
GEOGRAFICKÝ ČASOPIS

56

2004

1

*Vít Voženílek, Pavel Sedlák**

MOBILNÍ GEOINFORMAČNÍ TECHNOLOGIE V GEOMORFOLOGICKÉM MAPOVÁNÍ

V. Voženílek, P. Sedlák: Mobile geoinformation technologies in geomorphological mapping. Geografický časopis, 56, 2004, 1, 1 fig., 2 tabs., 14 refs.

The paper treats technological development in the geographical applications of mobile geoinformation technologies. There are several problems concerning geomorphological mapping in difficult terrain and complicated georelief. The main aim is to specify capabilities of mobile geoinformation technologies, which can be integrated for improving thematic mapping of georelief. While many developments in GPS and mobile GIS have been considered from the viewpoint of geodesy, their versatility in geomorphological research has had limited attention. Both mobile geoinformation technologies are becoming more available, less expensive and easier to integrate with other devices and disciplines. The paper involves a description of procedures for using mobile geoinformation technology within geomorphological mapping. It identifies the advantages of these technologies. The results consist of defining four levels of GPS/GIS integration in geomorphological mapping and their critical assessment.

Key words: geoinformatics, global positioning systems, geographic information systems, geomorphological mapping, spatial analysis, integration of mobile technologies

ÚVOD

Po dlouhá léta se tvůrci a uživatelé geografických informačních systémů snaží přivést výpočetní potenciál GIS přímo do terénu, tedy přímo do prostředí, kde většinou probíhá podstatná část sběru dat. Současné možnosti využití hard-

* Přírodovědecká fakulta Univerzity Palackého, Tř. Svobody 26, 771 46 Olomouc, Česká republika

warových a softwarových prostředků pro přímý sběr geomorfologických dat v terénu a jejich zaznamenání do digitální formy již tento požadavek splňují. A tak se díky rozvoji informačních a komunikačních technologií stávají mobilní geoprostorové aplikace realitou (Sedlák 2001). Zatím však obecně platí, že většina „terénních“ a tedy mobilních pracovníků při své práci v terénu geoinformační technologie nepoužívá. Jedním z důvodů je bezpochyby přílišná složitost tradičních stolních aplikací GIS (Raper a Kelk 1991). To vytváří dojem, že mobilní aplikace budou ještě složitější. Jak data samotná, tak uživatelská rozhraní systémů používají u mobilních GIS pro práci v terénu zcela jiný, zjednodušený a uživatelsky příjemnější přístup. Důvodem vývoje mobilních zařízení a jejich nasazení v praxi je snaha vyhnout se pokládce „hmotných“ přenosových cest – kabelů. Zatím nelze konstatovat, že všechny mobilní přístroje jsou bezdrátové, i když je to současným trendem. Kapesní počítač PDA se připojuje k ostatním přístrojům nejčastěji pomocí telefonního či jiného kabelu.

Mobilními geoinformačními technologiemi se označují prostředky vzniklé integrací geoinformačních technologií a telematiky a určené pro získávání geodat a geoinformací a jejich zprostředkování mobilním uživatelům. V současné době nacházejí uplatnění v geomorfologii nejčastěji mobilní GIS, GPS a využívání materiálů DPZ. V podstatě se jedná o integraci následujících prostředků: mobilní telefon, přenosný nebo kapesní počítač, přijímač GPS, specifické programové vybavení a odpovídající geodata (Kubíček 1999).

MOBILNÍ GIS

Efektivně zavedený mobilní GIS předpokládá propojení více technologií dohromady. Základními koncepčními prvky mobilního GIS jsou bezdrátové komunikační sítě, protokoly pro přenos dat a s tím související datové formáty a nová generace mobilních přístrojů a programového vybavení. Hlavním cílem využívání mobilních GIS v geomorfologickém mapování je usnadnění a zefektivnění nejenom práce v terénu, ale i následného zpracování a analýz zmapovaných objektů a jevů.

K základním prostředkům mobilních GIS v geomorfologickém mapování patří zejména:

Personal Digital Assistant (PDA) – Druh malého kapesního počítače, který má dostatečnou kapacitu na zpracování a ukládání paměťově náročných grafických dat. Pro ovládání PDA, zápis a zpracování dat slouží dotyková obrazovka se softwarovou klávesnicí, několik ovládacích tlačítek, případně mikrofon a reproduktor. Na obrazovce lze zobrazit digitální mapu, a nahradit tak papírovou mapu, do které jsou mapované prvky ručně zakreslovány. Kromě editace objektů v mapě (záresu, mazání a změny polohy) slouží PDA jako zápisník. Vlastnosti objektů se popisují do předem připravených formulářů propojených s databází. Novější kapesní počítače jsou koncipovány jako modulární sestavy. Dají se rozšířit o moduly se specifickými funkcemi a po zasunutí příslušného modulu se stávají GPS přijímačem, modemem, GSM telefonem, digitálním diktafonem či digitálním fotoaparátem. Pro účely geomorfologického GPS mapování je však používání PDA zatím limitováno omezenými funkcemi tvorby formulářů, práce s naskenovanými mapami a import/export funkcemi. Alternativou k PDA při práci v terénu může být také laptop, jenž je rozšířenější, ale „omezuje“ svojí velikostí.

Přijímač GPS – Slouží k určení polohy. Lze jej propojit s PDA a zobrazovat přímo na jeho obrazovce údaje o nastavení přijímače a aktuálních souřadnicích. Mnoho přijímačů GPS je navrženo speciálně pro spolupráci s PDA. Některé programy pro přijímače GPS však nezapisují data v jejich nativním formátu, a nelze proto využít takto nasbíraná data k dodatečnému zpracování. Některé firmy nabízejí kompletní mobilní GIS vybavení, tedy PDA, přijímač GPS a software, jejichž výhodou je záruka, že všechny komponenty jsou vzájemně kompatibilní.

Laserový dálkoměr – Umožňuje měření nedostupných nebo špatně přístupných bodů. Změří (s určitou přesností) vzdálenost od místa přístroje k zaměřenému předmětu, který je kolmý na laserový paprsek. Dálkoměr má však řadu limitujících parametrů, např. podmínky odrazu paprsku nebo určitý práh citlivosti, tj. minimální vzdálenost, kterou je schopen v udávané přesnosti zaměřit.

Mobilní telefon – Společně s infraportem je díky bezdrátovému připojení k internetu v terénu v případě potřeby získání mapových podkladů či jiných dat ze vzdáleného serveru velmi cenným pomocníkem geomorfologa. Použít jej lze k přenosu nasbíraných dat nebo k bezprostředním konzultacím.

Digitální fotoaparát – Ukládá snímáný obraz přímo do digitální formy. Přitom zaručuje dostatečné rozlišení obrazu-snímku a také možnost pořízení většího množství snímků než klasickým způsobem. Při zpracování dat odpadá pracné skenování fotografií.

Pro práci v terénu je nezbytné vybrat přístroje a zařízení tak, aby jejich váha a rozměr byly co nejmenší a přitom jejich technické možnosti odpovídaly požadavkům digitálního zpracování grafických dat.

GEOMORFOLOGICKÉ GPS MAPOVÁNÍ

Technologie GPS a GIS se mohou podílet na geomorfologickém mapování jak odděleně, tak i společně. Termín *geomorfologické GPS mapování* je zaveden jako stručnější označení metody geomorfologického mapování s využíváním technologie GPS. Geografické informační systémy jsou ve většině případů používány jako prostředí správy, analýzy a prezentace dat. Je-li zároveň používán GIS i v terénu, lze hovořit o geomorfologickém GPS/GIS mapování nebo o digitálním geomorfologickém mapování. Prvním návrhem metodiky geomorfologického GPS mapování je práce V. Voženílka a kol. (2001).

Při tradičním způsobu geomorfologického mapování se geomorfolog potýká s řadou problémů, které s využitím GPS odpadají. Jedná se především o přesný záznam polohy objektu identifikovaného v terénu (sesuv, okraj nivy, skalní výstup atd.) a přesné určení poloh objektů z podkladových map při práci v terénu (např. vrtů, profilových linií, fotografovaných objektů aj.). Tradiční geomorfologické mapování je výrazně zatíženo odchylkami mezi reálnou pozicí objektu, jeho bezprostředním zákresem v terénu a překreslením do finální geomorfologické mapy, protože identifikovaný objekt v terénu je zakreslen do pracovní mapy a překreslen do sestavitelského originálu geomorfologické mapy. Časová náročnost vznikající ručním překreslováním obsahu pracovní mapy do výsledné geomorfologické mapy je většinou příčinou snížení aktuálnosti obsahu výsledné mapy.

Geomorfologické GPS mapování není pouhým využíváním navigačních možností přístroje při terénní práci geomorfologa. Probíhá v krocích podle přesně sestavené osnovy (Voženílek 2000):

- studium zájmového území,
- příprava prostorových databází,
- přípravné analýzy v GIS,
- nastavení GPS parametrů,
- kalibrace a plánování GPS měření,
- vlastní geomorfologické mapování s GPS,
- převod GPS dat do formátu prostorových databází,
- navazující analýzy v GIS,
- tvorba digitální geomorfologické mapy.

INTEGRACE TECHNOLOGIÍ GPS A GIS PRO GEOMORFOLOGICKÉ MAPOVÁNÍ

Při propojení GPS a GIS vystupuje geografický informační systém ve smyslu prostorové databáze geomorfologického GIS projektu. Propojení může být realizováno:

a) jednosměrně z GIS do GPS – představuje část etapy přípravy geomorfologického GPS mapování, kdy se v geomorfologickém GIS projektu (většinou za pomoci speciálních programů) připraví katalog (data dictionary) a přehraje se do GPS přijímače,

b) jednosměrně z GPS do GIS – uplatňuje se, když se trasové body přehrávají z přijímače GPS do GIS pomocí speciálních programů,

c) obousměrně – zahrnuje oba výše uvedené způsoby propojení při použití jediného integrovaného GPS/GIS přístroje.

Pro spolupráci počítače s GPS přijímačem umožňující přehrávání trasových bodů, cest a dalších dat z a do počítače byly vyvinuty speciální programy. Téměř všechny dostupné programy jsou kompatibilní s většinou GPS přijímačů na českém trhu. Po přehrávání dat do počítače lze jednoduše a rychle editovat nebo zálohovat naměřená data v počítači. K nejdostupnějším programům pro zpracování GPS dat patří PathFinder Office, MapSource, OziExplorer, Waypoint+, Gartrip, WinGPS, QuoVadis, MapSite, GarminPCX5, Fugawi, G7ToWin nebo WinDGPS. Mnohé jsou sharewarové nebo freewarové produkty dostupné na internetu.

Integraci technologií GPS a GIS při geomorfologickém mapování lze realizovat na čtyřech úrovních.

Oddělená integrace se skládá z GPS/dGPS přijímače a základního geomorfologického GIS projektu umístěného na pracovišti uživatele většinou na pracovních stanicích či počítačích s dostatečnou kapacitou na pevném disku, rychlým procesorem a velkou pamětí. Je napojen na řadu vstupních a výstupních periférií a k přenosu dat využívá připojení na sítě různých úrovní. Kromě základního operačního softwaru obsahuje:

- programové prostředky GIS, v jejichž datových formátech ukládá data v geografické databázi,
- programy pro převod dat z GPS přijímače do počítače,
- programy pro vizualizaci, správu, transformaci a konverzi GPS dat,
- nástroje pro analytické zpracování dat (analýzy, syntézy, modelování) – nejsou-li obsaženy v programových prostředcích GIS,
- nástroje pro kartografickou vizualizaci (tvorbu počítačové geomorfologické mapy) – nejsou-li obsaženy v programových prostředcích GIS.

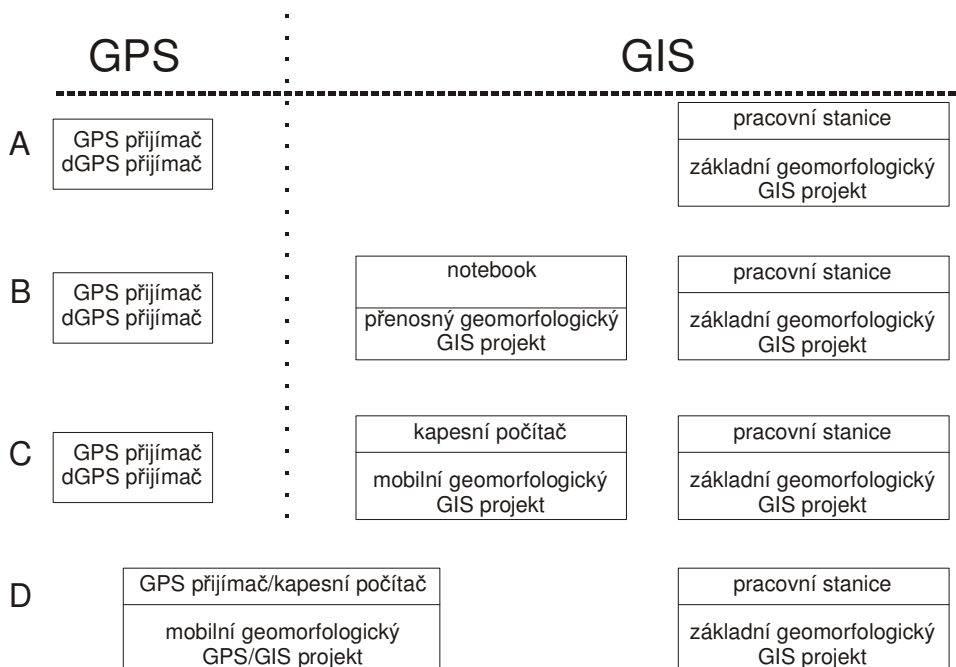
Geomorfolog pracuje v terénu tradičním způsobem, zobrazuje identifikované geomorfologické objekty a procesy ručně do analogové mapy a polohu vybraných prvků měří a ukládá pomocí GPS přijímače. Po práci v terénu převede data základního GIS projektu v pracovní mapu a pokračuje v geomorfologickém výzkumu „u stolu“. Pracovní mapu sestavenou v terénu převede do digitální podoby digitalizací v prostředí zvoleného GIS.

Přenesená integrace se skládá z využívání GPS/dGPS přijímače, přenosného geomorfologického GIS projektu na přenosném počítači (notebooku) a základního geomorfologického GIS projektu. Přenosný geomorfologický GIS projekt je derivátem základního geomorfologického GIS projektu a je umístěn v přenosném počítači (Voženílek 1996). Obsahuje pouze nezbytné části projektu pro práci v terénu, tedy přímo pro geomorfologické mapování jako příruční projekt. Nejčastěji se skládá z tematických vrstev a přehledně uspořádaných textových a grafických souborů (zprávy, popisy jevů, fotografie, profily a pod.). Geomorfolog jej využívá pouze příležitostně, nejčastěji ke konfrontaci reality s obsahem prostorových databází. Z důvodu závislosti na záložních zdrojích je přenosný počítač využíván velmi efektivně. Z programových produktů vyžaduje pouze ekvivalent „prohlížečky dat“, popřípadě software pro převod dat z GPS přijímače do počítače nebo software pro vizualizaci, správu, transformaci a konverzi GPS dat pro případné zpracování GPS měření přímo v terénu. Po skončení práce v terénu pracuje stejně jako v případě oddělené integrace, to znamená, že převede data základního GIS projektu v pracovní mapu a pokračuje v geomorfologickém výzkumu „u stolu“. Pracovní mapu sestavenou v terénu převede do digitální podoby digitalizací v prostředí zvoleného GIS.

Mobilní integrace se skládá z GPS/dGPS přijímače, mobilního geomorfologického GIS projektu na kapesním počítači a základního geomorfologického GIS projektu. Mobilní geomorfologický GIS projekt obsahuje maximálně stejné vybavení jako přenosný projekt, ovšem většinou je limitován kapacitními možnostmi kapesního počítače a jemu příslušného softwaru. Analogová mapa je nahrazena buď rastrovou mapou (vznikla naskenováním) nebo vektorovou mapou (vzniklou nad prostorovými databázemi GIS projektu) v kapesním počítači. Geomorfolog využívá kapesní počítač pomocí mapy vyhledávání v databázích nebo k záznamu poznámek. GPS přijímač mu slouží k určování jeho okamžité polohy. Zmapované objekty jsou přímo v terénu pořizovány v digitální podobě v příslušném formátu v rámci mobilního GIS projektu. Po skončení práce v terénu a přenosu dat z kapesního počítače do základního geomorfologického GIS projektu na výkonnější pracovní stanici v pracovním geomorfologa. Zde je práce dokončena.

Vnořená integrace se skládá z mobilního geomorfologického GPS/GIS projektu na integrovaném GPS přijímači/kapesním počítači a základního geomorfologického GIS projektu. Stěžejním prvkem vnořené integrace je přístroj integrující GPS přijímač a kapesní počítač s přístupem na internet. Toto řešení umožňuje interaktivně zobrazovat GPS měření a připojení na internet v reálném čase. Geomorfolog již nepracuje v terénu se dvěma přístroji, ale používá pouze jediný – kapesní počítač s GPS modulem, kde na obrazovce sleduje podkladovou mapu, zapíná si potřebné vrstvy a při zakreslování mapovaných objektů využívá grafické signalizace své okamžité polohy na obrazovce počítače. Po práci v terénu jsou data přenesena z GIS/GPS přístroje do základního geomorfologického GIS projektu na výkonnější pracovní stanici v pracovně geomorfologa. Zde je práce dokončena.

Oddělená, přenesená a mobilní úrovně integrace GPS/GIS byly na Univerzitě Palackého v Olomouci a Masarykově univerzitě v Brně testovány v rámci řešení grantu GA ČR č. 205/99/0329 „Propojení a aplikace technologií GIS a GPS při tematickém mapování krajiny“. Základními programovými GIS produkty byly produkty firmy ESRI, Inc., užíván byl GPS přijímač Trimble GeoExplorer II, přenosný počítač Twinhead Slimnote VX a kapesní počítač Compaq iPAQ.



Obr. 1. Úrovně integrace GPS/GIS v procesu geomorfologického mapování (Integrace: A – oddělená, B – přenesená, C – mobilní, D – vnořená; Voženílek 2001).

ZPŮSOBY VYUŽITÍ GPS PŘI GEOMORFOLOGICKÉM MAPOVÁNÍ

Technologii GPS lze při geomorfologickém mapování použít pět základních způsobů – určení polohy, navigace, trasování, mapování a měření času a rychlosti.

Určení polohy je nejběžnější a nejpůvodnější způsob využívání GPS. S odpovídající přesností vypočte přijímač svoji pozici a zobrazí na svém displeji nebo na obrazovce počítače (přenosného nebo kapesního). Podle charakteru úlohy, lze určovat polohu ve 2D nebo 3D režimu. Určování polohy se při geomorfologickém mapování využívá při orientaci v terénu. K tomu je výhodné používat GPS přijímače s integrovanými mapami, přestože jejich přesnost a podrobnost doposud nedosahuje požadovaného měřítka (nejlépe 1:10 000).

Navigace je způsob využití GPS k dosažení konkrétního místa na Zemi. Při nastavení souřadnic požadovaného místa umožňuje přijímač pomocí výpočtů zobrazovat azimut a vzdálenost okamžité pozice geomorfologa. Při pohybu se oba parametry přepočítávají a ihned zobrazují. Navigace umožňuje zaměření polohy nepřístupných objektů v kombinaci s laserovým dálkoměrem a digitálním elektronickým kompasem. Body a jejich souřadnice je možné zadávat přímo v terénu nebo je připravit v rámci geomorfologického GIS projektu a do GPS přijímače je před mapováním přehrát jako soubor trasových bodů. Při geomorfologickém mapování navigace napomáhá k orientaci ve složitém terénu. Umožňuje například pokračovat v rozpracovaném mapování v konkrétním místě nebo přesně lokalizovat prostorové informace uložené v databázích. Jedná se nejčastěji o místa různých měření (vrt, sonda, profil) nebo pořízení fotografií, což napomáhá ke správné identifikaci mapovaných objektů.

Trasování představuje sledování pohybu GPS přijímače a jeho zaznamenávání do souboru registračních bodů snímaných v pravidelných časových intervalech (od 1 sekundy). Počet registračních bodů je většinou limitován kapacitou paměti přijímače. Při geomorfologickém GPS mapování se trasování využívá pro dvě úlohy: zaznamenávání pohybu mezi měřeními (trasovými body) a měření liniových objektů, resp. vymezování hranic plošných objektů, např. okraje nivy, osy úpadu, stupně agrární terasy apod. Trasování lze využívat i při sledování profilových linií, které si geomorfolog edituje na počítači před prací v terénu. GPS přijímač pak vede uživatele v terénu podle pravidel navigace (viz výše).

Mapování je proces, při kterém vypočítává GPS přijímač s odpovídající přesností svoji pozici a ukládá ji do paměti, do předem nadefinovaného souboru jako trasový bod. Počet trasových bodů je nejčastěji limitován výrobcem a je explicitně uveden. Určování polohy se při geomorfologickém GPS mapování využívá pro zaznamenávání polohy mapovaného objektu (závrt, břehová nátrž apod.). Jestliže není možné být fyzicky přítomen na pozici mapovaného objektu (na protějším břehu, na skalní stěně apod.), lze využít GPS tak, že se zaznamenává maximálně nejbližší pozice pomocí GPS přijímače jako specifický trasový bod a polohu mapovaného objektu zaznamenat pomocí azimutu a vzdálenosti. K tomu lze využít laserové dálkoměry, pásmo, kompas či jiné pomůcky. Specifikace se pak provádí písemně do poznámkového bloku či kapesního počítače nebo zvukově do diktafonu. Při převodu a zpracování naměřených poloh je pak nutné od vynesení specifického trasového bodu odvodit z azimutu a vzdále-

nosti od místa měření správnou polohu mapovaného bodu, a to nejčastěji jednoduchými geometrickými procedurami přímo v prostředí GIS. Mapování lze bez komplikací používat výhradně tam, kde je volný, nezakrytý výhled alespoň na část oblohy. Přičemž nejcitlivější na dostatek signálu je zejména při zapnutí přijímače, kdy se přístroj inicializuje a zjišťuje svou polohu. Proto, má-li se používat GPS v místě se zhoršeným příjmem, je vhodné ho zapnout ještě dříve, než se do místa s nedostatkem signálu přijímač dostane (například při použití GPS v hustém lese se doporučuje zapnout přijímač ještě před vstupem do lesa nebo na mýtině). Když se GPS již inicializuje, stačí mu pro další provoz podstatně menší signál. Nutno však počítat s tím, že čím je slabší příjem, tím je i horší přesnost určené polohy. GPS přijímač také není vhodné stínit tělem, zejména nachází-li se geomorfolog v oblasti s horším příjmem. Ideální je používání antény, která je nad postavou. Jinak je nejvhodnější polohou držení přijímače v ruce před tělem. Pro 12 kanálové přijímače nebývá hustý les problémem, pokud se ovšem neskloubí dohromady hustý les s další překážkou, například zastíněním skálou. Mnohem většími chybami je měření zatíženo ve městě, zvláště na chodníku u stěny budovy, kde je výhled na družice značně stíněn.

Technologii GPS lze úspěšně využít také k *temporálním analýzám*, kdy porovnáváme změnu objektu zaměřeného pomocí GPS v čase. Obecně technologii GPS lze úspěšně využít také při měření času a rychlosti, ovšem při geomorfologickém mapování lze měření času využít jen ojediněle. Jedná se o měření rychlosti geomorfologických procesů. Ty jsou ovšem buď katastrofické nebo pomalé. Problémem je skutečnost, že k využití GPS je nutné používat přijímač na fixní pozici a na vybraném objektu, jehož pohyb je předmětem měření. Prakticky je však nereálné, aby byl přijímač pevně umístěn například na bloku v kameném moři nebo uprostřed sesuvného území. Používá se výjimečně při měření na více místech k synchronizaci času (například při seismických a geodynamických studiích).

V geomorfologii se v rámci nejrůznějších výzkumných úkolů zakládají výzkumné a studijní plochy. Jedná se o místa měření, kde jsou instalovány GPS přijímače s úkolem zaznamenávat polohy vybraného geomorfologického jevu (objektu a jevu). V geodetické terminologii se označují doby jejich používání jako základny. V posledním desetiletí se geodetické GPS metody používají v geomorfologii poměrně často.

Vzhledem k tomu, že při geodetických GPS metodách měření se v geomorfologii očekávají výsledky v řádech centimetrů, je nutné splnit tři základní podmínky: současné měření alespoň na dvou bodech, dostatečně velká viditelná část oblohy a nepřítomnost předmětů způsobujících vícecestné šíření signálu, tzv. multipath.

Geodetické GPS metody poskytují velice přesné výsledky. Vysoká přesnost, které je možno dosáhnout, je pro středněměřítkové GIS aplikace v geomorfologii nadbytečná. Je-li přesto provedena, i když není požadována, je příliš drazo zaplácena, protože se vzrůstajícími nároky na přesnost měření vzrůstají i náklady na měření (Kaplan ed. 1996). Geodetické GPS metody vyžadují obsluhu na profesně vysoké úrovni a pečlivou obsluhu přístrojů.

Tab. 1. Geodetické GPS metody v geomorfologii

Metoda	Přesnost (v mm)	Doba měření	Používání
statická metoda	1 až 5	několik dnů až týden (i opakované)	monitorování tektonických pohybů a pomalých geomorfologických procesů
rychlá statická metoda (pseudostatická metoda)	5 až 10	několik minut	měření pomalých geomorfologických procesů
metoda „stop and go“ (polokinetická metoda)	10 až 20	několik minut, lze přesunovat stanice, na měřených bodech lze měření zkrátit na několik sekund (nedošlo-li během přesunu ke ztrátě signálu)	studium geomorfologických procesů s proměnlivou rychlostí
kinematická metoda	20 až 30	pohybující se přijímač provádí měření v krátkém časovém kroku	v geomorfologii se nevyužívá
kinematická metoda v	30 až 50	méně než sekunda	ná sledování katastrofických geomorfologických

SROVNÁNÍ TRADIČNÍHO A DIGITÁLNÍHO GEOMORFOLOGICKÉHO MAPOVÁNÍ

Aby se geomorfologové přiklonily k mobilním geoinformačním technologiím, je třeba provést srovnání tradičního (Demek 1972) a digitálního GPS geomorfologického mapování (Létal a Křížek 2000). Teprve výsledky tohoto srovnání jsou vhodnými argumenty pro přijetí nebo zamítnutí nových metod mapování. Srovnání lze provést podle několika kritérií – času, přesnosti, operativnosti, použitelnosti výsledků a nákladů.

Čas

Základní rozdíl lze spatřit v množství času věnovanému jednotlivým etapám procesu mapování. Westen a Soeters (2000) ve své práci uvádějí procenta času věnovaného jednotlivým etapám v projektu hodnocení rizika sesuvů při použití konvenční metody geomorfologického mapování a mobilního GIS. Jednoznačnou výhodou digitálního mapování je rychlý a standardizovaný sběr popisných informací, které jsou vyplňovány do předdefinovaných formulářů, automaticky ukládány do databáze, a pak používány pro okamžité zpracování.

Využití metod GIS vyžaduje časově náročnější přípravu mapových podkladů, prostorových databází a celého geomorfologického GIS projektu, což na druhé straně ovšem výrazně zkracuje následný proces zpracování dat. Při tradičním mapování představuje následná digitalizace pracovní mapy výrazné časové zatížení. Jestliže si navíc geomorfolog musí sám digitalizovat analogové podklady (jak se tomu často děje), přípravné fáze mapování se neúnosně protahují a negativně se odrážejí na celkovém přínosu digitálních metod (Vejraška 2000).

Kvalita a rychlost sběru a zpracování dat závisí na použitém softwarovém a hardwarovém vybavení, ale i na zkušenostech a dovednostech geomorfologa s používáním zmíněných prostředků. Navíc geomorfologické GIS projekty výrazně šetří čas v závěru studie při interpretaci a vizualizaci výsledků mapování.

Přesnost

Přesností měření se rozumí stupeň odchylky mezi skutečnou a GPS přístrojem určenou polohou, časem a rychlostí. Pohled na přesnost měření je různý. Základní je absolutní přesnost místa měření, což je odchylka od skutečného určení měřené pozice ve zvoleném souřadnicovém systému. Zjistit absolutní přesnost je obtížné z mnoha důvodů (např. z důvodu volby souřadnicového systému). Zjistitelná je přesnost, se kterou se uživatel vrátí na pozici změřenou jindy stejným GPS přijímačem, nebo přesnost v porovnání s měřením jiným GPS přijímačem ve stejném čase. Přesnost měření souvisí nejenom se silou signálu, ale i následným vykreslením tvarů plošně znázorňovaných objektů, neboť kresba a editace čar je v některých programech mobilních GIS nedokonalá. Obrysové čáry jsou často nerovné, což nedovoluje vystihnout přesný tvar mapovaného objektu.

Operativnost

Operativnost technologií, které geomorfolog využívá při mapování, je různá. Závisí nejenom na praktičnosti zařízení a metod, ale také na zručnosti a na rutinně geomorfologa. Pro srovnání tradičního a digitálního GPS geomorfologického mapování je postačující zhodnocení operativnosti přístrojů mobilních GIS a GPS přijímačů.

Tab. 2. Srovnání digitálního a tradičního geomorfologického mapování

Kritérium	Digitální mapování	Tradiční mapování
horizontální přesnost	rychlé, je-li tolerována určitá nepřesnost závislé na vybavení	nevhodné pro výsledky s přesností do 5 metrů
vertikální přesnost	problematické pro přesnost do 1 metru časově náročné	měření pomocí tradičních pomůcek (mapy, výškoměry aj.)
mapování atributů objektů	vhodné, je-li postačující pouze mapování tvarů a rozměrů objektů	mnohem rychlejší než kartometrická měření v mapě
rychlost	rychlá aktualizace pozice geomorfologa při kontinuálním pohybu	rychlé (ale někdy zatíženo lidským faktorem)
rozsah mapování	omezené, používá-li se dGPS	lze mapovat větší území
zaznamenávání změn	nevhodné, je-li změna menší než přesnost měření	závisí na erudici geomorfologa nevhodné pro změny menší než 5 metrů
operativnost	nároky na geomorfologickou odbornost a znalost geoinformačních technologií	požadavek na geomorfologickou odbornost
užití ve členitém reliéfu	méně fyzicky náročné při používání dálkoměrů problematické na výškově uzavřených lokalitách problematické při využívání objemné aparatury	fyzicky náročné není potřeba přemísťovat objemná zařízení
užití v husté vegetaci	snížení přesnosti při ztrátě nepřetržitého signálu problematické pod zápojem	bez omezení
náklady	nákladné	levnější, bez nákupu digitálního zařízení

Pramen: Voženílek (2000), upraveno

Propojení GIS (na PDA) s přijímačem GPS usnadňuje orientaci v terénu a je nástrojem k přesné lokalizaci prvku na mapě. Díky flexibilnímu měřítku mapy mobilních GIS v kapesních počítačích je možné dosáhnout přesnější lokalizace zakreslovaného objektu než na klasické topografické mapě. Naopak je nutné neustále respektovat při práci měřítko, což zpomaluje orientaci v terénu a ztěžuje odhad vzdáleností.

Hlavními výhodami využití GIS v terénu je možnost bezprostředního nahlížení do geomorfologického GIS projektu a okamžité vytváření neomezeného množství tematických vrstev jako součástí projektu obsahujících informace o určitém jevu. To usnadňuje interpretaci terénu a pochopení podmínek vedoucích k vytvoření daného záznamu mapovaného geomorfologického objektu. Možnost výběru počtu zobrazovaných vrstev projektu umožňuje zachování čitelnosti a přehlednosti vytvářené mapy i při mnohem větším objemu zaznamenaných informací, než jaké je schopna pojmout analogová mapa. Obecně také platí, že je snadnější a rychlejší aktualizovat digitální nežli analogová data (Shepherd 1994). Na operativnosti se negativně podílejí i problémy při zakreslování mapovaných objektů na dotykovou obrazovku PDA. Zobrazují se pouze malé části mapy v takovém měřítku, aby zákres byl dostatečně přesný.

Při zakreslování do analogové mapy si geomorfolog často zaznamenává některé významné orientační body (např. nové cesty a vodní toky), které chybí v topografickém podkladu nebo jevy, které nejsou obsaženy v legendě mapy, ale pro zpracovávanou problematiku mají určitý význam (skalní výchozy, antropogenní tvary reliéfu, sanační opatření na sesuvech apod.). Při digitálním záznamu se toto řeší vytvořením nové tematické vrstvy pro zaznamenávání podobných doplňkových informací, ke kterým lze přiřadit podrobný slovní popis.

Použitelnost výsledků

Nespornou výhodou digitálního sběru dat je možnost postupného zavádění standardů pro geomorfologické mapování. Jedná se například o vytvoření jednotných návrhů prostorových databází a datových modelů geomorfologických GIS projektů pro jednotlivé druhy mapování, stanovení jednotného znakového klíče, výměnného formátu digitálních dat apod. Tyto standardy zatím chybějí nejenom v ČR, ale i v zahraničí.

Digitální forma dat umožňuje tvorbu výpočetně náročných modelů. Uživatel může v prostředí GIS dosáhnout zlepšování výsledků opakováním výpočtů modelů s různými parametry, zatímco při použití konvenčních metod je často obtížné použít tentýž model třeba jen jednou. Proto volba digitálního prostředí přináší většinou lepší výsledky modelování (Westen a Soeters 2000). Digitální zpracování je také výborným základem pro nadstandardní vizualizaci výsledků (animace, letecké simulátory atd.).

Často dochází k nedocenení výhod, ale i přeceňování možností GIS i ostatních geoinformačních technologií. Na jedné straně se GIS používá pouze k vizualizaci dat a tvorbě líbivých grafických výstupů, které však mnohdy nesplňují základní kartografická pravidla, než ke sběru, správě a analýze prostorových dat. Na druhé straně se objevují pokusy o modelování značně složitých geomorfologických procesů, jejichž podstata není doposud dostatečně objasněna.

Náklady

Do nákladů se promítají množství a kvalita digitálních dat, pořizovací ceny technických prostředků (počítač, GPS přijímač, tiskárna nebo plotr, laserový dálkoměr atd.) i programových produktů. Tím se stává digitální mapování výrazně nákladnější nežli mapování tradičními metodami. Ovšem pouze při prvotních studiích. Je-li metoda digitálního GPS mapování aplikována systematicky, je návratnost finančních prostředků rychlá a vysoká, protože při dalších projektech odpadá nákup technických a programových prostředků a mnohdy i prostorových databází. Právě vícenásobné využívání již sestavených geomorfologických GIS projektů je nejvýraznější finanční úsporou.

V současné době již mnoho institucí poskytuje digitální topografické i tematické databáze, družicové či letecké snímky a digitální modely reliéfu. Obecně jsou digitální data dražší než analogová. Proto si mnoho uživatelů digitalizuje podkladové mapy, čímž se vnáší do GIS projektu značná chyba polohy. Digitální data však mají oproti datům analogovým všestrannější a vícenásobné využití.

CHYBY PŘI GEOMORFOLOGICKÉM MAPOVÁNÍ

Geomorfologické GPS mapování je zatíženo dvěma druhy chyb – chybami geomorfologickými a chybami z GPS. Geomorfologické chyby vycházejí ze samé podstaty geomorfologického mapování a vyskytují se i v tradičním geomorfologickém mapování. Jsou tedy v geomorfologickém GPS mapování obsaženy ve stejné míře jako v tradičním geomorfologickém mapování. Geomorfologické chyby vznikají z nepřesného geomorfologického posouzení skutečnosti nebo z nejednoznačného zápisu mapovaného objektu. Jsou odrazem nízké odborné kvality geomorfologa. Jako chyby nelze považovat odlišnosti vyplývající z odborné diskuse nad lokálními problémy v krajině.

GPS systém pracuje stejně jako jiné měřicí systémy s určitými chybami. Chyby se týkají jak jednofrekvenčních, tak i dvoufrekvenčních přijímačů. Některé chyby lze potlačit, jiné omezit a s některými se musíme smířit. Chyby vznikají ve všech třech segmentech systému. Při běžném používání jednofrekvenčních GPS přijímačů bez použití dGPS je chyba ve většině případů menší než 18 metrů. Odchylka je závislá na poloze družic v okamžiku měření a na místě měření – čím je horší výhled na oblohu, tím je měření méně přesné. Na místě s dokonalým příjmem je většinou chyba v 90 % menší než 10 metrů. Ovšem na místě s extrémně špatným příjmem je možná chyba až 40 metrů. Při určování nadmořské výšky jsou chyby zhruba o 50 % větší než při určování horizontální polohy. Proto se GPS dá využít spíše k orientačnímu měření nadmořské výšky. Pro přesnější měření nadmořské výšky je vhodnější klasický výškoměr (např. barometrický výškoměr) nebo GPS s integrovaným výškoměrem. Přesnost měření se dá zvýšit zaznamenáváním polohy po delší dobu a následným zprůměrováním výsledků. Dvoufrekvenční GPS přijímače dosahují vyšší přesnosti než přístroje jednofrekvenční.

Snížení přesnosti závisí také na rozmístění družic. Nejmenší nepřesnosti jsou způsobeny tehdy, když jsou družice rozmístěny rovnoměrně. Nepřesnosti klesají při rostoucím počtu rovnoměrně rozmístěných družic, zvětšují se při vzájemném přiblížení družic. Znamená to, že probíhá-li měření polohy v zastavěném prostoru, skalním reliéfu, zalesněné ploše, přijímány jsou signály pouze z družic

s vyššími elevačními úhly, narůstá nepřesnost měření (je vidět méně družic a jsou blíže u sebe). Ke snížení nepřesností napomáhají přijímače, které zpracovávají signály systémů GPS i GLONASS – je větší počet družic na obloze. Jediným možným výrazným zpřesněním na úroveň jednoho až 3 metrů je pravděpodobně využití sítě pevných referenčních stanic dGPS, která však v současné době není v České republice k dispozici. Zpřesňování naměřených hodnot má význam pouze pro měření, kde je požadována kontrolovaná přesnost, a to geomorfologické mapování nevyžaduje.

PŘÍNOS MOBILNÍCH GEOINFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

Hodnocení přínosu GIS a GPS pro geomorfologický průzkum je třeba provést objektivně, tedy i s případnými nedostatky.

Stanovení geografických souřadnic geomorfologických jevů je při práci v terénu limitováno řadou okolností, především investiční náročností použitých technologií, pracností při vlastním terénním mapování, spolehlivostí naměřených hodnot, odolností přístrojů a pořízených záznamů, požadovanou přesností získaných měření a celkovou odbornou náročností nové metodiky (Cartwright et al. 2001). Ve většině GIS aplikací v geomorfologii se přijatelnost naměřených hodnot pohybuje řádově v několika metrech, protože nejčastěji probíhají v měřítku 1:10 000. Tento požadavek musí být vždy splněn. GPS měření při geomorfologickém mapování však často probíhá v náročném nebo nepřehledném terénu a je ztěžováno členitým reliéfem nebo vegetací. Přitom je téměř vždy požadováno zaměření velkého množství bodů s požadovanou přesností. Mobilní geoinformační technologie umožňují podstatné vylepšení jak vlastního procesu geomorfologického mapování, tak i zpřesnění výsledné geomorfologické mapy a navazujících prostorových analýz. Bezprostřední přínos se projevuje především v přesnosti, rychlosti sběru dat a v bezprostřednosti použití dat při tvorbě mapy.

Polohy mapovaných objektů jsou zaznamenávány s přesností větší než při tradičním způsobu (kresba do topografické mapy). Lokalizace známých objektů potřebných při mapování (vrty, zlomové linie aj.) je snadno a rychle dostupná přímo v terénu. Zrychlení vlastního mapování vychází z okamžitého interaktivního záznamu polohy objektů namísto vyhledávání jeho pozice v topografické mapě při tradičním geomorfologickém mapování. Celý mapovací proces probíhá v digitálním prostředí GIS - v geomorfologickém GIS projektu. Odpadají tím mnohdy komplikované převody analogových výstupů mapování do digitálních datových struktur, při kterých často dochází ke ztrátě přesnosti, informací a času.

Existuje i nepřímý přínos mobilních technologií pro geomorfologické mapování. Technologie GPS zefektivňuje a zpřesňuje řadu odborných a organizačních skutečností v procesu geomorfologického mapování. Využití GPS je v současnosti velmi široké, přináší zefektivnění a zrychlení geomorfologických a dalších prací ve prospěch geomorfologického výzkumu. Integrace mobilních geoinformačních technologií je v geomorfologii využita především k určování souřadnic mapovaných geomorfologických objektů, modelování a simulaci geomorfologických jevů a ke zpracování materiálů DPZ.

ZÁVĚR

Mobilní geoinformační technologie představují v současné době výraznou inovací geomorfologického výzkumu. Geomorfologická mapa se stává přímo v terénu nástrojem výzkumu a získané výsledky jsou doplňovány popisem v geomorfologické databázi, která je přímo převoditelná do prostředí geomorfologického GIS projektu. Výhody navigačních systémů, a to především schopnost určovat přesně libovolnou pozici na Zemi v reálném čase, způsobily intenzivní využívání GPS v geomorfologickém mapování. Propojení geoinformačních technologií, především GPS a GIS, posunuje nyní geomorfologické mapování o výrazný vývojový krok dopředu.

K široké implementaci mobilních geoinformačních technologií do geomorfologie však musí být splněno několik skutečností:

a) vypracování metodiky – takovou je například publikace V. Voženílek a kol. (2001),

b) cenově dostupné GPS přijímače – nejenom současné přijímače na českém trhu, ale především nově ohlašované GPS přístroje nové generace (paměťově silnější, s barevným a větším displejem, přesnější, mobilnější) jsou cenově dostupné a poskytují výsledky s vyhovující přesností,

c) zabezpečení digitálních podkladů geomorfologického mapování (mapy, databáze, fotografie a pod.) – takové podklady již v České republice jsou a jejich počet, kvalita a dostupnost bude neustále narůstat,

d) kvalitní a dostupné GIS vybavení pro práci v terénu – požadované jsou integrované přístroje (GPS, PDA, GSM telefon apod.) i spolehlivější a kvalitnější software pro mobilní GIS jsou v současné době vyvíjeny.

Pro digitální geomorfologické mapování není nutné zvyšovat přesnost až na centimetrovou úroveň. Pro použité měřítko (nejčastěji 1:10 000) je dostatečné využití přístrojů s přesností do 10 metrů, nejlépe 6-10 metrů. Nezanedbatelné potíže může řadovým geomorfologům přinést zpřesňovací přístup dGPS, protože řada mapovaných objektů je od sebe značně vzdálená a přemísťování a instalace referenční stanice by vlastní mapování značně zpomalilo. Nabízí se řešení použít vhodnější přístroje, které jsou vzhledem k jejich využití v geomorfologii univerzálnější. Jedná se například o přijímač GPS/dGPS Pathfinder Pro XRS, který je schopen přímo zpracovávat korekce z více družicových systémů a obějde se tak zcela bez referenční stanice. Tato situace se však změní v okamžiku, kdy začne v České republice fungovat síť pevných referenčních stanic.

Mobilní geoinformační technologie se do procesu geomorfologického mapování zaváděly postupně a zprvu odděleně. Nejnovější výzkumné poznatky však ukazují, že je výhodnější používat tyto technologie společně. Jinak jsou jejich výhody značně omezeny. Geomorfologické GPS mapování bez zázemí geomorfologického GIS projektu nedovoluje návazné analýzy, které umožňují široké využití výsledků mapování. Autoři spatřují v integraci mobilních geoinformačních technologií v geomorfologickém mapování jediný efektivní směr vývoje geomorfologického výzkumu.

LITERATURA

- CARTWRIGHT, W., CRAMPTON, J., GARTNER, G., MILLER, S., MITCHEL, K., SIKIERSKA, E., WOOD, J (2001). Geospatial information visualization user interface issues. *Cartography and Geographic Information Science*, 28, 13-24.
- DEMEK, J., ed. (1972). *Manual of detailed geomorphological mapping*. Praha (Academia).
- KAPLAN, E. D., ed. (1996). *Understanding GPS: principles and applications*. Boston (Artech House Publishers).
- KUBÍČEK, P. (1999). Současný stav INTERNETové GIS technologie. In: Voženílek, V., ed. *Integrace prostorových dat. Sborník konference Integrace prostorových dat, 7.-9. 9. 1999, Olomouc*. CD-ROM.
- LÉTAL, A., KRÍŽEK, M. (2000). GIS assist in the frost-river cliff investigation. *Acta Universitatis Palackianae Olomouensis, Facultas Rerum Naturalium, Geographica*, 36, 41-45.
- RAPER, J. F., KELK, B. (1991). *Three-dimensional geographical information systems: principles and analysis*. London (Longman).
- SEDLÁK, P. (2001). Digitální geologická data pro geografické aplikace v GIS. *Geografie – Sborník České geografické společnosti*, 106, 100-109.
- SHEPHERD, I. D. H. (1994). Multi-sensory GIS: mapping out the research frontier. In Waugh, T. C., Healey, R. G., eds. *Advances in GIS research, 1*. London (Taylor and Francis), pp. 356-390.
- VEJRAŠKA, F. (2000). Současnost a budoucnost diferenčních metod určování polohy pomocí navigačních družic. *GEOinfo*, (3), 6-9.
- VOŽENÍLEK, V. (1996). Fundament of digital elevation model as a tool for geomorphological research. *Acta Universitatis Palackianae Olomouensis, Facultas Rerum Naturalium, Geographica*, 34, 29-40.
- VOŽENÍLEK, V. (2000). Spatial database for geomorphological mapping by GPS techniques. *Acta Universitatis Palackianae Olomouensis, Facultas Rerum Naturalium, Geographica*, 36, 97-105.
- VOŽENÍLEK, V. (2001). Integrace GPS/GIS při tvorbě digitální geomorfologické mapy. *Geodetický a kartografický obzor*, 47, 191-195.
- VOŽENÍLEK, V. a kol. (2001). *Integrace GPS/GIS v geomorfologickém výzkumu*. Olomouc (Univerzita Palackého).
- WESTEN, C. J., SOETERS, R. (2000). *Geographic information systems in slope instability zonation, 1*. Enschede (International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences).

Vít Voženílek, Pavel Sedlák

MOBILE GEOINFORMATION TECHNOLOGIES IN GEOMORPHOLOGICAL MAPPING

Mobile geoinformation technologies are means created by integrating geoinformation technologies with telematics and designed to obtain geodata and geoinformation and sharing them with mobile users. These are mainly mobile telephones, any type of mobile computer (notebook, palmtop, pocket PC etc.), GPS receiver, specific software and geodata. At present there are several mobile geoinformation technologies mostly used in a geomorphological mapping: mobile GIS, GPS and use of remote sensing data.

The principal hardware means of mobile GIS for geomorphological mapping are the personal digital assistant (PDA), GPS receiver, laser locator, mobile telephone and digital camera. It is highly necessary select such devices so that their weight and size are as small as possible, but also powerful for requirement of both geomorphological and geoinformation purposes.

Both GPS and GIS technologies can collaborate in geomorphological mapping either together or separately. If both of them are used in the mapping we use the term geomorphological GPS/GIS mapping or digital geomorphological mapping. The first methodology of digital geomorphological mapping is presented in V. Voženílek a kol. (2001). The mapping follows a scheme of ordinal steps: Study of investigated area, Preparation of spatial databases, Preliminary analysis in GIS, Setting GPS parameters, Calibrating and planning GPS measuring, Actual geomorphological mapping with GPS, Conversion of GPS data into the format of spatial databases, Further analysis and Making digital geomorphological map.

To connect GPS and GIS, the geographical information system is considered in terms of spatial databases of geomorphological GIS project. The connection can be: (i) one-way from GIS to GPS, (ii) one-way from GPS or (iii) two-ways. The details are in the paper. Integration of GPS and GIS in geomorphological mapping can be defined on four levels:

Separate integration – It consists of GPS/dGPS receiver and basic geomorphological GIS project at user's workstation. It also includes GPS conversion programmes. The geomorphologist works in the field in the traditional way and uses a GPS receiver to save the position of mapped objects. After mapping all positions are transferred into GIS and then processed into the final map.

Transferred integration. It consists of a GPS/dGPS receiver, transferred geomorphological GIS project in a notebook and basic geomorphological GIS project in the user's workstation. The transferred project is derived from the basic one. The geomorphologist uses the transferred project only for checking reality with spatial databases. He works in the field in the traditional way and uses GPS receiver to save position of mapped objects. After mapping, processing is identical to separate integration – all positions are transferred into GIS and then processed into the final map.

Mobile integration. It consists of a GPS/dGPS receiver, mobile geomorphological GIS project in a pocket computer (i.e. PDA) and the basic geomorphological GIS project in the user's workstation. The mobile project is derived from the basic one and located at the PDA. Analogue map is replaced with either a raster map (scanned) or vector map (digitized) in PDA. The geomorphologist uses PDA for orientation in field, checking reality with spatial databases and recording mapped objects. He works directly in the digital environment and uses the GPS receiver to save the precise positions of mapped objects. After mapping, the data from PDA and GPS are transferred into the basic geomorphological GIS project.

Immerse integration It consists of a mobile geomorphological GPS/GIS project in an integrated GPS receiver/pocket PC device and basic geomorphological GIS project in the user's workstation. The crucial element is the device integrating capabilities of the GPS receiver (show real position) and pocket PC (GIS project). The geomorphologist uses only one device instead of two. He uses the device simultaneously for orientation in the field, checking reality with spatial databases and recording mapped objects. He works directly in the digital environment and captures the precise positions of mapped objects. After mapping, data from the device are transferred into the basic geomorphological GIS project.

GPS technology can be used in geomorphological mapping in five basic ways – positioning, navigation, tracking, mapping and time and speed measuring. Several geodetic GPS techniques are used in geomorphology. Generally, a comparison of traditional and digital geomorphological mapping is presented in terms of time, accuracy, operability, usefulness of results and costs. The paper ends by characterizing the benefits of mobile geoinformation technologies in geomorphology.

Translated by authors