

JAROMÍR KOLEJKA, JAMES PETCH

GEODRIFICKÉ VYHODNOCENÍ DIGITIZOVANÝCH LETECKÝCH SNÍMKŮ VODNÍCH OBJEKTŮ

J. Kolečka, J. Petch: *Geographical Evaluation of Digitized Air Photography of a Water Body*. — Sborník ČSGS, 94, 4, p. 257—273 (1989). — A geographical evaluation is made of the features on colour slides taken from a RC model airplane from the height of 300 m. The image was digitized by using a video camera and a frame grabbing system. Blue, green and red filters were used to produce a „multispectral“ image. The original image was then compared with images produced by contrast stretching, density slicing of individual bands, smoothing, PC analysis and maximum likelihood classification. Contrast stretching, PC analysis and maximum likelihood classification provided the basis for the compilation of a map.

1. Nástin problematiky

Vodní objekty jsou důležitými elementy zemského povrchu. I v podmínkách Československa, středoevropské země bez přímého přístupu ke světovému oceánu a k velkým jezerním oblastem, země bez velkých přirozených nebo umělých vodních ploch, jsou vodní objekty významnou součástí krajiny a životního prostředí. Vodní objekty, přes malou rozlohu, mají značný národohospodářský význam. Jsou zdroji pitné a užitkové vody, prostředkem rozptylu, koncentrace a transportu znečištěnin, prostředím pro dopravu, pro produkci biomasy, přitažlivým objektem rekreace aj. Postavení vody v živé a neživé přírodě je nezastupitelné. Studium vodních objektů se proto logicky zabývá řada přírodovědných a technických disciplín. Mnohé údaje, popisující časové a prostorové změny, čili dynamiku vodních objektů, však tradičními metodami nelze efektivně získat. Zejména jde o informace o okamžitém stavu a vývoji břehové linie, obrysů dnových objektů, o prostorové distribuci plavenin, splavenin a biomasy. V této situaci se naskýtá příležitost pro uplatnění metod dálkového průzkumu Země (dále DPZ), které jsou schopny poskytnout v reálném čase okamžité prostorové údaje o řadě jevů ve vodních objektech.

Současný stav techniky dálkového průzkumu Země dovoluje využítí leteckých a družicových snímků ke studiu vodních objektů. Stávající poměrně vysoká materiálová náročnost leteckého snímkování i importovaných družicových záznamů vyžaduje jednak zhodnocení již existujícího snímkového materiálu, test a výběr nejvhodnějších materiálů a jednak také náležité ověření rozmanitých metod zpracování záznamů. V Československu je v současné době k dispozici řádově několik tisíc barevných panchromatických diapositivů zemského povrchu nasnímaných v průběhu leteckého průzkumu. Nezanedbatelnou část tohoto objemu tvoří snímky

pořízené z RC-modelů letadel (RC = radiem řízených), tedy z výšek přibližně do 500 m. Používáním RC—modelů letadel k provádění leteckého snímkování se již dlouhou dobu zabývá Geografický ústav ČSAV v Brně, který archivuje rovněž značné množství tohoto materiálu. Většina snímků zůstává náležitě nevyužita, neboť se u nich předpokládá poměrně náročné vizuální vyhodnocení a tradiční manuální vykreslení výsledků do map. Stále se lepšími přístrojově vybavení laboratoří DPZ a dokonalejší zpracovatelské postupy dovolují již nyní přehodnotit dosavadní postavení barevného inverzního snímkového materiálu k distančnímu studiu objektů na zemském povrchu.

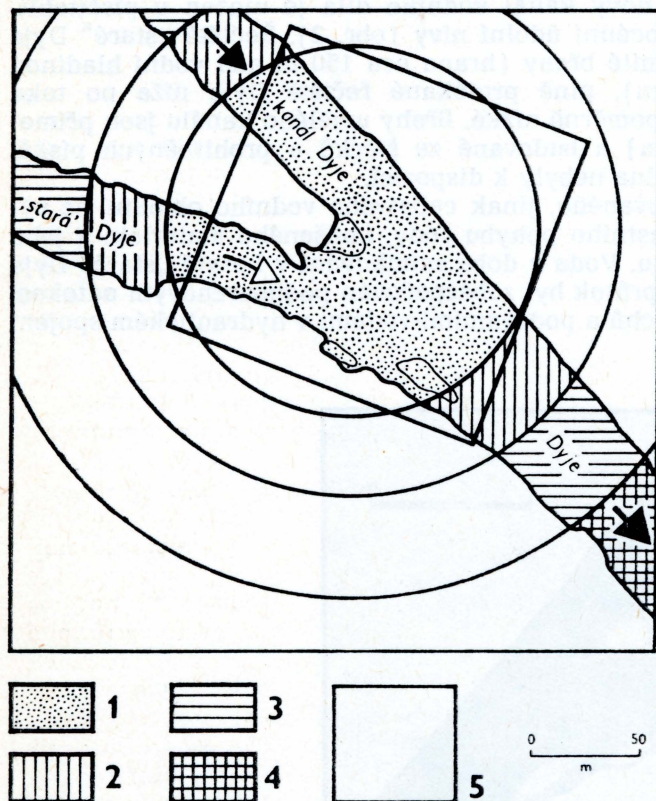
Geografický ústav ČSAV v Brně věnuje dlouhodobě pozornost oblasti vodohospodářských úprav na jižní Moravě na nížinných úsecích řek Svratky, Jihlavy, Dyje a Moravy i jejich přítoků. V tomto území byly opakovaně prováděny letecké průzkumy RC—modely, v průběhu kterých bylo pořízeno množství barevných diapositivů vodních objektů. U jednotlivých snímků bylo zatím provedeno jen orientační vizuální vyhodnocení, jejich přístrojové zpracování je v počátcích (Vlček, Richter, 4). Oblast vodohospodářských úprav na jižní Moravě je velmi dynamickým regionem se sezónními i evolučními změnami přirozeného i antropogenního původu. V této oblasti je a bude třeba operativně provádět letecký průzkum a snímkování. Z hlediska operativního nasazení zůstává doposud časově i prostorově nejprůběživějším průzkum RC—modely letadel se snímkováním na inverzní barevný fotomateriál. Z tohoto důvodu byl proveden všestranný test vzorku snímkového materiálu o vodním objektu z této exponované oblasti. Výsledky mohou účelně usměrnit zpracování tohoto i budoucího materiálu a náležitě zhodnotit jeho význam. Ve své podstatě předpokládaná práce navazuje na dřívější studii (Kolejka, v tisku), která se zabývala otázkami interpretace černobílých fotografií tematických výstupů z obrazovky zpracovatelského zařízení. Předmětem této studie je zhodnocení barevných interpretačních výstupů digitálního zařízení pro zpracování obrazu.

Dosavadní zkušenosti se studiem vodních objektů, obsažené v základním kompendiu z novější doby (Colwell, ed., 2), hovoří spíše ve prospěch barevných než černobílých snímků. Z interpretačního hlediska je nejcennější však kombinace klasického barevného snímku s barevným infračerveným snímkem. V modrém pásmu spektra (400—440 nm) je průchodnost světla vodou malá a proto je také kontrast objektů pod hladinou malý. Daleko lepší výsledky dává zelené pásmo (zejména intervaly 500—520 nm a 550—580 nm). V červeném pásmu viditelného záření (620—680 nm) dochází již k pohlcování světla vrstvou vody a zřetelné jsou pouze objekty v nevelké hloubce. Infračervené pásmo již neumožňuje studium dnových objektů, nejde-li o výrazné teplotní rozdíly mezi nimi. Za nejvhodnější pro tyto účely jsou považována měřítka 1 : 5 000 až 1 : 10 000.

2. Popis snímkového materiálu a vyhodnocovací techniky

Použitelnost barevných diapositivů ke geografickému studiu vodních objektů a efektivnost rozličných metod přístrojového vyhodnocení uvedeného materiálu byla testována na klasickém barevném panchro-

matickém diapozitivu formátu 6×6 cm na inverzním filmu ORWO Chrom UT 18. Tento snímek byl pořízen kamerou Flexaret z výšky cca 300 m z rádiem řízeného modelu letadla typu Rogallo 1976, které sestrojil pro potřeby oddělení DPZ Geografického ústavu ČSAV v Brně konstruktor Jiří Trnka (Stehlík, Plánka, Trnka, 3). Snímek zachycuje letní aspekt (červenec) nevelkého území ssv. od obce Dolní Věstonice v okrese Břeclav. Originální měřítko snímku činí cca $1 : 5000$, což znamená, že na příslušném čtvercovém formátu je zachycena část zemského povrchu o rozměrech cca 280×280 m. Ústředním motivem záběru je pohled na lokalitu napojení nového umělého kanálu, odvádějícího vody z přelivového objektu střední zdrže Novomlýnských nádrží na staré původní koryto řeky Dyje (obr. 1).



Obr. 1 — Situační náčrt zájmového území zachyceného na leteckém snímku z výšky cca 300 m. 1 — část snímku vhodná pro spolehlivé vizuální a digitální vyhodnocení, 2 — část snímku s limitovanou použitelností k digitálnímu vyhodnocení, 3 — část snímku s limitovanou vhodností pro vizuální vyhodnocení a prakticky nevhodná pro digitální zpracování, 4 — část snímku prakticky nevhodná pro vizuální a digitální vyhodnocení, 5 — výřez z optimální části snímku pro testování zpracovatelských metod.

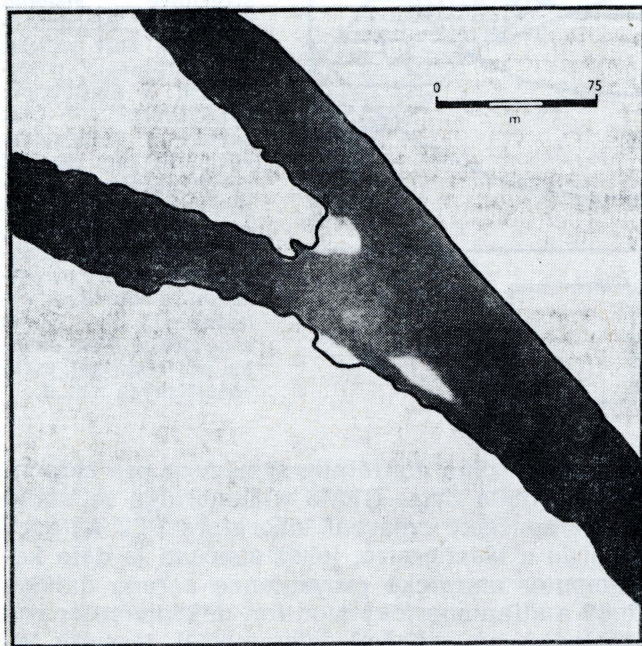
Testovací zařízení je představováno digitálním systémem pro zpracování obrazu GEMS 35, který vyrobila firma GEMS v Cambridge ve Velké Británii. Zařízení GEMS 35 je součástí vybavení laboratoře DPZ katedry geografie Univerzity v Salfordu u Manchesteru, jehož součástí je dále kapacitní počítač PRIME Computer americké provenience a řada dalších periferních zařízení: grafický a alfanumerický monitor, mikromonitor pro nezávislé fotografování výsledků na rozličný fotomateriál formátu ki-

nofilmu, fotografická kamera, televizní kamera pro digitalizaci grafických dat, barevná mozaiková tiskárna, vnější paměťové jednotky, magnetopáskové a diskové jednotky aj. Toto hardware je ovládáno inteligentním software verze „Diamond“ (Bagot, 1986), které je standardním vybavením systému GEMS 35 pro potřeby digitálního zpracování snímků z DPZ. Menu verze „Diamond“ umožňuje plynulé vyhledávání postupných kroků při zpracování snímků bez výrazných nároků na programátorskou erudici.

3. Zájmové území

Použitý barevný diapozitiv zaznamenává území na rozhraní Pavlovských vrchů a Dolnomoravského úvalu v dolní části Věstonické brány. Původní koryto Dyje i nový kanál vodního díla je uložen v písčitohlinitých sedimentech holocénní údolní nivy (obr. 2). Řečiště „staré“ Dyje má poměrně vysoké hlinité břehy (hrana cca 150 m nad vodní hladinou v době pořízení snímku), plně protékané řečiště Dyje níže po toku má hlinitopísčité břehy poměrně nízké. Břehy umělého kanálu jsou přímocí, nevysoké (do 1 m) a budované ze šterků a prohliněných písků. Měřičské údaje o tvaru dna nebyly k dispozici.

Tři dílčí části studovaného, jinak celistvého vodního objektu, se výrazně liší z hlediska vlastního pohybu vody, unášeného materiálu a jeho morfogenetického účinku. Voda v době snímkování v korytě „staré“ Dyje více méně stagnovala a průtok byl zabezpečován podpovrchovým odtokem ze svahů Pavlovských vrchů a podzemními vodami v hydraulickém spojení



Obr. 2 — Černobílá fotografie monitoru systému GEMS s vizualizovanou částí snímku, maskou vymezenou pro další zpracování pouze v hranicích vodního objektu.

s vodami střední zdrže Novomlýnských nádrží, odvodního kanálu i písčito-hlinitých sedimentů nivy a šterkopísku přiléhajících říčních teras. Při velmi malé rychlosti proudění docházelo k transportu minimálního objemu materiálu, především organických zbytků. K pravděpodobné sedimentaci docházelo dále od místa kontaktu starého řečiště s novým kanálem, kde rychlost proudění vzrůstala. Umělým korytem kanálu se uskutečňoval odtok naprosté většiny dyjských vod s $Q_a = 41,7 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Poměrně rychle proudící voda uvolňovala ze dna v delším úseku pod přelivovým objektem zrnitostně rozmanitý materiál a ukládala jej níže po toku v místech poklesu unášecí síly, nejčastěji v rozšířených místech kanálu, mezi něž patří i lokalita napojení „staré“ Dyje na kanál. Přes sedimentární lavici v těchto místech (ústí „staré“ Dyje) se vody kanálu zčásti přelévaly do starého řečiště a posilovaly průtok, který se většinou odehrával při pravém břehu Dyje. Níže na tuto lokalitu navazuje úsek toku méně dotčený úpravami. Z hlediska studia sedimentačních procesů a ověřování různých metod DPZ na jejich příkladě je nejzajímavější místo styku uvedených tří geneticky i aktuálními procesy odlišných částí vodního objektu. Na tuto lokalitu se tedy soustředila pozornost při vyhodnocování snímkového materiálu, což se v jistém smyslu odrazilo již ve fázi předpřípravy snímku ke zpracování. (Poznámka: Od března roku 1989 se testovací plocha nachází v dosahu vzdutí akumulovaných vod dolní zdrže Novomlýnských nádrží.)

4. Příprava snímku k tematickému zpracování

Součástí přípravy snímku k tematickému vyhodnocení byly tři etapy prací. V první etapě byl snímek digitalizován za využití TV kamery. Vzhledem k předpokládanému multivariačnímu zpracování a testování řady statistických metod byl barevný panchromatický inverzní snímek za použití trojice barevných filtrů, předsazených před digitalizující TV kameru, převeden na „multispektrální“ čili „vícekanálový“. Spektrální rozsah získaných kanálů byl následující: modrý kanál 400–520 nm (max. propustnost filtru při 440 nm), zelený kanál 470–610 nm (max. při 530 nm), červený kanál nad 590 nm (max. při 700 nm). Digitalizací byl snímek převeden na mozaiku 512×512 pixelů (1 pixel = přibližně čtverec $1/2 \times 1/2$ m ve skutečnosti na zemském povrchu). Každý pixel byl popsán trojicí denzitních údajů z celkem přístrojem rozlišovaných 256 odstínů šedi, po jednom z modrého, zeleného a červeného kanálu.

V druhé etapě byla posouzena kvalita vlastního snímku a také jeho vhodnost pro vizuální a digitální vyhodnocení. Zkusmé nasazení několika metod přístrojového zpracování snímku (jednokanálové a vícekanálové řezy bez a s filtrací) ukázalo, že v paměti zařízení uložený záznam nese některé nepříznivé vlastnosti, které jsou produktem jak procesu fotografování, tak digitalizování. Zřejmě v důsledku rozdílné světelné propustnosti čočky fotoaparátu Flexaret a vlivem lamel clony se mění kvalita snímku od středu k okrajům zorného pole. Tento efekt byl zdůrazněn při digitalizování záznamu na osvětleném pozadí. Výsledkem je skutečnost, že přibližně centrální část snímku je světlá s dobře rozlišitelnými objekty na zemském povrchu. K okrajům snímek tmavne a rozlišitelnost objektů značně klesá. Tento jev je charakteristický v různé

intenzitě pro záznamy pořízené fotografickou cestou. V daném případě je nejlepší část snímku, vhodná prakticky bez omezení pro vizuální a digitální zpracování, umístěna mírně excentricky. Absolutní okraje snímku (rohy) naopak téměř nevyhovují ani pružnějšímu vizuálnímu vyhodnocení (obr. 1).

V třetí fázi byl proveden výřez z originálního záznamu tak, aby pro další zpracování byla k dispozici co nejkvalitnější část snímku, současně zachycující z geografického hlediska nejzajímavější část studované lokality. V drtivé většině jde o areál vhodný bez omezení pro vizuální i digitální vyhodnocení, ideálně vhodný pro testování a vzájemné srovnání aplikovaných metod a jejich výsledků. Část snímku mimo vodní objekt byla zamaskována a z dalšího zpracování vyloučena (obr. 2).

5. Testování metod zpracování snímku a tematické vyhodnocení výsledků

Cílem nasazení rozmanitých metod přístrojového zpracování daného barevného diapozitivu bylo sestavení takových obrazů, ve kterých by byly zjistitelné objekty, dokumentované pozemním průzkumem v době pořízení snímku. Kromě toho bylo zpracování orientováno i na případnou detekci takových objektů, resp. jevů, které nebyly ze země (z břehu) pozorovatelné na vodní hladině, pod ní nebo na dně vodního objektu nebo unikaly pozornosti při pobytu v terénu, např. nebyly zaznamenány všechny objekty určitého typu apod. V tomto smyslu má studie i ryze mapovací význam (inventarizace objektů podle známých vzorků). Podpůrným terénním výzkumem byly podchyceny následující typy objektů v řečištích zkoumaných toků:

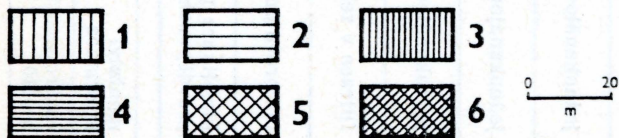
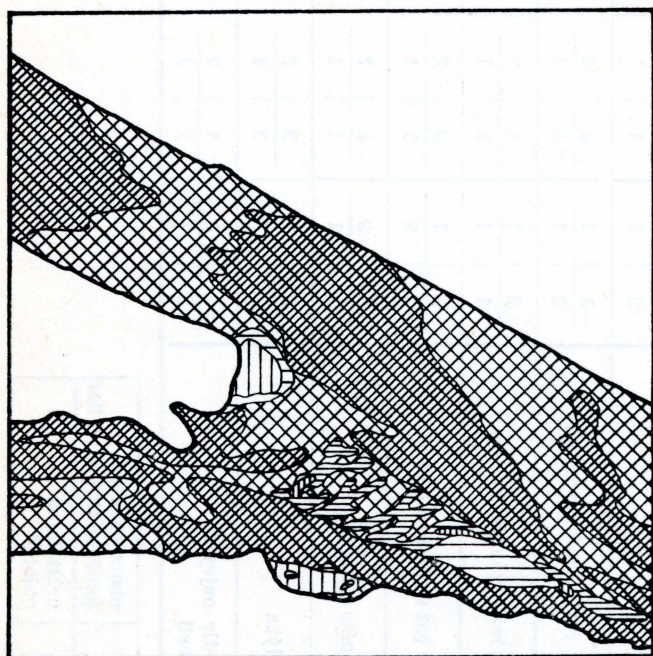
- suché jílovitopísčité sedimentární lavice (místy s pionýrskou vegetací),
- vlhké jílovitopísčité sedimentární lavice provlhčené vzlínající vodou,
- mělce ponořené (cca do 10 cm) sedimentární lavice,
- hluboko ponořené sedimentární lavice (terénní náčrtky tohoto objektu pro obtížnost přístupu a nejednoznačnost kontur nebyly pořízeny).

Interpretační obrazy byly vytvářeny na grafickém monitoru soustavy GEMS 35 a fotografovány v případě uspokojivého (popřípadě relativně nejbohatšího) obsahu na barevný inverzní film Kodak EN 100 5039. Zvětšeniny barevných diapozitivů původního formátu 3 × 2 cm tvoří výchozí materiál pro kresbu interpretačních skic výsledků aplikovaných metod zpracování dat.

Vlastní geografické hodnocení výsledků metod je již vztaženo k interpretačním skicám. Tyto skicy v podstatě reprodukují rozlišené areály určitých (kvazi)homogenních optických vlastností, kterým v procesu geografického hodnocení byl přidělen geografický význam. Rozlišené areály tak reprezentují konkrétní geografické objekty v hranicích sledovaného vodního objektu. Hodnocen je geografický obsah těchto skic, čili kvalita získané informace (= množství spolehlivě rozlišených typů objektů) a její kvantita (= počet rozlišených objektů v ověřené poloze po celém sledovaném výřezu snímku) na základě srovnání s terénními poznatky tříbodovou stupnicí (1 — nejlepší, 2 — vyhovující, 3 — nejhorší), pokud však byly k dispozici pozemní údaje. Interpretací obrazů, sestavených během zpracování dat na monitoru zařízení, byly zjištěny

další, více méně hypotetické objekty, resp. jevy, které nejsou doloženy pozemním výzkumem. Jde o objekt tzv. „mělkovodí“, jehož optické projevy mohou být vyvolány znečištěním povrchu vody plovoucími částicemi, zvýšeným obsahem plavenin nebo vlněním hladiny atd. a tzv. „hlubokovodí“, což je v podstatě neklasifikovaný zbytek obrazu. Geografické hodnocení takto vymezených objektů je již subjektivní, i když o jejich reálné existenci nelze pochybovat. (Pozn.: Tyto spolehlivě neprokazatelné objekty se objevily ve výsledcích všech metod.)

METODA INTERPRETACE VIZUALIZOVANÉHO PŮVODNÍHO SNÍMKU spočívá v detekci zájmových objektů na základě znalostí interpretátora a podpůrných údajů v „přirozeném“ obraze na monitoru zařízení (posléze na fotografickém záznamu). Tento „přirozený“ obraz vzniká vhodně provedeným barevným kódováním odstínů šedi v použitých třech kanálech snímku a jejich aditivním skládáním tak, že se podaří vytvořit obraz prakticky v původních barvách, porovnatelných s výchozím diapozitivem. Digitalizací sice dochází k rozložení kontinuálního obrazu do mzaiky pixelů, k poklesu výraznosti hraničních linií a k oslabení až zániku některých barevných přechodů, avšak jádra sledovaných objektů jsou přece jen mírně výraznější na digitálním obraze než na diapozitivu.



Obr. 3 — Výsledky interpretace vizualizovaného původního snímku. Sedimentární laviče: 1 — suché, 2 — vlhké, 3 — mělce ponořené, 4 — hluboko ponořené. Areály tzv.: 5 — mělkovodí, 6 — hlubokovodí.

Tab. 1

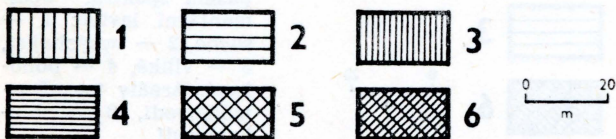
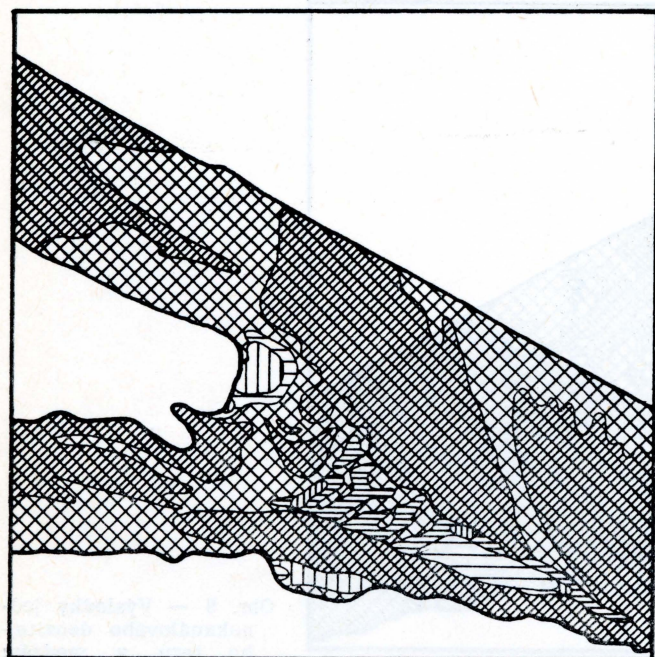
Geografické hodnocení metod identifikace jevů ve vodním objektu z digitalizovaného leteckého barevného diapozitivu. Stupnice hodnocení: 1 — nejlepší, 2 — vyhovující, 3 — nejhorší. (Údaje v závorkách označují nedoložené informace.)

METODA ZPRACOVÁNÍ	TYP OBJEKTŮ A JEVŮ							„hluboko- vodí“
	suché sedimentární lavice	vlhké sedimentární lavice	měče ponoř. sedimentární lavice	hluboko ponoř. sedi- ment. lavice	„mělkovodí“			
interpretace vizualizovaného původního snímku	1 1	3 1	3 1	3 (1-2)	(2) (3)	(2) (3)	(2) (3)	
	1 1	1 1	1 1	1 (2)	(2) (3)	(2) (3)	(2) (3)	
interpretace vizualizovaného zvýrazněného snímku	1 1	2 1	2 1	3 (1-2)	(2) (3)	(2) (3)	(2) (3)	
	2 1	1 1	1 1	1 (1-2)	(2) (3)	(2) (3)	(2) (3)	
jednokanálový řez v modrém kanálu	1 1	1 2	1 3	1 3	(1) (3)	(1) (3)	(1) (3)	
	2 1	2 1	3 3	3 3	(3) (3)	(3) (3)	(3) (3)	
jednokanálový řez v zeleném kanálu	2 1	1 2	1 3	1 2	(2) (2)	(2) (2)	(2) (2)	
	1 1	2 1	2 1	3 2	(2) (2)	(2) (2)	(2) (2)	
jednokanálový řez v červeném kanálu	2 1	3 2	1-2 3	3 3	(1) (1)	(1) (1)	(1) (1)	
	2 2	1 1	2 3	2 3	(3) (2)	(3) (2)	(3) (2)	
filtrace v zeleném kanálu	1 2	2 2	3 2	2 3	(3) (2)	(3) (2)	(3) (2)	
	1 1	1 1	1 2	1 2	(1) (1)	(1) (1)	(1) (1)	
faktorová analýza	2 2	3 2	1 1	1 2-2	(2) (1)	(2) (1)	(2) (1)	
	2 1	2 1	1 1	2 1	(2) (3)	(2) (3)	(2) (3)	
klasifikace podle nejvyšší pravděpodobnosti	1 1	1 1	1 2	1 2-1	(2) (1)	(2) (1)	(1) (1)	
	2 1	2 1	1 1	2 1	(2) (1)	(2) (1)	(2) (1)	

množství informace	obecný soulad generalizovaných čar
rozdrobenost areálů	určitelnost objektů

Nadhladinové objekty (suché a vlhké sedimentární lavice) jsou velmi dobře prokazatelné. U podhladinových objektů (mělce a hluboce ponořené sedimentární lavice) bez dostatečné kvalifikace informace lze velmi obtížně vést jejich hraniční čáry. V tomto případě je problém řešen subjektivním výběrem barevného odstínu, který podle pozemních údajů odpovídá hloubce vody cca 10 cm ve známém bodě (barevné rozdíly mohou být způsobeny nejen hloubkou vody, ale často i barvou dna). Fotografická metoda pořízení záznamu však zatím lepší rozlišovací možnosti objektů neposkytuje (tab. 1). Bez možnosti kvalifikace barevných odstínů na zbylé ploše snímku je vymezení ostatních objektů jen velmi přibližné (obr. 3).

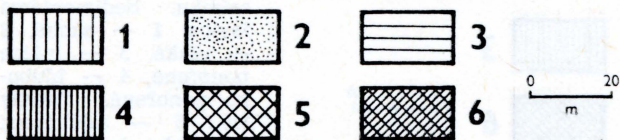
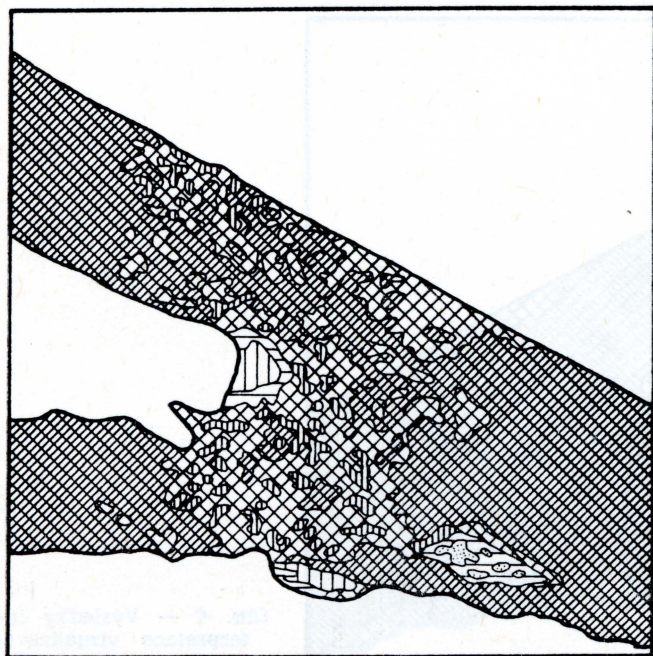
METODA INTERPRETACE VIZUALIZOVANÉHO ZVÝRAZNĚNÉHO SNÍMKU se od předchozího postupu liší pouze jinou úpravou snímku. Procesem „contrast stretch“ rozličnými dílčími metodami lze dosáhnout zvýraznění optických projevů sousedících objektů. Automatizovanou nebo vizuální kontrolou jsou v jednotlivých kanálech postupně přepočítávány denzitní hodnoty pixelů (0–255) na nové tak, aby četnostní křivky pixelů podle denzitních hodnot se co nejvíce blížily normálnímu rozdělení. Tímto způsobem vznikly vlastně poněkud jiné záznamy v jednotlivých



Obr. 4 — Výsledky interpretace vizualizovaného zvýrazněného snímku. Sedimentární lavice: 1 — suché, 2 — vlhké, 3 — mělce ponořené, 4 — hluboko ponořené. Areály tzv.: 5 — mělkovodí 6 — hlubokovodí.

kanálech, kterým pak stejně jako v předchozím případě byly přiděleny barevné kódy tak, aby skládáním vznikl obraz v barvách připomínajících původní vzhled krajiny. Rozdíly v kontrastech objektů již nejsou přirozené. Některé původní barevné odstíny zcela vymizely, drobné objekty zanikly a došlo k mírnému vyrovnání hraničních čar objektů. Základní objekty však byly náležitě zvýrazněny a jejich interpretace byla snazší než v předchozím případě (tab. 1). Určitá klasifikace obsahu snímku, spojená s programovým zvyšováním kontrastu zájmových objektů, se odrazila v lepší identifikaci podhladinových objektů, s výjimkou nedoložených areálů „mělkovodí“ a „hlubokovodí“ (obr. 4).

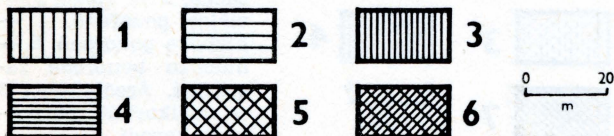
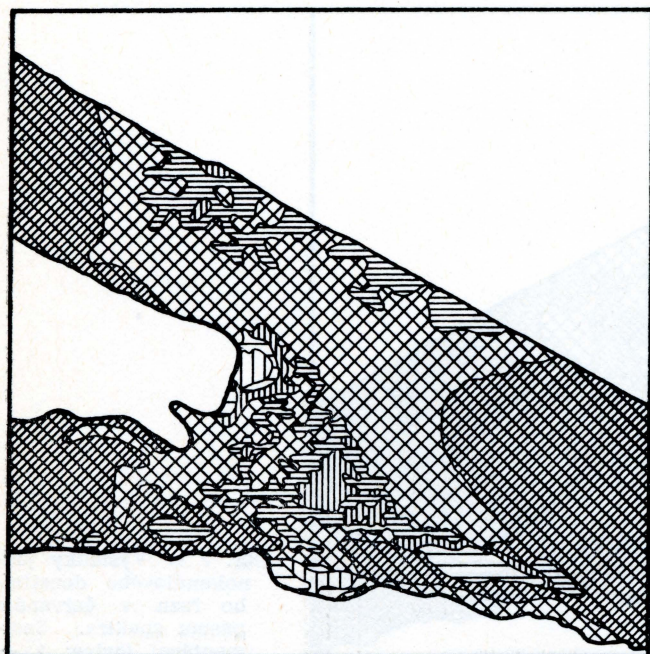
METODA JEDNOKANÁLOVÝCH DENZITNÍCH ŘEZŮ je jednoduchým, subjektem zpracovatele kontrolovaným postupem přístrojové klasifikace prvků obrazu podle intenzity šedé barvy pixelů v jednotlivých kanálech digitalizovaného záznamu. Princip klasifikace spočívá v tom, že zvoleným intervalům denzitních hodnot (z celkového rozsahu 0—255 odstínů šedé) jsou přiřazeny pastelové barvy jako kódy. Při zpracování lze rozsah intervalu a tím i plošný rozsah barevně kódovaných areálů plynule měnit tak dlouho, až podle názoru interpretátora došlo ke ztotožnění barevných ploch s plochami reálně existujících objektů zachycených



Obr. 5 — Výsledky jednokanálového denzitního řezu v modrém pásmu spektra. Sedimentární lavice: 1 — suché, 2 — vysychající, 3 — vlhké, 4 — ponořené. Areály tzv.: 5 — mělkovodí, 6 — hlubokovodí.

snímek. Při jednobarevných denzitních řezech je barevné kódování prováděno postupně v modrém, zeleném a červeném kanálu odděleně a dílčí výsledky individuálně hodnoceny. Modrý kanál dobře informuje o nadhladinových objektech. Poskytuje o nich nejbohatší informaci, co se týče množství objektů a jejich vnitřního členění. Údaje o podhladinových objektech jsou velmi nespolehlivé (obr. 5). Zelený kanál dává kvalitou a množstvím relativně nejlepší údaje, lze identifikovat s omezenou přesností i podhladinové objekty (obr. 6). Červený kanál je obsahově nejbohatší (více typů objektů), avšak o podhladinových objektech jsou údaje značně generalizované (obr. 7). Obecně metodu jednobarevných řezů charakterizuje mimořádná rozdrobenost rozlišených typů areálů, zjevný nesoulad kontur podhladinových objektů se známými poznatky a množství zcela mylně vymezených objektů, co se týče druhu i polohy (tab. 1).

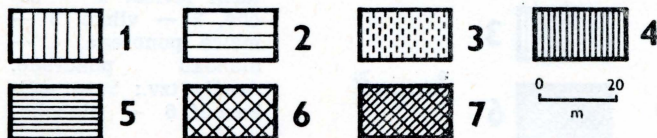
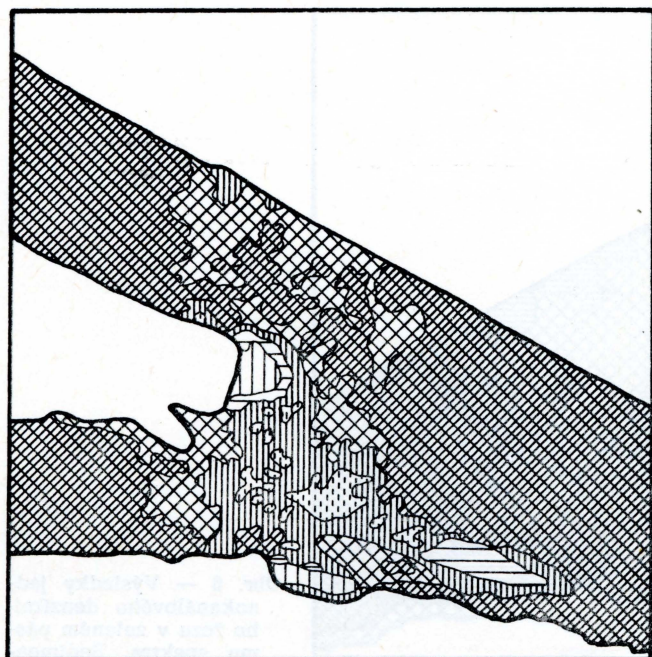
METODA FILTRACE slouží především k odstranění nežádoucího extrémního rozdrobení zjištěných typů objektů. Jde o metodu digitálního zpracování obrazu, ať již původního nebo výsledku jiné metody. V zásadě jde o postup kvantitativní generalizace obsahu obrazového materiálu. Princip metody spočívá ve změně velikosti základního pixelu obrazu,



Obr. 6 — Výsledky jednobarevného denzitního řezu v zeleném pásmu spektra. Sedimentární lavice: 1 — suché, 2 — vlhké, 3 — mělce ponořené, 4 — hluboko ponořené. Areály tzv.: 5 — mělkovodí, 6 — hlubokovodí.

jakožto měřítka rozlišovací schopnosti, spojováním sousedících pixelů do větších čtverců. Nový pixel charakterizují optické hodnoty, které jsou průměrem hodnot původních pixelů. Metoda byla testována v návaznosti na jednonábový denzitní řez v zeleném kanálu, který dává poměrně solidní informaci k problematice sedimentačních jevů ve vodním objektu. Filtrem 5×5 pixelů provedená generalizace obrazu výrazně snížila rozdrobenost obrazu za současného zániku téměř všech drobných objektů, vyrovnaní obrysových čar, avšak spojená s nadhodnocením některých podhladinových objektů (obr. 8, tab. 1). Přes úbytek informace a jmenované nadhodnocení některých areálů, filtrovaný snímek je díky větší kompaktnosti areálů nejvhodnější pro interpretaci a kartografické znázornění výsledků.

FAKTOROVÁ ANALÝZA není sice metodou klasifikace obrazových údajů, avšak umožňuje určité uspořádání víceparametrové informace, což v jistém směru usnadňuje interpretaci vizualizovaných výsledků tohoto postupu. V zásadě jde v daném případě o snížení rozptylu hodnot, které ve trojicích popisují každý pixel obrazu (po jednom údaji z každého kanálu) v třírozměrném eukleidovském prostoru tak, že by tímto prostorem byla proložena nová soustava tří souřadnic, kdy by

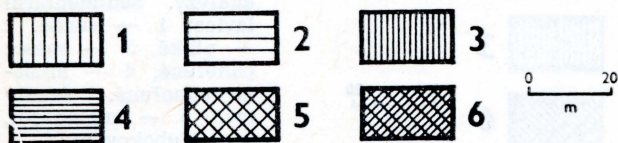
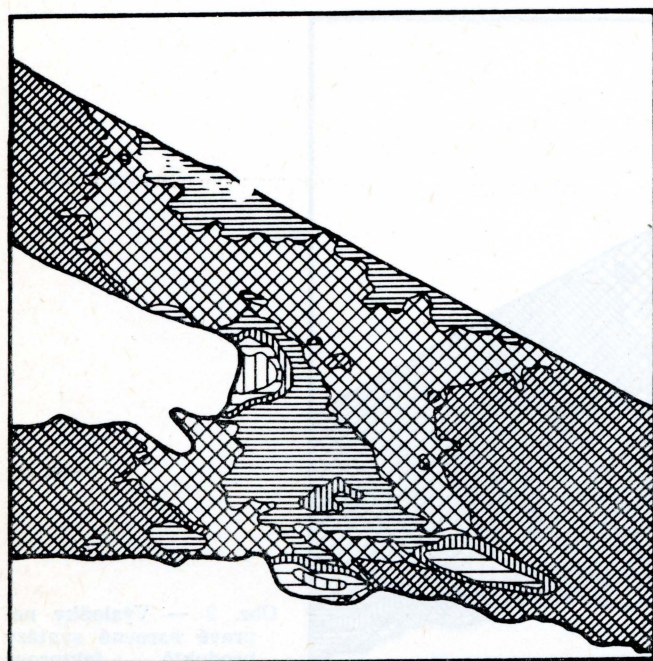


Obr. 7 — Výsledky jednonábového denzitního řezu v červeném pásmu spektra. Sedimentární lavice: 1 — suché, 2 — vlhké, 3 — mělce ponořené, 4 — hluboko ponořené, 5 — hluboko ponořené zastíněné. Areály tzv.: 6 — mělkovodí, 7 — hlubokovodí.

rozptyl hodnot kolem os soustavy byl co nejmenší. Osy nově vzniklé soustavy souřadnic odpovídají hypotetickým proměnným — označovaným faktory, kombinujícím vliv původních proměnných (zde denzitním hodnotám pixelů ve třech kanálech světla). Podle tzv. vektorové zátěže (tab. 2), vysvětlující procentuálně jaký podíl informace který vypočtený

Tab. 2 Výpočet hlavních faktorů

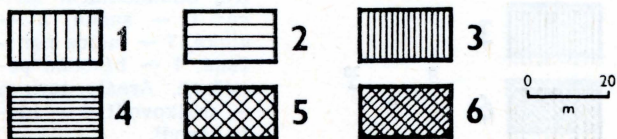
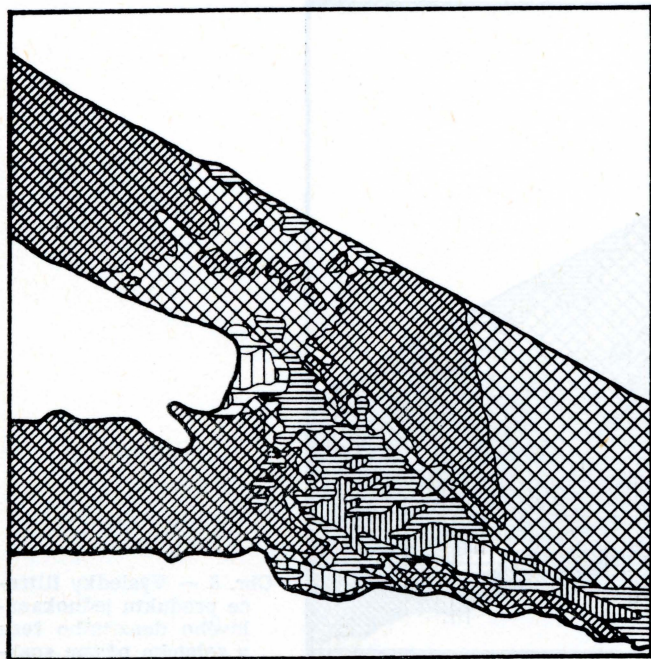
vstupní soubor	průměrná denzita	směrodatná odchylka	transformovaná směrná odchylka	vektorová zátěž	faktorové skóre		
1.	83,07	66,50	120,53	0,9966	0,1143	0,1065	0,1364
2.	76,59	62,11	6,14	0,0026	-1,3228	3,4946	-1,6196
3.	99,56	79,36	3,44	0,0008	5,5901	-0,0397	-4,6514



Obr. 8 — Výsledky filtrace produktu jednonálového denzitního řezu v zeleném pásmu spektra. Sedimentární laviče: 1 — suché, 2 — vlhké, 3 — mělce ponořené, 4 — hluboko ponořené. Areály tzv.: 5 — mělkovodí, 6 — hlubokovodí.

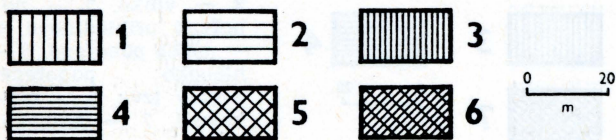
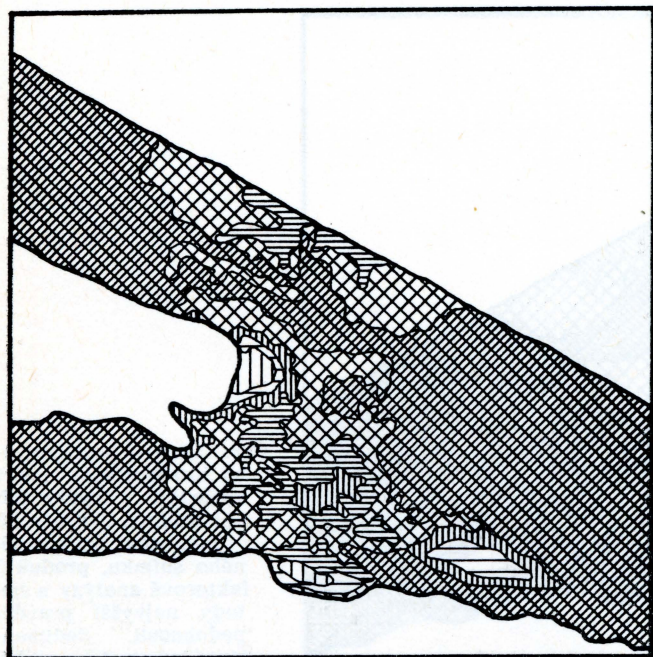
faktor reprezentuje, je posuzován význam jednotlivých faktorů. Zpětně lze odvodit, kteří skuteční činitelé nový faktor formují. Použitím Karhunen-Loevovy metody faktorové analýzy byly vypočteny nové trojice údajů pro každý pixel a ty vizualizovány jako „multispektrální“ snímek. Z trojice takto vzniklých snímků (po jednom pro každý faktor) byla sestavena nepravě barevná syntéza jako předmět geografického hodnocení výsledků této metody. Vytvořený obraz charakterizuje „rozmazání“ kontur s plynulými přechody od jedné jaderné oblasti jednotlivých typů objektů k druhým a s tím související obtížnost vedení hraničních linií. Na druhé straně snížení optické variability jednotlivých areálů umožňuje povést v takto předzpracovaných datech sice subjektivní, ale přesto dosti výstižnou klasifikaci výsledků, spojenou s vymezením již známých typů objektů (obr. 9). Metoda faktorové analýzy se tak ukazuje při digitálním zpracování barevných diapozitivů jako zdroj upravené informace, vhodné pro přímou interpretaci nebo ještě lépe pro další strojně početní zpracování.

METODA NEJVYŠŠÍ PRAVDĚPODOBNOTI je metodou pravděpodobnostní klasifikace vícerozměrných obrazových údajů řízenou subjektem zpracovatele. Vliv subjektu zpracovatele se projevuje ve vý-



Obr. 9 — Výsledky nepravě barevné syntézy produktů faktorové analýzy. Sedimentární lavice: 1 — suché, 2 — vlhké, 3 — mělce ponořené, 4 — hluboko ponořené. Areály tzv.: 5 — mělkovodí, 6 — hlubokovodí.

běru omezeného počtu vzorových území (testovacích ploch = počet sledovaných typů objektů), které by měly reprezentovat všechny typy vyhledávaných objektů. Pro vyčleněné testovací množiny pixelů ze vzorových území jsou pak počítány statistické parametry ve všech kanálech a z nich sestavovány statistické popisy zájmových objektů (podle optických vlastností). Testovací množiny jsou voleny v nepravě barevném obrazu, který vzniká syntézou barevně kódovaných tří (v našem případě) kanálů „multispektrálního“ snímku. Na základě počtu pravděpodobnosti jsou dále ostatní pixely obrazu postupně hodnoceny a přiřazovány do tříd odpovídajících již spektrálně statisticky popsaným a definovaným objektům. Definitivní výsledek — obraz — rozlišuje pouze tolik typů objektů, kolik jich zpracovatel předem určil. V daném případě byly proto využity zkušenosti z výsledků předchozích metod a stanovené třídy objektů (= typy) jsou v podstatě v souladu s již známými údaji o prostorové diferenciaci vodního objektu. Typologická klasifikace „multispektrální“ informace je výhodná v tom, že objekty téhož typu jsou vyhledány a shodně znázorněny v celém zkoumaném obrazu pak již nezávisle na vůli zpracovatele. Tak je optická variabilita obrazu redukována na šestici možných typů pixelů — odpovídajících šestici sledovaných objektů (obr. 10).

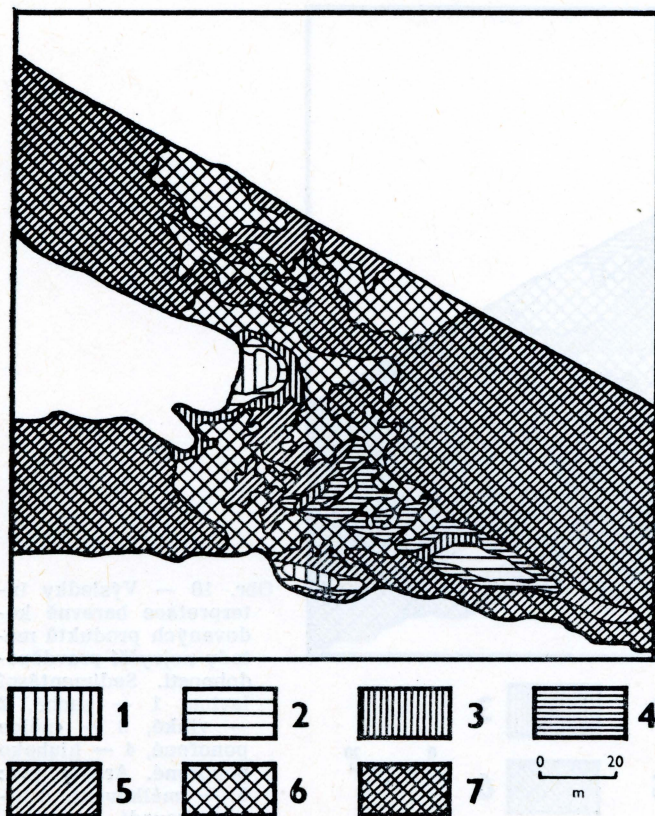


Obr. 10 — Výsledky interpretace barevně kódovaných produktů metody nejvyšší pravděpodobnosti. Sedimentární lavice: 1 — suché, 2 — vlhké, 3 — mělce ponořené, 4 — hluboko ponořené. Areály tzv.: 5 — mělkovodí, 6 — hlubokvodí.

6. Závěr

Průběh testování jednotlivých metod zpracování obrazové informace z použitého barevného panchromatického diapositivu z RC—modelu letadla ukázal, že i z tohoto materiálu lze získat levně a efektivně důležité poznatky. Byly získány zatím zcela ojedinělé zkušenosti s převodem barevného diapositivu na „multispektrální“ záznam při digitalizaci snímku, což vůbec podmiňuje nasazení víceparametrových statistických metod zpracování dat, podstatně zvyšujících objektivitu pořízení výsledků a následného geografického hodnocení získané informace. Ukazuje se rovněž, že cestou k solidnímu vyhodnocení snímku nemůže být pouze jediná metoda, ale vzájemné srovnání výsledků více metod. Výsledky různých metod se navzájem kontrolují a doplňují. Jen tímto způsobem lze snížit vliv subjektu na výsledky zpracování.

Zdá se, že je účelné vybrat optimální dílčí výsledky jednotlivých postupů a z nich skládat realitě nejlépe odpovídající interpretační skici, a tak vlastně ve výsledcích kombinovat klady aplikovaných metod. V daném případě takovou vhodnou kombinaci poskytují výsledky interpretace vizualizovaného zvýrazněného snímku, faktorové analýzy a metody nejvyšší pravděpodobnosti (obr. 11).



Obr. 11 — Kombinovaný interpretační náčrt výsledků ověřených optimálních výsledků vyhodnocení zvýrazněného snímku, produktů faktorové analýzy a metody nejvyšší pravděpodobnosti. Sedimentární lavice: 1 — suché, 2 — vlhké, 3 — ponořené přihladinové, 4 — mělce ponořené, 5 — hluboko ponořené. Areály tzv.: 6 — mělkovodí, 7 — hlubokovodí.

Porovnáním výsledků různých metod lze odhalit závady originálního snímku a jim přizpůsobit postup zpracování, aby jejich negativní vliv byl co nejnižší. Vzhledem k tomu, že barevné diapozitivy jako nejdostupnější snímkový materiál mohou dávat významné údaje, lze konstatovat, že při digitálním zpracování přes jistý úbytek informace je docilováno všestrannějšího, úplnějšího, přesnějšího a kvantifikovanějšího zpracování snímku, což dokumentuje i demonstrováný příklad vodního zdroje.

Literatura:

1. BAGOT, K. H.: Handbook of the GEMS image processing system. London, Royal Aircraft Establishment 1986, 206 s.
2. COLWELL, R. N., ed.: Manual of remote sensing. 2. vyd. Falls Church, The Sheridan Press 1983, 2 240 s.
3. STEHLÍK, O., PLÁNKA, L., TRNKA, J.: Metodika multispektrálního leteckého snímkování z malých a středních výšek. [Výzkumná zpráva]. Brno, Geografický ústav ČSAV 1981, 43 s.
4. VLČEK, V., RICHTER, R.: Příklad automatizovaného vyhodnocení snímku z malých výšek pro výzkum životního prostředí. In: Sborník prací 18. Brno, Geografický ústav ČSAV 1988, s. 232—243.

Summary

GEOGRAPHICAL EVALUATION OF DIGITIZED AIR PHOTOGRAPHY OF A WATER BODY

Aerial colour slides taken from a radio-controlled plane are at present the most intensively used remotely sensed material. The Institute of Geography ČSAV at Brno [Czechoslovakia] has a long tradition in remote sensing using RC model airplanes. An important part of the image material is of areas of complex water management in South Moravia. Modern techniques of digital image processing provide the potential for quicker, more complete, more subtle and more efficient analysis of slides. The Department of Geography, University of Salford, Great Britain, pouses a powerful GEMS 35 image processing system which allows testing of a range of image processing methods. It was used in digital analyses of aerial colour slides of a water body to test both the evaluation of the suitability of slides for the detection of river-bed phenomena, and the efficiency of different processing methods.

The first stage of processing was to capture the image using a video camera with blue, green and red filters to produce a „multispectral“ image. Simple density slicing of individual bands allowed the evaluation of the suitability of different parts of the original image for digital processing (Fig. 1). The best part of the image was chosen for further processing and the area neighbouring the water body was masked off (Fig. 2). The evaluation covers the secondary data displayed on the GEMS 35 image monitor: visualized original image (Fig. 3), contrast stretched image (Fig. 4), density slices of blue, green and red bands (Figs. 5, 6, 7), smoothed image in the green band (Fig. 8), results of PC analysis (Fig. 9), and the maximum likelihood classification (Fig. 10). Comparative tests of field data have shown that contrast stretching, principal components analysis and maximum likelihood classification were suitable for the detection of transportation and sedimentation phenomena in the water. The best results of the three methods produce a simple map of the model territory (Fig. 11).

(Pracoviště autorů: J. Kolečka — Geografický ústav ČSAV, Mendlovo nám. 1, 662 82 Brno; J. Petch — University of Salford, Department of Geography, Salford M5 4WT, Velká Británie.)

Došlo do redakce 1. 6. 1989.