báze (geomorfologická databáze, GmDB) vhodná pro analytické účely. Geomorfologická data jsou spravována převážně v souborové struktuře, která neumožňuje budování relačních a topologických vztahů mezi prvky, neřeší přístupy více uživatelů, nepodporuje časová data, nastávají problémy při správě velkého objemu dat a problémy s integritou dat (např. při vstupu údajů). Existují i projekty ukládající geomorfologická data v databázi, ale většinou bez využití výše zmíněných výhod databázového přístupu. Tyto databáze jsou většinou orientovány na kartografickou vizualizaci.

Existují algoritmy, řešící konkrétní problémy, některé jsou použitelné beze zbytku (například výpočet sklonitosti svahů, více viz podkapitola 4.3.2), jiné je třeba pro geomorfologické účely přizpůsobit (například využití zonální analýzy pro databázové přiřazení morfometrických charakteristik k elementární ploše, více viz podkapitola 4.3.5). Některé algoritmy je pro účely geomorfologického informačního systému potřeba vyvinout (např. výpočet ostrosti či mohutnosti hranice elementární formy, více viz podkapitola 4.3.6). Autorovi není známa implementace integrujícího prostředí, založeného na dostatečně robustní geografické (resp. geomorfologické) databázi, které by následně geomorfologovi pomáhalo ve všech částech jeho práce, tj. od sběru, přes zpracování a analýzu dat až po výslednou prezentaci výsledků.

V žádné doposud autorovi známé práci nedošlo k využití všech možností geografických informačních systémů pro potřeby geomorfologie. Autoři výše zmíněných prací jsou především geografové, či geomorfologové a pomocí GIS řeší konkrétní problematiku nebo nastiňují koncepci systému, který by mohl geomorfologovi se správou a zpracováním

digitálních dat. Zatím však nedošlo ke spojení obou přístupů, tj. k vytvoření fungujícího, obecně pojatého, geomorfologického informačního systému (GmIS).

Autor předkládané práce má vzdělání v geomatice a geoinformatice. Protože autor nemá hluboké geomorfologické znalosti, spojil se pro účely definování koncepce s geomorfology. Koncepce GmIS vznikla ve spolupráci pracovníků ZČU a UK v Bratislavě, v rámci projektu AIP ČR č. 106 „Geomorfologický informační systém jako základ environmentálních aplikací“ a projektu č: CZ-35 „Geomorfologický a environmentální informační systém jako nástroj výzkumu a managementu krajiny“. Koncepce je popsána v Minár et al. (2005) a Mentlík et al. (2006). Projekt GmIS je podporován i Výzkumným záměrem MŠM 4977751301 „Spojité a diskrétní matematické struktury a vývoj odpovídajících metod jejich zkoumání“, konkrétně sekci „Aplikace geometrie a informatiky v technologiích, geodézii a kartografii“.

3. Návrh GmIS

Návrh systému lze obecně členit na tři úrovně: konceptuální, logickou a fyzickou, které na sebe plynule navazují (viz podkapitola 2.2.2). Základem je definování koncepce systému, která je tvořena na základě účelu, jemuž má systém sloužit.

V případě GmIS je účelem systému poskytnout technologickou podporu geomorfologickému výzkumu. V koncepční úrovni návrhu byly prostudovány stávající metody a postupy, kterými geomorfologie zkoumá georeliéf zájmového území. Z množství alternativ zkoumání georeliéfu, které geomorfologie používá, byla vybrána *metodika vycházející z plošného přístupu k území jeho členěním na elementární formy georeliéfu* (viz podkapitola 3.1). Při použití plošného přístupu ke zkoumanému území, na rozdíl od selektivního mapování, je totiž možné následným zpracováním a geomorfologickými analýzami objevit v reliéfu i takové vztahy a vazby mezi jednotlivými jeho částmi, které nejsou na první pohled zřejmé. V dalším kroku koncepční části návrhu systému byla provedena analýza, zjišťující, jaké postupy a činnosti se při plošném geomorfologickém výzkumu používají. V rámci analýzy jsou identifikovány a popsány v jednotlivých případech užití. Tato analýza byla následně publikována v práci Jedlička (2008) a je popsána v podkapitolách 3.3 a 3.4.

V logické úrovni návrhu systému je propracovávána struktura datové základny systému (nastíněno již v Minár et al. (2005)), v práci řešeno v podkapitolách 3.2 (návrh) a 4.2 (realizace). Jsou rozpracovávány postupy jednotlivých činností v rámci GmIS (podkapitola 3.4, resp. 4.3). Zároveň jsou hodnoceny možnosti realizace systému v konkrétním prostředí. Logická úroveň návrhu systému přechází ve fyzickou úroveň volbou technologie, ve které bude systém vytvářen (podkapitola 4.1). Zároveň

V rámci fyzické úrovně návrhu systému je navržená datová struktura naplňována vždy pro případovou studii na vybrané oblasti a jsou realizovány nástroje, které může geomorfolog využívat v rámci svého výzkumu, kdy používá konkrétní geomorfologické postupy (viz podkapitola 4.3). Logická a následující fyzická úroveň návrhu systému je popisována v práci Minára et al. (2005) a dále ve studii Mentlík et al. (2006). Základní nástroje GmIS byly poprvé prakticky použity v Mentlík (2006). V této práci se realizaci GmIS věnuje kapitola 4.

3.1. Koncepce GmIS

Před definováním koncepce geomorfologického informačního systému (dílčí cíl (ii)) bylo třeba identifikovat uživatelské požadavky (dílčí cíl (i)). Identifikované požadavky byly m. j. následně publikovány v práci Jedlička (2008). Na základě uživatelských požadavků byla navržena základní koncepce (Minár et al. (2005) a Mentlík et al. (2006)),

kteřá byla postupně doplňována a precizována na základě detailní analýzy uživatelských požadavků.

Z výše uvedeného plyne, že na koncepci GmIS je potřeba nahlížet z hlediska pracovníků, kteří s ním budou zacházet. Je potřeba také specifikovat nároky na uživatele, protože není možné očekávat, že komplexní geomorfologický informační systém může obsluhovat laik. Uživatel systému bude muset mít jak geomorfologické, tak i geoinformační znalosti. V realitě budou s vytvořeným systémem pracovat geomorfologové a geoinformatici s přesahem znalostí do druhé oblasti. Geoinformatik bude zajišťovat hladký chod systému z hlediska technologického, v GmIS je proto jeho role označována jako role správce. Geomorfologická role je ve své podstatě uživatelská (role uživatel), tj. geomorfolog bude využívat GmIS jako nástroj pro moderní geomorfologickou práci. Tím jsou v GmIS vymezeny dvě základní role (geoinformační~správce a geomorfologická~uživatel), které jej umožňují vidět ze dvou pohledů:

- technologického, v případě GmIS geoinformačního,
- aplikačního, v případě GmIS geomorfologického.

Z technologického (geoinformačního) pohledu je cílem vyvinout takovou aplikaci, která bude minimalizovat požadavky na (geo)informační znalosti (geoinformační gramotnost – Voženílek (2004)¹⁷) jinak odborně zaměřeného uživatele – geomorfologa, a tím zpřístupní GmIS širšímu okruhu uživatelů.

Z geoinformačního pohledu je tedy GmIS takový systém, který umožní poříditi, uložit a spravovat geomorfologickou databázi. Dále umožní použití i tvorbu nástrojů pro geomorfologickou analýzu a v neposlední řadě musí umožňovat vhodnou formou prezentovat výstupy. Všechny tyto činnosti kladou na volbu technologické platformy velké nároky, protože ta musí nabízet téměř všechny typy geografického informačního software, popsané v Longley et al. (2001) a zmiňované v 2.2.3:

- Sběr geomorfologických datových vrstev a jejich ukládání do geomorfologické databáze (příruční GIS a GPS pro sběr geodat a profesionální GIS s geografickou databází pro ukládání a správu geodat).
- Zpracování (příprava) dat a následné analýzy geomorfologických i dalších (převzatých) vrstev (desktop, případně profesionální GIS).

¹⁷ Voženílek 2004 definuje geoinformační gramotnost jako složenou z gramotnosti geografické, kartografické a informační. Gramotnost geografická a kartografická existuje z podstaty odlišností geografie a kartografie jako vědních oborů samostatně, ale do určité míry se prolínají. Obecně platí, že co je geografické (tedy prostorové), lze kartograficky vyjádřit, a naopak, tedy co lze kartograficky vyjádřit je prostorové a může být předmětem geografického výzkumu.

- Programování specifických geomorfologických analýz (komponentní GIS).
- Podpora víceuživatelské editace, šíření dat i výsledků po počítačové síti (profesionální GIS spojený s internetovými, případně GIS prohlížečkami).

Po srovnání je patrné, že GmIS potenciálně dokáže využít prakticky téměř všechny typy geoinformačních technologií.

Z geomorfologického hlediska je GmIS postaven na koncepci elementárních forem georeliéfu (v textu dále též kráceno na elementární formy). **Elementární forma** je na dané rozlišovací úrovni (měřítku) geometricky homogenní plocha, která má jednotnou morfologii, genezi a předpoklady pro stejný průběh současných dynamických geomorfologických procesů, přičemž je ohraničena liniemi, na kterých je její geometrická, morfologická, genetická i dynamická homogenita narušena. Je tedy na dané rozlišovací úrovni přirozeně ohraničeným základním segmentem georeliéfu. Zpracováno podle práce (Minár (1996)).

Elementární formy jsou základní mapovací jednotkou georeliéfu, charakterizované homogenitou v relevantních morfometrických charakteristikách (nadmořská výška, sklon svahu, křivosti) a ohraničené výraznými změnami v těchto charakteristikách (viz např. Minár (1996), Mentlík et al. (2006)). GmIS chápe elementární formy jako základní stavební jednotky geografické reprezentace oblasti, ke kterým se přiřazují zjištěné vlastnosti o reliéfu.

Elementární formy je možno vymezovat empiricky geomorfologem z digitálního modelu reliéfu a z něj odvozených povrchů křivostí a na základě geomorfologického mapování (více viz podkapitola 3.4.5 a 4.3.3). Z elementárních forem jsou následně tvořeny další odvozené vrstvy. Jejich vzájemná provázanost je šipkami naznačena na obr. 3.1 a dále popisována v podkapitole 3.2 a 4.2.

Pro GmIS postavený nad konceptem elementárních forem reliéfu bylo třeba zjistit geomorfologické požadavky na GmIS (dílčí cíl (i)). Na základě analýzy zjištěných uživatelských požadavků byly identifikovány a popsány činnosti, při kterých může být využit GmIS (Jedlička (2008), podkapitola 3.4), Realizace jednotlivých činností je pak popsána v podkapitolách 4.2 a 4.3. Jedná se o následující činnosti, které jsou v GmIS prováděny (první tři naplňují realizační cíl (vi) „realizace struktury GmDB“):

1. Zajištění otevřenosti systému.
2. Vytvoření vzorové zdrojové databáze.
3. Import převzatých datových vrstev.
4. Tvorba DMR a odvozených povrchů.

Zbývající činnosti naplňují realizační cíl (vii) „realizace fundamentálních geomorfologických operací a analýz v GmIS“:

5. Elementarizace reliéfu zájmové oblasti.
6. Terénní mapování.
7. Výpočet morfometrických charakteristik polygonů elementárních forem.
8. Výpočet morfometrických charakteristik hranic elementárních forem.
9. Určení morfogenetických vlastností elementárních forem
10. Tvorba vyšších hierarchických úrovní (hierarchická regionalizace).
11. Vymezení povodí.
12. Výpočet členitostí pro povodí.
13. Tvorba geomorfologické mřížky.

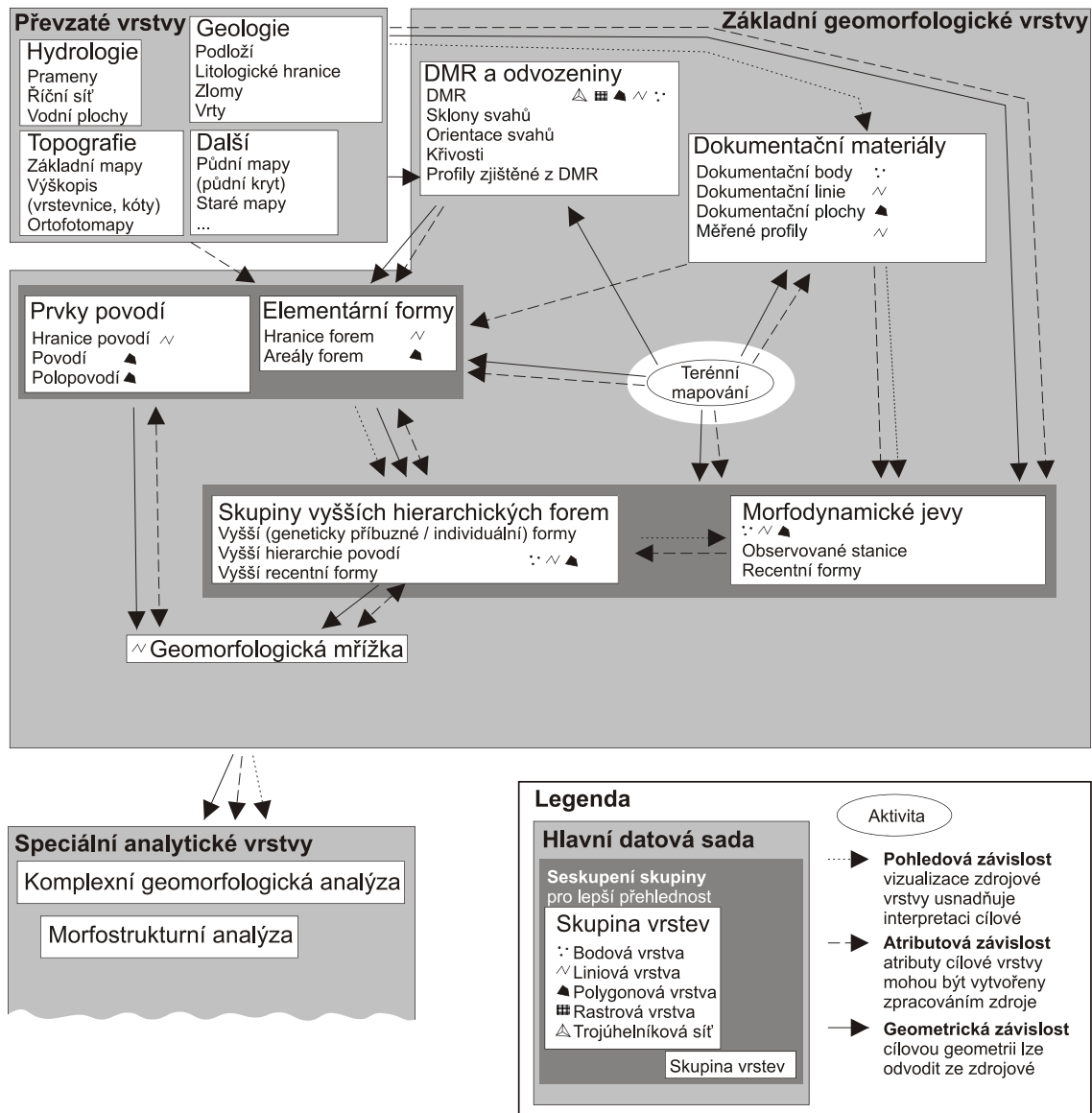
Popisu každé činnosti je věnována vždy konkrétní podkapitola z kap. 3.4. Každá činnost je rozdělena do několika kroků, které jsou nejprve slovně popsány. Následuje schematické znázornění propojení jednotlivých kroků v diagramu případů užití a specifikace každého případu užití v tabulce. Výjimku z výše popsaného postupu dokumentace činností tvoří podkapitola 3.4.1, která se věnuje popisu nefunkčních požadavků na GmIS.

3.2. Návrh struktury geomorfologické databáze

Okolo elementárních forem je budována geomorfologická databáze (GmDB), která tvoří strukturální jádro systému (realizace dílčího cíle (iii)). Zajištění jednotného datového zdroje je integrujícím faktorem, který umožňuje návaznost jednotlivých pracovních činností v GmIS. To klade zásadní požadavky na databázi, zejména na přehlednost její struktury, bezproblémovou rozšiřitelnost o další vrstvy a možnost reprezentace nejen klasických atributových vztahů ale i vztahů prostorových (jak geometrických, tak i topologických) a časových.

Struktura databáze je rozčleněna do tří základních skupin (převzato z Mentlík et al. (2006)):

- Převzaté vrstvy – vrstvy převzaté z externích zdrojů. Jedná se o hydrologická, geologická a topografická data.
- Základní (geomorfologické) vrstvy – vrstvy vytvořené geomorfologem; mapováním v terénu nebo zpracováním převzatých vrstev, či kombinací obojího. Jádrem této skupiny je zejména vrstva elementárních forem a digitální model reliéfu včetně povrchů z něj odvozovaných. Doplnují ji dokumentační materiály, genetické skupiny forem, morfodynamické jevy, povodí a geomorfologická síť.
- Speciální (odvozené) vrstvy jsou vrstvy vznikající geomorfologickými analytickými činnostmi, např. morfostrukturální analýzou, komplexní geomorfologickou analýzou, odhadem geomorfologických rizik, atp.

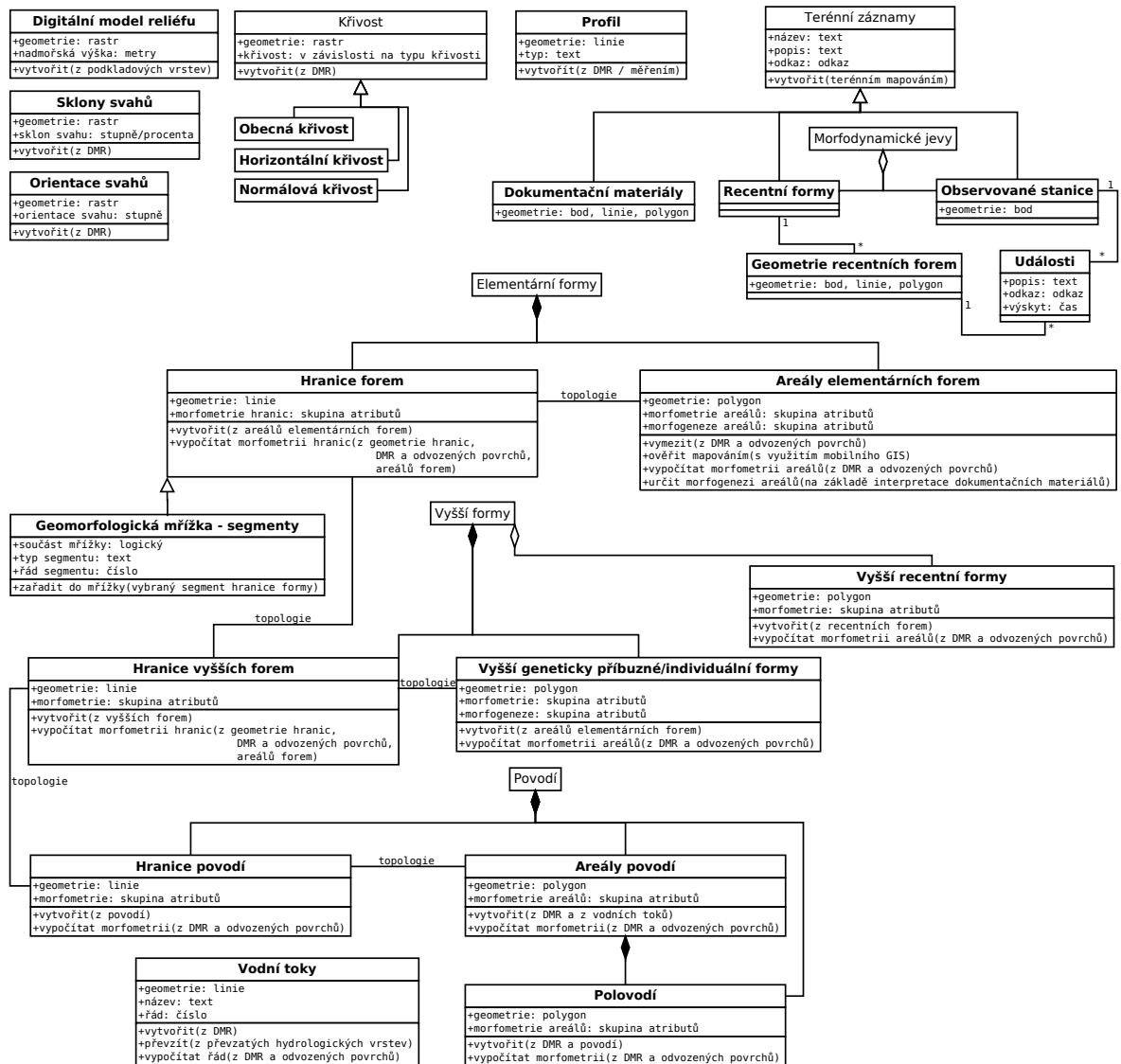


Obr. 3.1 Konceptuální model geomorfologické databáze a procesů GmIS . Pro přehlednost je vyznačeno pouze základní dělení do vrstev a skupin a funkční závislosti.

Převzato z Minár et al. (2005).

Základní konceptuální model strukturního jádra GmIS (geomorfologické databáze) je znázorněn na obr. 3.1. Je patrné, že geomorfologická databáze má ve svých skupinách pevně určené fundamentální vrstvy (i když další je možné doplňovat), které jsou základem GmIS, budovaným nad takovou databází. Jsou vyznačeny tři typy funkčních závislostí (pohledová, atributová a geometrická), které indikují činnosti, které je nutno v GmIS identifikovat (viz metody jednotlivých tříd v logickém modelu na obr. 3.2 a dále podkapitola 3.4) a realizovat (podkapitola 4.3). Například z atributové závislosti elementárních forem na dokumentačních materiálech a terénním mapování je identifikována a realizována činnost vedoucí k určení jejich morfogenetických

charakteristik (viz podkapitola 3.4.9 a 4.3.7). Konkrétní nasazení GmIS se bude lišit pro různé typy krajín a proto může dojít k tomu, že bude potřeba pro konkrétní oblast přidat vrstvy určitého typu (základní vrstvy ovšem zůstávají stejné). Proto je systém koncipován jako otevřený, s možností doplnění dalších vrstev (a případně dalších, na ně navazujících analytických činností). Podrobný popis struktury geomorfologické databáze publikoval autorský kolektiv, jehož členem byl i autor této práce, v publikaci Minár et al. (2005) a následně rozvinul v Mentlík et al. (2006).



Obr. 3.2. Logický model základních geomorfologických vrstev, zobrazený jako diagram objektových tříd v UML.

Logický model je konkretizací konceptuálního modelu. Byl autorem vypracován pro účely identifikace konkrétních vrstev geomorfologické databáze a konkretizace jejich vztahů. Je zobrazen na obr. 3.2 jako model objektových tříd v UML. Zde je nutno podotknout, že

třídou objektů může konkrétně být vektorová, či rastrová geografická vrstva nebo tabulka, určující je přítomnost a typ atributu geometrie.

V modelu jsou zobrazeny pevně dané základní geomorfologické vrstvy, které tvoří jádro GmIS, a které jsou řešeny v této práci. Logické vazby převzatých vrstev (geologie, hydrologie, topografie) jsou obecně známy, struktura analytických vrstev může být velmi variabilní v závislosti na konkrétní analýze.

Hierarchizace logického modelu (generalizace) je provedena tak, aby jeho struktura odpovídala koncepčnímu modelu. Generalizační vazby na základní typy geometrií (bod, linie, polygon, atp.) jsou vypuštěny. Skupiny vrstev z koncepčního modelu jsou v logickém popsány jako abstraktní třídy (křivost, terénní záznam, morfodynamický jev, elementární forma, vyšší forma a povodí), které jsou generalizační, agregační, či kompoziční vazbou propojeny s třídami, které danou abstraktní třídu reprezentují ve fyzické datové struktuře geomorfologické databáze. Třídy, jejichž geometrie je propojená, jsou propojeny asociační vazbou pojmenovanou topologie. Formy mapované v terénu (z konceptuálního modelu) jsou v logickém modelu reprezentovány buď jako recentní formy nebo přímo elementární formy). Profily z DMR a měřené jsou v logickém modelu zobrazeny jako jedna třída.

U každé třídy v modelu jsou zaznamenány její vlastnosti a metody, které je možné s danou třídou provádět. Vlastnosti tříd jsou popisovány skupinami atributů. Metody tříd popisují operace, které s nimi lze provádět. Popisují způsob realizace funkčních závislostí z konceptuálního modelu. Každá třída obsahuje minimálně metodu *vytvořit ()*, která popisuje způsob jejího vzniku. Protože způsob vzniku třídy je tímto dostatečně zachycen, není již model přetěžován vazbami zobrazujícími, která třída je tvořena z které. Metody jsou dále specifikovány v jednotlivých případech užití v podkapitole 3.4.

Fyzické struktuře geomorfologické databáze, která logický model konkretizuje a realizuje, se dále podrobně věnuje podkapitola 4.2.

3.3. Identifikace činností v GmIS

Tato a následující podkapitola se zabývá realizací dílčího cíle (iv). Geomorfologická databáze dává celému GmIS strukturní členění. To má již z principu převážně statický charakter. Dynamiku do GmIS přináší činnosti, které převádějí systém (a tedy i databázi) z jednoho stavu do jiného. Činnosti, které systém provádí, vycházejí z definovaných (funkčních) uživatelských požadavků na systém. Činnosti probíhající v GmIS lze rozdělit na:

- import dat ze základních datových sad ~ provádí geoinformatik,

- terénní mapování (sběr tematických ~ geomorfologických dat) ~ provádí geomorfolog,
- zpracování dat (uložení do GmDB, budování dalších databázových struktur) ~ provádí geoinformatik,
- geomorfologické a jiné analýzy ~ provádí geomorfolog.

V GmIS jsou činnosti popsány a specifikovány pomocí *případů užití* vytvořené pro jednotlivé funkční požadavky (viz podkapitola 3.4), a jsou realizovány pomocí geomorfologických operací a funkcí (viz podkapitola 4.3). Pro GmIS byly identifikovány i nefunkční požadavky na systém. V práci je popis nefunkčních požadavků přidružen k popisu funkčních požadavků, jsou popsány v podkapitole 3.4.1.

Z charakteru činností vyplývá i členění uživatelských rolí. Lze říci, že činnosti zabývající se importem základních datových sad (jejich konverzí z již existujících datových zdrojů) a jejich následným zpracováním a ukládáním do databáze se zabývá geoinformatik. Pro většinu těchto činností lze využít standardní nástroje GIS a jejich řetězení.

Druhou kategorií činností vykonává geomorfolog v rámci studia zájmového území. Jedná se hlavně o dva typy činností: terénní mapování a geomorfologické analýzy. Tyto činnosti jsou často specifické a standardní nástroje GIS lze využít spíše omezeně, respektive je třeba nejen je řetězit za sebou ale i programovat části kódu, které ve standardních GIS nástrojích nejsou a navíc je kombinovat s interaktivními vstupy erudovaného uživatele – geomorfologa.

Systém nevylučuje překryt uživatelských rolí, kdy geomorfolog je schopen prací geoinformatického charakteru a naopak. Dokonce lze říci, že GmIS je koncipován tak aby poskytoval takové uživatelské rozhraní a nástroje, aby geomorfolog byl schopen vykonávat většinu činností sám. I tak je nasazení (~ aplikace) GmIS na zájmovou oblast ze začátku náročnější, než práce klasickými geomorfologickými metodami, zejména kvůli nutnosti seznámení se s novou technologií. Výsledně nasazení GmIS ale přinese urychlení a zjednodušení řady prací a hlavně *objektivizaci výsledků a výstupů*, protože řadu činností umožňuje automatizovat a dokumentovat.

3.4. Interakce uživatele s GmIS (pomocí případů užití)

Tato podkapitola je věnována popisu interakcí uživatele se systémem. Popisuje, jak jednotlivé uživatelem prováděné činnosti naplňují strukturu systému daty. Dále popisuje činnosti, při kterých uživatel data analyzuje. Jednotlivé dále popisované činnosti je třeba chápat jako seskupení geomorfologických operací a analýz, které provádí geomorfolog,

případně geoinformatik při práci v GmIS a jejichž výsledky jsou ukládány do geomorfologické databáze.

Jednotlivé činnosti lze popsat buďto pouze slovně nebo k tomu použít formalizovaný zápis, který zpřehledňuje následné čtení, tedy percepce informace. V práci je pro identifikaci a popis činností používána forma případů užití (Use Case). Slovník Joint Research Centre definuje případ užití jako zvažovanou množinu operací mezi aktéry (uživatelskými rolemi) a systémem vedoucí k určitému cíli¹⁸. Arlow & Neustadt (2007) jsou konkrétnější a popisují případ užití jako způsob zachycení požadavků na systém, zmiňující definici uvedenou v Rumbaugh et al. (2004):

Případ užití je specifikace posloupností činností, včetně proměnných posloupností, které systém, podsystém nebo třída může vykonat prostřednictvím interakce s vnějšími (externími) aktéry.

Případy užití mohou být graficky znázorněny pomocí UML diagramů případů užití. Tato grafická reprezentace je pak doplněna o (různě detailní) popis. Z hlediska podrobnosti se rozlišují až tři úrovně zápisu případu užití (brief~stručný, casual~neformální a „fully dressed“~úplný Use Case). Např. Kettenis (2005) rozlišuje neformální a úplný zápis, další zdroje¹⁹ pak všechny tři. Stručný případ užití obsahuje název a krátký popis hlavního (tzv. úspěšného) scénáře: ten popisuje kroky, které je nutné vykonat, aby bylo v rámci případu užití dosaženo vytčeného cíle. Neformální verze zápisu rozšiřuje případ užití o popisy alternativních scénářů, kterými je možné dosáhnout cíle. Úplný zápis případu užití spočívá ve formalizaci popisu jednotlivých scénářů. Scénáře se zapisují například do tabulky s předepsanou strukturou atributů jako posloupnost operací. Je možné je znázornit i graficky – jako diagram aktivit.

Pro GmIS byly zpracovány a v Jedlička (2008) popsány neformální případy užití popisující jednotlivé typy činností, pro které lze systém využít. V koncepční fázi návrhu systému (tato podkapitola) jsou případy užití zapsány v úplné formě s popisem hlavního scénáře. Alternativní scénáře nejsou v práci řešeny.

3.4.1. Zajištění otevřenosti systému

Tato podkapitola popisuje nefunkční požadavky, specifikující vlastnosti nebo omezující podmínky systému.

¹⁸ <http://inspire-registry.jrc.ec.europa.eu/registers/GLOSSARY/items/80>

¹⁹ http://en.wikipedia.org/wiki/Use_case
<http://www.csci.csusb.edu/dick/samples/usecases.html>

K obecným nefunkčním požadavkům jsou zařazeny požadavky na:

- dobrou dostupnost a otevřenost systému (viz níže v této podkapitole),
- dostatečný výkon systému (hardware, software),
- kapacitu datového úložiště (geomorfologické databáze),
- shodu systému se standardy (datovými, procesními),
- zabezpečení systému.

Tyto požadavky jsou dále zohledňovány v podkapitole 4.1 věnované volbě technologií. Vzhledem k častému požadavku na výměnu dat mezi jednotlivými geomorfologickými pracovišti je třeba klást důraz zejména na dostupnost a otevřenost systému. Navíc se může vyskytnout nutnost zpracování nějakého úkonu mimo GmIS, proto každý dobře navržený systém musí mít (nejlépe standardizované) rozhraní pro komunikaci s okolím, pokud bude rozhodnuto zpracovávat nějaké analýzy v jiném SW nebo pokud nebudou konkrétní analýzy v GmIS proveditelné (nutnost takové komunikace popisuje obecně např. Voženílek (1997)). Může se jednat zejména o rozsáhlé vícerozměrné statistické analýzy. Většinu exportních a importních funkcí je proto třeba řešit přes standardní nástroje zvoleného technologického řešení. Pouze pro často používané činnosti je případně vhodné sestavit moduly, které je budou automatizovat a tím i zjednodušovat. Možností importu a exportu dat je zajištěna otevřenost systému na úrovni dat (datová interoperabilita).

Při exportu atributových údajů stačí zachovávat unikátní identifikátory exportovaných tabulek. V případě exportu i prostorových dat je záhodno dbát na zachování vazby prostorové a atributové složky dat. Konkrétní exportní a následný importní (E/I) postup je nutné řešit vždy vůči konkrétnímu externímu software.

Většinou postačí export do *shapefile*, který je považován za „de-facto“ standard v oblasti výměny geodat, jeho struktura je veřejná²⁰. Ovšem je potřeba dát pozor na omezení tohoto formátu. U prostorové složky dat je třeba vědět, že nezachovává topologické vztahy. U názvů atributových sloupců je potřeba si uvědomit, že je zkracuje na 10 znaků. V poslední době se také prosazují exporty dat přes definované XML schéma, například do formátu GML.

V současné době není možné přenášet programový kód vytvořený v jednom GIS prostředí (technologii) do libovolného jiného, nicméně je možné po zvolené technologii požadovat, aby umožňovala rozšiřovat existující nástroje, programování dalších nástrojů i řetězení existujících nástrojů do větších celků. Pokud je toto splněno, lze hovořit o otevřeném systému, který lze přizpůsobit potřebám konkrétních uživatelů, v tomto případě

²⁰ <http://www.esri.com/library/whitepapers/pdfs/shapefile.pdf>

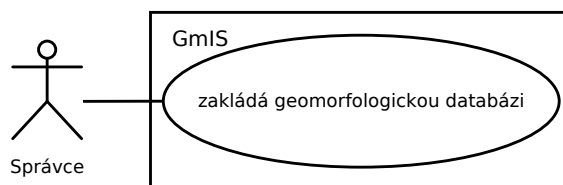
geomorfologů. Otevřenost systému je zajištěna, pokud geoinformatik jako správce systému může provádět následující činnosti:

- import dat,
- export dat,
- uzpůsobování uživatelského prostředí,
- programování modulů.

3.4.2. Vytvoření vzorové zdrojové geomorfologické databáze (GmDB)

Vzorovou geomorfologickou databází se rozumí prázdná strukturovaná databáze, kterou je možné zkopírovat a použít pro plnění geomorfologickými daty v konkrétní zájmové oblasti. Musí mít pevně definovaný datový model (viz podkapitola 4.2) a zaručovat neměnné názvy základních vrstev a skupin vrstev (datových sad v terminologii ESRI, viz podkapitola 4.1.4) tak, aby bylo možné přednastavit názvy vstupů do jednotlivých činností (procesních modelů) GmIS a tak uživateli zjednodušit práci.

V geomorfologické databázi je třeba držet určitou úroveň standardizace názvů jednotlivých prvkových tříd (vrstev) a je třeba u každé vrstvy zajistit definici klíčových atributů (primárních a cizích klíčů). Doporučené názvy prvkových tříd jsou zmiňovány již v Minár et al. (2005) a Mentlík et al. (2006)²¹ a v práci popisovány v podkapitole 4.2. Pokud geomorfolog bude požadovat nestandardní názvy, je zachována možnost změny vstupních i výstupních parametrů, nicméně tyto názvy nebudou dále ze strany vývojáře GmIS podporovány, protože takové pojmenování následně problematizuje spojování více případových studií, ve kterých je GmIS nasazen. Naopak rozšiřování o další vrstvy a atributy není vývojářem GmIS nijak omezováno. Každý geomorfolog tak může vytvářet vzorové databáze, přizpůsobené jeho potřebám. Struktura geomorfologické databáze je podrobně popsána v podkapitole 4.2. Činnosti nutné pro vytvoření vzorové geomorfologické databáze jsou znázorněny na diagramu případu užití (obr. 3.3) a popsány v jejich specifikaci (viz tabulka 3.1).



Obr. 3.3. Diagram případu užití pro založení geomorfologické databáze.

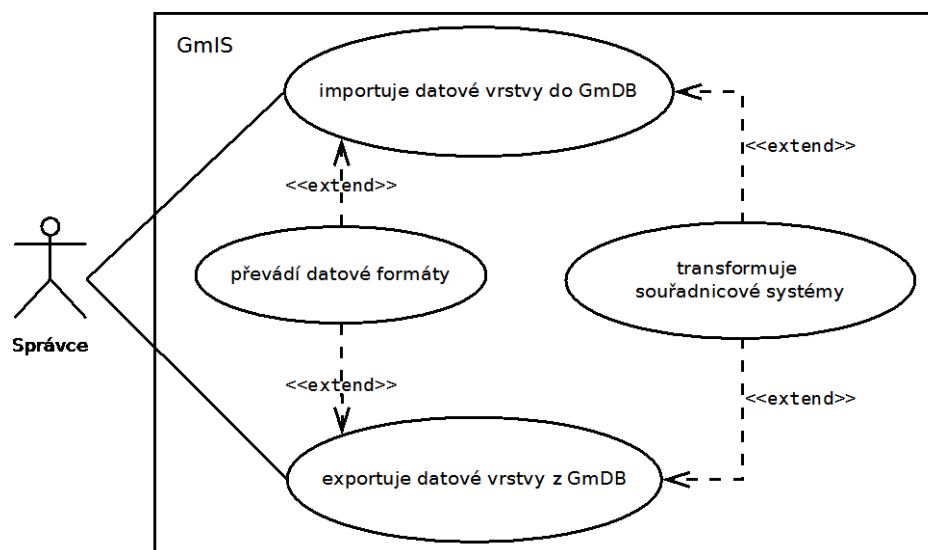
²¹ Pro názvy částí geomorfologické databáze je použita názvová konvence publikovaná v Jedlička 2005a-b.

Tabulka 3.1. Specifikace případu užití pro založení geomorfologické databáze.

Specifikace případu užití: Založit geomorfologickou databázi	
ID: UC 1	
Stručný popis:	Vytvořit geomorfologickou datovou strukturu do geografické databáze.
Hlavní aktér:	Správce
Vedlejší aktéři:	–
Vstupní podmínky:	Existuje XML šablona geomorfologické databáze
Hlavní scénář:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Příklad užití začíná, když správce otevře dialogové okno nástroje pro založení nové, prázdné geografické databáze. 2. Systém požádá správce o adresu, na které má novou databázi založit, a o její název. 3. Správce zadá požadované vstupy a spustí nástroj. 4. Systém založí novou geografickou databázi. 5. Správce otevře dialogové okno nástroje pro import databázové struktury z XML šablony do aktuální geodatabáze. 6. Systém požádá správce o zadání cesty k šabloně databázové struktury. 7. Správce zadá požadované vstupy a spustí nástroj. 8. Systém importuje do aktuální geografické databáze strukturu geomorfologické databáze specifikovanou v XML šabloně.
Výstupní podmínky:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Byla založena geomorfologická databáze (GmDB) s požadovanou strukturou.
Alternativní scénáře:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Kopírovat strukturu GmDB z již existující geomorfologické databáze.

3.4.3. Import převzatých datových vrstev

Import převzatých datových vrstev je zajištěn standardními nástroji GIS. Jedná se zejména o konverze datových formátů, transformace souřadnicových systémů, atp. Činnosti nutné pro import převzatých datových vrstev jsou znázorněny na diagramu případů užití (obr. 3.4) a popsány v jejich specifikacích (viz tabulka 3.2, tabulka 3.3 a tabulka 3.4).



Obr. 3.4. Diagram případů užití pro import datových vrstev.

Tabulka 3.2. Specifikace případu užití pro import datové vrstvy do GmDB.

Specifikace případu užití: Import datové vrstvy do geomorfologické databáze	ID: UC 2
Stručný popis:	Importovat zdrojová data do struktury geomorfologické databáze.
Hlavní aktér:	Správce
Vedlejší aktéři:	–
Vstupní podmínky:	Existují vstupní data a je založena prázdná (případně částečně naplněná) geomorfologická databáze.
Hlavní scénář:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Případ užití začíná, když správce otevře nástroj pro import datové vrstvy do geomorfologické databáze. 2. Systém požádá správce o: <ul style="list-style-type: none"> • cestu ke zdrojové datové vrstvě pro import, • informaci o vstupním formátu dat, • umístění a název cílové vrstvy (v GmDB). 3. Správce zadá požadované vstupy a spustí nástroj. 4. <<extend>> : převést datový formát. 5. <<extend>> : transformovat souřadnicový systém. 6. Systém importuje data (a uloží je do geomorfologické databáze).
Výstupní podmínky:	1. Byla importována datová vrstva geomorfologické databáze.
Alternativní scénáře:	1. Exportovat data z geomorfologické databáze do vybraného formátu.

Tabulka 3.3. Specifikace případu užití pro převod datového formátu.

Specifikace případu užití: ID: UC 3	Převést data do požadovaného datového formátu
Stručný popis:	Převést data ze zdrojového formátu do požadovaného cílového datového formátu.
Hlavní aktér:	Správce
Vedlejší aktéři:	–
Vstupní podmínky:	Existují vstupní data.
Hlavní scénář:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Příklad užití začíná, když správce otevře nástroj pro převod dat z jednoho datového formátu do jiného. 2. Systém požádá správce o: <ul style="list-style-type: none"> • cestu ke zdrojové datové vrstvě, • informaci o vstupním a výstupním formátu dat, • umístění a název cílové vrstvy. 3. Správce zadá požadované vstupy a spustí nástroj. 4. Systém změní datový formát a uloží data.
Výstupní podmínky:	1. Byla vytvořena datová vrstva v požadovaném formátu.
Alternativní scénáře:	–

Tabulka 3.4. Specifikace případu užití pro transformace dat mezi souřadnicovými systémy.

Specifikace případu užití: ID: UC 4	Transformovat data do požadovaného souřadnicového systému
Stručný popis:	Transformovat data ze zdrojového souřadnicového systému do požadovaného souřadnicového systému.
Hlavní aktér:	Správce
Vedlejší aktéři:	–
Vstupní podmínky:	Existují vstupní data.
Hlavní scénář:	<ol style="list-style-type: none"> 5. Příklad užití začíná, když správce otevře dialogové okno nástroje pro transformaci dat mezi souřadnicovými systémy 6. Systém požádá správce o: <ul style="list-style-type: none"> • cestu k zdrojové datové vrstvě pro transformaci, • souřadnicový systém zdrojové datové vrstvy (pokud není obsažen v metadatech), • cestu k umístění transformovaných dat (vrstva v geomorfologické databázi), • požadovaný výstupní souřadnicový systém,

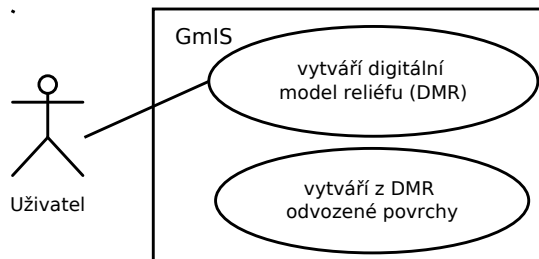
	<ul style="list-style-type: none"> • sadu zpřesňujících parametrů Helmertovy 3D transformace mezi elipsoidy (volitelný parametr), • umístění a název cílové vrstvy. <p>7. Správce zadá požadované vstupy a spustí nástroj.</p> <p>8. Systém přetransformuje data a uloží je (do geomorfologické databáze).</p>
Výstupní podmínky:	1. Byla transformována datová vrstva do požadovaného souřadnicového systému.
Alternativní scénáře:	<p>1. Transformovat data ze zdrojového souřadnicového systému S-JTSK do souřadnicového systému WGS-84 (pro účely přípravy podkladových dat pro terénní sběr s pomocí GNSS).</p> <p>2. Transformovat data ze zdrojového souřadnicového systému WGS-84 do souřadnicového systému S-JTSK (pro import dat naměřených pomocí GNSS do GmDB).</p>

Realizace případů užití pro import převzatých vrstev je popsána v kapitole 4.3.1.

3.4.4. Tvorba DMR a odvozených povrchů

Základní tvorba digitálního modelu reliéfu (DMR) a z něj odvozených povrchů (reprezentovaných v GIS jako rastry) musí být zajištěna standardními analytickými nástroji zvolené technologie. Odvozenými povrchy jsou myšleny povrchy sklonů svahů a orientací sklonů svahů a povrchy dalších křivostí. Alternativně je možné i importovat (rastrově reprezentované) povrchy vytvořené v jiných GIS než je realizován GmIS. Popis tvorby DMR a odvozování dalších povrchů je popsán v podkapitole 4.3.1, vykonávané činnosti jsou nastíněny na diagramu obr. 3.5 a specifikovány v následujících tabulkách (tabulka 3.5, tabulka 3.6).

Velmi kvalitní nástroje pro rastrové analýzy má například GIS GRASS (problematikou tvorby DMR a dalších v povrchů v GRASS se zabývají např. práce Bonk (2003) a Pacina (2005)), který ovšem nemá dostatečně použitelné vektorové nástroje.



Obr. 3.5. Diagram případů užití pro tvorbu DMR a odvozených povrchů.

Tabulka 3.5. Specifikace případu užití pro tvorbu DMR.

Specifikace případu užití: Vytvořit digitální model reliéfu ID: UC 5	
Stručný popis:	Z dostupných vstupních dat vytvořit digitální model reliéfu (DMR) v rastrovém formátu, vhodný pro geomorfologické analýzy.
Hlavní aktér:	Uživatel
Vedlejší aktéři:	–
Vstupní podmínky:	Jsou k dispozici vstupní vrstvy (v GmDB).
Hlavní scénář:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Příklad užití začíná, když uživatel otevře dialogové okno nástroje pro tvorbu DMR. 2. Systém požádá uživatele o zadání vstupních parametrů: <ul style="list-style-type: none"> • cestu k zdrojové datové vrstvě vrstevnic včetně specifikace atributového sloupce a informaci o způsobu uložení nadmořské výšky, • cestu k zdrojové datové vrstvě bodových výšek (nejčastěji kót) a informaci o způsobu uložení nadmořské výšky, • cestu k zdrojové datové vrstvě říční sítě (doporučený parametr), • umístění a název cílové rastrové vrstvy (v GmDB), • velikost buňky výstupní vrstvy. 3. Uživatel zadá požadované vstupy a spustí nástroj. 4. Systém ze zadaných dat interpoluje rastr digitálního modelu reliéfu a výsledek uloží (do GmDB). Pro interpolaci je použit přednastavený interpolační mechanismus, který vytváří DMR odpovídající hladkému, hydrologicky korektnímu povrchu.
Výstupní podmínky:	1. Byl vytvořen DMR a uložen do geodatabáze.
Alternativní scénáře:	1. Vytvořit nejprve DMR triangulací do TIN a vyhlazující interpolací jej převést na rastr.

Tabulka 3.6. Specifikace případu užití pro tvorbu z DMR odvozených povrchů.

Specifikace případu užití: Vytvořit z DMR odvozené povrchy	
ID: UC 6	
Stručný popis:	Z existujícího rastru digitálního modelu reliéfu vytvořit rastry pro odvozené povrchy (rastr sklonů svahů, orientace svahů, rastry křivosti).
Hlavní aktér:	Uživatel
Vedlejší aktéři:	–
Vstupní podmínky:	Je vytvořen DMR
Hlavní scénář:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Příklad užití začíná, když uživatel vybere jeden z nástrojů pro tvorbu odvozených povrchů) otevře dialogové okno nástroje pro tvorbu odvozených povrchů (rastr sklonů svahů, orientace svahů, rastr křivosti). 2. Systém požádá uživatele o zadání vstupních parametrů: <ul style="list-style-type: none"> • cestu k zdrojové datové vrstvě DMR, • umístění a název cílové rastrové vrstvy (v GmDB), • u sklonů svahů ještě o volbu mezi vyjádřením sklonu v procentech či stupních, • u křivosti o zadání celkem ke třem výstupním rastrům (obecné, horizontální a normálové křivosti). 3. Uživatel zadá požadované vstupy a spustí nástroj. 4. Systém z DMR interpoluje požadovaný rastrový výstup a ukládá jej do GmDB.
Výstupní podmínky:	1. Byl vytvořen (a do GmDB uložen) rastr reprezentující uživatelem zvolený odvozený povrch (povrch sklonů svahů, orientace svahů či křivosti). Vytvořený rastr má velikost buňky shodnou s vstupním DMR.
Alternativní scénáře:	–

3.4.5. Elementarizace reliéfu zájmové oblasti

Pro elementarizaci reliéfu existují dvě základní metody. První je tradiční manuální metoda, ovšem realizovaná v prostředí GmIS. Jedná se o ruční expertní editaci geomorfologa nad DMR. Geomorfolog vyznačuje hrubé tvary jednotlivých elementárních forem na základě svých zkušeností a tvarů reliéfu odvoditelných z digitálního modelu reliéfu. Výstupem je vrstva polygonů elementárních forem. Tyto polygony geomorfolog následně zpřesňuje terénním mapováním (viz podkapitola 3.4.6). Po ověření tvaru dojde k automatizovanému vytvoření liniové reprezentace hranic forem (popis v podkapitole

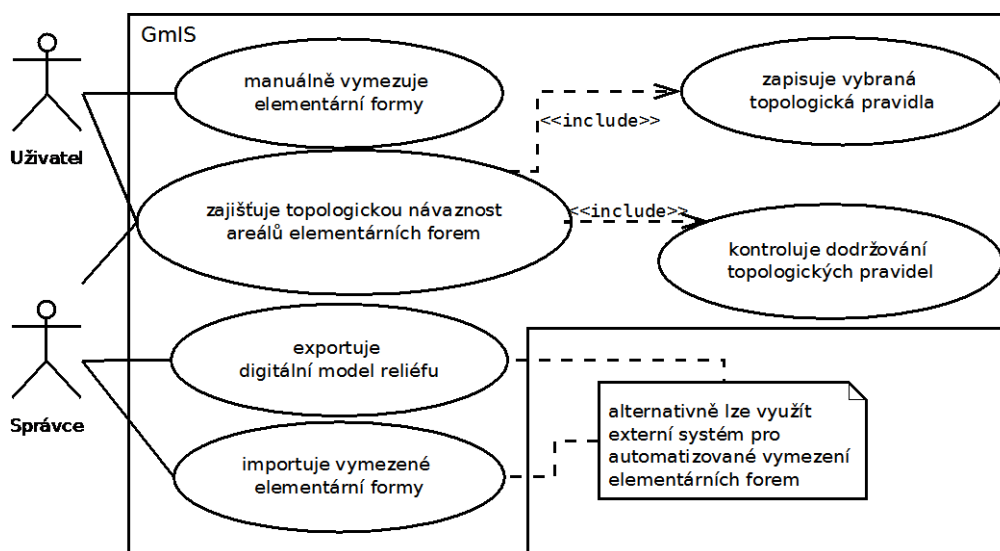
3.4.8, realizace v podkapitole 4.3.3). Takto vymezené formy zatím neobsahují žádné atributové informace.

Druhou možností je automatizované vyznačování hranic a polygonů elementárních forem na základě vlastností povrchů křivostí a následná expertní editace. Více tuto metodu popisuje Pacina (2008), popis přebírání výsledků jeho výpočtů do GmIS je nastíněn v 4.3.3. V tomto případě již elementární formy mohou obsahovat základní morfometrické atributy.

V obou případech je třeba zajistit, aby byla zajištěna základní topologie. Je zapotřebí nastavit základní topologická pravidla a zajistit začištění do topologicky správné kresby. Konkrétně je nutné zajistit následující fundamentální topologická pravidla (koncepty):

- Každá hranice musí začínat a končit v uzlu.
- Každá hranice musí být schopna identifikovat levý a pravý polygon (bude potřeba při naplňování atributů zájmové oblasti).

Je vhodné, aby veškerá další editace probíhala nad topologicky čistými daty (ověřenými terénním mapováním), nicméně není možné vycházet z předpokladu, že všechna data budou vytvořena topologicky čistě, proto GmIS poskytne funkcionalitu GIS pro kontrolu chyb topologie (standardními nástroji GIS).



Obr. 3.6. Diagram případů užití pro elementarizaci reliéfu zájmové oblasti.

Obě možnosti vymezení elementárních forem jsou nastíněny na obr. 3.6. Zatímco pro manuální vymezení forem není nutná velká účast geoinformatika (ten pouze následně data topologicky vyčistí), při automatizovaném vyznačování elementárních forem v externím systému je geoinformatická role klíčová. Vzhledem k tomu, že automatizaci vyznačování

forem se již zabýval Pacina (2008), je v této práci podrobně specifikován pouze případ užití pro manuální vymezení elementárních forem (tabulka 3.7) a případ užití pro následnou kontrolu topologie areálů elementárních forem (tabulka 3.8, tabulka 3.9 a tabulka 3.10). Případy užití export DMR a vymezení elementárních forem lze navíc považovat za znovu použití obecných případů užití pro export a import popsaných v podkapitole 3.4.3.

Tabulka 3.7. Specifikace případu užití pro manuální vymezení elementárních forem reliéfu.

Specifikace případu užití: Vymezit elementární formy reliéfu	
ID: UC 7	
Stručný popis:	Vymezit elementární formy reliéfu na základě interpretace DMR a z něj odvozených informací.
Hlavní aktér:	Uživatel
Vedlejší aktéři:	–
Vstupní podmínky:	Je vytvořen DMR a z něj odvozené (rastrově vyjádřené) povrchy.
Hlavní scénář:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Případ užití začíná, když uživatel v geomorfologické databázi spustí nástroj pro založení nové vrstvy pro areály elementárních forem, 2. Systém požádá uživatele o zadání vstupních parametrů: <ul style="list-style-type: none"> • umístění a název zakládáné vrstvy (v GmDB), • typ geometrie („2,5D“ polygon). 3. Uživatel zadá požadované vstupy a spustí nástroj. 4. Systém založí vrstvu v GmDB. 5. Uživatel v mapovém okně systému zobrazí podkladové vrstvy (DMR, rastry odvozených povrchů, vrstevnice, atp.). 6. Uživatel zapne editaci nově založené vrstvy a používá standardní nástroje GIS tak, aby na základě interpretace zobrazených dat vymezil elementární formy. 7. Systém poskytuje uživateli standardní nástroje GIS pro prostorovou vizualizaci dat. 8. Uživatel uloží vytvořené prvky a ukončí editační režim.
Výstupní podmínky:	<ol style="list-style-type: none"> 1. V GmDB byla vytvořena a data naplněna vrstva areálů elementárních forem reliéfu. Topologické vazby nejsou kontrolovány.
Alternativní scénáře:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Vymezit hranice elementárních forem reliéfu (manuálně). 2. Použít externí systém pro vymezení elementárních forem reliéfu.

Tabulka 3.8. Specifikace případu užití pro zajištění topologické návaznosti areálů elementárních forem.

Specifikace případu užití: Zajistit topologickou návaznost areálů elementárních forem	
ID: UC 8	
Stručný popis:	Stanovit vhodná topologická pravidla pro areály elementárních forem a zajistit jejich splnění.
Hlavní aktér:	Správce
Vedlejší aktéři:	Uživatel
Vstupní podmínky:	V GmDB existuje vrstva areálů elementárních forem.
Hlavní scénář:	<p>1. Příklad užití začíná, když správce vybere vrstvy podílející se na topologii (areály elementárních forem) a stanoví vhodná topologická pravidla (areály se nesmí překrývat a nesmí mezi nimi být mezery).</p> <p><<include>> : zapsat vybraná topologická pravidla.</p> <p><<include>> : zkontrolovat dodržování stanovených topologických pravidel.</p>
Výstupní podmínky:	1. V GmDB byl vytvořen soubor topologických pravidel pro areály elementárních forem reliéfu, geometrie byla opravena tak, aby odpovídala nastaveným pravidlům.
Alternativní scénáře:	1. Pouze stanovit topologická pravidla, jejich kontrolu a nápravu geometrie provést až po terénním mapování.

Tabulka 3.9. Specifikace případu užití pro zápis vybraných topologických pravidel.

Specifikace případu užití: Zapsat vybraná topologická pravidla	
ID: UC 9	
Stručný popis:	Zapsat vybraná topologická pravidla do souboru topologických pravidel.
Hlavní aktér:	Správce
Vedlejší aktéři:	–
Vstupní podmínky:	V GmDB existují vrstvy, pro které budou stanovována topologická pravidla. Správce stanovil topologická pravidla, která je třeba zadat.
Hlavní scénář:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pokud ještě není v geomorfologické databázi založen, systém založí soubor topologických pravidel (dále též „topologii“). Na jeho název se dotáže správce. 2. Systém uloží správcem vybraná pravidla do souboru topologických pravidel.
Výstupní podmínky:	1. V GmDB byl vytvořen soubor topologických pravidel a do něj byla uložena správcem vybraná pravidla.
Alternativní scénáře:	–

Tabulka 3.10. Specifikace případu užití pro kontrolu topologických pravidel.

Specifikace případu užití: Zkontrolovat topologická pravidla	
ID: UC 10	
Stručný popis:	Zkontrolovat topologická pravidla zapsaná v souboru topologických pravidel.
Hlavní aktér:	Uživatel
Vedlejší aktéři:	–
Vstupní podmínky:	V GmDB existuje neprázdný soubor topologických pravidel.
Hlavní scénář:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Uživatel spouští nástroj pro kontrolu topologie vytvořené vrstvy 2. Systém zkontroluje, zda geometrie datových vrstev odpovídá pravidlům a vypíše nesoulady. 3. Uživatel odstraní zjištěné nesoulady. 4. Systém poskytuje interaktivní nástroje pro nápravu nesouladů a průběžnou kontrolu topologie.
Výstupní podmínky:	1. Geometrie vrstev geomorfologické databáze, pro které byla stanovena topologická pravidla, je topologicky čistá (odpovídá souboru topologických pravidel).
Alternativní scénáře:	–

Dále je zapotřebí k jednotlivým elementárním formám přiřadit atributy. Morfometrické atributy k jednotlivým formám jsou přiřazovány v rámci činností popsaných v podkapitolách 3.4.7 a 3.4.8 (popis realizace viz podkapitoly 4.3.4 a 4.3.5), morfogenetické atributy jsou k formám přiřazovány činnostmi popsanými v podkapitole 3.4.10 (realizace viz Vracovský (2007)).

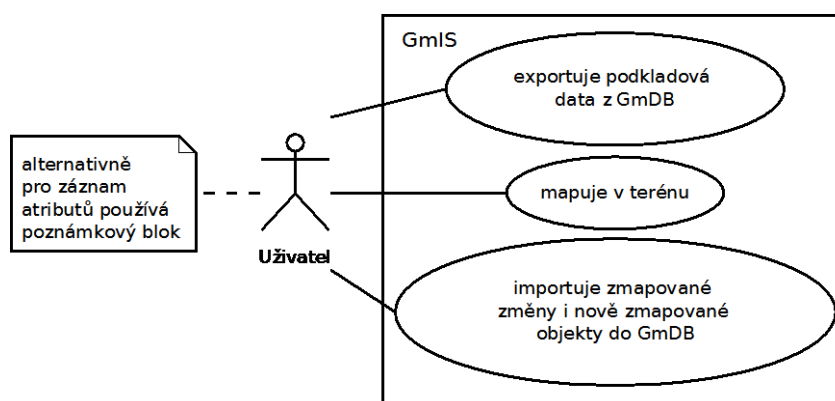
3.4.6. Terénní mapování

Terénní mapování je nezbytným krokem, který ověří správnost analytického vymezení elementárních forem popsaného výše. Existuje celá řada technik pro mapování geomorfologických tvarů reliéfu, viz například Demek (1972), Voženílek (2000) či Voženílek et al. (2001). Z hlediska postupu práce a využití přístrojové techniky lze terénní mapování obecně rozdělit na čtyři základní skupiny, které vycházejí ze dvou koncepčních přístupů (analogový/digitální) a jejich kombinací. Následující výčet uvádí typické existující metody:

- 1) *Tradiční analogové „(papír, tužka)“ geomorfologické mapování*, zanášením geomorfologických informací do podkladové topografické mapy a následné zanesení informací do GmIS skenováním a vektorizací.
- 2) *Prostorová data sbírána digitálně*, nejčastěji pomocí GPS, eventuálně následně doplněná dalšími metodami sběru (geodetickými, fotogrammetrickými, laserovým skenováním). *Atributové vlastnosti zapisovány analogově* a v kanceláři vpisovány do databáze GmIS, viz alternativa naznačená na diagramu na obr. 3.7.
- 3) *Plně digitální sběr pomocí lehkého GIS klienta*. Propojení s GmIS není v reálném čase. Před mapováním si terénní pracovník stáhne výřez databáze, který odpovídá oblasti, ve které bude pracovat. Následuje vlastní mapování a následný import změnových dat zpět do GmIS (viz diagram na obr. 3.7). Existuje potenciální problém konfliktu, pokud by dva uživatelé mapovali geograficky se překrývající oblasti. Vhodným řízením projektu lze toto riziko eliminovat, nicméně pokud ke konfliktu dojde, lze jej řešit pomocí existujících databázových nástrojů. Existuje i možnost on-line propojení do databáze přes mobilní internetové připojení, ale vzhledem k povaze sběru dat pro GmIS nepřináší žádné podstatné výhody ve srovnání s náklady, které bylo nutno vynaložit. Navíc v oblastech zkoumaných geomorfology často není pokrytí mobilním internetem (odhlédneme-li od satelitního připojení).
- 4) *Plně digitální sběr pomocí silného GIS klienta*. V podstatě nasazení celého GmIS v terénu za využití odolných notebooků, které jsou v dnešní době využívány např. v záchranářských aplikacích. Takovéto řešení je ale velmi finančně náročné a využívá se obecně v aplikacích, kde hrozí nebezpečí z prodlení. Pro GmIS takováto varianta není nutná.

Z výše uvedeného vyplývá, že pro GmIS se nejlépe hodí druhá nebo třetí metoda mapování. Odpovídající diagram případů užití je znázorněn na obr. 3.7. Jeho specifikaci popisuje tabulka 3.11. Případy užití pro import a export dat byly nastíněny již v podkapitole 3.4.3.

Z hlediska geomorfologické databáze (koncept viz obr. 3.1.) naplňuje terénní mapování zejména vrstvy dokumentačních materiálů (*Documentation materials*) a dále vrstvy morfodynamických jevů resp. recentních forem reliéfu (*morphodynamic phenomena*) a zpřesňuje průběh hranic elementárních forem reliéfu (*Elementary forms*); v diagramech případů užití zkráceno na „mapované objekty“. Zákresy jsou přitom tvořeny nejlépe za stálé nebo alespoň následné kontroly topologie.



Obr. 3.7 Diagram případů užití pro digitální sběr dat pomocí lehkého GIS klienta.

Tabulka 3.11. Specifikace případu užití pro mapování v terénu.

Specifikace případu užití: Mapovat v terénu	
ID: UC 11	
Stručný popis:	Použití GPS a funkce příručního GIS k editaci existujících a mapování nových prvků.
Hlavní aktér:	Uživatel
Vedlejší aktéři:	–
Vstupní podmínky:	V GmDB existuje vrstva areálů elementárních forem a vrstvy pro ukládání dokumentačních materiálů
Hlavní scénář:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Příklad užití začíná, když uživatel zapne příruční GIS a zvolí zobrazení podkladových vrstev. 2. Systém zobrazí mapové okno s podkladovými vrstvami. 3. Volitelně uživatel zapne GPS. 4. Systém aktivuje GPS modul a začne z něj přijímat data, informující o aktuální poloze přijímače. 5. Uživatel nastaví vybrané vrstvy jako citovatelné (typicky elementární formy a dokumentační materiály).

	6. Systém zapne editaci uživatelem vybraných vrstev a nabídne uživateli nástroje pro interaktivní editaci a vkládání prvků. Umožní přitom využívat aktuální polohu přijímače GPS. 7. Uživatel zaznamenává (mapuje) v terénu viditelnou situaci. 8. Systém průběžně ukládá editovaná data. 9. Uživatel vypne editaci nebo přístroj. 10. Systém uloží editovaná data a deaktivuje editační režim.
Výstupní podmínky:	1. Vrstva areálů elementárních forem byla verifikována v terénu, byly nasbírány další informace a uloženy do vrstvy dokumentačních materiálů. Topologické vazby jednotlivých vrstev nejsou kontrolovány.
Alternativní scénáře:	–

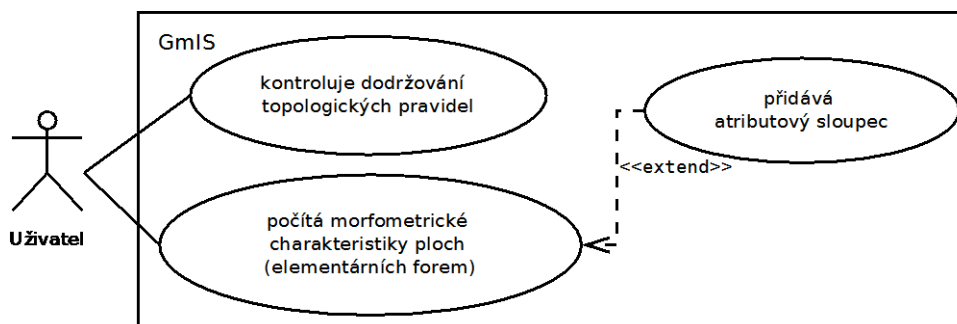
3.4.7. Výpočet morfometrických charakteristik polygonů elementárních forem

V okamžiku, kdy je geometrie elementárních forem potvrzena terénním mapováním, je považována za konečnou. Geoinformatik jakožto správce systému v tuto chvíli zkontroluje topologickou čistotu dat – z hlediska návrhu systému se jedná o znovupoužití případu užití kontrola topologických pravidel popsaného v kapitole 3.4.5, viz tabulka 3.10. Pro úplnost je diagram tohoto případu užití znovu zobrazen v diagramu na obr. 3.8. Ve chvíli, kdy existuje topologicky čistá geometrická reprezentace, musí GmIS poskytnout nástroje pro výpočet základních morfometrických charakteristik jednotlivých forem reliéfu, viz tabulka 3.12.

Tabulka 3.12. Základní morfometrické charakteristiky (převzato z Mentlík (2006) a doplněno o názvy atributů v geomorfologické databázi 4.2.2, ii).

Plocha formy: P_f [m ²]	Shape_Area
Délka hranice formy: D_f [m]	Shape_length
Minimální nadmořská výška formy: A_{\min} [m n. m.]	ElevationMinimum
Maximální výška formy: A_{\max} [m n. m.]	ElevationMaximum
Rozpětí nadmořských výšek: $A_{\max} - A_{\min}$ [m n. m.]	ElevationRange
Průměrná nadmořská výška: $A_{\text{prům}}$ [m n. m.]	ElevationAverage
Index nadmořské výšky: $(A_{\max} - A_{\min}) / P_f$	ElevationIndex
Orientace svahu vůči světovým stranám: S_O [°]	SlopeAverageAspect
Průměrný sklon svahu formy: $S_{\text{prům}}$ [°]	SlopeAverage
Průměrná horizontální křivost	AverageCurvatureHorizontal
Průměrná normálová křivost	AverageCurvatureNormal

Charakteristiky popsané v tabulce jsou převzaty z Mentlík (2006). Pomocí zonální analýzy lze generovat všechny dostupné charakteristiky, ale k atributům elementárních forem se budou v GmIS připojovat pouze charakteristiky, které uvádí tabulka 3.12. Ostatní charakteristiky budou provázány přes relace geografické databáze (diagram případů užití viz obr. 3.8, specifikace viz tabulka 3.13 a tabulka 3.14).



Obr. 3.8. Diagram případů užití pro výpočet morfometrických charakteristik ploch (elementárních forem).

Tabulka 3.13. Specifikace případu užití pro výpočet morfometrických charakteristik ploch (elementárních forem).

Specifikace případu užití: ID: UC 12	Výpočet morfometrických charakteristik ploch (elementárních forem)
Stručný popis:	Použití funkcionalitu GmIS a podkladových dat v GmDB (DMR a odvozených povrchů) pro výpočet morfometrických charakteristik agregovaných pro areál/polygon např. každé elementární formy (například průměrný sklon elementární formy).
Hlavní aktér:	Uživatel
Vedlejší aktéři:	–
Vstupní podmínky:	V GmDB existuje vrstva areálů elementárních forem, DMR a vrstvy z něj odvozené.
Hlavní scénář:	<ol style="list-style-type: none"> Případ užití začíná, když uživatel spustí nástroj pro výpočet vybrané skupiny agregovaných charakteristik pro areály elementárních forem (například charakteristik odvozených od rastru sklonů svahů). Systém vyzve uživatele k zadání vrstev, konkrétně: <ul style="list-style-type: none"> vstupní vrstvy areálů elementárních forem, vstupní rastrové vrstvy, ze které budou jednotlivé charakteristiky počítány,

	<ul style="list-style-type: none"> • výstupní tabulky pro uložení vypočtených hodnot. <ol style="list-style-type: none"> Po zadání parametrů uživatel spustí výpočet. Systém vypočítá maximum, průměr, minimum, rozsah, směrodatnou odchylku a sumu z hodnot vstupního rastru agregovaných pro každý areál/polygon elementární formy. Pokud jsou vstupní hodnoty v rastru celočíselné, jsou spočtena ještě majorita, medián, minorita a varieta. Vypočtené hodnoty systém uloží do tabulky a ke každému řádku přidá jednoznačný identifikátor elementární formy, ke které řádek náleží. Systém vytvoří v GmDB vazbu mezi vrstvou elementárních forem a vytvořenou tabulkou. Volitelně uživatel vybere pro něj důležité charakteristiky. Systém vybrané charakteristiky dynamicky databázovým pohledem připojí přímo k elementárním formám Volitelně uživatel z existujících charakteristik počítá další. Systém umožní výpočet takových charakteristik a uloží je k vrstvě elementárních forem. <p><<extend>> : přidat atributový sloupec.</p>
Výstupní podmínky:	<ol style="list-style-type: none"> Byla vytvořena (a do GmDB uložena) tabulka reprezentující uživatelem vybranou skupinu morfometrických charakteristik (např. charakteristiky odvozené od rastru sklonů svahů). Tabulka byla propojena s vrstvou elementárních forem. Volitelně byly důležité a další vypočtené charakteristiky připojeny přímo k elementárním formám.
Alternativní scénáře:	–

Tabulka 3.14. Specifikace případu užití pro přidání atributového sloupce.

Specifikace případu užití: Přidat atributový sloupec	
ID: UC 13	
Stručný popis:	Umožnit uživateli k zvolené datové vrstvě či tabulce přidat atributový sloupec standardního datového typu.
Hlavní aktér:	Uživatel
Vedlejší aktéři:	–
Vstupní podmínky:	V GmDB existuje vstupní vrstva či tabulka
Hlavní scénář:	<ol style="list-style-type: none"> Případ užití začíná, když uživatel vybere vrstvu či tabulku, ke které chce atributový sloupec přidat a otevře nástroj pro přidání sloupce.

	<ol style="list-style-type: none"> 2. Systém vyzve uživatele k zadání názvu a datového typu sloupce. 3. Uživatel zadá požadované vstupy a spustí nástroj. 4. Systém přidá atributový sloupec.
Výstupní podmínky:	1. Do uživatelem zvolené vrstvy/tabulky byl přidán atributový sloupec.
Alternativní scénáře:	–

Může nastat potřeba výše popisované charakteristiky získávat i pro vyšší hierarchické úrovně. Algoritmus pro jejich výpočet proto musí mít dostatečně flexibilní vstupně/výstupní rozhraní. Realizace algoritmu je dále v práci popsána v podkapitole 4.3.5. Stejně tak musí GmIS poskytovat možnost variantu této analýzy spustit i pro interaktivně vybranou / označenou skupinu forem, a to z důvodu porovnání charakteristik pouze takovéto geomorfologem vybrané množiny elementárních forem.

3.4.8. Výpočet morfometrických charakteristik hranic elementárních forem

Pro učení morfogenetických vlastností forem (viz podkapitola 3.4.9) je nutné znát i některé informace k hranicím elementárních forem, protože tyto morfogenetické vlastnosti (*druh a varietu*) určuje geomorfolog nejenom z vlastností konkrétní formy, ale i z druhu sousedních elementárních forem, a ze způsobu, jakým na sebe formy navazují. Proto je nutno každou elementární formu prostorově reprezentovat duálně: jak její plochou (polygonem), tak segmenty jejích hranic (linie), které jsou tvořeny podle topologického pravidla, že linie se mohou křížit pouze v uzlu (bod, kde se setkávají více jak dva polygony elementárních forem). Více o reprezentaci elementárních forem viz podkapitola 4.2.2, ii.

Postup tvorby duální reprezentace je následující: nejprve je vytvořena a (terénním mapováním) geometricky ověřena primární reprezentace (polygony), a po jejím geometrickém ověření je vytvořena sekundární (liniová-hraniční) reprezentace. Ta je následně topologickými pravidly svázána s primární polygonovou reprezentací.

K hranicím forem, respektive vždy k jednotlivým segmentům hranic, je potom třeba doplnit několik základních morfometrických charakteristik (atributů)²², které jsou rozdělené do dvou skupin:

Atributy odvoditelné z geometrie (segmentu) hranice:

- *Délka hranice* – délka geometrické liniové reprezentace vyjadřující segment hranice.

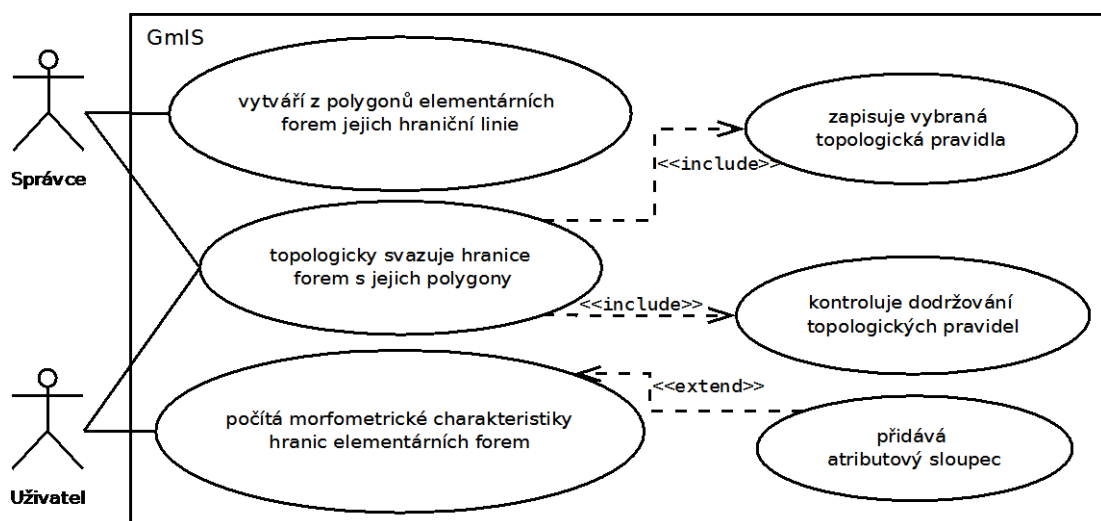
²² Stanoveny po konzultaci s prof. Minářem.

- *Orientace hranice* – vzhledem k nekomplikovanému tvaru segmentů hranic lze vyjádřit jako orientaci spojnice prvního a posledního bodu segmentu.
- *Míra zakřivení hranice* – poměr délky linie segmentu hranice k délce spojnice počátku a konce linie.

Atributy hranice vyjádřené na základě vztahu atributů dvou ploch, které odděluje.

Významné jsou zejména atributy, počítané ze vztahů morfometrických charakteristik oddělovaných ploch (tyto atributy lze spočítat pro každý typ morfometrické charakteristiky elementární formy):

- *Specifická ostrost* – rozdíl průměrných hodnot morfometrické charakteristiky formy nalevo a napravo od hranice. Z hlediska interpretace je vhodné počítat specifickou ostrost například pro průměrné sklony svahů sousedících forem.
- *Všeobecná ostrost* – prostorový úhel, který svírají „trendové roviny“ sousedících elementární formou. Trendová rovina je přitom taková rovina, která je elementární proložená formou pomocí aplikace metody nejmenších čtverců a vyjadřuje tak trend sklonu elementární formy. Realizace takového atributu je výpočetně složitá, lze ji ale nahradit například výše popisovanou specifickou ostrotí pro průměrné sklony svahů sousedících forem.
- *Mohutnost* – Součet plochy levé a pravé elementární formy, které odděluje. Atribut informuje o významnosti hranice na základě informace o tom, jak velké plochy od sebe odděluje.



Obr. 3.9. Diagram případů užití pro výpočet morfometrických charakteristik hranic elementárních forem.

Postup tvorby duální reprezentace elementárních forem a postup výpočtu morfometrických atributů hranic forem musí mít dostatečně flexibilní vstupy tak, aby byl aplikovatelný, jak na elementární formy, tak i na libovolné formy vyšších řádů (viz podkapitola 3.4.10). Postup je pomocí případů užití znázorněn na obr. 3.9 a specifikován v následujících tabulkách (tabulka 3.15, tabulka 3.16 a tabulka 3.17). Realizace algoritmů pro výpočet vybraných atributů je dále popsána v podkapitole 4.3.6.

Tabulka 3.15. Specifikace případu užití pro vytvoření hraničních linií polygonů elementárních forem.

Specifikace případu užití: Vytvořit z polygonů elementárních forem jejich hraniční linie	
ID: UC 14	
Stručný popis:	K polygonové vrstvě areálů elementárních forem vytvořit liniovou vrstvu, která je segmentována tak, že každá hranice odděluje právě dvě formy.
Hlavní aktér:	Správce
Vedlejší aktéři:	–
Vstupní podmínky:	V GmDB existuje vrstva areálů elementárních forem.
Hlavní scénář:	<ol style="list-style-type: none"> Případ užití začíná, když správce spustí nástroj pro tvorbu hraničních linií z polygonové vrstvy. Systém vyzve uživatele k zadání: <ul style="list-style-type: none"> vstupní vrstvy areálů elementárních forem, výstupní vrstvy hranic elementárních forem, výstupní tabulky pro uložení vypočtených hodnot. Po zadání parametrů správce spustí nástroj. Nástroj z polygonů vytvoří a uloží vrstvu hraničních linií tak, aby byly splněny následující podmínky: <ul style="list-style-type: none"> právě jedna hranice odděluje právě dvě formy, pouze na každém styku více jak dvou forem je vytvořen topologický uzel, okraje každého polygonu jsou kompletně pokryty hranicemi.
Výstupní podmínky:	1. Byla vytvořena (a do GmDB uložena) vrstva hranic elementárních forem.
Alternativní scénáře:	1. V případě, že byly elementární formy primárně vyjádřeny hraniční reprezentací, je z této vytvořena polygonová reprezentace.

Tabulka 3.16. Specifikace případu užití pro topologické svázání vrstvy hranic elementárních forem s jejich polygony.

Specifikace případu užití: Topologicky svázat vrstvy hranic elementárních forem s jejich polygony	
ID: UC 15	
Stručný popis:	Přidat do dříve vytvořeného souboru topologických pravidel (viz případ užití <i>zajistit topologickou návaznost areálů elementárních forem</i> , podkapitola 3.4.5) taková pravidla, která umožní svázat hraniční linie elementárních forem s jejich polygony.
Hlavní aktér:	Správce
Vedlejší aktéři:	Uživatel
Vstupní podmínky:	V GmDB existují vrstvy polygonů a hranic elementárních forem a dále pro polygony definovaná topologická pravidla.
Hlavní scénář:	<p>1. Případ užití začíná, když správce vybere vrstvy podílející se na topologii (areály a hranice elementárních forem) a stanoví vhodná topologická pravidla, která budou zajišťovat topologickou správnost liniových hranic:</p> <ul style="list-style-type: none"> • právě jedna hranice odděluje právě dvě formy, • pouze na každém styku více jak dvou forem je vytvořen topologický uzel, <p>a pravidlo pro topologické provázání polygonů a jejich liniových hranic:</p> <ul style="list-style-type: none"> • okraje každého polygonu jsou kompletně pokryty hranicemi. <p><<include>> : zapsat vybraná topologická pravidla (viz tabulka 3.9).</p> <p><<include>> : zkontrolovat dodržování stanovených topologických pravidel (viz tabulka 3.10).</p>
Výstupní podmínky:	1. Byla vytvořena (a do GmDB uložena) topologická pravidla provazující obě reprezentace elementárních forem a byla tak vytvořena jejich provázaná duální reprezentace. Geometrie obou vrstev byla opravena tak, aby odpovídala nastaveným pravidlům.
Alternativní scénáře:	–

Tabulka 3.17. Specifikace případu užití pro výpočet morfometrických charakteristik hranic elementárních forem.

Specifikace případu užití: Výpočet morfometrických charakteristik hranic elementárních forem	
ID: UC 16	
Stručný popis:	Použít funkcionalitu GmIS a podkladových dat v GmDB (DMR a odvozených povrchů) pro výpočet vybraných morfometrických charakteristik pro každou hranici oddělující právě dvě formy (délka, orientace, křivost a ostrost).
Hlavní aktér:	Uživatel
Vedlejší aktéři:	–
Vstupní podmínky:	V GmDB existuje duální reprezentace elementárních forem (polygonová vrstva ploch topologicky svázaná s vrstvou hranic elementárních forem).
Hlavní scénář:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Příklad užití začíná, když uživatel spustí nástroj pro výpočet vybrané charakteristiky hranice. 2. Systém vyzve uživatele k zadání vstupní vrstvy hranic elementárních forem, ověří, zda v ní existuje atributový sloupec s názvem charakteristiky. <<extend>> : přidat atributový sloupec (viz tabulka 3.14). 3. Systém zapíše do sloupce spočtenou charakteristiku pro každou hranici formy. Nabídne výpočet pro následující charakteristiky: <ul style="list-style-type: none"> • délka hranice – délka její linie, • orientace hranice – převažující směr linie, • křivost hranice – vztah délky linie a geometrické vzdálenosti jejích topologických uzlů, • ostrost hranice – vztah morfometrických atributů polygonů elementárních forem, které jsou hranicí odděleny.
Výstupní podmínky:	1. Byl vyplněn atribut vrstvy hranic elementárních forem odpovídající vybrané morfometrické charakteristice.
Alternativní scénáře:	1. Byl vytvořen nový atributový sloupec pro vybranou počítanou charakteristiku a do něj uloženy spočtené hodnoty.

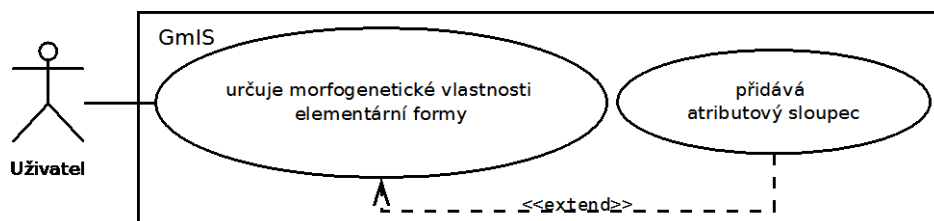
3.4.9. Určení morfogenetických vlastností elementárních forem

Jde o vymezení *druhů* (a *variet*) elementárních forem (viz členění, použité v Mentlík (2006)) na základě jejich morfometrických charakteristik a zmapovaných informací uložených ve vrstvách dokumentačních materiálů a morfodynamických jevů. Jedná se o expertní postup geomorfologa, GmIS však může pomoci práci zefektivnit tvorbou vhodného uživatelského rozhraní následujícím způsobem:

- Má-li geomorfolog v GmIS vybránu konkrétní elementární formu, lze spustit nástroj, který otevře okno s jejími morfometrickými atributy a atributy každého dokumentačního materiálu, který se s elementární formou prostorově překrývá alespoň nějakou svou částí.
- Po kliknutí na jakýkoli další dokumentační materiál se objeví další informační okno s jeho atributy. Tohoto nástroje lze využít pro získání informací z okolí zkoumané elementární plochy.
- Z otevřených oken je umožněno kopírování zobrazovaných údajů.

Požadavek na obdobnou funkcionalitu, jaká je popisována pro *Documentation materials*, vznikne i pro vrstvu *Morphodynamic phenomena*, protože i tyto jevy mohou být důležité pro určení typu elementární formy. Ve vrstvě *Morphodynamic phenomena* mohou být ukládána data buď o jednorázově se vyskytujících jevech, o jevech sledovaných geomorfology po určitý časový úsek nebo i data přebíraná z vnějších zdrojů (např. ze srážkoměrných stanic ČHMÚ). Podrobněji je struktura těchto dvou vrstev popsána v podkapitole 4.2.2, iv a v.

Způsob určení morfogenetických atributů v GmIS je zobrazen v diagramu případu užití na obr. 3.10. Jeho specifikaci popisuje tabulka 3.18. Následná realizace nástrojů pro transformaci údajů z dokumentačních materiálů jsou dále v práci popisovány v podkapitolách 4.3.4 a 4.3.7. Autor se problematice mobilního GIS, pod kterou lze výše popisované činnosti zařadit, věnoval i v článku Jedlička & Šilhavý (2009).



Obr. 3.10. Diagram případů užití pro určení morfogenetických vlastností elementární formy.

Tabulka 3.18. Specifikace případu užití pro určení morfogenetických vlastností elementární formy.

Specifikace případu užití: Určení morfogenetických vlastností elementární formy	
ID: UC 17	
Stručný popis:	Použít funkcionalitu GmIS a data v GmDB pro určení vybraných morfometrických charakteristik pro každý areál elementární formy.
Hlavní aktér:	Uživatel
Vedlejší aktéři:	–
Vstupní podmínky:	V GmDB existují všechny datové vrstvy vytvořené pomocí předchozích případů užití. Naprosto nutná je polygonová reprezentace elementárních forem a naplněné dokumentační materiály. Každá další vrstva napomáhá interpretaci údajů, proto jsou vhodné především informace o reliéfu.
Hlavní scénář:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Příklad užití začíná, když uživatel otevře mapové okno v GmIS a vybere polygon elementární formy. 2. Systém vybraný polygon zvýrazní a otevře dialogové okno pro editaci jeho atributů. Pro lepší práci dále zobrazí atributové informace z dokumentačních materiálů, které prostorově protínají polygon elementární formy. 3. Uživatel interpretuje vizualizovanou situaci a určuje morfogenetické vlastnosti elementárních forem. Ty zapisuje do morfometrických atributů polygonů elementárních forem. Většinou se jedná o atributy nutné pro vymezení vyšších hierarchických úrovní: minimálně geomorfologický druh a varietu. Další atributy viz podkapitola 3.4.10. <<extend>> : přidat atributový sloupec (viz tabulka 3.14). 4. Systém uloží určené atributy.
Výstupní podmínky:	1. Jsou vyplněny morfogenetické atributy areálů elementárních forem.
Alternativní scénáře:	–

3.4.10. Tvorba vyšších úrovní forem reliéfu (hierarchická regionalizace)

Vyšší úrovně forem reliéfu vznikají spojováním elementárních forem reliéfu do skupin podle určitých společných morfogenetických vlastností (typologické vyšší hierarchické formy – skupiny geneticky příbuzných forem) nebo na základě požadavků specifikovaných geomorfologem (individuální vyšší hierarchické formy). Datové struktury pro jejich ukládání jsou popsány v podkapitole 4.2.2, vi, postup pro jejich vytváření v GmIS pak v podkapitole 4.3.7.

Z hlediska postupu prací v GmIS je proto vhodné odvozovat vyšší hierarchické úrovně forem až po konečném vymezení vrstvy elementárních forem. I následně je sice možno elementární formy editovat a měnit, přináší to však problémy v podobě nutnosti editovat geometrii forem pouze topologickými nástroji, či přegenerování vyšších hierarchických forem (v případě změny atributů). Přegenerování vyšších hierarchických forem ovšem může způsobit i problémy v konzistenci databáze.

Výše zmiňovaný a níže rozvinutý postup je v souladu s klasickým geomorfologickým postupem, kdy geomorfolog nejprve vymezení elementární formy reliéfu, a na základě jejich vymezení a připojení morfometrických a morfogenetických atributů k nim, dále analyzuje zájmovou oblast. Další text popisuje dva možné přístupy k budování vyšších úrovní forem reliéfu: tvorbu typologických nebo individuálních forem:

i. Typologické vyšší hierarchické formy

Geomorfolog na základě informací z terénu i poskytnutých GmIS (morfometrické charakteristiky formy, terénní sondy, další dokumentační body, a jiné) určuje u každé elementární formy její základní atribut: *geomorfologický druh (GeomorphologicKind)* a případně doplňující atribut *varietu (variety)*. Výčet druhů i variet forem se může lišit podle typů minulých i současných geomorfologických procesů, které zájmovou oblast zformovaly. Výčet možných hodnot atributů elementárních forem na příkladu převážně glaciálně modelované oblasti (okolí Prášílského jezera) jsou popsány v tabulce v příloze A.

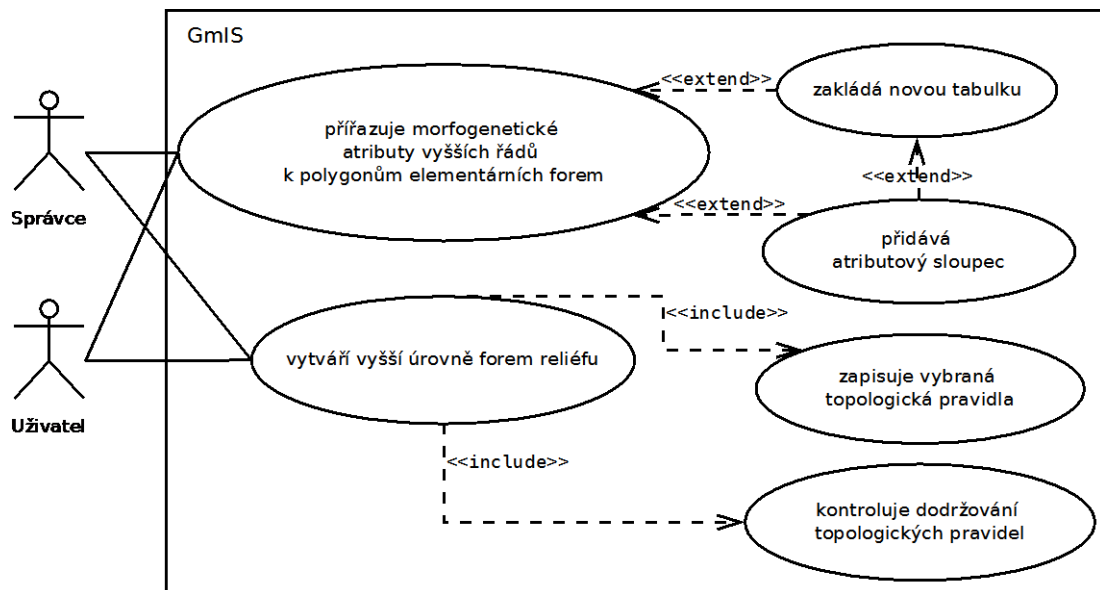
Typologické vyšší úrovně forem reliéfu (zkráceně též typologické vyšší formy, či typologické formy) pak vznikají tak, že geomorfolog nejprve vyplní referenční tabulku, ve které určí, které druhy elementárních forem patří do určité podrodiny, rodiny, podtřídy, třídy, skupiny a základní systémové jednotky (převzato z Mentlík (2006)). Na základě vyplněné referenční tabulky jsou automatizovaně doplněny atributy do všech elementárních forem a vytvořena prostorová (geometrická a topologická) i atributová reprezentace vyšších typologických forem, která je navázána na původní elementární formy.

ii. Individuální vyšší hierarchické formy

Geomorfolog může potřebovat vymezit vlastní vyšší hierarchickou úroveň z elementárních forem. Jedná se v podstatě o analogickou úlohu k tvorbě typologických vyšších forem, geomorfolog má však možnost sdružovat elementární formy do vyšších celků interaktivně. GmIS tedy umožní geomorfologovi vytvořit si vlastní atributový sloupec pro každou novou hierarchickou úroveň. Vytvořený sloupec je pak možno editovat i interaktivně, tj. geomorfolog má možnost vytvořit si

hierarchickou úroveň dle vlastních potřeb. Následná tvorba prostorové reprezentace vyšších individuálních hierarchických (úrovní) forem je algoritmicky shodná s algoritmy využívanými při tvorbě typologických hierarchických forem.

Diagram případů užití k oběma výše popsaným činnostem je zobrazen na obr. 3.11 a jednotlivé (dosud nespecifikované) případy užití jsou specifikovány v následujících tabulkách (tabulka 3.19, tabulka 3.20 a tabulka 3.21). Realizace těchto případů užití je dále popsána v podkapitole 4.3.7. Variantu pro typologické formy zpracoval a algoritmizoval již Vracovský (2007) pod vedením autora disertační práce.



Obr. 3.11. Diagram případů užití pro tvorbu vyšších úrovní forem reliéfu.

Tabulka 3.19. Specifikace případu užití pro přiřazení morfometrických atributů vyšších řádů k polygonům elementárních forem.

Specifikace případu užití: ID: UC 18	Přiřadit morfogenetické atributy vyšších řádů k polygonům elementárních forem
Stručný popis:	Na základě existujících morfogenetických atributů polygonů elementárních forem (variety a druhu) přiřadit morfogenetické atributy vyšších řádů.
Hlavní aktér:	Uživatel
Vedlejší aktéři:	Správce
Vstupní podmínky:	V GmDB existuje duální reprezentace elementárních forem reliéfu s vyplněnými morfogenetickými atributy geomorfologický druh a varieta u polygonů forem.
Hlavní scénář:	1. Příklad užití začíná, když geomorfolog spustí nástroj pro

	<p>tvorbu vyšších úrovní forem reliéfu.</p> <p>2. Systém nabídne uživateli tabulku, která mu umožní pro každý geomorfologický druh přiřadit morfogenetické atributy vyšších řádů: podrodina, rodina, podtřída, třída, podskupina a skupina.</p> <p><<extend>> : Založit novou tabulku s atributovými sloupci varieta, druh, podrodina, rodina, podtřída, třída, podskupina a skupina.</p> <p>3. Uživatel vyplní tabulku.</p> <p>4. Systém tabulku uloží. Přes sloupec geomorfologický druh ji propojí s vrstvou elementárních forem a vkopíruje odpovídající morfogenetické atributy vyšších řádů přímo k polygonům elementárních forem.</p> <p>Pokud morfogenetické atributy vyšších řádů ve vrstvě polygonů elementárních forem neexistují, vytvoří je.</p> <p><<extend>> : přidat atributový sloupec (viz tabulka 3.14).</p>
Výstupní podmínky:	1. K polygonům elementárních forem byly přiřazeny morfogenetické atributy vyšších řádů.
Alternativní scénáře:	–

Tabulka 3.20. Specifikace případu užití pro založení nové tabulky.

Specifikace případu užití: Založit novou tabulku	
ID: UC 19	
Stručný popis:	V geomorfologické databázi založit novou prázdnou tabulku.
Hlavní aktér:	Správce
Vedlejší aktéři:	–
Vstupní podmínky:	Existuje geomorfologická databáze.
Hlavní scénář:	<p>1. Příklad užití začíná, když správce spustí nástroj pro založení prázdné tabulky.</p> <p>2. Systém vyzve uživatele k zadání:</p> <ul style="list-style-type: none"> • názvu tabulky • názvů a datových typů sloupců. <p>3. Správce zadá požadované vstupy a nástroj spustí.</p> <p>4. Systém založí tabulku s požadovanými sloupci.</p> <p><<extend>> : přidat atributový sloupec (viz tabulka 3.14).</p>
Výstupní podmínky:	1. V systému je založena nová tabulka s požadovanými sloupci.
Alternativní scénáře:	Založit prostorovou datovou vrstvu (tabulku obsahující i údaje o geometrii).

Tabulka 3.21. Specifikace případu užití pro tvorbu vyšších úrovní forem reliéfu.

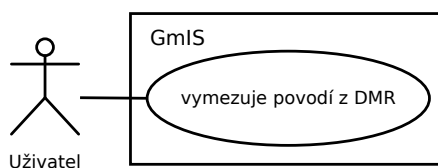
Specifikace případu užití: Vytvořit vyšší úrovně forem reliéfu	
ID: UC 20	
Stručný popis:	Vytvořit vyšší typologické úrovně forem reliéfu na základě morfogenetických atributů vyšších řádů. Alternativně tyto vyšší úrovně vytvořit na základě individuálního seskupování forem uživatelem~geomorfologem.
Hlavní aktér:	Uživatel
Vedlejší aktéři:	Správce
Vstupní podmínky:	V GmDB jsou u vrstvy polygonů elementárních forem přiřazeny morfogenetické atributy vyšších řádů.
Hlavní scénář:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Příklad užití začíná, když uživatel spustí nástroj pro tvorbu vyšších úrovní forem reliéfu. 2. Systém ověří existenci vstupních vrstev a postupně vytvoří polygonovou a liniovou vrstvu pro každý morfogenetický atribut (varieta, druh, podrodina, rodina, podtřída, třída, podskupina a skupina). Tyto dvě vrstvy vždy sváže stejnými topologickými pravidly, jaká jsou stanovené pro duální reprezentaci elementárních forem. Dále stanoví topologická pravidla pro vytvoření hierarchické topologické vazby mezi vzniklou reprezentací a elementárními formami: <ul style="list-style-type: none"> • Hranice polygonů vyšších forem musí vždy ležet na hranici elementární formy. <p><<include>> : zapsat vybraná topologická pravidla (viz tabulka 3.9).</p> <p><<include>> : zkontrolovat dodržování stanovených topologických pravidel (viz tabulka 3.10).</p>
Výstupní podmínky:	1. Jsou vytvořeny vyšší typologické úrovně forem reliéfu.
Alternativní scénáře:	1. Vytvořit individuální vyšší úrovně forem reliéfu na základě atributů, které geomorfolog zadává interaktivně.

3.4.11. Vymezení povodí

Členění reliéfu na povodí (případně i polopovodí) může být alternativou k členění na elementární formy. Povodí je přirozenou, přírodou vytvářenou formou reliéfu. V realitě je povodí vymezeno oblastí, ze které stéká voda do konkrétního vodního toku nebo plochy. Pokud nejsou k dispozici dostatečně podrobné geologické mapy, lze vymežit povodí na základě digitálního modelu reliéfu. Povodí lze dále rozdělit na levé a pravé polopovodí

vymezené hřbetnicemi a příslušnou údolnicí. Povodí se vymezuje vždy ke konkrétnímu bodu na vodním toku, nejčastěji ústí, soutoku nebo měřicímu bodu. Rozlišují se povodí různých řádů, stejně jako se rozlišují řády vodních toků. Pro účely GmIS je využito členění podle Strahler (1952), které čísluje řády směrem od pramene k ústí. Povodím prvního řádu pak je nejmenší, základní povodí.

Povodí lze nad DMR vymezovat ručně podle hřbetnic/rozvodnic. Pro vymezení povodí lze ovšem použít i analytické nástroje GIS, které je třeba vhodným způsobem zřetěžit. Existují dvě cesty, jednodušší spočívá ve *vymezení povodí nad existujícími vodními toky a digitálním modelem reliéfu*, algoritmicky náročnější je *cesta vymezující povodí pouze na základě DMR*. I v tomto případě jsou povodí a vodní toky členěny na řády podle kritérií stanovených Strahlerem. Oba postupy autor popsal již v práci Jedlička & Mentlík (2002) a využil pro morfostrukturní analýzu okolí Prášilského jezera v článku Jedlička & Mentlík (2003). Postup vymezení povodí z DMR byl použit pro tvorbu bázevých povrchů zmiňovanou v Jedlička & Sládek (2009). Na obr. 3.12 je zobrazen diagram případu užití pro vymezení povodí, v jeho specifikaci (tabulka 3.22) je popsán hlavní scénář (povodí počítaná pouze z DMR) a nastíněny alternativní scénáře (výpočet povodí z DMR a existující vrstvy vodních toků a výpočet polopovodí).



Obr. 3.12. Diagram případu užití pro vymezení povodí v GmIS.

Tabulka 3.22. Specifikace případu užití pro vymezení povodí.

Specifikace případu užití: Vymezit povodí	
ID: UC 21	
Stručný popis:	Vymezit povodí na základě podkladových dat (DMR a případně vodní toky).
Hlavní aktér:	Uživatel
Vedlejší aktéři:	–
Vstupní podmínky:	V GmDB existují podkladové vrstvy (hladký a hydrologicky korektní DMR a případně vodní toky).
Hlavní scénář:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Případ užití začíná, když uživatel otevře nástroj pro vymezení povodí. 2. Systém uživatele vyzve k zadání cesty k vstupnímu DMR a navrhne umístění a názvy výstupních vrstev:

	<ul style="list-style-type: none"> • rastr směrů odtoků z buňky, • rastr akumulace vody, • rastr vodních toků, • vektor vodních toků (klasifikovaných podle Strahler (1952)), • rastr a vektor vymezených povodí. <ol style="list-style-type: none"> 3. Uživatel zadá požadované údaje a spustí nástroj. 4. Systém provede výpočet rastru směrů odtoků z buňky a rastru akumulace vody. Dotáže se uživatele na prahovou hodnotu pro minimální velikost povodí, případně nabídne přednastavenou hodnotu (pro středoevropské podmínky a data s podrobností odpovídající měřítku 1 : 50 000 doporučuje Jedlička & Sládek (2009) velikost povodí minimálně 0,15 km²). 5. Uživatel na základě svého posouzení použije přednastavenou hodnotu, případně zadá jinou. 6. Systém vypočte rastr vodních toků a zobrazí jej. 7. Uživatel rastr buď akceptuje a spustí zbývající část výpočtu, či se vrátí do bodu 5. 8. Systém ohodnotí rastr vodních toků podle Strahlera a převede jej i na vektor. 9. Systém spočte povodí z DMR a vrstvy vodních toků. Do geomorfologické databáze uloží rastrovou i vektorovou reprezentaci povodí.
Výstupní podmínky:	<ol style="list-style-type: none"> 1. V GmDB je vytvořena rastrová i vektorová reprezentace povodí a vodních toků a další mezivrstvy (rastr směrů odtoků z buňky, rastr akumulace vody).
Alternativní scénáře:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Povodí je počítáno z DMR a již existující vrstvy vodních toků (např. z hydrologických převzatých vrstev). 2. Jsou počítána i polopovodí.

3.4.12. Výpočet morfometrických charakteristik pro povodí a polopovodí

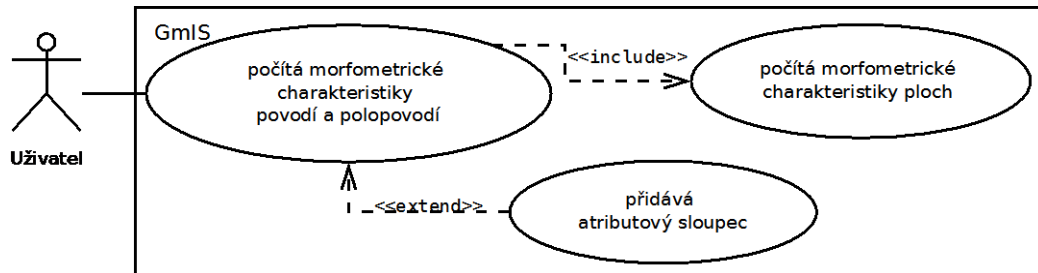
Pro povodí a polopovodí lze spočítat stejné morfometrické charakteristiky, jaké jsou uvedené v podkapitole 3.4.7. Navíc lze počítat i následující členitosti²³:

- *Horizontální členitost povodí* – podíl délky údolnice k ploše povodí; výsledkem je bezrozměrné číslo.

²³ Stanoveny po konzultaci s prof. Minářem.

- *Horizontální členitost polopovodí* – podíl poloviny délky údolnice k ploše polopovodí; výsledkem je bezrozměrné číslo.

Případ užití řešící výpočet morfometrických charakteristik povodí a polopovodí je popsán diagramem (viz obr. 3.13) a specifikací případu užití (tabulka 3.23). Následná realizace GmIS, zaměřená na elementarizaci reliéfu na elementární formy, zatím algoritmizaci výpočtu členitostí vztažených pouze k povodí neřeší.



Obr. 3.13. Diagram případu užití pro výpočet morfometrických charakteristik pro (polo)povodí.

Tabulka 3.23. Specifikace případu užití pro výpočet členitostí (polo)povodí

Specifikace případu užití: ID: UC 22	Výpočet morfometrických charakteristik pro (polo)povodí
Stručný popis:	Vypočítat morfometrické charakteristiky pro povodí a polopovodí.
Hlavní aktér:	Uživatel
Vedlejší aktéři:	–
Vstupní podmínky:	V GmDB existuje vrstva povodí a vodních toků, DMR a vrstvy z něj odvozené.
Hlavní scénář:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Případ užití začíná, když uživatel spustí nástroj pro výpočet vybrané skupiny agregovaných charakteristik pro areály elementárních forem (například charakteristik odvozených od rastru sklonů svahů). 2. Systém vyzve uživatele k zadání vrstev, ze kterých budou charakteristiky počítány (povodí/polopovodí, vodní toky, DMR a odvozené povrchy). 3. Po zadání parametrů uživatel spustí výpočet. 4. Systém vypočítá horizontální členitost povodí, případně polopovodí). 5. <<include>> : výpočet morfometrických charakteristik ploch (viz podkapitola 3.4.7).

	6. Systém uloží morfometrické charakteristiky ploch do relačně propojených tabulek a členitost uloží do atributového sloupce vrstvy povodí 7. <<extend>> : přidat atributový sloupec.
Výstupní podmínky:	1. V GmDB jsou uloženy vypočtené morfometrické charakteristiky pro povodí či polopovodí.
Alternativní scénáře:	–

3.4.13. Tvorba geomorfologické mřížky

Geomorfologická mřížka je tvořena navzájem se křížujícími geomorfologickými liniemi, projevujícími se na georeliéfu zřetelnou orientací elementárních forem. Každá forma, která leží na geomorfologické linii, totiž akceptuje její směr. S pomocí geomorfologické mřížky je podle Urbánka (1993) možné určovat tektonicky podmíněné linie nebo manifestovat vliv pasivní morfostruktury. Linie geomorfologické mřížky tak mohou být ukazatelem pasivních i aktivních morfostrukturních projevů. Jedlička & Mentlík (2003).

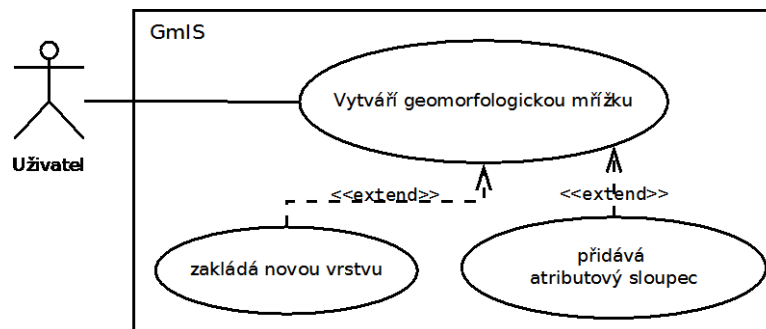
Geomorfologické linie tvořící mřížku lze identifikovat výběrem významných hranic elementárních forem. To je záležitostí expertní práce geomorfologa. GmIS ovšem nabídne buď existující nástroje GIS, či nově vyvinuté nástroje, pro pokud možno objektivní vymezení linií mřížky. Z technologického hlediska je výběr linií pro geomorfologickou mřížku realizován na základě hodnocení morfometrických atributů hranic elementárních forem. Její vytváření lze rozdělit do několika různě automatizovatelných kroků.

1. *Hledání významných hranic* – spočívá v hledání co nejdelších segmentů hranic, které jsou co nejméně zakřivené, a mají velkou mohutnost či některou z ostrostí (všeobecnou/specifickou). To prakticky znamená hledat prahové hodnoty v atributech hranic elementárních forem: míra zakřivení, mohutnost a délka. Z hodnot atributů se experimentálně a na základě fundovaného odhadu geomorfologa budou vybírat ty hranice, které mají hodnotu větší, než která je určena prahem. Prahové hodnoty je potřeba experimentálně nastavit pro každé zájmové území:
 - Za tímto účelem je vhodné vyvinout nástroj, který umožní interaktivní vizualizaci vyprahovaných hran, pro vytvoření zpětné vazby v reálném čase. Jednoduše lze řešit například vizualizací výběru třech sloučených atributových dotazů.
 - Zkoumány jsou nicméně tři atributy (mohutnost nebo ostrost, délka a křivost), které mají odlišný rozsah. Nástroj proto musí umožňovat normalizaci těchto atributů (např. na interval 0-1) a následně definici

funkce, která sesadí (v nejjednodušším případě sečte) všechny tyto atributy dohromady. Vznikne tak čtvrtý agregovaný atribut, který bude vyjadřovat významnost hrany pro tvorbu geomorfologické mřížky.

- Následně dochází k experimentálním posunům prahovou hodnotou²⁴ (agregovanou či s jednotlivými prahy atributů mohutnosti, délky a křivosti zvláště), a to tak aby do mřížky byly vybrány pouze významné segmenty hranic. To posoudí geomorfolog na základě svých zkušeností a vizuální interpretace zobrazovaných hranic. Potom, co jsou dané prahové hodnoty nastaveny pro zájmové území odpovídajícím způsobem, dojde k uložení mřížky do nové vrstvy v databázi. Při tomto kroku je vhodné zaznamenat zvolené prahy jednotlivých atributů.
2. *Rozdělení hranic podle jejich orientace* – nalezení významných směrů segmentů hranic na základě četnosti jejich výskytu. Lze použít například histogram či růžicový diagram aplikovaný na atribut orientace hranice.
 3. *Interaktivní editace a precizace mřížky* expertním postupem geomorfologa – geomorfolog, na základě svých zkušeností a informací získaných v předešlých dvou krocích, označuje jednotlivé významné segmenty hranic jako segmenty geomorfologické mřížky (viz 4.2.2, vii). Alternativně může mřížku znovu vektorizovat (tradiční postup), získává tak sice více schematický a proto názornější tvar mřížky, ovšem přichází o atributové informace vztažené k jednotlivým segmentům (pokud je s novou vrstvou nesváže).

Postup vymezení mřížky je zobrazen na diagramu na obr. 3.14 a formálně jej specifikuje tabulka 3.24. Jeho realizaci v prostředí GmIS popisuje podkapitola 4.3.8.



Obr. 3.14. Diagram případů užití pro tvorbu geomorfologické mřížky.

Tabulka 3.24. Specifikace případu užití pro výpočet členitostí (polo)povodí

²⁴ Lze postupovat například metodou plnění intervalu, práh ovšem musí určit geomorfolog.

Specifikace případu užití: Vytvořit geomorfologickou mřížku	
ID: UC 23	
Stručný popis:	Využít funkcionality nástrojů GmIS a data v GmDB pro vytvoření geomorfologické mřížky.
Hlavní aktér:	Uživatel
Vedlejší aktéři:	–
Vstupní podmínky:	V GmDB existuje vrstva hranic elementárních forem a další podkladové vrstvy. Každá další vrstva napomáhá interpretaci údajů, proto jsou vhodné především informace o reliéfu.
Hlavní scénář:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Příklad užití začíná, když uživatel otevře mapové okno GmIS, zobrazí podkladové vrstvy a otevře vrstvu hranic elementárních forem reliéfu pro editaci. 2. Systém načte podkladové vrstvy a zahájí editační režim. 3. Uživatel experimentálně a na základě fundovaného odhadu vybere takové hranice, které mají hodnotu atributů (ostrosti, délky a křivosti) větší, než určenou prahem. Prahové hodnoty je potřeba experimentálně nastavit pro každé zájmové území. 4. Systém nabídne uživatelské prostředí, které umožní interaktivní vizualizaci vyprahovaných hran, pro vytvoření zpětné vazby v reálném čase. 5. Uživatel na základě své odborné erudice posuzuje, zda jsou na základě stanovených prahových hodnot vyčleněny ze segmentů hranic forem významné segmenty. Pokud je třeba prahové hodnoty změnit, vrací se do kroku 3. Potom, co jsou dané prahové hodnoty nastaveny pro zájmové území odpovídajícím způsobem, dojde pro vybrané segmenty hranice k uložení atributové informace o tom, že daný segment hranice je součástí geomorfologické mřížky. Při tomto kroku je vhodné zaznamenat zvolené prahy jednotlivých atributů. <<extend>> : přidat atributové sloupce pro ukládané hodnoty (viz tabulka 3.14). 6. Uživatel dále analyzuje vybrané hranice a hledá významné směry segmentů hranic na základě četnosti jejich výskytu – rozděluje hranice podle jejich orientace. 7. Systém nabídne použití histogramu či růžicového diagramu pro analýzu hodnot uložených ve sloupci orientace hranice. 8. Uživatel dále, na základě svých zkušeností a informací získaných v předešlých dvou krocích, označuje jednotlivé

	<p>významné segmenty hranic jako segmenty geomorfologické mřížky.</p> <p>9. Systém nabídne nástroj pro editaci atributu označujícího, zda segment patří do geomorfologické mřížky (viz krok 5). Alternativně systém nabízí uložení vybraných prvků jako nové vrstvy GmDB.</p> <p><<extend>> : Založit novou prostorovou vrstvu v GmDB (tabulka 3.20, alternativní scénář) s vhodnou strukturou atributů.</p>
Výstupní podmínky:	<p>a) V GmDB je vytvořena reprezentace geomorfologické mřížky, minimálně formou atributu u segmentů hranic elementárních forem, alternativně i jako nezávislá geometrická vrstva.</p>
Alternativní scénáře:	<p>1. Ručně vektorizovat mřížku na základě interpretace zobrazených dat.</p>

4. Realizace GmIS

Autor této práce zodpovídá za celkový management vývoje GmIS. Komunikací se zadavatelem (geomorfologickou komunitou) definuje koncepci a kontroluje a koordinuje její následnou technickou realizaci, jejíž níže popsanou významnou část přímo provádí.

Problematika tvorby GmIS se v průběhu definování jeho koncepce, kterou se zabývala předešlá kapitola, ukázala jako velice rozsáhlá a heterogenní. Proto bylo nutno realizaci GmIS rozdělit podle *realizačních dílčích cílů* popsaných v podkapitole 2.1, ke kterým byly přiřazeny konkrétní činnosti identifikované v podkapitole 3.3.

Realizační cíle (číslované ve shodě s podkapitolou 2.1) s přiřazenými činnostmi:

- v. Volba dostatečně robustního technologického řešení pro GmIS (viz podkapitola 4.1).
- vi. Realizace struktury geomorfologické databáze. (viz podkapitola 4.2)
 - Vytvoření vzorové zdrojové databáze.
 - Import převzatých datových vrstev.
 - Tvorba DMR a odvozených povrchů.
- vii. Realizace fundamentálních geomorfologických operací a analýz v GmIS pomocí geomorfologických nástrojů. (viz podkapitola 4.3)
 - Elementarizace reliéfu zájmové oblasti.
 - Terénní mapování.
 - Výpočet morfometrických charakteristik polygonů elementárních forem.
 - Výpočet morfometrických charakteristik hranic elementárních forem.
 - Určení morfogenetických vlastností elementárních forem
 - Tvorba vyšších hierarchických úrovní (hierarchická regionalizace).
 - *Vymezení povodí.*
 - *Výpočet členitostí pro povodí.*
 - Tvorba geomorfologické mřížky.
- viii. Zajištění otevřenosti GmIS pro přidávání dalších analytických funkcí. (konkrétně podkapitola 4.3.1)
- ix. Dokumentace GmIS (tato disertační práce).

Nejdříve bylo nutné zvolit technologii (cíl v.) a v ní realizovat prázdnou strukturu geomorfologické databáze, která je pak následnými činnostmi v GmIS naplňována (cíl vi). Dále byla realizována fundamentálních geomorfologických operací a analýz v GmIS pomocí geomorfologických nástrojů se zaměřením na elementární formy. Alternativní přístup elementarizace reliéfu na povodí zatím nebyl do GmIS plně zapracován, i když již byl realizován a popsán v Jedlička & Sládek (2009).

4.1. Volba technologií

Jsou-li popsány interakce uživatele se systémem a identifikovány požadavky na strukturu i procesy (činnosti) systému, je třeba zvolit vhodnou technologii, která umožní realizaci celého systému (dílčí cíl (v)). Při volbě vhodných technologií²⁵ bylo zvažováno několik kritérií:

- *Podpora geografických databází, včetně topologických vztahů* – pro možnost víceuživatelské editace a zejména pro možnost konzistentního uložení duální reprezentace elementárních forem.
- *Otevřenost zdrojového kódu* software, respektive otevřenost software pro programování dalšího kódu (včetně možnosti jeho další distribuce) – pro možnost vývoje nástrojů GmIS.
- *Množství standardně implementovaných analytických nástrojů* – čím více nástrojů existuje, tím méně jich bude potřeba vyvíjet.
- *Podpora standardů* zejména v oblastech datových formátů a mapových služeb – pro zajištění interoperability s dalšími GIS.
- *Celková robustnost* řešení a stupeň uniformity filosofie ovládání software – pro možnost vývoje různorodých nástrojů a pro jednoduchost ovládání.
- V případě komerčních technologií jejich *dostupnost na akademické půdě* (v ČR, SR, i ve světě) – pro minimalizaci nákladů na pořízení GmIS.

4.1.1. Otevřené technologie pro GmIS

Bylo nutno rozhodnout, zda postupovat cestou otevřených (open source) řešení, či použít komerční technologie. V době rozhodování o volbě technologie (rok 2005) nebylo k dispozici žádné open source integrující řešení, vhodné pro celý GmIS. Z open source software byla zkoumána kombinace GIS GRASS pro analýzy (a eventuelně mobilního GIS klienta), PostgreSQL+PostGIS geografické databáze pro ukládání dat, OpenJump, či QGIS jako desktop GIS, UMN MapServer pro prezentaci výsledků dat.

Slabinami open source řešení byla zejména neuniformnost ovládání, problémy s datovými formáty – shrnuto, nutnost používat najednou několik různých software od různých vývojářů. Další problém takového řešení spočívá v chudé analytické výbavě desktop GIS²⁶. Klíčovým kritériem pro vyloučení open source technologií pro realizaci GmIS je chybějící podpora topologie a z toho plynoucí konzistenční problémy při duální reprezentaci elementárních a vyšších forem.

²⁵ Volba technologie pro GmIS proběhla na začátku projektu AIP ČR č. 106: GmIS jako základ environmentálních aplikací.

²⁶ Jako typický open source desktop GIS lze považovat např. QGIS či OpenJump. GIS GRASS je označován jako profesionální GIS, ovšem jeho doménou jsou v převážné většině stále rastrové analýzy.

4.1.2. Komerční technologie pro GmIS

Po vyloučení otevřených technologií bylo třeba uvažovat o volbě některého z komerčních řešení. Na trhu jich v době rozhodování existovala celá řada, například: ArcGIS, AutoCAD, Geomedia, MGE, MicroStation, z českých pak například ATLAS či MISYS.

V průběhu zkoumání vhodné technologie byly nejprve vyřazeny české technologie pro jejich malou rozšířenost (ATLAS či MISYS). Dále byly vyloučeny technologie založené na CAD, protože tyto technologie mají obecně velmi malou podporu analytických funkcí zejména nad rastry a jejich využití v geovědách se soustřeďuje spíše na sběr a primární zpracování základních geodat (AutoCAD, MicroStation, MGE).

Zbývalo rozhodnout mezi software firmy Intergraph (Geomedia) a ESRI (ArcGIS). Z porovnání následující text vyzdvihuje klíčové skutečnosti. Za výhodu software Geomedia je třeba považovat její datovou interoperabilitu. Technologie Geography Data Objects představená s první verzí software Geomedia (r. 1997) umožňuje aplikaci Geomedia přístup k již existujícím úložištím jiných GIS. Výhoda ArcGIS (ESRI technologie) spočívá především v dlouhodobém zaměření firmy na analytické funkce, která byla původně založena jako výzkumný institut zabývající se analýzami využití půdy: ESRI ~ Environmental Systems Research Institute.

ESRI technologie byla nakonec zvolena zejména pro:

- Její rozšířenost (na řešitelských pracovištích i obecně). Studie společnosti Daratech dlouhodobě potvrzují největší podíl na trhu s geotechnologiemi právě pro ESRI²⁷. Jako tahouna trhu s geotechnologiemi označuje ESRI i studie Smith 2005.
- Sílu její uživatelské a hlavně vývojářské komunity. Pro ESRI technologie existuje rozsáhlá komunita vývojářů, kteří dlouhodobě uzpůsobují ESRI technologie konkrétním aplikacím a svůj programový kód sdílejí s ostatními (<http://arcscripts.esri.com/>). Tuto komunitu ESRI podporuje svou webovou službou technické podpory (<http://support.esri.com/>).
- Formát ESRI Geodatabase, který umožňuje pokročilé modelování geodatových struktur – zejména topologií. Výše zmiňovaná technologie GDO pro Geomedia nebyla v době rozhodování o volbě technologie schopna číst tento datový formát²⁸.

²⁷ Primární výsledky společnosti Daratech jsou k dispozici pouze za úplaty, informace z nich převzaté lze najít v článkách na internetu, či v tiskových zprávách, např.:

<http://www.ruraltech.org/pubs/theses/lwrogers/index.asp> pro rok 2001 nebo

<http://www.directionsmag.com/press.releases/?duty=Show&id=36318> pro rok 2009.

²⁸ <http://geomediawiki.org/Converting+a+Geodatabase+to+a+Shapefile>

Další popis je věnován již přímo zvolené technologii ESRI. Konkrétní část technologie je vždy popisována přímo ve vztahu k GmIS.

Data GmIS jsou ukládána ve formátu ESRI Geodatabase (<http://www.esri.com/software/arcgis/geodatabase/index.html>), který podporuje topologii. Struktura ESRI Geodatabase je dále popisována v 4.1.4. (*Podpora geografické databáze včetně topologií*).

Mezi nevýhody komerčního software bezesporu patří uzavřenost originálního zdrojového kódu, na druhou stranu technologie ESRI jsou otevřené ve směru k programování dalšího kódu přes standardizované rozhraní COM (Component Object Model, <http://www.microsoft.com/com/>) a mají silnou podporu pro vývojáře aplikací – ESRI Developer Network (<http://edn.esri.com/>). Pro realizaci funkcí GmIS je využívána široká škála standardních analytických funkcí software ArcGIS sdružená v ArcToolbox.

Pro programování vlastních funkcí nebo aplikací lze využít několik skriptovacích či programovacích jazyků či vývojových prostředí. Využívány jsou zejména následující:

- ModelBuilder (http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.2/index.cfm?TopicName=An_overview_of_ModelBuilder),
- Python (<http://www.python.org>) a
- Visual Basic for Applications (<http://msdn2.microsoft.com/en-us/isv/bb190538.aspx>),

kteří používají knihovny ArcObjects²⁹. Knihovny tříd ArcObjects jsou založeny na výše zmiňovaném standardu COM – takže je v podstatě možno použít libovolný programovací jazyk, podporující COM. (*Otevřenost software pro další vývoj*).

Pro sběr dat je možno využít software ArcPad (<http://www.esri.com/software/arcgis/arcpad/index.html>), pro distribuci dat je možno použít ArcSDE (<http://www.esri.com/software/arcgis/arcscde/index.html>) ve spolupráci s ArcIMS (<http://www.esri.com/software/arcgis/arcims/index.html>) poskytujícím data podle standardu Web Map Service (WMS – <http://www.opengeospatial.org/standards/wms>) Open Geospatial Consortium (OGC – <http://www.opengeospatial.org>). (*Podpora standardů*).

Obecně je další nevýhodou komerčních technologií *dostupnost* s ohledem na cenu systému, ovšem v současné době je ESRI software poměrně rozšířen. Veškeré výše popsané

²⁹ <http://edndoc.esri.com/arcobjects/9.2/welcome.htm>. Alternativně je pro vývoj aplikací na platformě ESRI možno použít i MapObjects – pak vzniká samostatná aplikace. ArcObjects naproti tomu pouze rozšiřují existující aplikaci, např. ArcMap nebo ArcCatalog.

technologie jsou vyvíjeny jednou firmou, jedná se proto celkově o *robustní seskupení technologií, které mají v základu stejnou filozofii ovládání*.

4.1.3. Nástroje SW inženýrství pro podporu vývoje GmIS

V dnešní době jsou v naprosté většině případů softwarové aplikace vyvíjeny ne jedním, ale celou skupinou vývojářů. Ani GmIS do budoucna nebude výjimkou. Proto byla pro účely vývoje GmIS nasazena technická infrastruktura pro podporu vývoje software, používaná na oddělení geomatiky, ZČU. Jedná se o kombinaci nástrojů, které umožňují efektivní dokumentaci, komunikaci mezi vývojáři a hlavně kontrolu verzí vyvíjené aplikace (Jedlička & Ježek (2008)).

Dokumentace je k dispozici na interaktivních, více-uživatelsky editovatelných webových stránkách (<http://git.zcu.cz/wiki/index.php/GmIS>) postavených na technologii **MediaWiki** (<http://www.mediawiki.org>).

V koncepční fázi návrhu systému byl využit unifikovaný modelovací jazyk (UML, <http://www.uml.org/>), konkrétně diagramy tříd a diagramy a specifikace případů užití (viz podkapitola 3.2, resp. 3.4). Pro vlastní návrh a dokumentaci geomorfologické databáze je dále využíváno dokumentačního nástroje Geodatabase Diagrammer³⁰ a ArcGIS Diagrammer³¹ (viz podkapitola 4.2, příloha B a datové modely uložené na příloženém DVD – příloha E). Geodatabase Diagrammer je dokumentační nástroj, umožňující vytvářet přehledná (logická) schémata geodatabáze (viz podkapitola 4.1.5), pro tvorbu databázové struktury je nicméně potřeba pracovat přímo v aplikaci ArcCatalog. ArcGIS Diagrammer je oproti tomu grafický nástroj (využívající UML diagramů), kterým lze přímo editovat do XML formátu exportovanou strukturu geodatabáze (ukázka XML struktury GmDB – viz příloha D). Tu lze následně převést do konkrétního formátu *ESRI Geodatabase*³².

Pro vývoj zdrojového kódu lze obecně použít nástroj pro kontrolu verzí, například hojně rozšířený nástroj **Subversion** (<http://subversion.tigris.org/>). Jedná se o technologii, která umožňuje vyvíjet zdrojový kód více uživatelům zároveň a řídit jeho vývoj v komunitě. Zároveň umožňuje dalším uživatelům přístup ke zdrojovému kódu i k novým binárním verzím projektu. Pro vývoj GmIS zatím nebyl nasazen, jeho použití je možné do budoucna.

³⁰ <http://arcscrips.esri.com/details.asp?dbid=12616>

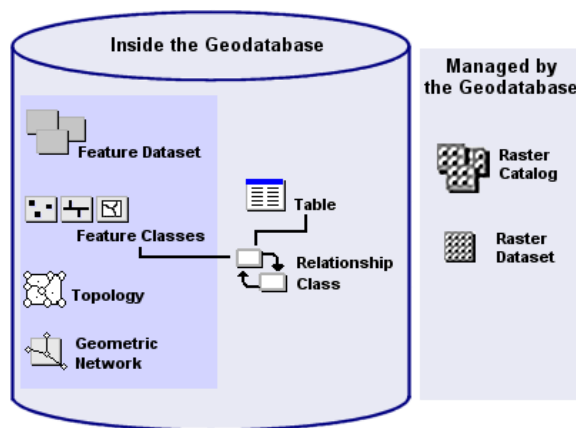
³¹ <http://arcscrips.esri.com/details.asp?dbid=15166>, <http://maps.esri.com/Diagrammer/userguide.pdf>

³² Personal geodatabase, file geodatabase, ArcSDE Geodatabase.

4.1.4. Struktura ESRI Geodatabáze z pohledu GmIS

Tato podkapitola představuje jednotlivé součásti formátu *ESRI Geodatabase* (dále česky geodatabáze / ESRI geodatabáze), které lze využít při datovém modelování. U popisu těch součástí geodatabáze, které jsou využity při tvorbě geomorfologické databáze (GmDB), je uveden příklad využití spojený s GmIS. V případě složitějších konstrukcí geodatabáze, které nejsou při tvorbě GmDB využity, je uveden názorný příklad z jiné oblasti.

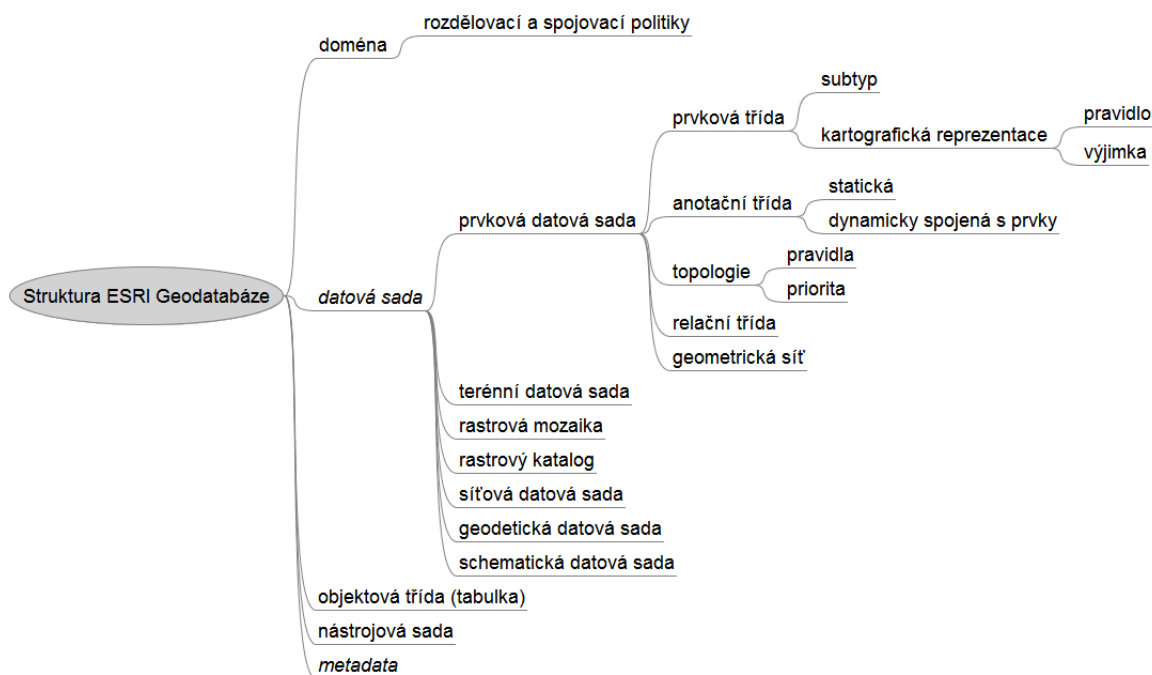
Geodatabáze je datovým formátem vyvinutým firmou ESRI, který je určen pro ukládání a správu geografických dat (ESRI (2009)). Její základní struktura je zobrazena na obr. 4.1, podrobná struktura zobrazující jednotlivé komponenty je zobrazena na obr. 4.2. Následující popis struktury ESRI geodatabáze čerpá z výše zmíněného zdroje a z autorových zkušeností. Geodatabáze je založena na struktuře klasických (atributových/lexikálních) relačních databází, kterou doplňuje o možnosti správy prostorové složky dat. Umožňuje napojení na většinu známých a používaných relačních systémů řízení báze dat (jednoduchý Microsoft Access nebo přes middleware ArcSDE³³ na některý z profesionálních, např.: Oracle, SQL Server, PostgreSQL), či využít souborového uložení (file geodatabase). Její struktura přitom zůstává nezávislá na konkrétním datovém úložišti. Silné stránky geodatabáze (viz dále v této podkapitole) vynikají zejména při práci se složitějšími datovými strukturami. Je třeba ale zmínit i omezení geodatabáze, názvy všech datových sad a tříd musí být unikátní v celé geodatabázi. Názvy atributů musí být unikátní v rámci prvkové či objektové třídy (viz níže).



Obr. 4.1. Základní struktura ESRI geodatabáze³⁴.

³³ <http://www.esri.com/software/arcgis/arcscde/>

³⁴ Převzato z <http://www.geog.ucsb.edu/~ta176/g176b/lab3/lab3.html>



Obr. 4.2. Podrobná struktura ESRI geodatabáze.

Geodatabáze umožňuje ukládat jak vektor, tak i rastr. Je členěna na jednotlivé **datové sady** (*datasets*) ve kterých sdružuje související data. Rastry mohou být v datové sadě uloženy buď jako kontinuální na sebe navazující pravidelné dlaždice mozaiky – **rastrový dataset** (*raster dataset*), nebo jako skupina navzájem se překrývajících a vůči sobě různě natočených vrstev – **rastrový katalog** (*raster catalog*). Z pohledu modelování reálného světa jsou rastry používány dvojím způsobem. Buď pro ukládání obrazových dat, například obrazový záznam dálkového průzkumu Země ukládající data ve třech pásmech viditelného spektra (R,G,B) a v jednom infračerveném pásmu, který je následně ručně či automaticky interpretován a jsou z něj extrahovány jednopásmové rastry vodních toků, zeleně, vyschlé půdy, atp. V geomorfologické databázi je jako obrazový záznam uložena ortofotomapa, ze které je možno ručně extrahovat zajímavé objekty (ovšem většinou rovnou do vektoru).

Druhý způsob (v GmDB využívanější) je reprezentace v realitě souvislého jevu, jehož hodnoty jsou vzorkovány na pravidelnou (většinou) čtvercovou síť (základním příkladem je digitální model reliéfu, dále pak například rastr sklonů svahů, rastr orientace svahů a rastry křivostí). V GmDB je používáno uložení jako raster dataset, kde do každého rastrového datasetu je uložen právě jeden rastr zájmového území.

Digitální model reliéfu je v geodatabázi také možno uložit přímo jako **terénní datovou sadu** (*terrain dataset*), který je založen na datovém modelu nepravidelné trojúhelníkové sítě. Tato možnost není v GmDB využita, protože DMR byl interpolován ze vstupních dat přímo do rastru. Důvodem pro tuto volbu jsou lepší výsledky zvolené interpolace zejména

v oblasti údolnic, oproti převodu přes trojúhelníkovou síť. V GmIS jsou navíc pro následné analýzy povrchů používány rastrové algoritmy.

Pro vektorovou reprezentaci jsou používány **prvkové třídy** (*feature classes*) organizované do **prvkových datových sad** (*feature datasets*)³⁵. Každá prvková třída se skládá z prvků podobných vlastností, které reprezentují určitý typ objektů reálného světa (např. vodní toky, lesy, komunikace, atp.). Prvky ukládané v těchto třídách mají geometrii, reprezentovanou vždy jedním druhem geometrického primitiva (bod, linie, polygon), a atributy, reprezentované některým ze základních alfanumerických datových typů. V GmDB existují tři základní datové sady (převzaté vrstvy, základní geomorfologické vrstvy a speciální geomorfologické vrstvy). Jednotlivé jejich prvkové třídy jsou patrné v diagramu fyzické struktury GmDB (podkapitola 4.2 a příloha B).

O správnou kontrolu hodnot vkládaných atributů se mohou starat **domény** (*domains*), jsou-li použity. V geodatabázi existují domény dvojího typu: výčtové a rozsahové. Výčtová doména odpovídá pojmu číselník, známému z jiných aplikací. Umožňuje uživateli zadat pouze prvky v ní vyjmenované, proto je v některých případech vhodné zavést i kategorii „nespecifikováno“ (v GmDB je pro ni používán kód -9999). Aplikovat ji lze na celočíselný ale i na znakový datový typ. Rozsahová doména definuje interval povolených hodnot a může být použita jak pro celočíselný datový typ, tak i pro datový typ reálných čísel. V GmDB existuje logická doména, pro atributy datového typu boolean a domény pro typ a řád segmentu geomorfologické mřížky.

Pro zachování konzistence atributů při změnách v geometrii je možné nastavit **politiku pro rozdělení a spojení atributů** (*split and merge policy*). Tato politika se skládá z pravidel, která mohou být nastavena pro jednotlivé domény. Tyto domény je poté třeba aplikovat na příslušné atributové sloupce. Při spojení dvou geometrií do jedné je možné zadat jedno z následujících pravidel:

- přednastavená hodnota (*default value*) – nepřevzme atribut ani z jednoho spojovaného prvku, ale nahradí jej přednastavenou hodnotou, která upozorňuje na to, že atribut byl změněn (pravidlo lze použít pro atributy obsahující textové řetězce, jejichž spojení nelze upravit jinak ~ výčtová doména),
- součet hodnot (*sum values*) – sečte hodnoty spojovaných prvků (lze použít na číselné atributy ~ rozsahová doména),
- geometrická váha (*geometry weighted*) – hodnota atributu výsledné spojené geometrie je vypočtena jako váhová funkce vstupních geometrií (lze použít na číselné atributy ~ rozsahová doména).

³⁵ V GmDB není nadále používán pojem prvková datová sada (je krácen na datovou sadu), pokud je z kontextu patrné, že obsahuje vektory.

Při rozdělení geometrie je možné zadat jedno z těchto pravidel:

- přednastavená hodnota (*default value*) – funguje stejně jako při spojování prvků,
- duplikace (*duplication*) – zkopírování hodnoty atributu do všech dělených prvků (pro znakové i číselné atributy ~ rozsahová i výčtová doména), toto pravidlo je použito vždy, pokud není definováno jiné.
- Geometrický poměr (*geometry ratio*) – rozdělí hodnotu atributu ve stejném poměru, jako byla rozdělena geometrie (pro číselné datové typy ~ rozsahová doména).

V geomorfologické databázi nejsou výše zmiňovaná pravidla využita, protože je nelze beze zbytku aplikovat na výpočet všech morfometrických atributů plošných forem a jejich hranic. Konzistence databáze se v tomto případě zajišťuje stanovením postupu pro přepočítání morfometrických charakteristik při změně geometrie (viz podkapitola 3.4.10).

Využívání domén a pravidel ovládajících hodnoty atributů se stává ještě mocnějším nástrojem při spojení s další konstrukcí geodatabáze – subtypem (*subtyp*). **Subtyp** rozděluje prvky v prvkové třídě na skupiny podle klíčového pole (celočíselného typu). Všechny subtypy mají samozřejmě shodné typy vlastností (atributové sloupce), které jsou definovány společně pro celou prvkovou třídu, nicméně doménami lze ovlivňovat jejich hodnoty pro každý subtyp zvlášť. V geomorfologické databázi nejsou subtypy využívány, ale pro úplnost popisu datového formátu geodatabáze jsou vysvětleny příkladu z jiné oblasti: prvková třída silničních komunikací je (subtypem) členěna na dálnice, rychlostní komunikace, silnice 1., 2. a 3. třídy a ostatní komunikace. Atribut průměrná rychlost je pak omezen rozsahovou doménou jinak pro dálnice (80 – 130 km/h) a například pro okresní silnice 3. třídy (40 – 75 km/h). Další vlastností subtypů je, že již při libovolném prostorovém náhledu dat je každý subtyp zobrazován odlišně.

Vedle geografických tříd a datových sad existují v geodatabázi i datové třídy bez prostorové složky, označované jako **objektové třídy** (*object classes*). Jedná se o klasické **tabulky**, obsahující pouze atributové sloupce. Lze na ně aplikovat domény, ale nikoli subtypy. V hierarchické struktuře jsou umístěny na stejné úrovni jako datové sady, tedy v kořenovém adresáři. Protože geodatabáze je postavena na principech relačních databází je možné využít primárních a cizích klíčů a budovat mezi třídami geodatabáze relace (vztahy). Tyto vztahy mohou mít (stejně jako v klasických databázích) různou kardinalitu (násobnost):

- 1:1 – jeden prvek v primární tabulce odpovídá právě jednomu prvku v připojené tabulce,
- 1:N – jeden prvek v primární tabulce odpovídá více prvkům (N) v připojené tabulce,

- M:N – více prvků (M) v primární tabulce odpovídá více prvkům (N) v připojené tabulce. Tento vztah se v geodatabázi (stejně jako v relačních databázích) rozkládá na dva vztahy (1:M a N:1).

Výše popsané vztahy jsou v geodatabázi ukládány jako **relační třídy** (*relationship classes*) a mohou propojovat jak jednotlivé prvkové třídy mezi sebou (či přímo jejich subtypy), tak prvkovou třídu s tabulkou nebo tabulky mezi sebou.

V geomorfologické databázi jsou do objektových tříd ukládány morfometrické a genetické charakteristiky areálů (nejen elementárních) forem, které jsou s příslušnou prvkovou třídou svázány relací. Dále jsou objektové třídy a relace využity pro modelování časové dynamiky recentních forem a záznam událostí na observovaných stanicích.

Prostorové vztahy mezi prvkovými třídami (nebo jejich subtypy) jsou v geodatabázi udržovány pomocí **topologie** (*topology*) a jejích pravidel (*topology rules*). Topologii je zde chápána jako soubor topologických pravidel. Topologii je možné nastavit pro vrstvy sdružené v jedné prvkové datové sadě, která může topologií obsahovat více, ovšem při zachování pravidla, že jedna prvková třída může být obsažena v maximálně jedné topologii (v libovolném počtu pravidel). Topologie nemůže obsahovat třídy z různých datových sad. Topologická pravidla v topologii jsou realizována vždy nad jednou vrstvou nebo pro dvojicí vrstev (stejně nebo různé topologické dimenze: bod = 0, linie = 1, polygon = 2).

Geodatabáze umožňuje ukládat i topologicky nekorektní data (taková, která jsou v rozporu s definovanými topologickými pravidly) a teprve ve chvíli, kdy je topologie validována, dochází ke konfrontaci uložené geometrie s topologickými pravidly. V tu chvíli jsou ztotožněny všechny body či vrcholy linií (případně polygonů), jejichž vzájemná euklidovská vzdálenost je menší než shluková tolerance (*cluster tolerance*) a probíhá kontrola všech nastavených topologických pravidel. Shlukovou toleranci je proto doporučováno nastavit jako 1/10 hodnoty přesnosti nejpodrobnější datové vrstvy zapojené v topologii. Například pro data topografické mapy 1 : 10 000 se stanovenou přesností 0,1 mm v měřítku (tj. 1 m v realitě), lze stanovit shlukovou toleranci rovnu 10 cm.

Topologická pravidla jsou členěna podle toho, zda jsou aplikována na jednu třídu či na dvě třídy (je rozlišována topologická dimenze jednotlivých tříd). U dvoutřídých pravidel je třeba mít správně nastavenou topologickou prioritu (*topology rank*) všech tříd v topologii. Na ní totiž závisí, která geometrie se bude měnit při validaci pravidla, pokud bude rozdíl mezi souřadnicemi menší než shluková tolerance. Platí, že se mění geometrie třídy s větším číslem, tedy s horší topologickou prioritou. Pokud je topologická priorita obou tříd shodná, výsledná geometrie bude průměrem ze souřadnic jednotlivých vrcholů. Při překročení shlukové tolerance je situace označena za topologickou chybu a je umožněno

uživateli ji opravit interaktivně. Seznam všech topologických pravidel lze nalézt například zde: http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.2/pdf/Topology_rules_poster.pdf.

Pro geomorfologickou databázi je právě možnost využití topologických pravidel klíčovou předností. Pro areály elementárních forem, vyšších forem či povodí jsou využita pravidla pro zabezpečení kontinuálního pokrytí zájmového území (*Must not have gaps* a *Must not intersect*). Pro liniové vrstvy hranic areálů elementárních a vyšších forem je zajištěn základní topologický koncept propojení linií právě v uzlu, který je realizován pravidly *Must Not Have Pseudos* a *Must Not Intersect Or Touch Interior*.

Z pravidel, propojujících dvě třídy, je v geomorfologické databázi využito pravidlo *Must Be Covered By Boundary Of*, které zajistí, že liniová třída hranic povodí (či elementárních forem, viz obr. 4.6) bude koincidovat s hranicemi areálové třídy vymezující povodí. Dále jsou dvoutřídní pravidla využita pro budování topologických vazeb mezi různými úrovněmi segmentace reliéfu (elementární formy a vyšší formy). Tato hierarchická topologie je realizována přes areálové reprezentace, které jsou svázány pravidlem *Must Be Covered By Feature Class Of*.

Pro účely práce s geodeticky určenými daty existuje v geodatabázi **geodetická datová sada** (*Survey Dataset*), která umožňuje zpracovávat a ukládat geodeticky měřená data. Zpracovaná měření pak umožňuje například propojovat na identické body v existující databázi a uchovávat dvojí souřadnice do doby přeměření celého zájmového prostoru (či dokud si uživatel přeje), tak aby byla zachována věrnost (relativní topologické vztahy) původní databáze a přesto byly k dispozici i geodeticky určené souřadnice, například pro potřeby vytyčení.

Koncept dvojích souřadnic lze nicméně použít pro jakoukoli prvkovou třídu geodatabáze, také pro účely její kartografické vizualizace – nazývá se **kartografickou reprezentací** (*cartographic representation*). Při tvorbě mapy totiž vždy dochází ke generalizaci zdrojových dat, zatímco v prostorové databázi je snaha uchovávat data polohově nedegradovaná (negenalizovaná)³⁶. Geodatabáze proto nabízí možnost uložit vedle geometrické i kartografickou reprezentaci prvků. Princip je následující: nejprve se pro všechny prvky dané třídy definuje kartografické pravidlo (*cartographic rule*) – symbologie (například geometrie silnic se vykreslí jako žlutý pruh s dvěma černými obrysovými liniemi. Takto v příčném směru vzhledem k měřítku nadsazená šíře silnice potom může způsobit například splývání dvou souběžných komunikací. Proto lze z kartografického pravidla definovat ještě výjimku (*exception*) a definovat jiný průběh kartografické značky (např. odsunout méně významnou komunikaci), geometrie však zůstává neměnná.

³⁶ Generalizaci geoprostorových dat popisuje například Čerba & Jedlička & Zícha 2005 či Jedlička & Čerba 2005.

V geomorfologické databázi není koncept dvojích souřadnic, využívány v geodetické datové sadě a pro kartografickou reprezentaci, použit. Do budoucna je pro výstupy z GmDB možno použít kartografickou reprezentaci.

S kartografickými výstupy souvisí i **anotační třídy** (*annotation feature class*), které lze též s úspěchem využít při tvorbě map. Anotace je třída, která převezme vybraný atribut či skupinu atributů (například u vrstvy silnic označení její třídy a její číslo) a vytvoří z nich popisek do mapového pole. Anotace mohou být dvojího typu: buď standardní statické (static) nebo dynamicky svázané s prvky, které popisují (*feature linked*). Statická anotační třída je jednou z atributu vygenerována, ale dále s ním není svázána, dynamická vazba naopak při změně hodnoty zdrojového atributu změni zobrazený popisek v mapě. Potenciál využití anotačních tříd je opět ve tvorbě kvalitních mapových výstupů z GmDB.

Geodatabáze samozřejmě podporuje **metadata** (*metadata*) – formalizovaným způsobem zapsané informace o uložených datech. Standardně podporuje metadatový profil mezinárodní standardizační organizace (ISO 19115 (2003)) a je možné doplnit vlastní metadatový profil. Geomorfologický informační systém ukládá do geodatabáze v současné době pouze základní meta údaje vztahující se k horizontálnímu a vertikálnímu souřadnicovému systému a plošnému rozsahu dat.

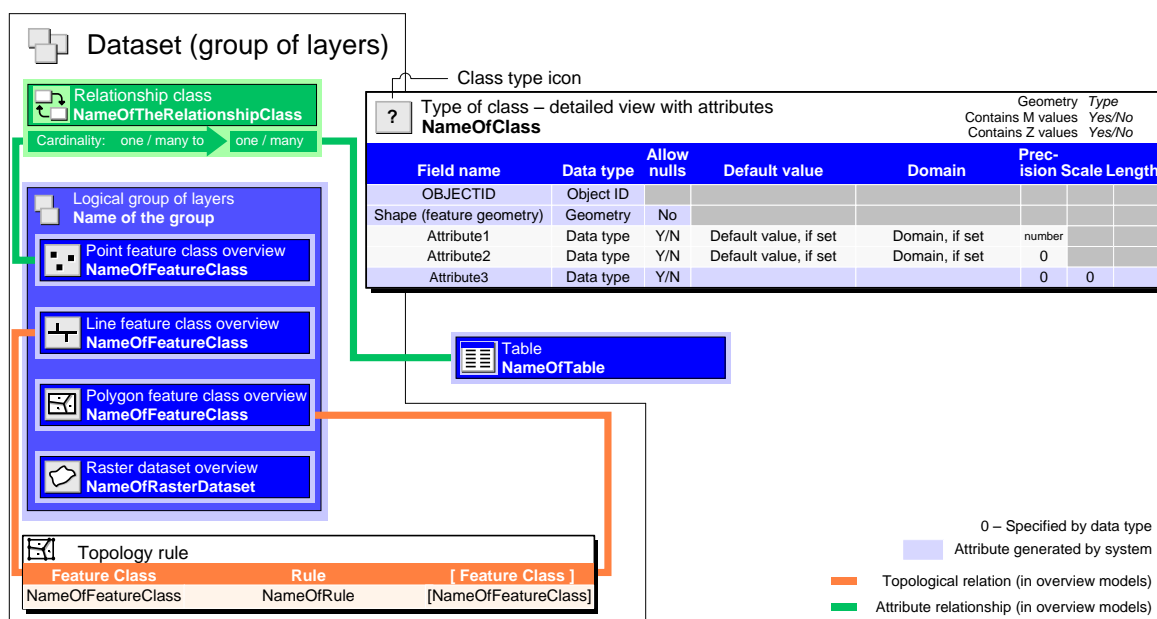
Kromě výše popsaných struktur geodatabáze poskytuje ještě další, které v současné době GmIS nevyužívá. Proto jsou zmíněny pouze okrajově. Jedná se například o **sít'ový dataset** (*network dataset*) a **geometrickou síť** (*geometric network*), které umožňují používat nad liniiovými vrstvami grafové algoritmy. Zatímco geometrická síť je svojí strukturou připravena na aplikaci v oblasti inženýrských sítí (např. analýza konektivity oblastí), sít'ový dataset je využíván pro dopravní analýzy (např. nalezení optimální trasy). Podobné využití má například **schematický dataset** (*schematic dataset*), který umožňuje nad geometrií budovat schematickou reprezentaci (např. elektrické schéma rozvodné sítě).

Do geodatabáze je také možno ukládat **nástrojové sady** (*toolboxes*). Jedná se o skupiny nástrojů, které umožňují uložená geodata zpracovávat a analyzovat. V angličtině se lze setkat s označením těchto nástrojů jako *geoprocessing tools*. Jedná se o nástroje, mající na vstupu datovou vrstvu (nebo jejich skupinu), se kterou provedou určitou operaci. Z tohoto pohledu lze jako geoprocessing zařadit jak zpracování, tak i analýzu geodat. Více o nástrojových sadách v podkapitole 4.1.6. Do geomorfologické databáze tak lze ukládat geomorfologické nástroje popisované v podkapitole 4.3.

Shrnutí: návrh geomorfologické databáze těží z výše popsaných širokých možností formátu ESRI Geodatabase pro tvorbu komplexní datové struktury – jádra geomorfologického informačního systému.

4.1.5. Nástroje pro tvorbu a dokumentaci datové struktury geodatabáze

Z výše uvedeného je patrné, že geodatabáze umožňuje vytvořit vertikálně maximálně dvoustupňovou datovou strukturu (např. datová sada obsahující prvkové třídy). V realitě je ovšem často třeba budovat vertikálně složitější datové struktury a proto jsou vytvářeny takové modely datových struktur, které zohledňují bohatší logickou strukturu databáze. Pro účely dokumentace struktury geomorfologické databáze byl zvolen nástroj **Geodatabase Diagrammer**. Pro podkapitulu 4.2 a pro model fyzické struktury Geomorfologické databáze (příloha B) je důležité nástroj krátce představit. Geodatabase Diagrammer je jednosměrný nástroj, který umožňuje exportovat strukturu ESRI geodatabáze do schématu v software Microsoft Visio. Obr. 4.3 představuje nejčastěji používané třídy v geodatabázi a vysvětluje tak způsob dokumentace pomocí nástroje Geodatabase Diagrammer. Z obrázku je patrné, že diagramy vychází z Entity-Relationship-Attribute (ERA) modelů, používaných pro obdobné účely v lexikálních databázích, které doplňují o další datové struktury geodatabáze (například topologická pravidla). Více o nástroji Geodatabase Diagrammer lze nalézt například v Arctur & Zieler (2004) nebo ESRI (2009).



Obr. 4.3. Vysvětlivky k nástroji Geodatabase Diagrammer (upraveno podle Mentlík et al. (2006)).

V rámci návrhu struktury jakékoli databáze je vhodné stanovit názvové konvence. Existuje více možností, nicméně je důležité jednu vhodnou vybrat a pak se jí držet. Pro účely návrhu geomorfologické databáze byla zvolena politika prvních velkých písmen bez mezer („PrvniPismenaVelka“), nazývaná česky též „VelbloudíZápis“, či anglicky „UpperCase“. Tato konvence je vhodná zejména v angličtině, kde neexistují jednoslabičné spojky. Ušetří tak místo za znaky „_“, které jsou často v českých databázích používány pro oddělení

jednotlivých slov názvu³⁷. Šetří tak místo a navíc lze případně pomocí prefixu a podtržítka („<pref>_“) v databázi vybudovat logickou datovou sadu (*logical dataset*). Nejedná se o fyzickou datovou strukturu geodatabáze, ale o optické seskupení například prvkových tříd s obdobnou tematikou v rámci datové sady³⁸. Více o jmenných konvencích viz Jedlička (2005a, b).

Jak již bylo řečeno výše, Geodatabase Diagrammer je jednosměrný nástroj, který umožňuje pouze export datové struktury. Pro vlastní grafickou editaci struktury geodatabáze je použit nástroj ArcGIS Diagrammer, kterým lze editovat do XML formátu exportovanou strukturu geodatabáze a tu následně převést geodatabáze (viz příloha D).

4.1.6. Nástroje pro vývoj a dokumentaci geomorfologických funkcí GmIS

Geografický informační software (ArcGIS nevyjímaje) lze pro specifické práce s určitým typem geografických dat (v případě GmIS geomorfologických dat) přizpůsobit dvěma způsoby: přizpůsobením/zjednodušením grafického uživatelského rozhraní (graphic user interface – GUI) a realizací nových nástrojů, které umožní efektivněji řešit úkony, které by v obecném GIS šly řešit jen obtížně nebo vůbec.

Geomorfologický informační systém, realizovaný jako rozšíření ArcGIS, zatím nepřístupuje k zjednodušování uživatelského rozhraní, byť je možné jej kdykoli realizovat – jedná se o stále vyvíjený systém a skrytí některých funkcí by mohlo být v určitých situacích naopak komplikovat práci. Namísto toho často využívané standardní ArcGIS nástroje (viz nástroje popisované v podkapitolách 4.3.3, 4.3.4 a 4.3.8) zpřístupňuje v nabídkách spolu se specializovanými geomorfologickými nástroji (viz níže).

Nástroje pro práci s geografickými daty lze z hlediska způsobu využití rozdělit na dávkové a interaktivní:

- **Dávkový přístup** spočívá v načtení zdrojové datové (vektorové či rastrové) vrstvy a zadání vstupních parametrů, následném zpracování a uložení výsledné vrstvy či vrstev. ESRI pro tento způsob práce s geodatami zavádí pojem geoprocessing. Klasickým příkladem může být tvorba nepravidelné trojúhelníkové sítě (triangulated irregular network – TIN) zobrazující třeba digitální model reliéfu. Na vstupu jsou body s nadmořskou výškou, na výstupu TIN. Pro sestavování a programování dávkových činností lze použít buďto grafický nástroj pro tvorbu modelů (ModelBuilder) nebo, pokud je použit ModelBuilder pro

³⁷ V geodatabázi musí být všechny názvy tříd a datových sad unikátní. Názvy atributů musí být unikátní v rámci konkrétní třídy/tabulky.

³⁸ Konkrétně GmIS (GmDB) logické datové sady nevyužívá.

vývojáře svazující, tak skriptovacího jazyka Python. Přes obojí přístup je možné pracovat s podmnožinou objektových tříd (ArcObjects), zaměřenou na geoprocessing – geoprocessor. Tohoto přístupu bylo využito při implementaci algoritmů popisovaných v podkapitolách 4.3.1, 4.3.2 a 4.3.5.

- Za **interaktivní** lze **nástroj** označit v případě, že spouští proces, do kterého uživatel může v jeho průběhu vstupovat a svojí činností ovlivňovat výsledek. Jedná se například o editační nástroje, pomocí kterých lze měnit geometrii a atributy vektorové vrstvy (editace tvaru vrstevnic + zadávání jejich nadmořské výšky). Pro vytváření interaktivních nástrojů už není možno využít nahoře zmíněných zjednodušených možností, ale je nutno programovat například v programovacím jazyku Visual Basic. Pro vývoj GmIS, kdy je pouze přizpůsobováno prostředí aplikace ArcMap je použita varianta s vestavěným vývojovým prostředím – Visual Basic For Applications (VBA). Ve VBA je již možno přistupovat ke všem ArcObjects a tedy vytvářet libovolné nástroje. VBA je také používán pro vývoj takových nástrojů, které potřebují používat ArcObjects, které nejsou součástí třídy geoprocessor. Ve VBA s využitím ArcObjects byly programovány nástroje popisované v podkapitolách 4.3.6 a 4.3.7.

Při vývoji nástrojů geomorfologického informačního systému (viz podkapitola 4.3) jsou využívány všechny výše popsané možnosti.

4.2. Realizace struktury geomorfologické databáze

Podkapitola popisuje realizaci dílčího cíle (vi – realizace struktury geomorfologické databáze), který je popsán výše v podkapitole 3.1. Podkapitola 4.2 obsahuje popis realizované struktury GmDB v geodatabázi po jednotlivých jejích částech, a vyznačuje vazby mezi nimi. Celkový pohled na fyzické schéma geomorfologické databáze je zobrazen v příloze B.

4.2.1. Převzaté vrstvy

Do datové sady převzatých vrstev (adopted layers) jsou importovány datové vrstvy z existujících datových zdrojů (většinou základních bází geodat) vytvořených původně za jiným účelem, ovšem obsahujících geomorfologicky důležité informace. Nejčastěji se jedná se o následující datové zdroje:

Topografická mapa či **topografická databáze**³⁹ (v měřítku 1 : 10 000 až 1 : 25 000) je nejčastějším základním podkladem geomorfologického mapování. Její výhodou je souvislé pokrytí celého státu či organizačního celku a tedy její dobrá plošná dostupnost. Otázkou je její polohopisná a zejména výškopisná kvalita (přesnost). Vliv konkrétního topografa na přesnost je minimalizován stanovením normy pro konkrétní dílo, nicméně kvalita mapy je ovlivňována charakterem mapované oblasti. Pro geomorfologii je důležitá zejména změna charakteristik výškové přesnosti v závislosti na členitosti terénního reliéfu, jeho zakrytí vegetací či antropogenními prvky, a v neposlední řadě v závislosti na zvolené metodě mapování. I když je dnes v naprosté většině případů využívána mapa vzniklá na základě fotogrammetrického mapování, u starších mapových podkladů je dobré zjistit, zda mapa nebyla tvořena klasickým pozemním topografickým mapováním. V budoucnu bude také stále více nabývat na důležitosti letecké laserové skenování (LIDAR)⁴⁰. Podrobněji je vztah kvality výškopisné složky mapy v závislosti na zakrytí území a mapovací metodě zpracován v Jedlička (2009b). Pro účely geomorfologické databáze je nejčastěji z topografické mapy importována vrstva kót a vrstevnic, pro účely tvorby digitálního modelu reliéfu (DMR). Z topografické mapy je možno získat i další datové vrstvy, které jsou většinou následně verifikovány podle ortofotomapy (viz níže).

Pro hydrologické vrstvy (vodní toky, vodní plochy, prameny) může být zdrojem výše zmiňovaná topografická mapa, ale mohou být získány i ze specializované **hydrologické mapy**, pokud je k dispozici, nebo níže zmiňované ortofotomapy. I když často spíše než existující (často člověkem regulovaná) říční síť, je pro účely dalších analýz konstruována hydrologická síť z DMR (více viz Jedlička & Sládek (2009)).

Letecké mapování probíhá ve střední Evropě od čtyřicátých let dvacátého století, takže již lze získat i (byť relativně krátkou) časově geografickou informaci o vývoji v oblasti. **Ortofotomapa** je tak častým zdrojem polohopisných dat. Lze z ní doplnit/zpřesnit vrstvy získané z výše zmiňovaných zdrojů, například vrstvy informující o základním krajinném pokryvu nebo např. komunikační síť. Případně lze takové vrstvy z ortofotomapy přímo vytvořit, pokud nejsou k dispozici jiné datové zdroje jako je např. **mapa krajinného pokryvu** (land cover) či **mapa využití půdy** (land use). Zpracováním mapy využití půdy je ovšem možné získat daleko detailnější informace o typu půdy a zejména její (odhadované) hloubce.

³⁹ Vztahem topografické mapy a topografického modelu v geografické databázi se zabývá například Jedlička & Čerba 2005. Pro účely GmIS uvažujeme, že topografická mapa je kartografickou vizualizací topograficky mapovaných dat, uložených v geografické databázi.

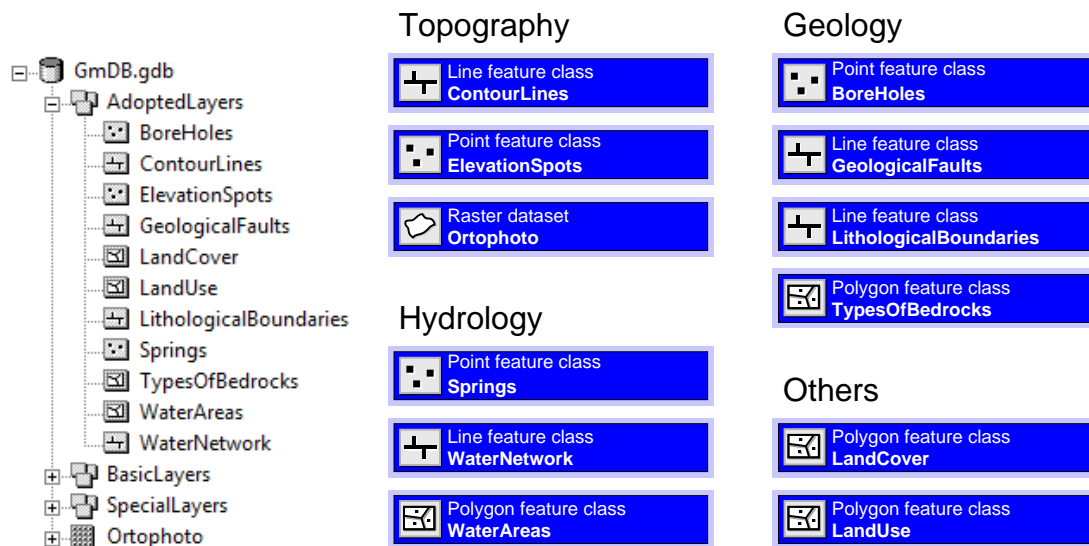
⁴⁰ Pro Českou republiku je začátek plošného leteckého laserového skenování (ve spolupráci Armády České republiky, Českého úřadu zeměměřického a katastrálního a Ministerstva životního prostředí) plánován na rok 2009 Šíma 2009.

Geologická data jsou velmi důležitá pro geomorfologický výzkum. Problém je, že jejich podrobnost závisí na stavu geologického průzkumu konkrétní oblasti, a celoplošná **geologická mapa** je často ještě méně podrobná než topografická mapa (pro oblast ČR a SR se jedná o měřítko 1 : 50 000). Z geologické mapy jsou nejčastěji přebírány informace o druhu a rozložení matečných hornin, geometrii a profilech geologických zlomů a umístění geologických vrtů.

Dalším datovým zdrojem mohou být **staré mapy**, umožňující získávat přehled o vývoji území v historické epoše. Jejich geometrická a obsahová interpretace nicméně není triviální, vzhledem k jiným geodetickým a kartografickým základům, než jsou používány v současné době (viz například Čada (2005) a Vichrová & Čada (2005)).

Je třeba konstatovat, že informace obsažené v datové sadě převzatých vrstev jsou často zpřesňovány v průběhu terénního geomorfologického mapování (viz 4.3.4), které je obvykle prováděno v podrobnějším měřítku, než jsou výše zmiňované podkladové vrstvy a proto mohou být důležité i informace o **výškovém a polohovém bodovém poli** v zájmovém území.

Ukázka struktury datové sady převzatých vrstev, zobrazená v aplikaci ArcCatalog je znázorněna na obr. 4.4. Za zmínku stojí omezení struktury logického modelu datovým formátem ESRI geodatabáze (viz kap 4.1.4) – ortofotomapa musí být umístěna v kořenovém adresáři.



Obr. 4.4. Detail struktury geomorfologické databáze – převzaté vrstvy (zobrazení v ArcCatalog vlevo, logická struktura vpravo).

Atributy převzatých vrstev jsou obecně závislé na jejich zdroji, ze kterého byly importovány, proto je na obr. 4.4 struktura na úrovni členění do vrstev, atributy nejsou uváděny.

4.2.2. Základní geomorfologické vrstvy

Datová sada základních (geomorfologických) vrstev (basic layers) obsahuje vrstvy tematicky zaměřené na geomorfologii (konkrétně na fundamentální geomorfologickou analýzu a výzkum). Lze říci, že jsou datovým jádrem GmIS. Zde uložené vrstvy jsou dvojího typu, vrstvy odvozené od výše popsaných podkladových dat a vrstvy nově mapované. Lze rozlišit sedm základních vrstev (či skupin vrstev):

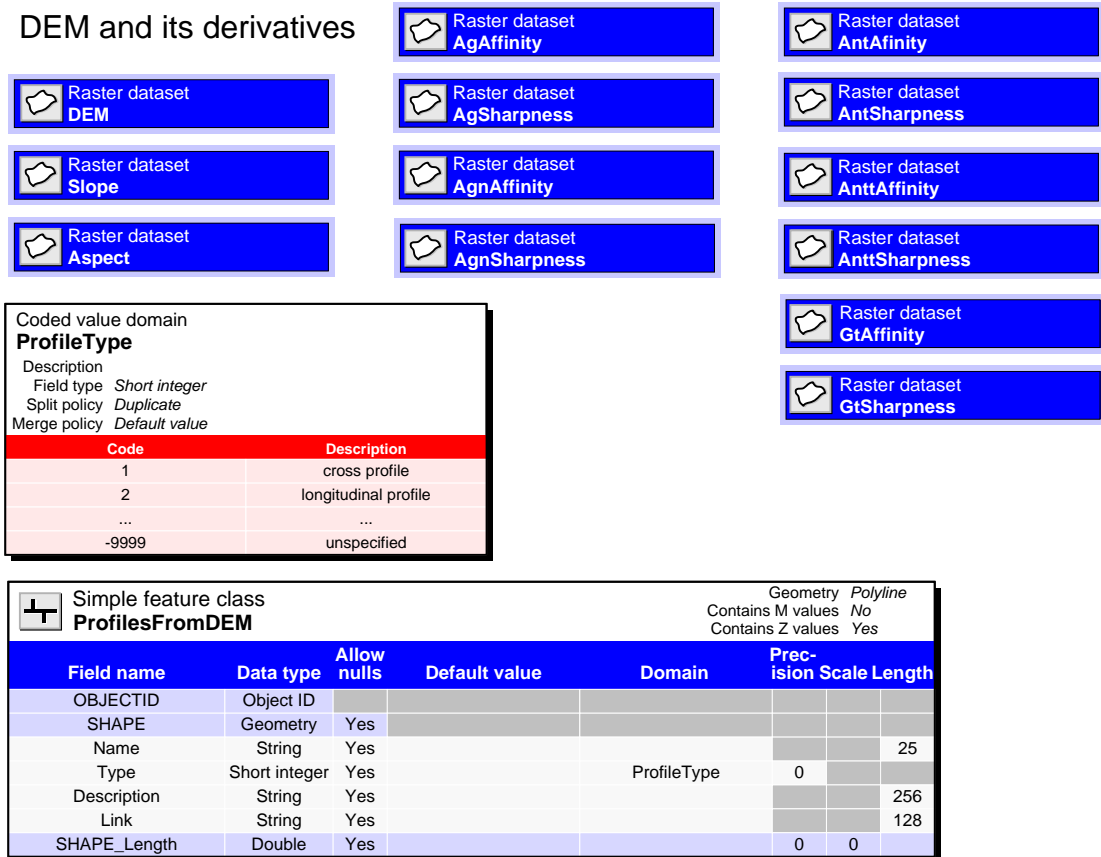
i. Digitální model reliéfu a z něj odvozené povrchy

Povrchy je v prostředí ESRI geodatabase, ve kterém je ukládána i geomorfologická databáze, možno reprezentovat jako terén (terrain – datová struktura založená na principu nepravidelné trojúhelníkové sítě) nebo rastr (pravidelná čtvercová matice). GmDB využívá rastrové reprezentace povrchů.

Digitální model reliéfu v rastrové podobě je základním vstupem do řady prostorových analýz a je klíčovým prvkem moderního geomorfologického výzkumu. Existuje řada způsobů výpočtu DMR z podkladových dat. Je možné jej získat výpočtem (interpolací/triangulací) z výškopisu topografické mapy (viz výše – podkapitola 4.2.1) či stále častěji i přímo od producenta dat. Z DMR jsou následně klasickými algoritmy prostorových analýz počítány rastr sklonů svahů (slope) a rastr orientace svahů (aspect). Komplexnějšími algoritmy lze spočítat rastry morfometrických charakteristik (viz Pacina 2008):

- g_t – změna gradientu ve směru vrstevnice,
- a_g – změna orientace ve směru spádnice,
- A_{Nt} – změna orientace ve směru vrstevnice,
- a_{gn} – změna změny orientace ve směru spádnice,
- A_{Ntt} - změna změny orientace ve směru vrstevnice.

Pro účely GmIS jsou zatím počítány (a do GmDB ukládány) ostrosti lokálních extrémů těchto křivostí (a afinita extrémů k některému ze základních 10 typů hranic elementárních forem), které signalizují potenciální segmenty hranic elementárních forem reliéfu (viz dále). Výpočet těchto rastrů je zatím pro svoji složitost prováděn mimo prostředí GmIS (v software MATLAB). GmIS slouží pro přípravu podkladových dat pro výpočet a následně pro vizualizaci výsledků. Více o výpočtu rastrů morfometrických charakteristik lze nalézt v práci Pacina (2008). Geomorfolog poté v prostředí GmIS interpretuje v rastrech uloženou informaci a vymezuje elementární formy reliéfu (blíže viz podkapitola 4.3.3).



Obr. 4.5. Detail struktury geomorfologické databáze – digitální model reliéfu a z něj odvozené povrchy.

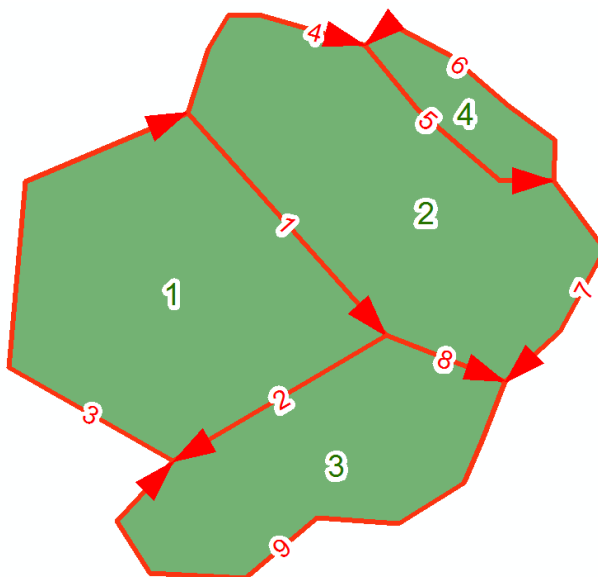
Všechny výše zmiňované rastry nemají jiné atributy než hodnotu buňky, která je závislá na typu rastru. Každá z těchto vrstev popisuje jednu vlastnost reálného jevu – reliéfu.

Do nyní popisované skupiny lze nicméně začlenit i profilové linie, kterým je přiřazena nadmořská výška (případně jiné charakteristiky, např. sklon) na základě DMR (či jiného rastru) – *ProfilesFromDEM*. Na obr. 4.5 je, kromě rastrů vlastností reliéfu popisovaných výše, zobrazena i detailní struktura liniové vrstvy profilů vymezených nad DMR. Je patrné, že její geometrie je obsahuje i výšky (Z values = Yes) a že hodnoty atributu typu profilu jsou určovány výčtovou doménou *ProfileType*. Profil lze označit názvem, přiřadit k němu stručný popis a případně zapsat odkaz na dokumentaci. Pokud je takovýto profil ověřován mapovaným profilem (viz dokumentační materiály níže), může obsahovat odkaz na něj, nicméně geograficky lepší řešení je využít topologických vztahů.

ii. Elementární formy reliéfu

Elementární formy jsou základním stavebním kamenem geomorfologické databáze a jejich vymezením začíná analytická práce v GmIS, jsou proto jádrem celého systému. Jak již bylo řečeno (podkapitola 3.1), jedná se o geometricky homogenní plochu, která má

jednotnou genezi a předpoklady pro stejný průběh současných geomorfologických procesů, přičemž je ohraničena liniemi, na kterých je tato geometrická, genetická i dynamická homogenita narušena (Minár (1996)). Z výše uvedeného plyne, že reprezentace každé elementární formy musí být schopna nejen vyjádřit její tvar a nést atributy vztahující se k její ploše, ale zároveň musí obsahovat i informace, vztahující se k jednotlivým segmentům její hranice. Například forma č. 2 na obr. 4.6 musí znát i informace o hraničních liniích 1, 8, 7, 5, 4.



Obr. 4.6. Užití duální (liniové~hraniční a plošné~areálové) reprezentace pro uložení elementárních forem.

Aby toto bylo možné modelovat, je pro reprezentaci elementárních forem georeliéfu v geomorfologické databázi použita kombinace liniové a polygonové vrstvy, svázaných topologickými pravidly (*ElementaryForms* a *DiscontinuityLines* či alternativně *ElementaryFormBoundaries*). Polygonová vrstva reprezentuje areály elementárních forem a liniová vrstva reprezentuje hranice forem, tedy linie nespojitosti jednotlivých morfometrických charakteristik. Popis principů jejich vymezení lze nalézt v 3.4.5, podkapitola 4.3.3 pak popisuje praktický postup.

V průběhu geomorfologické analýzy jsou postupně vypočítávány **morfometrické charakteristiky** každé jednotlivé formy (Altitude, Slope, Aspect, Plane and Profile curvature characteristics) a to vše je ukládáno do struktury geomorfologické databáze formou tabulek, které jsou propojeny klasickými databázovými relacemi kardinality 1:1 na základě jednoznačného identifikátoru elementární formy ObjectID, který je zároveň

unikátním identifikátorem v morfometrických tabulkách⁴¹. Atributy jsou počítány zonální funkcí mapové algebry – každá elementární forma je zónou (bližší popis viz podkapitola 4.3.4). Na obr. 4.7 je na příkladu charakteristiky sklonů svahů patrné, jak jsou jednotlivé výstupní statistiky morfologicky interpretovatelné. Morfometrických atributů vztažených k ploše vzniká tímto způsobem velmi mnoho a pouze menší množina z nich je pravidelně využívána (viz podkapitola 3.4.7, tabulka 3.12). Proto lze například v aplikaci ArcMap modelovat virtuální pohled na vrstvu⁴² elementárních forem s vybranými charakteristikami (obr. 4.8), přitom na ostatní se lze vždy dostat přes relační třídy.

Dále lze spočítat morfometrické charakteristiky každého segmentu⁴³ hranice formy (CurvatureIndex, Orientation, Sharpness). Pro jejich výpočet bylo nutno sestavit algoritmus – popis viz podkapitola 4.3.6. Protože morfometrických charakteristik hranic zatím není mnoho, jsou uloženy přímo v prvkové třídě *DiscontinuityLines* která reprezentuje hranice forem (obr. 4.7 dole).

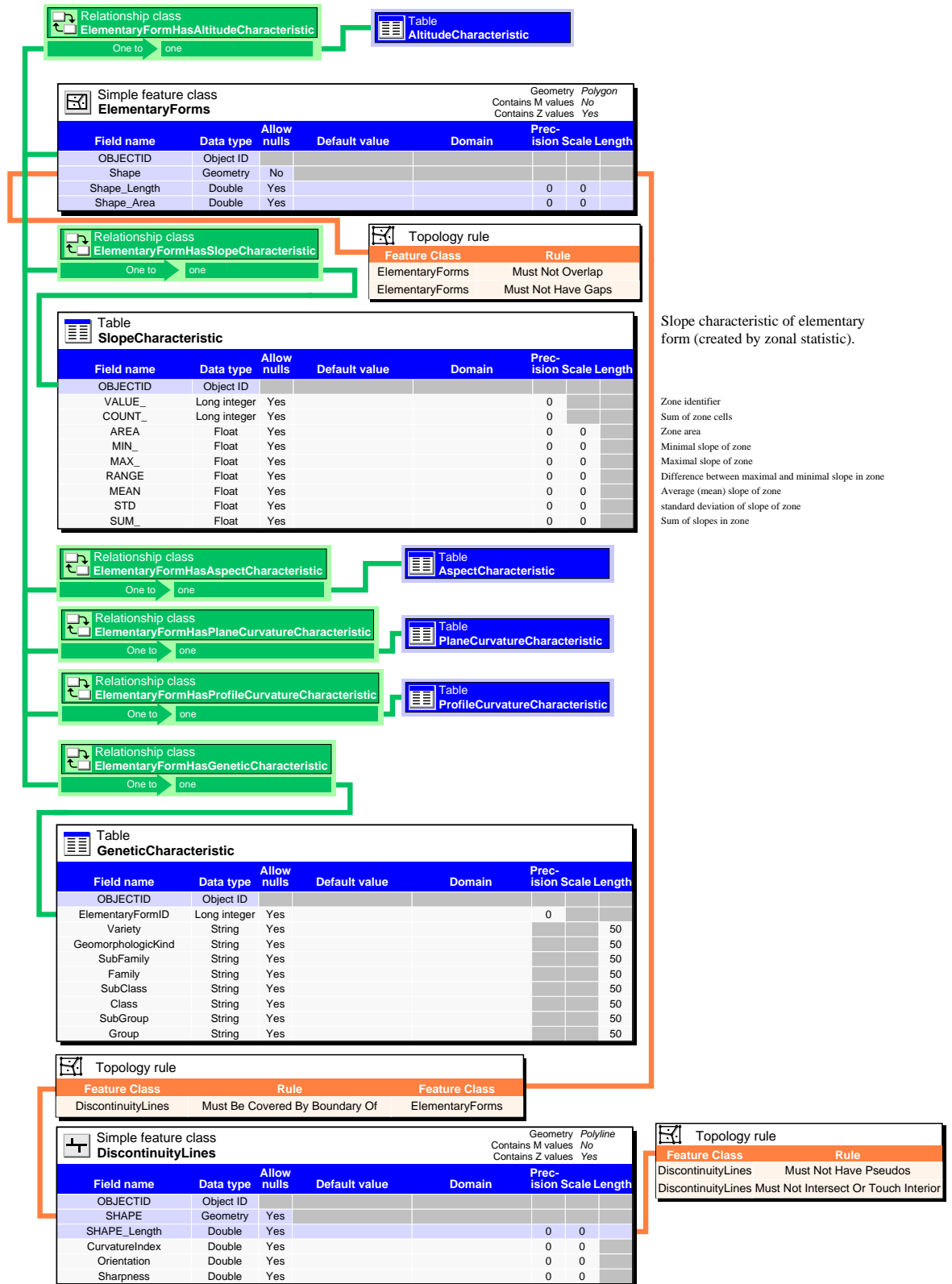
Geomorfolog ke každé elementární formě přiřazuje informaci, k jakému geomorfologickému druhu forma patří, případně o jakou varietu se jedná. Geomorfolog může ručně vyplnit i další morfogenetické atributy (popisované blíže v 4.2.2, vi), ovšem zde již může GmIS pomoci s jejich generováním (viz podkapitola 4.3.7). Morfogenetické atributy mohou být spolu se základními morfometrickými atributy zobrazovány přímo v tematické mapové vrstvě elementárních forem, jejíž atributová struktura je znázorněna na obr. 4.8.

K elementárním formám reliéfu lze v GmIS vypočítat či určit i jiné, další vlastnosti, výše zmíněn je přehled těch základních. Při jejich přidávání je dobré postupovat obdobným způsobem, jaký již byl představen, tj. atributy ukládat do separátních tabulek propojených s prvkovou třídou elementárních forem přes relace. Významné atributy lze připojit přímo k tematické vrstvě elementárních forem v mapovém okně v aplikaci ArcMap funkcí „Join base on attributes“, která simuluje jednoduchý databázový pohled. Příkladem může být přebírání vlastností poloautomaticky vymezených segmentů hranic elementárních forem, popisovaných v 4.2.2, i.

⁴¹ alternativou by mohl být atribut VALUE_ (identifikátor zóny – viz dále).

⁴² Tematická vrstva zobrazená v mapovém okně aplikace ArcMap v tomto případě odpovídá spojení prvkové třídy *ElementaryForms* s vybranými objektovými třídami (tabulkami) morfometrických a genetických charakteristik z geomorfologické databáze.

⁴³ Každý segment odděluje právě dvě sousední elementární formy – viz obr. 4.6.



Obr. 4.7. Duální reprezentace elementárních forem a jejich morfometrické morfodynamické charakteristiky – jádro geomorfologické databáze (zpracováno podle Mentlík et al. (2006)).

Simple feature class						Geometry Polygon	
ElementaryForms – View with joined characteristics and genesis						Contains M values	No
						Contains Z values	Yes
Field name	Data type	Allow nulls	Default value	Domain	Prec- ision	Scale	Length
OBJECTID	Object ID						
SHAPE	Geometry	Yes					
OID	Long integer	Yes			0		
ElevationMinimum	Double	Yes			0	0	
ElevationMaximum	Double	Yes			0	0	
ElevationAverage	Double	Yes			0	0	
ElevationIndex	Double	Yes			0	0	
SlopeAverageAspect	Double	Yes			0	0	
SlopeAverage	Double	Yes			0	0	
CurvatureHorizontal	Double	Yes			0	0	
CurvatureNormal	Double	Yes			0	0	
Variety	String	Yes					50
GeomorphologicKind	String	Yes					50
SubFamily	String	Yes					50
Family	String	Yes					50
SubClass	String	Yes					50
Class	String	Yes					50
SubGroup	String	Yes					50
Group	String	Yes					50
SHAPE_Length	Double	Yes			0	0	
SHAPE_Area	Double	Yes			0	0	

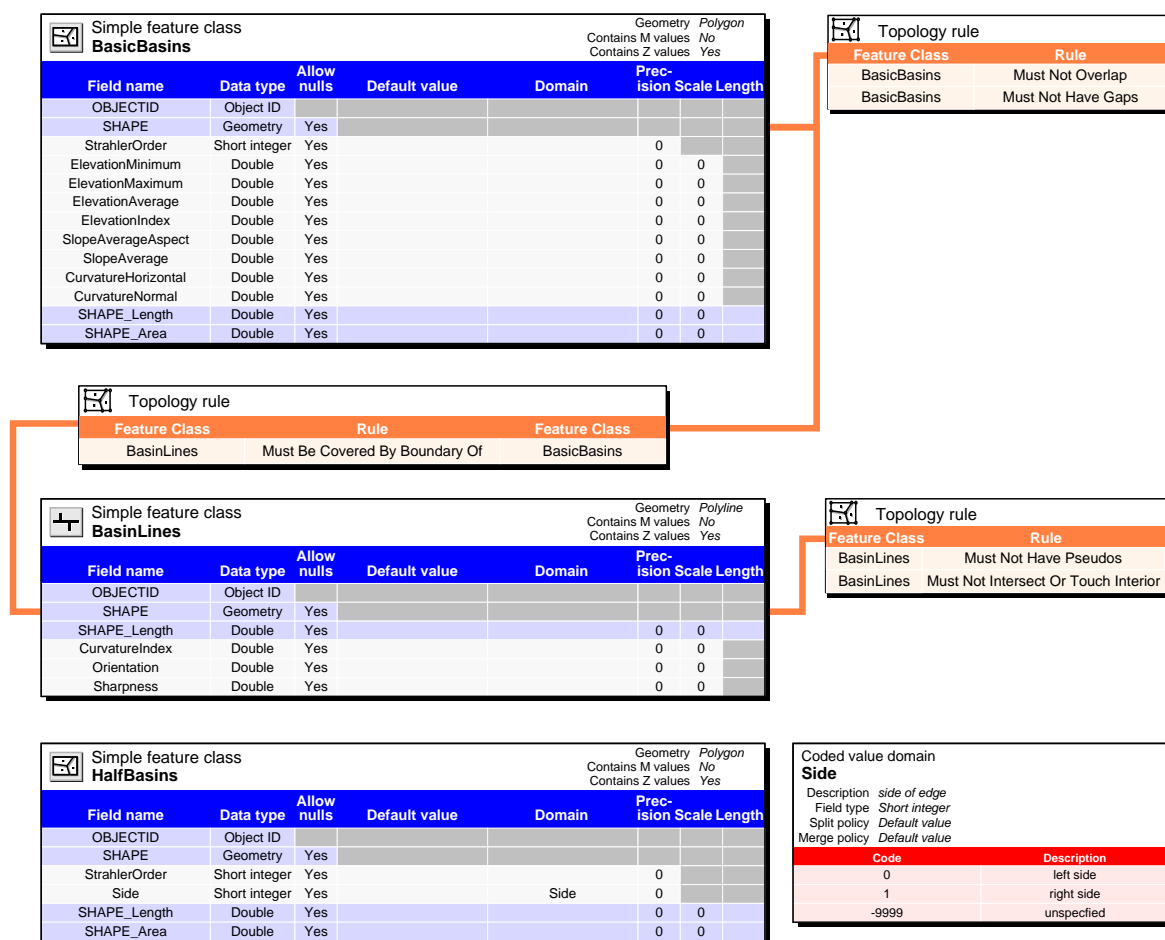
Obr. 4.8. Pohled na areály elementárních forem a jejich základní morfometrické a morfodynamické charakteristiky.

iii. Povodí

Povodí je přírodní hydro-geomorfologická jednotka reflektující prostorovou organizaci nejdůležitějších exogenních geomorfologických procesů. Jedná se o přirozenou segmentaci zemského povrchu, rozdílnou od elementárních forem. Lze říci, že elementární formy dále segmentují jednotlivá povodí, ovšem lze nalézt i případy, kdy je elementární forma rozdělena rozvodnicí (hranicí povodí). Týká se to například polopovodí, kdy údolní elementární formu může rozdělit hranice toku.

Povodí lze hierarchizovat (podobně jako nad elementárními formami budovat vyšší hierarchické úrovně forem), nejčastěji podle Strahler (1952). Zvláště v oblastech formovaných fluviaálními procesy se jedná o důležité členění. Výhodou segmentace reliéfu na povodí oproti elementarizaci na formy je lepší podpora jejich vymezování a analýzy standardními nástroji GIS, nicméně pro geomorfologickou analýzu slouží tato dvě členění různými způsoby. Například členění na polopovodí je používáno při zkoumání symetričnosti procesů v povodích. Říční síť ohodnocená podle Strahlera může sloužit například pro vymezení bazových povrchů (Jedlička a Mentlík (2002), Jedlička a Sládek (2009)). V geomorfologické databázi je pro povodí, podobně jako pro elementární formy, použita kombinace hraniční a areálové reprezentace (*WatershedLines*, *BasicBasins* a *HalfBasins*). Povodí jsou v základu reprezentována polygonovou vektorovou třídou, může však k nim být vytvořena i hraniční reprezentace. K jednotlivým povodím a jejich segmentům hranic pak mohou být vypočteny podobné morfometrické charakteristiky,

podobně jako pro elementární formy reliéfu. Schéma základní možné reprezentace povodí v geomorfologické databázi je uvedeno na obr. 4.9.



Obr. 4.9. Část struktury geomorfologické databáze reprezentující povodí.

iv. Dokumentační materiály

Informace ukládané v dokumentačních materiálech mohou být různého charakteru, nejčastěji se však vztahují k typu půdy, geomorfologickým formám, geologickým odkryvům, povrchovým sondám, vegetaci či hydrologii. Jsou naplňovány hlavně v průběhu geomorfologického mapování, ale mohou být přidány i informace získané z existujících vrtů, jam či profilů. Jedná se o realizaci konceptu dokumentačních bodů popsaného v Demek et al. (1972).

Dokumentační materiály poskytují morfogeneticky, morfochronologicky a morfodynamicky důležité informace. Funkcionalita GmIS (podkapitola 4.3.7) pak umožňuje analyzovat a transformovat tyto informace ke konkrétním elementárním formám (či povodím), což obohacuje popis základních vrstev databáze.

Simple feature class						Geometry Polygon	
DocumentationAreas						Contains M values	No
						Contains Z values	Yes
Field name	Data type	Allow nulls	Default value	Domain	Prec- ision	Scale	Length
OBJECTID	Object ID						
SHAPE	Geometry	Yes					
Name	String	Yes					25
Description	String	Yes					256
Link	String	Yes					128
SHAPE_Length	Double	Yes			0	0	
SHAPE_Area	Double	Yes			0	0	

Simple feature class						Geometry Polyline	
ProfilesSurveyed						Contains M values	No
						Contains Z values	Yes
Field name	Data type	Allow nulls	Default value	Domain	Prec- ision	Scale	Length
OBJECTID	Object ID						
SHAPE	Geometry	Yes					
SHAPE_Length	Double	Yes			0	0	
Name	String	Yes					25
Type	Short integer	Yes		ProfileType	0		
Description	String	Yes					256
Link	String	Yes					128

Line feature class	
DocumentationLines	

Point feature class	
DocumentationPoints	

Obr. 4.10. Výřez ze struktury dokumentačních materiálů uložených v geomorfologické databázi⁴⁴.

Dokumentační materiály jsou v geomorfologické databázi členěny na dokumentační body, linie a případně i areály (*DocumentationPoints*, *Lines* a *Areas*). V samostatné liniové vrstvě jsou ukládány měřené profily (*ProfilesSurveyed*). Ve všech případech se jedná o v terénu zaznamenané informace, kterým je v geomorfologické databázi přiřazena prostorová lokalizace (možné způsoby přiřazení prostorové lokalizace jsou nastíněny v podkapitole 3.4.6 a rozpracovány například v Jedlička & Šilhavý (2009)).

Protože je dokumentační materiály mohou obsahovat mnoho velmi různorodých informací, jejichž katalogizace je velmi obtížná, je v geomorfologické databázi vytvořena pouze základní struktura, která o každém dokumentačním záznamu (bodu, linii či polygonu) uloží název (*Name*), nestrukturovaný popis (*Description*), který je možno zapsat přímo v terénu a případně odkaz na další dokumentaci (*Link*). Interpretaci uložených informací provádí geomorfolog po příchodu z terénu (viz 4.3.4). Obr. 4.10 zobrazuje na příkladu dokumentačních areálů a měřených profilů strukturu atributů dokumentačních materiálů v GmDB.

⁴⁴ Zobrazeny jsou dokumentační polygony. Linie a body mají strukturu atributů stejnou s výjimkou atributů generovaných automaticky geomorfologickou databází (*Shape_Area*, resp. *Shape_Length*).

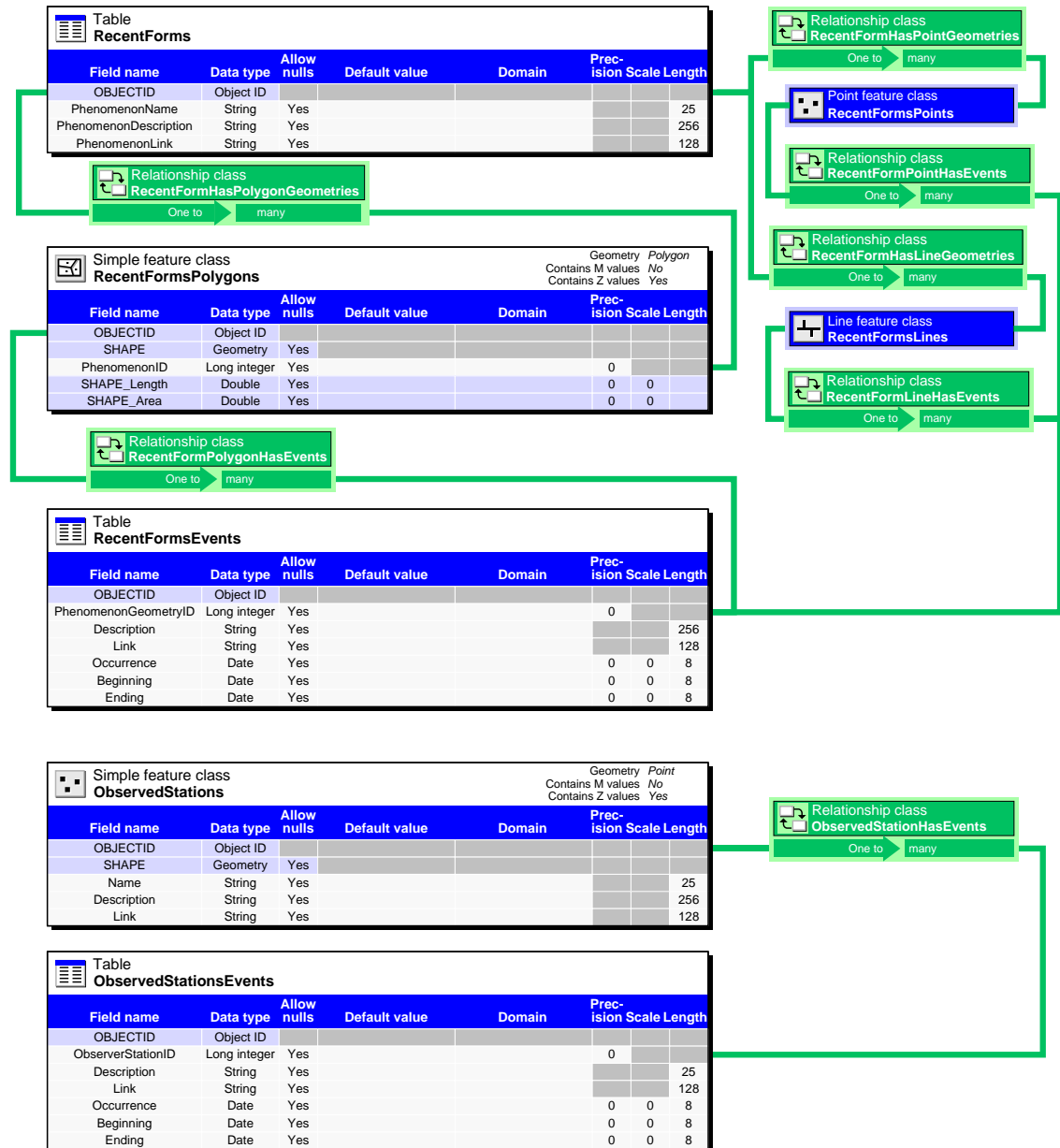
v. Morfodynamické jevy

Současné geomorfologické procesy (morfodynamika) stále utvářejí a mění tvar georeliéfu, a mnohdy mohou způsobovat velké škody v krajině. Jejich zakomponování do GmIS tak dává celému systému další rozměr – možnost (na základě analýzy a syntézy spravovaných údajů) informovat o potenciálních hazardech v krajině. Informace, ze kterých lze usuzovat na dynamiku procesů v krajině, jsou podchycovány terénním geomorfologickým mapováním a jsou ukládány v dokumentačních materiálech. Z pohledu geomorfologické databáze se v podstatě jedná o rozšíření dokumentačních materiálů, o vrstvu trvalých či periodicky observovaných stanic (ve fyzické struktuře označeno *ObservedStations*) a o vrstvu (v různých časech a stavech zachycených) recentních forem (*RecentForms*). Znázornění časového rozměru recentních forem je v geodatabázi nutno řešit jak podchycením změny vlastností konkrétního sledovaného jevu, tak i změnou jeho polohy či tvaru (geometrie).

Ve struktuře geomorfologické databáze je proto vytvořena kaskádou relací kardinality 1 : N. Nejprve z tabulky (objektové třídy) *RecentForms* vede vazba na (potenciálně různé) geometrie jevu *RecentForms* (*Points/Lines/Polygons*) a odtud pak další vazba na časovou platnost geometrie, která může být vyjádřena buď jedním časovým okamžikem (*Occurrence*), ve kterém byla událost zaznamenána, nebo intervalem (*Beginning, Ending*) značícím dobu trvání jevu. U trvale či periodicky observovaných stanic je struktura jednodušší o to že jejich geometrie se nemění.

Podobně jako u dokumentačních materiálů mohou i časové záznamy o recentních formách obsahovat mnoho velmi různorodých informací. Proto je v geomorfologické databázi opět vytvořena pouze základní struktura, která o každém jevu a o každém časovém záznamu o něm uloží název (*Name*)⁴⁵, nestrukturovaný popis (*Description*), který je možno zapsat přímo v terénu a případně odkaz na další dokumentaci (*Link*). Interpretaci uložených informací provádí následně geomorfolog (viz 4.3.4). Na obr. 4.11 je na příkladu polygonové recentní formy zobrazena výše popisovaná struktura.

⁴⁵ Tento atribut existuje pouze pro vlastní jev, nikoli pro každou událost, kde by postrádal využití.



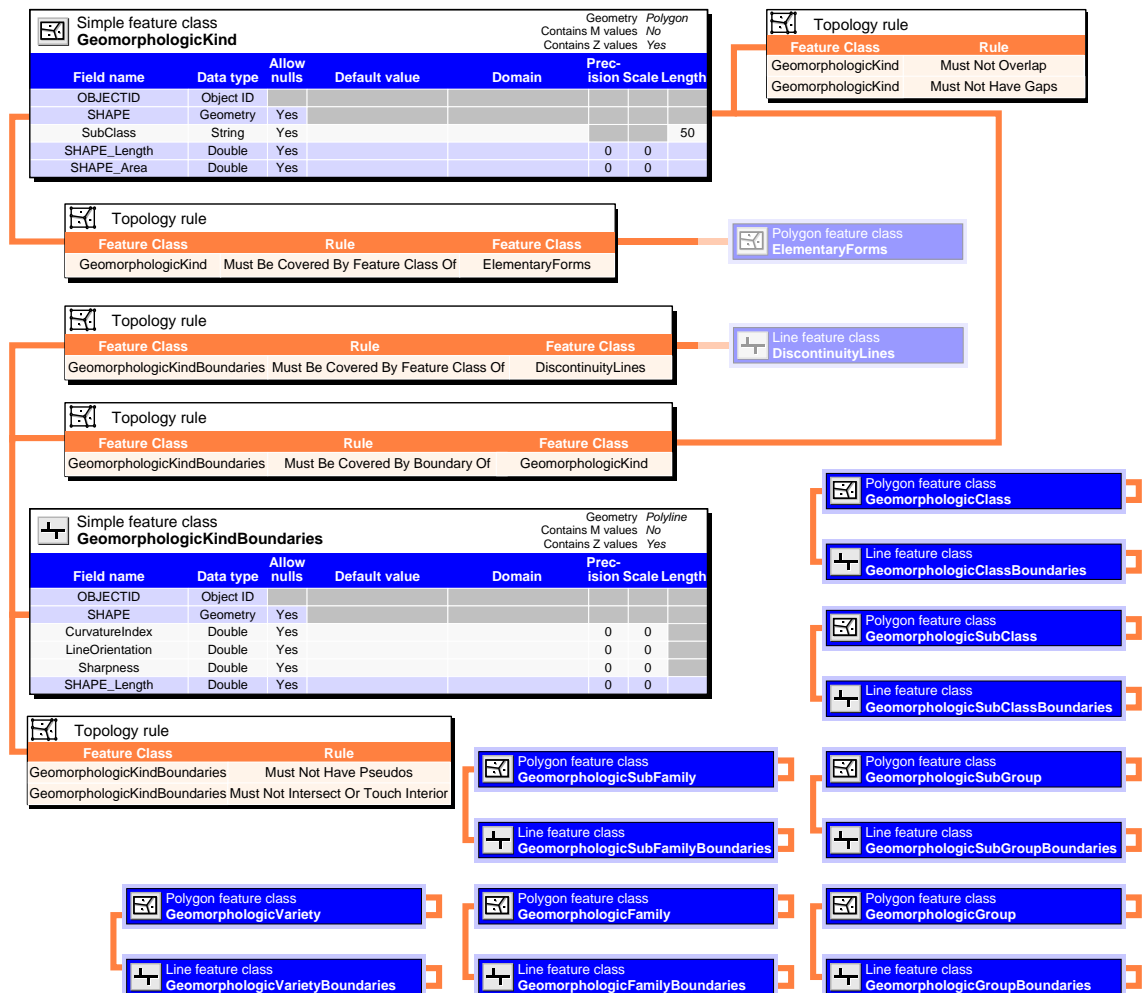
Obr. 4.11. Datová struktura morfodynamických jevů.

vi. Genetické skupiny forem

Genetické skupiny forem obsahují vrstvy seskupující prostorově sousedící elementární formy georeliéfu do skupin na základě jejich společných morfogenetických vlastností (více viz 3.4.10). Genetické skupiny forem se hierarchizují do následujících typologických úrovní (převzato z Mentlík (2006)):

- *varietu geomorfologického druhu (Variety)* – část geomorfologického druhu s odlišnou genezí,
- *geomorfologický druh (GeomorphologicKind)* – geneticky relativně homogenní a morfologicky definovaná část reliéfu,

- *podrodinu (SubFamily)* – charakter geomorfologického procesu v rámci rodiny,
- *rodinu (Family)* – charakter geomorfologických podmínek a základního mechanismu geomorfologického procesu,
- *podtřídu (SubClass)* – specifikace typu energie a látky v rámci geomorfologické třídy,
- *třídu (Class)* – příslušnost geomorfologického procesu k parciálním geosférám (u monogenetických morfoskulptur); spojení s geologickou strukturou (u polygenetických morfoskulptur),
- *podskupinu (SubGroup)* – vyjádření složitosti geomorfologických procesů utvářejících danou formu,
- *skupinu (Group)* – hlavní geomorfologické faktory utvářející danou formu.



Obr. 4.12. Základní schéma vyšších genetických forem.

Každá z takto vzniklých vyšších segmentací reliéfu je v geomorfologické databázi opět ukládána jako kombinace liniové a plošné vrstvy, které jsou svázány topologickými

pravidly. Pro každou úroveň je možné spočítat stejné morfometrické charakteristiky, jako pro elementární formy (viz obr. 4.8) Jedná se z geomorfologického pohledu o mocný nástroj zejména ve spojení s výpočtem atributů hranic forem (viz podkapitola 4.3.6). Každá úroveň je navíc topologicky svázána s primárními vrstvami elementárních forem, aby nemohlo dojít k topologické nekonzistenci databáze. Základní schéma vyšších genetických forem je znázorněno na obr. 4.12. Jsou znázorněny pouze topologické vazby v rámci jedné úrovně a pro úroveň geomorfologického druhu⁴⁶ jsou znázorněny vazby na elementární formy reliéfu. Ostatní vrstvy jsou pouze nastíněny, jejich topologické vazby jsou analogické.

Tyto skupiny forem jsou základním stavebním kamenem komplexní geomorfologické mapy (Minár & Kusendová (1995)). Pro tyto účely lze využívat kartografických reprezentací (podkapitola 4.1.4). Pro kartografické vyjádření malých forem, či forem výrazně protáhlých, lze v menších měřítkách použít redukce prostorové dimenze formy do bodu, resp. linie.

vii. Geomorfologická mřížka

Geomorfologická mřížka je tvořena vizualizací významných liniových elementů georeliéfu (různé diskontinuity, jako údolnice, úpatnice, příkopy, atp.) které vytváří pravidelnou síť. Je budována pro účely stanovení hypotetické geologické stavby zájmového území. Idea budování mřížky je založena na předpokladu, že diskontinuity v geologické stavbě se projeví i v reliéfu. Dobře vytvořená geomorfologická mřížka tak podává informaci o vazbě mezi geologickou stavbou a georeliéfem (zpracováno podle Mentlík (2006)).

Jednotlivé segmenty mřížky mohou být stanoveny vizuální interpretací podkladových dat, např. topografických map a ortofoto map, jak uvádí například Urbánek (2004). Nicméně prostředí GmIS nabízí alespoň jistou míru objektivizace výběru segmentů mřížky tím, že do mřížky jsou vybírány pouze ty segmenty hranic elementárních forem (povodí), které mají např. malou křivost, velkou ostrost, určitou délku, atp. (podrobnosti o způsobu výpočtu těchto atributů hranic elementárních forem viz podkapitola 4.3.6). Výběr prahových hodnot jednotlivých atributů pro zařazení segmentu do mřížky je záležitostí odhadu experta/geomorfologa. GmIS může maximálně poskytnout interaktivní nástroje pro vlastní zpracování. Více o tvorbě geomorfologické mřížky následuje v podkapitole 4.3.8.

⁴⁶ Vrstva *GeomorphologicKind* je nastíněna bez morfometrických atributů.

Geomorfologická mřížka (*GeomorphicNetwork*) je reprezentována jako databázový pohled na liniovou vrstvu *GeomorphicNetworkSegments*⁴⁷ (viz obr. 4.13), do které jsou vkládány segmenty liniových prvků z několika vrstev: hranic elementárních forem (*DiscontinuityLines*) a hranic hierarchicky vyšších genetických forem. Popis postupu tvorby mřížky je popsán v 4.3.8. Jednotlivé její prvky tak přebírají relevantní atributy vstupních vrstev, tj. index zakřivení (*CurvatureIndex*), orientaci (*Orientation*) a ostrost (*Sharpness*). Dále mají atribut *PartOfNetwork* (s logickou doménou *YesNo*), který informuje, zda je konkrétní linie dostatečně významná pro geomorfologickou mřížku. Dalšími atributy jsou typ a řád segmentu (*Type* a *OrderNumber*), které mohou být řízeny doménami (*SegmentType* a *SegmentOrderNumber*), posledním atributem je (volitelně) stručný popis segmentu (*Description*).

Simple feature class						Geometry	Polyline
GeomorphicNetworkSegments						Contains M values	No
						Contains Z values	Yes
Field name	Data type	Allow nulls	Default value	Domain	Precision	Scale	Length
OBJECTID	Object ID						
SHAPE	Geometry	Yes					
SHAPE_Length	Double	Yes			0	0	
CurvatureIndex	Double	Yes			0	0	
Orientation	Double	Yes			0	0	
Sharpness	Double	Yes			0	0	
PartOfNetwork	Short integer	Yes	no	YesNo	0		
Type	Short integer	Yes	unspecified	SegmentType	0		
OrderNumber	Short integer	Yes	unspecified	SegmentOrderNumber	0		
Description	String	Yes					256

Coded value domain	
SegmentType	
Description	
Field type	Short integer
Split policy	Duplicate
Merge policy	Default value
Code	Description
1	steep slope line
2	planed surface boundary
3	talwegs direction
4	geomorphic line
5	...
-9999	unspecified

Coded value domain	
SegmentOrderNumber	
Description	
Field type	Short integer
Split policy	Default value
Merge policy	Default value
Code	Description
1	first order
2	second order
3	third order
-9999	unspecified

Coded value domain	
YesNo	
Description	
Field type	Short integer
Split policy	Duplicate
Merge policy	Default value
Code	Description
1	yes
0	no

Obr. 4.13. Schéma pohledu *GeomorphicNetworkSegments*.

4.2.3. Speciální geomorfologické vrstvy

V průběhu analýz v GIS často vzniká mnoho nových vrstev; GmIS není v tomto směru výjimkou. Počet a typ vzniklých vrstev v této datové sadě záleží na druhu prováděného výzkumu. Kromě fundamentálního geomorfologického výzkumu (v rámci něj vytvořené vrstvy jsou ukládány v datové sadě základních vrstev, popsáno výše), se může jednat například o vyhodnocování geomorfologických hazardů, zkoumání potenciálu krajiny pro různé aktivity, tvorbu tradiční geomorfologické mapy nebo morfostrukturní analýzu.

V datové sadě speciálních geomorfologických vrstev jsou ukládány právě vrstvy vytvořené v průběhu dalších geomorfologických analýz. Není dost dobře možné popsat všechny alternativy takových vrstev, jejich vlastností a vzájemných vazeb, nicméně i struktura

⁴⁷ Příklad definice pohledu pro geomorfologickou mřížku 1. řádu:

```
SELECT ALL FROM GeomorphicNetworkSegments
WHERE Order = 1;
```

speciálních geomorfologických vrstev by měla ctít koncepci výše popsaných částí geomorfologické databáze. Tato práce se zabývá popisem podpory GmIS pro základní geomorfologický výzkum a tak datová sada speciálních geomorfologických vrstev není dále rozebírána, nicméně lze konstatovat, že při tvorbě její struktury je vhodné postupovat podle stejných postupů databázového modelování, jaké byly používány pro datové sady převzatých i základních geomorfologických vrstev.

4.2.4. Přesnost klíčových vrstev geomorfologické databáze

Při práci s jakýmkoli daty je nutno být obeznámen s jejich spolehlivostí. Reálný svět je velice heterogenní (na naší úrovni jeho vnímání) a vlastnosti jeho jevů (například DMR) se přirozeně mění plynule, proto je problematické jej kategorizovat a klasifikovat. I u reálných objektů (např. vodní plochy, toky) je těžké přesně určit jejich tvar a vlastnosti. Lze konstatovat, že reálný svět je možné popsat vždy s určitou mírou přesnosti, kterou (vztaženo k popisu pomocí geografických dat) můžeme zkoumat jak v atributovém tak i v geometrickém prostoru.

Problematika spolehlivosti popisu v atributovém prostoru je úzce spjata s pečlivostí zadávajícího operátora, či přesností automatizované metody, kterou jsou hodnoty počítány. První mechanismus pro zajištění konzistence databáze s potenciálně možným reálným stavem je volba datového typu, který odpovídá charakteru sledované vlastnosti (nominální, ordinální, intervalový a poměrový – podrobněji viz např. Jacobson (2000)). V geomorfologické databázi jsou dále na vybrané atributy aplikovány výčtové (nominální a ordinální data) či rozsahové (intervalová a poměrová data) domény (viz podkapitola 4.1.4).

Také v geometrickém prostoru existuje celá řada možností pro určení přesnosti tvarů popisovaných jevů a objektů. Náplní této práce není podrobně rozebírat metodiky pro hodnocení přesnosti, nicméně pro základní představu o prostorové přesnosti důležitých vrstev modelové geomorfologické databáze je uvedena tabulka přesnosti vrstev geomorfologické databáze v příloze C.

4.3. Realizace geomorfologických operací a analytických funkcí

GmIS si klade za cíl vytvořit takové prostředí, které uživateli poskytne podporu pro jeho práci pomocí automatizace nejužívanějších geomorfologických procesů v GIS a poskytnutím možnosti dále rozšiřovat funkčnost systému přidáváním dalších vlastních modulů (dílčí cíl (vii)). Cesta k vývoji takového prostředí vede přes otevřený a dobře zdokumentovaný zdrojový kód (včetně dokumentace rozhraní) a dále přes dokumentaci celých analytických činností například formou tzv. „workflow“ diagramů nebo UML zápisu.

Při realizaci geomorfologických nástrojů je vycházeno z popsanych případů užití (podkapitola 3.4) a jsou využívány programovací jazyky ModelBuilder, Python a Visual Basic For Applications (podkapitola 4.1.6) – všechny spolupracující s objektovými COM třídami ArcObjects. Následující podkapitoly popisují existující i nově vyvinuté nástroje sloužící pro výše popsané případy užití. Je třeba podotknout, že pro jeden případ užití je často možno využít více nástrojů a zároveň jednou vyvinutý nástroj je možno využít ve více případech užití – v databázové terminologii lze hovořit o vztahu M : N.

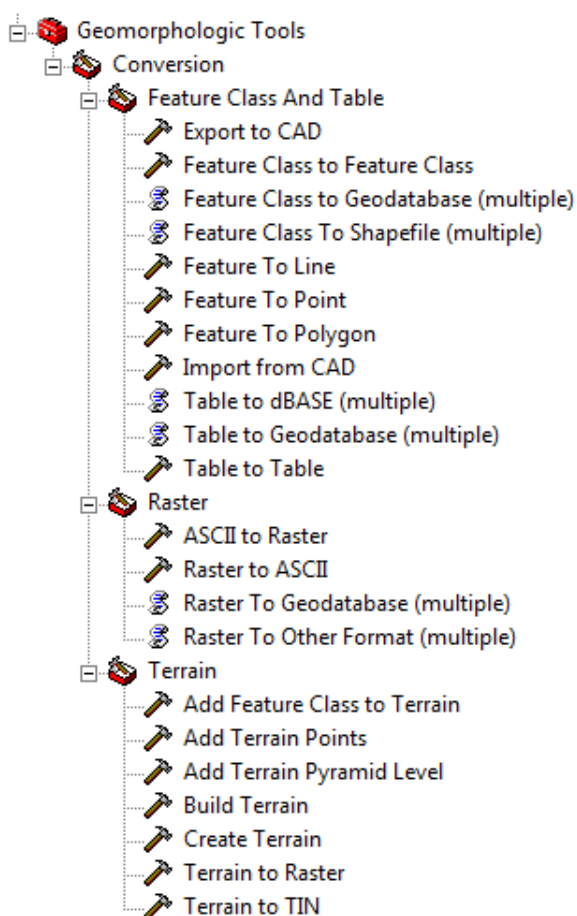
Vyvinuté geomorfologické nástroje jsou soustředěny do geomorfologické nástrojové sady (*Geomorphologic Toolbox – GmT*) a do lišty nástrojů pojmenované *Geomorphologic Analyst* (viz obr. 6.1), více o uživatelském prostředí GmIS lze nalézt v podkapitole 6.2.

4.3.1. Zajištění otevřenosti a tvorba struktury systému

Tato podkapitola se zabývá popisem realizace tří souvisejících činností. Otevřeností systému (3.4.1), vytvořením vzorové zdrojové databáze (3.4.2) a importem převzatých vrstev (3.4.3). Realizuje dílčí cíl (viii).

Nutnou podmínkou **otevřenosti systému** (podkapitola 3.4.1) je dobrá dokumentace schématu jeho datových struktur. Ta je dokumentovaná pomocí již dříve zmiňovaného nástroje Geodatabase Diagrammer v podkapitole 4.1.5. **Kompletní schéma struktury vytvořené geomorfologické databáze** (podkapitola 3.4.2) je pak sestaveno v příloze B. XML verze schématu je k dispozici v příloze D. V tištěné verzi je zobrazena pouze prvková třída elementárních forem, v digitální formě je k dispozici kompletní XML soubor a navíc prázdná struktura vytvořená v ESRI geodatabázi. Otevřený systém musí mít taktéž dobře dokumentované svoje procesy – jejich dokumentaci je věnována tato celá podkapitola (4.3).

Požadavky na otevřenost systému jsou do značné míry ovlivněny vlastnostmi samotného ArcGIS. Vytvoření struktury geomorfologické databáze (případy užití popsané v 3.4.2) je realizováno standardními nástroji ArcGIS, složených ze sdružené nástrojové sady geomorfologických nástrojů (*Geomorphologic Tools / Geodatabase Creation*) a interaktivního importu XML schématu do geodatabáze (nástroj je dostupný z kontextového menu u položky geodatabáze v aplikaci ArcCatalog: *Import / XML Workspace Document*). Z pohledu GmIS je důležitá hlavně datová interoperabilita. Standardní nástroje ArcGIS pro **import a export datových vrstev** (případ užití popsaný v 3.4.3) byly opět pouze sdruženy do jedné nástrojové sady geomorfologických nástrojů (*Geomorphologic Tools / Conversion*), viz obr. 4.14.



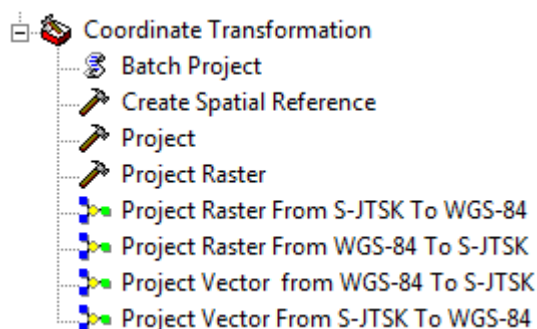
Obr. 4.14. Konverzní nástroje ArcGIS sdružené v nástrojové sadě *Conversion* v geomorfologických nástrojích (*Geomorphologic Tools*).

Konverzní nástroje jsou členěny na tři sekce, podle toho zda jsou importovány (nebo exportovány) vektory (včetně případných přidružených atributových tabulek), rastry, či je přímo budována terénní datová sada. Vzhledem k heterogenitě potenciálních zdrojů vstupních dat a mnoha variantám výstupů nelze předpřipravit konkrétnější procesy, nicméně kombinací nástrojů sdružených v této nástrojové sadě lze vyřešit převážnou většinu požadavků na import a export dat GmIS. Některé konverzní nástroje jsou využívány následně i v realizacích dalších případů užití.

S importem datových vrstev úzce souvisí problematika transformace souřadnicových systémů. Dobrým pravidlem při importu dat do GIS je zadání metadatového údaje o souřadnicovém systému. Samotná geomorfologická databáze má nastaven národní souřadnicový systém jednotné trigonometrické sítě katastrální (S-JTSK)⁴⁸. Lze očekávat, že i většina importovaných vrstev bude mít shodný souřadnicový systém, ovšem nemusí

⁴⁸ S-JTSK byl navržen pro území bývalé Československé republiky včetně podkarpatské Rusi geodetem Josefem Křovákem, proto se někdy mluví též o Křovákově zobrazení.

tomu tak být vždy. Geomorfologické nástroje proto poskytují sadu nástrojů, která za předpokladu korektně vyplněných metadat o souřadnicovém systému vstupní vrstvy umožňuje transformovat mezi souřadnicovými systémy (*Coordinate transformation*, viz obr. 4.15).



Obr. 4.15. Nástroje pro transformace souřadnicových systémů (*Coordinate transformation*).

V praxi se většinou se jedná o nutnost transformace dat naměřených s využitím globálního polohového systému (GPS)⁴⁹, který využívá globální souřadnicový systém WGS-84. Nástrojová sada *Coordinate transformation* proto kromě obecných transformačních nástrojů ArcGIS poskytuje i čtyři předpřipravené nástroje pro transformaci mezi WGS-84 a S-JTSK (tam a zpět pro vektor i pro rastr). Urner a Zenkl (2002) uvádějí pro použité transformační koeficienty empiricky odvozenou polohovou přesnost transformace 2 m, což lze považovat za dostatečné v případě využití běžných navigačních přístrojů^{50,51}.

V případě využití přesnější GIS či geodetické aparatury⁵² je nutno použít přesnější transformaci přes tzv. lokální klíč, kterou většinou umožňuje přímo software dodávaný

⁴⁹ Teoreticky je možné mluvit o využití i dalších globálních navigačních satelitních sítí (GNSS) než je americký GPS NAVSTAR. Jedná se o ruský projekt GLONASS a evropské Galileo. GLONASS však stále v době vydání práce (2009) není plně osazen satelity (na obloze 19 z minima 24) a Galileo pouze testuje první dva satelity na oběžné dráze. I když již existují přijímače, které umožňují přijmout a zpracovat signál z těchto družic a zkombinovat jej se signálem GPS NAVSTAR, v běžné praxi dnes navigační GPS přijímače pracují pouze právě s GPS NAVSTAR.

⁵⁰ Navigační přístroje zpracovávající C/A kód z frekvence L1, a komunikující nejčastěji přes protokol standardizovaný NMEA. Jejich přesnost je v ideálních podmínkách v poloze do 10-12 m, ve výšce 1,5 až 2 x horší.

⁵¹ Popisovaná transformace nepřevádí elipsoidické výšky na nadmořské. Výstupem jsou elipsoidické výšky nad Besselovým elipsoidem.

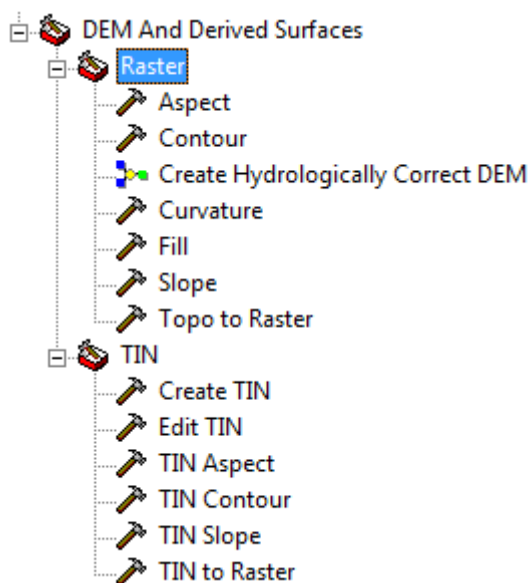
⁵² Za GIS GPS bývají označovány aparatury využívající fázová měření na frekvenci L1, umožňující až submetrovou přesnost.

Geodetické aparatury využívají fázové měření na frekvenci L1 i L2, popřípadě v dalších kombinaci měření v GPS NAVSTAR, GLONASS i Galileo) a jejich přesnost může být (s využitím diferenciálního zpracování dat) centimetrová až milimetrová.

s aparaturou⁵³, nebo využít globální metodu založenou na GRID, kde přesnost transformace je lepší než 3 cm v poloze, Ježek (2009)⁵⁴.

4.3.2. Tvorba digitálního modelu reliéfu a odvozených povrchů

Tato podkapitola představuje nástroje využitelné v případě užití 3.4.4, které jsou sdruženy do nástrojové sady *DEM and Derived Surfaces* (viz obr. 4.16).



Obr. 4.16. Nástrojová sada *DEM and Derived Surfaces*.

Základní tvorba digitálního modelu reliéfu a z něj odvozených povrchů je zajišťována nástroji ArcGIS. Běžný způsob spočívá ve vytvoření nepravidelné trojúhelníkové sítě (*Triangulated Irregular Network – TIN*) a její následné konverze do rastru. Lze to provést zřetěžením nástrojů *Create TIN* (vytvoření prázdné datové struktury), *Edit TIN* (postupné přidávání vstupních datových vrstev: vrstevnic, kót, hřbetnic, údolnic, vodních toků a ploch, atd.) a *TIN to Raster* (interpolace do rastru – možno zvolit mezi lineární interpolací či metodou přirozených sousedů). Nad TIN je mimo jiné možno počítat sklon a orientaci svahů, případně exportovat zpětně vrstevnice (*TIN Aspect*, *TIN Slope*, *TIN Contour*).

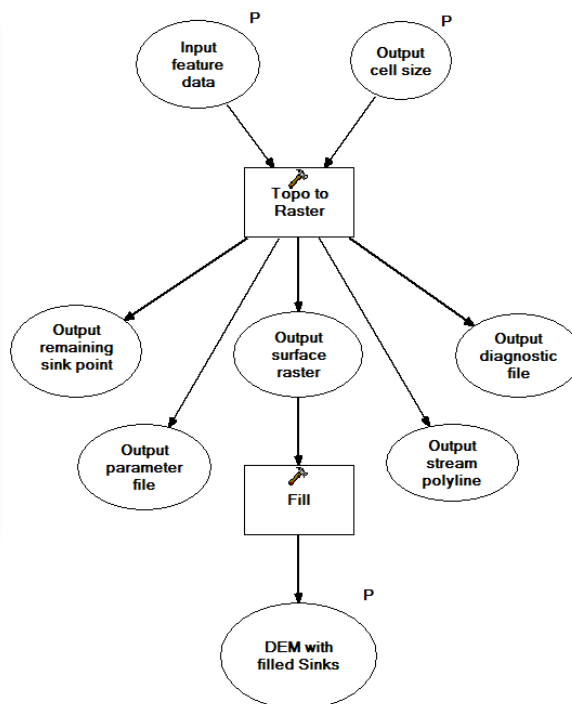
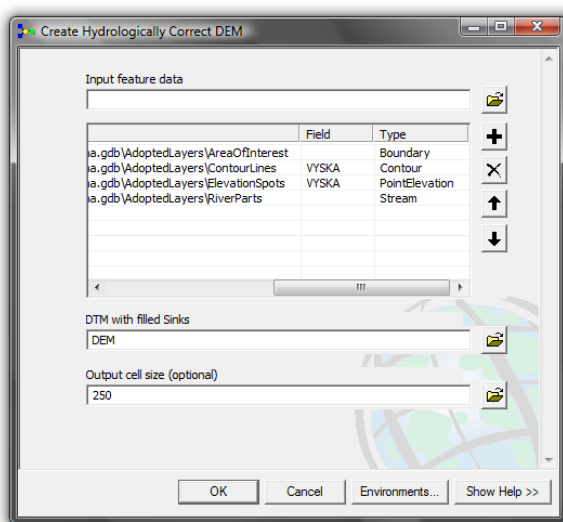
Pro geomorfologické účely je nicméně vhodné vytvořit zhlazený a hydrologicky korektní DMR, který má vyplněny lokální sníženiny, které se v modelované realitě nevyskytují – jedná se o artefakty interpolace. Teoreticky je takového rastru možné dosáhnout dobrým nastavením interpolačního nástroje *Topo To Raster* ovšem praxí prověřená metoda spočívá

⁵³ Firemní transformace s lokálním klíčem často zahrnují i model geoidu, takže je možné přepočítat elipsoidické výšky na výšky nadmořské.

⁵⁴ Tato metoda ovšem v současné době neumožňuje transformovat výšky.

v následném spuštění nástroje *Fill*, který tyto sníženiny vyplní. Podrobněji se touto problematikou zabýval autor v pracích Jedlička & Mentlík (2002) a Jedlička & Sládek (2009). V rámci druhé jmenované práce vznikl nástroj *Create Hydrologically Correct DEM* (viz obr. 4.17), který řetězí nástroj *Topo To Raster* a nástroj *Fill* tak, že uživateli stačí zadat vstupní a výstupní vrstvy a velikost buňky výsledného rastru. Vstupními vrstvami mohou být například vrstevnice, kóty, známé vodní toky a hranice oblasti:

- Povinná je v podstatě pouze jedna vrstva s informací o nadmořských výškách, ostatní jsou volitelné.
- Zadáním liniové vrstvy vodních toků uživatel urychlí a umožní zpřesnit výpočet v oblastech s homogenním reliéfem (typicky v okolí vodních toků vyšších řádů), ve kterých je vstupní výšková vrstva řídká.
- Velikost buňky je třeba nastavit menší než je polohová vzdálenost mezi vstupními vrstevnicemi (či body, je-li interpolováno čistě z nich). Algoritmus výpočtu selhává, pokud se v jedné buňce vyskytují dvě výšky ze vstupních vrstev.
- Hranice, kterou je ořezáván výsledný rastr, by měla být vždy menší než je oblast vstupních dat, a to alespoň o vzdálenost rovnající se velikosti 20 buněk výsledného rastru⁵⁵.



Obr. 4.17. Nástroj *Create Hydrologically Correct DEM*.

⁵⁵ Pro buňky ve vzdálenosti 0-20 velikostí buněk není k dispozici dostatečně velké okolí pro korektní výpočet jejich hodnoty – nadmořské výšky.

Další informace o parametrech funkce Topo To Raster, kterou pro výpočet modelu reliéfu používá i nástroj *Create Hydrologically Correct DEM*, jsou v ESRI (2009). Další možností je rastrovou reprezentaci digitálního modelu reliéfu do GmIS importovat odjinud, například nástrojem *ASCII To Raster* obsaženým v nástrojové sadě *Conversion / Raster* (viz výše).

Další odvozené povrchy lze samozřejmě počítat a reprezentovat i jako rastry (orientaci a sklon svahu – *Aspect, Slope*). Lze zpětně pro kontrolu generovat vrstevnice (*Contour*). Oproti práci s TIN lze v rastru navíc nástrojem *Curvature* počítat základní obecnou křivost v místě (změna sklonu svahu) profilovou křivost (křivost ve směru spádnice) a planární křivost (křivost ve směru vrstevnice). Tvorbu dalších povrchů křivosti lze realizovat mimo prostředí GmIS (zabývá se jí například Pacina (2008)), export vstupních dat z GmIS a import výstupů lze realizovat přes nástroje popsané v předchozí podkapitole.

4.3.3. Vytvoření duální datové reprezentace elementárních forem georeliéfu

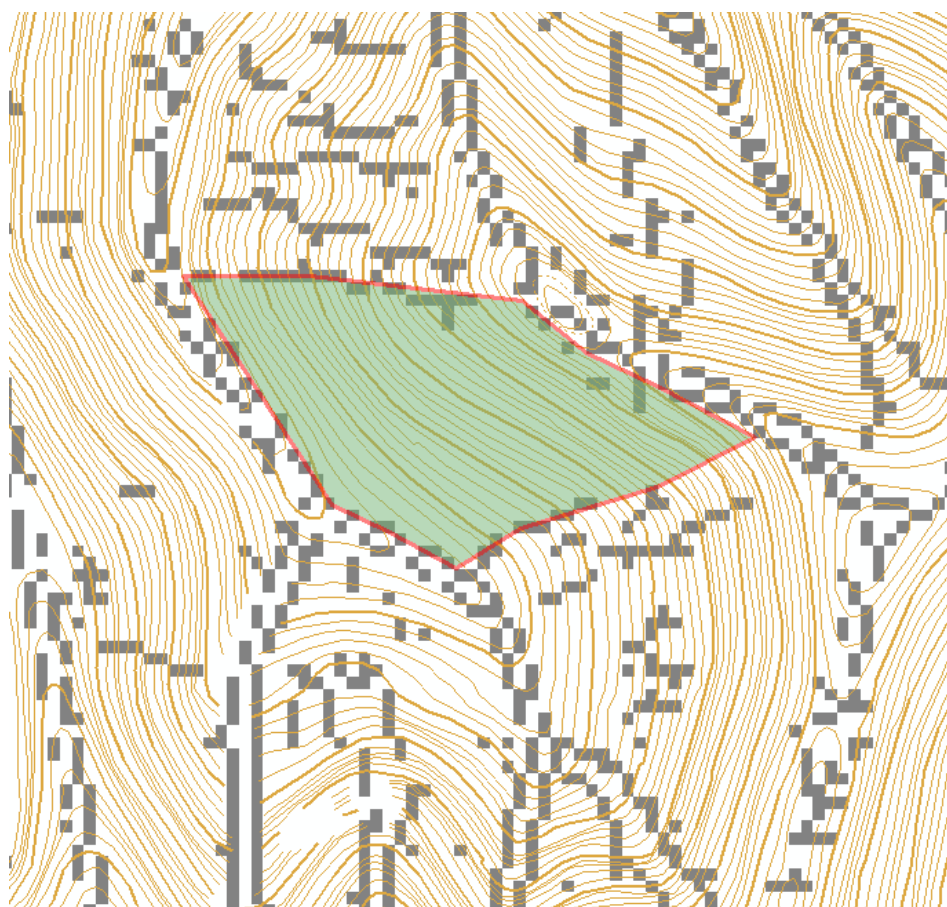
Podkapitola řeší tvorbu datové reprezentace základní vrstvy GmIS – elementárních forem reliéfu popsané v případě užití 3.4.5. V současné době je obecně používanou metodou elementarizace reliéfu (segmentace reliéfu na elementární formy) ruční editace geomorfologa nad digitálním modelem reliéfu. Pro ni lze využít editační nástroje ArcGIS sdružené v nástrojové liště *Editor*. Vzhledem k duální reprezentaci elementárních forem v GmIS (4.2.2, ii) má uživatel dvě možnosti: vektorizovat segmenty hranic, či rovnou vymezovat areály forem. Druhá, duální reprezentace je následně (po ověření terénním mapováním) generována dávkově, příkazem *Feature To Polygon*, respektive *Feature To Line* z nástrojové sady *Conversion* (viz obr. 4.14)⁵⁶. Většinou je primární reprezentace polygonová a druhá liniová. Liniová reprezentace je potom vytvářena před výpočtem morfometrických vlastností hranic (viz podkapitola 4.3.6).

Nutnou podmínkou konzistence obou vrstev (linií a polygonů) reprezentujících elementární formy je ovšem jejich topologická čistota. Pro její udržení jsou v GmDB definována topologická pravidla, popisovaná výše (4.2.2, ii) a k dispozici nástroje pro jejich kontrolu (standardní nástroje ArcGIS sdružené v nástrojové liště *Topology*).

Geomorfolog se však nemusí spoléhat pouze na DMR a svůj úsudek. Jako vodítko mu mohou sloužit i v GmDB uložené rastry ostrotí lokálních extrémů, a afinita těchto extrémů k některému ze základních 10 typů hranic elementárních forem (vypočtené např. nástroji popsány v práci Pacina (2008)⁵⁷).

⁵⁶ Zvolená primární reprezentace (většinou polygonová) musí mít následně v geodatabázi stanovenou nejvyšší topologickou prioritu (topo rank = 1).

⁵⁷ Zmiňované algoritmy Pacina 2008 testuje pouze na malém vzorku dat a extrémně vyhlazeném DMR. Jejich praktické nasazení bude vyžadovat ověření na větším datovém vzorku.



Obr. 4.18. Vymezení svahové elementární formy na základě reliéfu reprezentovaného vrstevnicemi a rastru vyprahovaných křivostí (region Turčianská kotlina).

Role geomorfologa potom spočívá v interpretaci uložené informace, tj. v prahování jednotlivých rastrů křivostí a afinit takovým způsobem, aby zobrazovaly potenciální hranice a následné syntéze zobrazené informace, na základě které provede vektorizaci. Na obr. 4.18 je vrstevnicemi znázorněn průběh DMR, šedou barvou vyprahované rastrové segmenty hranic forem a zeleně s červenými hranicemi je na ukázkou vymezena jedna svahová elementární forma, omezená shora změnou sklonu pod vrcholovou partií, zdola změnou sklonu, při přechodu svahu do údolí, a ze stran liniemi, ve kterých se mění orientace sklonu svahu.

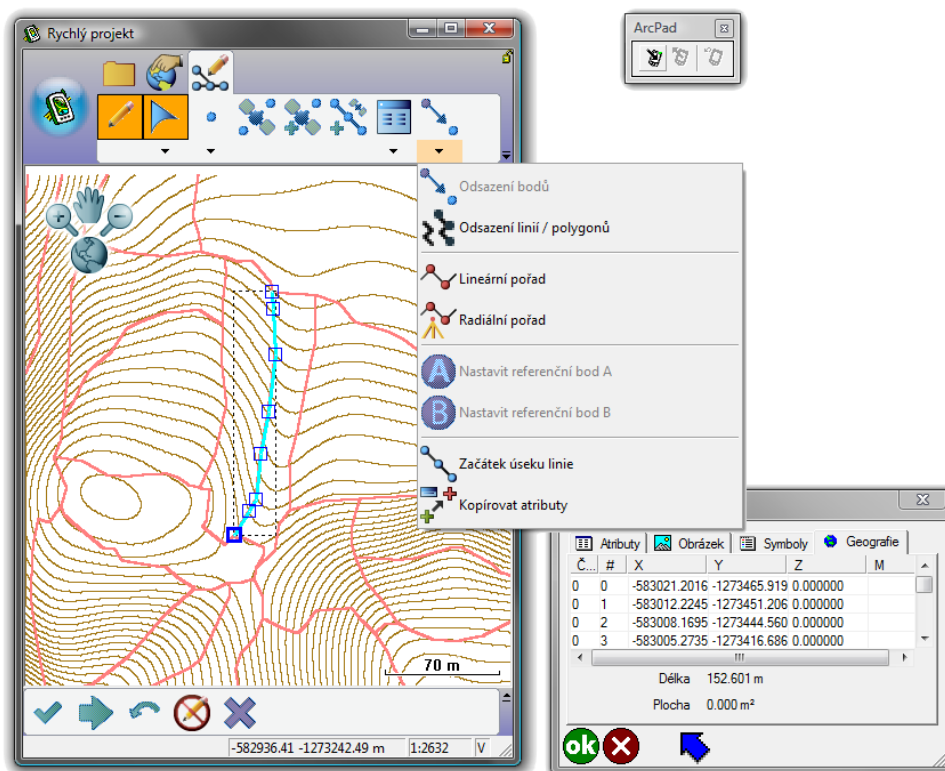
Takto vymezené elementární formy je nutno ověřit terénním mapováním (popis viz následující podkapitola 4.3.4). Případné změny geometrie lze pak provádět analogickými nástroji.

4.3.4. Terénní mapování a jeho následná interpretace

Základní součástí geomorfologické práce je terénní výzkum, kterým geomorfolog získává bezprostřední informace o zájmovém území. Pro zlepšení efektivity terénního výzkumu nabízí GmIS nástroje pro kvalitní přípravu dat:

- Importované vrstvy slouží k základní topografické, hydrologické a geologické orientaci v zájmovém území.
- Vytvořený digitální model reliéfu a z něj odvozené vrstvy (např. sklon a orientace svahů) umožňují lepší odhad míst například svahově denudačních a akumulčních procesů a hlavně je podkladem pro nejdůležitější podkladovou vrstvu, v předchozím kroku vytvořenou primární polygonovou reprezentaci elementárních forem.

Popisované vrstvy jsou následně exportovány do příruční GIS aplikace ArcPad. Tu je v budoucnosti možné přizpůsobit pro komfortní editaci atributů dokumentačních materiálů, nicméně zatím GmIS využívá standardního prostředí, které dostačuje.



Obr. 4.19. Uživatelské rozhraní ArcPad používaného pro terénní mapování.

V terénu GmIS poskytuje nástroje pro digitální sběr a editaci dat: příruční GIS aplikaci ArcPad, která umožňuje propojení s GPS přijímačem. Geomorfolog tak dostává okamžitou informaci o svojí poloze. V nejčastějším případě, tedy propojení ArcPad s navigační GPS,

je poloha přijímače za dobrých observačních podmínek známa s dostatečnou přesností zhruba 10 až 12 metrů v poloze a ovšem s nedostatečnou zhruba přesností ve výšce (hrubý odhad 20 m). Z toho plyne, že GPS měřením nelze opravovat výškové informace z DMR, je ovšem většinou dostatečná pro polohové mapování. Geomorfolog tak může zpřesňovat v kanceláři nad DMR vymezené tvary forem. V případě, že GPS měření nepostačuje, má geomorfolog k dispozici celou řadu nástrojů souřadnicové geometrie (*coordinate geometry – cogo*). Ty jsou vyobrazeny na obr. 4.19. Na obrázku je celkově zobrazena editace geometrie a atributů elementárních forem ve standardním uživatelském rozhraní ArcPad. Vpravo nahoře obrázek ukazuje také nástrojovou lištu, která umožňuje exportovat podkladová data z geomorfologické databáze do ArcPad a následně naměřená data importovat do GmDB zpět.

Nejpozději po zpětném importu dat z terénního mapování a před výpočtem morfometrických atributů ploch a hranic elementárních forem je standardními nástroji GIS vytvořena jejich sekundární reprezentace a validována topologická vazba obou reprezentací (popsáno v předchozí podkapitole 4.3.3). Další editace již může probíhat pouze přes nástroje topologické editace. Ovšem i tak je třeba počítat s tím, že změna geometrie forem ovlivňuje hodnoty morfometrických atributů forem, v případě změny geometrie je proto nutné morfometrické atributy znovu přepočítat.

4.3.5. Výpočet morfometrických charakteristik polygonů elementárních forem

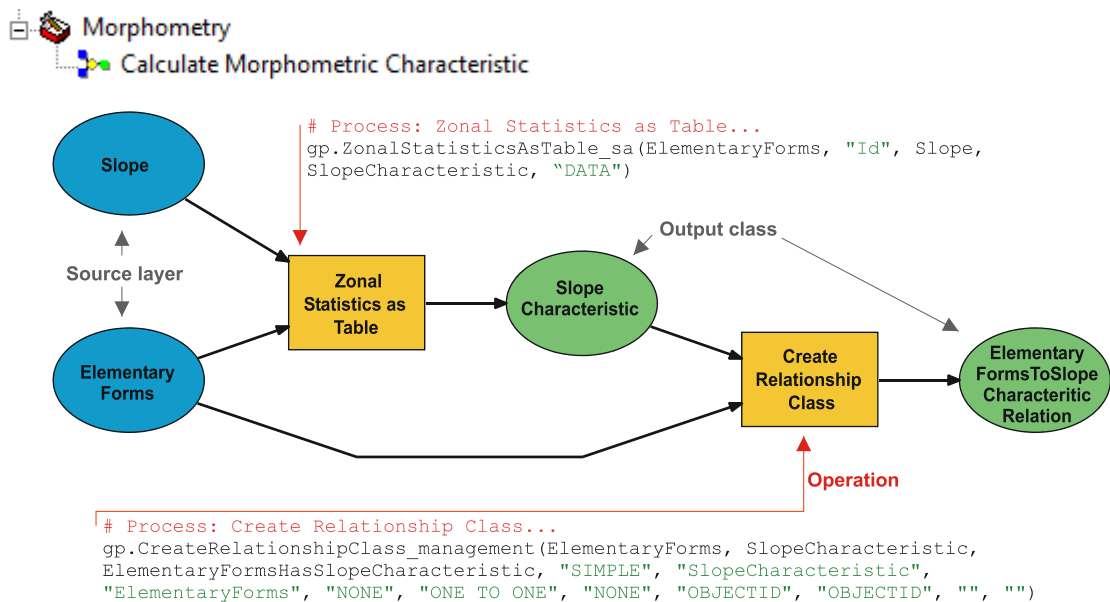
Dvě morfometrické charakteristiky elementární formy, její rozloha a obvod, jsou podporovány přímo datovým formátem geodatabáze. Jsou, stejně jako pro každou jinou polygonovou reprezentaci, ukládány do atributových sloupců *SHAPE_Area* a *SHAPE_Length*, a jsou dynamicky svázány s geometrií, tj. při změně geometrie je přepočítána jejich hodnota.

Výpočet dalších morfometrických charakteristik areálů elementárních forem je založen na výpočtu do jednotlivých zón agregovaných hodnot určité v realitě kontinuálně měnící se vlastnosti. Zónou je rozuměna elementární forma, vlastností pak například nadmořská výška či libovolná jiná morfometrická charakteristika vyjádřená rastrem odvozeným z DMR. Pro každou zónu je pak počítána například její maximální, minimální či průměrná hodnota.

Pro realizaci výše popsaného výpočtu v GmIS je využita zonální funkce mapové algebry (zonální statistika). Jejím výsledkem je tabulka obsahující jednoznačný identifikátor zóny (elementární formy) a následující atributy: maximum, průměr, minimum, rozsah, směrodatnou odchylku a sumu, počítané ze vstupního rastru reprezentujícího morfometrickou charakteristiku reliéfu. Pokud jsou vstupní hodnoty v rastru celočíselné,

tabulka navíc obsahuje i následující atributy: majoritu, medián, minoritu a varietu⁵⁸. Anglické názvy atributů lze nalézt v databázovém schématu na obr. 4.7.

Z výše popsaného plyne, že pro každou zájmovou morfometrickou charakteristiku (v základu pro nadmořskou výšku, sklon svahu, orientaci svahu, horizontální a normálovou křivost) je spuštěna zonální statistika a z výsledků vytvořena samostatná tabulka. Záznamy ve vzniklých tabulkách je následně vhodné přes relace v geomorfologické databázi svázat s areálovým vyjádřením příslušné elementární formy (přes identifikátor elementární formy *ElementaryFormID*). Vše spouští geomorfolog nástrojem *Calculate Morphometric Characteristic* z nástrojové sady *Morphometry*. Ta je, spolu s názorným diagramem průběhu nástroje, zobrazena na obr. 4.20.

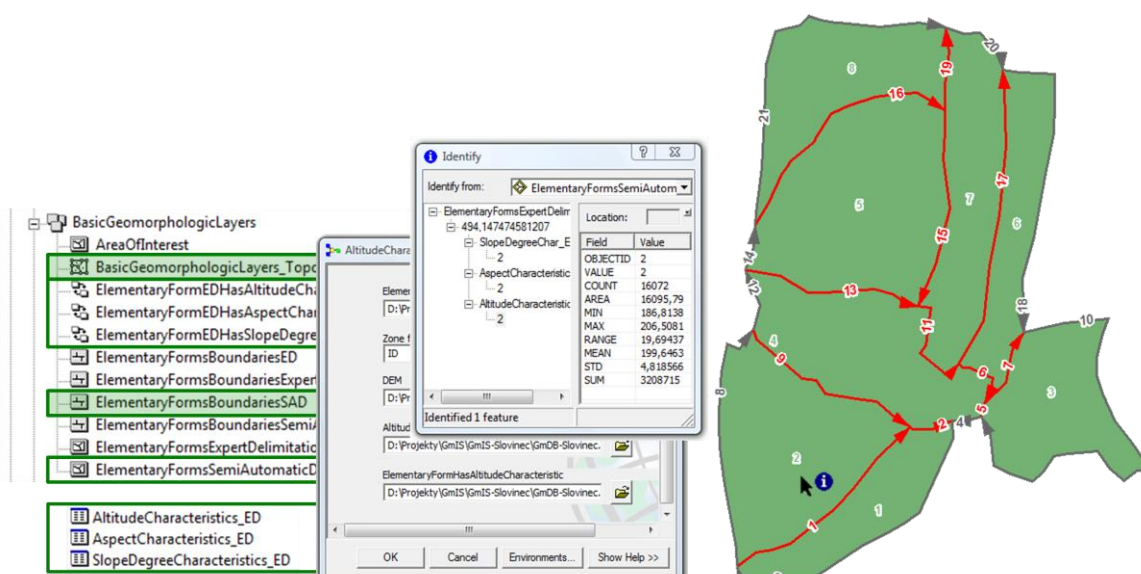


Obr. 4.20. Nástroj *Calculate Morphometric Characteristic*, převzato z Mentlík et al. (2006).

Primárně jsou tedy jednotlivé morfometrické charakteristiky přístupné přes procházení relačních vazeb, které je možno realizovat například standardním nástrojem *Identify* aplikace ArcMap (viz obr. 4.21). Na obrázku je patrné vytvoření tří nových tabulek pro morfometrické charakteristiky nadmořské výšky, orientace svahu a sklonu svahu, a jejich relační provázání s plochami forem. Dále jsou pro ukázkou přes nástroj *Identify* vypsané tyto vlastnosti u elementární formy s číslem 2.

⁵⁸ Více o funkci zonální statistiky lze nalézt v nápovědě:

<http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.2/index.cfm?TopicName=How%20Zonal%20Statistics%20works>



Obr. 4.21. Ukázka výpočtu vybraných morfometrických charakteristik pro plochy elementárních forem.

Klíčové morfometrické charakteristiky (vyjmenované v tabulce 3.12) lze interaktivně připojit přímo k vrstvě elementárních forem přes nástroj *Join* v ArcMap, kde lze přímo využít předdefinovaných relačních tříd. Toto propojení lze uložit buď do ArcMap projektu (*.mxd) nebo do souboru s příponou *.lyr (*layer file*).

Nakopírování vybraných morfometrických vlastností z jejich tabulek přímo do prvkové třídy elementárních forem je sice technicky možné, ovšem může způsobit nekonzistenci dat (udržování jedné informace na dvou místech) a proto není v GmIS podporováno. Stejně tak je důležité mít na zřeteli, že morfometrické charakteristiky (mimo rozlohy a obvodu) nejsou s geometrií forem svázány dynamicky (ale dávkově počítány), je proto třeba je počítat až po finalizaci geometrie, případně po její změně je znovu přepočítat.

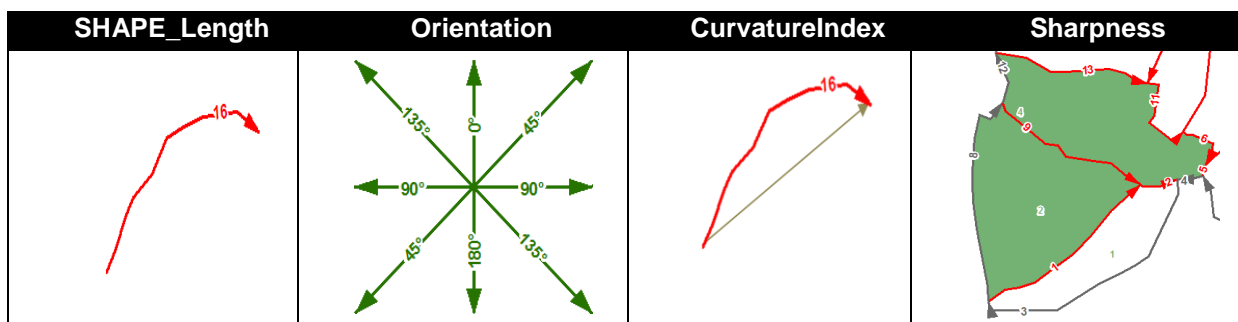
4.3.6. Výpočet morfometrických charakteristik hranic elementárních forem

Morfometrické atributy vztahující se k hranicím elementárních forem jsou v geodatabázi ukládány do vrstvy *DiscontinuityLines*⁵⁹, která je vytvořena jako sekundární reprezentace nástroji popsanými v podkapitole 4.3.3. Z hlediska návaznosti jednotlivých činností může být tvořena variantně před nebo až po terénním mapování. Pro jednodušší práci s příručním GIS je doporučeno generovat tuto reprezentaci až po vlastním mapování.

⁵⁹ V některých geomorfologických databázích též nazýváno *ElementaryFormBoundaries*.

V podkapitole 3.4.8 jsou popsány morfometrické charakteristiky hranic elementárních forem. Jsou členěny na dvě kategorie:

- vlastnosti odvoditelné ze samotné geometrie (segmentu) hranice, tj. její délka, orientace a míra zakřivení.
- Vlastnosti vyjádřené na základě vztahů dvou elementárních forem, které odděluje, tj. mohutnost, specifická a všeobecná ostrost hranice.



Obr. 4.22. Geometrické vyjádření jednotlivých morfometrických atributů hranic elementárních forem (délky, orientace, křivosti a ostrosti hranice).

Délka hranice je přímo podporována přímo datovým formátem geodatabáze. Stejně jako pro každou jinou liniovou vrstvu, je ukládána do atributového sloupce *SHAPE_Length*, a je dynamicky svázána s geometrií, tj. při změně geometrie je přepočítána její hodnota.

Další algoritmy pro výpočet morfometrických vlastností hranic elementárních forem bylo nutné do GmIS implementovat. Charakteristiky hranic jsou počítány dávkově a jsou volány přes grafické uživatelské rozhraní zobrazené na obr. 4.23. Po případné změně geometrie je potřeba tyto charakteristiky přepočítat, stejně jako tomu je u výše popisovaných charakteristik ploch elementárních forem.

Implementovány jsou konkrétně algoritmy pro výpočet atributů: orientace hranice, míry zakřivení a specifické ostrosti. Orientace hranice je určena jako orientace prvního a posledního bodu hranice v rozsahu 0 – 180° s nulovým směrem na sever (viz obr. 4.22), a ukládána do atributu s názvem *Orientation*. Následuje ukázka klíčové části zdrojového kódu pro výpočet orientace:

```

Set FromPoint = pSegment.FromPoint
Do Until pSegment Is Nothing
    Set ToPoint = pSegment.ToPoint
    pEnumSegs.Next pSegment, pPart, pSegIndex
Loop
Dim pTrendLine As ILine
Set pTrendLine = New Line
pTrendLine.FromPoint = FromPoint
pTrendLine.ToPoint = ToPoint

```

```

Dim Pi As Double
Pi = 4 * Atn(1)
Dim Angle As Double
Angle = (180 * (Pi / 2 - pTrendLine.Angle)) / Pi 'start north=0°,
                                                'start clockwise

If Angle < 0 Then
    Angle = Angle + 180
End If
If Angle > 180 Then
    Angle = Angle - 180
End If
'Angle = Angle - 90
TrendLineOrientation = Angle
    
```

Míra zakřivení hranice (*CurvatureIndex*) je počítána jako podíl délky linie k přímé vzdálenosti počátečního a koncového bodu (geometrické vyjádření viz obr. 4.22). Hodnoty atributu blízké jedné tedy hovoří o přímé hranici. Čím je hodnota větší, tím je hranice zakřivenější. Následuje ukázka klíčové části zdrojového kódu (VBA + ArcObjects pro výpočet míry zakřivení hranice:

```

Dim pCurve As esriGeometry.ICurve
Do Until pFeature Is Nothing
    Set pCurve = pFeature.Shape
    If PolylineDirectLength(pFeature) = 0 Then
        inputCurvFieldValue = -9999
    Else
        inputCurvFieldValue = pCurve.length /
            PolylineDirectLength(pFeature) 'Curvature Index
    End If
    pFeature.Value(inputCurvFieldIndex) = inputCurvFieldValue
    pUpCursor.UpdateFeature pFeature
    Set pFeature = pUpCursor.NextFeature
Loop
    
```

Algoritmy pro všechny tři vlastnosti vyjádřitelné na základě vztahů dvou elementárních forem, které odděluje, tj. mohutnost, specifická a všeobecná ostrost hranice, lze implementovat obdobným způsobem (viz obr. 4.22). V GmIS je v základu implementován algoritmus pro výpočet specifické ostrosti (konkrétně rozdíl plochy vlevo a vpravo), viz ukázka klíčové části zdrojového kódu pro její výpočet:

```

Do Until pTopoEdge Is Nothing
'Get the right and left parent polygon (if exists) and the parent edge
'for each edge in the graph
    RArea = -1
    LArea = -1
    
```

```
Set pEnumRightParentsPolygons = pTopoEdge.RightParents(True)
pEnumRightParentsPolygons.Reset
Set pRightPolygonFC = pEnumRightParentsPolygons.Next.m_pFC
pEnumRightParentsPolygons.Reset
pRightPolygonFID = pEnumRightParentsPolygons.Next.m_FID

If pEnumRightParentsPolygons.count > 0 Then
    Set pRightPolygon = pRightPolygonFC.GetFeature(pRightPolygonFID)
    Set pRightPolygonArea = pRightPolygon.Shape
    RArea = pRightPolygonArea.Area
End If

Set pEnumLeftParentsPolygons = pTopoEdge.LeftParents(True)
pEnumLeftParentsPolygons.Reset
Set pLeftPolygonFC = pEnumLeftParentsPolygons.Next.m_pFC
pEnumLeftParentsPolygons.Reset
pLeftPolygonFID = pEnumLeftParentsPolygons.Next.m_FID

If pEnumLeftParentsPolygons.count > 0 Then
    Set pLeftPolygon = pLeftPolygonFC.GetFeature(pLeftPolygonFID)
    Set pLeftPolygonArea = pLeftPolygon.Shape
    LArea = pLeftPolygonArea.Area
End If

'Calculate Sharpness
If LArea <> -1 And RArea <> -1 Then
    Sharpness = Abs(LArea - RArea)
Else
    Sharpness = -9999
End If

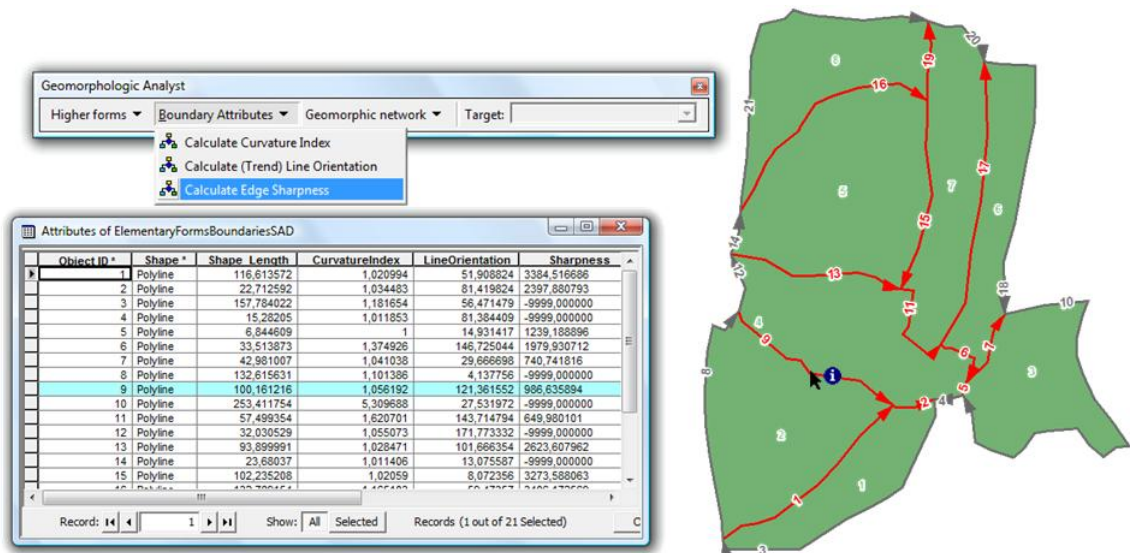
'Get the OID of the edge parent in the line feature class
Set pEnumTopoParent = pTopoEdge.Parents
pTopoParent = pEnumTopoParent.Next

Dim pTable As ITable
Dim pRow As IRow
Set pTable = pFeatClass
Set pRow = pTable.GetRow(pTopoParent.m_FID)
pRow.Value(inputSharpFieldIndex) = Sharpness
pRow.Store
Set pTopoEdge = pEnumTopoEdge.Next
Loop
```

Poznámka: Kompletní zdrojové kódy jsou obsaženy v příloze E.

Na obr. 4.23 je znázorněno grafické rozhraní pro spuštění jednotlivých výpočtů (nahore), dále vrstva hranic (šedé a červené linie) pro kterou jsou morfometrické charakteristiky

počítány (vpravo) a výsledné vypočtené charakteristiky v tabulce (vlevo dole). Šedou barvou jsou vyznačeny hranice forem, pro které není možno spočítat ostrost (ty segmenty hranic, jimž přiléhá pouze jedna forma), v tabulce označeno předvolenou hodnotou -9999. Červeně jsou vyjádřeny hranice, pro které lze spočítat všechny charakteristiky. V tabulce je azurovou barvou vybrána hranice č. 9. Za zmínku stojí také rovná hranice č. 5 ($CurvatureIndex = 1$).

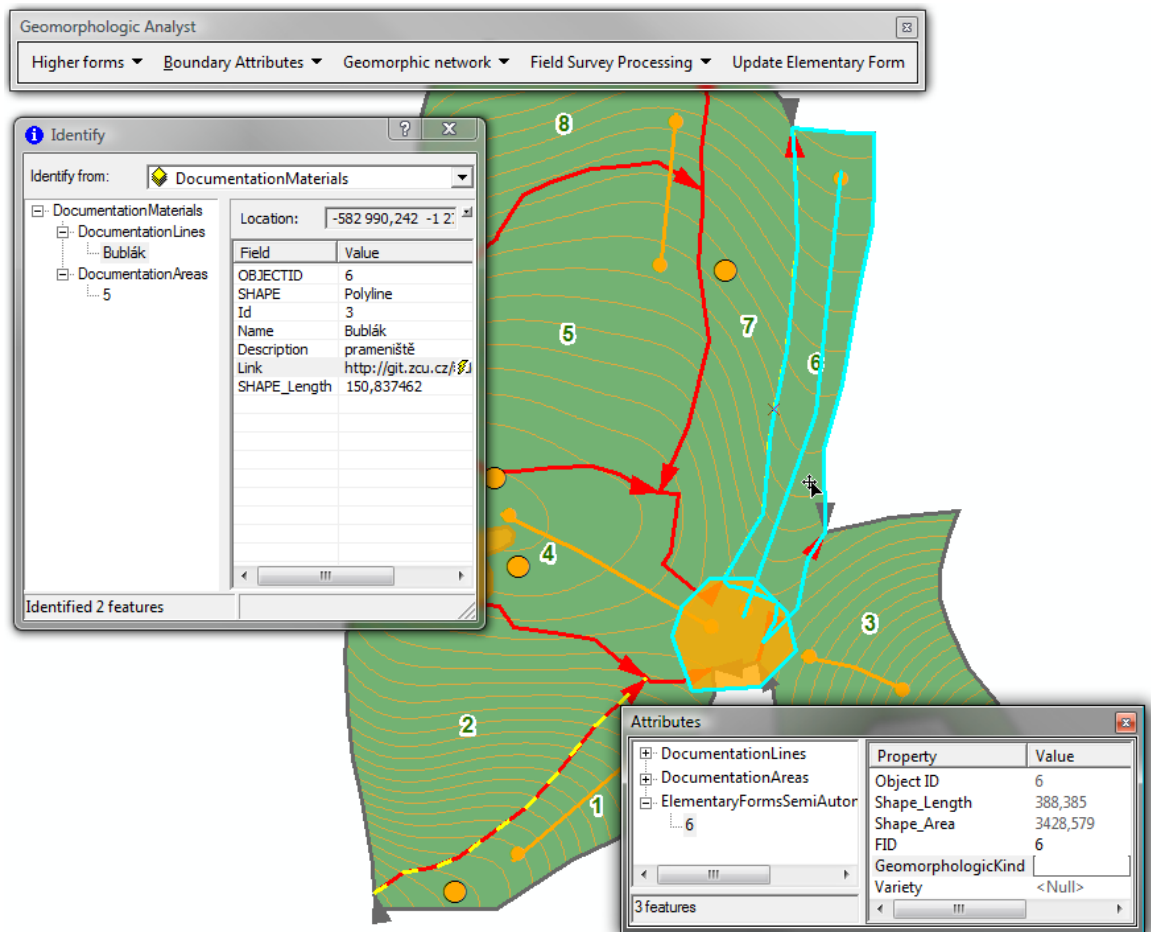


Obr. 4.23. Příklad výpočtu morfometrických charakteristik hranic elementárních forem.

4.3.7. Určení morfogenetických vlastností elementárních forem a tvorba vyšších úrovní forem reliéfu

Po provedení terénního mapování a výpočtu všech morfometrických charakteristik (ploch i hranic) elementárních forem přichází na řadu vyplnění morfogenetických atributů elementárních forem. To je v GmIS rozděleno na dvě fáze.

V první fázi geomorfolog na základě morfometrie a údajů z dokumentačních materiálů vyplňuje k plochám elementárních forem informace o jejich geomorfologickém druhu (*GeomorphologicKind*), a případně i o jeho varietě (*variety*). K tomu GmIS poskytuje interaktivní nástroj „Update elementary form“ (Jedlička & Šilhavý (2009)) pro výpis atributů dokumentačních materiálů, které mají s formou alespoň částečný geometrický překryv (jedna dokumentační plocha a jedna dokumentační linie na příkladu obr. 4.24).



Obr. 4.24. Ukázka editace atributů elementárních forem na základě údajů získaných terénním mapováním.

Interakce geomorfologa s GmIS spočívá v tom, že geomorfolog nejprve identifikuje elementární formu, jejíž atributy chce editovat. Nástroj následně vybere ty dokumentační materiály, které se s vybraným prvkem překrývají:

```
' access one selected feature of ElementaryForms layer
  Set pPoint = pRubberPoint.TrackNew(pMxDoc.ActiveView.ScreenDisplay,
Nothing)
```

```
  pMap.SelectByShape pPoint, PMXApp.SelectionEnvironment, True
  Set pEnumFeature = pMap.FeatureSelection
  Set pFeature = pEnumFeature.Next
```

```
' select features from documentation layers inside selected elementary
form and select nearby features from elementary form layer
```

```
  pMap.SelectByShape pFeature.Shape, PMXApp.SelectionEnvironment, False
```

Dále otevře okno *Identify Results*, ve kterém vypíše atributy vybraných dokumentačních materiálů.

```
' Create a new IdentifyDialog and associate it with the focus map and the
map's display
Set pIdentifyDialog = New IdentifyDialog
Set pIdentifyDialog.Map = pMxDoc.FocusMap
Set pIdentifyDialog.Display = PActiveView.ScreenDisplay
' Add features to an identify dialog box
Do Until pFeature Is Nothing
pIdentifyDialog.AddLayerIdentifyOID pLayer, pFeature.OID
Set pFeature = pCuroso.NextRow
Loop
```

Zapne editaci vrstvy elementárních forem a otevře okno pro editaci atributů vybrané formy:

```
' Find layer number of ElementaryForms layer
elemF = "ElementaryForms"
For i = 0 To pMap.LayerCount - 1
    If pMap.Layer(i).Name = elemF Then
        cisloElemF = i
        Exit For
    End If
Next i
' Start editing
If TypeOf pMap.Layer(cisloElemF) Is IFeatureLayer Then
    Set pFeatureLayer = pMap.Layer(cisloElemF)
    Set pDataset = pFeatureLayer.FeatureClass
    pEditor.StartEditing pDataset.Workspace
End If
' Open attribute dialog box
'Loop through all of the extensions to find the attribute window
Set pExtensionManager = pEditor 'QI
For iExtensionCount = 0 To pExtensionManager.ExtensionCount - 1
    Set pExtension = pExtensionManager.Extension(iExtensionCount)
    If pExtension.Name = "AttributeWindow" Then Exit For
Next iExtensionCount
Set pAttributeWindow = pExtension 'QI
pAttributeWindow.Visible = True60
```

Na základě takto vizualizované informace a svých zkušeností geomorfolog vyplňuje morfogenetickou charakteristiku druh a varietu.

V druhé fázi geomorfolog nejdříve vyplní referenční tabulku, kde pro každou kombinaci druhu a jeho variety vyplní všechny další, hierarchicky vyšší, morfogenetické atributy (*SubFamily*, *Family*, *SubClass*, *Class*, *SubGroup*, *Group*). Je přitom vycházeno

⁶⁰ Zdrojové kódy uvedené v této podkapitole jsou převzaty z:
http://git.zcu.cz/index.php/GmIS_GmT_GUIForEditingElementaryForms

z předpokladu, že platí hierarchické vztahy (kardinalita vazby $N : 1$), tedy že z N geomorfologických druhů se skládá 1 podrodina, z N podrodin 1 rodina, atd. až po skupinu.

V praxi (viz Vracovský (2007)) se na příkladu Prášílského jezera ukázalo, že tato hierarchie nemusí vždy platit. Nicméně pokud geomorfolog hierarchický vztah $N:1$ zachová vždy alespoň pro vztah *geomorfologický druh : vybraný hierarchicky vyšší morfogenetický atribut*, lze potom na základě referenční tabulky automatizovaně doplnit atributy všem elementárním formám v oblasti podle toho, jaký je jejich geomorfologický druh (realizace viz Vracovský (2007)).

Pokud výše uvedená podmínka splněna není, nelze tuto funkci GmIS využít a geomorfolog musí vyplnit hierarchicky vyšší morfogenetické atributy pro všechny elementární formy ručně.

Po vyplnění všech morfogenetických atributů, je spuštěn modul pro tvorbu hierarchicky vyšších morfogenetických vrstev. Ten vytvoří topologicky svázanou duální (areálovou i liniovou) reprezentaci na úrovni geomorfologické podrodiny, rodiny, podtřídy, třídy, podskupiny či skupiny. Tuto reprezentaci navíc topologicky sváže s vrstvami reprezentujícími elementární formy. Bylo realizováno již v práci Vracovský (2007).

Shrnutí:

- Morfometrické charakteristiky počítané pro elementární formy lze v případě potřeby vypočítat i pro libovolnou vyšší hierarchickou úroveň.
- Výsledná vícevrstvá reprezentace je nicméně editovatelná již pouze topologickými nástroji, a i zde platí, že po změně geometrie je třeba přepočítat dotčenou morfometrii.
- Je-li vytvořen sloupec, do kterého geomorfolog zapíše informace o tom, které elementární formy tvoří určité individuální formy (viz 3.4.10, ii), lze výše popsané nástroje použít i pro ně.
- Specifická a důležitá role GmIS spočívá právě v možnosti objektivizace procesu hierarchizace geomorfologické regionalizace Minár et al. (2005).

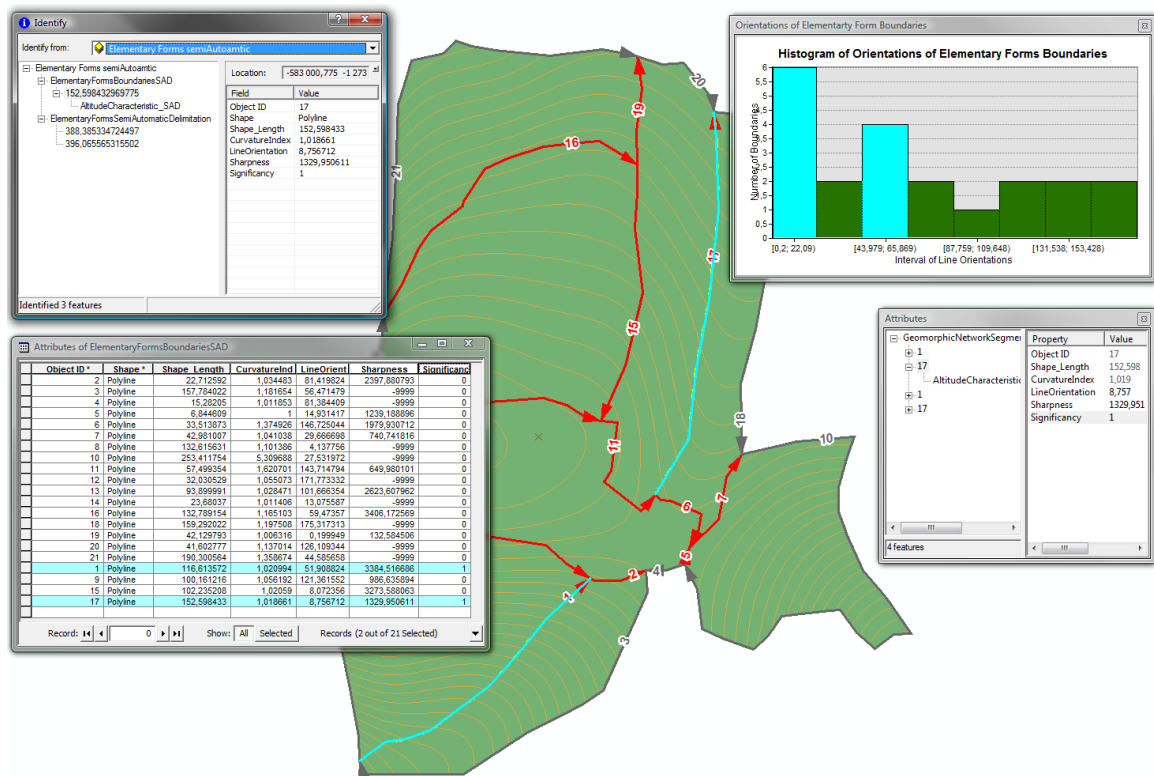
4.3.8. Tvorba geomorfologické mřížky

Geomorfologickou mřížku vymezuje geomorfolog na základě svých zkušeností a informací uložených v geomorfologické databázi. K realizaci jejího vymezení v GmIS je použito níže popsané zřetězení standardních nástrojů ArcGIS.

V první fázi geomorfolog zkoumá morfometrické atributy jednotlivých segmentů hranic elementárních forem a určuje prahové hodnoty významnosti pro atributy délku a zakřivení

a ostrost. Segmenty hranic, jejichž atributy nedosahují prahových hodnot, jsou z dalšího vymezení vyloučeny. Prahové hodnoty jsou zadávány do vlastnosti *Definition Query* virtuální vrstvy (pohledu na vrstvu *DiscontinuityLines* či *ElementaryFormsBoundaries*) *GeomorphicNetworkSegments* vizualizované v prostředí ArcMap. Jejich změnami dochází ke změně vizualizace vybraných segmentů (jsou zvýrazněny pouze hranice, splňující zadané podmínky. Pro příklad na obr. 4.25 jsou použity následující prahové hodnoty (vyhovující hrany jsou označeny azurovou barvou):

("Shape_Length">110) AND ("CurvatureIndex"<1.1) AND ("Sharpness">1000)



Obr. 4.25. Pohled na vymezení segmentů geomorfologické mřížky (azurové linie).

V druhé fázi následuje rozdělení hranic podle jejich orientace vůči světovým stranám (atribut *orientation*) a nalezení významných směrů. Na příkladu na obr. 4.25 je patrné, že segmenty hranic vybrané do geomorfologické mřížky (azurová barva) leží ve významných směrech, protože v histogramu směrů (vpravo nahoře, vytvořen jako interaktivní graf) pro vrstvu hranic forem se nacházejí v intervalech převažujících směrů (také azurová barva).

V třetí fázi geomorfolog rozlišuje segmenty hranic na nevýznamné a významné, které patří do geomorfologické mřížky. K tomu slouží atributové pole *Significance*. Jednoduchou podmínkou do standardní funkce ArcGIS *Calculate Field* (viz ukázka VBA kódu pod odstavcem), lze dávkově vyplnit atribut pro segmenty, splňující prahové hodnoty:

```
Dim Result As Integer
If ([Shape_Length]>110) and ([CurvatureIndex]<1.10) and
  ([Sharpness]>1000)
Then
  Result = 1
Else
  Result = 0
End If

[Significancy] = Result
```

Ručně potom může geomorfolog tento atribut vyplnit i u dalších, podle jeho uvážení významných hran, pomocí nástroje Attributes (obr. 4.25 vpravo dole).

Pokud to geomorfolog uzná za vhodné, může alternativně vymezovat mřížku tradičním způsobem na základě vizuálního zkoumání, a vektorizovat ji do nové vrstvy.

5. Nasazení GmIS v zájmových územích

Geomorfologický informační systém byl nasazen a testován na třech zájmových územích, jejichž základní vymezení je uvedeno v podkapitole 2.2.4. Účelem testování bylo ověření funkcionality GmIS pro účely geomorfologického výzkumu. Na každém ze zájmových území byly využity odlišné nástroje GmIS v závislosti na tom, jaké nástroje byly v konkrétní oblasti potřeba pro geomorfologický výzkum. Ukázky výstupů z jednotlivých nasazení GmIS následují v podkapitolách 5.1 až 5.3.

5.1. Okolí Prášílského jezera

Na tomto zájmovém území (popsané v 2.2.4, i) byla vytvořena koncepce GmIS, definována základní struktura geomorfologické databáze a identifikovány činnosti prováděné v GmIS.

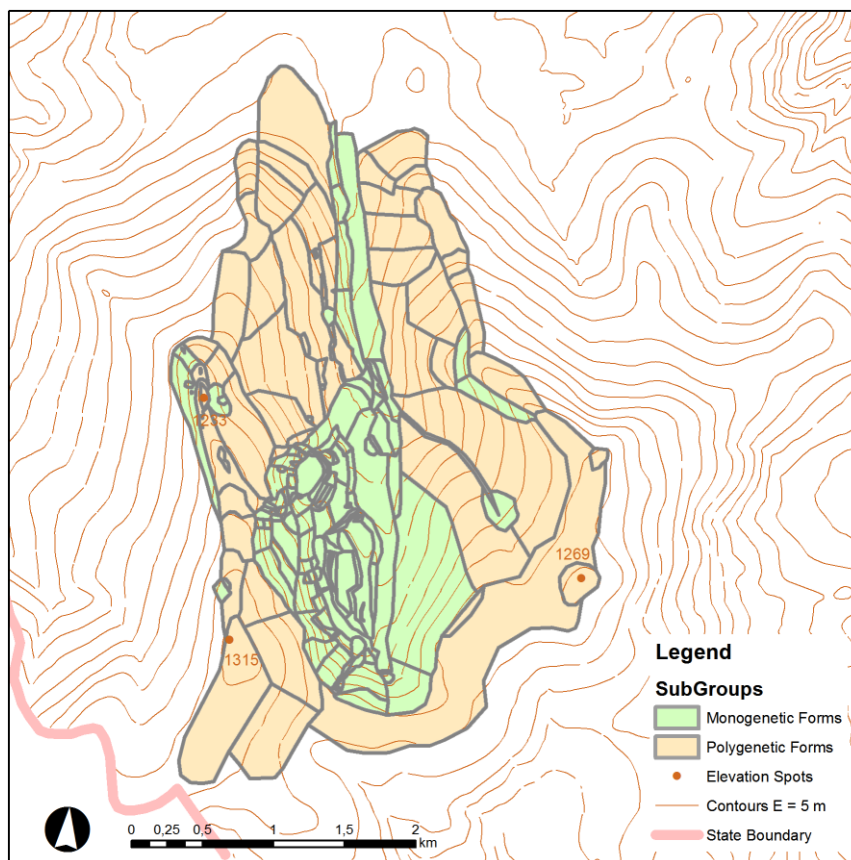
Byly použity nástroje pro vytvoření zdrojové geomorfologické databáze (podkapitola 3.4.2), nástroje pro její naplnění převzatými geografickými daty (podkapitola 3.4.3) a nástroje pro tvorbu DMR a z něj odvozených povrchů (podkapitola 3.4.4). Následovalo vymezení elementárních forem (podkapitola 3.4.5, hranice forem jsou patrné na obr. 5.1) a terénní mapování (podkapitola 3.4.6), které probíhalo s využitím GPS technologie pro sběr prostorové složky dat. Pro nasazení výpočtů morfometrických areálů a hranic forem (podkapitoly 3.4.7 a 3.4.8) se ukázala nutnost nastavení topologie a kontroly topologických pravidel po terénním mapování. Na základě interpretace terénního výzkumu byly geomorfologem vyplněny morfogenetické charakteristiky elementárních forem (podkapitola 3.4.9), ze kterých byly vymezeny vyšší hierarchické formy reliéfu (podkapitola 3.4.10, ukázka na obr. 5.1).

Poté byla geomorfologem ručně vymezena geomorfologická mřížka pro 1. až 3. řád (převzato z publikace Mentlík 2006). Na obr. 5.2 jsou zobrazeny geomorfologem manuálně vymezené segmenty mřížky (jejich popis je v legendě). Zároveň jsou na obrázku azurovou barvou zvýrazněny minimálně zakřivené segmenty hranic elementárních forem s výraznou délkou a ostrostí, tj. potenciálně významné hranice vybrané atributovým dotazem s prahovými hodnotami experimentálně určenými pro zájmové území:

```
("Shape_Length">400) AND ("CurvatureIndex"<1.0300) AND ("Sharpness">55000)
```

Segmenty, které vyhověly podmínce, byly porovnávány s geomorfologem vymezenou mřížkou. Při porovnání se ukázalo, že segmenty hranic vytipované pomocí GmIS naznačují směry linií geomorfologické mřížky, ale nemohou být v daném zájmovém území jediným podkladem pro její tvorbu. Důvodem je plošně malý rozsah vymezených

elementárních forem, a dále nestejnorodá podrobnost jejich vymezení. Geomorfolog zde, pro jím vymezenou mřížku vzal v úvahu širší okolí zkoumané lokality.

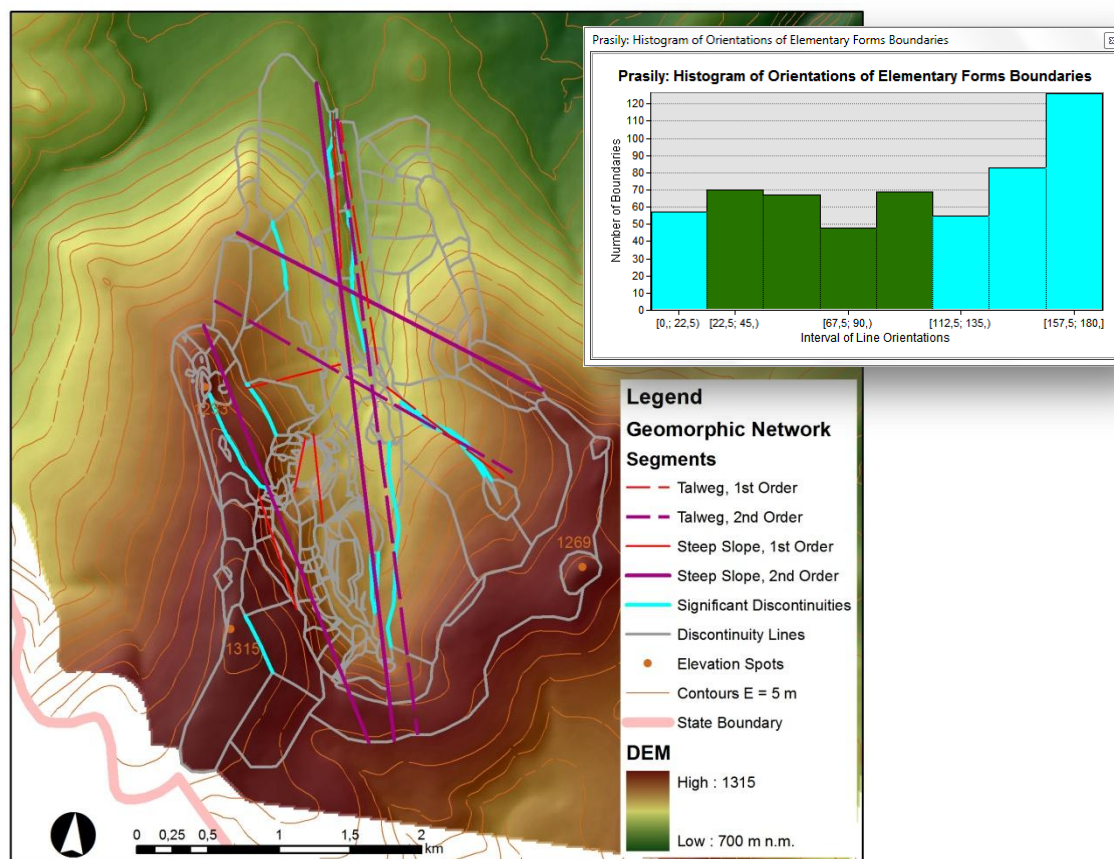


Obr. 5.1. Vymezené vyšší hierarchické formy reliéfu (na úrovni podskupiny) v okolí Prácheňského jezera zobrazené s topografickým podkladem. Šedé čáry zobrazují hranice původních elementárních forem, ze kterých byly vyšší formy vymezeny. Zeleně jsou vyznačeny monogenetické formy, hnědou barvou formy polygenetické.

Zpracováno podle Mentlík (2006).

Byly navrženy dva reálně možné postupy vymezení mřížky:

- a) Geomorfolog použije morfometrické charakteristiky hranic forem jako vodítko, při vymezení mřížky klade velký důraz na další informace (průběh terénu v širším okolí, geologické mapy, atp.), viz Mentlík 2006.
- b) Geomorfolog použije morfometrické charakteristiky hranic forem jako hlavní zdroj pro tvorbu mřížky, ostatní informační zdroje bere pouze jako kontrolní – potvrzující, či vyvracející jeho závěry. Tento postup bude možné otestovat, až bude existovat nástroj pro automatizované vymezení elementárních forem (popisovaný v Pacina 2008), který umožní relativně snadno vymežovat elementární formy ve velkých územích.

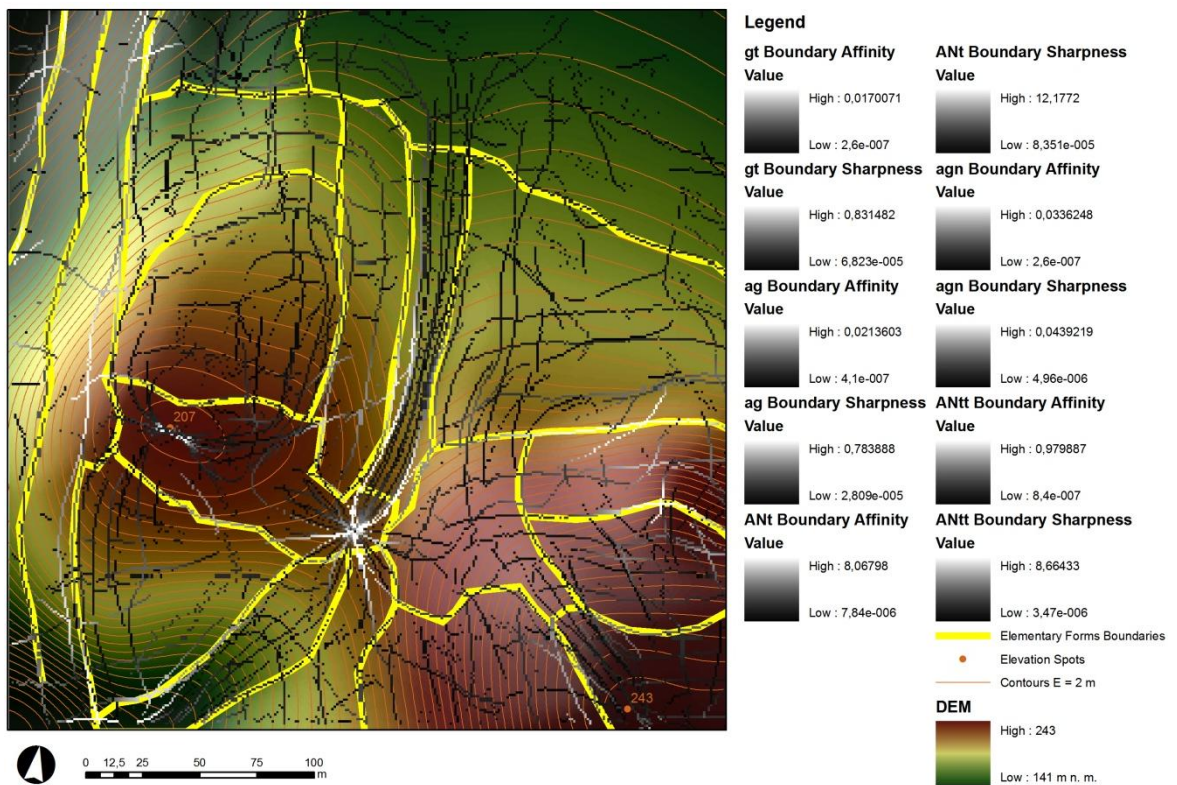


Obr. 5.2. Porovnání geomorfologem vymezené mřížky (Mentlík (2006)) se segmenty vymezenými na základě jejich morfometrických vlastností (azurová barva) v okolí Prášilského jezera.

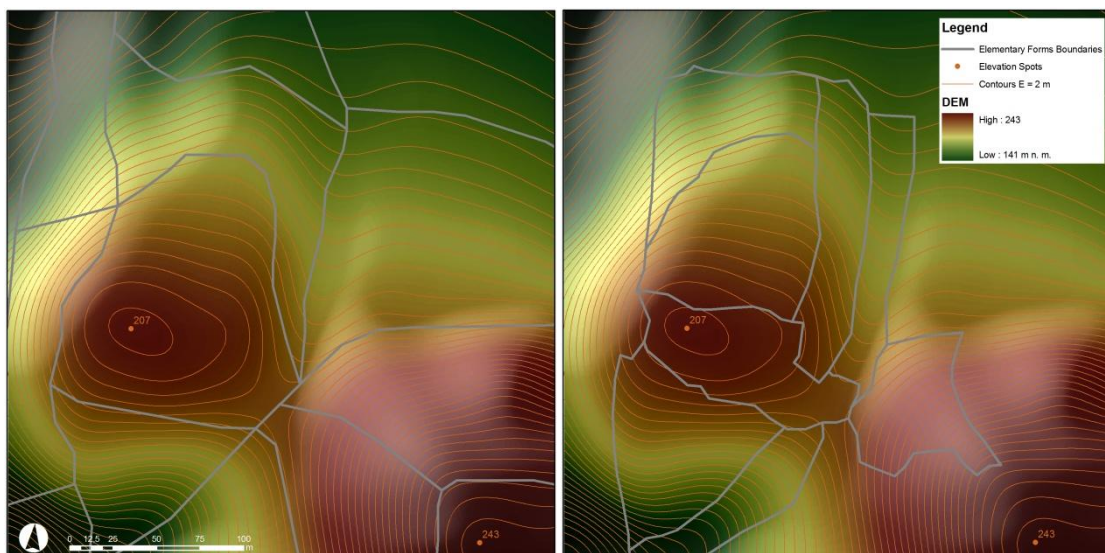
5.2. Devínská kobyla

Dalším zájmovým územím byla lokalita Devínská Kobyla (popsaná v 2.2.4, ii), na které bylo poprvé testováno automatizované vymezení elementárních forem reliéfu (Pacina (2008)) a jeho import do geomorfologické databáze (podkapitola 3.4.5). GmDB této zájmové oblasti proto obsahuje skupinu patnácti rastrů, které jsou výstupem Pacinova algoritmu. Základem je pět rastrů vyšších morfometrických charakteristik (změna gradientu ve směru vrstevnice, změna orientace ve směru spádnice, změna orientace ve směru vrstevnice, změna změny orientace ve směru spádnice, změna změny orientace ve směru vrstevnice, viz 4.2.2, i), které popisují takové morfometrické charakteristiky odvozené od DMR, které jsou vhodné pro vymezení hranic elementárních forem reliéfu. Z každého tohoto rastru jsou následně vypočteny rastry ostrosti a afinity. Podrobnosti výpočtu rastrů popisuje Pacina (2008). Pro jejich správnou interpretaci postačí uvést, že vyhledávání extrémů rastrů ostrosti a afinity vede na vymezení linií nespojitosti a tedy hranic elementárních forem. Na obr 5.3 jsou zobrazeny rastry afinit a ostrostí vyšších morfometrických charakteristik a následně vymezené hranice forem (podrobněji viz

podkapitola 4.2.2, i). Z obr. 5.4, který zobrazuje automatizovaně a manuálně vymezené formy, lze získat představu o potenciálu automatizované elementarizace.



Obr 5.3. Rastry afinit a ostrostí vyšších morfometrických charakteristik (odstíny šedé) a následně vymezené hranice forem (žlutá barva). Zpracováno podle výsledků publikovaných v práci Pacina (2008).

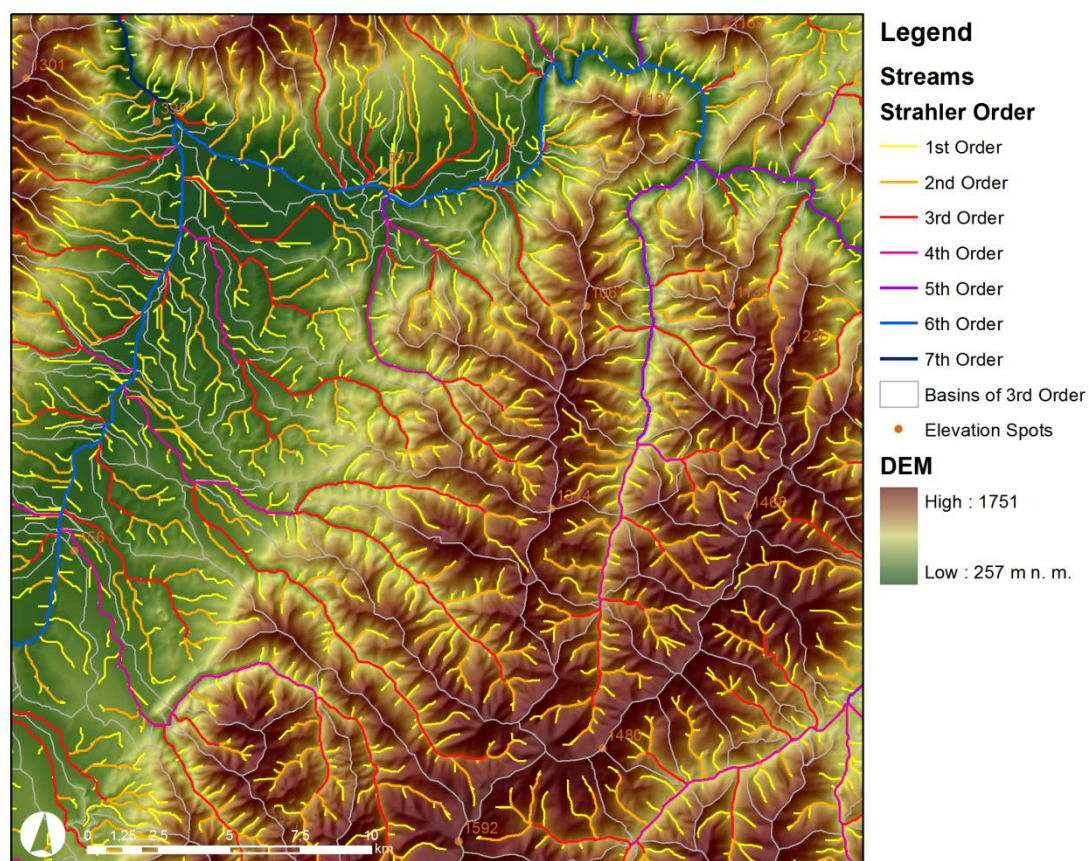


Obr. 5.4 Manuálně (vlevo) a automatizovaně vymezené hranice forem (vpravo). Zpracováno podle výsledků publikovaných v práci Pacina (2008).

Nad vymezenými formami bylo testováno zpracování dokumentačních materiálů vzniklých při geomorfologickém mapování (koncepce popsána v podkapitole 3.4.9, ukázka je zobrazena na obr. 4.24 v podkapitole 4.3.7). Opět byly využity nástroje pro výpočet morfometrických charakteristik areálů i hranic forem (podkapitoly 3.4.7 a 3.4.8) a také postup pro vymezení segmentů geomorfologické mřížky (koncepce popsána v podkapitole 3.4.13, ukázka segmentů mřížky je zobrazena na obr. 4.25 v podkapitole 4.3.8).

5.3. Okolí Turčianské kotliny

Třetím územím byla zvolena poměrně rozsáhlá oblast Turčianské kotliny rozkládající se na rozhraní několika pohoří. Konfigurace oblasti (popsaná v 2.2.4, i) vytváří heterogenní podmínky, které umožňují podrobné prozkoumání a testování nástrojů GmIS.

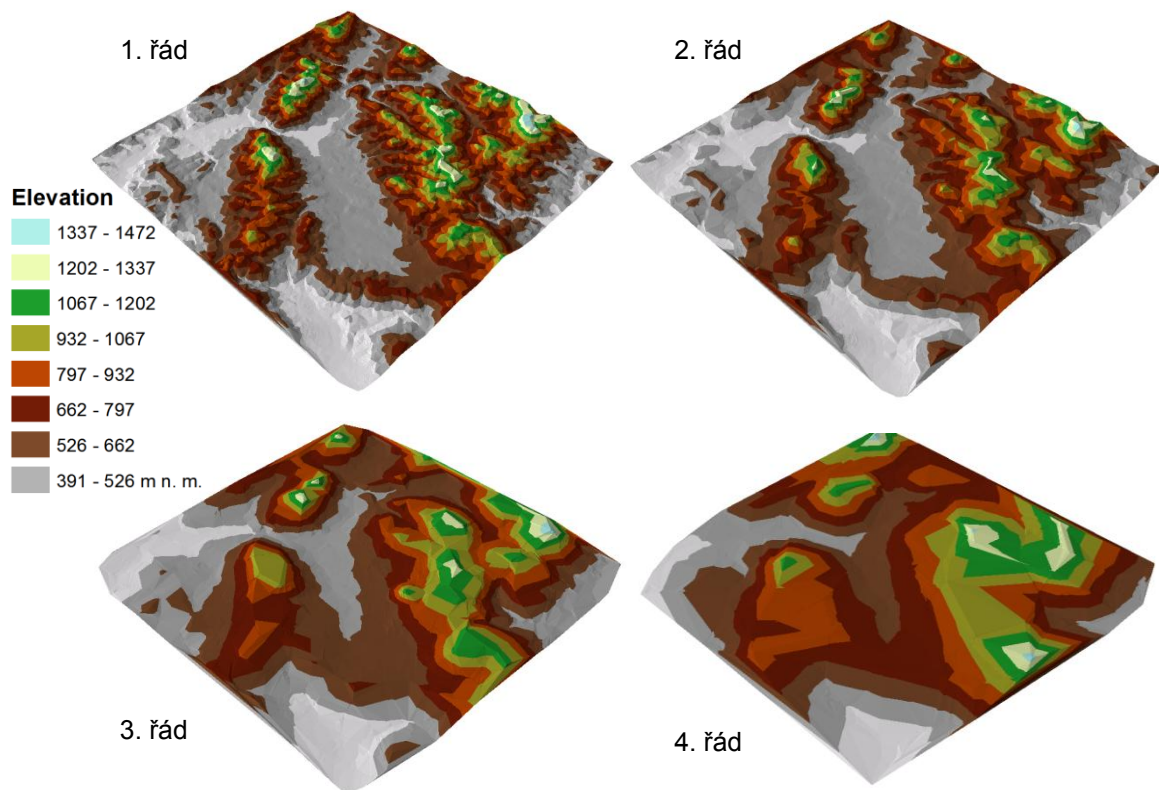


Obr. 5.5. Rozčlenění zájmového území na povodí třetího řádu s vodními toky hierarchizovanými podle Strahler (1952); výřez.

Toto zájmové území je oproti prvním dvěma daleko rozsáhlejší (jedná se o čtverec o stranách 50 x 50 km). Do území o velikosti 2 500 km² zasahuje sedm různých geomorfologických jednotek. Datově je oblast je pokrytá rastrovým DMR o velikosti

buňky 25 metrů, který byl vytvořen z vrstevnic o ekvidistanci 5 m. V zájmové oblasti bylo vymezeno 20 000 povodí.

V okolí Turčianské kotliny byly vypočteny rastry vyšších morfometrických charakteristik, vzhledem k rozsahu území z nich ještě nebyly vymezeny hranice a areály forem. Místo členění zájmové oblasti na elementární formy byla rozčleněna na povodí (koncepte viz podkapitoly 3.4.11 a 3.4.12, ukázka pro povodí třetích řádů viz obr. 5.5). Pro jednotlivá povodí byly vypočítány areálové morfometrické charakteristiky (využity postupy z podkapitoly 3.4.7)



Obr. 5.6. Bázové povrchy prvního až čtvrtého řádu v perspektivním zobrazení.

Nad rámec činností popisovaných v koncepci GmIS byly při nasazení na této oblasti vyvinuty a nasazeny algoritmy pro automatizovaný výpočet bázových povrchů. Bázový povrch je hypotetický povrch terénu vytvořený z údolnic určitého řádu (podle klasifikace Strahlera (1952)). Pomocí bázových povrchů je možné modelovat, jak eroze utvářela reliéf zájmové oblasti. Pro výpočet bázových povrchů v GmIS bylo nejprve nutné z DMR vymežit hydrologickými nástroji ArcGIS vodní toky, které představují údolnice. Jednotlivým údolnicím byly následně přiřazeny řády podle Strahlera (1952), tedy

u „prameniště“ první řád, při soutoku dvou údolnic stejného řádu je odtékající údolnice označena řádem o jedno vyšším. Takto ohodnoceným údolnicím byla přiřazena nadmořská výška (pro každý jejich lomový bod) z DMR. Následně byly pouze z těchto linií triangulací vytvořeny bázové povrchy 1. až 4. řádu, které byly porovnány s povrchy manuálně vymezenými na $\frac{1}{4}$ zájmového území (vymezil Sládek (2006)). Prokázalo se, že automatizovanou formou lze ušetřit desítky hodin manuálního vymezení bázových povrchů, je odstraněn subjektivní pohled geomorfologa a výsledky jsou shodné. Více viz Jedlička & Sládek (2009), ukázka na obr. 5.6.

6. Výsledky

V rámci disertační práce byla vytvořena původní koncepce geomorfologického informačního systému a zvoleny technologie pro jeho realizaci. Fyzický návrh struktury geomorfologické databáze byl ověřen ve studii v zájmových územích Prášílské jezero na Šumavě, Slovinec na Devínské Kobyle a Turčianská kotlina ve Fatransko-tatranské oblasti. Byly identifikovány a popsány klíčové činnosti, které GmIS musí umožňovat. Pro činnosti realizovatelné standardními nástroji zvolené technologie je dokumentován konkrétní postup využití těchto nástrojů. Pro činnosti, které nemohly být realizovány standardními nástroji, byly vytvořeny nástroje nové. GmIS je v současné době realizován jako prototyp a byl nasazen na třech zájmových územích. Následující podkapitoly shrnují dosažené výsledky a odkazuje na statě v časopisech a konferenčních sbornících, ve kterých byly výsledky publikovány.

6.1. Koncepce GmIS

Základní koncepce byla navržena na základě identifikace uživatelských požadavků geomorfologů. Koncepce byla definována ve spolupráci s geomorfology z Univerzity Komenského v Bratislavě a Západočeské univerzity v Plzni. Základní koncepce byla publikována v práci Minár et al. (2005), a dále rozvinuta v Mentlík et al. (2006), autor této disertační práce se ve zmiňovaných publikacích podílel na analýze uživatelských požadavků a návrhu koncepce systému vhodné pro digitální prostředí. Takto publikovaná koncepce byla postupně doplňována a precizována na základě detailní analýzy uživatelských požadavků, Jedlička (2008).

Stručně lze říci, že GmIS má strukturální jádro, které je utvářeno a měněno činnostmi, probíhajícími v rámci geomorfologického výzkumu zájmové oblasti. Struktura GmIS je postavena na koncepci elementárních forem georeliéfu, které chápe jako základní mapovací jednotky georeliéfu a základní stavební jednotky geografické reprezentace oblasti, ke kterým se přiřazují zjištěné vlastnosti o reliéfu.

Dynamika systému je popisována pomocí činností – postupů popisujících, jak používat nástroje GmIS pro naplnění struktury (databáze) systému daty, a postupy, jak tato data dále analyzovat a získávat z nich informace relevantní z hlediska geomorfologického zkoumání zájmové oblasti.

6.2. Realizace prototypu GmIS

Prototyp (z řeckého *prótos*, první, a *typos*, ražba) je vzorový, pokusný první výrobek nebo vůbec příkladný exemplář nějaké třídy věcí⁶¹. V oblasti informačních technologií je pod pojmem prototyp chápán originální model hardware nebo software. Jeho tvorba spočívá ve vývoji nového či rozvíjení existujícího systému s důrazem na zpětnou vazbu uživatelů v průběhu hodnocení systému.⁶²

Prototyp GmIS je postaven na technologiích firmy ESRI. Jedná se o rozšíření těchto technologií o nástroje, které umožní urychlit činnosti vykonávané při plošném geomorfologickém výzkumu (elementarizace reliéfu, terénní mapování, výpočty morfometrických a vymezení morfogenetických charakteristik, a dále např. tvorba geomorfologické mřížky či vymezení bazových povrchů).

Analytické jádro GmIS je postaveno nad profesionálním GIS (ArcGIS 9.3.1) sestávajícího se z aplikací ArcMap a ArcCatalog, doplněných o sadu geomorfologických analytických nástrojů (sada nástrojů pro ArcToolbox) a nástrojovou lištu geomorfologický analyt (vytvořenou ve VBA s využitím ArcObjects). Pro sběr dat je využívána aplikace ArcPad, určená pro mobilní zařízení. Prototyp GmIS je příkladem aplikačního geografického informačního systému s důrazem na analytickou funkcionalitu. Kromě původního *geosoftwaru* je GmIS tvořen operačním systémem (nejčastěji Windows, resp. Windows Mobile pro příruční GIS) provozovaným na standardním *hardware* (notebook, pocket PC, stolní PC, atp.). Součástí GmIS jsou *data* uložená v geomorfologické databázi, která může být uložena v osobní nebo souborové geodatabázi, případně v plnohodnotné databázi (např. Oracle rozšířený o ArcSDE, které umožní databázi spravovat geografická data). Pro účely GmIS je využívána osobní a souborová geodatabáze. GmIS je obsluhován *lidmi*, profesně geoinformatiky a geomorfology.

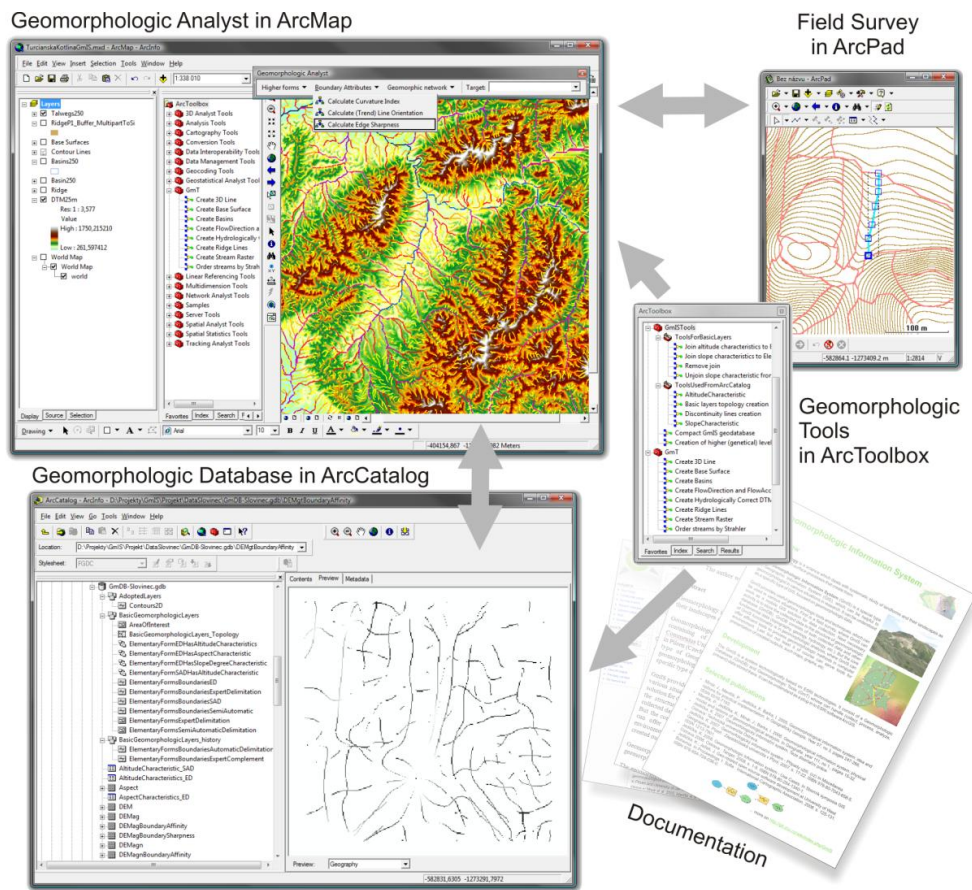
Konkrétní geomorfologické nástroje jsou sdruženy v nástrojové liště *Geomorphologic Tools* v ArcToolbox a je možné je volat buď z aplikace ArcCatalog nebo ArcMap. Aplikace ArcMap dále poskytuje řádkové menu *Geomorphologic Analyst*, které sdružuje další geomorfologické nástroje. Průběh prací v GmIS vychází z již popsaných činností. Nejprve je potřeba v ArcCatalog založit novou geomorfologickou databázi (geodatabázi s patřičnou strukturou) a importovat do ní dostupná podkladová data.

V ArcMap jsou následně geomorfologické nástroje využity pro tvorbu digitálního modelu reliéfu a z něj odvozených vrstev. Na základě jejich interpretace je pak provedena elementarizace reliéfu na elementární formy. Takto připravená geomorfologická databáze

⁶¹ Převzato z <http://cs.wikipedia.org/wiki/Prototyp>.

⁶² Upraveno podle <http://www.answers.com/topic/prototype>.

slouží jako podklad pro geomorfologické mapování v terénu. Data jsou proto pomocí standardních nástrojů ArcGIS exportována z geomorfologické databáze do projektu pro ArcPad, ve kterém probíhá záznam veškerých sebraných dat při práci v terénu. Po skončení terénních prací jsou data importována zpět do GmDB. Je tvořena sekundární reprezentace elementárních forem reliéfu a nástroji geomorfologického analystu jsou počítány morfometrické charakteristiky ploch a hranic forem. Po jejich vymezení geomorfolog za pomoci nástroje *Update Elementary Form* vyplňuje morfogenetické atributy k jednotlivým formám reliéfu. Po jejich doplnění lze generovat vyšší hierarchické či typologické úrovně forem. Nakonec poskytuje GmIS návod, jak pomocí řetězení standardního uživatelského rozhraní ArcMap vymezit segmenty geomorfologické mřížky. Důležitá je samozřejmě také dokumentace celého systému. K tomu slouží tato práce. Další informační zdroje lze nalézt na stránkách věnovaných projektu (<http://git.zcu.cz/index.php/GmIS>). Ukázka propojení jednotlivých softwarových komponent prototypu GmIS je na obr. 6.1.



Obr. 6.1. Propojení jednotlivých softwarových komponent v prototypu GmIS, převzato z Jedlička (2009c).

Prototyp GmIS byl nasazen ve třech verzích pro tři různá zájmová území (viz kapitola 5). Součástí každého nasazení je geomorfologická databáze jako osobní geodatabáze (*.mdb) nebo souborová databáze (uložena v adresáři *.gdb), nástrojová lišta s používanými geomorfologickými nástroji (*.tbx) a projekt pro ArcMap (*.mxd) s horizontálním menu, které obsahuje použité funkce geomorfologického analystu. Na přiloženém DVD (příloha E) jsou pro přehlednost seskupena všechna tři nasazení GmIS do jednoho ArcMap projektu. Prototyp GmIS byl představen v publikacích Jedlička & Šilhavý (2009), Jedlička (2009c) a (2010).

6.3. Závěry z nasazení GmIS

Ověření koncepce a testování funkcionality GmIS postaveného nad elementárními formami reliéfu proběhlo v okolí Prášilského jezera. Geomorfologický informační systém byl na tomto území využit pro všechny činnosti (mimo vymezení povodí), které byly identifikovány v koncepční fázi návrhu systému, a byla naplněna geomorfologická databáze.

I když byly morfometrické charakteristiky areálů a hranic forem vypočítány i pro okolí Prášilského jezera, vývoj a testování algoritmů pro jejich výpočet probíhalo nejprve nad fiktivními daty (viz obr. 4.6) a poté nad daty v lokalitě Slovinec v oblasti Devínské kobyly. Důvodem pro tento krok byl malý objem dat a možnost ručního ověření výsledků. Algoritmy pro výpočet morfometrických charakteristik byly publikovány v Jedlička (2009a).

Schopnost GmIS ukládat, zpracovávat a analyzovat velké datové objemy byla ověřena v okolí Turčianské kotliny. Na tomto zájmovém území bylo využito alternativní segmentace reliéfu na povodí. Byla zavedena Strahlerova hierarchie vodních toků a vytvořeny bazové povrchy. Protože jihozápadní čtvrtina území již byla geomorfologicky manuálně zpracována, existuje datová sada, se kterou je možné výstupy GmIS porovnávat. Pro nástroje vymezující bazové povrchy vyšlo srovnání uspokojivě (Jedlička & Sládek (2009)). Pro zájmové území byly vypočteny rastry vyšších morfometrických charakteristik, jejich afinit a ostrotí, ze kterých lze v budoucnu vymezit elementární formy.

Při testování geomorfologického informačního systému na různých lokalitách byla ověřena robustnost návrhu datového modelu a otevřenost a rozšiřitelnost GmIS. Bylo prokázáno, že pro správný běh algoritmů počítajících morfometrické charakteristiky jsou nutnou podmínkou topologicky čistá data. Je třeba ověřit relevanci výstupů z pohledu geomorfologa, zejména vymezování geomorfologické mřížky a dále automatizované vymezení elementárních forem. První výsledky jsou již k dispozici u bazových povrchů,

kde bylo prokázáno, že jejich automatizované vymezení dobře odpovídá expertnímu geomorfologickému vymezení.

O nástroje pro vymezení povodí projevil zájem M. Cando z Ekvádoru, GmIS je tak nasazen i v povodí řeky Guayas⁶³, autor práce pouze poskytl algoritmy, bohužel mu nejsou v současné době známy další podrobnosti o této aplikaci. V jednání je nasazení GmIS v Maďarsku, zájem projeví výzkumníci z Geografického výzkumného ústavu Maďarské akademie věd (kontakt R. Levente).

⁶³ http://en.wikipedia.org/wiki/Guayas_River

7. Diskuse

GmIS je složitý nástroj, ale energie, vložená do jeho vývoje, a následné ovládnutí jeho nástrojů uživateli, se vrátí. Nasazení GmIS na zájmové území je zpočátku náročné a méně technicky zdatný geomorfolog bude potřebovat pomoc geoinformatika v roli správce systému. Po naplnění geomorfologické databáze daty však GmIS umožní realizovat řadu činností prováděných v rámci výzkumu zájmového území rychleji, než by bylo možné klasickou formou, protože dokáže řadu klasických postupů automatizovat a tím urychlit. Použití algoritmu namísto opakování určitého postupu navíc vylučuje chyby z nepozornosti uživatele a poskytuje geomorfologovi prostředky pro objektivní hodnocení velkých datových sad. GmIS tak umožní geomorfologovi objektivizovat pohled na zkoumané území. GmIS však nenahrazuje geomorfologa jako takového, jeho oborová znalost je vždy klíčová pro interpretaci výsledků prováděných analýz a výslednou syntézu informace.

Potenciálními uživateli systému jsou geomorfologové pracující s informačními technologiemi. Lze očekávat nutnost spolupráce geoinformatika, a to hlavně ve fázi zavádění systému a tvorby geomorfologické databáze. V současné době tak širšímu rozšíření systému brání nutnost úzké spolupráce s autorem. Možnost, jak vyřešit tento problém, je nastíněna v závěru diskuse.

GmIS je zaměřen hlavně na morfometrii, protože ta je lépe automatizovatelná než morfogeneze či morfodynamika. Poskytuje však i pomocné nástroje pro vyplňování morfogenetických atributů. Potenciální rozšíření GmIS o další nástroje zaměřené na jiné odvětví geomorfologie spočívá v identifikaci a popisu činností, které by mělo takové rozšíření poskytovat, zjistit, které lze realizovat standardními nástroji GIS (ty popsat), a případně některé specifické nástroje implementovat. Že je GmIS takovýmto způsobem rozšiřitelný, dokládá jeho rozšíření o tvorbu bazových povrchů, realizované v okolí Turčianské kotliny. V souvislosti s tím je v práci zmiňováno i členění reliéfu na povodí ovšem pouze okrajově, protože práce se zabývala především členěním na elementární formy reliéfu.

Vyvinutý geomorfologický informační systém jeví všechny známky prototypu. Uživatelské prostředí je popsáno pouze základním způsobem a metodiku popisující zřetězení jednotlivých nástrojů do postupů, které realizují činnosti GmIS, je nutno hledat v textu disertační práce. U výpočtu morfometrických vlastností hranic a areálů forem je pro každou konkrétní vlastnost provedena vždy jen jedna varianta algoritmizace výpočtu. Ta prokazuje, že nad zvolenou (duální) datovou reprezentací lze takové atributy počítat. Na základě dalších požadavků geomorfologů lze v budoucnu naprogramovat jinou variantu výpočtu, případně analogicky doprogramovat další výpočet dalších obdobných vlastností.

Další vývoj GmIS lze spatřit v několika oblastech. První oblast se týká vylepšení uživatelského komfortu: je co vylepšovat například na grafickém uživatelském rozhraní geomorfologického analystu, je možné dodělat kontextovou nápovědu a vyvinout více interaktivní nástroje pro tvorbu geomorfologické mřížky (například interaktivní volba prahových hodnot spolu s vizualizací vybraných segmentů v reálném čase).

Do budoucna je pro výstupy z GmDB možno použít anotační třídy a kartografické reprezentace (databázovou kartografií), zejména pro tvorbu kvalitních mapových výstupů z GmDB: geomorfologických map. Klíčový bude kvalitní návrh a realizace znakového klíče. V současnosti se kartografická prezentace výstupů řídí obecnými pravidly tematické kartografie a je řešena běžnými nástroji ArcGIS.

GmIS začal být vytvářen ve verzi ArcGIS 9.0, byl postupně vyvíjen ve verzi 9.1 a 9.2. V současné době je prototyp GmIS provozován ve verzi ArcGIS 9.3.1, ServicePack 1 a při převodech mezi jednotlivými verzemi nebyly zaznamenány žádné problémy s kompatibilitou nových verzí geodatabáze a ArcObjects, ve kterých byly programovány nástroje. Vzhledem k poměrně mladé technologické platformě (započaté produktem ArcGIS 8.0 v roce 1999) lze předpokládat dlouhodobou využitelnost systému.

Další oblast rozvoje GmIS se týká distribuovaného prostředí. Trendem současnosti je převod dříve výhradně desktopových aplikací na architekturu (tenký) klient/server. První byly klasické kancelářské aplikace, jako je mailový klient, kalendář či kancelářské balíky. Do budoucna lze proto očekávat i rozvinutí GmIS do distribuované verze. Jeho nástroje tak budou poskytovány přes internet jako tzv. geoprocessingové služby (Web processing services – WPS), pravděpodobně s využitím technologie ArcGIS Server. Serverová část systému bude obsahovat systém řízení báze (geomorfologických) dat a implementaci geomorfologických nástrojů. Klientská část bude integrována ve webové aplikaci, která bude umožňovat import dat na server, spuštění vybraných nástrojů a stažení výsledků. Tímto rozdělením dojde k transparentnímu rozdělení rolí správce a uživatele systému a nároky na geoinformatickou gramotnost geomorfologa budou minimalizovány. Zároveň autorský tým GmIS bude mít stále kontrolu nad vývojem nástrojů a nasazováním GmIS. V současné době autor disertační práce vede diplomovou práci, která do distribuovaného prostředí překládá nástroje pro vymezení povodí a báze povrchů.

8. Závěr

Autor si za **cíl práce** vytkl vytvořit *koncept geomorfologického informačního systému a tu ověřit na zvoleném území (Okolí Prášilského jezera), včetně testování funkčnosti*. Zvolený cíl dále autor rozčlenil na dílčí koncepční a realizační cíle (viz podkapitola 2.1):

Koncepční cíle:

- i. Identifikace geomorfologických požadavků na GmIS.
- ii. Definice koncepce GmIS.
- iii. Návrh struktury geomorfologické databáze (GmDB) jako součásti GmIS.
- iv. Identifikace činností v GmIS.

Realizační cíle:

- v. Volba dostatečně robustního technologického řešení pro GmIS.
- vi. Realizace struktury geomorfologické databáze.
- vii. Realizace fundamentálních geomorfologických operací a analýz v GmIS pomocí geomorfologických nástrojů.
- viii. Zajištění otevřenosti GmIS pro přidávání dalších analytických funkcí.
- ix. Dokumentace GmIS.

Pro dosažení cíle autor stanovil **metody práce** (podkapitola 2.2). Nejprve bylo nutné, aby se pomocí *rešerše a studia odborné literatury* seznámil se současným stavem využití geotechnologií v geomorfologii. Dále se musel seznámit s celou řadou *geomorfologických metod a postupů*. Z (geo)informačních technologií v práci využíval metod pro *projektování informačních systémů*. Jednotlivé kroky návrhu, realizace a nasazení GmIS autor *publikoval* v odborných časopisech a konferenčních sbornících.

Po provedení analýzy stavu nasazení geoinformačních technologií v geomorfologii autor zjistil, že existující aplikace geotechnologií v geomorfologii byly využitelné vždy pouze v určitých částech geomorfologického výzkumu (např. terénní mapování, vymezení povodí nebo tvorba tradiční geomorfologické mapy prostředky GIS, více viz podkapitola 2.3).

Autorem vytvořená **koncepce GmIS** (dílčí cíl ii. podkapitola 3.1) byla navržena na základě identifikace geomorfologických požadavků na GmIS (dílčí cíl i.). Oproti existujícím řešením nabízí ucelenou sadu nástrojů pro digitální podporu plošného geomorfologického výzkumu založeného na segmentaci reliéfu na elementární formy nebo alternativně na povodí. Tuto sadu nástrojů integruje dohromady strukturální jádro systému – geomorfologická databáze. V rámci vytvoření koncepce GmIS autor navrhl strukturu geomorfologické databáze (dílčí cíl iii., podkapitola 3.2), identifikoval činnosti prováděné v GmIS (dílčí cíl iii., podkapitola 3.3) a popsal interakci uživatele s GmIS (podkapitola 3.4).

Následovala **volba technologií** (dílčí cíl v., podkapitola 4.1), v rámci které autor zvažoval otevřené i komerční technologie. Nakonec zvolil komerční technologii firmy ESRI pro její rozšířenost, sílu její uživatelské a hlavně vývojářské komunity a kvůli formátu ESRI Geodatabase, který umožňuje pokročilé modelování geodatových struktur. Zvolenou technologii podrobně popsal. Vzhledem k tomu, že technologie ESRI má otevřené rozhraní pro programování aplikace (Application Programming Interface – API), ve kterém lze jednotlivé aplikace rozšiřovat a přizpůsobovat, byl splněn i dílčí cíl viii.

Realizaci GmIS autor rozdělil na dvě části. Realizaci struktury geomorfologické databáze popisuje v podkapitole 4.2 (dílčí cíl vi.), která obsahuje popis realizované struktury GmDB v geodatabázi po jednotlivých jejích částech, a vyznačuje vazby mezi nimi. Realizaci geomorfologických nástrojů popisuje v podkapitole 4.3 (dílčí cíl vii.). Popisuje v ní existující i nově vyvinuté nástroje sloužící pro realizaci činností, které předtím v podkapitole 3.4 formálně specifikoval jako případy užití GmIS.

Po realizaci datových struktur a nástrojů pro správu a analýzy geomorfologických dat autor GmIS nasadil na třech zájmových oblastech a tato nasazení popsal v kapitole 5. Typické **nasazení GmIS** na zájmovou oblast probíhá tak, že je průběžně naplňována struktura datového skladu daty, a to během celého geomorfologického výzkumu zájmového území. Nejdříve jsou importovány dostupné podkladové vrstvy (geologie, polohopis, výškopis, hydrologie, atp.). Pak je tvořen digitální model reliéfu, z něj odvozeny rastry reprezentující další povrchy (sklon, orientace, křivosti) a provedena jeho elementarizace na formy. Tím je vše připraveno pro terénní mapování s využitím příručního GIS (jediný krok prováděný mimo vlastní geomorfologickou databázi, který ovšem svoje výstupy do GmDB předává). Po importu dat z terénního výzkumu dochází k výpočtu morfometrických a vymezení morfogenetických atributů elementárních forem, vytvoření vyšších hierarchických forem reliéfu a vymezení geomorfologické mřížky. Všechny postupně vzniklé datové vrstvy jsou ukládány v jedné geomorfologické databázi konkrétního zájmového území. Protože jsou všechna data uložena v jednom datovém skladu v popsané datové struktuře, lze dobře udržovat jejich konzistenci a předejít tak častému problému analytického GIS – nepřehlednému uložení několika verzí datových vrstev na různých místech. Geomorfolog, který data z geomorfologické databáze interpretuje, tak má kdykoli k dispozici kompletní ucelený datový zdroj, ve kterém si ověřuje svoje hypotézy.

Za **dokumentaci GmIS** (dílčí cíl ix) lze považovat tuto práci jako celek, celou řadu článků autora práce, v neposlední řadě vhodné uživatelské rozhraní či dobře okomentovaný zdrojový kód jednotlivých nástrojů. Základní vstupní branou, která shromažďuje informační zdroje o GmIS, je webová stránka <http://git.zcu.cz/index.php/GmIS>.

Použité zdroje

- ARCTUR, D., ZEILER, M. (2004). *Designing Geodatabases – Case studies in GIS Data Modeling*. Redlands. California. ESRI Press. ISBN 158948021X.
- ARLOW, J., NEUSTADT, I. (2007). *UML 2 a unifikovaný proces vývoje aplikací. Objektově orientovaná analýza a návrh prakticky*. [překlad Bogdan Kiszka]. 2. aktualiz. a dopl. vyd. Brno. Computer Press. 567 s. ISBN 978-80-251-1503-9
- BAARS, M. (2003). *A comparison between ESRI Geodatabase topology and Laser-Scan Radius Topology*. Geo-Database Management Center. The research and development center for Geo-Information technology of Delft University of Technology. [on-line] <http://www.gdmc.nl/publications/2003/Topology_comparison.pdf>
- BAARS, M., STOTER, J., OOSTEROM, P., VERBREE, E. (2004). Rule-based or explicit storage of topology structure: a comparison case study. In *7th AGILE Conference on GIScience – Proceedings*. Crete. Greece. [on-line] <http://plone.itc.nl/agile_old/Conference/greece2004/heraklion.html> <http://plone.itc.nl/agile_old/Conference/greece2004/papers/P-06_Baars.pdf>
- BARSCH, D. DIKAU, R. (1989). Entwicklung einer Digitalen Geomorphologischen Basiskarte (DGmBK). In *Geo-informations systeme*. 2 (3). 12–18.
- BELL, D. (2003a). *UML basics: An introduction to the Unified Modeling Language*. IBM. [on-line] <<http://www-128.ibm.com/developerworks/rational/library/769.html>>
- BELL, D. (2003b). *UML basics: Part II: The activity diagram*. IBM. [on-line] <http://www.ibm.com/developerworks/rational/library/content/RationalEdge/sep03/f_umlbasics_db.pdf>
- BELL, D. (2003c). *UML basics: Part III: The class diagram*. IBM. [on-line] <http://www.ibm.com/developerworks/rational/library/content/RationalEdge/nov03/t_modelinguml_db.pdf>
- BURROUGH, P., A., MCDONNELL, R., A. (1998). *Principles of geographical information systems*. 1st ed. repr. Oxford. ISBN 0-19-823365-5.
- CODD, E.F. (1970). A Relational Model of Data for Large Shared Data Banks. In *Communications of the ACM* 13 (6). P. 377–387.
- CODD, E.F. (1990). *The Relational Model for Database Management: Version 2*. Addison-Wesley Longman Publishing Co. Inc. Boston. MA. USA. p. 567. ISBN 0-201-14192-2

- ČADA, V. (2005). Geodetické základy státních mapových děl 1. poloviny 19. století a lokalizace do S-JTSK. In *Sborník konference Historické mapy*. s. 35-47. Kartografická společnost Slovenskej republiky a Geografický ústav SAV. Bratislava. ISBN 80-968365-7-9. ISSN 1336-6262.
- ČERBA, O., JEDLIČKA, K., ZÍCHA, Z.(2005). Generalizace geoprostorových modelů velkých měřítek. In *Mapa v informační společnosti*. Brno. Univerzita obrany. s. 55-61. ISBN 80-7231-015-1.
- ČÚZK. (1998). *Terminologický slovník geodézie, kartografie, katastra*. Úrad geodézie, kartografie a katastra Slovenskej republiky a Český úřad zeměměřický a katastrální. Bratislava. 545 stran.
- DEMEK, J., ed. (1972). *Manual of detailed geomorphological mapping*. Praha (Academia).
- DEMEK, J., KOPECKÝ, J., LÉTAL, A., VOŽENÍLEK, V. (1997). Podrobná počítačová mapa 1 : 10 000. In *Kartografie na přelomu tisíciletí. Sborník příspěvků 12. Kartografické konference Olomouc*. 277-280s.
- DIKAU, R. (1992). Aspects of constructing a digital geomorphological base map. In *Geologisches Jahrbuch*. A122. 357-370.
- ESRI. (2009). *ArcGIS Desktop Help 9.2*. Redlands. California. Environmental Systems Research Institute. [on-line].
<<http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.2/index.cfm?TopicName=welcome>>
- KETTENIS, J. (2005). *Getting Started With Use Case Modelling*. An Oracle White Paper. Oracle. Redwood Shores. CA. [on-line].
<<http://www.oracle.com/technology/products/jdev/collateral/papers/10g/gswUseCaseModeling.pdf>>
- FORTHERINGHAM, A., S. (2001). *Spatial models and GIS : new potential and new models*. London. ISBN 0-748-40846-0.
- GUSTAVSSON, M., KOLSTRUP, E., SEJMONSBERGEN, A., C. (2006). A new symbol-and-GIS based detailed geomorphological mapping system: Renewal of a scientific discipline for understanding landscape development. In *Geomorphology*. Volume 77. Issues 1-2. Pages 90-111. ISSN 0169-555X. [on-line]
<<http://www.sciencedirect.com/science/article/B6V93-4JBGHRC-1/2/90e97d915a792019f2eeb68aa5c3b954>>

- GUSTAVSSON, M., SEIJMONSBERGEN, A., C., KOLSTRUP, E. (2008). Structure and contents of a new geomorphological GIS database linked to a geomorphological map – With an example from Liden, central Sweden. In *Geomorphology*. Volume 95. Issues 3-4. Pages 335-349. ISSN 0169-555X. [on-line] <<http://www.sciencedirect.com/science/article/B6V93-4P6M5WJ-1/2/f3977d80e7c63b212a092fa00399a9f2>>
- GUSTAVSSON, M., KOLSTRUP, E. (2009). New geomorphological mapping system used at different scales in a Swedish glaciated area. In *Geomorphology*. Volume 110. Issues 1-2. Theories and methods in geomorphology. Pages 37-44. ISSN 0169-555X. [on-line] <<http://www.sciencedirect.com/science/article/B6V93-4VM43V7-1/2/4423a6dee681828367422ec0ec5f78d5>>
- CHORLEY, R., J. (1972). Spatial Analysis in Geomorphology. In *Spatial Analysis in Geomorphology*. Inc. Great Britain. ISBN 06-041272-0.
- INTERGRAPH (2002). *The Geomedia Architecture Advantage*. White Paper. Intergraph [on-line] <http://spatialnews.geocomm.com/whitepapers/GeoMedia_Architecture_Advantage.pdf>
- ISO 19115. (2003). *Geographic information – Metadata*. International Organization for Standardization. Geneva. Switzerland.
- JACOBSON, C., R. (2000). Fundamentals of Data Storage. In *The NCGIA Core Curriculum in GIScience*. [on-line] <http://www.ncgia.ucsb.edu/giscc/cc_outline.html>
- JEDLIČKA, K. (2005a). Konvence v pojmenovávání geodatabáze. 1. část. In *ArcRevue*. roč.14. č.1. s.21-22. ISSN 1211-2135.
- JEDLIČKA, K. (2005b). Konvence v pojmenovávání geodatabáze. 2. část. In *ArcRevue*. roč.14. č.2. s.25-26. ISSN 1211-2135.
- JEDLIČKA, K. (2008). Geomorphologic Information System – Use Cases. In *Sborník symposia GIS Ostrava 2008*. Ostrava. Tanger. s. 1-9. ISBN 978-80-254-1340-1. [on-line] <http://gis.vsb.cz/GIS_Ostrava/GIS_Ova_2008/sbornik/Lists/Papers/002.pdf>
- JEDLIČKA, K. (2009a). Development of geomorphologic tools in the framework of geomorphologic information system. In *Sborník symposia GIS Ostrava 2009*. Ostrava. Tanger spol. s r. o. s. 1-7. ISBN 978-80-87294-00-0. [on-line] <http://gis.vsb.cz/GIS_Ostrava/GIS_Ova_2009/sbornik/Lists/Papers/074.pdf>
- JEDLIČKA, K. (2009b). Accuracy of surface models acquired from different sources – important information for geomorphological research. In *Geomorphologia Slovaca et Bohemica*. roč. 9. č. 1. s. 17-28. ISSN 1337-6799. [on-line] <<http://www.asg.sav.sk/gfsb/v091/gfsb090102.pdf>>
- JEDLIČKA, K. (2009c). Geomorphologic Informatic System – Prototyp. In *18. Kartografická konference. Quo vadis, Kartografie? (Sborník)*. Olomouc. UPOL. s. 1-11.

- JEDLIČKA, K. (2010). Geomorfologický informační systém. In *Proceedings - Symposium GIS Ostrava 2010*. Ostrava. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava. ISBN 978-80-248-2171-9. [on-line]
<http://gis.vsb.cz/GIS_Ostrava/GIS_Ova_2010/sbornik/Lists/Papers/EN_11_4.pdf>
- JEDLIČKA, K., ČERBA, O. (2005). The filling of selected layers of topographical database by generalization from geospatial databases of higher detail. In *Proceedings from international symposium GIS... Ostrava 2005*. Ostrava VŠB – TUO. s. 1-9. ISSN 1213-239X. [on-line]
<http://gis.vsb.cz/GIS_Ostrava/GIS_Ova_2005/Sbornik/cz/Referaty/jedlicka.pdf>
- JEDLIČKA, K., JEŽEK, J. (2008). – Geo-related open source software development at University of West Bohemia. In *Proceedings 1. Sofia International Cartographic Association*. s. 125-131. ISBN 978-954-724-036-0.
- JEDLIČKA, K., MENTLÍK, P. (2002). Hydrologická analýza a výpočet základních morfometrických charakteristik povodí s využitím GIS. In *Geoinformatika. Ústí nad Labem*. Univerzita Jana Evangelisty Purkyně. s. 46-58. ISBN 80-7044-410-X.
- JEDLIČKA, K., MENTLÍK, P. (2003). Užití některých prvků morfostrukturní analýzy v prostředí GIS. In *Geomorfologický sborník 2*. Plzeň. Západočeská univerzita. s. 223-231. ISBN 80-7082-946-X. [on-line]
<http://www.kge.zcu.cz/geomorf/sbornik/texty2/mentlik_smrcek.pdf>
- JEDLIČKA, K., SLÁDEK, J. (2009). Automatization of the base surface delimitation – Case Study in Fatransko-Turčiansky region. In *Geomorfologický sborník 8*. Tribun EU s.r.o. ISBN 978-80-7399-746-5.
- JEDLIČKA, K., ŠILHAVÝ, J. (2009). Mobile GIS - background of processing collected data. In *Sborník symposia GIS Ostrava 2009*. Ostrava. Tanger spol. s r. o. s. 1-7. ISBN 978-80-87294-00-0. [on-line]
<http://gis.vsb.cz/GIS_Ostrava/GIS_Ova_2009/sbornik/Lists/Papers/075.pdf>
- JEŽEK, J. (2009). Precise transformation between S-JTSK and ETRS89 (WGS-84) in GIS. In *Sborník symposia GIS Ostrava 2009*. Ostrava. Tanger spol. s r. o. s. 1-7. ISBN 978-80-87294-00-0. [on-line]
<http://gis.vsb.cz/GIS_Ostrava/GIS_Ova_2009/sbornik/Lists/Papers/088.pdf>
- KENNEDY, H. (2001). *Dictionary of GIS terminology* edited by Heather Kennedy . Redlands. California. ISBN 1-879102-78-1.
- KUSEDOVÁ, D. (1995). Creation of Environmental Maps in GIS Context - on The Basis of Complex Geomorphological Research. In *Acta Environmentalica Universitatis Comenianae*. 4-5. 225-260.

- KUSEDOVÁ, D. (2000). Digitálna legenda pre geomorfologické mapy. In *Kartografické listy*. 8. 45-54.
- LÉTAL, A. (2005). *Aplikace GIS v geomorfologické mapové tvorbě* [disertační práce]. Universita Karlova. Praha.
- LONGLEY, P., A., GOODCHILD, M., F., MAGUIRE, D., J., RHIND, D., W. (2001). *Geographic information systems and science*. Paul A. Longley [et al.]. Chichester. John Wiley & Sons. Ltd. 0-471-89275-0.
- MAGUIRE D., J. (2001). *An Overview and Definition of GIS*. John Wiley & Sons. Ltd. [on-line] <http://www.wiley.com/legacy/wileychi/gis/Volume1/BB1v1_ch1.pdf>
- MENTLÍK, P. (2002). Contribution to geomorphology of the surroundings of Prášilské Lake (basin of Jezerní Brook). In *Silva Gabreta*. 8. 19-42. [on-line] <http://www.kge.zcu.cz/veda/misc/mentlik/men_pras.pdf>
- MENTLÍK, P. (2005). *Atlas geomorfologických forem Plzeňského kraje*. Plzeň. Západočeská univerzita. [on-line] <http://www.kge.zcu.cz/geom_atlas/>
- MENTLÍK, P. (2006). *Geomorfologická analýza a tvorba GmIS pro okolí Prášilského jezera a jezera Laka na Šumavě (Česká republika)* [disertační práce]. Bratislava. Univerzita Komenského v Bratislave. 252 s.
- MENTLÍK, P., JEDLIČKA, K., MINÁR, J., BARKA, I. (2006). Geomorphological information system: physical model and options of geomorphological analysis. In *Geografie. Roč. 111. č. 1. roč.111. č.1. s. 15-32.*
- MINÁR, J., KUSEDOVÁ, D. (1995). Komplexná geomorfologická mapa ako súčasť GIS-u. In *Geographia Slovaca*. 10. 157-162.
- MINÁR, J. (1996). Niektoré teoreticko-metodologické problémy geomorfológie vo väzbe na tvorbu komplexných geomorfologických máp. In *Acta Facultatis Rerum Naturalium Universitatis Comenianae* 36. 7-125.
- MINÁR, J. (2003). Možnosti denudačnej chronológie pri výskume porodných katastrof (Prípadová štúdia Devínska Nová Ves). In *Geomorfologický sborník 2. ČAG. ZČU v Plzni*. [on-line] <<http://www.kge.zcu.cz/geomorf/sbornik/texty2/minar.pdf>>
- MINÁR, J., MIČIAN, L. (2002). Komplexná geomorfologická charakteristika Devínskej Kobyly (mapa mierky 1 : 10 000). In *Atlas krajiny Slovenskej republiky*. Bratislava. Min. živ. prostr. SR. Banská Bystrica. Slov.agent. živ. prostr.
- MINÁR, J., MENTLÍK, P., JEDLIČKA, K., BARKA, I. (2005). Geomorphological information system: idea and options for practical implementation. In *Geografický časopis*. roč.57. č.3. s.247-266. ISSN 0016-7193.

- NEUMANN, J. (1996). *Český výkladový a anglicko – český a česko – anglický překladový slovník. Geografická informace*. Ministerstvo hospodářství České republiky. Praha. 220 stran.
- PACINA, J. (2008). *Metody pro automatické vymezení elementárních forem georeliéfu jako součást Geomorfologického informačního systému* [disertační práce]. Plzeň. Západočeská univerzita.
- QUATRANI, T (2003). *Introduction to the Unified modeling language*. IBM. [on-line] <ftp://ftp.software.ibm.com/software/rational/web/whitepapers/2003/intro_rdn.pdf>
- RAPANT, P. (2006). *Geoinformatika a geoinformační technologie*. VŠB – TU Ostrava. 500 str. ISBN 80-248-1264-9.
- RUMBAUGH, J., JACOBSON, I., BOOCH, G. (2004). *The Unified Modeling Language Reference Manual*. In *The Addison-Wesley Object Technology Series*. Addison-Wesley Professional. 2nd edition. p. 752. ISBN 978-0321245625.
- SMITH, S. (2005). *A Look at GIS Markets. Opportunities. Extending GIS to Enterprise Applications*. In *GIS Weekly Magazine*. GIScafé. [on-line] <http://www10.giscafe.com/nbc/articles/view_weekly.php?articleid=208747&page_no=1>
- SLÁDEK, J. (2006). *Geomorfologická analýza pohoria Žiar s dôrazom na detailný geomorfologický výskum Vyšehradského sedla* [diplomová práce]. Bratislava. Univerzita Komenského v Bratislave.
- STRAHLER, A., N. (1952). *Dynamic basis of geomorphology*. In *Geological Society of America Bulletin*. 63. 923-938.
- ŠÍMA, J. (2009). *Abeceda leteckého laserového skenování*. In *GeoBusiness*. č. 3. ISSN 1802- 4521.
- URBÁNEK, J. (1993). *Geomorfologické formy tektonického povodu (identifikácia a mapovanie)*. In *Mineralia Slovaca*. 25. s. 131–137.
- URBÁNEK, J. (2004). *Analýza vybraných prejavov neotektoniky v oblasti Kojšovskej hole v širšom priestorovom kontexte*. In *Geomorphologia Slovaca*. 4 (2). 5-9.
- URNER, M., ZENKL, V. (2002). *Transformace souřadnic v ArcGIS*. In *ArcRevue*. roč.11. č.1. s.25-26. ISSN 1211-2135. [on-line] <http://old.arcdata.cz/download/arcvue/01_2002.pdf>
- VICHROVÁ, M., ČADA, V. (2005). *Kartografické vyjadřovací prostředky a interpretace obsahu map druhého vojenského mapování*. In *Sborník konference Historické mapy*. s. 246-255. Kartografická spoločnosť Slovenskej republiky a Geografický ústav SAV Bratislava. ISBN 80-968365-7-9. ISSN 1336-6262.

- VOŽENÍLEK, V. (1994). Computer models in Geography. In *Acta UPO. Geographica-Geologica* 33. Fac. rer. nat. 118. Olomouc. s. 59-64.
- VOŽENÍLEK, V. (1996). V labyrintu terminologie – definice GIS. In *Digitální data v informačních systémech*. Antrim 1996. Vyškov. s. 117-122.
- VOŽENÍLEK, V. (1997). Počítačové modely a GIS. In *Sborník příspěvků konference Ostrava – GIS 97*. VŠB-TU Ostrava. Ostrava. s. 106-123.
- VOŽENÍLEK, V. (2000). Spatial aspects of topographical and environmental databases for geomorphological mapping using GPS and GIS techniques. In *Acta Univ. Palacki*. Olomouc. Fac. rer. nat. Geographica 36 000-000.
- VOŽENÍLEK, V., KIRCHNER, K., KONEČNÝ, M., KUBÍČEK, P., LÉTAL, A., PETROVÁ, A., ROTHOVÁ, A., SEDLÁK, P. (2001). *Integrace GPS/GIS v geomorfologickém výzkumu*. Univerzita Palackého v Olomouci. Olomouc. 185 s.
- VOŽENÍLEK, V. (2004). Geoinformatická gramotnost. *Sborník příspěvků konference GIS Ostrava 2004*. VŠB – TUO. Ostrava. ISSN 1213-239X. [on-line] <http://gis.vsb.cz/GIS_Ostrava/GIS_Ova_2004/Sbornik/default.htm>
- VOŽENÍLEK, V., SEDLÁK, P. (2004). Mobilní geoinformační technologie v geomorfologickém mapování. In *Geografický časopis*. vol. 56. 1. fig. 2. tabs.14 refs.
- VRACOVSKÝ, F. (2007). *Geomorfologická databáze*. [diplomová práce]. Plzeň. Západočeská univerzita.
- ZÍCHA, Z. (2005). *Možnosti využití katastrální mapy v digitální podobě jako jednoho z podkladů pro tvorbu topografické mapy generalizací* [diplomová práce] Plzeň. Západočeská univerzita.

Seznam autorových publikací

Kapitoly v knize (recenzováno):

- MENTLÍK, P., JEDLIČKA, K., KRAFT, J. Metody pro určení oblastí potenciálního hospodářského rozvoje (problematika geologie, geomorfologie a GIS). 1. vyd. Plzeň. Západočeská univerzita, 2005. ISBN 80-7043-429-5. s. 18-56.

Monografická publikace (recenzováno):

- WAISOVÁ, Š., BARANOVÁ, M., ČADA, V., ČERBA, O., JEDLIČKA, K., ŠANC, D., WEGER, K., CABADA, L., ROMANCOV, M. Atlas mezinárodních vztahů. prostor a politika po skončení studené války. 1. vyd. Plzeň. Aleš Čeněk, 2007. 158 s. ISBN 978-80-7380-015-4.

Odborný posudek:

- ČADA, V., JEDLIČKA, K. Odborný posudek: *Projekt výzkumu a vývoje Důlního geografického informačního systému (DuGIS)*. Plzeň. 2006.

Editorství díla:

- Úloha kartografie v geoinformační společnosti: 14. kartografická konference, 11.-13.9.2001 v Plzni. sborník. ČADA, V., JEDLIČKA, K. (ed.). č.1., Plzeň. Západočeská univerzita, 2001. 44 s. ISBN 80-7082-781-5.
- Geoinformatika v projektech 2009. 16. 9. 2009 v Plzni. sborník. ČERBA, O., FIALA, R., JEDLIČKA, K., JEŽEK, J., 2009, 50 s. ISBN 978-80-7399-842-4.

Učební texty, skripta, výukové programy, příručky:

- JEDLIČKA, K., BŘEHOVSKÝ, M., ŠÍMA, J. *Úvod do geografických informačních systémů*. [Plzeň]. Západočeská univerzita, 2003. 116 s.

Články z novin, časopisů (recenzované):

- MENTLÍK, P., JEDLIČKA, K., MINÁR, J., BARKA, I. Geomorphological information system: physical model and options of geomorphological analysis. In *Geografie. Roč. III, č. 1*. 2006, roč.111, č.1, s.15-32
- MINÁR, J., MENTLÍK, P., JEDLIČKA, K., BARKA, I. Geomorphological information system: idea and options for practical implementation. In *Geografický časopis*. 2005, roč.57, č.3, s.247-266, ISSN 0016-7193.
- JEDLIČKA, K. Accuracy of surface models acquired from different sources – important information for geomorphological research. In *Geomorphologia Slovaca et Bohemica*. roč. 9. č. 1. s. 17-28. ISSN 1337-6799.
- MELICHAR, J., VOJÁČEK, O., RIEGER, P., JEDLIČKA, K. Measuring the Value of Urban Forest using the Hedonic Price Approach. *Regionální studia*, 2009, roč. 3., č. 2, ISSN: 1803-1471.

Články z novin, časopisů (nerecenzované):

- JEDLIČKA, K. Typy a triky pro ArcPad. In *ArcRevue*. 2004, roč.13, č.1, s.17-19, ISSN 1211-2135.
- JEDLIČKA, K. Konvence v pojmenovávání geodatabáze. 2. část. In *ArcRevue*. 2005, roč.14, č.2, s.25-26, ISSN 1211-2135.
- JEDLIČKA, K. Konvence v pojmenovávání geodatabáze. 1. část. In *ArcRevue*. 2005, roč.14, č.1, s.21-22, ISSN 1211-2135.
- JEDLIČKA, K. Redlands - něco víc než jen kousek červené země na okraji pouště. In *ArcRevue*. 2004, roč.13, č.3, s.6-9, ISSN 1211-2135.
- ČERBA, O., JEDLIČKA, K., JEŽEK, J. Cartography in Geomatics Curriculum – The Czech Example. *VI Magazine*, 2010,

Statě ve sborníku (recenzované)

- JEDLIČKA, K. Geomorfologický informační systém - případy užití. In *Miscellanea Geographica*. 13. Plzeň. Západočeská univerzita, 2007. s. 17-22. ISBN 978-80-7043-658-5. ISSN 1213-7901.
- JEDLIČKA, K. Geomorphologic information system - use cases. In *Sborník symposia GIS Ostrava 2008*. Ostrava. Tanger, 2008. s. 1-9. ISBN 978-80-254-1340-1.
- BEZDĚK, J., JEDLIČKA, K., JEŽEK, J., PETRÁK, J. Open source software for geosciences at University of West Bohemia. In *Sborník symposia GIS Ostrava 2008*. Ostrava. Tanger, 2008. s. 1-8. ISBN 978-80-254-1340-1.
- JEDLIČKA, K. Development of geomorphologic tools in the framework of geomorphologic information system. In *Sborník symposia GIS Ostrava 2009*. Ostrava. Tanger spol. s r. o, 2009. s. 1-7. ISBN 978-80-87294-00-0.
- JEDLIČKA, K., ŠILHAVÝ, J. Mobile GIS - background of processing collected data. In *Sborník symposia GIS Ostrava 2009*. Ostrava. Tanger spol. s r. o, 2009. s. 1-7. ISBN 978-80-87294-00-0.

Statě ve sborníku (nerecenzované):

- BARANOVÁ, M., ČERBA, O., ČADA, V., JEDLIČKA, K., JEŽEK, J., ŠÍMA, J. Studies of Geomatics at the University of West Bohemia. In *Proceedings 1*. Sofia. International Cartographic Association, 2008. s. 133-137. ISBN 978-954-724-036-0.
- ČADA, V., JEDLIČKA, K. Limity pro užití GPS technologií při obnově katastrálního operátu. In *Družicové metody v geodetické praxi*. Brno. Vysoké učení technické, 2008. s. 38-45. ISBN 978-80-86433-44-8.
- ČADA, V., ČERBA, O., FIALA, R., JEDLIČKA, K., JEŽEK, J. Vizualizace zdravotních dat pro podporu interdisciplinárního vzdělávání a vztahů s veřejností (VISUALHEALTH). In *Geomatika v projektech 2009*. Kozel. Tribun EU s.r.o., 2009, ISBN: 978-80-7399-842-4.
- ČERBA, O., JEDLIČKA, K. Zahod'te papírové mapy. In *Pracovní seminář k problematice zvyšování zájmu žáků a studentů o přírodovědné obory*. Plzeň. Západočeská univerzita, 2007. s. 14-18. ISBN 978-80-7043-622-6.

- ČERBA, O., JEDLIČKA, K., JEŽEK, J. Geospatial Data Visualisation in Geomatics Curriculum. In *24th International Cartographic Conference - Conference Proceedings*. Santiago. ICA, Fisa, Instituto Geografico Militar, 2009. ISBN: 978-1-907075-02-5.
- ČERBA, O., JEDLIČKA, K., JEŽEK, J., CHARVÁT, K. Plan4all se představuje. In *II. národní kongres České asociace pro geoinformace - Geoinformační infrastruktury pro praxi*. Brno. Česká asociace pro geoinformace, 2009. ISBN: 978-80-7392-100-2.
- ČERBA, O., JEDLIČKA, K., ZÍCHA, Z. Generalizace geoprostorových modelů velkých měřítek. In *Mapa v informační společnosti*. Brno. Univerzita obrany, 2005. s. 55-61. ISBN 80-7231-015-1.
- FIALA, R., FIKEJZ, J., HRÁDKOVÁ, M., JEDLIČKA, K., LUŇÁK, T., KOPEJKOVÁ, B. Využití 3D GIS pro evidenci a prezentaci kulturně chráněného majetku. In *Geomatika v projektech 2009*. Plzeň. Tribun EU, 2009, s. 14-16. ISBN: 978-80-7399-842-4.
- JEDLIČKA, K. Vodácký geografický informační systém. In *Sborník*. Praha. ČVUT, 2000. s. 104-113.
- JEDLIČKA, K. Vývoj geomorfologických nástrojů v prostředí geomorfologického informačního systému. In *Geomorfologický sborník 7*. Brno. Ústav geoniky AV ČR, 2008. s. 18-18. ISBN 978-80-86407-39-5.
- JEDLIČKA, K. Modelování bází geografických dat začíná u pozemkového datového modelu. In *15. konference GIS ESRI a Leica Geosystems v ČR*. Praha. Arcdata Praha, 2006. s. 62-65. ISBN 80-239-7435-1.
- JEDLIČKA, K. Geomorphologic Informatic System – Prototyp. In *18. Kartografická konference. Quo vadis, Kartografie? (Sborník)*. Olomouc. UPOL. s. 1-11.
- JEDLIČKA, K. Geomorfologický informační systém. In *Proceedings - Symposium GIS Ostrava 2010*. Ostrava. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava. ISBN 978-80-248-2171-9.
- JEDLIČKA, K., ČERBA, O. The filling of selected layers of topographical database by generalization from geospatial databases of higher detail. In *Proceedings from international symposium GIS... Ostrava 2005*. Ostrava. VŠB - TUO, 2005. s. 1-9. ISSN 1213-239X.
- JEDLIČKA, K., EISMANN, Š. Geodatové báze v památkové péči. In *Sborník příspěvků 17. konference GIS ESRI*. Praha. ARCDATA PRAHA s.r.o, 2008. s. 9-11. ISBN 978-80-254-3063-7.
- JEDLIČKA, K., JEŽEK, J. Geo-related open source software development at University of West Bohemia. In *Proceedings 1*. Sofia. International Cartographic Association, 2008. s. 125-131. ISBN 978-954-724-036-0.
- JEDLIČKA, K., JEŽEK, J., PETRÁK, J. Otevřený katastr - svobodné internetové řešení pro prohlížení dat výměnného formátu katastru nemovitostí. In *Geoinformatics FCE CTU*. Praha. ČVUT, 2007. s. 111-117. ISSN 1802-2669.
- JEDLIČKA, K., LUŇÁK, T., ŠLOUFOVÁ, A. Stability and other information about networked GNSS reference station PLZE. In *Proceedings 1*. Sofia. International Cartographic Association, 2008. s. 329-336. ISBN 978-954-724-036-0.

- JEDLIČKA, K., MENTLÍK, P. Hydrologická analýza a výpočet základních morfometrických charakteristik povodí s využitím GIS. *In* Geoinformatika. Ústí nad Labem. Univerzita Jana Evangelisty Purkyně, 2002. s. 46-58. ISBN 80-7044-410-X.
- JEDLIČKA, K., MENTLÍK, P. Hydrologická analýza a výpočet základních morfometrických charakteristik povodí s využitím GIS. *In* Anotace. Ústí nad Labem. Univerzita Jana Evangelisty Purkyně, 2002. s. 66-66. ISBN 80-7044-406-1.
- JEDLIČKA, K., MENTLÍK, P. Užití některých prvků morfostrukturní analýzy v prostředí GIS. *In* Geomorfologický sborník 2. Plzeň. Západočeská univerzita, 2003. s. 223-231. ISBN 80-7082-946-X.
- JEDLIČKA, K., ORÁLEK, J. Prostorové rozhraní informačního systému malé obce řešené v Open Source Software. *In* Geoinformatics FCE CTU . Praha. ČVUT, 2006. s. 129-143. ISSN 1802-2669.
- JEDLIČKA, K., SLÁDEK, J. Automatization of the base surface delimitation – Case Study in Fatransko-Turčiansky region. *In* *Geomorfologický sborník 8*. Tribun EU s.r.o. ISBN 978-80-7399-746-5.
- MELICHAR, J., VOJÁČEK, O., RIEGER, P., JEDLIČKA, K. Hedonic Price Model in the Prague Property Market. *In* Environmental Economics, Policy and International Environmental Relations (Proceedings). Praha. 2008. s. 140-146.
- MILDORF, T., ČADA, V., ČERBA, O., FIALA, R., JANEČKA, K., JEDLIČKA, K., JEŽEK, J. Plan4all - návrh datových specifikací aneb cesta k implementaci INSPIRE. *In* *Proceedings - Symposium GIS Ostrava 2010*. Ostrava. Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2010, ISBN: 978-80-248-2171-9.
- RIEGER, P., JEDLIČKA, K., MELICHAR, J., VOJÁČEK, O. Využití GIS při explorační analýze dat trhu nemovitostí. *In* MendelNet. Brno. B4U Publishing, 2008. s. 77-77. ISBN 978-80-87222-03-4.

Seznam obrázků

Obr. 2.1 UML nástroje pro vývoj systému. Zpracováno podle Bell (2003a-c), Quatrani (2003).	8
Obr. 2.2 Postup vývoje geomorfologického informačního systému.	10
Obr. 2.3. Prostorové rozmístění zájmových území GmIS.	14
Obr. 2.4. Okolí Prášilského jezera. Fotografie převzaty z Mentlík (2005).	15
Obr. 2.5. Slovinec, Devínská Kobyla. Fotografie převzaty z Minár & Mičian (2002) a z Pacina (2008).	16
Obr. 2.6. Okolí Turčianské kotliny. Fotografie převzaty z Jedlička & Sládek (2009).	17
Obr. 3.1 Konceptuální model geomorfologické databáze a procesů GmIS . Pro přehlednost je vyznačeno pouze základní dělení do vrstev a skupin a funkční závislosti. Převzato z Minár et al. (2005).	27
Obr. 3.2. Logický model základních geomorfologických vrstev, zobrazený jako diagram objektových tříd v UML.	28
Obr. 3.3. Diagram případu užití pro založení geomorfologické databáze.	33
Obr. 3.4. Diagram případů užití pro import datových vrstev.	35
Obr. 3.5. Diagram případů užití pro tvorbu DMR a odvozených povrchů.	37
Obr. 3.6. Diagram případů užití pro elementarizaci reliéfu zájmové oblasti.	40
Obr. 3.7 Diagram případů užití pro digitální sběr dat pomocí lehkého GIS klienta.	45
Obr. 3.8. Diagram případů užití pro výpočet morfometrických charakteristik ploch (elementárních forem).	47
Obr. 3.9. Diagram případů užití pro výpočet morfometrických charakteristik hranic elementárních forem.	50
Obr. 3.10. Diagram případů užití pro určení morfogenetických vlastností elementární formy.	54
Obr. 3.11. Diagram případů užití pro tvorbu vyšších úrovní forem reliéfu.	57
Obr. 3.12. Diagram případu užití pro vymezení povodí v GmIS.	60
Obr. 3.13. Diagram případu užití pro výpočet morfometrických charakteristik pro (polo)povodí.	62
Obr. 3.14. Diagram případů užití pro tvorbu geomorfologické mřížky.	64
Obr. 4.1. Základní struktura ESRI geodatabáze.	72
Obr. 4.2. Podrobná struktura ESRI geodatabáze.	73
Obr. 4.3. Vysvětlivky k nástroji Geodatabase Diagrammer (upraveno podle Mentlík et al. (2006)).	79
Obr. 4.4. Detail struktury geomorfologické databáze – převzaté vrstvy (zobrazení v ArcCatalog vlevo, logická struktura vpravo).	83
Obr. 4.5. Detail struktury geomorfologické databáze – digitální model reliéfu a z něj odvozené povrchy.	85
Obr. 4.6. Užití duální (liniové~hraniční a plošné~areálové) reprezentace pro uložení elementárních forem.	86

Obr. 4.7. Duální reprezentace elementárních forem a jejich morfometrické morfodynamické charakteristiky – jádro geomorfologické databáze (zpracováno podle Mentlík et al. (2006)).	88
Obr. 4.8. Pohled na areály elementárních forem a jejich základní morfometrické a morfodynamické charakteristiky.	89
Obr. 4.9. Část struktury geomorfologické databáze reprezentující povodí.	90
Obr. 4.10. Výřez ze struktury dokumentačních materiálů uložených v geomorfologické databázi.	91
Obr. 4.11. Datová struktura morfodynamických jevů.	93
Obr. 4.12. Základní schéma vyšších genetických forem.	94
Obr. 4.13. Schéma pohledu <i>GeomorphicNetworkSegments</i> .	96
Obr. 4.14. Konverzní nástroje ArcGIS sdružené v nástrojové sadě <i>Conversion</i> v geomorfologických nástrojích (<i>Geomorphologic Tools</i>).	99
Obr. 4.15. Nástroje pro transformace souřadnicových systémů (<i>Coordinate transformation</i>).	100
Obr. 4.16. Nástrojová sada <i>DEM and Derived Surfaces</i> .	101
Obr. 4.17. Nástroj <i>Create Hydrologically Correct DEM</i> .	102
Obr. 4.18. Vymezení svahové elementární formy na základě reliéfu reprezentovaného vrstevnicemi a rastru vyprahovaných křivostí (region Turčianská kotlina).	104
Obr. 4.19. Uživatelské rozhraní ArcPad používaného pro terénní mapování.	105
Obr. 4.20. Nástroj <i>Calculate Morphometric Characteristic</i> , převzato z Mentlík et al. (2006).	107
Obr. 4.21. Ukázka výpočtu vybraných morfometrických charakteristik pro plochy elementárních forem.	108
Obr. 4.22. Geometrické vyjádření jednotlivých morfometrických atributů hranic elementárních forem (délky, orientace, křivosti a ostrosti hranice).	109
Obr. 4.23. Příklad výpočtu morfometrických charakteristik hranic elementárních forem.	112
Obr. 4.24. Ukázka editace atributů elementárních forem na základě údajů získaných terénním mapováním.	113
Obr. 4.25. Pohled na vymezení segmentů geomorfologické mřížky (azurové linie).	116
Obr. 5.1. Vymezené vyšší hierarchické formy reliéfu (na úrovni podskupiny) v okolí Prášilského jezera zobrazené s topografickým podkladem. Šedé čáry zobrazují hranice původních elementárních forem, ze kterých byly vyšší formy vymezeny. Zeleně jsou vyznačeny monogenetické formy, hnědou barvou formy polygenetické. Zpracováno podle Mentlík (2006).	119
Obr. 5.2. Porovnání geomorfologem vymezené mřížky (Mentlík (2006)) se segmenty vymezenými na základě jejich morfometrických vlastností (azurová barva) v okolí Prášilského jezera.	120

Obr 5.3. Rastry afinit a ostrotí vyšších morfometrických charakteristik (odstíny šedé) a následně vymezené hranice forem (žlutá barva). Zpracováno podle výsledků publikovaných v práci Pacina (2008).	121
Obr. 5.4 Manuálně (vlevo) a automatizovaně vymezené hranice forem (vpravo). Zpracováno podle výsledků publikovaných v práci Pacina (2008).	121
Obr. 5.5. Rozčlenění zájmového území na povodí s vodními toky hierarchizovanými podle Strahlera (1952), výřez.	122
Obr. 5.6. Bázové povrchy prvního až čtvrtého řádu v perspektivním zobrazení.....	123
Obr. 6.1. Propojení jednotlivých softwarových komponent v prototypu GmIS, převzato z Jedlička (2009c).	127

Seznam tabulek

Tabulka 3.1. Specifikace případu užití pro založení geomorfologické databáze.	34
Tabulka 3.2. Specifikace případu užití pro import datové vrstvy do GmDB.	35
Tabulka 3.3. Specifikace případu užití pro převod datového formátu.	36
Tabulka 3.4. Specifikace případu užití pro transformace dat mezi souřadnicovými systémy.	36
Tabulka 3.5. Specifikace případu užití pro tvorbu DMR.	38
Tabulka 3.6. Specifikace případu užití pro tvorbu z DMR odvozených povrchů.	39
Tabulka 3.7. Specifikace případu užití pro manuální vymezení elementárních forem reliéfu.	41
Tabulka 3.8. Specifikace případu užití pro zajištění topologické návaznosti areálů elementárních forem.	42
Tabulka 3.9. Specifikace případu užití pro zápis vybraných topologických pravidel.	43
Tabulka 3.10. Specifikace případu užití pro kontrolu topologických pravidel.	43
Tabulka 3.11. Specifikace případu užití pro mapování v terénu.	45
Tabulka 3.12. Základní morfometrické charakteristiky (převzato z Mentlík (2006) a doplněno o názvy atributů v geomorfologické databázi 4.2.2, ii).....	46
Tabulka 3.13. Specifikace případu užití pro výpočet morfometrických charakteristik ploch (elementárních forem).	47
Tabulka 3.14. Specifikace případu užití pro přidání atributového sloupce.	48
Tabulka 3.15. Specifikace případu užití pro vytvoření hraničních linií polygonů elementárních forem.	51
Tabulka 3.16. Specifikace případu užití pro topologické svázání vrstvy hranic elementárních forem s jejich polygony.	52
Tabulka 3.17. Specifikace případu užití pro výpočet morfometrických charakteristik hranic elementárních forem.	53
Tabulka 3.18. Specifikace případu užití pro určení morfogenetických vlastností elementární formy.	55
Tabulka 3.19. Specifikace případu užití pro přiřazení morfometrických atributů vyšších řádů k polygonům elementárních forem.....	57
Tabulka 3.20. Specifikace případu užití pro založení nové tabulky.	58
Tabulka 3.21. Specifikace případu užití pro tvorbu vyšších úrovní forem reliéfu.	59
Tabulka 3.22. Specifikace případu užití pro vymezení povodí.	60
Tabulka 3.23. Specifikace případu užití pro výpočet členitostí (polo)povodí.....	62
Tabulka 3.24. Specifikace případu užití pro výpočet členitostí (polo)povodí.....	64

Přílohy

Příloha A Příklady typů geomorfologického druhu a variety pro glaciálně modelované území

Geomorphological Individual	Variety
bottom of curie	
bottom of curie	alluvial fan
bottom of curie	Colluvium
bottom of curie	debris flow (accumulation toe)
bottom of curie	debris flow trough
bottom of curie	filled lake, peatbog
bottom of curie	lake basin
bottom of curie	nivation hollow
bottom of curie	Peatbog
bottom of curie	peatbog, fluvial surface
bottom of curie	pour dam
bottom of curie	transported area
bottom of valley	
Dellen	
Dellen	controlled by fault direction
Dellen	Peatbog
Dellen	permanent slope erosion furrow
depression between moraine walls	Peatbog
erosion-denudation ridge	
erosion-denudation slope	
erosion-denudation slope	block field
erosion-denudation slope	Quarry
etchplain	
etchplain	cryoplanation surface
etchplain	cryoplanation terrace
etchplain	cryoplanation terrace, frost-riven scarp
etchplain	cryoplanation terrace, plateau
etchplain	nivation hollow
etchplain	Peatbog
etchplain	residual knob
etchplain - dissected	
etchplain - dissected	assymetrical rock ridge

etchplain - dissected	castle kopie
etchplain - dissected	cryoplanation surface
etchplain - dissected	residual knob
etchplain - protected	cryoplanation surface
glacier rock glacier accumulation	
glacier rock glacier accumulation	erosion furrow
glacier rock glacier accumulation	Quarry
moraine wall	
moraine wall (degraded)	
moraine wall (degraded)	erosion furrow
moraine wall (degraded)	lateral moraine
nivation slope	
nivation slope	block field
outwash plain	
outwash plain	gully
pediment	
pediment	dellen
proglacial accumulation	
sufosion hollow	
termoabrasion-fluvial slope	
termoabrasion-fluvial slope	permanent slope erosion furrow
upper moraine	block field
wall of corrie	
wall of corrie	colluvium
wall of corrie	debris flow (accumulation toe)
wall of corrie	debris flow track
wall of corrie	debris flow trough
wall of corrie	debris slide (scarp)
wall of corrie	nivation hollow
wall of corrie	permanent slope erosion furrow
wall of curie	talus

Příloha B Struktura geomorfologické databáze

Adopted Layers

Topography

- Line feature class ContourLines
- Point feature class ElevationSpots
- Raster dataset Orthophoto

Hydrology

- Point feature class Springs
- Line feature class WaterNetwork
- Polygon feature class WaterAreas

Geology

- Point feature class BoreHoles
- Line feature class GeologicalFaults
- Line feature class LithologicalBoundaries
- Polygon feature class TypesOfBedrocks

Others

- Polygon feature class LandCover
- Polygon feature class LandUse

Basic Geomorphologic Layers

Relationship class ElementaryFormHasAltitudeCharacteristic

Table AltitudeCharacteristic

Simple feature class ElementaryForms

Field name	Data type	Allow nulls	Default value	Domain	Precision	Scale Length
OBJECTID	Object ID					
Shape	Geometry	Yes				
Shape_Length	Double	Yes			0	0
Shape_Area	Double	Yes			0	0

Relationship class ElementaryFormHasSlopeCharacteristic

Topology rule ElementaryForms Must Not Overlap

Topology rule ElementaryForms Must Not Have Gaps

Table SlopeCharacteristic

Field name	Data type	Allow nulls	Default value	Domain	Precision	Scale Length
OBJECTID	Object ID					
VALUE	Long integer	Yes			0	
COUNT	Long integer	Yes			0	
AREA	Float	Yes			0	0
MIN	Float	Yes			0	0
MAX	Float	Yes			0	0
RANGE	Float	Yes			0	0
MEAN	Float	Yes			0	0
STD	Float	Yes			0	0
SUM	Float	Yes			0	0

Relationship class ElementaryFormHasAspectCharacteristic

Table AspectCharacteristic

Relationship class ElementaryFormHasPlaneCurvatureCharacteristic

Table PlaneCurvatureCharacteristic

Relationship class ElementaryFormHasProfileCurvatureCharacteristic

Table ProfileCurvatureCharacteristic

Relationship class ElementaryFormHasGeneticCharacteristic

Table GeneticCharacteristic

Field name	Data type	Allow nulls	Default value	Domain	Precision	Scale Length
OBJECTID	Object ID					
ElementaryFormID	Long integer	Yes			0	
Variety	String	Yes			50	
GeomorphologicKind	String	Yes			50	
SubFamily	String	Yes			50	
Family	String	Yes			50	
SubClass	String	Yes			50	
Class	String	Yes			50	
SubGroup	String	Yes			50	
Group	String	Yes			50	

Topology rule DiscontinuityLines Must Be Covered By Boundary Of ElementaryForms

Simple feature class DiscontinuityLines

Field name	Data type	Allow nulls	Default value	Domain	Precision	Scale Length
OBJECTID	Object ID					
SHAPE	Geometry	Yes				
SHAPE_Length	Double	Yes			0	0
CurvatureIndex	Double	Yes			0	0
Orientation	Double	Yes			0	0
Sharpness	Double	Yes			0	0

Topology rule DiscontinuityLines Must Not Intersect Or Touch Interior

Simple feature class DiscontinuityLines

Field name	Data type	Allow nulls	Default value	Domain	Precision	Scale Length
OBJECTID	Object ID					
SHAPE	Geometry	Yes				
SHAPE_Length	Double	Yes			0	0
CurvatureIndex	Double	Yes			0	0
Orientation	Double	Yes			0	0
Sharpness	Double	Yes			0	0

Topology rule DiscontinuityLines Must Not Intersect Or Touch Interior

Simple feature class DiscontinuityLines

Field name	Data type	Allow nulls	Default value	Domain	Precision	Scale Length
OBJECTID	Object ID					
SHAPE	Geometry	Yes				
SHAPE_Length	Double	Yes			0	0
CurvatureIndex	Double	Yes			0	0
Orientation	Double	Yes			0	0
Sharpness	Double	Yes			0	0

Coded value domain YesNo

Code	Description
1	yes
0	no
-9999	unspecified

Coded value domain SegmentType

Code	Description
1	sleep slope line
2	planned surface boundary
3	talwegs direction
4	geomorphic line
5	...
-9999	unspecified

Simple feature class GeomorphologicNetworkSegments

Field name	Data type	Allow nulls	Default value	Domain	Precision	Scale Length
OBJECTID	Object ID					
SHAPE	Geometry	Yes				
SHAPE_Length	Double	Yes			0	0
CurvatureIndex	Double	Yes			0	0
Orientation	Double	Yes			0	0
Sharpness	Double	Yes			0	0
PartOfNetwork	Short integer	Yes	no	YesNo	0	
Type	Short integer	Yes	unspecified	SegmentType	0	
OrderNumber	Short integer	Yes	unspecified	SegmentOrderNumber	0	
Description	String	Yes				256

Raster dataset DEM

Raster dataset Slope

Raster dataset Aspect

Raster dataset AgAffinity

Raster dataset AgSharpness

Raster dataset AgAffinity

Raster dataset AgSharpness

Raster dataset AntAffinity

Raster dataset AntSharpness

Raster dataset GAffinity

Raster dataset GSharpness

Coded value domain ProfileType

Code	Description
1	cross profile
2	longitudinal profile
-9999	unspecified

Simple feature class ProfilesFromDEM

Field name	Data type	Allow nulls	Default value	Domain	Precision	Scale Length
OBJECTID	Object ID					
SHAPE	Geometry	Yes				
Name	String	Yes			25	
Type	Short integer	Yes		ProfileType	0	
Description	String	Yes				256
Link	String	Yes				128
SHAPE_Length	Double	Yes			0	0

Topology rule GeomorphologicKind Must Not Overlap

Topology rule GeomorphologicKind Must Not Have Gaps

Simple feature class GeomorphologicKind

Field name	Data type	Allow nulls	Default value	Domain	Precision	Scale Length
OBJECTID	Object ID					
SHAPE	Geometry	Yes				
SubClass	String	Yes			50	
SHAPE_Length	Double	Yes			0	0
SHAPE_Area	Double	Yes			0	0

Topology rule GeomorphologicKindBoundaries Must Be Covered By Boundary Of ElementaryForms

Topology rule GeomorphologicKindBoundaries Must Be Covered By Boundary Of DiscontinuityLines

Topology rule GeomorphologicKindBoundaries Must Be Covered By Boundary Of GeomorphologicKind

Simple feature class GeomorphologicKindBoundaries

Field name	Data type	Allow nulls	Default value	Domain	Precision	Scale Length
OBJECTID	Object ID					
SHAPE	Geometry	Yes				
CurvatureIndex	Double	Yes			0	0
LineOrientation	Double	Yes			0	0
Sharpness	Double	Yes			0	0
SHAPE_Length	Double	Yes			0	0

Topology rule GeomorphologicKindBoundaries Must Not Intersect Or Touch Interior

Simple feature class GeomorphologicKindBoundaries

Field name	Data type	Allow nulls	Default value	Domain	Precision	Scale Length
OBJECTID	Object ID					
SHAPE	Geometry	Yes				
CurvatureIndex	Double	Yes			0	0
LineOrientation	Double	Yes			0	0
Sharpness	Double	Yes			0	0
SHAPE_Length	Double	Yes			0	0

Topology rule GeomorphologicKindBoundaries Must Not Intersect Or Touch Interior

Simple feature class GeomorphologicKindBoundaries

Field name	Data type	Allow nulls	Default value	Domain	Precision	Scale Length
OBJECTID	Object ID					
SHAPE	Geometry	Yes				
CurvatureIndex	Double	Yes			0	0
LineOrientation	Double	Yes			0	0
Sharpness	Double	Yes			0	0
SHAPE_Length	Double	Yes			0	0

Polygon feature class GeomorphologicVariety

Line feature class GeomorphologicVarietyBoundaries

Polygon feature class GeomorphologicSubFamily

Line feature class GeomorphologicSubFamilyBoundaries

Polygon feature class GeomorphologicSubClass

Line feature class GeomorphologicSubClassBoundaries

Polygon feature class GeomorphologicClass

Polygon feature class GeomorphologicSubGroup

Polygon feature class GeomorphologicGroup

Line feature class GeomorphologicClassBoundaries

Line feature class GeomorphologicSubGroupBoundaries

Line feature class GeomorphologicGroupBoundaries

Simple feature class DocumentationAreas

Field name	Data type	Allow nulls	Default value	Domain	Precision	Scale Length
OBJECTID	Object ID					
SHAPE	Geometry	Yes				
Name	String	Yes			25	
Description	String	Yes				256
Link	String	Yes				128
SHAPE_Length	Double	Yes			0	0
SHAPE_Area	Double	Yes			0	0

Simple feature class ProfilesSurveyed

Field name	Data type	Allow nulls	Default value	Domain	Precision	Scale Length
OBJECTID	Object ID					
SHAPE	Geometry	Yes				
SHAPE_Length	Double	Yes			0	0
Name	String	Yes			25	
Type	Short integer	Yes		ProfileType	0	
Description	String	Yes				256
Link	String	Yes				128

Table RecentForms

Field name	Data type	Allow nulls	Default value	Domain	Precision	Scale Length
OBJECTID	Object ID					
PhenomenonName	String	Yes			25	
PhenomenonDescription	String	Yes				256
PhenomenonLink	String	Yes				128

Relationship class RecentFormHasPolygons

Simple feature class RecentFormsPolygons

Field name	Data type	Allow nulls	Default value	Domain	Precision	Scale Length
OBJECTID	Object ID					
SHAPE	Geometry	Yes				
PhenomenonID	Long integer	Yes			0	
SHAPE_Length	Double	Yes			0	0
SHAPE_Area	Double	Yes			0	0

Relationship class RecentFormHasEvents

Relationship class RecentFormHasLineGeometries

Line feature class RecentFormsLines

Relationship class RecentFormHasPointGeometries

Point feature class RecentFormsPoints

Table RecentFormsEvents

Field name	Data type	Allow nulls	Default value	Domain	Precision	Scale Length
OBJECTID	Object ID					
PhenomenonGeometryID	Long integer	Yes			0	
Description	String	Yes				256
Link	String	Yes				128
Occurrence	Date	Yes			0	0
Beginning	Date	Yes			0	0
Ending	Date	Yes			0	0

Simple feature class ObservedStations

Field name	Data type	Allow nulls	Default value	Domain	Precision	Scale Length
OBJECTID	Object ID					
SHAPE	Geometry	Yes				
Name	String	Yes			25	
Description	String	Yes				256
Link	String	Yes				128
Occurrence	Date	Yes			0	0
Beginning	Date	Yes			0	0
Ending	Date	Yes			0	0

Relationship class ObservedStationHasEvents

Table ObservedStationEvents

Field name	Data type	Allow nulls	Default value	Domain	Precision	Scale Length
OBJECTID	Object ID					
ObserverStationID	Long integer	Yes			0	
Description	String	Yes				25
Link	String	Yes				128
Occurrence	Date	Yes			0	0
Beginning	Date	Yes			0	0
Ending	Date	Yes			0	0

Příloha C Přesnost vrstev geomorfologické databáze v měřítku 1 : 10 000

(převzato z Minár et al. 2005).

	Layers	Precision of position	Altitude precision	Detail (scale)	Minimal size of object
Adapted	<i>Determined by technical precision (topography, orthophotomaps, hydrology ...)</i>	from 0,5 (geodetically measured coordinates) to 20 m (roads, contour lines and other features cartographically moved due to readability)	unspecified / 1,5 - 7 m depending on surface slope and land cover, if contour lines are present	1:10 000 for vector data; even 0,17 m (usually 0,5 - 1 m) cell size of orthophoto;	
	<i>Determined by content precision (geology, ...)</i>	technical (scale dependent) precision is higher than precision of methods of data collecting; there is necessary to validate these data by another way			
Basic	<i>Digital elevation model</i>	depends on height data source; 0,5 - 20 m for contour lines, c. 0,5 for photogrammetric data	depends on used interpolation function and data source (1,5 - 7 m for contour lines)	optimized for visualization in scales close to 1:10 000	cell size 5m
	<i>Documentation materials</i>	depends on surveying technology: 1 - 15 m various GPS; 30 - 50 m traditional mapping,	10 - 25 m for GPS mapping or DEM dependent	optimized for visualization in scales close to 1:10 000	from cm (depends on geomorphic importance)
	<i>Elementary forms and Basins</i>	depends on DEM and documentation materials		In 1:10 000 usually 5000 m ² , important forms > 2500 m ²	
	<i>Genetic groups Morphodynamic Geom. Network</i>	depends on previously created surfaces, mostly elementary forms and basins			
Special					

Příloha D XML schéma geomorfologické databáze

Ukázka XML schématu pro prvkovou třídu elementárních forem. Zbytek přílohy – kompletní XML schéma geomorfologické databáze – je k dispozici v digitální podobě.

```
<DataElement xsi:type="esri:DEFeatureClass">
  <CatalogPath>/FC=ElementaryForms</CatalogPath>
  <Name>ElementaryForms</Name>
  <DatasetType>esriDTFeatureClass</DatasetType>
  <DSID>6</DSID>
  <Versioned>>false</Versioned>
  <CanVersion>>false</CanVersion>
  <HasOID>>true</HasOID>
  <OIDFieldName>OBJECTID</OIDFieldName>
  = <Fields xsi:type="esri:Fields">
    = <FieldArray xsi:type="esri:ArrayOfField">
      = <Field xsi:type="esri:Field">
        <Name>OBJECTID</Name>
        <Type>esriFieldTypeOID</Type>
        <IsNullable>>false</IsNullable>
        <Length>4</Length>
        <Precision>0</Precision>
        <Scale>0</Scale>
        <Required>>true</Required>
        <Editable>>false</Editable>
        <DomainFixed>>true</DomainFixed>
        <AliasName>OBJECTID</AliasName>
        <ModelName>OBJECTID</ModelName>
      </Field>
      = <Field xsi:type="esri:Field">
        <Name>SHAPE</Name>
        <Type>esriFieldTypeGeometry</Type>
        <IsNullable>>true</IsNullable>
        <Length>0</Length>
        <Precision>0</Precision>
        <Scale>0</Scale>
        <Required>>true</Required>
        <DomainFixed>>true</DomainFixed>
      = <GeometryDef xsi:type="esri:GeometryDef">
        <AvgNumPoints>0</AvgNumPoints>
        <GeometryType>esriGeometryPolygon</GeometryType>
        <HasM>>false</HasM>
        <HasZ>>true</HasZ>
```

```

=> <SpatialReference xsi:type="esri:ProjectedCoordinateSystem">
  <WKT>PROJCS["S-JTSK_Krovak_East_North",GEOGCS
    ["GCS_S_JTSK",DATUM["D_S_JTSK",SPHEROID["Bessel_1841
    ",6377397.155,299.1528128]],PRIMEM["Greenwich",0.0],UNI
    T["Degree",0.0174532925199433]],PROJECTION["Krovak"],P
    ARAMETER["False_Easting",0.0],PARAMETER["False_Northing
    ",0.0],PARAMETER["Pseudo_Standard_Parallel_1",78.5],PARA
    METER["Scale_Factor",0.9999],PARAMETER["Azimuth",30.288
    13975277778],PARAMETER["Longitude_Of_Center",24.83333
    333333333],PARAMETER["Latitude_Of_Center",49.5],PARAME
    TER["X_Scale",-
    1.0],PARAMETER["Y_Scale",1.0],PARAMETER["XY_Plane_Rota
    tion",90.0],UNIT["Meter",1.0]]</WKT>
  <XOrigin>-33699800</XOrigin>
  <YOrigin>-33699800</YOrigin>
  <XYScale>10000</XYScale>
  <ZOrigin>-100000</ZOrigin>
  <ZScale>10000</ZScale>
  <MOrigin>-100000</MOrigin>
  <MScale>10000</MScale>
  <XYTolerance>0.001</XYTolerance>
  <ZTolerance>0.001</ZTolerance>
  <MTolerance>0.001</MTolerance>
  <HighPrecision>true</HighPrecision>
</SpatialReference>
  <GridSize0>0</GridSize0>
  </GeometryDef>
  <AliasName>SHAPE</AliasName>
  <ModelName>SHAPE</ModelName>
</Field>
=> <Field xsi:type="esri:Field">
  <Name>ElevationMinimum</Name>
  <Type>esriFieldTypeDouble</Type>
  <IsNullable>true</IsNullable>
  <Length>8</Length>
  <Precision>0</Precision>
  <Scale>0</Scale>
</Field>
± <Field xsi:type="esri:Field">
± ...
</FieldArray>
</Fields>
+ <Indexes xsi:type="esri:Indexes">
  <CLSID>{52353152-891A-11D0-BEC6-00805F7C4268}</CLSID>

```

```

<EXTCLSID />
<RelationshipClassNames xsi:type="esri:Names" />
<AliasName>ElementaryForms</AliasName>
<ModelName />
<HasGlobalID>false</HasGlobalID>
<GlobalIDFieldName />
<RasterFieldName />
= <ExtensionProperties xsi:type="esri:PropertySet">
  <PropertyArray xsi:type="esri:ArrayOfPropertySetProperty" />
  </ExtensionProperties>
  <ControllerMemberships xsi:type="esri:ArrayOfControllerMembership" />
  <FeatureType>esriFTSimple</FeatureType>
  <ShapeType>esriGeometryPolygon</ShapeType>
  <ShapeFieldName>SHAPE</ShapeFieldName>
  <HasM>false</HasM>
  <HasZ>true</HasZ>
  <HasSpatialIndex>true</HasSpatialIndex>
  <AreaFieldName>SHAPE_Area</AreaFieldName>
  <LengthFieldName>SHAPE_Length</LengthFieldName>
= <Extent xsi:type="esri:EnvelopeN">
± <SpatialReference xsi:type="esri:ProjectedCoordinateSystem">
  </Extent>
± <SpatialReference xsi:type="esri:ProjectedCoordinateSystem">
</DataElement>

```


Příloha E DVD – GmIS

Příložené DVD obsahuje kompletní text disertační práce Geomorfologický informační systém. Dále obsahuje adresář s projektem GmIS pro software ArcGIS, který se skládá z MXD projektu (*GmIS.mxd*) spustitelného v aplikaci ArcMap a geomorfologických databází (*GmDB*) uložených v souborových geodatabázích (pro každé zájmové území jedna geodatabáze). Implementované nástroje GmIS jsou obsaženy v nástrojové sadě *Geomorphologic tools.tbx* a v liště Geomorphologic Analyst, jejíž zdrojový kód je nedílnou součástí projektu GmIS.mxd. Součástí DVD je i základní nápověda, která formou příkladů ukazuje, jak s GmIS pracovat. DVD obsahuje i pdf soubory s ukázkami výstupů z GmIS, které vznikly na základě jeho nasazení v zájmových územích.

Struktura příloženého DVD:

- **[GmIS]** – adresář s projektem GmIS nasazeným v zájmových územích,
- **[Nápověda]** – adresář se základní nápovědou k GmIS,
- **[UkázkyNasazení]** – adresář s ukázkami výstupů z GmIS,
- **Jedlicka_GeomorfologickyInformacniSystem_DSP.pdf** – text disertační práce včetně příloh.