

---

# GEOGRAFICKÝ ČASOPIS

---

46

1994

3

---

*Marcel Šúri, Ján Feranec, Tomáš Cebecauer \**

## URČOVANIE OBSAHU VODY V PÔDE VÝPOČTOM SPEKTRÁLNYCH INDEXOV Z ÚDAJOV LANDSAT TM

Marcel Šúri, Ján Feranec, Tomáš Cebecauer: Determination of soil water content using spectral indices computed from Landsat TM data. Geogr. čas., 46, 1994, 3, 11 figs., 3 tabs., 22 refs.

The presented contribution documents possible application of spectral indices of transformation Tasseled Cap (brightness, greenness and wetness) as a mean for determination of information on water content in bare soil surface layer from Landsat TM data set. The results confirmed existence of the general trends - with increasing water content brightness values are decreasing, and wetness values increasing. It was also concluded that in the next study of the relationship between soil surface water content and its spectral properties it is necessary to analyse extent of the influence of soil colour, organic matter content, surface roughness and vegetation remnants on soil spectral reflectance.

Keywords: Landsat 5TM data, soil water content, Tasseled Cap spectral transformation, brightness, greenness, wetness.

### 1 ÚVOD

Údaje družice Landsat Thematic Mapper (TM) sú významným zdrojom kvantitatívnych informácií o objektoch krajiny. Nositeľom týchto informácií je odrazená alebo vyžiarená elektromagnetická radiácia (EMR), resp. zmeny jej kvality a kvantity (Haefner 1989). Úlohou metód digitálnej interpretácie družicových údajov je nájsť vzťah medzi

---

\* Geografický ústav SAV, Štefánikova 49, 814 73 Bratislava

nameranou EMR a vlastnosťami objektov krajiny, poznanie ktorého dovoľuje získať z týchto údajov požadované informácie. Výber metódy interpretácie závisí od povahy hľadaných informácií, ako aj od problému, pre riešenie ktorého majú byť využité.

Pri určovaní vlastností pôdy z údajov Landsat TM je dôležité poznať **faktory, ktoré ovplyvňujú proces interakcie EMR s pôdou**. Pôda je tvorená anorganickými časticami, organickou hmotou, vzduchom a vodou (pôdnym roztokom). Z experimentálnych prác (Jackson et al. 1978, in: Schmugge et al. 1980, Asrar 1989), ako aj praktických skúseností (Mulders 1987) vyplýva, že na reflexné a emisné charakteristiky povrchovej vrstvy pôdy najviac vplyvajú tieto faktory: obsah vody, organickej hmoty (humusu), železa a oxidov železa, mineralogické zloženie pôdy, veľkosť pôdných častíc, aktuálny stav povrchu pôdy (z hľadiska spôsobu obrábania) a podmienky merania (intenzita a smer oslnenia, smer merania).

**Cieľom príspevku** je ukázať na príklade južnej časti Žitného ostrova možnosti použitia spektrálnych indexov transformácie Tasseled Cap (brightness, greenness a wetness) na získanie informácií o obsahu vody v povrchovej vrstve pôdy bez vegetácie, aplikáciou údajov Landsat 5 TM.

## 2 STAV SKÚMANÉHO PROBLÉMU

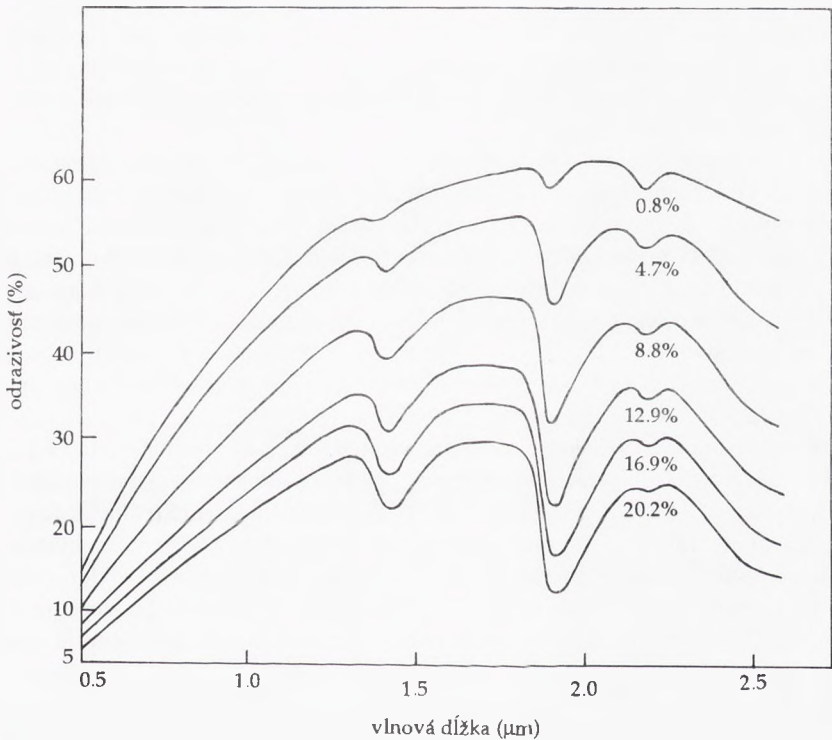
**Obsah vody v pôde** je integrálny výsledok pôsobenia prírodných činiteľov na pôdu. Pre pôdu bez vegetácie sú to (Šútor 1986a,b): *meteorologické a klimatické činitele* (denné zrážkové úhrny, priemerná denná teplota, rýchlosť vetra, tlak vodných pár, sýtosťný doplnok, trvanie slnečného svitu, energetická bilancia a jej štruktúra, najnižší denný priemer teplôt, priemerný nástup denného priemeru teploty 5°C, priemerný súčet kladných teplôt), *hydrofyzikálne charakteristiky pôdneho prostredia* (vlhkosťná retenčná čiara, nenasýtená hydraulická vodivosť, hydraulická vodivosť, drenážna pórovitosť a k nim doplnujúce údaje, t.j. objemová a merná hmotnosť pôdy, zrnitosťné zloženie a pórovitosť) a *vybrané hydraulické údaje záujmového územia* (prietoky vody v riečnej sieti, hladinový režim v riekach a režim podzemných vôd).

Tab. 1. Spektrálne kanály snímacieho zariadenia Landsat Thematic Mapper

Spektrálny kanál	Spektrálny rozsah (μm)	Názov spektra
TM1	0,45 — 0,52	modré
TM2	0,52 — 0,60	zelené
TM3	0,63 — 0,69	červené
TM4	0,76 — 0,90	blízke infračervené
TM5	1,55 — 1,75	stredné infračervené
TM7	2,08 — 2,35	stredné infračervené
TM6	10,4 — 12,5	ďalšie infračervené

**Vplyv vody na spektrálne vlastnosti pôdy** v oblasti *odrazenej EMR* dokumentuje obr. 1. Zvyšujúci sa obsah vody v pôde spôsobuje celkový pokles jej odrazivosti s lokálnymi absorpčnými pásmami v oblasti 0,97, 1,20 a 1,77 μm a s pásmami silnej absorpcie so stredmi v oblasti 1,45 a 1,9 μm (Bowers a Hanks 1965, in: Musick a Pelletier 1988).

Okrajové časti spomínaných oblastí zaznamenávajú dva kanály snímacieho zariadenia Landsat TM (TM5 a TM7, pozri tab.1). V laboratórnych podmienkach je možné určiť pomerne jednoznačný inverzný vzťah medzi množstvom vody prítomnej v pôde a spektrálnou odrazivosťou pôdy (Musick a Pelletier 1988). Praktické použitie metód dialkóvého prieskumu Zeme (DPZ) je však podmienené nevyhnutnosťou eliminovať vplyv iných, už spomínaných faktorov, spôsobujúcich priestorové a časové zmeny spektrálnej odrazivosti pôdy. Použiteľnosť metód interpretácie údajov DPZ získaných záznamom odrazenej EMR sa obmedzuje na získanie informácií o pôde bez vegetačného krytu (Musick a Pelletier 1988). Na spektrálnu odrazivosť pôdy má priamy vplyv iba tenká povrchová vrstva (Idso et al. 1975, in: Musick a Pelletier 1988). Je však potrebné zdôrazniť, že povrchová vrstva pôdy v dôsledku komplikovaného prejavu dynamiky vysychania a variability vo



Obr. 1. Spektrálne charakteristiky pôdy s rôznym obsahom vody (in: Swain a Davis 1978, s. 244).

vlastnostiach pôdy nie vždy verne poskytuje obraz o obsahu vody v hlbších častiach pôdneho profilu (Huete a Warrick 1990).

Komplexnejší obraz o obsahu vody v podpovrchových vrstvách pôdy môžu poskytnúť údaje zaznamenané v *oblasti ďalej infračervenej (termálnej) časti spektra EMR* (napr. Landsat TM6). Vhodnou mierou na stanovenie obsahu vody v pôde je meranie dennej tepelnej amplitúdy. Vzťah medzi týmito veličinami je inverzný (väčšia tepelná amplitúda

počas dňa indikuje suchšie pôdy, Schmugge et al. 1980). Na hodnoty nameraných termálnych charakteristík pôdy majú vplyv okrem už spomínaných faktorov i charakteristiky tepelnej vodivosti a kapacity pôdy a charakteristiky aktuálneho stavu počasia, z čoho vyplýva potreba ich synchronného merania. Výhodou termálnych meraní je, že nimi získané údaje dovoľujú vypočítat aj ďalšie fyzikálne charakteristiky, ktoré majú užší vzťah k obsahu vody v pôde (Axelsson a Lundén 1986), napr. evaporáciu a termálnu inerciu. Praktické použitie údajov TM6 je z dôvodov temporálnej rozlišovacej schopnosti nosiča a komplikovanej interpretácie na tieto účely obmedzené. Na určovanie obsahu vody v pôde sa za veľmi perspektívne považujú údaje získané snímačmi pracujúcimi v *spektrálnej oblasti mikrovln* (napr. radarové systémy).

**Prehľad metód získavania informácií o obsahu vody v pôde** poskytuje práca Schmugge et al. (1980). Charakterizuje prístupy meraní v teréne, použitia modelov, ako aj metódy DPZ. Metódy DPZ rozdeľuje podľa typu použitých údajov na metódy interpretácie odrazenej, termálnej a mikrovlnnej elektromagnetickej radiácie, pričom všetky vychádzajú z integrácie údajov DPZ s údajmi získanými synchronnými pozemnými meraniami. V našej práci sa koncentrujeme na využitie metód interpretácie údajov zaznamenaných v oblasti odrazenej EMR.

Práce súvisiace s identifikáciou obsahu vody v pôde bez vegetácie, najmä intenzity jej povrchového zamokrenia, sa uskutočnili aj u nás. Metódy analógovej interpretácie leteckých multispektrálnych snímok a kontrolovanej klasifikácie údajov snímacieho zariadenia Landsat MSS a TM boli použité pri identifikácii foriem povrchového zamokrenia pôd na Východoslovenskej a Podunajskej nížine (Feranec a Kolář 1988, Feranec et al. 1991). Na analýzu obsahu vody v pôdach južnej časti Žitného ostrova bola použitá metóda nekontrolovanej klasifikácie údajov Landsat TM (Feranec et al. 1993). Výsledkom práce bolo delimitovanie 15 tried pôdy bez vegetácie s rôznym obsahom vody v jej povrchovej vrstve.

Ďalším prístupom na získavanie najmä kvantitatívnych informácií z údajov Landsat TM sú metódy výpočtu spektrálnych indexov. Prehľadnú informáciu o možnostiach použitia tejto skupiny metód poskytuje Šúri (1993). Vo všeobecnosti **spektrálne indexy** predstavujú súbor algoritmov, zvyrazňujúcich v nasnímaných údajoch vlastnosti objektov krajiny, ktoré ovplyvňujú ich spektrálne charakteristiky. Ich význam je ďalej v syntéze informácií obsiahnutých v mnohorozmerných družicových údajoch, čo zlepšuje ich interpretovateľnosť. Vzhľadom na to, že prostredníctvom nich sa tradične získavajú informácie najmä o vlastnostiach vegetačného krytu (napr. o množstve biomasy, pokrytí pôdy vegetáciou), v literatúre sa často označujú pojmom vegetačné indexy. Jedným z prvých a doteraz najpoužívanejších indexov je Normalized Difference Vegetation Index (NDVI, Rouse et al. 1973):

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED},$$

kde RED je hodnota spektrálnej charakteristiky z červenej časti spektra a NIR je hodnota spektrálnej charakteristiky z blízkej infračervenej časti spektra.

Spektrálne indexy sa často používajú aj pri získavaní informácií o vlastnostiach pôdy. Za jeden z najvhodnejších spektrálnych indexov na určenie obsahu vody v pôde bez vegetácie Musick a Pelletier (1986, 1988) uvádzajú index *wetness*, ktorý je súčasťou spektrálnej transformácie označovanej ako Tasseled Cap (Kauth a Thomas 1976, Crist a Cicone 1984a, 1984b, Crist a Kauth 1986). Pri odvodzovaní koeficientov tejto transformácie pre údaje TM Crist a Cicone (1984a, 1984b) vychádzali z poznania štruktúry údajov TM a pochopenia ich vzťahu s vlastnosťami objektov krajiny. Tasseled Cap predstavuje lineárnu kombináciu údajov zo šiestich spektrálnych kanálov TM (bez TM6) tak, že veľká časť ich variability je koncentrovaná do troch príznakov — spektrálnych indexov *brightness*, *greenness* a *wetness*, ktoré priamo súvisia s niektorými charakteristikami objektov krajiny. Transformácia je invariantná, indexy sú konzistentné medzi scénami a po eliminácii vplyvu atmosféry a vplyvov rozdielnych podmienok snímania môžu byť z nich získané informácie o vlastnostiach objektov krajiny.

**Brightness** (svetlosť) predstavuje váženú sumu šiestich spektrálnych kanálov. Je mierou vlastností, ktoré majú vplyv najmä na celkovú odrazivosť pôdy (napr. aktuálny stav povrchu pôdy, farba, obsah humusu).

**Greenness** (zelenosť) charakterizuje kontrast medzi spektrálnymi charakteristikami blízkej infračervenej časti spektra (reflexné maximum zelenej vegetácie) a viditeľnej časti spektra (absorpcia EMR vegetáciou). Index koreluje s množstvom zelenej vegetácie (napr. s pokrývnosťou listovej plochy, množstvom biomasy).

**Wetness** (vlhkosť — obsah vody) je kontrastom medzi váženou sumou hodnôt viditeľnej a blízkej infračervenej časti spektra a hodnotami strednej infračervenej časti spektra. Index výrazne koreluje s obsahom vody v pôde a vo vegetácii.

Priklad odvodenia koeficientov uvedených spektrálnych indexov pre podmienky poľnohospodárskej krajiny je dokumentovaný v práci Crist a Cicone (1984b):

$$\text{Brightness} = 0.3037\text{TM}_1 + 0.2793\text{TM}_2 + 0.4743\text{TM}_3 + 0.5585\text{TM}_4 + 0.5082\text{TM}_5 + 0.1863\text{TM}_7$$

$$\text{Greenness} = -0.2848\text{TM}_1 - 0.2435\text{TM}_2 - 0.5436\text{TM}_3 + 0.7243\text{TM}_4 + 0.0840\text{TM}_5 - 0.1800\text{TM}_7$$

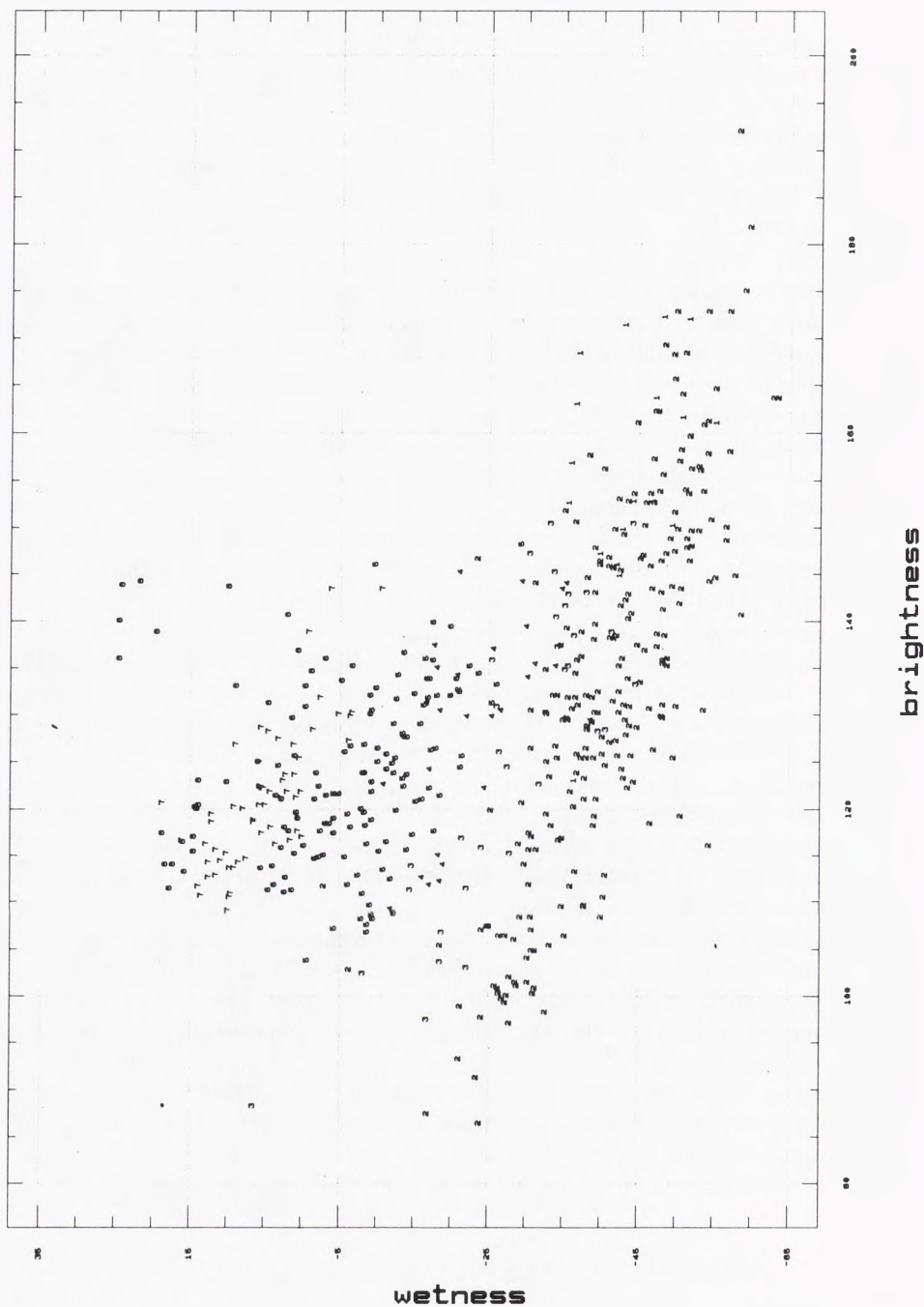
$$\text{Wetness} = 0.1509\text{TM}_1 + 0.1973\text{TM}_2 + 0.3279\text{TM}_3 + 0.3406\text{TM}_4 - 0.7112\text{TM}_5 - 0.4572\text{TM}_7$$

Osi indexov transformácie Tasseled Cap sú ortogonálne a definujú 3 roviny (Crist a Cicone 1984a, 1984b). *Brightness* spolu s indexom *greenness* definuje *rovinu vegetácie* (plane of vegetation) a používa sa na analýzu vegetačného krytu. Pre analýzu obsahu vody v pôde je výhodné použiť indexy *brightness* a *wetness* (obr. 2), ktoré definujú spektrálnu *rovinu pôdy* (plane of soils). Osi indexov *wetness* a *greenness* definujú tzv. *prechodnú zónu* (transition zone), ktorá sa využíva pri analýze prechodných foriem krajinného krytu (medzi vegetáciou a pôdou, až antropogénnymi objektmi — obr. 3).

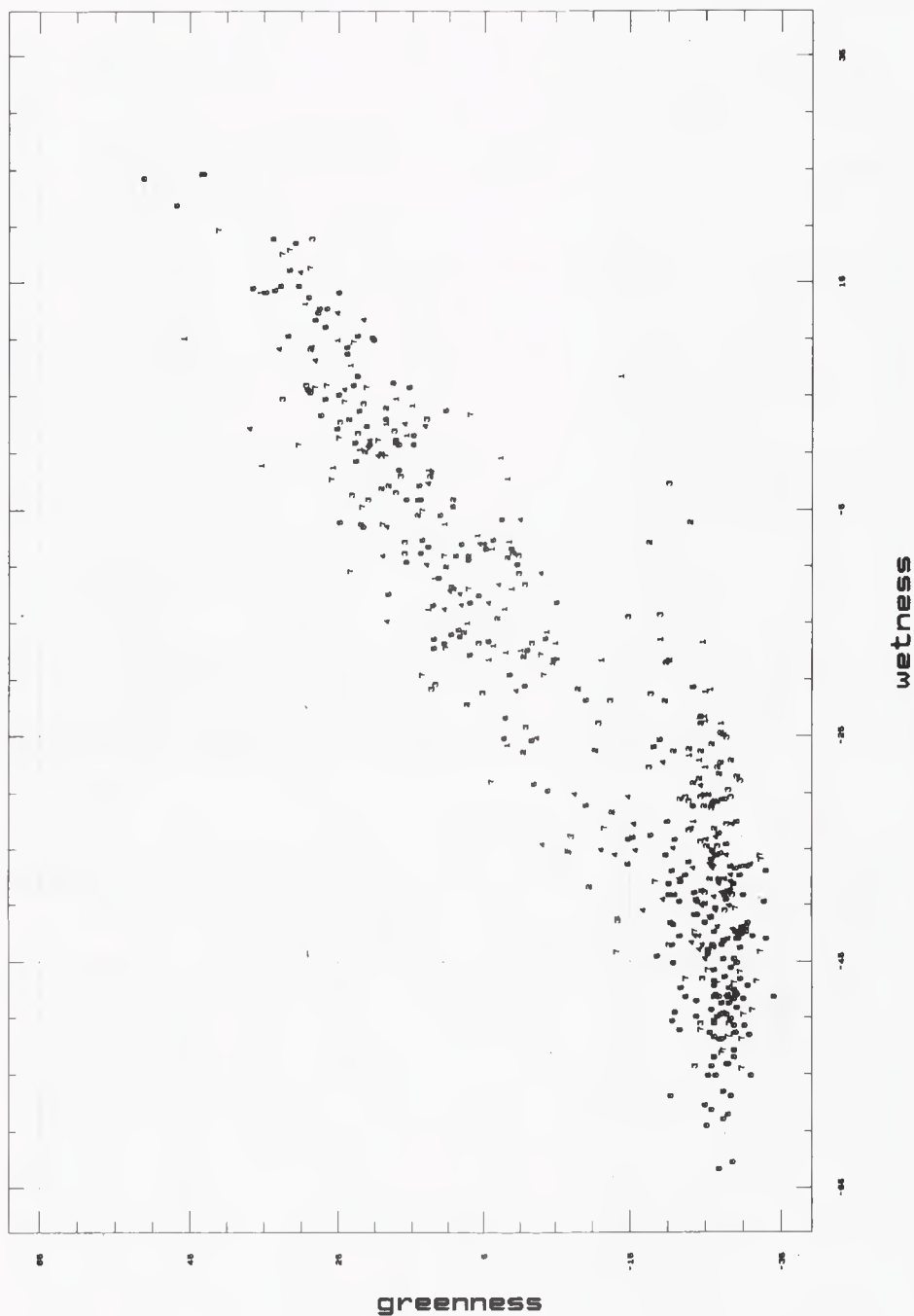
Hodnoty spektrálnych indexov, asociované s terénnymi meraniami, uskutočnenými synchrónne so snímaním, reprezentujú vstupné údaje do modelov, ktoré napr. umožňujú extrapolovať sledovanú vlastnosť objektu krajiny do priestoru.

### 3 ŠTUDOVANÉ ÚZEMIE, POUŽITÉ ÚDAJE A METÓDY

**Študované územie** sa nachádza v južnej časti Žitného ostrova v okolí sídiel Lipové, Zemianska Olča a Okoličná na Ostrove. Má rozlohu 12 x 12 km a leží na styku rovinatej akumuláčnej krajiny (staré agradačné valy — južná časť územia) s krajinou mokraďových



Obr. 2. Spektrálna rovina pôdy definovaná indexmi brightness a wetness. Vzorka 576 bodov náhodne vybraných zo študovaného územia. Čísla v grafe reprezentujú hodnoty indexu greenness škálované v zmysle legendy obr. 7.



Obr. 3. Spektrálna rovina prechodnej zóny definovaná indexmi wetness a greenness. Vzorka 576 bodov náhodne vybraných zo študovaného územia. Čísla v grafe reprezentujú hodnoty indexu brightness škálované v zmysle legendy obr. 6.

depresii (severná časť územia). Jeho povrch sa vyznačuje nevýraznými deniveláciami, ktoré reprezentujú najmä zvyšky starých mŕtvych ramien a meandrov (Lukniš a Mazúr 1959, Mazúr et al. 1977).

Na výpočet spektrálnych indexov boli použité **údaje družice Landsat 5 TM** (188/27), z preletu dňa 12.4.1988. **Synchrónne terénne mapovanie a meranie** sa uskutočnilo na piatich experimentálnych plochách (EP1 — 5) v uvedenej oblasti (obr. 7), výsledky sú dokumentované v práci Feranec et al. (1993). Jeho súčasťou bol i odber vzoriek pre gravimetrické stanovenie hmotnostného % obsahu vody v povrchovej vrstve pôdy. Práce zabezpečil a namerané údaje poskytol Ústav hydrológie SAV (tab. 2). Zároveň bolo uskutočnené mapovanie foriem súčasného využitia krajiny v mierke 1:10 000 na 5 plochách veľkosti 1x1 km s dôrazom na identifikáciu plôch ornej pôdy bez vegetácie a extrémne zamokrených pôd s vodou vystupujúcou na povrch.

Tab. 2. Charakteristiky pôdy merané a mapované na experimentálnych plochách. LPk - lužná pôda karbonátová, HP - hlinitiesočnatá, PH - piesočnatohľinitá, H - hľinitá, JH - ilovitohľinitá

Experimentálne plochy	Pôda			
	typ	druh	farba	obsah vody*
EP1	LPk	PH-HP(H)	svetlohnedá	2,5 %
EP2	LPk	JH	svetlohnedá	6,8 %
EP3	LPk	H-PH	svetlohnedá	9,2 %
EP4	LPk	JH	tmavohnedá	14,5 %
EP5	LPk	H	hnedá	29,7 %

\* hmot. % obsahu vody.

Na spracovanie, integráciu a analýzu údajov bol použitý systém na digitálnu interpretáciu údajov DPZ DIAD 32 a geografický informačný systém (GIS) SPANS. Štatistická analýza sa uskutočnila použitím software Statgraphics a Quattro Pro.

Vybraný segment z obrazového záznamu družice Landsat TM bol geometricky transformovaný do Gauss — Krügerovho mapového zobrazenia, údaje importované do prostredia GIS-u SPANS, pričom sa následne transformovali z rastrovej dátovej štruktúry do dátovej štruktúry quadtree. Spektrálne indexy transformácie Tasseled Cap boli vypočítané vlastným programovým modulom vytvoreným v prostredí GIS-u (obr. 4,5,6). Vzorka 576 bodov s hodnotami spektrálnych indexov bola vybraná metódou smplovania a ďalej použitá pri tvorbe rozptylogramov (obr. 2,3). Analýzou histogramu, frekvenčnej tabuľky spektrálneho indexu greenness a rozptylogramu (obr. 3) sa vytvorila maska na odseparovanie plôch s vegetáciou z družicových údajov. Za územie bez vegetácie boli považované areály, kde hodnota indexu greenness bola menšia ako —5 (obr. 5). Zdigitalizované stredy plôch (EP1 — 5) s uskutočneným terénnym meraním, spolu s informačnou vrstvou dopravných línii a sídiel boli importované do prostredia SPANS-u, transformované do dátovej štruktúry quadtree a polohovo zjednotené s družicovými údajmi (obr. 7). Na odfiltrovanie plôch intravilánu boli použité jeho hranice, digitalizované na topografických mapách v mierke 1 : 50 000. Z územia piatich experimentálnych plôch (EP1 — 5) definovaných





Obr. 4. Index brightness: 1. <100.0, 2. 100.0 - 109.9, 3. 110.0 - 119.9, 4. 120.0 - 129.9, 5. 130.0 - 139.9, 6. 140.0 - 149.9, 7. 150.0 - 160.0, 8. >160.0.

krugom polomeru 40 m boli metódou samplovania vybrané spektrálne charakteristiky kanálov TM1 — 7 a hodnoty spektrálnych indexov brightness, greenness a wetness. Ich priemerné hodnoty sú dokumentované v tab. 3.

Tab. 3. Priemerné hodnoty spektrálnych kanálov a spektrálnych indexov na experimentálnych plochách

	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM7	TM6	Brightness	Greenness	Wetness
EP1	92,9	39,7	45,8	53,1	101,3	60,4	123,7	153,2	—24,1	—43,3
EP2	92,1	39,2	47,0	53,0	115,9	68,5	123,4	161,7	—22,8	—57,3
EP3	89,7	36,9	41,5	44,3	100,1	61,4	124,5	144,3	—27,6	—49,8
EP4	84,2	33,8	36,9	39,5	84,9	52,6	127,0	127,6	—26,0	—39,5
EP5	87,5	37,1	41,0	45,9	80,2	44,8	120,0	130,8	—22,5	—25,9



Obr. 5. Index greenness: 1.  $<-30.0$ , 2.  $-30.0 - -20.1$ , 3.  $-20.0 - -10.1$ , 4.  $-10.0 - -0.1$ , 5.  $0.0 - 9.9$ , 6.  $10.0 - 19.9$ , 7.  $20.0 - 29.9$ , 8.  $>29.9$ .

#### 4 VÝSLEDKY

Na základe vypočítaných hodnôt indexov (tab. 3) možno v zhode s prácou Musick a Pelletier (1988) potvrdiť základné trendy, ktoré sú charakteristické pre pôdu bez vegetácie s rôznym obsahom vody v povrchovej vrstve. Päť experimentálnych plôch reprezentuje iba jeden pôdny typ — lužnú pôdu karbonátovú (LPk), na študovanom území s niekoľkými pôdnymi druhmi (tab. 2). Z hľadiska jej fyziognomických charakteristík (obr. 8) je treba zdôrazniť striedanie svetlejších piesčitých, relatívne suchších a menej humózných areálov (a) s tmavšími, humóznejšími, hlinitými až ílovitohlinitými, relatívne vlhšími areálmi pôd (b), ktoré sa viažu najmä na nevýrazné depresné polohy (napr. zvyšky starých mŕtvych ramien, Hraško et al. 1990).

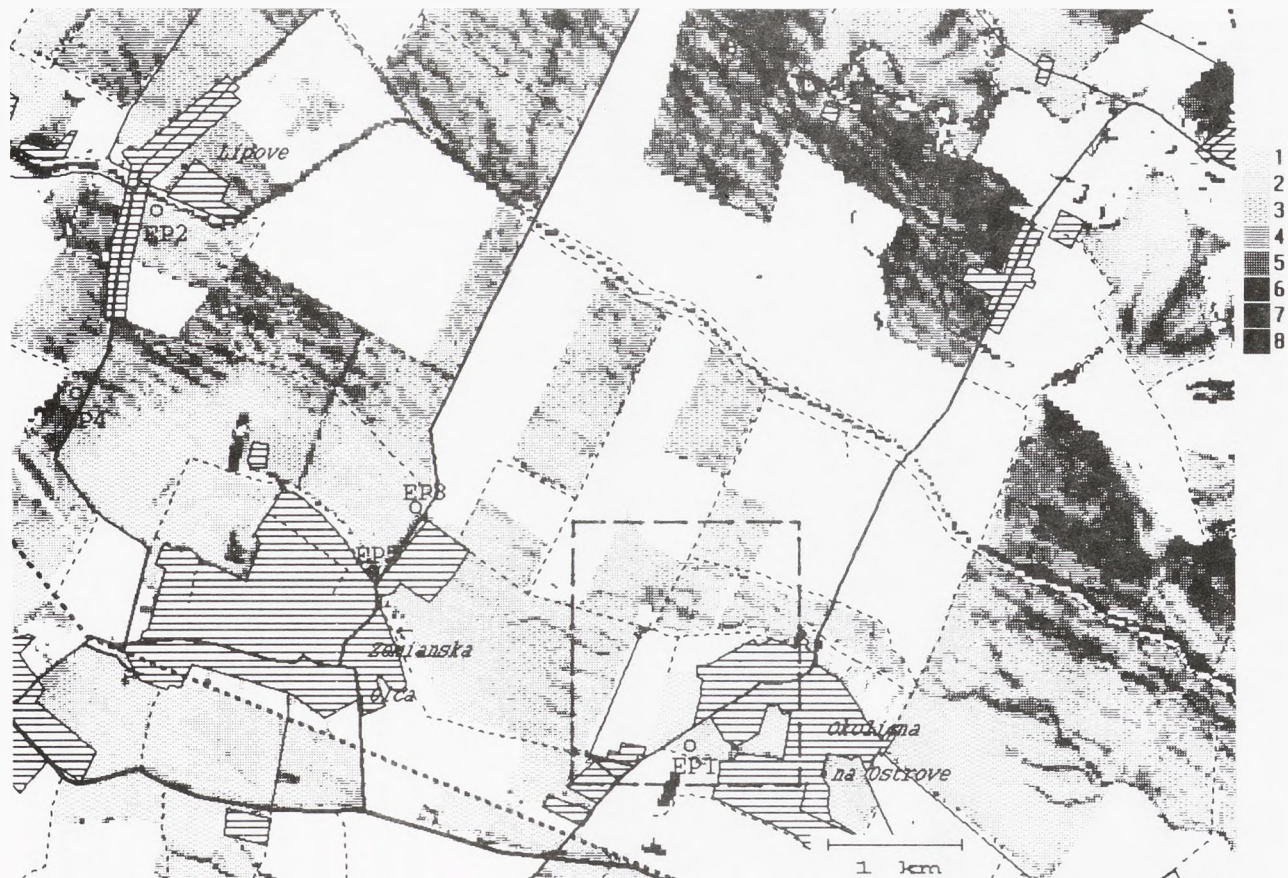


Obr. 6. Index wetness: 1.  $<-50.0$ , 2.  $-50.0 - -45.1$ , 3.  $-45.0 - -40.1$ , 4.  $-40.0 - -35.1$ , 5.  $-35.0 - -30.1$ , 6.  $-30.0 - -25.1$ , 7.  $-25.0 - -20.1$ , 8.  $>-20.1$ .

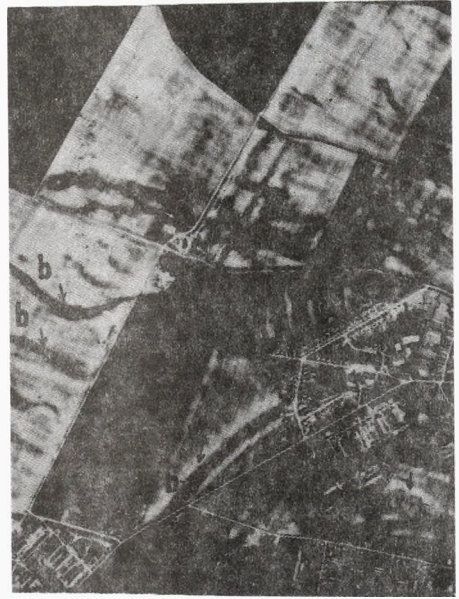
Odrzivost povrchovej vrstvy pôdy so zvyšujúcim sa obsahom vody klesá v celom rozsahu viditeľnej a infračervenej časti spektra, čo dokumentuje i obr. 9.

Hodnoty indexu brightness (obr. 10a) klesajú úmerne so zvyšujúcim sa obsahom vody. Hoci na tento trend má výrazný vplyv obsah vody v pôde, hodnoty indexu sú ovplyvňované aj ďalšími vlastnosťami povrchovej vrstvy pôdy, ako napr. jej aktuálnym stavom z hľadiska obrábania, obsahom humusu a farbou. Všetky tri charakteristiky v danom krajinnom type súhlasne korelujú. So zvyšovaním obsahu humusu a so zmenou intenzity farby pôdy smerom k tmavým tónom reflexná schopnosť pôdy klesá, čo podmieňuje znižovanie hodnôt indexu brightness.

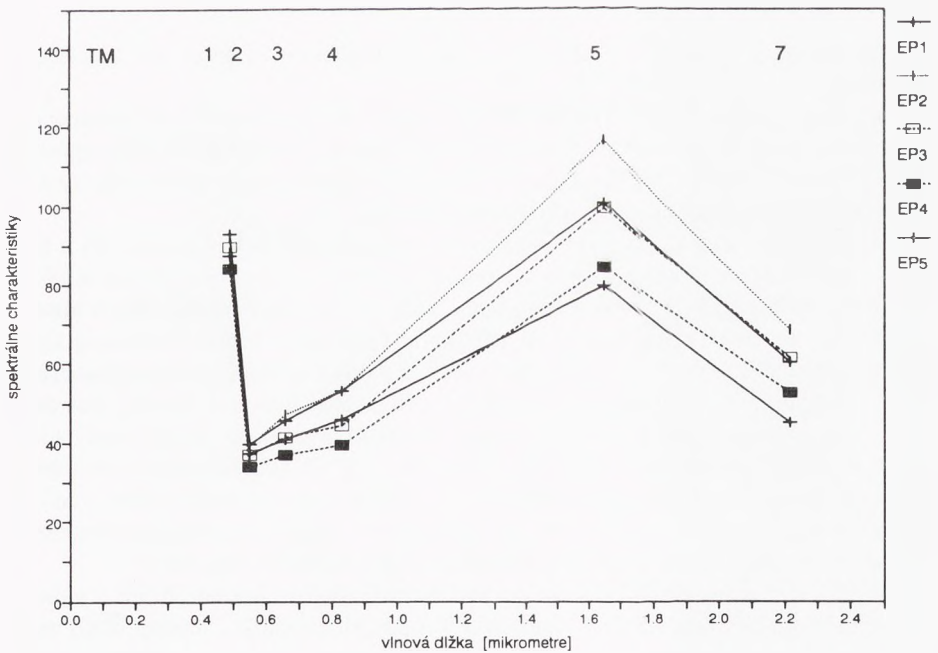
Hodnoty indexu wetness (obr. 10b) rastú so zvyšujúcim sa obsahom vody v jej povrchovej vrstve. Najvyššie hodnoty ( $>0$ ) zodpovedajú plochám povrchových vôd (kanály a vodné plochy), hodnoty wetness  $0 - -45$  nadobúdajú vlhké, humózne, hlinité až ílovito-hlinité pôdy (experimentálne plochy EP4 a EP5), ktoré sa vyskytujú najmä v mikrodep-



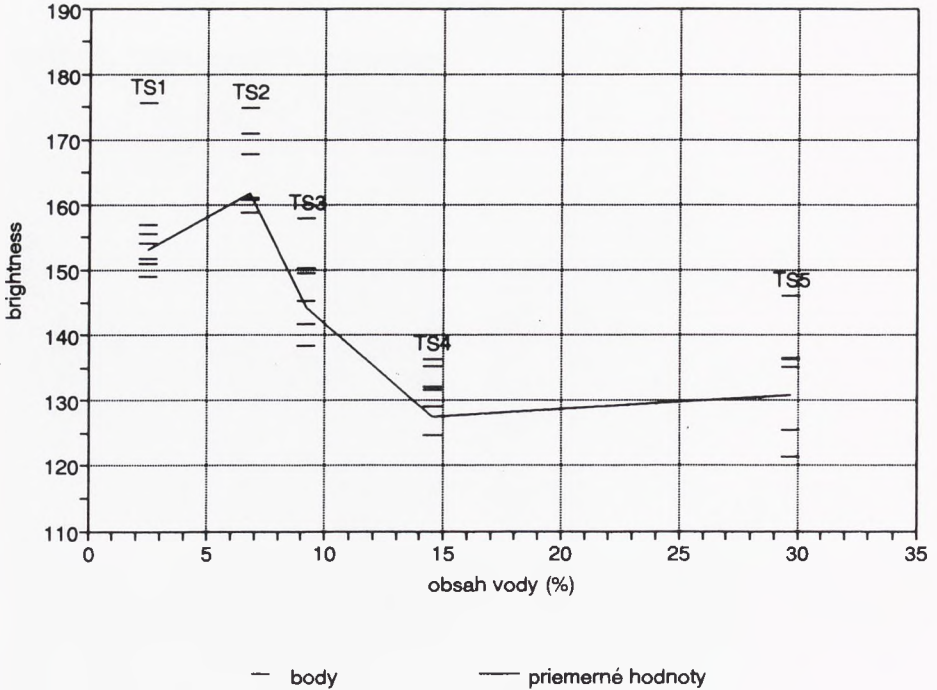
Obr. 7. Index wetness: 1. <-50.0, 2. -50.0 - -45.1, 3. -45.0 - -40.1, 4. -40.0 - -35.1, 5. -35.0 - -30.1, 6. -30.0 - -25.1, 7. -25.0 - -20.1, 8. >-20.1.  
 Výrez zo študovaného územia (9.2 x 6.5 km), s vyznačenými bodmi merania obsahu vody v povrchovej vrstve pôdy (EP1 - 5), — hranice územia zobrazeného na leteckej snímke (obr. 10).



Obr. 8. Letecká snímka okolia Okoličnej na Ostrove, urobená vo vlnovom rozsahu  $0,64 - 0,68 \mu\text{m}$ . a) svetlejšia, relatívne suchšia a menej humózná pôda, b) tmavšia, relatívne vlhšia, humóznejšia pôda.



Obr. 9. Spektrálne charakteristiky pôdy experimentálnych plôch EP1 — 5.



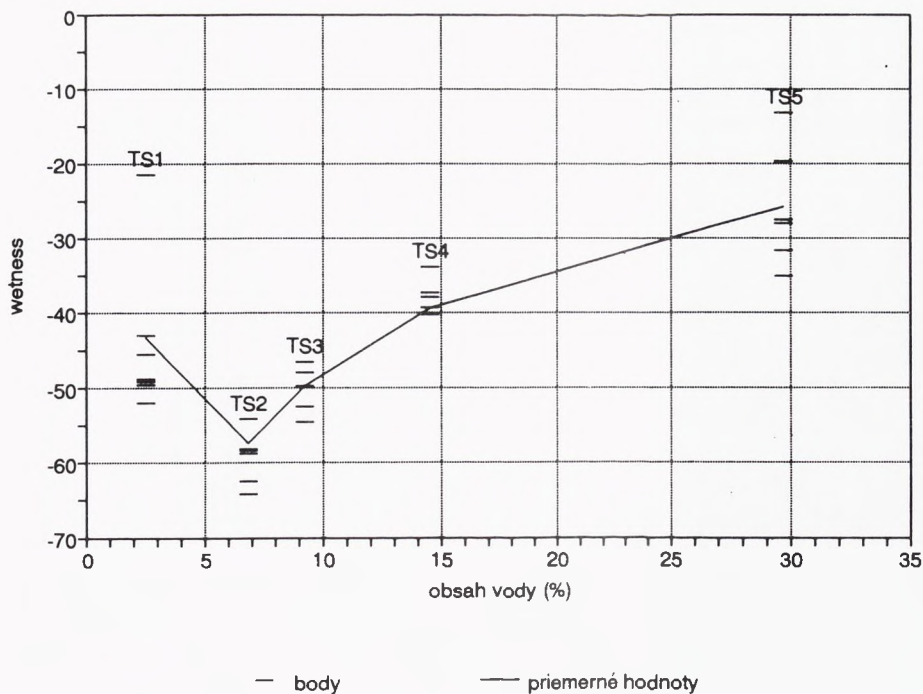
Obr. 10a. Závislosť indexu brightness od obsahu vody v pôde.

resiách. Hodnoty nižšie ako -45 sa viažu na pôdy s obsahom vody, ktorý je blízky hodnotám nameraným na plochách EP1 — EP3.

V zhode s prácou Crist a Cicone (1984b), v spektrálnej rovine pôdy definovanej osami indexov wetness a brightness je identifikovaný hlavný smer variability pôdy spôsobenej rozdielmi v obsahu vody (obr. 11). So zvyšovaním obsahu vody v pôde hodnoty indexu wetness rastú a hodnoty indexu brightness klesajú.

Tento všeobecne platný trend je porušený na experimentálnych plochách EP1 a EP2, kde vzhľadom na nameraný obsah vody v pôde (2,5 a 6,8 %) sa hodnoty uvedených indexov správajú inverzne. Nízke hodnoty obsahu vody, ako aj malý rozdiel medzi nimi by nemali mať výraznejší vplyv na spektrálnu odrazivosť pôdy zaznamenanú snímacím zariadením Landsat TM. Do úvahy je preto potrebné vziať i ďalšie faktory ovplyvňujúce spektrálne charakteristiky pôdy bez vegetácie (napr. farbu, obsah humusu, aktuálny stav povrchu pôdy), o ktorých sme z terénnych meraní nezískali dostatočné, najmä kvantitatívne údaje. V našom prípade má EP2 vyšší obsah vody (6,8 %), ale je svetlejšia ako plocha EP1 s obsahom vody 2,5%, čo pravdepodobne modifikovalo všeobecne platný trend závislosti indexov wetness a brightness (obr. 10a,b, tab. 3). Samplované hodnoty poukazujú na priestorovú heterogenitu niektorých experimentálnych plôch (napr. EP5).

Malý počet terénnych meraní, ako aj vyhodnotenie údajov Landsat TM iba z jedného časového horizontu, nedovoľujú kvantitatívne vyhodnotiť závislosť a tesnosť väzby vplyvu vody prítomnej v povrchovej vrstve pôdy na hodnoty indexov brightness a wetness. V procese hodnotenia uvedených indexov je potrebné brať do úvahy aj ďalšie charakteris-



Obr. 10b. Závislosť indexu wetness od obsahu vody v pôde.

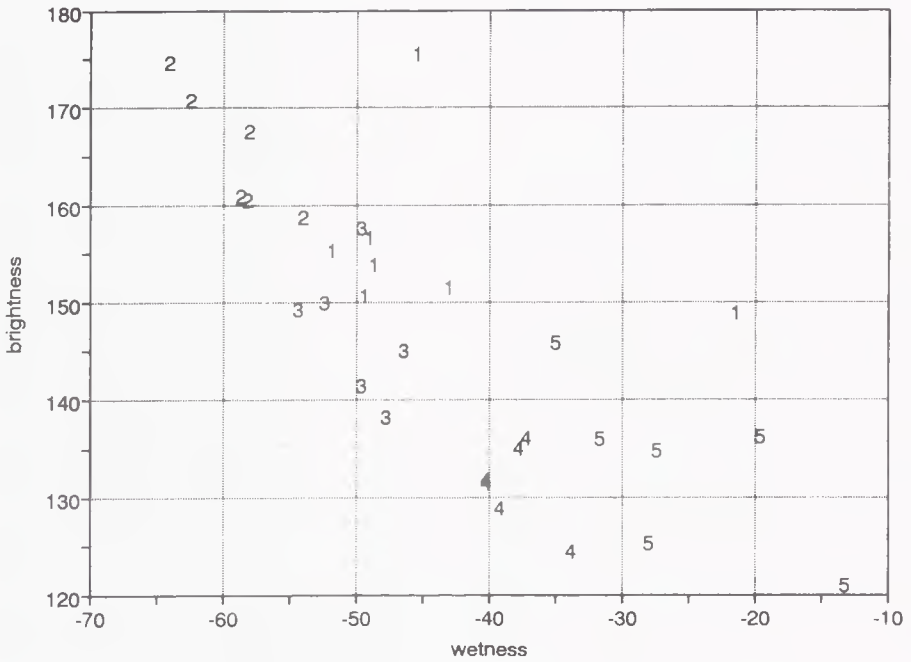
tiky pôdy (napr. farbu, obsah humusu, mineralogické zloženie, aktuálny stav povrchu pôdy spôsobený obrábaním), ako aj podmienky snímkovania (polohu Slnka a snímacieho systému, vplyv reliéfu), ktoré vplývajú na jej spektrálne charakteristiky.

## 5 DISKUSIA

V práci dosiahnuté výsledky potvrdili, že obsah vody v povrchovej vrstve pôdy vplýva na jej spektrálne charakteristiky, najmä v infračervenej časti. Vhodným metodickým nástrojom na kvantitatívne vyjadrenie tohto vzťahu sú spektrálne indexy wetness a brightness (obr. 2). Výsledky ďalej poukazujú na to, že okrem obsahu vody vplýva na jej spektrálne charakteristiky najmä farba pôdy, obsah humusu a aktuálny stav povrchu pôdy. V ďalších prácach bude preto potrebné analyzovať podiel vplyvu uvedených vlastností na spektrálne charakteristiky pôdy s rôznym obsahom vody v jej povrchovej vrstve.

## 6 ZÁVER

Dosiahnuté výsledky potvrdili všeobecne platné trendy — so zvyšujúcim sa obsahom vody v pôde hodnoty indexu brightness klesajú a hodnoty indexu wetness rastú. Vzťah



Obr. 11. Poloha náhodne vybraných bodov z experimentálnych plôch EP1 - 5 v spektrálnom priestore definovanom indexmi wetness a brightness (rovina pôdy).

“pôda — voda”, sledovaný prostredníctvom spektrálnych charakteristík, názorne dokumentuje kombinácia uvedených indexov, graficky vyjadrená tzv. spektrálnou rovinou pôdy (obr. 2). Porušenie trendu vzťahujúceho sa na uvedené indexy na plochách EP1 a EP2 odôvodňujeme vplyvom ďalších vlastností pôdy na jej spektrálnu odrazivosť (najmä farby, obsahu humusu a aktuálneho stavu povrchu pôdy), ako aj malým rozdielom v nameranej hodnote obsahu vody v povrchovej vrstve pôdy (4,3 %). Obmedzený počet bodových meraní neumožnil vyhodnotiť študovanú závislosť kvantitatívne.

Vzhľadom na aktuálnosť problému je potrebné uskutočniť ďalšie experimenty. Na základe doterajších skúseností v danej oblasti, formulujeme odporúčania smerujúce k operacionalizácii získania informácií o obsahu vody v pôde aplikáciou družicových údajov DPZ:

- vybrať reprezentatívny počet experimentálnych plôch, ktoré musia byť presne polohovo lokalizované v mape; výber by sa mal uskutočniť na základe analýzy existujúcich máp, výsledkov terénneho prieskumu a analýzy družicových a leteckých snímok,
- na každej experimentálnej ploche merať obsah vody v celom pôdnom profile, povrchovú teplotu, farbu, obsah humusu, určiť aktuálny stav povrchu pôdy (z hľadiska spôsobu obrábania), pôdny typ a pôdny druh, ďalej výšku hladiny podzemnej vody a charakteristiky počasia (teplotu prízemnej vrstvy vzduchu, intenzitu a smer vetra, vlhkosť vzduchu atď.),



- na postihnutie zmien obsahu vody v pôde analyzovať niekoľko časových horizontov družicových údajov a terénnych meraní,
- na elimináciu vlastností, ktoré rušivo vplyvajú na spektrálne charakteristiky objektov krajiny (napr. vplyv farby pôdy, obsahu humusu, aktuálneho stavu povrchu pôdy), odpodúčame uskutočniť delimitáciu sledovaného územia na akceptovateľne homogénne krajinné jednotky z hľadiska uvedených vlastností.

Príspevok je jedným z výstupov dosiahnutých riešením projektu 2/999310/93 "Analýza informačného potenciálu aerokozmických snímok" na Geografickom ústave SAV v Bratislave v roku 1993.

## LITERATÚRA

- ASRAR, G. (1989). *Theory and applications of optical remote sensing*. New York (Wiley and Sons).
- AXELSSON, S., LUNDÉN, B. (1986). Experimental results in soil moisture mapping using IR thermography. *ITC Journal*, 1, 43-50.
- CRIST, E.P., CICONE, R.C. (1984a). Application of the Tasseled Cap concept to simulated Thematic Mapper data. *Photogrammetric engineering and remote sensing*, 50, 343-352.
- CRIST, E.P., CICONE, R.C. (1984b). A physically-based transformation of Thematic Mapper data - The TM Tasseled Cap. *IEEE transactions on geoscience and remote sensing*, GE-22, 3, 256-263.
- CRIST, E.P., KAUTH, R.J. (1986). The Tasseled Cap de-mystified. *Photogrammetric Engineering and Remote sensing*, 52, 81-86.
- DAVIS, S.M., SWAIN, P.H. (1978). *Remote sensing: The quantitative approach*. New York (McGraw-Hill, Inc.).
- FERANEC, J., KOLÁŘ, J. (1988). Physiognomic aspects of the surface water-logging intensity of the soils in the East-Slovakian Lowland identified by aerospace photographs and images. *Geografický časopis*, 40, 49-61.
- FERANEC, J., KOLÁŘ, J., KRCHO, J. (1991). Mapping of the surface water logging intensity of the soils by applying Landsat TM data and complex digital terrain model. *Bulletin du Comité Français de Cartographie*, No 127-128, 154-158.
- FERANEC, J., KOLÁŘ, J., OŤAHEL, J., SMOLEN, F., ŠŮRI, M., ŠŮTOR, J. (1993). Analysis of the spectral signatures of ploughed soil without vegetation by Landsat 5 TM data (an example of the southern part of the Danubian Lowland). In Winkler, P., ed. *Remote sensing for monitoring the changing environment of Europe*. Rotterdam (A.A.Balkema), pp. 229-234.
- HAEFNER, H. (1989). Remote sensing - thematic, methodological and technical perspectives. *Applied geography and development*, 34, pp.68-89.
- HRAŠKO, J., KOLÉNY, M., ŠUBERT, A. (1990). Využívání diaľkového prieskumu v pedológii. *Geodetický a kartografický obzor*, 36/78, 12-14.
- HUETE, A.R., WARRICK, A.W. (1990). Assessment of vegetation and soil water regimes in partial canopies with optical remotely sensed data. *Remote sensing of environment*, 32, 155-168.
- KAUTH, R.J., THOMAS, G. (1976). The Tasseled Cap - a graphic description of the spectral-temporal development of agricultural crops as seen by Landsat. *Proceedings of the symposium on machine processing of remotely sensed data*. West Lafayette (Purdue University), pp. 4B41-4B51.
- LUKNIŠ, M., MAZÚR, E. (1959). Geomorfologické regióny Žitného ostrova. *Geografický časopis*, 11, 161-206.
- MAZÚR, E., KRIPPEL, E., PORUBSKÝ, A., TARÁBEK, K. (1977). *Geoekologické - prírodné - krajinné typy*. Mapa v mierke 1: 500 000. Geografický ústav SAV, Bratislava.
- MULDERS, M.A. (1987). *Remote sensing in soil science*. Amsterdam (Elsevier).
- MUSICK, M.B., PELLETIER, R.E. (1986). Response of some TM band ratios to variation in soil water content. *Photogrammetric engineering and remote sensing*, 52, 1661-1668.
- MUSICK, H.B., PELLETIER, R.E. (1988). Response to soil moisture of spectral indexes derived from bidirectional reflectance in Thematic Mapper wavebands. *Remote sensing of environment*, 25, 167-184.

- ROUSE, J.W., HAAS, R.H., SCHELL, J.A., DEERING, D.W. (1973). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. *3rd ERTS Symposium*, NASA SP-351 I, pp. 309-317.
- SCHMUGGE, T.J., JACKSON, T.J., McKIM, H.L. (1980). Survey of methods for soil moisture determination. *Water resources research*, 16, 961-979.
- ŠŮRI, M. (1993). Využitie digitálnych metód spracovania družicových dát pre analýzu vybraných vlastností objektov krajiny. *Geografický časopis*, 45, 279-292.
- ŠŮTOR, J. (1986a). Priestorová variabilita hydrofyzikálnych charakteristík pôd - retenčné vlastnosti pôd. *Vodohospodársky časopis*, 34, 95-125.
- ŠŮTOR, J. (1986b). Priestorová variabilita hydrofyzikálnych charakteristík pôd - hydraulické vlastnosti pôd. *Vodohospodársky časopis*, 34, 284-313.

Marcel Š ů r i, Ján F e r a n e c, Tomáš C e b e c a u e r

## DETERMINATION OF SOIL WATER CONTENT USING SPECTRAL INDICES COMPUTED FROM LANDSAT TM DATA.

Various approaches can be applied for determination of information on soil water content - those of field measurements, modelling, and remote sensing. Quantitative information can be obtained from satellite data using the methodical approach of computing spectral transformations. The aim of the paper is to point out to the possible application of Tasseled Cap spectral transformation (spectral indices brightness, greenness and wetness) computed from Landsat TM data set for determination of water content in bare soil surface. The study area is located in the southern part of Danubian Lowland in Slovakia.

For satellite data processing, their integration with field measurements and analysis we have used digital image processing system DIAD 32, geographical information system SPANS and Quattro Pro software. The results confirmed existence of general trends - with increasing water content, brightness values are decreasing, and wetness values increasing (see figs 10a, 10b). The relation soil - water can be documented using the graphical presentation of both indices in the "plane of soils" (figs. 2, 11). The deviation from the general trend on experimental sites EP1 - EP2 can be explained with the significant influence of other soil properties on its reflectance (namely soil surface colour, organic matter content and soil roughness), as well as small difference in the measured soil water content (4.3%). The limited number of field measurements did not allow us to apply quantitative analysis of significance of the relation between soil spectral properties and water content. The results indicate the necessity to consider also extent of the influence of soil colour, organic matter content, surface roughness and vegetation remnants on soil spectral reflectance.

Tab. 1. Landsat Thematic Mapper spectral bands.

Tab. 2. Soil characteristics measured and mapped on experimental sites. LPk - carbonate chernitza (Fluviocalcaric Phaeozem, FAO 1970), HP - loamy-sandy, PH - sandy-loamy, H - loamy, JH - clayey-loamy. \* weight % water content.

Tab. 3. Average values of spectral characteristics and spectral indices computed for each experimental site.

Fig. 1. Spectral characteristics of soils with different water content (source: Davis and Swain 1978, p. 244).

Fig. 2. Spectral plane of soils defined by indices brightness and wetness. 576 points randomly sampled in the study area. Numbers represent values of index greenness scaled in the sense of legend in Fig. 7.

Fig. 3. Transition spectral zone defined by indices wetness and greenness. 576 points randomly sampled in study area. Numbers represent values of index brightness scaled in the sense of legend in Fig. 7.

Fig. 4. Index brightness: 1. <100.0, 2. 100.0 - 109.9, 3. 110.0 - 119.9, 4. 120.0 - 129.9, 5. 130.0 - 139.9, 6. 140.0 - 149.9, 7. 150.0 - 160.0, 8. >160.0.

Fig. 5. Index greenness: 1. <-30.0, 2. -30.0 - -20.1, 3. -20.0 - -10.1, 4. -10.0 - -0.1, 5. 0.0 - 9.9, 6. 10.0 - 19.9, 7. 20.0 - 29.9, 8. >29.9.

Fig. 6. Index wetness: 1. <-50.0, 2. -50.0 - -45.1, 3. -45.0 - -40.1, 4. -40.0 - -35.1, 5. -35.0 - -30.1, 6. -30.0 - -25.1, 7. -25.0 - -20.1, 8. >-20.1.

Fig. 7. Index wetness: 1. <-50.0, 2. -50.0 - -45.1, 3. -45.0 - -40.1, 4. -40.0 - -35.1, 5. -35.0 - -30.1, 6. -30.0 - -25.1, 7. -25.0 - -20.1, 8. >-20.1 Cut from the study area (9.2 x 6.5 km), with marked measurement points (EP1 - 5), — boundaries of the area presented on the airphoto (Fig. 8).

Fig. 8. Airphoto of the Okoličná na Ostrove surroundings (spectral band 0.64 - 0.68 $\mu$ m). a) brighter, relatively dry soil with lower organic matter content, b) darker, relatively moist soil with higher organic matter content.

Fig. 9. Soil spectral characteristics on experimental sites EP1 - 5.

Fig. 10a. Relationship between index brightness and soil water content.

Fig. 10b. Relationship between index wetness and soil water content.

Fig. 11. Position of selected measurement points from experimental sites EP1 - 5 in the wetness - brightness spectral space (plane of soils).

Translated by M. Š ů r i