



Využitie metód diaľkového prieskumu Zeme v geológii

Erika Orlitová a Bartolomej Baláz¹

Usage of Remote Sensing methods in Geology

Many of technologies, which are nowadays useful for the mankind, were developed for the military purpose. One of these technologies is Remote Sensing, which has been aimed to obtain information from the hostile territory. Investments to the development of Remote Sensing technologies are now coming back because these systems output data are increasingly used for the monitoring and data analysis in various fields of our life.

Key words: Remote Sensing, Geological Mapping, Aerial Photography, Satellite Images.

História

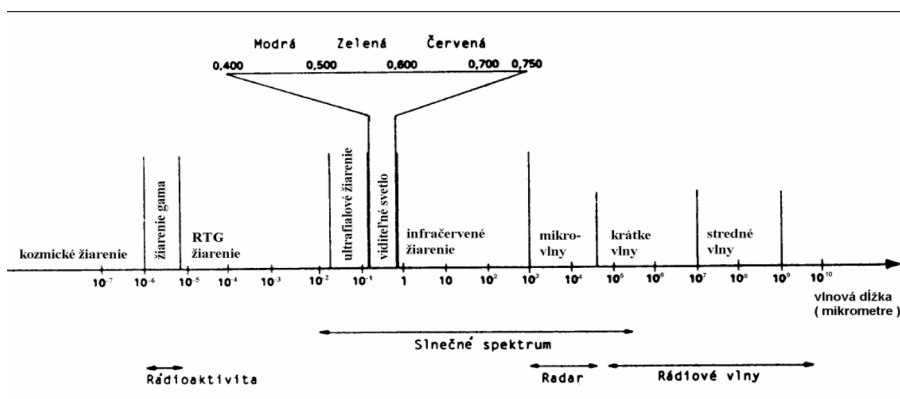
Prvou lastovičkou diaľkového prieskumu zeme (ďalej DPZ) bez praktického významu bola snímka Paríža z „vtáčej perspektívy“, ktorú v r. 1858 z upútaného balónu uskutočnil francúzsky priekopník fotografie Gaspard Félix Tournachon (zvaný Nadar). V období prvej svetovej vojny došlo k rozšíreniu leteckej fotografie z balónov a lietadiel, ako dôležitej metódy prieskumu bojiska. V medzivojnovom období sa začala letecká fotografia využívať už aj v civilnom sektore, v kartografii. Metódy čiernobielej leteckej fotografie boli privedené k dokonalosti v období druhej svetovej vojny. Koncom nej sa fotografia dostáva aj do kozmu – z nemeckej rakety V-2 boli exponované snímky z výšky okolo 170 km. Masívny rozvoj kozmickej fotografie nastal však v šesťdesiatych rokoch, keď sa vypúšťanie špeciálnych družíc a pilotované kozmické lety stali bežnejšími. V súčasnosti sa okrem vojenských a špeciálnych družíc vypúšťajú už aj družice, určené na komerčné využitie.

Dnes teda DPZ zabezpečuje mohutný zdroj informácií, ktoré sú intenzívne využívané v rozličných odvetviach hospodárskej praxe (geológia, ekológia, poľnohosp., lesné a vodné hospodárstvo, kartografia, atď.).

Fyzikálne princípy DPZ

Technológie pre DPZ sú založené na snímaní elektromagnetického žiarenia – EMŽ, emitovaného alebo odrazeného od povrchu Zeme. Základnými komponentami DPZ sú zdroj energie, jej prenos, cieľový objekt a snímač. Význam a podstata DPZ spočíva v meraní a zaznamenávaní informácií o objektoch na Zemi, bez priameho fyzického kontaktu s nimi.

Ľudia prirodzene uskutočňujú diaľkový prieskum vnemom svetelnej energie, ktorú vidia a zvukových vln, ktoré počujú. EMŽ sa šíri rýchlosťou svetla $299460 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$, vo vlnových dĺžkach od rádovo nanometrov až po metre. Ľudské oko je schopné vnímať len veľmi malú časť elektromagnetického spektra v rozsahu $0,4\text{--}0,7 \mu\text{m}$ vlnovej dĺžky. Modré svetlo, ktoré vidíme, je odrazom EMŽ v pásme vlnových dĺžok $0,4\text{--}0,5 \mu\text{m}$, zelené $0,5\text{--}0,6 \mu\text{m}$ a červené $0,6\text{--}0,7 \mu\text{m}$.



Výsledná farba, ktorú vnímame, je výsledkom odrazu EMŽ v rozsahu niektorého základného farebného pásma alebo ich kombinácie. Napr. rastliny sú viditeľné ako zelené, lebo chlorofyl, ktorý obsahujú, absorbuje EMŽ v pásme svetla modrého a červeného a odráža žiarenie v pásme zeleného.

Obr. 1. Prehľad jednotlivých spektier EMŽ (upravené podľa Řeřicha, 1998).

¹ Ing. Erika Orlitová a Ing. Bartolomej Baláz, CSc., Katedra geológie a mineralógie F BERG Technickej univerzity v Košiciach, 043 84 Košice, Park Komenského 15 (Recenzovali: Doc. Ing. Peter Sinčák, CSc. a Ing. Jozef Kaifer, CSc.)

Okrem viditeľného spektra existujú ešte ďalšie formy EMŽ, ktoré sa líšia vlnovou dĺžkou. Medzi najznámejšie patria televízne a rádiové vlny, infračervené žiarenie, ultrafialové žiarenie, X a gama žiarenie. Rozdelenie elektromagnetického spektra ukazuje obr. 1 a tab. 1.

Tab. 1. Rozdelenie elektromagnetického spektra.

| | |
|---|---|
| gama žiarenie | <0.03 nm (1nm = 1nanometer=10 ⁻⁹ m =10 ⁻³ µm) |
| X žiarenie | 0.03 - 3 nm |
| ultrafialové (Ultraviolet - UV) | 0.3 - 0.4 µm (1µm= 1 mikrometer=10 ⁻⁶ m) |
| viditeľné (Visible) | 0.4 - 0.7 µm |
| blízke infračervené (Near Infrared - NIR) | 0.7 - 1.3 µm |
| stredné infračervené (Middle Infrared - MIR) | 1.3 - 3.0 µm |
| tepelné infračervené (Thermal Infrared - TIR) | 3.0 - 5.0 µm a 8 - 14 µm |
| mikrovlnné (Microwave) | 0.3 - 300 cm |

Technológie DPZ umožňujú ľuďom prekonať obmedzenie viditeľného spektra EMŽ. DPZ umožňuje získavať informačné hladiny aj z iných pásiem elektromagnetického spektra, ktoré je možné zaznamenať v analógovej aj digitálnej podobe a zachytiť tak okamžitý stav záujmovej oblasti. Dáta DPZ v analógovom tvare sú fotografie, ktoré môžu byť podľa typu nosiča letecké a družicové. Digitálne dáta sa zaznamenávajú pomocou rádiometrov. Podľa typu nosiča sa tiež delia na letecké alebo družicové.

Prirodzeným zdrojom EMŽ je slnko. Najvýznamnejším umelým zdrojom EMŽ pre DPZ je radar. Objavil sa už aj tzv. lidar, v ktorom je zdrojom žiarenia laser.

Prostriedky DPZ

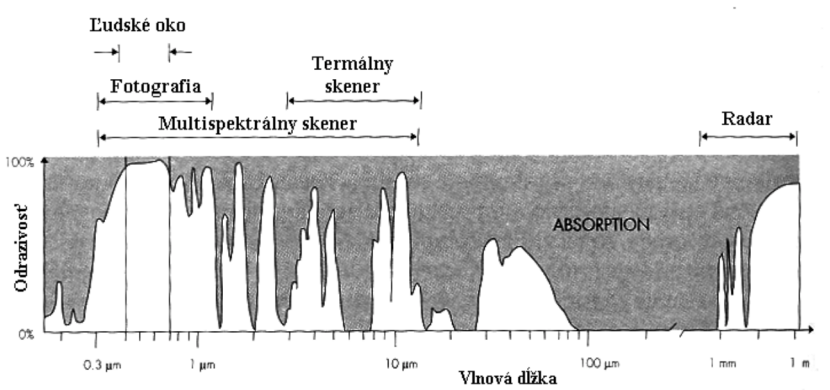
Podľa použitých nosičov rozdeľujeme prostriedky DPZ na letecké a kozmické. Rozdiel medzi nimi je v podstate len vo výške letu, teda vo vzdialenosti nosiča od snímaného zemského povrchu.

Senzory pre DPZ snímajú odrazené žiarenie, ktoré je rozdielne pre rôzne materiály. Okrem odrazeného žiarenia sa sníma aj emitované elektromagnetické žiarenie, ktoré permanentne vyžarujú všetky objekty s teplotou vyššou ako absolútna nula (0° K).

Aktívne a pasívne systémy

- ❖ *Pasívne systémy* využívajú prirodzené zdroje energie, teda odrazenú slnečnú energiu vo viditeľnom, blízkom a strednom infračervenom spektre a emitovanú tepelnú energiu v tepelnom infračervenom spektre. Viditeľné pásmo EMŽ poskytuje informácie o zemskom povrchu za rovnakých podmienok ako ľudský zrak, to znamená, že neprenikne cez oblačnosť a nie je možné ho zaznamenať v noci. Infračervené žiarenie má oproti viditeľnému výhodu v tom, že je možné ho zaznamenať aj za tmy.
- ❖ *Aktívne systémy* využívajú umelé zdroje žiarenia. Typickým predstaviteľom týchto systémov je radar, ktorý vysiela EMŽ v spektre mikrovln, čiže vo vlnových dĺžkach v rozsahu rádovo milimetrov až metrov a zaznamenáva spätné odrazy tohoto žiarenia. Tieto vlnové dĺžky majú tú výhodu, že bez problémov prejdú tmou, hmlou, mrakmi alebo dažďom s drobnými kvapkami. Dáta vo viditeľnom a infračervenom spektre sú oveľa citlivejšie na stav atmosféry a nie vždy je možné ich získať. Oproti tomu radarové dáta je možné získať z ľubovoľného miesta na Zemi a takmer nezávisle od atmosférických podmienok. Radarové vlny tiež prenikajú parostom a do určitej hĺbky pod povrch Zeme resp. vody alebo snehovej prikrývky, takže dovoľujú získať aj informácie o podpovrchovej vrstve. Radarové systémy sa najviac využívajú pri skúmaní morfológie zemského povrchu, pri geologickom a naftovom prieskume, v hydrológii, sledovaní morskej hladiny

a monitorovaní pobrežných oblastí. Využívajú sa tiež v lesníctve, poľnohospodárstve, pri územnom plánovaní a sledovaní živelných katastrof. Možnosti použitia jednotlivých systémov pre snímanie EMŽ sú uvedené na obr. 2.



Obr. 2. Použitie systémov pre DPZ.

Techniky získavania informácií

Prístroje, využívané pre účely DPZ je možné rozdeliť do kategórií podľa viacerých hľadísk: podľa princípov získavania informácií, podľa ich funkcie, a pod. Najzákladnejším rozdelením je delenie na *prístroje nezobrazujúce a zobrazujúce* (Reřicha, 1998).

- **Prístroje nezobrazujúce**

K prístrojom nezobrazujúcim patria napr. altimetre (výškomery), gravimetre a magnetometre.

Altimetre slúžia na presné meranie (X cm) výšky letu nosiča (družice) nad povrchom Zeme, čím vytvárajú výškový profil trasy letu.

Gravimetre poskytujú presné údaje o gravitačných anomáliách Zeme, spôsobovaných nehomogénnou stavbou zemského vnútra, čo je taktiež zaujímavé pre geológov (stavba Zeme, lokalizácia ložísk, a pod.).

Magnetometre zaznamenávajú zmeny a vlastnosti magnetického poľa Zeme. Tieto údaje sa tiež využívajú aj v geológii.

Digitálne údaje, zaznamenávané z nezobrazujúcich prístrojov, sú v určitých intervaloch použité na vytvorenie obrazu gravitačného a magnetického poľa Zeme.

- **Prístroje zobrazujúce**

Najrozšírenejšími zobrazujúcimi metódami získavania informácií sú optické metódy, ktoré môžeme podľa spôsobu zaznamenania rozdeliť na fotografické (staršie) a digitálne (novšie) metódy záznamu informácie. Pri fotografických metódach je záznamom expozícia na fotografický film, pri digitálnych ide o uloženie informácie do pamäte počítača a/alebo ich odoslanie na spracovanie na Zemi. Údaje v digitálnej forme sa zobrazujú na obrazovke počítača alebo sa prostredníctvom tlačiarne prenesú na nosič (vytlačia).



Fotografické metódy sú využívané hlavne na lietadlových nosičoch, prípadne pri pilotovaných kozmických letoch.

Letecké kamery, napr. Wild RC 30 firmy Leica (obr.3) sa používajú hlavne pre potreby kartografov, ale majú uplatnenie aj v geológii. Snímkovanie sa vykonáva v spektrálnych pásmach vo viditeľnej aj neviditeľnej časti spektra (pozri obr.1) na čiernobiele, pravofarebné (true colours) alebo nepravofarebné (false colours) negatívne aj pozitívne fotomateriály a materiály citlivé v infračervenej oblasti. Pre potreby kartografie sa vykonáva snímokovanie s prekrytom, kvôli vytvoreniu stereoeffectu, využiteľného na zachytenie tretieho rozmeru - výškovej súradnice (z). Pri niektorých typoch kamier sa používa súčasné snímokovanie vo viacerých spektrálnych pásmach – kanáloch, napr. pri type MKF6 firmy Carl Zeiss Jena.

Obr. 3. Letecká kamera Wild RC 30 firmy Leica.

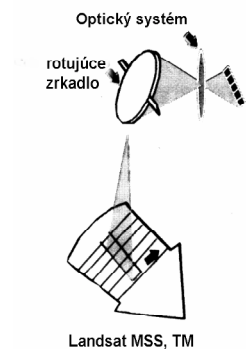
Predstaviteľmi zobrazujúcich prístrojov s digitálnym záznamom obrazovej informácie sú rádiometre, ktoré bývajú umiestnené hlavne na družicových nosičoch.

Rádiometre sa delia na aktívne a pasívne. Pasívne rádiometre-skenery zachytávajú viditeľné a infračervené žiarenie. Aktívne rádiometre pracujú v oblasti neviditeľného žiarenia, hlavne v cm-dm pásme elektromagnetického žiarenia. Typickým predstaviteľom tejto skupiny je radar.

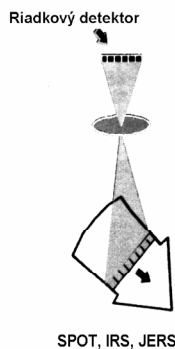
Jednotlivé typy pasívnych rádiometrov – skenerov, sa od seba líšia spôsobom snímania zemského povrchu a prevádzaním optickej informácie na elektrický signál – obr.4.

Ústredným prvkom mechanického skenera je rotujúce optické zrkadielko, pomocou ktorého sa na jediný detektor postupne premietne jeden riadok obrazu – odrazeného a cez optickú sústavu premietnutého obrazu zemského povrchu. Obraz je snímaný nespojito v krokoch, po tzv. pixeloch (picture element).

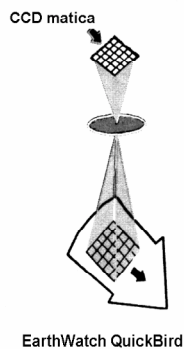
Mechanický skener



Elektronický skener



Skener s CCD maticou



V elektronických skeneroch sa obraz zemského povrchu pomocou optického systému premietna na riadok detektorov a tak sa súčasne sníma jeden riadok obrazu naraz.

V CCD sa obraz pomocou optického systému premietna na CCD maticu a tak sa sníma plocha zemského povrchu, daná rozmerom CCD matice (počtom detektorov).

Obr.4 Princíp jednotlivých druhov skenerov (podľa Řeřicha, 1998).

V prípade multispektrálneho snímokovania sa tento postup komplikuje o delenie obrazu zemského povrchu na niekoľko spektrálnych pásiem. Najjednoduchšie je to pri mechanickom skeneri, kde sa obraz rozkladá pomocou optického hranola, zaradeného do optickej sústavy. V prípade elektronického skeneru sa obraz rozloží pomocou polopriepustného hranola - „optického deliča“ na toľko obrazov, v koľkých kanáloch sa robí snímanie.

DPZ z družíc

Počiatky prieskumu Zeme z družíc sa vzťahujú k roku 1972, kedy bola v rámci prvého civilného programu LANDSAT vypustená americká družica LANDSAT 1, so skenerom s vysokým rozlíšením, vhodným pre DPZ. Družicové systémy pre DPZ používajú fotografické kamery, skenery a radary. Z nich sa dnes používajú prevažne multispektrálne skenery a radary. Výnimku tvoria niektoré ruské družice, ktoré používajú fotografické kamery a dáta zaznamenávajú tradične na film a následne ich digitalizujú v laboratórnych podmienkach. Poskytujú veľmi podrobné údaje, ale ich dostupnosť je veľmi obtiažna. Medzi výhody DPZ z družíc patrí možnosť multispektrálnych meraní, teda súčasných meraní vo viacerých spektrálnych pásmach. Medzi najdôležitejšie programy pre DPZ patrí americký Landsat, francúzsky SPOT a kanadský RADARSAT. Dáta pre meteorologické účely sníma americký satelit NOAA. V oblasti DPZ sa ďalej angažujú hlavne India, Japonsko a Rusko.

Najoperatívnejšou družicou s radarovým systémom je kanadská družica RADARSAT-1 vypustená v roku 1995. Jej veľkou výhodou je, že je vybavená zo Zeme programovateľným technickým zariadením, ktoré umožňuje natočenie radaru na družici, zároveň je schopná opakovane poskytnúť dáta z toho istého miesta v najkratšom možnom termíne (v našich zemepisných šírkach sú to 3 dni), a to bez ohľadu na počasie. Ďalšou veľkou výhodou je, že dodávka po Internete sa môže uskutočniť do 4 hodín po prelete družice. Snímky z tejto družice boli napr. použité pri monitorovaní a analýze povodňovej situácie na Morave v júli 1997. Čo sa týka budúcnosti radarových systémov, vypustenie RADARSAT-2 je plánované na rok 2001. Tento satelit bude už vybavený aj systémom GPS kvôli presným informáciám o polohe a orientácii satelitu počas merania. Prehľad niektorých aktívnych družicových systémov pre DPZ je v tab 2.

Tab.2. Prehľad v súčasnosti aktívnych družicových systémov pre DPZ.

| Družica | Prevádzkovateľ | Dátum štartu | Priestorové rozlíšenie [m] /Šírka záberu [km] | | | Terminové rozlíšenie [deň] |
|-------------|-----------------------------|--------------|---|----------------|----------------|----------------------------|
| | | | panchro | multispektr. | radar | |
| Landsat 5 | Space Imaging Eosat | 4.1984 | - | 30-120/185 | - | 16 |
| Spot 1 | Spotimage | 2.1986 | 10/117 | 20/117 | - | 26 |
| Spot 2 | Spotimage | 1.1990 | 10/117 | 20/117 | - | 26 |
| ERS-1 | ESA | 7.1991 | - | - | 26/102 | 35 |
| IRS-1C | ISRO | 12.1995 | 5,8/70 | 23,5-70,5/148 | - | 24 |
| IRS-1B | ISRO | 8.1991 | - | 36,25-72,5/148 | - | 22 |
| RESURS O1-3 | PRIRODA | 11.4.94 | - | 160/600 | - | 21 |
| IRS-P2 | ISRO | 10.1994 | - | 36,25/131 | - | 22 |
| ERS-2 | ESA | 4.1995 | - | - | 26/102 | 35 |
| Radarsat1 | Radarsat Int. | 11.1995 | - | - | 7,6-100/50-500 | 24 |
| IRS-1C | ISRO | 12.1995 | 5,8/70 | 23,5-70,5/148 | - | 24 |
| DMSP 5D | - | 4.4.1997 | - | - | - | - |
| GOES 10 | - | 25.4.1997 | - | - | - | - |
| Feng Yun 2 | - | 10.6.1997 | - | - | - | - |
| OrbView 2 | - | 1.8.1997 | - | - | - | - |
| Meteosat 7 | - | 2.9.1997 | - | - | - | - |
| IRS-1D | ISRO | 9.1997 | 5,8/70 | 23,5-70,5/148 | - | 24 |
| Resurs-F1M | - | 18.11.1997 | - | - | - | - |
| TRMM | - | 27.11.1997 | - | - | - | - |
| Kosmos 2349 | SPIN-2/ Sovinformsputnik | 17.2.1998 | - | 2-10/165-300 | - | návrat 7.4.98 |
| Spot 4 | Spotimage | 24.3.1998 | 10/117 | 20/117 | - | 26 |
| Vegetation | Spotimage/EU | 24.3.1998 | - | 1100/2600 | - | - |
| Resurs O1-4 | Eurimage | 10.7.1998 | - | 30-161/60-714 | - | 21 |

Snímače umiestnené na jednotlivých družiciach sa od seba líšia počtom spektrálnych pásiem a intervalom vlnových dĺžok, šírkou záberu, priestorovým rozlíšením a rádiometrickým rozlíšením.

Šírka záberu je šírka pásu na Zemi, ktorú zaznamenáva snímač pri prelete družice.

Priestorové rozlíšenie je dané veľkosťou plochy na zemskom povrchu, ktorú reprezentuje jeden pixel. Pohybuje sa v rozmedzí niekoľkých metrov až stoviek metrov.

Rádiometrické rozlíšenie je počet bitov rezervovaných pre zaznamenanie zosnímanej hodnoty pre jeden pixel. Napr. pri rádiometrickom rozlíšení 6 bitov je snímač schopný rozlišovať a zaznamenávať 64 hladín snímaného signálu v rámci jedného spektrálneho pásma.

Termínové rozlíšenie je doba medzi preletom nad rovnakým miestom na Zemi.

Družicové systémy s veľmi vysokým rozlíšením

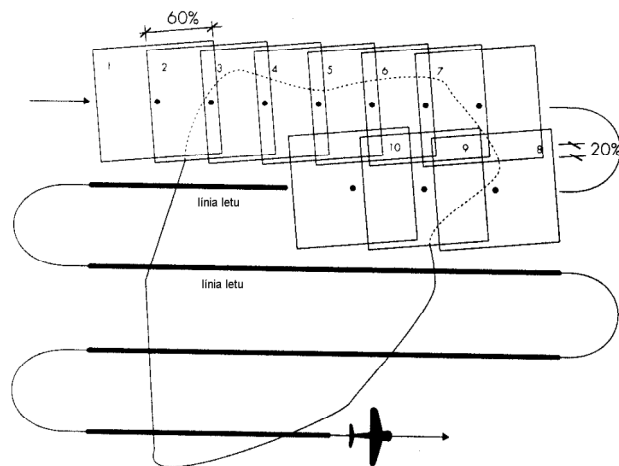
Uvedenie prvej súkromnej nevojenskej družice s veľmi vysokým rozlíšením Early Bird 1 do prevádzky skončilo neúspechom. Táto družica mala dodávať snímky na objednávku, a to s plánovaným rozlíšením 3 m a 15 m v štyroch spektrálnych pásmach. Vypustenie ďalšej družice QuickBird je plánované na rok 1999. Priestorové rozlíšenie tejto družice by malo byť dokonca 0,8 m a 3 m v piatich spektrálnych pásmach, pri šírke záberu 22 km.

DPZ z lietadiel

Lietadlo môže byť nosičom podobného skeneru, alebo radaru, ale oveľa častejšie sa používa klasická fotografická kamera. Pre účely mapovania a prieskumu sa používajú výhradne vertikálne fotografie, kedy je kamera nasmerovaná priamo dole na snímaný terén.

Vďaka nízkej výške letu lietadla a vysokokvalitným filmom dosahujú letecké fotografie vysokú presnosť a rozlíšiteľnosť jednotlivých objektov. Novšie snímkovacie zariadenia (napr. Wild RC30) sú spojené s prijímačom GPS, ktorý s vysokou presnosťou zaznamenáva geografické súradnice stredov jednotlivých snímok.

Normalizované veľkosti leteckej fotografie sú 18x18 cm, 23x23 cm a 30x30 cm, jeden film obsahuje 280 záberov. Sníma sa na panchromatický alebo farebný film. Používajú sa filmy citlivé na viditeľné alebo infračervené pásmo EMŽ, alebo len na určitú časť tohoto spektra.



Obr.5. Postup pri leteckom snímkovaní.

Mapovaná oblasť sa snímkuje tak, aby jednotlivé snímky mali prekryt 60% v smere letu a 20-30% medzi líniami letu (obr.5). Prekryt 60% v línii letu sa využíva pri následnom fotogrametrickom spracovaní snímok, pri vytváraní 3-rozmerných topografických máp pomocou stereoplotterov.

V prípade spracovania leteckých snímok pomocou počítača je potrebné zabezpečiť ich prevod z analógového tvaru do digitálneho, a to skenovaním s rozlíšením 1200 DPI a viac. Pomocou procesu ortorektifikácie je možné naskenovanú fotografiu umiestniť do rovinného mapového súradnicového systému a odstrániť

nepresnosti, ktoré boli spôsobené vertikálnou členitosťou terénu, odchýlkami od stanovenej dráhy letu, centrálnou projekciou a parametrami snímkovania. Ortografografia sa potom môže používať ako alternatíva mapy.

Príklady využitia metód DPZ

Metódy DPZ sa s úspechom využívajú hlavne v relatívne nedostupných oblastiach rozľahlých krajín a v oblastiach málo postihnutých antropogénnou činnosťou.

Najlepšie výsledky je možné dosiahnuť v terénoch s minimálnym vegetačným pokryvom alebo bez neho (púšte, polopúšte, arktické a vysokohorské oblasti), ale ani v oblastiach s hustým rastlinným pokryvom (boreálne lesy, tropické dažďové pralesy, a pod.) nie je použitie metód DPZ vylúčené. Každý konkrétny druh terénu má svoje špecifiká, ktoré je potrebné pri výbere metódy alebo voľbe kombinácie viacerých metód zohľadniť.

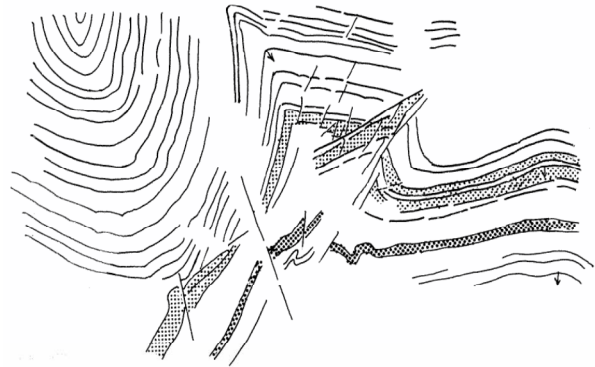
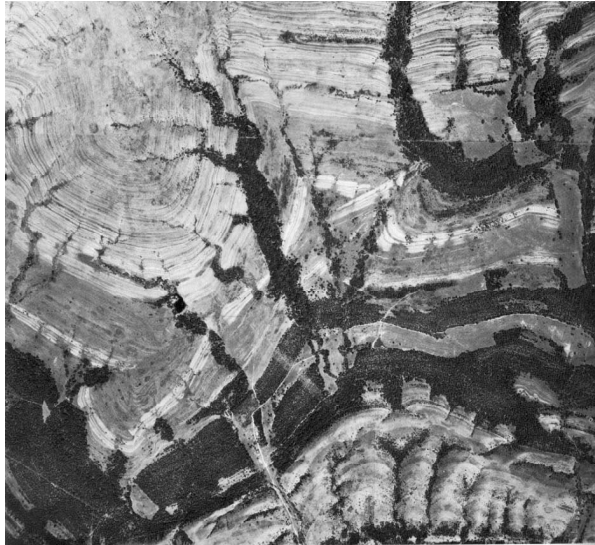
Letecké a kozmické snímky, keďže sú obrazom (a často najaktuálnejším) zemského povrchu, môžu poslúžiť aj ako náhrada neaktuálnej alebo neexistujúcej topografickej mapy. Ich informačný obsah je však oveľa väčší.

V rámci geologických disciplín sa snímky, resp. digitálne obrazy zemského povrchu využívajú v rámci *geologického mapovania* napr. pri sledovaní rozšírenia horninových celkov (na základe reliéfu, farby alebo fototónu – odtieňa sivej pri čiernobielych snímkach, odrazivosti, mikroreliéfu, charakteru riečnej siete a rozšírenia a druhu vegetácie), obr. 6 – 9 (Kronberg, 1984; Kronberg, 1985).

Z digitálnych obrazov zemského povrchu je možné na základe spektrálnych kriviek odrazivosti- SKO hornín, porovnaním s etalónovými krivkami, zistenými pozemnými meraniami na odkryvoch, stanoviť rozšírenie horninových celkov a tak vlastne z väčšej časti zostaviť geologickú mapu, čím sa nahradí časovo náročná práca v teréne, často vykonávaná vo veľmi zložitých podmienkach (Alwash, et al., 1994; Davis, et al., 1993).

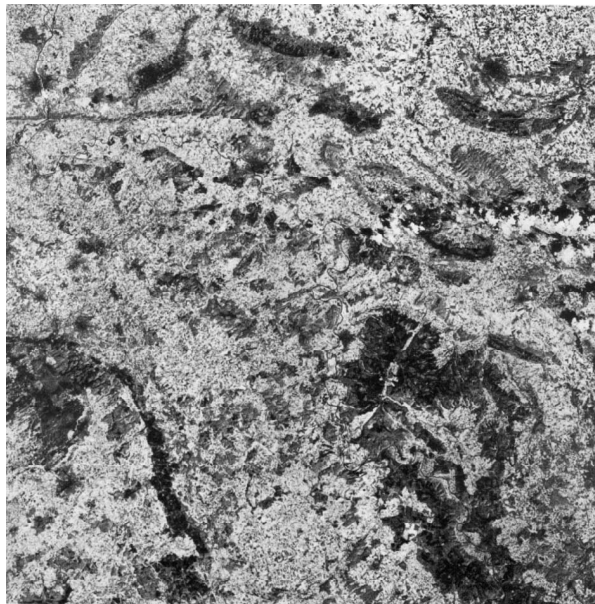
Pomocou stereoskopu sa pri použití stereodvojíc snímok robí analýza geomorfológie územia, ktorá je formálnym prejavom geologickej stavby a tektoniky. Veľmi dobré výsledky poskytuje takáto analýza pri štúdiu kvartérnych útvarov (Beratan et al.; 1998).

Vo vulkanológii sa využíva štúdium materiálov DPZ na rekonštrukciu nečinných vulkánov stanovenie rozšírenia ich produktov. V súčinnosti s inými (napr. geofyzikálnymi a geochemickými) metódami sa využívajú metódy DPZ na sledovanie činných sopiek (Oppenheimer, 1998), resp. stanovenie rizika sopečných explózií na základe merania tepelného toku v okolí vulkánov alebo stanovenia teploty vody v kráterových jazerách, na sledovanie lávy v lávových jazerách a pod. (Oppenheimer, 1997).



↑ Obr.7 Tektonická interpretácia snímky z obr. 6.

⇐ Obr.6. Ploché a strmé úklony vrstiev, poruchy a disjunktívna tektonika so strihom a typickým pretvorením jednotlivých súvrství. Tektonická stavba je dešifrovaná podľa vodiacich obzororov (JZ USA; materiál USGS ; podľa Kronberga, 1984).

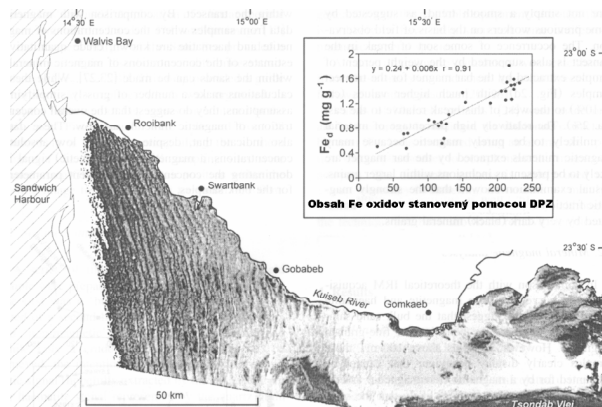


Obr.8. Regionálno-geologické jednotky a štruktúrne prvky oblasti medzi Egge (vľavo dole) a Hildesheimer Wald (vpravo hore) na 6. kanáli snímky Landsat-u (SRN; materiál NASA; podľa Kronberga, 1985).

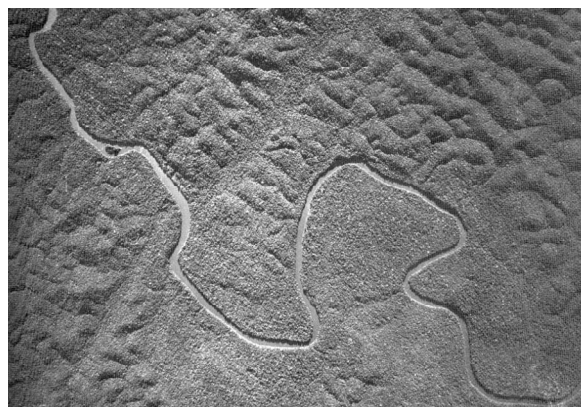
Obr.9. Mapa regionálno-geologických jednotiek so znázornenými strmými štruktúrami, interpretovanými zo snímok Landsat (P – Paderborn, M – Minden, H – Hildesheim, W – Warburg ; SRN; podľa Kronberga, 1985).

Značné možnosti poskytujú metódy DPZ pri vyhľadávaní ložísk nerastných surovín - NS, v rámci ktorého sa aplikuje súčasne viacero vyhľadávacích kritérií. Na základe farebného a morfológického kontrastu sa dajú vyhľadávať ložiská, vychádzajúce na povrch. Okrem už spomínaného rozšírenia horninových celkov magmato-

génne, litofaciálne, metamorfogénne kritériá) sa dajú zistiť okolorudné premeny hornín (Beratan, et al., 1997), ich druh a rozšírenie na základe farebného kontrastu, resp. SKO minerálov, typických pre tieto zóny (illit, kaolinit, ...) (Ferrier, et al., 1996). Zóny okolorudných premien sú plošne rozsiahlejšie a tak zvyšujú pravdepodobnosť zachytenia ložiska, resp. indikujú aj skryté ložiská. V oblasti púšte Namib v Namíbi boli využité metódy DPZ pri stanovení obsahu ťažkých minerálov (magnetit, ilmenit,...) v dunových presypoch (Walden, et al., 1996 – obr.10).



Obr.10. Zobrazenie distribúcie Fe-oxidov, uskutočnené na základe spracovania údajov zo snímok Landsat (svetlejšie pixely obsahujú väčšie množstvá oxidov Fe = povlaky hematitu na zrnách kremeňa. Vložený graf zobrazuje pomer obsahov stanovených pomocou metódy DPZ k obsahom stanoveným vzorkovaním in situ – podľa Waldena et al., 1996).



Obr.11. Riečne terasy v tropickom dažďovom pralesi sú rozpoznateľné vďaka chýbajúcemu reliéfu a ich polohe pri meandrujúcej rieke vzhľadom k obklopujúcej pahorkatine (Francúzska Guayana; snímka I.G.N.; podľa Kronberga, 1984).

Metódy DPZ nájdu použitie aj v oblastiach s veľmi hustou vegetáciou (tropické dažďové pralesy - obr. 11). Prítomnosť ložiska NS na povrchu alebo v jeho blízkosti sa prejaví zvýšeným obsahom prvkov, ktoré sa v ňom nachádzajú (geochemická anomália). Táto sa dá zachytiť geochemicky, stanovením obsahov prvkov v horninách, pokryvných útvaroch, vodách a rastlinstve. Rastliny reagujú na tieto obsahy buď zmenami rozmerov a tvaru (gigantizmus, nanizmus, deformácie), farebnými zmenami alebo zmenami vývojových (fenologických) fáz, napr. predčasné alebo neskoršie pučanie, kvitnutie, zažltnutie listov. Tieto zmeny je možné stanoviť sledovaním oblasti vo viacerých časových horizontoch a prejavia sa taktiež zmenami SKO rastlinného pokryvu (Taranik, 1989).

Záver

Význam použitia dát z DPZ neustále rastie. Aj keď naša krajina v tomto trende ešte zaostáva, je to len záležitosť niekoľkých najbližších rokov, keď sa tieto technológie stanú aj pre nás samozrejmosťou.

Používatelia dostávajú dáta z DPZ vo forme digitálnych snímok. Predpokladom na ich využitie je ich spracovanie pomocou špecializovaného softvéru, ktorý používa metódy na spracovanie obrazu tzv. Image Processing a umožňuje vizualizovať a analyzovať obsah snímok pre špecifické potreby používateľa. K takýmto programom patria napr. ER-Mapper a ERDAS.

Nespornou výhodou digitálnych snímok je, že sú uložené v digitálnom tvare a nepodliehajú teda žiadnym geometrickým zmenám, vznikajúcim z pôsobenia vlhkosti a tepla. Ďalšou výhodou je, že sa dáta spracované digitálnou fotogrametriou môžu kombinovať v reálnom čase s vektorovými alebo inými rastrovými mapami, čo umožňuje skrátenie doby pre detekciu zmien, korekcie a tvorbu nových výstupov.

Nevýhodou je veľkosť súborov, napr. letecká fotografia rozmeru 23 x 23 cm naskenovaná s presnosťou 1200 DPI s 256 odtieňmi sivej farby má asi 115 MB a v prevedení true colors asi 345 MB. V dnešnej dobe, s použitím kompresie dát, optických diskov a počítačových sietí, prestáva byť aj tento fakt problémom.

Dostupnosť údajov z DPZ u nás

Letecké snímky z územia Slovenskej republiky poskytujú za úplaty zatiaľ len v čiernobielym prevedení Topografické oddelenie veliteľstva Armády SR (911 00 Trenčín), prostredníctvom Topografického ústavu A-SR (Ružová 113, 974 01 Banská Bystrica). Cena 1 snímky sa pohybuje zhruba od 400 do 700 Sk. Pri objednávaní snímok je potrebné vymedziť lokalitu, resp. oblasť pokrytú snímkami, mierku, nutnosť prekrytov, dobu vyhotove-

nia snímok, dennú dobu snímkovania a pod., resp. vopred vykonzultovať tieto skutočnosti s TopÚ A-SR. Snímky sú dodávané najčastejšie v rozmeroch 23 x 23 cm, prípadne v 18 x 18 cm alebo 30 x 30 cm.

Kozmické snímky pre Českú a Slovenskú republiku zabezpečuje firma Gisat Praha pozri <http://www.gisat.cz>. Táto firma je oficiálnym distribútorom spoločností EURIMAGE (družice Landsat, ERS, JERS) , SPOTIMAGE (družice SPOT), WORLMAP (dáta z ruských družíc), EUROMAP (družice IRS) a RADARSAT Int. (družice Radarsat). Sú to dáta z družicových skenerov alebo fotografických komôr zaznamenané na klasický film, dáta panchromatické alebo multispektrálne alebo dáta získané zobrazovacím radarom.

Literatúra

- Alwash, M. A. and Zilger, J.: Remote sensing-based geological mapping of the area west of Al Madinah, Saudi Arabia. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 15, 1994, No.1, pp. 163 – 172.
- Beratan, K. K., Peer, B., Dunbar, N. W. and Blom, R.: A remote sensing approach to alteration mapping: AVIRIS data and extension-related potassium metasomatism. Socorro, New Mexico, *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 18, 1997, No. 17, pp. 3593 – 3609.
- Beratan, K. K. and Anderson, R.: The use of Landsat Thematic Mapper data for mapping and correlation of Quaternary geomorphic surfaces in the southern Whipple Mountains, California. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 19, 1998, No.12, pp. 2345 – 2359.
- Davis, P. A., Breed, C. S., McCauley, J. F. and Schaber, G. C.: Surficial Geology of the Safsaf Region, South – Central Egypt, Derived from Remote – Sensing and Field Data. *Remote Sensing of the Environment*, Vol. 46, 1993, pp. 183 – 203.
- Ferrier, G. and Wadge, G.: The application of imaging spectrometry data to mapping alteration zones associated with gold mineralization in Southern Spain. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 17, 1997, No.2, pp. 331 – 350.
- Johnston, C. A.: Methods in Ecology: Geographic Information Systems in Ecology. *Blackwell Science, Oxford, 1998*.
- Kronberg, P.: Photogeologie. *Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart, 1984, s. 1-268*.
- Kronberg, P.: Fernerkundung der Erde. *Ferdinand Enke Verlag, 1985, s. 1 – 394*.
- Oppenheimer, C.: Remote sensing of the colour and temperature of volcanic lakes. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 1, 1997, No.1, pp. 5 - 37.
- Oppenheimer, C.: Satellite observation of active carbonatite volcanism at Ol Doinyo Lengai, Tanzania. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 19, 1998, No.1, pp. 55 - 64.
- Orlitová, E.: Aplikácie geografických informačných systémov a diaľkový prieskum Zeme v ekológii. *ICV-Centrum kontinuálneho vzdelávania TU Košice, 1998, 60 s.*
- Řeřicha, J.: Dálkový průzkum Země, *GeoInfo*, 4/1998, 5/1998, přílohy.
- Taranik, D.: Geologic Exploration of the Earth from Space. *Mining Magazine*, Vol. 1989, 8, pp. 124 – 127.
- Walden, J. and White, K.: Investigation of the controls on dune colour in the Namib Sand Sea using mineral magnetic analyses. *Earth and Planetary Science Letters*, Vol.152, 1997, pp. 187 – 201.