HYDROGRAFICKÁ ANALÝZA POVODÍ S VYUŽITÍM GIS

Jan Kopp

Hydrografická analýza povodí tvoří důležitou součást analytického hodnocení povodí. Součástí hydrografické analýzy jsou analýzy geometrických, morfometrických a topologických vlastností povodí a hydrografické sítě. V příspěvku je uveden přehled možností využití nástrojů GIS při hydrografické analýze. Použití konkrétních metod je ukázáno na příkladu analýzy povodí Lučního potoka.

Klíčová slova: hydrografická analýza, GIS, analýza povodí

Hydrographic analysis of drainage basin with GIS application. *The hydrographic analysis is important part of the drainage basins analytical evaluations. The hydrographic analysis consists of geometry, morphometry and topology of the drainage area and river network. In the article are describe some methods of hydrographic analysis with GIS application. The use of concrete methods was made by the example of the drainage area analysis of the Luční potok stream.*

Key words: hydrographic analysis, GIS, drainage area analysis

---

VÝZNAM HYDROGRAFICKÉ ANALÝZY POVODÍ

Hydrografická analýza povodí zahrnuje soubor metod vymezujících geometrické, morfometrické a topologické vlastnosti povodí a říční sítě (Wilhelm 1993, Knighton 1998). Při hydrografické analýze jsou matematickými metodami hodnoceny topografické charakteristiky (1) povodí jako základní územní hydrologické jednotky a (2) hydrografické sítě jako souboru funkčně propojených odtokových linií.

Hydrografické ukazatele patří k základním fyzickogeografickým charakteristikám povodí. V hydrologické praxi mají hydrografické charakteristiky důležité postavení, protože se používají jako proměnné regresních vztahů pro nepřímé odvození charakteristik odtokového procesu (např. Kašpárek, Jedličková, Halenková 1980, Kopp 2003), jako fyzickogeografické parametry pro hydrologickou regionalizaci (např. Grešková 1998, Solín 1998, Solín aj. 2000) nebo jako vstupní parametry hydrologického modelování (např. Trizna a Kyzek 2002, Kolejka aj. 2003). Antropogenní přeměna povodí může být hodnocena prostřednictvím hydrografických změn (např. Langhammer a Vajskreb 2004). Hydrografická analýza má ovšem využití i mimo hydrologii, zejména ve fluviální geomorfologii, při výzkumu vodní eroze nebo jako součást morfostrukturní analýzy území (např. Crave a Davy 1997, Jedlička a Mentlík 2002, Voženílek a Demek 2000, Bíl 2003, Housarová a Mentlík 2004). Existuje celá řada hydrografických charakteristik vyjádřených různě definovanými způsoby (tab. 1).

Z hydrografických charakteristik mají nejtěsnější vazbu k odtoku parametry vyjadřující sklonitostní poměry povodí a vodního toku. Vztah mezi 100-letým specifickým odtokem (q_{100}) a fyzickogeografickými podmínkami povodí na území ČR podrobně analyzovali Kašpárek, Jedličková, Halenková (1980). Hodnotili 82 povodí v Čechách s plochou povodí do 500 km^2 ve vztahu k těmto charakteristikám: plocha povodí, nadmořská výška závěrového profilu, absolutní spád, délka toku, náhradní sklon povodí, koeficient tvaru povodí, lesnatost, průměrná roční srážka, průměrný specifický odtok. Výsledky ukázaly, že významný je vztah mezi q_{100} a náhradním sklonem povodí a dále specifickým odtokem. Náhradní sklon povodí (J) je definován: $J = H \cdot \sqrt{P} \cdot 100$ (%), kde H je absolutní spád mezi závěrovým profilem a výškou počátku údolnice a P je plocha povodí. Největší váhu sklonu povodí přisuzují také výsledky dalších výzkumů (Kříž 2000, Grešková 2001).Vzhledem k významnosti tohoto faktoru je ovšem vhodné zaměřit pozornost na výstižnější vyjádření morfometrie povodí pomocí přesnějších ukazatelů jako je střední sklon povodí nebo hypsografický integrál (Bíl 2003).

Tab. 1 Přehled hydrografických charakteristik

Tab. 1 View of hydrographic characteristics

Hydrografické vlastnosti	**Hydrografická charakteristika**	**Příklady vyjádření**
geometrické	rozměry povodí	plocha povodí délka toku délka povodí šířka povodí
	tvar povodí	koeficient tvaru povodí koeficient vývoje rozvodnice
	křivolakost toku	koeficient meandrovitosti koeficient křivolakosti
	typologie říční sítě	koeficient nesouměrnosti povodí hustota říční sítě
topologické	uspořádání říční sítě	magnitudo topologický typ říční sítě
morfometrické	podélný profil toku	spád toku střední podélný sklon
	hypsometrie povodí	střední volumetrická výška hypsometrický integrál
	sklonitost	náhradní sklon povodí střední sklon povodí
	orientace svahů	směr odtoku expozice svahů
dynamické	změny hydrografické sítě	změny délky toku změny křivolakosti změny podélného sklonu

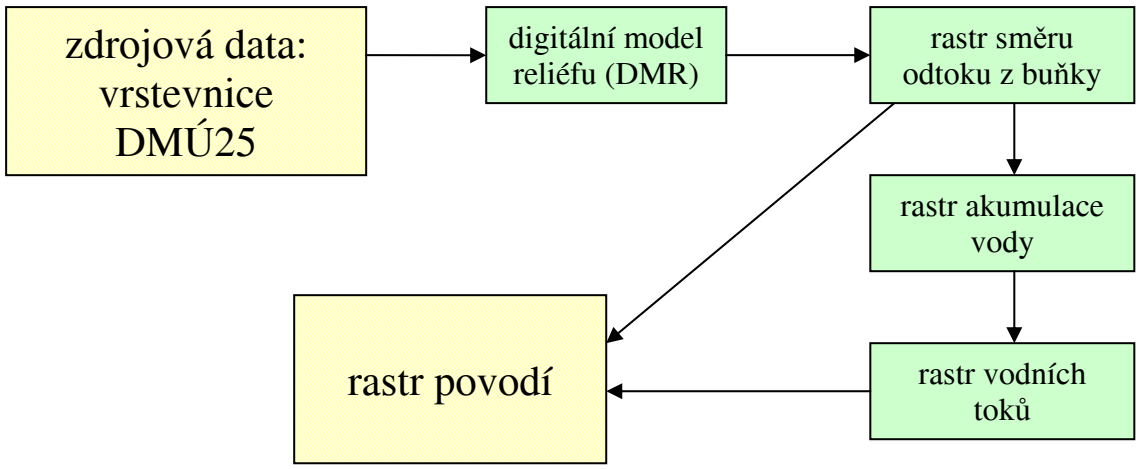
VYUŽITÍ GIS PŘI HYDROGRAFICKÉ ANALÝZE

Geografické informační systémy (GIS) nabízejí efektivní zjišťování většiny hydrografických charakteristik. Postupy, které jsou bez použití GIS časově náročné nebo nepřesné, lze provádět rychle a s přesností odpovídající podrobnosti vstupních dat (Novotná 1999). Zvýšená kvalita zjištěných hydrografických parametrů (např. Kappler 1999, Bíl 2003), pak pozitivně ovlivňuje kvalitu výsledných aplikací, například hydrologického modelování.

Jako vstupní data pro hydrografickou analýzu území je zapotřebí především vrstevnicový podklad umožňující vytvořit digitální model reliéfu (DMR), dále digitalizovaná hydrografická síť a orografická rozvodnice. Prakticky lze vycházet pouze z DMR, přičemž jeho analýzou lze vymezit teoretickou polohu hydrografické sítě a příslušné rozvodnice. Tento postup je vhodný zejména v případě, že hodnotíme povodí se silně antropogenně přeměněnou hydrografickou sítí a chceme rekonstruovat původní přírodní hydrografické podmínky.

Jako velmi efektivní se jeví využití GIS při morfometrické analýze povodí. Nástroje GIS většinou umožňují provádět tvorbu DMR a jeho základní rastrové hodnotící výstupy (hypsometrie, sklony a orientace svahů) přímo pomocí standardních funkcí programů. Analýzou generovaných rastrů lze získat informace například o sklonitosti v povodí pro potřeby hodnocení potenciální eroze, o podmínkách tvorby odtoku či tání sněhu nebo informace pro morfostrukturní analýzu povodí.
Rozšířené možnosti přináší použití modulu hydrologické analýzy (HA), který na základě DMR modeluje povrchový odtok za předpokladu, že je směr odtoku ovlivňován pouze reliéfem. Podrobný popis použití modulu HA uvádí práce Jedličky a Mentlíka (2002). Na obrázku 1 je uvedeno základní schéma algoritmu pro případ, kdy je cílem vymezit na základě DMR jednotlivá povodí. Hydrografické

informace ovšem poskytují i dílčí rastry generované modulem. Rastr směru odtoku lze využít k analýze převládajícího směru odtoku například v souvislosti s erozními procesy v povodí. Analýza rastru akumulace vody vypovídá o koncentraci odtoku v povodí a může sloužit jako podklad pro návrh opatření na podporu retence vody. Generovaný rastr vodních toků částečně umožňuje posoudit antropogenní změny v hydrografické síti. Uvedená využití modulu HA jsou příkladem aplikačních možností hydrografické analýzy v GIS s návazností na modelování hydrologických procesů.



Obr. 1 Schéma postupu vymezení povodí s využitím modulu hydrologické analýzy
Zdroj: upraveno podle Jedličky a Mentlíka (2002)

Fig. 1 Chart of drainige area delimitation with module of hydrologic analysis application

VYBRANÉ HYDROGRAFICKÉ ANALÝZY POVODÍ LUČNÍHO POTOKA

Vybrané hydrografické analýzy v GIS byly použity v rámci komplexního ekohydrologického hodnocení povodí Lučního potoka (Kopp 2004). Luční potok (č. h. p. 1-10-02-103) ústí do Radbuzy zleva na jejím 9,0 ř. km v místě vzdutí vodní nádrže České údolí. Vzhledem k antropogenně podmíněným změnám hydrografické sítě se setkáváme s různým vymezením vlastního povodí Lučního potoka. Zásadní komplikace ve vymezení povodí vyplývají z existence kanálu převádějícího vodu z Vejprnického potoka do Lučního potoka, tedy z povodí Mže do povodí Radbuzy.

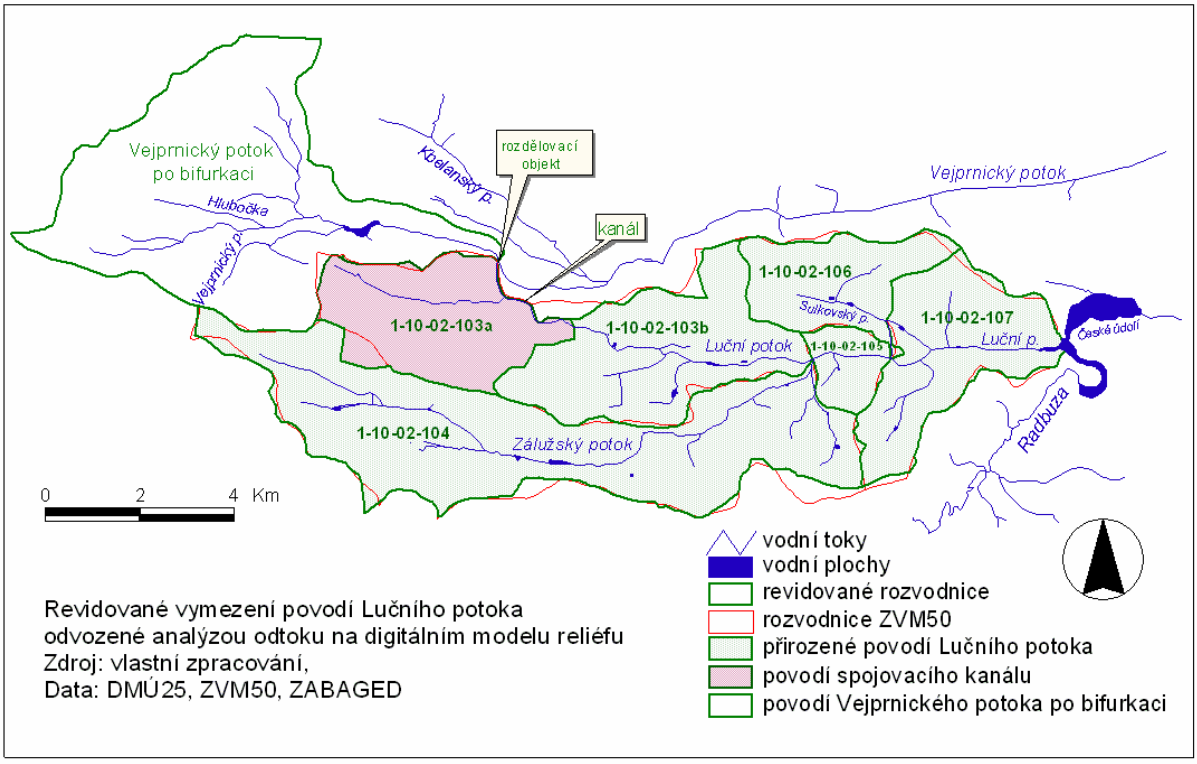
Revize vymezení povodí byla provedena pomocí analýzy DMR v prostředí ArcView GIS 3.1 s rozšířením Spatial Analyst a 3D Analyst. Vlastní vymezení proběhlo jako aplikační využití modulu hydrologické analýzy (HA). Tento modul byl implementován v programovacím jazyce Avenue K. Jedličkou z Fakulty aplikovaných věd ZČU pro potřeby geomorfologických výzkumů (Jedlička a Mentlík 2002). Aplikace modulu HA na povodí Luční potoka byla provedena nejen za účelem vymezení povodí, ale také pro potřeby odvození přirozené říční sítě a dalších charakteristik fluviálního systému.

Za zdroj výškopisných dat byl zvolen vrstevnicový obsah digitální mapy 1 : 25 000 (DMÚ25). Jeho výhodou oproti relativně podrobnějším podkladům z digitální topografické mapy 1:10 000 ZABAGED je především absence nespojitých vrstevnicových linií a vzájemná snadná slučitelnost jednotlivých listů mapy, pokrývajících dané území. Předpokládaná nevýhoda DMÚ25, tedy vzdálenost vrstevnic 5 m (oproti 2 m pro ZABAGED) je pouze relativní. Vrstevnice v mapě 1:10 000 jsou totiž odvozené, nikoliv konstruované na základě přesnějších výškopisných měření. Přesto byl i vrstevnicový obraz ze ZABAGEDU použit ke konečné korekci vymezení povodí.

Z vrstevnic ve vektorové reprezentaci byl vytvořen digitální model reliéfu v podobě TIN (Triangulated Irregular Network), avšak pouze s ohledem na vrstevnice. Linie vodních toků nebyly použity jako orografické linie, protože by to odporovalo cílům analýzy: vymezení přirozené sítě vodních toků a jejich povodí. TIN byl následně převeden na rastr o velikosti buňky 2 x 2 m. Tato podrobnost se ukázala v každém případě jako dostatečná, vzhledem k vstupním datům až příliš podrobná. Pro některé další analýzy reliéfu povodí byl proto používán také rastr 10 x 10 m.

Po převedení TIN do rastrové podoby byl modulem HA odvozen rastr směru odtoku z buňky a dále rastr akumulace vody (podrobněji Jedlička a Mentlík 2002). Rastr akumulace vody vyjadřuje pro každou buňku hodnotu, která odpovídá počtu jejích zdrojových buněk z hlediska povrchového odtoku. Rastr vodních toků byl vytvořen na základě výběru 1 % všech buněk s nejvyšší hodnotou z rastru akumulace vody (1 % horní kvantil). Stanovení 1 % jako prahové hodnoty bylo provedeno empiricky. Pro výsledný rastr vodních toků byl zkonstruován rastr povodí. Ten vznikl přiřazováním buněk z rastru směru odtoku k jednotlivým buňkám vodních toků. Výsledným produktem je tedy rastr povodí odpovídající svojí přesností zdrojovým datům a zvolené velikosti rastru.Výhodou uvedeného postupu je, že se jedná o vymezení, které není ovlivněno antropogenními změnami v povodí, pokud nejsou zahrnuty do vstupních vrstevnicových dat. V případě DMÚ25 vyjadřují vrstevnice pouze rozsahem významné antropogenní tvary v povodí.

Výsledný rastr povodí posloužil jako základ vymezení orografických rozvodnic, především v území, které je postiženo antropogenními změnami říční sítě. Konečné stanovení rozvodních linií bylo provedeno korekcí rozvodnic odvozených modulem HA podle vrstevnic mapy 1:10 000 (ZABAGED). Ve sporných případech došlo i k posouzení situace v terénu, například při vedení části rozvodnice umělého kanálu, protože jeho existenci samozřejmě model neindikoval. Výsledné vedení rozvodnic podává zpřesněný obraz o rozvodnicích povodí Lučního potoka, včetně jeho subpovodí. Celá analýza byla zároveň prováděna pro celé sousední povodí Vejprnického potoka. Porovnání polohy vymezených rozvodnic s rozvodnicemi digitální Základní vodohospodářské mapy (ZVM50) umožňuje obrázek 2. Zjištěné plochy povodí v konfrontaci s údaji Základní vodohospodářské mapy a Hydrologických poměrů (HMÚ 1965) uvádí tabulka 2.



Obr. 2 Revidované vymezení povodí Lučního potoka

Fig. 2 Revised delimitation of the Luční potok drainage area

Tab. 2 Revize rozlohy povodí s využitím GIS

Tab. 2 Audit of drainage area with GIS application

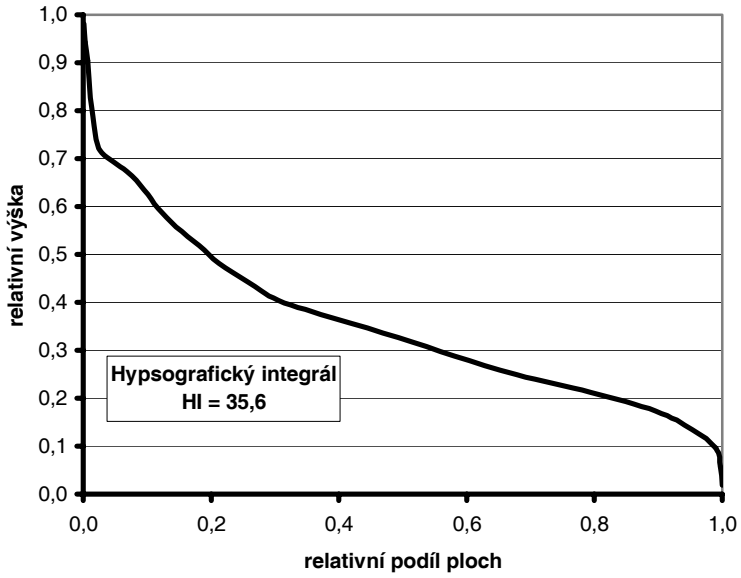
Povodí	Zjištěná rozloha (km^2)	Oficiální rozloha (km^2)
Luční potok - přírodní podmínky	58,779	61,819[x]
Luční potok - včetně povodí kanálu	68,990	69,835

Zdroj: výsledky vlastního vymezení, ZVM50, [x]HMÚ (1965)

Hypsometrie povodí

Povodí Lučního potoka charakterizuje velmi malá výšková členitost. Nejvyšším bodem povodí je vrchol Železného vrchu (443 m n. m.) na západní hranici povodí. Většina dalších vrcholů v povodí nedosahuje ani 400 m. Vzhledem k erozní bázi ve výšce 312 m má tedy povodí celkově velmi nízkou energii reliéfu.

S využitím digitálního modelu reliéfu byla zkonstruována hypsografická křivka pro povodí Lučního potoka podle přírodních poměrů. Na základě průběhu hypsografické křivky v relativních souřadnicích byl vypočítán hypsografický integrál. Jeho velikost by měla korespondovat s geomorfologickým stářím území. Vzhledem k zjištěné hodnotě hypsografického integrálu 35,6 (resp. 0,356) lze reliéf povodí klasifikovat na hranici stádia zralosti a stáří, která je charakterizována hodnotou 36,5 (Strahler in Bíl 2003). Toto zjištění odpovídá geomorfologickému vývoji modelového povodí (Kopp 2004).



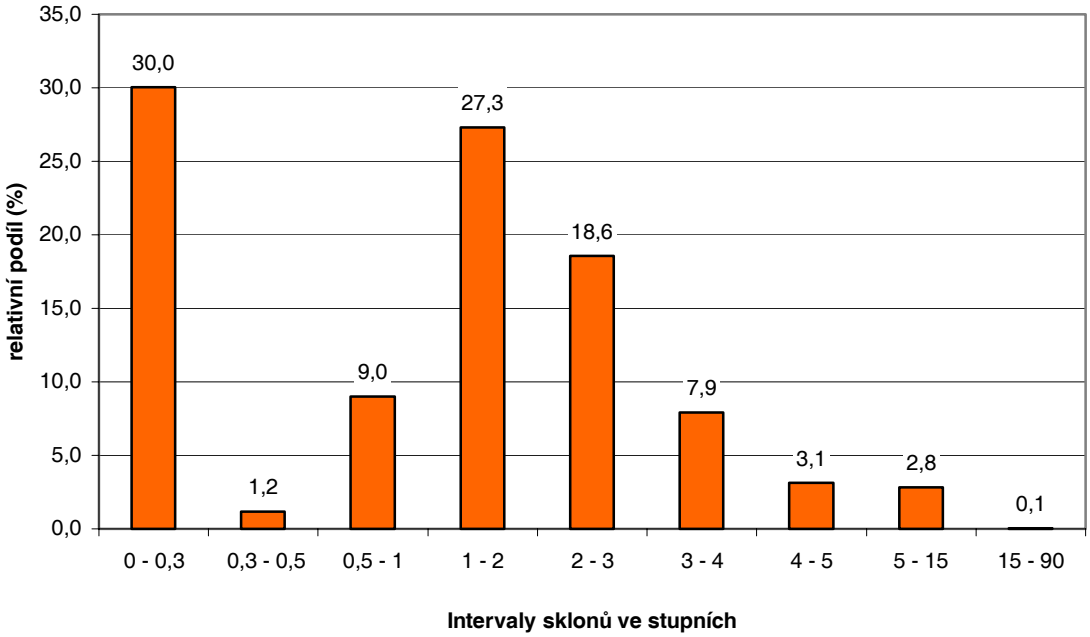
Obr. 3 Hypsometrický integrál povodí Lučního potoka

Fig. 3 Hypsomeric integral of the Luční potok drainage area

Analýza sklonitosti povodí

S využitím standardních funkcí programu ArcView GIS 3.1 byla odvozena mapa sklonů svahů v povodí Lučního potoka (Kopp 2004). Klasifikace sklonů vychází ze zásad geomorfologického mapování (Demek 1972, Voženílek 2001). Stupnice pro klasifikaci tříd sklonů byla upravena vzhledem k četnosti výskytu některých hodnot (podrobnější pro plochý reliéf, méně podrobné pro sklonitý reliéf). Statistické rozložení sklonů svahů v povodí Lučního potoka ukazuje obr. 3. Průměrný sklon reliéfu povodí (zjištěný váženým průměrem podle počtu buňek gridu) je 1,7°.

Téměř třetinové zastoupení na ploše povodí má plochý reliéf, charakterizovaný jako rovina (0-0,5°). V této kategorii najdeme nejen potoční nivy a nivu Radbuzy u ústí potoka, ale též některé úseky plochého rozvodí. Nejvýznamnější rozšíření má rovina v prostoru mělkého rozvodí mezi Vejprnickým a Lučním potokem v místě, kde jsou povodí spojena umělou „bifurkací".



Obr. 4 Relativní zastoupení sklonů reliéfu v povodí Lučního potoka
Zdroj: vlastní zpracování na základě DMR

Fig. 4 Relative representation of relief slopes of the Luční potok drainage area

Mírné sklony svahů v intervalu 0,5 - 2° mají v povodí podíl mírně převyšující třetinu celkové rozlohy. Jejich výskyt navazuje na rozšíření rovin jak na rozvodí nebo na okraji nivy tak v mělké sníženině ve střední části povodí Lučního potoka. Riziko fluviální eroze se zvyšuje v dalších kategoriích svahů. Téměř 30 % zastoupení mají svahy v kategorii 2 - 5°. Tato sklonitost svahů se vyskytuje nejčastěji ve střední části svahů mělkých údolí. Ohrožení fluviální erozí u orné půdy souvisí s charakteristikami půd, délkou nepřerušeného svahu a způsobem využití. Tzv. kritický sklon svahu na středně odolných půdách se pohybuje od 3 do 5° (podle různých autorů in Holý 1978). Potenciální kritické ohrožení na orné půdě v povodí Lučního potoka je charakteristické pro kategorii svahů o sklonu 5 - 15°. Tyto svahy jsou sice zastoupeny jen na necelých 3 % povodí, ovšem ne vždy jsou zalesněny nebo zatravněny. Svahy se sklonem vyšším než 15° se v povodí vyskytují jen ojediněle. Vznikají na antropogenních akumulačních tvarech, jako jsou montánní haldy. Digitální model reliéfu z DMÚ25 nezahrnuje antropogenní změny reliéfu provedené v souvislosti s výstavbou dálnice. Zde můžeme také najít svahy s velkou sklonitostí. Uvedené antropogenní tvary jsou nejvíce ohroženy erozními procesy, zvláště v případech tvarů nových, nepokrytých vegetací.

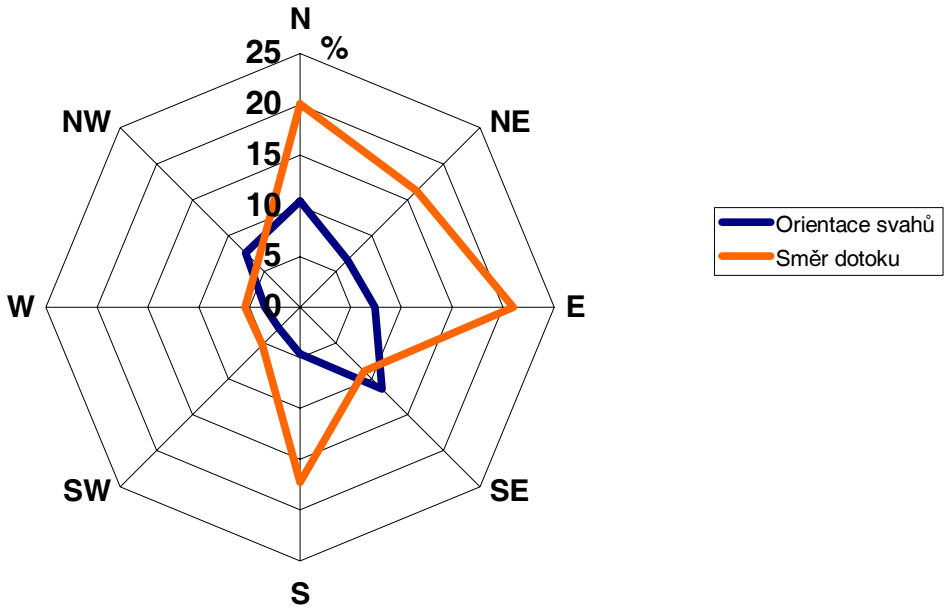
Analýza orientace svahů a směru odtoku

Další analýza reliéfu byla zaměřena na posouzení orientace svahů vůči světovým stranám. Orientace svahů spolu s jejich sklonem určuje potenciální přímý odtok vody, resp. směr a potenciální rychlost odtoku. Expozice svahu určená sklonem a orientací, ovlivňuje proces tání sněhové pokrývky, výskyt potenciální vegetace atd. Vzhledem k převažujícím mírným sklonům svahů v povodí Lučního potoka jsou výsledky analýzy orientace svahů nejpodstatnější pro určení směru odtoku. Výsledky získané standardní funkcí v programu ArcView GIS 3.1 jsem porovnával s hodnocením směru odtoku zjištěném s využitím modulu hydrologické analýzy (Jedlička a Mentlík 2002, Voženílek 2001). Odlišnost výsledků získaných oběma postupy vyplývá především z rozdílu v určení orientace svahu (resp. směru odtoku) v případech, kdy vykazují sousední gridové buňky stejné hodnoty. V modulu

hydrologické analýzy je směr odtoku určen podle hodnot v širším okolí buňky (Voženílek 2001). U roviny naopak orientace není určována.Vzhledem k výraznému zastoupení rovin v povodí, z toho vyplývají i značné rozdíly ve výsledcích obou analýz (obr. 5).

V povodí celkově převládá orientace svahů v sektoru severním až jihovýchodním (azimut 337,5 - 0 - 157,5°). Největší četnost má směr jihovýchodní (112,6 -157,5°). Ve směru odtoku se nejvýrazněji uplatňuje směr na východ (azimut 67,6 – 112,5°), následován směry severním a jižním. Uvedené zjištění koresponduje s celkovým uspořádáním říční sítě. Hlavní směr toků je orientován na východ, včetně odtoku v plochém reliéfu. Svahy mělkých údolí pak určují subsekventní směr odtoku na sever a na jih. Západní orientace svahů se v povodí uplatňuje jen minimálně.

Provedená základní morfometrická analýza určuje potenciální vliv reliéfu na vznik přímého odtoku, případně s tím spojené procesy fluviální eroze. Výsledky ve formě gridu lze použít jako jeden ze vstupních podkladů pro případné podrobnější analýzy v detailním měřítku. Práce s gridem o velikosti buňky 10 – 2 m, je pro celé povodí (70 km^2) operačně náročná a nemusí být ani potřebná v celém rozsahu. Pro detailní analýzy je ovšem třeba dalších informací v digitální podobě: charakteristiky půd, využití země, způsob hospodaření apod. Touto cestou lze například s převodem na čísla odtokových (CN) křivek vymezit plochy v povodí s nízkou retencí (Pechanec 2003) nebo modelovat erozní procesy (Janeček aj. 2002).



Obr. 5 Relativní zastoupení orientace svahů a směrů odtoku v povodí Lučního potoka
Zdroj: vlastní zpracování na základě DMR

Fig. 5 Relative representation of slopes orientation and drain determinations of the Luční potok drainage area

Rekonstrukce přírodní hydrografické sítě

Protože nelze původní stav hydrografické sítě doložit zobrazením na mapách, byla na základě digitálního modelu reliéfu provedena rekonstrukce původního přírodního stavu říční sítě před středověkými úpravami. Využití modulu hydrologické analýzy (HA) umožňuje odvodit předpokládané polohy koryta z rastru vodních toků. Protože byl rastr vodních toků odvozen z rastru akumulace odtoku, vyjadřuje pravděpodobné polohy koryt v přírodní krajině za předpokladu, že je odtok ovlivňován pouze reliéfem. Postup tedy zanedbává heterogenity v lesním pokryvu přírodní krajiny povodí. Modelujeme vlastně povrchový odtok a přepokládáme, že podzemní odtok dotuje rastrové buňky vodou stejným způsobem jako povrchový odtok. Další okruh nepřesností při použití uvedeného postupu souvisí s podrobností vstupních dat pro DMR. Použitá výškopisná data z DMÚ25 jsou použitelná pro odvození odtoku ve výchozím měřítku 1 : 25000. Podrobnější určení polohy koryt není

možné očekávat. Výškopisná data by měla zobrazovat reliéf bez antropogenních tvarů. Při použití modulu HA se ukázalo, že je výsledek značně závislý na volbě velikosti rastru. Pro výslednou analýzu byla proto zvolena velikost rastrové buňky co nejpodrobnější (2 x 2 m).

Rastr akumulace odtoku se ukázal jako dobré vodítko pro rekonstrukci říční sítě v místech předpokládaného antropogenních změn. Detailní umístění koryta nedokáže modul HA na základě vstupních dat určit. Problematické je především vymezení polohy koryta v plochém území. Například v nivách ukazuje rastr akumulace odtoku více paralelních koryt vedle sebe, což je způsobeno konstrukcí modulu HA. Z uvedených důvodů byla říční síť upravena na základě znalosti říční sítě z pozdějšího období (např. podle map stabilního katastru). V problematických částech povodí byla provedena také kontrolní analýza modulem HA na podkladě dat ZABAGED (1:10000), ovšem výsledky nepřinesly podstatně nové informace. V nivách bylo koryto vedeno podle současné polohy. Vzhledem k přirozené dynamice změn polohy koryta v nivě nemá přesnější rekonstrukce smysl.

ZÁVĚR

Použití GIS umožňuje provádět efektivní hydrografickou analýzu povodí. Výsledné hydrografické parametry lze považovat za kvalitní fyzickogeografické ukazatele, které je možné použít v dalším hydrologickém výzkumu ve vazbě na modelování odtokového procesu. Tím se otevřely další směry detailního výzkumu směřující k zobecnění poznatků o vztahu hydrografických a odtokových poměrů povodí na našem území. Ověřené vztahy potom mohou sloužit v hydrologické praxi. Dnešní možnosti použití GIS přitom posouvají kvalitu praktických aplikací na vyšší úroveň.

Literatura

Bíl, M. 2003. Hypsometrická analýza v prostředí GIS. In Sborník 20. výroční fyzickogeografické konference. Brno : PřF MU Brno, s. 87-90.

Crave, A., Davy, P. 1997. Scaling relationships of channel networks at large scales: Examples from two large-magnitude watersheds in Brittany, France. Tectonphysics 269, s. 91-111.

Demek, J. (ed.) aj. 1972. Manual of detailed geomorfological mapping. Praha : Academia, 343 s.

Grešková, A. 1998. Regionalizácia charakteristík malej vodnosti v hydrológii a hydrogeografii. Geografický časopis, 50, 2/1998, s. 157-174.

Grešková, A. 2001. Úloha fyzickogeografických faktorov při vzniku povodní v malých povodiach. In: Geografie XII, Sborník prací pedagogické fakulty Masarykovy univerzity. Sv. 161, řada přírodních věd, č. 21. Brno : MU Brno, s. 297 - 301.

HMÚ 1965. Hydrologické poměry ČSSR. 1. vyd. díl 1. Praha : HMÚ. 414 s.

Housarová, M., Mentlík, P. 2004. Srovnání vybraných morfometrických charakteristik některých glaciálně podmíněných forem reliéfu oblasti Šumavy a Bavorského lesa. Miscellanea Geographica 10. Plzeň : ZČU v Plzni. s. 129-144.

Janeček, M. aj. 2002. Ochrana zemědělské půdy před erozí. Praha : ISV nakladatelství, 199 s. ISBN 80-85866-86-2.

Jedlička, K., Mentlík, P. 2002. Hydrologická analýza a výpočet základních morfometrických charakteristik povodí s využitím GIS. In Geoinformatika : sborník z XX. sjezdu ČGS, Ústí nad Labem : UJEP, 2002, s.46-58.

Kappler, O. 1999. Gestaltsmasse für die Bewertung von Landschaftsräumen. In Mannheimer Geographische Arbeiten 49, s. 17-35.

Knighton, D. 1998. Fluvial Forms and Processses. A New Perspective. London : Arnold, 383 s. ISBN 0-34-66313-8.

Kolejka, J. aj. 2003 Digitální model krajiny – pojem konstrukce a použití. In Sborník 20. výroční fyzickogeografické konference. Brno : PřF MU Brno, s. 91-99.

Kopp, J. 2003. Povodňové riziko v povodí malých vodních toků na území Plzeňského kraje. In: Herber, V. (ed.) Fyzickogeografický sborník, 1, Brno : PřF MU Brno, s. 135-141.

Kopp, J. 2004. Ekohydrologické hodnocení povodí v příměstské krajině - případová studie povodí Lučního potoka : disertační práce. Praha: Univerzita Karlova v Praze. 266 s.

Kříž, H. 2000. Vliv geografických podmínek na extrémní hydrologické jevy v povodích. In Hydrologické dny : 5. národní konference pod záštitou UNESCO. I. Díl, Praha : ČHMÚ, s. 95-101.

Langhammer, J. a Vajskebr, V. 2004. Historické změny říční sítě v povodí Otavy. In Hodnocení vlivu změn přírodního prostředí na vznik a vývoj povodní [CD ROM]. Praha : PřF UK Praha, s. 150-169.

Novotná, M. 1999. Geografické informační systémy v regionální geografii. In Teoreticko-metodologické problémy geografie, príbuzných disciplín a ich aplikácie. Bratislava : Univerzita Komenského. s. 229-233.

Pechanec, V. 2003. Identifikace a prostorová lokalizace ploch s nízkou retencí. Geoinfo speciál 2003, s. 70-72.

Solín, L. 1998. Hydrologické regionálne členenia územia: súčasný stav a problémy. Geografický časopis, 50, 2/1998, s. 139-156.

Solín, L. aj. 2000. Small basins of Slovakia and their physical characteristics. Publikácia Slovenského výboru pre hydrológiu 6. 1. vyd. Bratislava : Geografický ústav SAV. 36 s. ISBN 80-68365-2-8.

Trizna, M., Kyzek, F. 2002. Modelovanie špecifických zrážkovo-odtokových situácií vo vybranom povodí. In Proměny krajiny a udržitelný rozvoj : sborník z XX. sjezdu ČGS, Ústí nad Labem : UJEP, s. 56-72.

Voženílek, V. aj. 2001. Integrace GPS/GIS v geomorfologickém výzkumu. Olomouc : Univerzita Palackého v Olomouci, 185 s.

Voženílek, V., Demek, J. 2000. Modelling of soil erosion hazards as a response of land use changes. Geografie - sborník ČGS, 105, č. 2, s. 166-176.

Wilhelm, F. 1993. Hydrogeographie. Braunschweig : Westermann, 227 s. ISBN 3-14-160279-4.

Autor

Jan Kopp, katedra geografie, Západočeská univerzita v Plzni, Veleslavínova 42, 30619 Plzeň, kopp@kge.zcu.cz