

Luboš BĚLKA

VYUŽITÍ STEREOSKOPICKÉHO POZOROVÁNÍ PRO GEOMORFOLOGICKÉ MAPOVÁNÍ

Bělka, L.: Exploitation of stereoscopic observation for geomorphological mapping. Kartografické listy 2005, 13, 4 figs., 17 refs.

Abstract: The paper describes and evaluates the usage of non-contact methods for geomorphological mapping in various scales. There is discussed the exploitation of two overlapped aerial photographs or satellite images, called stereomodel, for mapping of georelief and relations among particular terrain elements. The paper describes three dimensional observation as a reliable tool suitable mainly for identification of large scale surface forms with both natural or human origin. Captured elevation data is the main result of the mapping process allowing cartographers various ways of visualization of studied area such as blockdiagrams, anaglyphs or videosequences. These outputs are the proper tool for understanding of georelief of appropriate area without the need of a field survey in couple of relates studies.

Keywords: aerial photographs, satellite imagery, stereomodel, geomorphological mapping, visualization

Úvod

Krajina je předmětem studia všech geovědních disciplín. Její mapování je proces identifikace a lokalizace jevů (objektů a procesů) v krajině a tvorby původních tematických map. Příkladem je geomorfologické mapování. Jeho předmětem je mapování typů a tvarů georeliéfu a s nimi souvisejících procesů. Základem je poznání vzhledu, vzniku a stáří georeliéfu mapovaného území. Kartografické vyjádření umožňuje zjistit prostorové rozšíření částí georeliéfu, jejich tvar, vzájemné vazby a provedení geomorfologické regionalizace (Bezvodová, Demek a Zeman 1985, Voženílek et al. 2001). Podrobnými geomorfologickými mapami se rozumí mapy v měřítcích 1:10 000 až 1:100 000 (viz např. Klimaszewski 1978, Bezvodová, Demek a Zeman 1985, Voženílek et al. 2001), i když v některých pracích jsou uváděny i další rozsahy měřítek (např. mapy měřítek 1:100 000 již řadí Demek ed. 1976 k mapám středních měřítek). Podrobné geomorfologické mapování probíhá nejčastěji v měřítcích 1:10 000 a 1:25 000.

Pro podrobné geomorfologické mapování v tradičním pojetí (např. Demek ed. 1972) slouží jako základní způsob získání dat terénní výzkum. Rozmach informačních technologií se však za posledních 15 let výrazně promítl i do procesu mapování. Propojení geoinformačních technologií posunuje nyní geomorfologické mapování o výrazný vývojový krok dopředu. Získávání dat z GIS a DPZ hraje v podrobném geomorfologickém mapování stále významnější úlohu. Tyto materiály zejména slouží jako mapové podklady pro terénní výzkum, jak uvádí Voženílek (Voženílek et al. 2001, Voženílek a Sedlák 2004) při vlastní terénní práci je využito GPS s přímým napojením na GIS, ve kterém je možné efektivní zpracování a vyhodnocení výsledků geomorfologického mapování.

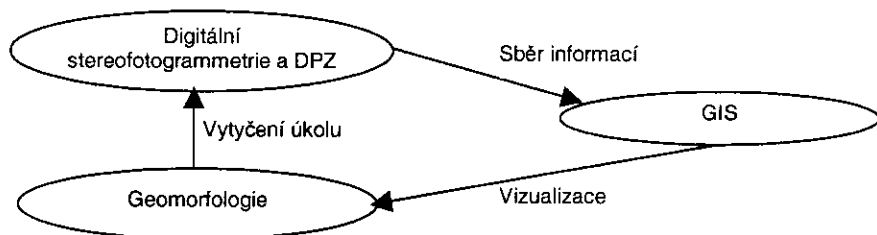
Stereoskopické pozorování

Obecně se lze ptát: jaké jsou možnosti sběru geomorfologických informací bez nutnosti provádění terénního průzkumu s využitím materiálů DPZ? Jedním z takových způsobů je stereoskopické pozorování leteckých a družicových snímků, které umožňuje prostorové vidění území a získání

velkého množství informací o tvarech georeliéfu, např. o terasách, malých vyvýšeninách a vhloubeninách, vojenských zákopech, haldách či lomech. Stereoskopický pohled může být vhodným prostředkem pro geomorfologický výzkum různých měřitek – od přehledného zjištění rozsáhlých geomorfologických poměrů, přes vyhodnocení výškových poměrů území, až po zachycení povrchových tvarů i morfometrická měření.

Obrazová data dnes převážně slouží jako pomocný podklad pro terénní výzkum. Ve formě stereomodelu se však mohou stát dalším prostředkem podrobného geomorfologického mapování. Metoda stereovyhodnocení představuje oproti přímému terénnímu výzkumu značnou časovou úsporu, nezávislost na klimatických podmínkách nebo možnost mapování těžko přístupného či zcela nepřístupného terénu. Nevýhodou tohoto sběru dat je obtížná nebo zcela nemožná identifikace geomorfologických objektů zakrytých vegetačním pokryvem, zejména pak lesními porosty. Nezbytným předpokladem této metody mapování je samozřejmě také znalost fotogrammetrického zpracování snímků a zkušenost s prací se stereomodelem.

Základem stereoskopického pozorování je propojení metod digitální stereofotogrammetrie a dálkového průzkumu Země jako technické disciplíny na jedné straně s tematickým (geomorfologickým) mapováním krajiny jako geovědního oboru na straně druhé (obr. 1). Jako prostředek tohoto propojení slouží moderní informační technologie nabízející nástroje pro sběr, ukládání a vizualizaci dat v prostředí GIS či jiného prostorově lokalizovaného informačního systému. Nespornou výhodou ukládání získaných informací v GIS je rychlá možnost transformace mezi souřadnými systémy, snadná aktualizace dat a jeho použitelnost nejen pro digitální zobrazování ale i pro generování analogových výstupů – geomorfologických map.



Obr. 1 Schéma propojení vědních disciplín pro potřeby stereoskopického pozorování v geomorfologii

Stereoskopický model a jeho vytvoření

Umělé stereoskopické pozorování a vyhodnocování fotogrammetrických snímků je obdobou přirozeného stereoskopického vidění, které je založeno na současném pozorování předmětu oběma očima (Pavelka 1998). Nahradí-li se přirozené stereoskopické pozorování okolní reality očima objekty, které byly těmito snímky zachyceny. Významně se tím rozšiřuje možnost vyhodnocení objektů daného tematického zaměření. Předmětem zájmu geomorfologů jsou však letecké měřičké snímky a družicové scény.

Letecké měřičké snímky jsou pořizovány speciálními přesně kalibrovanými leteckými měřičkými kamerami během snímkového letu, jehož cílem je pokrytí předem stanoveného území překrývajícími se snímky. Pořizováním těchto snímků se na území ČR zabývá Armáda ČR (po roce 1989 došlo ke zrušení jejího monopolního postavení) i soukromé firmy (ArgusGeo Systém Hradec Králové a GEODIS Brno). Od roku 2003 probíhá nové celoplošné barevné snímkování ČR v měřítku 1:23 000 financované ze státního rozpočtu, jehož první cyklus by měl být dokončen v letošním roce. Snímkování tohoto rozsáhlého díla je realizováno soukromými firmami ArgusGeo Systém a GEODIS, jehož výsledky (barevné negativy) archivuje Vojenský geografický a hydrometeorologický úřad (VGHMÚř) Dobruška. Zpracování snímků do podoby ortofot probíhá ve spolupráci VGHMÚř a Zeměměřičkého úřadu.

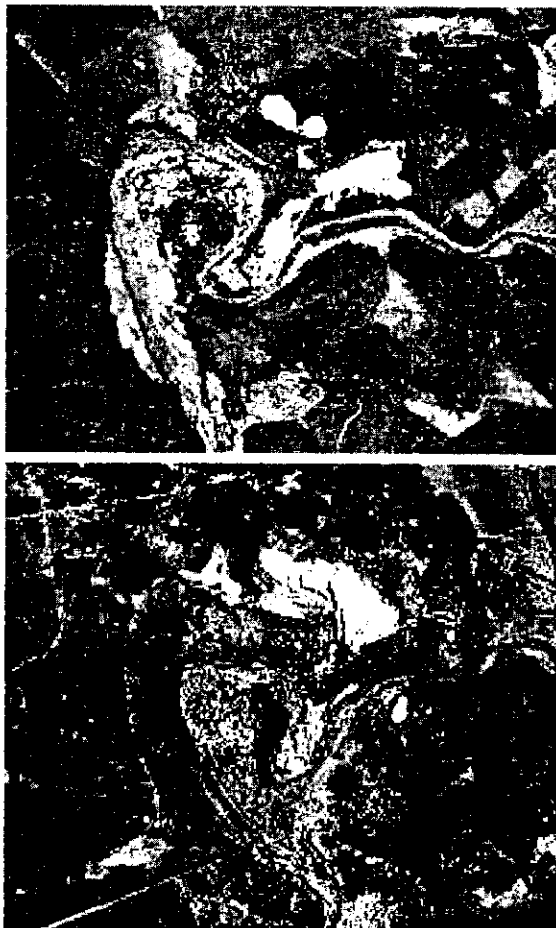
Mimořádnou informační hodnotu mají historické letecké měřické snímky, které je možno rovněž použít pro vytvoření stereomodelu. Pomocí snímků pořízených v různých letech lze pomocí časové řady pozorovat dynamiku vývoje některých geomorfologických tvarů a procesů, zejména sesuvů, meandrů a erozních rýh. VGHMUŮ v Dobrušce disponuje rozsáhlým archivem 800 000 leteckých měřických snímků, který je přístupný veřejnosti. Snímky byly pořizovány vojenským letectvem postupně od roku 1936 nejprve pro různé účely a v malém rozsahu, později se snímkování stalo podkladem pro tvorbu map celého území republiky. Měřítka archivovaných snímků se pohybuje od 1:3 000 pro maloplošná území, až po 1:27 000 pro snímkování celého území republiky.

Výpočet stereomodelu podléhá určitým zákonitostem a postupům, které je nutno dodržovat. Letecké měřické snímky, pořizované nejčastěji s překryvem 60 %, jsou primárně v analogové podobě ve formě negativů nebo diapozitivů. Ve 2. polovině 90. let došlo k rozvoji digitální fotogrammetrie, proto vytváření stereomodelů probíhá v současnosti nejčastěji digitálními technologiemi pomocí speciálních programových vybavení. K digitálnímu zpracování je nutné jejich skenování (obecně digitalizace). Pro samotné vytvoření stereomodelů z leteckých měřických snímků je nutné znát pro každý z nich přesnou polohu projekčního centra v předem daném referenčním systému. Tato poloha, vyjádřená trojicí souřadnic X, Y a Z, spolu s úhly náklonu ve všech třech rovinách, tvoří prvky vnější orientace. Ty jsou v podstatě počítány podle obecně známých matematických vzorců určujících vztah mezi snímkovými souřadnicemi identických bodů a jejich souřadnicemi v konkrétní soustavě souřadnic.

Srovnání dvojice snímků do stereomodelu probíhá ve dvou krocích, nejprve jsou snímky vzájemně „provázány“ dvojicemi identických bodů (relativní orientace) a poté umístěny do daného referenčního souřadného systému (např. S-JTSK, S-42/83 nebo WGS84) za pomoci lícovacích bodů s předem známými souřadnicemi (absolutní orientace). Pro srovnání jednoho modelu je zapotřebí identifikovat nejméně tři, z důvodu kontroly výpočtu lépe však 4 až 5, lícovacích body. Jejich počet lze redukovat hromadným zpracováním překrývajících se snímků v blocích pokrývajících zájmové území pomocí blokového vyrovnání. Pokud není možnost z nejrůznějších důvodů (omezený čas a prostředky) jejich zaměření v terénu, je možné tyto body převzít ze starších stereomodelů dostupných na daném území (pokud existují) nebo odečíst tyto body v mapách, georeferencovaných snímcích popř. ve vektorových databázích GIS. Výběr lícovacích bodů, jejich přesnost zaměření i identifikace na snímcích, má rozhodující vliv na přesnost výsledného polohy modelu. Lícovací body mohou být přirozené situační body tvořené objekty krajiny (křížovatky, rohy zdí, paty sloupů atd.) nebo signály předem daného tvaru a potřebné velikosti. Výhodou situačních bodů je možnost jejich opakovaného využití, nevýhodou však je často problematická a nepřesná identifikace těchto bodů na snímcích. Tento typ lícování se používá pro snímky malých a ředních měřítek, není to však podmínkou. Použití signálů zaručuje snadnou a velmi přesnou identifikaci na snímku, s čímž souvisí i výsledná přesnost lokalizace stereomodelu. Umělá signalizace se používá pro velká měřítka snímků. Nevýhodou tohoto způsobu lícování je nutnost umístění signálů na vhodná místa v území před provedením snímkování a nutnost jejich geodetického zaměření. Kontrolu přesnosti správného umístění stereomodelu do daného souřadného systému je možno provést výpočtem střední kvadratické chyby (RMS) na kontrolních bodech, což jsou body se známými souřadnicemi identifikované na snímcích, které však nevstupují do výpočtu. Jako příklad rozdílné přesnosti je možné uvést RMS na lícovacích situačních bodech cca 2 m pro měřítko 1:23 000 a RMS cca 0,5 m na signálech u snímků stejného měřítka. S tímto faktem souvisí i výsledná přesnost zaměření geomorfologických objektů. Historické snímky lze lícovat pouze pomocí situačních bodů. Nalezení vhodných objektů je často velmi problematické, zejména u starších snímků díky značné proměně krajiny.

Stereoskopické pozorování je možné zajistit i snímky pořízenými senzory, jejichž nosiči jsou družice. Pro účely stereopozorování v geomorfologickém mapování jsou nezbytná družicová data pořízená v stereomodu s vhodným prostorovým rozlišením. Pro méně podrobné mapování jsou vhodná data nižšího rozlišení (LANDSAT 30 m, ASTER 15 m, SPOT 1 až 4-10 m), popř. středního prostorového rozlišení (IRS-P6 5,8 m nebo SPOT 5,5 m). Jejich výhodou je poměrně velký rozměr scén (např. u SPOT 60x60 km). Oproti tomu družicová data s vysokým rozlišením jsou z hlediska prostorového rozlišení obdobou klasických leteckých snímků a lze na nich vyhodnocovat mikroreliefní tvary. Do této skupiny náleží systémy pořizující panchromatická data, která je možno použít k vytvoření stereomodelu IKONOS a OrbView (s rozlišením 1 m) nebo QuickBird

(s rozlišením 0,6 m). Nevýhodou těchto dat s vysokým rozlišením je ovšem jejich vysoká pořizovací cena.



Obr. 2 Ukázka leteckých snímků z let 1937 (vlevo) a 2003 (vpravo) – lom Litice nad Orlicí

Mapování geomorfologických prvků pomocí stereomodelu

Při prostorovém pohledu z ptací perspektivy, který stereomodel umožňuje, lze poměrně snadno a názorně získat základní povědomí o georeliéfu mapovaného území. S patřičným „nadhledem“ tak lze v kancelářských podmínkách hodnotit základní rysy georeliéfu, zejména jeho strukturní poměry (kvesty, průběhy synklinál a antiklinál, příkrovů, zlomových svahů). Je možné též získat informace o hydrologických poměrech území ve vztahu ke geomorfologii – typ říční sítě, tvary údolí, lokalizace průlomových údolí vrásovými strukturami nebo identifikace průběhu akumulčních teras řek.

Metoda získávání informací pomocí stereomodelu se však zejména uplatní při podrobném geomorfologickém mapování tvarů přírodního i antropogenního původu velkého měřítka, zejména morfoskulptur. Výhodou digitálně vytvořeného stereomodelu je možnost zvětšení do měřítka mnohem většího, než v jakém byly snímky původně pořízeny. Například, snímky pořízené v měřítku 1:23 000 a naskenované na 1200 dpi, což představuje velikost pixelu cca 0,5 m, lze použít ve stereomodelu až do měřítka 1:3 000 až 1:2 000. Lze tak rozlišit objekty poměrně malých rozměrů. Mezi povrchové tvary přírodního původu identifikovatelné pomocí stereomodelu patří tvary vzniklé fluvialní činností (např. erozní rýhy, strže, meandry), glaciální a kryogenními procesy (nejčastěji izolované skály a mrazové sruby) nebo krasové tvary (např. závrt, polje, ponory).

Velkou skupinu objektů mapovatelných prostorovým pozorováním snímků tvoří tvary vytvořené lidskou činností nejrůznějšího zaměření, a to zejména z důvodu jejich pravidelného průběhu nápadně se lišícího od okolní přírodní krajiny. Podle geneze se tyto antropogenní prvky dělí (Demek 1987) na těžební (lom, dole), zemědělské (agrární terasy a haldy), vodohospodářské (hráze přehradních nádrží), dopravní (komunikační zářezy, násypy, úvozy) a vojenské (okopy, zátky, obranné valy, hradby) atd.

Možnosti vyhodnocování ve stereomodelu

Důležitým prostředkem k propojení stereovyhodnocení a geomorfologického mapování jsou informační technologie, které jsou reprezentovány především potřebným programovým vybavením. Zpracování snímků do podoby stereoskopického modelu dnes probíhá digitální cestou. Speciální programové prostředky pro fotogrammetrii a DPZ umožňují výpočet orientačních prvků snímků i samotného stereoskopického modelu. Nad takto vytvořeným modelem je pak možná vektorizace ve 3D.

Výsledkem sběru dat je prostorově lokalizovaná vektorová vrstva v určitém datovém formátu a referenčním souřadném systému, kterou je možno uložit (buď přímo nebo po příslušné konverzi datového formátu) do existujícího nebo nově vytvářeného geografického informačního systému.

V současné době na trhu existuje celá řada produktů lišících se výrobcem, cenou, kvalitou a rozsahem potřebných funkcí. Produkt se vždy skládá z několika modulů určených pro jednotlivé fáze fotogrammetrického zpracování. Například, ERDAS IMAGINE s modulem pro stereovyhodnocení StereoAnalyst umožňuje vyhodnocení do datového formátu 3D Shapefile, mezi další známé programy zaměřené na fotogrammetrii a stereovyhodnocení patří PCI Geomatica, INPHO Summit Evolution nebo PhoTopol. Pro účely geomorfologického mapování lze pomocí stereomodelu řešit dvě rozdílné úlohy: prostorovou lokalizaci a identifikaci tvarů georeliéfu a tvorbu digitálního modelu reliéfu.

Prostorová lokalizace a identifikace tvarů georeliéfu

Prostorová lokalizace tvarů georeliéfu spočívá ve vyhledání mapovaného geomorfologického objektu, jeho správné umístění a zařazení (klasifikaci) do správné skupiny objektů (násep, lom, halda, terasa ap.). Výsledkem je bodová, liniová nebo polygonová vektorová vrstva popř. více vrstev. Způsoby ukládání výsledků mohou mít různou formu. Buď se používá po jedné bodové, liniové a polygonové vrstvě v rámci celého zájmového území a typ geomorfologického tvaru je jedním z atributů. Druhou možností je použití samostatné vektorové vrstvy pro každý mapovaný geomorfologický tvar.

Dalším krokem je zjištění morfometrických parametrů identifikovaného tvaru (výška, hloubka, délka nebo šířka). Výsledné hodnoty morfometrických měření je možné uvést jako předdefinované atributy dané vektorové vrstvy. Použití atributů následně dává možnost rychlé vizualizace těchto parametrů objektů v digitální podobě v prostředí GIS nebo při tvorbě analogových výstupů.

Při hodnocení výsledné přesnosti zaměření objektů, je třeba počítat s RMS vycházející při srovnání stereoskopického modelu (0,5 m až 2 m pro měřítko 1:23 000) a také s chybou správné lokalizace objektu operátorem na tomto modelu. Celkově však lze konstatovat, že lze dosáhnout přesnosti zaměření 6 až 10 m, kterou Voženílek (Voženílek et al. 2001) považuje za dostačující při podrobném geomorfologickém mapování v měřítku 1:10 000.

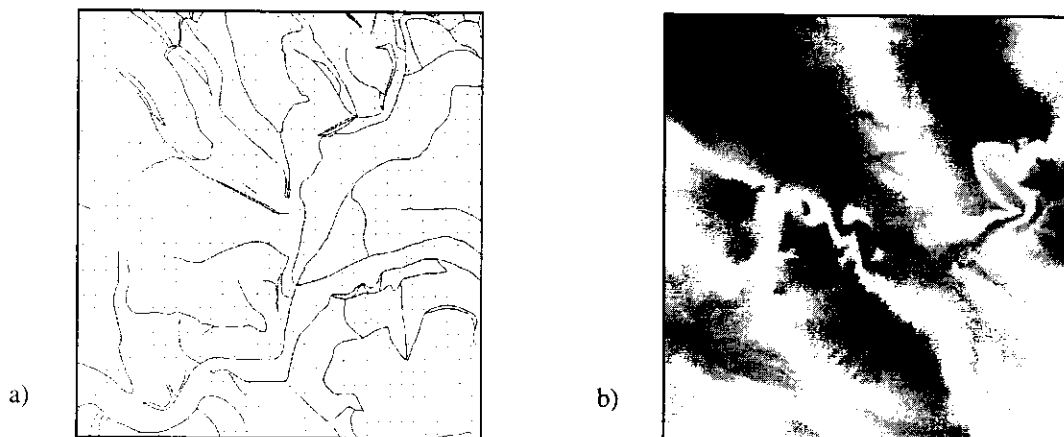
Tvorba digitálního modelu reliéfu

Pro výpočet sklonitosti georeliéfu, orientace svahů nebo relativní výškové členitosti je nutné mít k dispozici informace o výškových poměrech daného území neboli digitální model reliéfu (DMR). Informace o výškových poměrech nejsou určovány pro každý bod daného území, měření probíhá v určitém pevně stanoveném intervalu. Při rastrovém zpracování vzniká pravidelná mřížka (grid) bodů pokrývajících dané území, které mají přesně určenou polohu i výšku. K tomuto účelu je možné využít právě stereoskopického modelu.

Digitální model reliéfu lze generovat pomocí stereomodelu automaticky, manuálně sběrem bodů ležících na terénu ve stereorežimu nebo kombinací obou metod. Proces automatického gene-

rování DMR je založen na vyhledávání odpovídajících si bodů, jejichž rozdílná poloha na obou snímcích dává možnost určení horizontální paralaxy, která je nositelem informace o výškových poměrech. K nalezení odpovídajících si bodů se používá korelačních algoritmů. Automatická metoda není schopna v oblastech pokrytí terénu lesy, budovami a jinými objekty správně určit reálný průběh terénu ve všech místech území, dochází k výpočtu obálkového DMR probíhajícího po vrcholcích stromů i střeších budov. Korelační proces však může mít problémy i v místech obnažených, důvodem je nepřesný výsledek korelace vlivem různé radiometrické hodnoty odpovídajících si bodů, způsobený jiným úhlem snímání obrazu. Takto generovaný DMR je pak možno manuálně upravit ve stereorežimu různými postupy, např. hromadným snížením bodů z míst korun stromů nebo ze střeš budov na skutečný terén. Pro lepší zachycení průběhu terénu je možné pravidelný grid doplnit dalšími body mimo tuto mřížku popř. liniemi v místech výskytu výrazných terénních hran (náspy, zářezy). Nežádoucí vliv na vyhodnocení DMR má vegetační pokryv (tráva, rákos atd.). Proto je lepší používat snímky z období vegetačního klidu, kdy je lépe vidět nejen skutečný průběh georeliéfu na polích ale i v odlistěných lesních areálech.

Výsledkem výše popsaného procesu je vektorová vrstva nebo vrstvy (v závislosti na datovém formátu) bodů a linií (obr. 3a), která je následně vstupem pro výpočet pravidelného maticového nebo rastrového DMR (obr. 3b), sklonitostních poměrů, orientace svahů k světovým stranám, relativní výškové členitosti nebo dalších analýz geomorfologického mapování (Etzelmuller 2000, Krcho 1990, Tucker et al. 2001, Wolock a McCabe 2000, Wood 1999).



Obr. 3 a, b Digitální model reliéfu – a) body a linie vyhodnocené ve stereorežimu, b) rastrové vyjádření s použitím barevné hypsometrie

Použití získaných dat

Po fázi sběru dat následuje ukládání a zobrazování pořízených geomorfologických informací tak, aby byla zajištěna jejich správná interpretace v rámci návazných studií. Vzhledem k tomu, že zdaleka nemnoho geomorfologů má možnost pracovat se stereomodelem, ať už z důvodu omezených programových prostředků nebo znalostí zpracování snímků, je nezbytné zpřístupnění získaných výsledků pomocí dostupných a snadných vizualizačních metod a nástrojů.

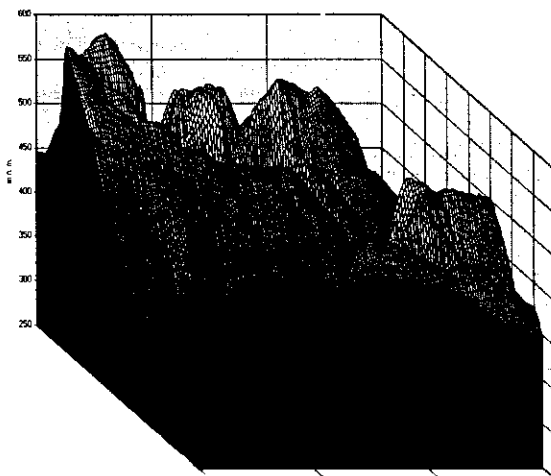
Výsledky prostorové lokalizace a identifikace geomorfologických tvarů prezentované ve formě bodových, liniových nebo polygonových vektorových vrstev lze využít jako tematických vrstev v komplexní prostorové databázi území, ze které je možné sestavit a tisknout geomorfologické mapy.

Digitální výškové informace o území se využívají i k dalším názorným grafickým prezentacím. Tyto vizualizační výstupy nemají sice velkou kartometrickou hodnotu, jejich význam však spočívá v třírozměrném (lépe pseudoprostorovém) zobrazení krajiny. Značné rozšíření těchto způsobů znázornění digitálního modelu reliéfu v posledních letech je umožněno využitím počítačů, které urychlují a zjednodušují jejich generování (Voženílek et al. 2001, Voženílek 2002). Mezi

nejvhodnější způsoby vizualizace výškopisu odvozeného ze stereomodelu patří zejména blokdiagramy (obr. 4), anaglyfy, 3D pohledy a videosekvence, podélné a příčné profily.

Pro generování těchto výstupů je nutné použít digitální model reliéfu v rastrové struktuře grid v předem zvoleném rozlišení, jež se odvíjí od požadavků na podrobné vyjádření georeliéfu ovlivněné účelem využití těchto koncových produktů (Schoorl et al. 2002). Pro věrné vyjádření průběhu georeliéfu je optimální grid s rozlišením 5 až 20 m. U počítačově vytvořených blokdiagramů a profilů je kromě rychlého generování výhodou možnost volby směru pohledu na dané území, resp. čáry profilu. Jejich změna znamená plynulé překreslení blokdiagramů a profilů, které je pak možno na závěr uložit ve formě obrázku.

Pro tvorbu anaglyfu, 3D pohledů a videosekvencí je kromě digitálního modelu reliéfu nezbytné využít ortogonalizovaný snímek, kterým se výškopisná data „pokryjí“. Anaglyf je v podstatě stereoskopickým pozorováním s využitím jednoduchých prostředků (anaglyfické brýle). Na rozdíl od stereoskopického modelu popsaného v předchozích kapitolách na něm však nelze vektorizovat ani provádět žádná výškopisná měření. Velmi populárními se v poslední době stávají videosekvence čili počítačově simulované průlety nad krajinou představující dynamicky se měnící 3D pohled na zájmové území.



Obr. 4 Počítačově generovaný blokdiagram – litická antiklinála a údolí Divoké Orlice u Potštejna

Závěr

Použití stereoskopického pozorování při geomorfologickém mapování krajiny má velké perspektivy. Stereoskopický model pro tento účel je možné sestavit ze dvojice leteckých měřických snímků nebo družicových scén. Zvláštní význam má použití historických snímků, sloužící k časovému srovnání stavu a vývoje krajiny se zaměřením na mapování geomorfologických tvarů.

Stereoskopický model nabízí řešení dvou základních úloh v geomorfologickém mapování – prostorovou lokalizaci a identifikaci tvarů georeliéfu a tvorbu digitálního modelu reliéfu. Stereovjem je vhodný zejména pro mapování geomorfologických tvarů (přírodních i antropogenních) velkého měřítka, kdy lze s dostatečnou přesností určit prostorové umístění, typ i morfometrické charakteristiky těchto objektů. Digitální model reliéfu je důležitým vstupním souborem pro výpočet sklonitostních poměrů, orientace svahů k světovým stranám nebo relativní výškové členitosti. Kromě těchto informací lze na základě digitálního modelu reliéfu s pomocí vhodného programového vybavení generovat vizualizační výstupy, jako jsou blokdiagramy, anaglyfy, 3D pohledy, videosekvence a profily terénu využitelné v dalších návazných geomorfologických studiích.

Výhoda této metody spočívá v možnosti tematického mapování, v rychlosti vyhodnocení objektů a v zajištění patřičného globálního náhledu na mapované území. Tyto výhody uvádí již Voženílek (2004), tato studie je potvrzuje. Nevýhodou, která v současnosti brání většímu rozšíření

této mapovací metody, je nutná znalost fotogrammetrického zpracování leteckých snímků popř. družicových scén a také znalost geoinformačních technologií, pomocí nichž dnes probíhá vytvoření stereomodelu i následný sběr, ukládání a vizualizace tematických informací. Pro geomorfologické mapování se tak jeví do budoucna potřeba propojení znalostí geomorfologie a geoinformatiky, a to ve formě seskupení vzájemně se doplňujících osob různé specializace, tvořících tým společně provádějící tento druh mapování (Voženílek 2004a).

Literatura

- BEZVODOVÁ, B., DEMEK, J., ZEMAN, A. (1985). *Metody kvarterně geologického a geomorfologického výzkumu*. Brno, Praha (Přírodovědecká fakulta UJEP, Státní pedagogické nakladatelství).
- ETZELMULLER, B. (2000). On the Quantification of Surface Changes using Grid-based Digital Elevation Models (DEMs). *Transactions in GIS*, 4(2), pp. 129-143.
- DEMEK, J. (ed.) (1972). *Manual of detailed geomorphological mapping*, Praha (Academia).
- DEMEK, J. (ed.) (1976). *Handbuch der geomorphologischen Detailkartierung*, Wien (Verlag F. Hirt).
- DEMEK, J. (1987). *Obecná geomorfologie*. Praha (Academia).
- KLIMASZEWSKI, M. (1978). *Geomorfologia*. Warszawa (PWN).
- KRCHO, J. (1990). *Morfometrická analýza a digitálne modely georeliéfu*. Bratislava (Veda).
- PAVELKA, K. (1998). *Fotogrammetrie 10*. Praha (České vysoké učení technické).
- SCHOORL, J. M., SONNEVELD, M. P. W., VELDKAMP, A. (2000). Three-dimensional landscape process modelling: the effect of DEM resolution. *Earth Surface Processes and Landforms*, Vol. 25 (9), pp. 1025-1034.
- TUCKER, G. E., CATANI, F., RINALDO, A., BRAS, R. L. (2001). Statistical analysis of drainage density from digital terrain data. *Geomorphology*, 36 (3, 4), pp. 187-202.
- VOŽENÍLEK, V. et al. (2001). *Integrace GPS/GIS v geomorfologickém výzkumu*. Olomouc, 184 s. (Univerzita Palackého).
- VOŽENÍLEK, V. (2002). Vliv vyjádření reliéfu na výsledky modelování prostorových jevů. *Geografické informace 7*, s. 321-328.
- VOŽENÍLEK, V., SEDLÁK, P. (2004). Mobilní geoinformační technologie v geomorfologickém mapování. *Geografický časopis*, 56 (1), s. 65-81.
- VOŽENÍLEK, V. (2004). Geoinformační gramotnost. *Sborník příspěvků konference GIS Ostrava 2004*, Ostrava, CD-ROM.
- VOŽENÍLEK, V. (2004a). Towards to Digital Geomorphological Mapping. In: Drbohlav, D., Kalvoda, J., Voženílek, V. (eds.) (2004): *Czech Geography at the Dawn of the Millenium*, Olomouc (Palacky University).
- WOLOCK, D. M., MCCABE, G. J. (2000). Differences in topographic characteristics computed from 100- and 1000-m resolution digital elevation model data. *Hydrological Processes*, 14 (6), pp. 987-1002.
- WOOD, J. D. (1999). Modelling the Continuity of Surface Form Using Digital Elevation Models. In Poiker, T., Chrisman, N. (eds): *Proceedings 8th International Symposium on Spatial Data Handling*, pp. 725-736.

S u m m a r y

Exploitation of stereoscopic observation for geomorphological mapping

The paper describes the exploitation of stereomodel for geomorphological mapping. Two photographs of the same area captured from two different places ensure three dimensional view on the area. These overlapped photographs generate stereomodel which is referred to appropriate coordinate system with assistance of ground control points. The stereomodel can be created from both aerial photographs and satellite scenes. Historical aerial photographs have special importance enabling multitemporal geomorphological analyses of surface genesis.

The stereoscopic model is suitable either for global geomorphological surveying or for identification of large scale surface forms with both natural or human origin. The stereomodel as a tool for geomorphological mapping enables solving two possible tasks – localization and identification of surface forms and digital elevation model collection. The first one comprises of spatial localization of the form, its correct classification and its morphometric parameters measurement. The result of this process is vector layer (point, polyline or polygon) suitable for digital processing in GIS project or for hardcopy outputs production.

There are two basic ways of digital elevation model collection – automatic and semiautomatic. Because of low reliability of automatic method the best way is manually to correct automatically generated grid of points and to density the grid by other points and breaklines. This product is input information for deriving

other surface characteristic such as slope, aspect or relative heights. Moreover, digital technology has enabled to generate visualization forms such as blockdiagrams, terrain profiles, anaglyphs or videosequences.

Geoinformatics plays important role within stereomodel preparation, thematic data collection, its storage and visualization process. Therefore only joining geomorphology and geoinformatics specialists will assure spreading of the stereoscopic observation as geomorphological mapping method in the future.

Fig. 1 A scheme of branch sciences interconnection essential for stereoscopic observations in geomorphology

Fig. 2 Airborne photographs of the quarry in Litice nad Orlicí from 1937 (left) and 2003 (right)

Fig. 3 The digital model of the relief: a) points and lines generated in stereo mode; b) raster images generated using colour hypsometry

Fig. 4 A computer-generated block diagram – the Litická anticline and the valley Divoká Orlice near Potštejn

Lektoroval:

Doc. Ing. Jozef ČERŇANSKÝ, CSc.,

Univerzita Komenského Prírodovedecká fakulta, Bratislava