



Univerzita Pavla Jozefa Šafárika v Košiciach
Prírodovedecká fakulta
Ústav geografie



Metódy diaľkového prieskumu Zeme

Fyzikálna podstata a základné rozdelenie

doc. Mgr. Michal Gallay, PhD.
michal.gallay@upjs.sk

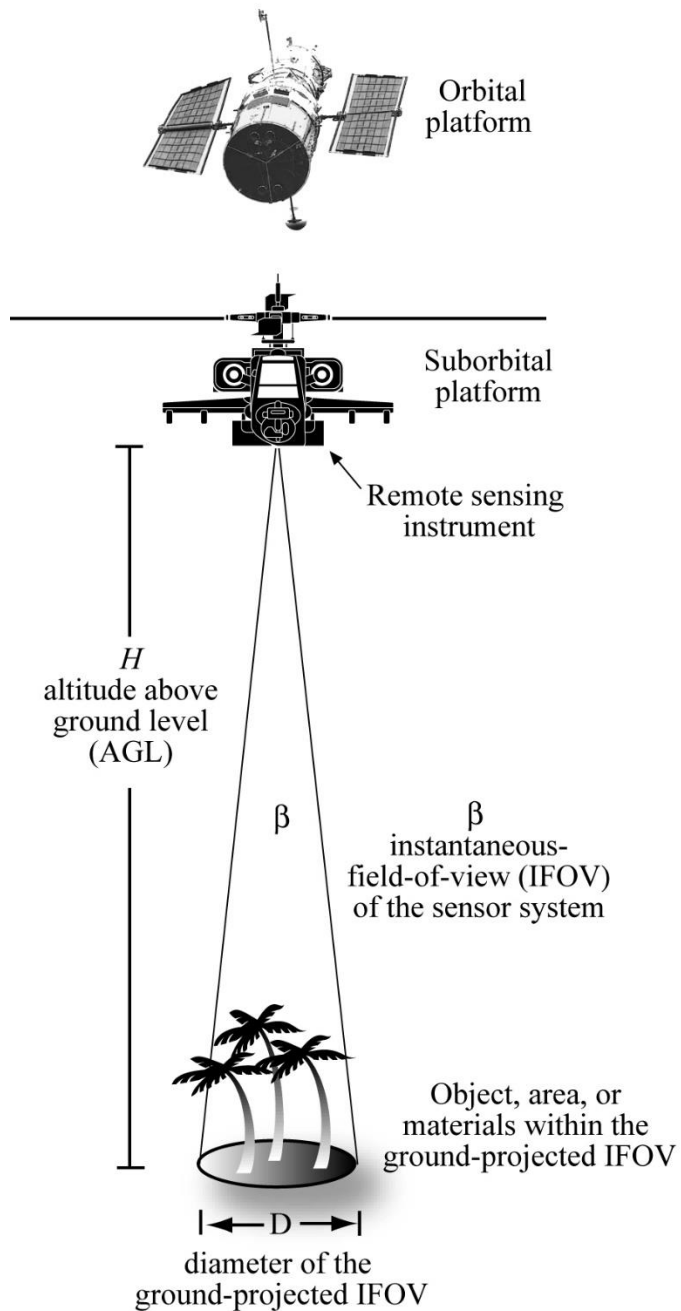
Metódy diaľkového prieskumu Zeme (6 kreditov)

2 prednášky / 2 cvičenia

prednášky

- 1 Úvod, základné pojmy, história, DPZ. Elektromagnetické žiarenie, elektromagnetické spektrum, rádiometrické/fotometrické veličiny. Rozdelenie metód DPZ, rozlišovacia schopnosť snímačov v DPZ.
- 2 Interakcia elektromagnetického žiarenia s prostredím, odraz, rozptyl, absorpcia, vplyv atmosféry.
- 3 Spektrálne správanie objektov v krajine, ich identifikácia a hodnotenie, spektrálne krivky
- 4 Pasívne systémy: Fotogrametria. Princípy merania, mierka snímky, aerotriangulácia, typy a vlastnosti kamery, vlastnosti snímky
- 5 Pasívne systémy: Fotogrametria. orientácia snímok, ortorektifikácia, 3D vektorizácia
- 6 Pasívne systémy: Fotogrametria. aplikácie
- 7 **priebežné hodnotenie - test1**
- 8 Pasívne systémy: Multispektrálne a Hyperspektrálne skenovanie.
- 9 Pasívne systémy: Termálne snímanie
- 10 Aktívne systémy: Letecké a pozemné laserové skenovanie (lidar). Laserové žiarenie, fyzikálne odlišnosti, princípy merania, zdroje dát na webe.
- 11 Aktívne systémy: Letecké laserové skenovanie (lidar). Plánovanie misie, vlastnosti dát, údajový štandard LAS, aplikácie.
- 12 Aktívne systémy: Radarové snímanie.
- 13 Aktívne systémy: Sonar
- 14 **priebežné hodnotenie - test2**

Metódy diaľkového prieskumu Zeme			
	2 prednášky / 2 cvičenia		
	prednášky	zabezpečuje	cvičenie
1	Úvod, základné pojmy, história, DPZ. Elektromagnetické žiarenie, elektromagnetické spektrum, rádiometrické/fotometrické veličiny. Rozdelenie metód DPZ, rozlišovacia schopnosť snímačov v DPZ.	doc. Gallay	Zdroje DPZ údajov na webe, vytvorenie konta v earth.explorer (USGS), vyhľadávanie L8 OLI dát pre zvolené územie, stiahnutie dát, otvorenie v ArcGIS, metadáta, zistiť rozlíšenie (geom., rad., spekt., temp.)
2	Interakcia elektromagnetického žiarenia s prostredím, odraz, rozptyl, absorpcia, vplyv atmosféry.	doc. Gallay	Výpočty a prevody medzi vlnovou dĺžkou, frekvenciou a energiou žiarenia, prepočty dvoch hodnôt DN do RADIANCE a REFLECTANCE pre L7/L8/Sentinel 2
3	Spektrálne správanie objektov v krajine, ich identifikácia a hodnotenie, spektrálne krivky	doc. Gallay	Farebné syntézy - pravé a nepravé, rádiometrické korekcie - vyrovnanie histogramu, pansharpending, konverzie z DN na Radiance a Reflectance (TOA)
4	Pasívne systémy: Fotogrametria. Princípy merania, mierka snímky, aerotriangulácia, typy a vlastnosti kamery, vlastnosti snímky	doc. Gallay	Tvorba fotogrametrického projektu vo Photomode (vnútorná, vzájomná, vonkajšia orientácia digitálnych snímok) zostavenie stereomodelu, 3D okuliare.
5	Pasívne systémy: Fotogrametria. orientácia snímok, ortorektifikácia, 3D vektorizácia	doc. Gallay	Fotogrametrický zber dát: 3Dvektorizácia (budovy, break lines), automatická tvorba DSM, DMR, ortorektifikácia.
6	Pasívne systémy: Fotogrametria. aplikácie	doc. Gallay	samostatná práca
7	priebežné hodnotenie - test1	doc. Gallay	Dáta L8, klasifikácia obrazu, riadená, vyhodnotenie presnosti (kappa index, commission/omission error)
8	Pasívne systémy: Multispektrálne a Hyperspektrálne skenovanie.	doc. Gallay	Dáta L8, klasifikácia obrazu, neriadená, vyhodnotenie presnosti (kappa index, commission/omission error)
9	Pasívne systémy: Termálne snímanie	doc. Gallay	Prevod DN na TOA temperature L8 TIRS snímok
10	Aktívne systémy: Letecké a pozemné laserové skenovanie (lidar). Laserové žiarenie, fyzikálne odlišnosti, princípy merania, zdroje dát na webe.	doc. Gallay	Lastools: info o dátach a pre-processing
11	Aktívne systémy: Letecké laserové skenovanie (lidar). Plánovanie misie, vlastnosti dát, údajový štandard LAS, aplikácie.	doc. Gallay	Lastools: filtrovanie klasifikácia, tvorba výstupov DMR/DSM/DCHM, vrstevnice, hillshade
12	Aktívne systémy: Radarové snímanie.	doc. Gallay	Ukážka dát Sentinel 1, letecké InSAR dáta a porovnanie s ortofoto a lidarom
13	Aktívne systémy: Sonar	doc. Gallay	Ukážky batymetrických dát, model morského dna
14	priebežné hodnotenie - test2	doc. Gallay	samostatná práca

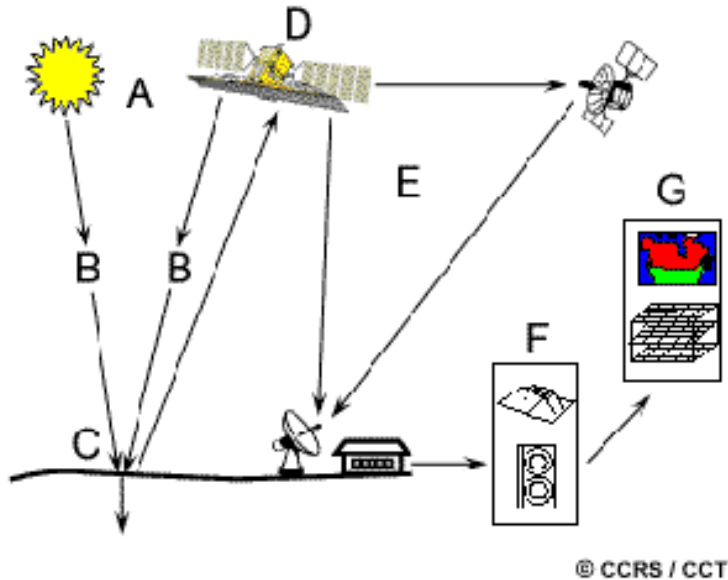


DPZ zariadenie získava informácie o objekte alebo jave, kt. je v jeho okamžitom zornom poli bez priameho fyzického kontaktu s ním.

A remote sensing instrument collects information about an object or phenomenon within the instantaneous-field-of-view (IFOV) of the sensor system without being in direct physical contact with it. The sensor is located on a suborbital or satellite platform.

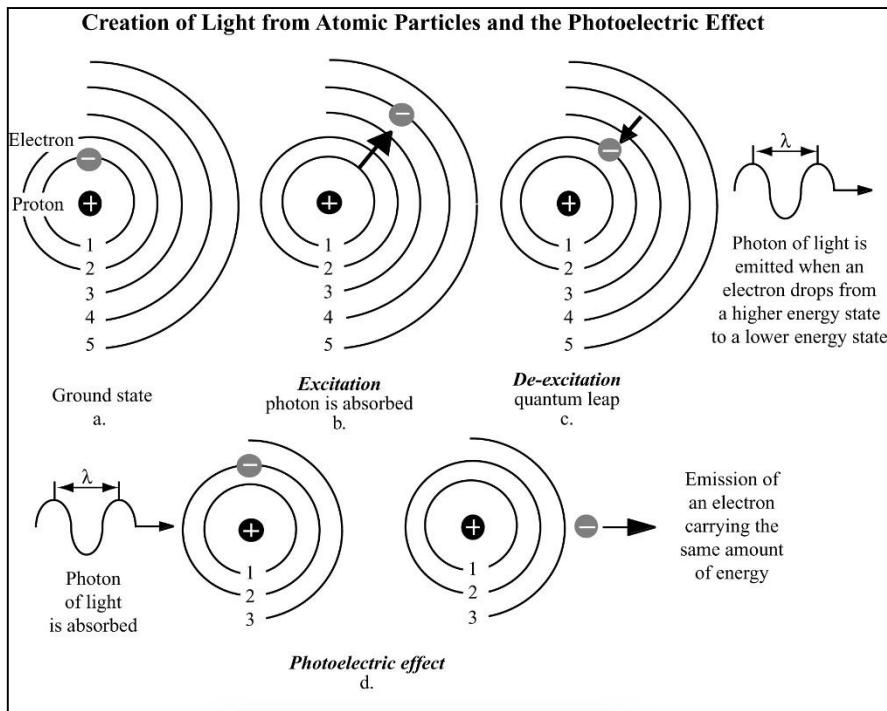


The process of remote sensing Proces vzniku dát DPZ a ich aplikácia

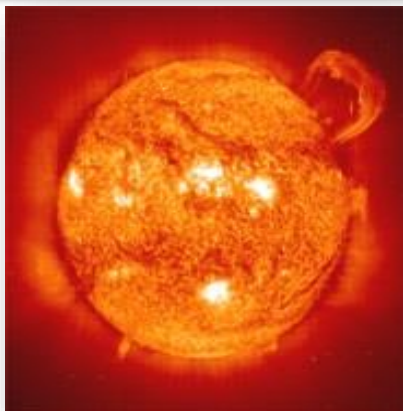


- 1. Energy Source or Illumination (A)** - the first requirement for remote sensing is to have an energy source which illuminates or provides electromagnetic energy to the target of interest.
- 2. Radiation and the Atmosphere (B)** - as the energy travels from its source to the target, it will come in contact with and interact with the atmosphere it passes through. This interaction may take place a second time as the energy travels from the target to the sensor.
- 3. Interaction with the Target (C)** - once the energy makes its way to the target through the atmosphere, it interacts with the target depending on the properties of both the target and the radiation.
- 4. Recording of Energy by the Sensor (D)** - after the energy has been scattered by, or emitted from the target, we require a sensor (remote - not in contact with the target) to collect and record the electromagnetic radiation.
- 5. Transmission, Reception, and Processing (E)** - the energy recorded by the sensor has to be transmitted, often in electronic form, to a receiving and processing station where the data are processed into an image (hardcopy and/or digital).
- 6. Interpretation and Analysis (F)** - the processed image is interpreted, visually and/or digitally or electronically, to extract information about the target which was illuminated.
- 7. Application (G)** - the final element of the remote sensing process is achieved when we apply the information we have been able to extract from the imagery about the target in order to better understand it, reveal some new information, or assist in solving a particular problem.

Vznik elektromagnetického žiarenia



- Fotón elektromagnetickej energie je emitovaný z atómu, keď elektrón v atóme alebo molekule prejde z vyššej energetickej hladiny (stavu) do nižšej energetickej hladiny (stavu).
- Vyžiarená energia (vlnová dĺžka EMŽ) je funkciou energetickeho rozdielu týchto hladín.
- Zahriatím hmoty na určité (vysoké) teploty sa môžu uvoľniť elektróny, ktoré sú inak viazané v orbitáloch a nevyžarujú energiu.
- Uvoľnením elektrónu vzniká atóm s nábojom, teda ión. Ak iný voľný elektrón zaplní uvoľnený orbitál iónu, uvoľní sa pri tom energia všetkých vlnových dĺžok, **teda spojité spektrum energie.**
- **Slnko** vďaka teplom intenzívne ohrievanému slnečnému povrchu takto **produkuje spojité spektrum energie.**



gamma

röntgenové

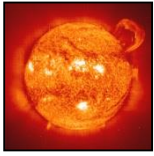
UV



infračervené

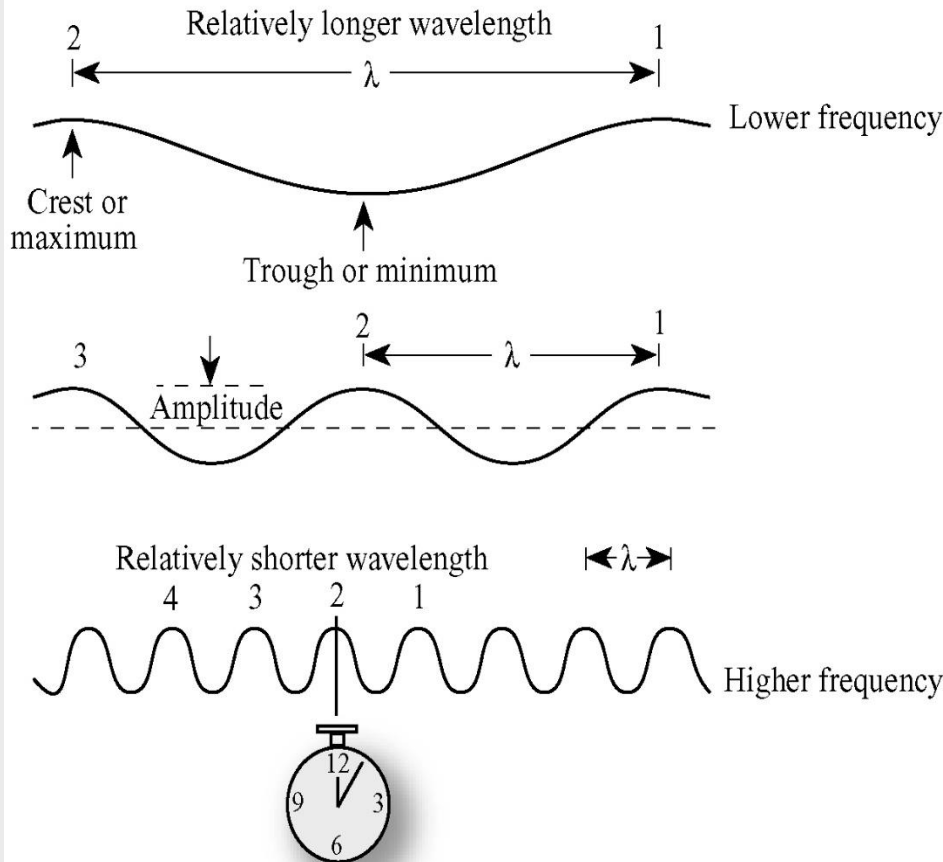
mikrovlnné

rádiové

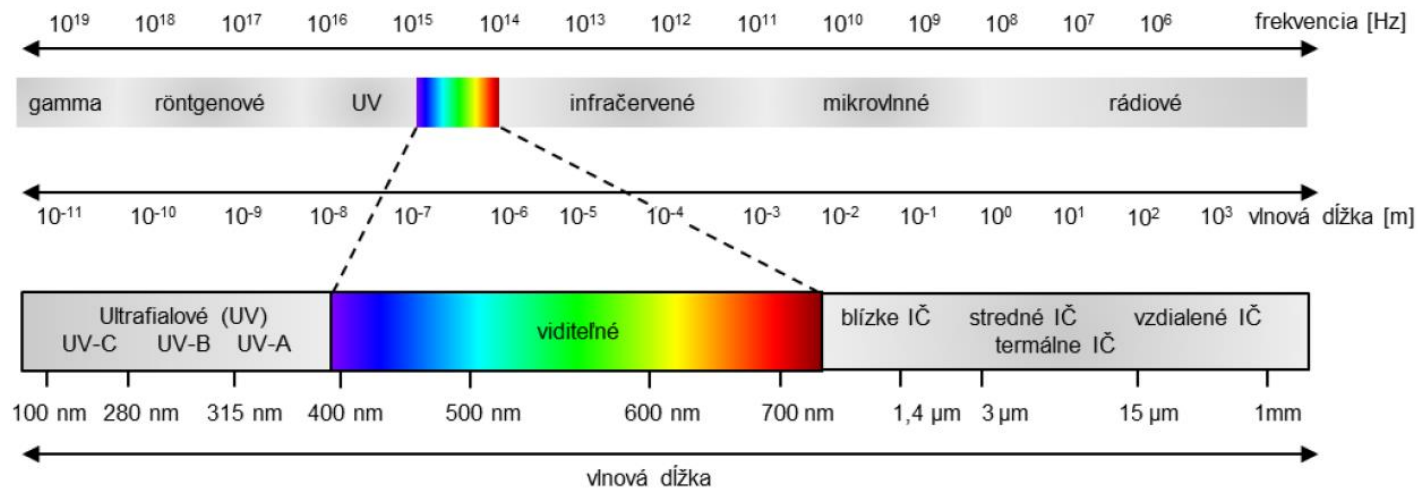


Vlnový model elektromagnetickej energie

Inverse Relationship between Wavelength and Frequency



- Elektromagnetická energia sa prejavuje ako vlnenie elektrického a magnetického poľa.
- Vlnová dĺžka elektromagnetického žiarenia je nepriamoúmerná jeho frekvencii; s narastajúcou vlnovou dĺžkou (λ) klesá frekvencia vlnenia (f);
- Amplitúda elektromagnetickej vlny je výška maxima vlny nad jej minimom.
- Frekvencia žiarenia (vlnenia) je daná počtom maxím vlny, ktoré prejdú miestom merania za sekundu.
- Je to počet cyklov vlnenia za sekundu vyjadrený v hertzoch (Hz).



Obr. 8.1: Spektrum elektromagnetického žiarenia.

EMG žiarenie tak možno charakterizovať vlnovou dĺžkou (λ), frekvenciou (ν) amplitúdou vlnenia (E) a hybnosťou (p). Vlnová dĺžka je vzdialenosť, v priebehu ktorej sa tvar vlny zopakuje a meria sa v metroch, najčastejšie v nanometroch (nm, 10^{-9} m) alebo v mikrometroch (μm , 10^{-6} m). Frekvencia definuje počet opakovaní vlny za sekundu a meria sa v hertzoch (Hz). Amplitúda energie EMG vlny (intenzita) je rozdiel medzi nulou a extrémnymi hodnotami energie jednej vlny. Energia sa vyjadruje sa v jouloch (J) alebo elektrónvoltoch (eV). Okrem energie má EMG vlnenie aj hybnosť (p), čo je typická vlastnosť častíc. Rýchlosť šírenia sa EMG žiarenia vo vákuu je konštantná ($c = 299\,792\,458$ m.s $^{-1}$). Vzťahy medzi jednotlivými veličinami sú nasledovné:

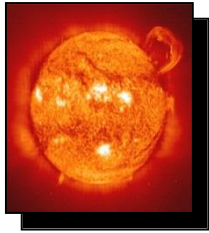
$$\lambda = c/f; \quad f = c / \lambda; \quad E = h \cdot f; \quad E = h \cdot c / \lambda; \quad p = E/c; \quad p = h \cdot f/c; \quad p = h / \lambda.$$

Pričom h je Planckova konštanta $6,6260689633 \cdot 10^{-34}$ J.s alebo $4,1356673310 \cdot 10^{-15}$ eV.s.

Interakcia EMŽ s prostredím

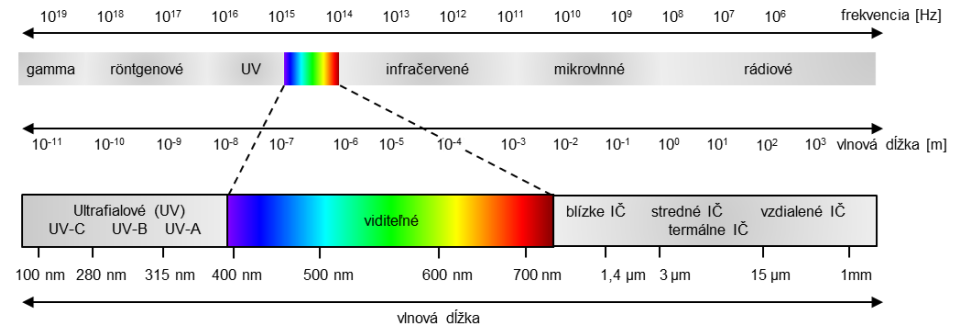
- V homogénnom prostredí sa EMŽ šíri rovnomerne.
- V dôsledku zmeny charakteru prostredia je EMŽ:
 - prepustené (transmitted)
 - odrazené (reflected)
 - pohltené/absorbované (absorbed)
 - vzniká sekundárne žiarenie



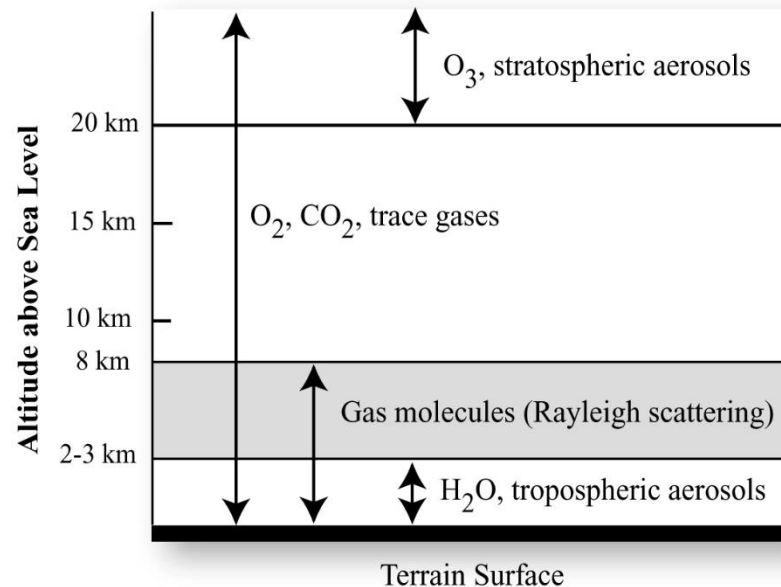


Interakcia EMŽ s prostredím

- EMŽ sa vo vákuu šíri bez zmeny a konštantnou rýchlosťou ($= c$).
- EMŽ zo Slnka sa šíri k Zemi cez **atmosféru**, ktorá mení:
 - rýchlosť šírenia
 - vlnovú dĺžku
 - intenzitu žiarenia
 - spektrálny rozsah
 - smer šírenia



Atmospheric Layers and Constituents



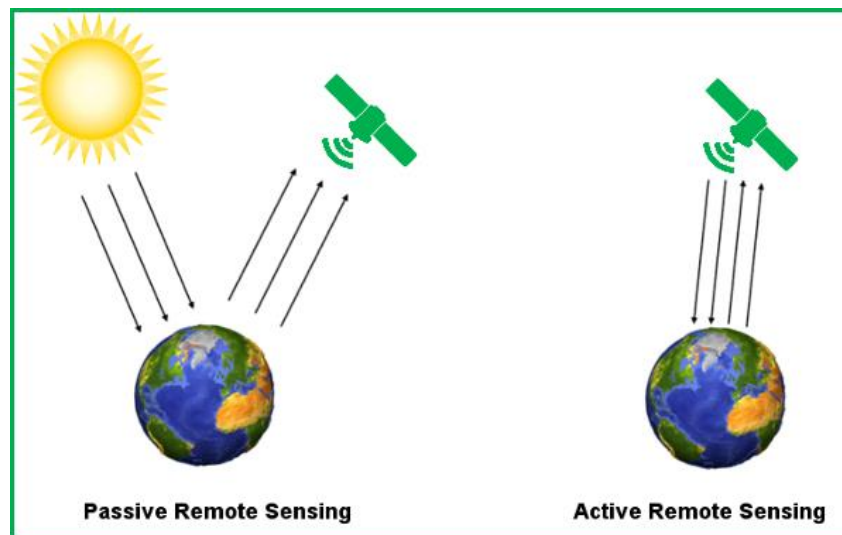
Aktívny a pasívny DPZ

Pasívny DPZ

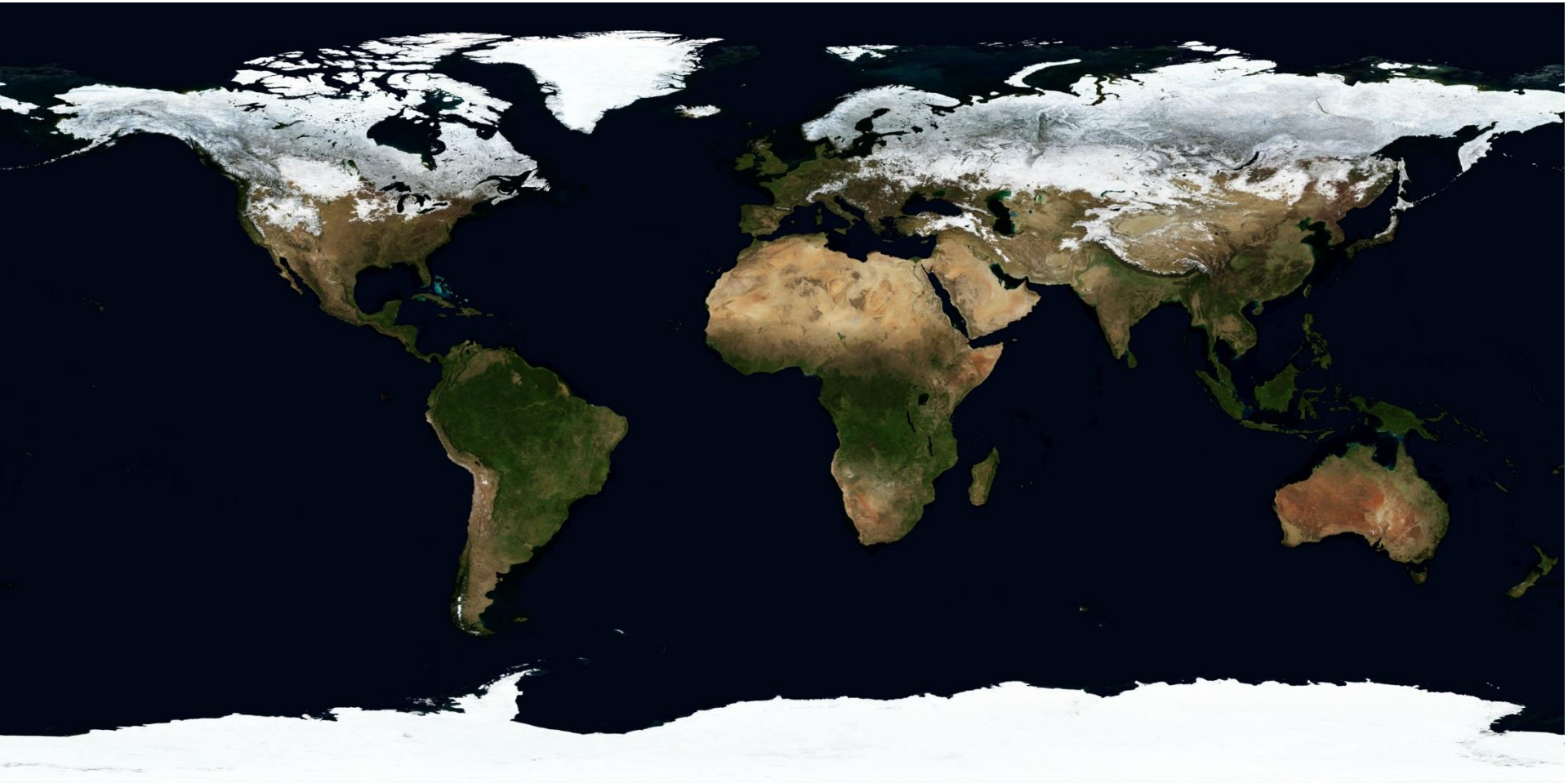
- záznamenávanie elektromagnetického žiarenia vyžiareného Slnkom a odrazeného od zemského povrchu a objektov na ňom
- Metódy DPZ: fotogrametria, multispektrálne a hyperspektrálne skenery
- zaznamenávanie elektromagnetického žiarenia vyžiareného zemským povrchom a objektov na ňom
- Metódy DPZ: termálne snímanie
- Nevyžaduje vlastný zdroj energie

Aktívny DPZ

- záznamenávanie vlastného elektromagnetického žiarenia odrazeného od zemského povrchu a objektov na ňom;
- nezávislé na Slnku ako zdroji energie pre snímanie,
- avšak vyžaduje vlastný zdroj energie (náročnejší na spotrebu elektrickej energie)
- zachytáva špecifické vlastnosti objektov, kt. Nemožno určiť pasívnym DPZ
- Metódy DPZ: radar, lidar, sonar

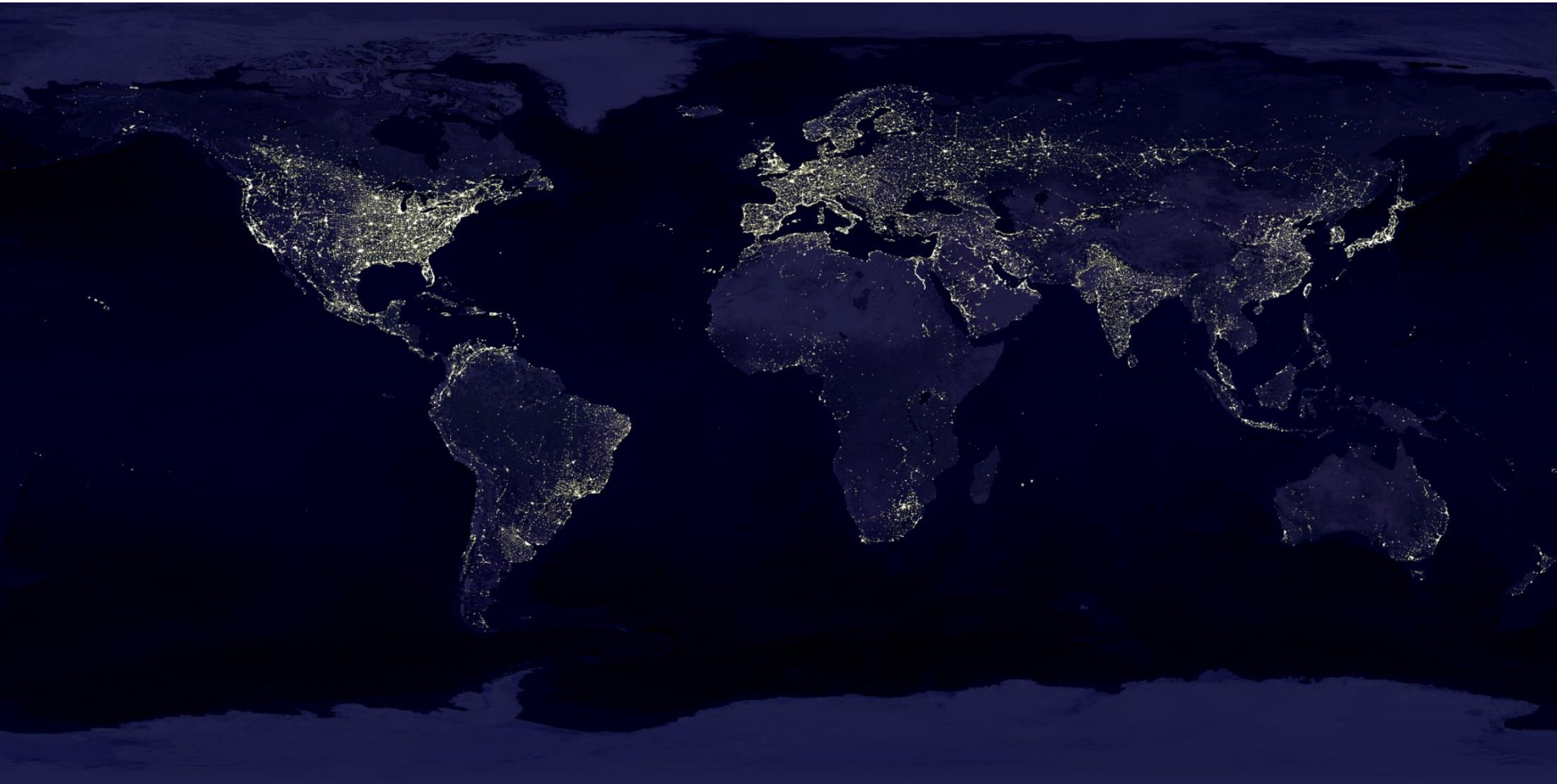


Záznam pasívneho DPZ na základe odrazenej viditeľnej elektromagnetickej energie



Zem počas dňa

Záznam pasívneho DPZ na základe vyžiarenej viditeľnej elektromagnetickej energie



Zem v noci

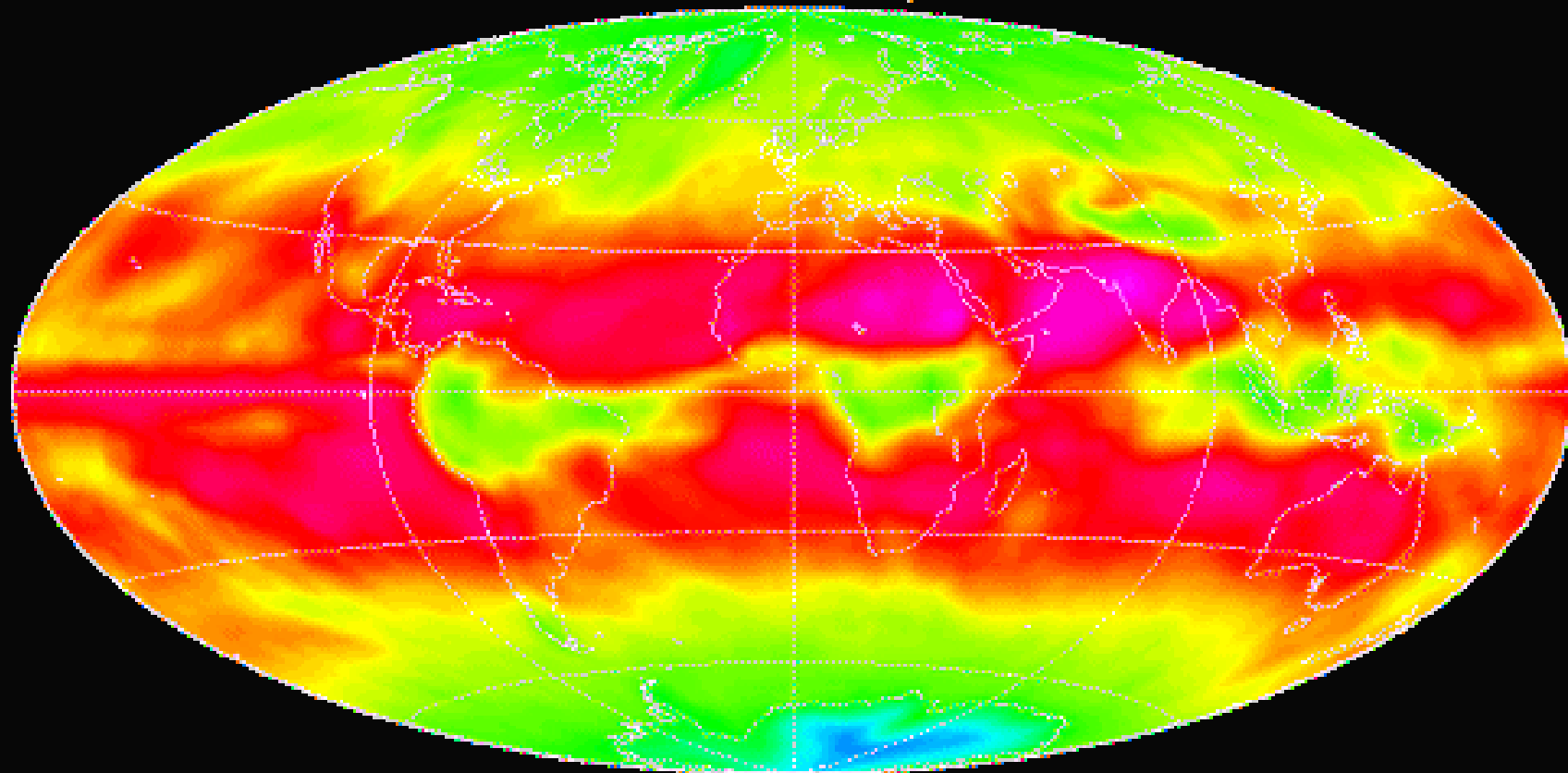
Vyžiarená dlhovlnná
elektromagnetická energia

LONGWAVE RADIATION

ERBS + NOAA 9

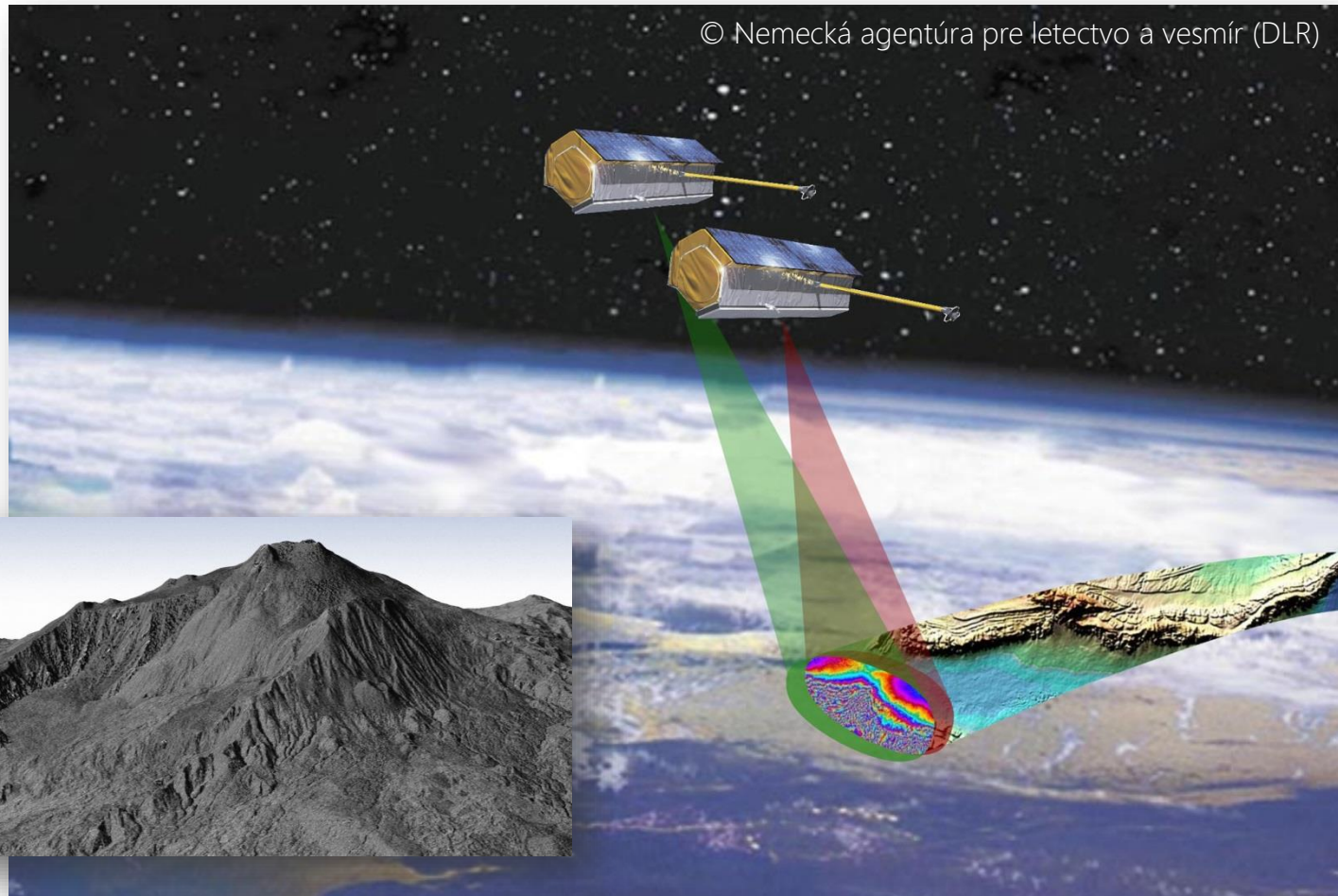
APRIL 1985

PROC: 6-30-88 hgmo



WATTS / METER²

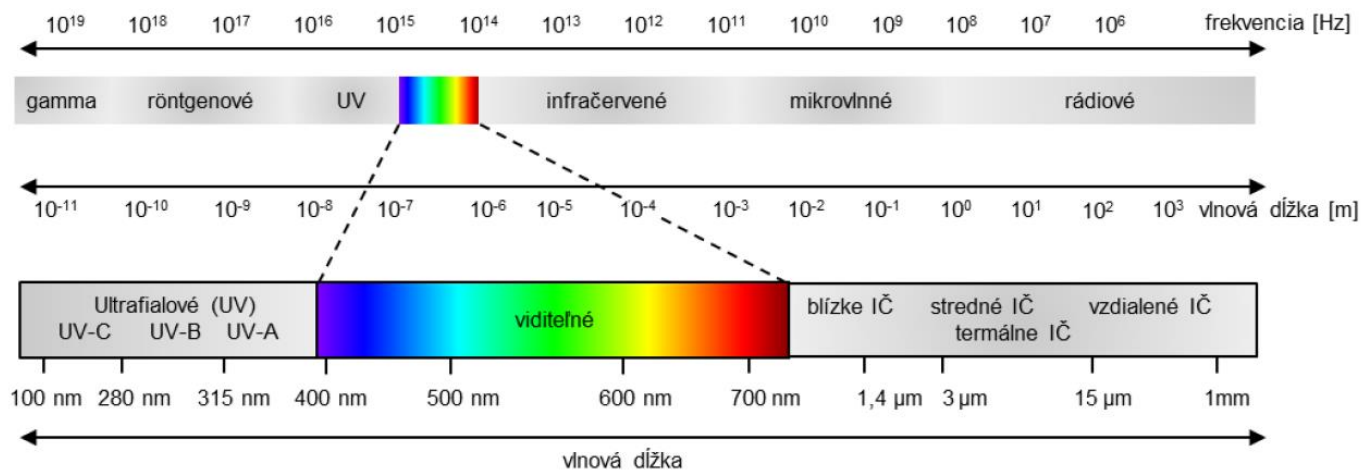
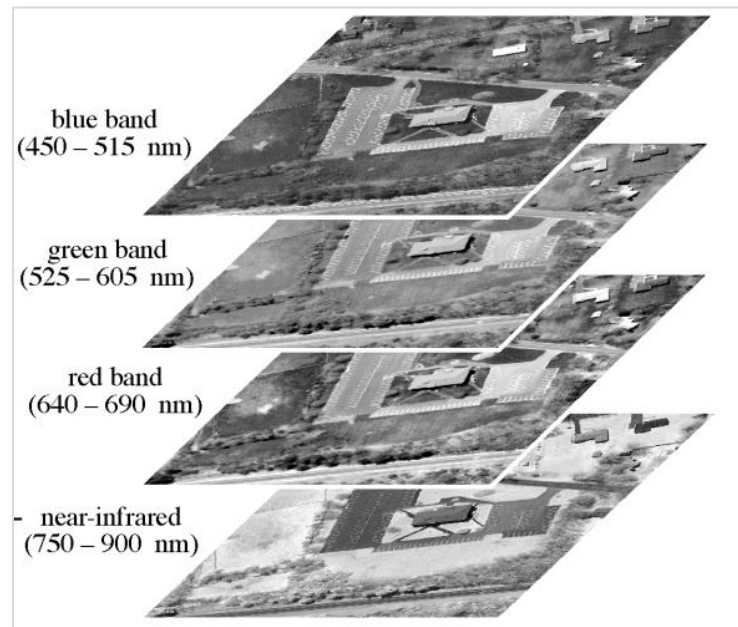
Záznam **aktívneho DPZ** na základe **vyžiarenej** mikrovlnnej elektromagnetickej energie radarom



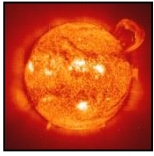
Dvojica satelitov TerraSAR-X v rámci misie TanDEM-X, pre tvorbu globálneho 3D modelu zemského povrchu radarovým snímaním.

Spektrálne pásma

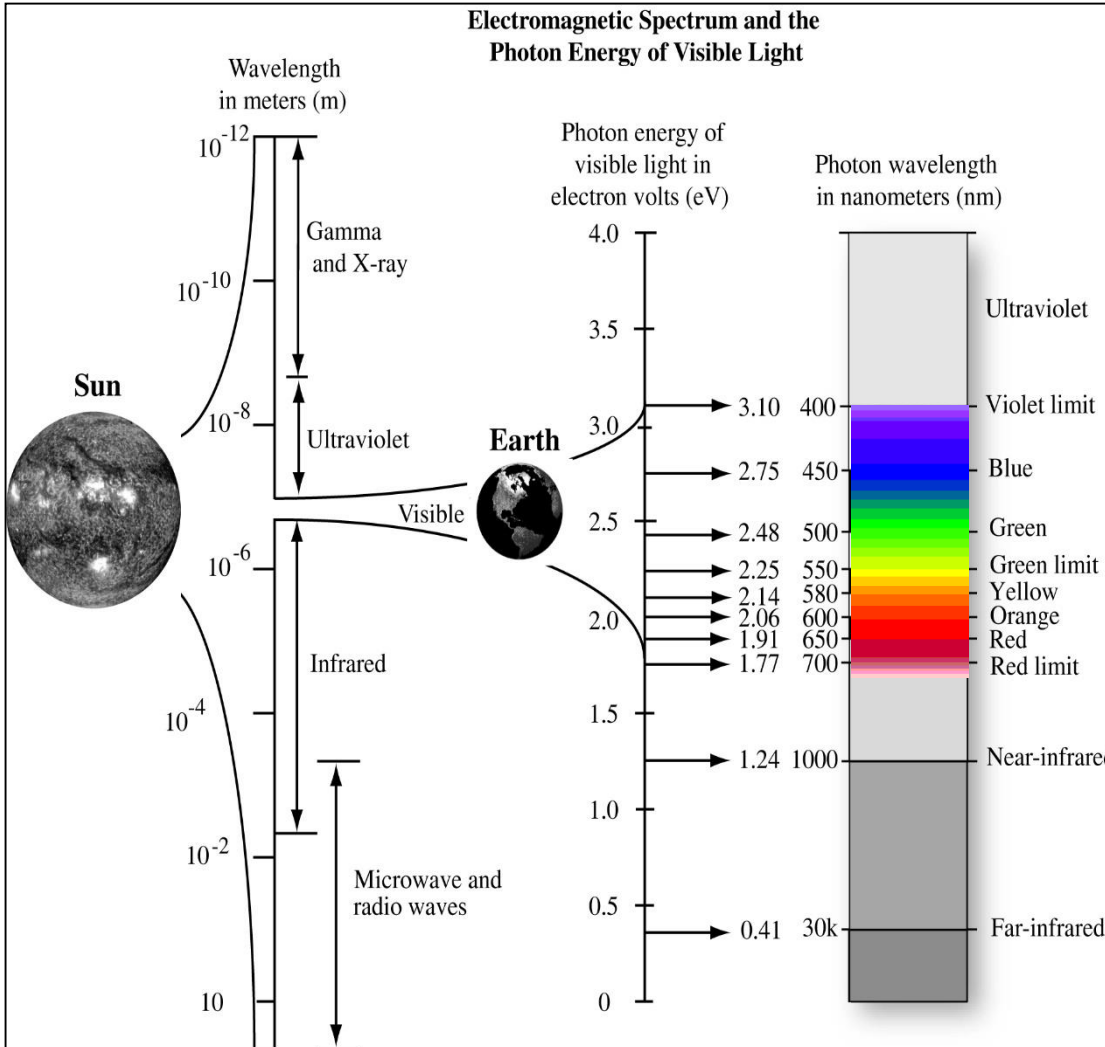
- Snímače (senzory) DPZ (aktívne aj pasívne) sú schopné zaznamenať elektromagnetickú žiarenie v jednom alebo vo viacerých pásmach spektra.



Obr. 8.1: Spektrum elektromagnetického žiarenia.



Elektromagnetické spektrum

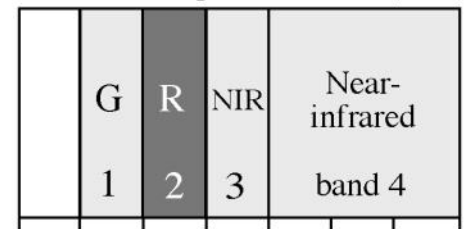


- Slnko generuje spojité spektrum elektromagnetickej energie od gamma lúčov po rádiové vlny, ktoré neustále zaplavuje Zem energiou.
- Túto energiu možno vyjadriť vlnovou dĺžkou žiarenia, ktorá sa meria v nanometroch, mikrometroch alebo v elektrónvoltoch (eV).
- Viditeľné svetlo je iba časťou spektra vyžarovanej energie v rozsahu vlnových dĺžok (380 nm – 740 nm, 0,38 – 0,74 μm)

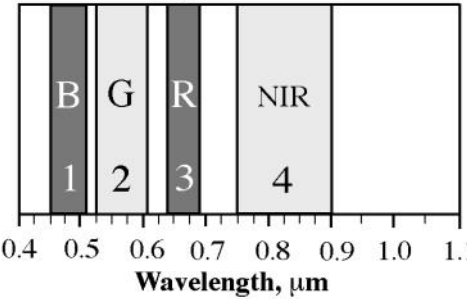
Multispektrálne snímanie

Pasívna metóda DPZ umožňujúca zaznamenať elektromagnetické žiarenie vo viacerých pásmach spektra.

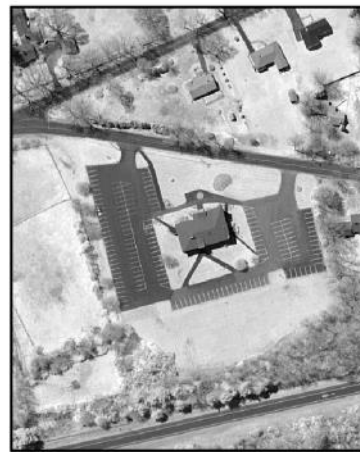
Landsat Multispectral Scanner (MSS)



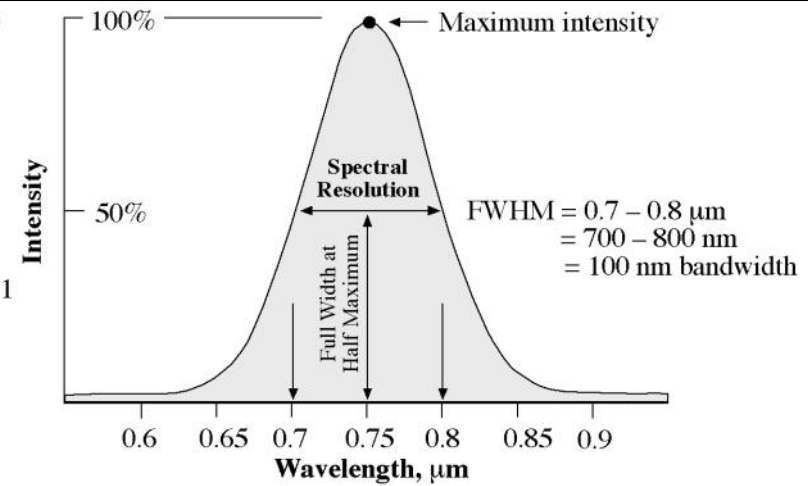
Positive Systems ADAR 5500



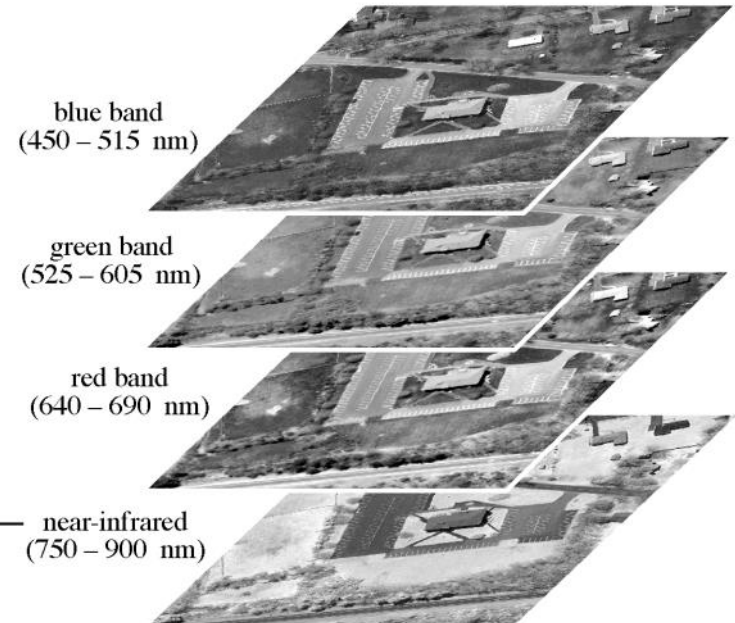
a. Nominal spectral resolution of the Landsat Multispectral Scanner and Positive Systems ADAR 5500 digital frame camera.



c. Single band of ADAR 5500 data



b. Precise bandpass measurement of a detector based on Full Width at Half Maximum (FWHM) criteria

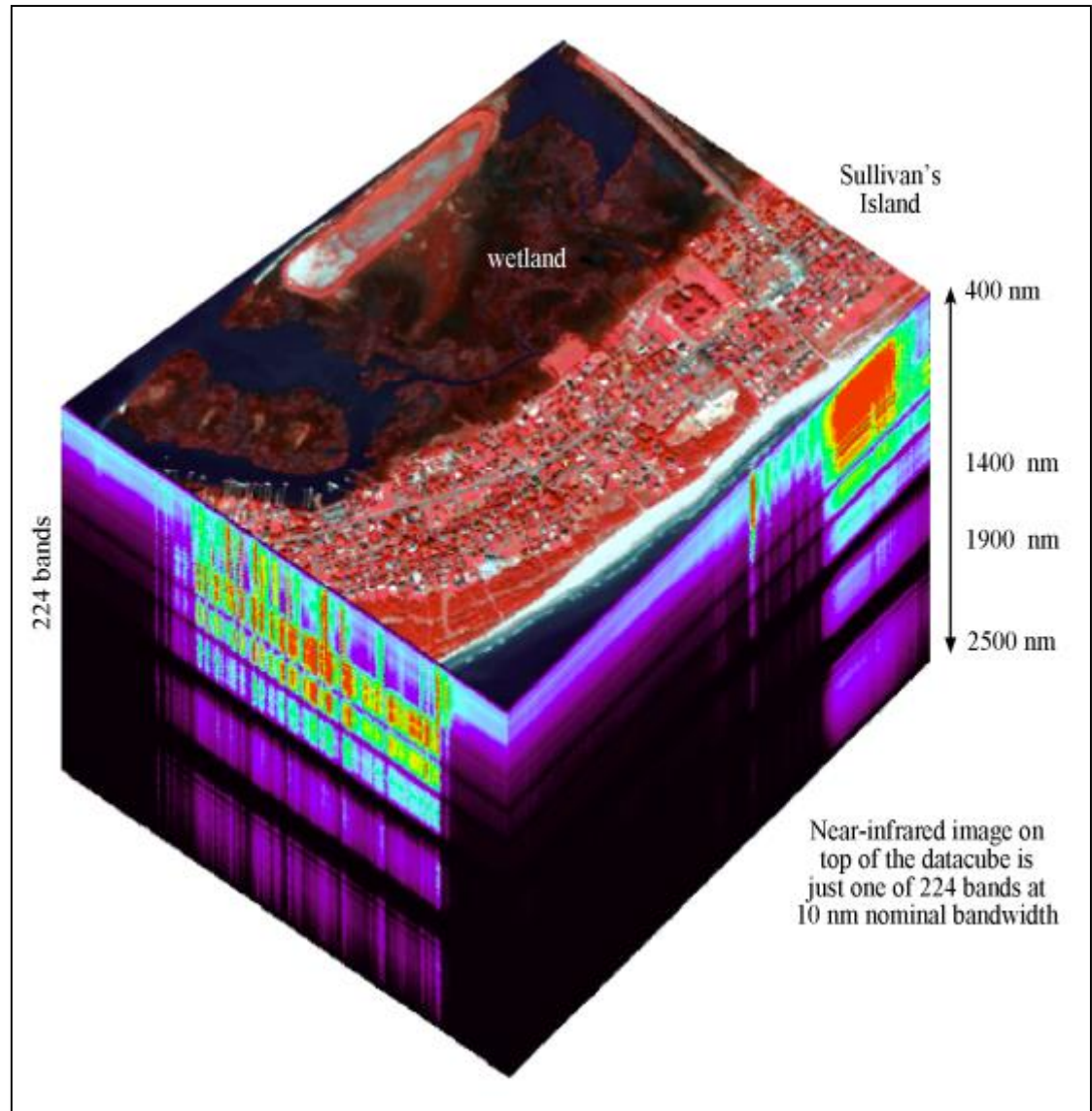


d. Multispectral remote sensing

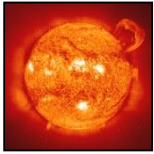
Hyperspektrálne snímanie

Pasívna metóda DPZ umožňujúca zaznamenať elektromagnetické žiarenie vo veľkom množstve spektrálnych pásiem, ktoré majú úzky rozsah.

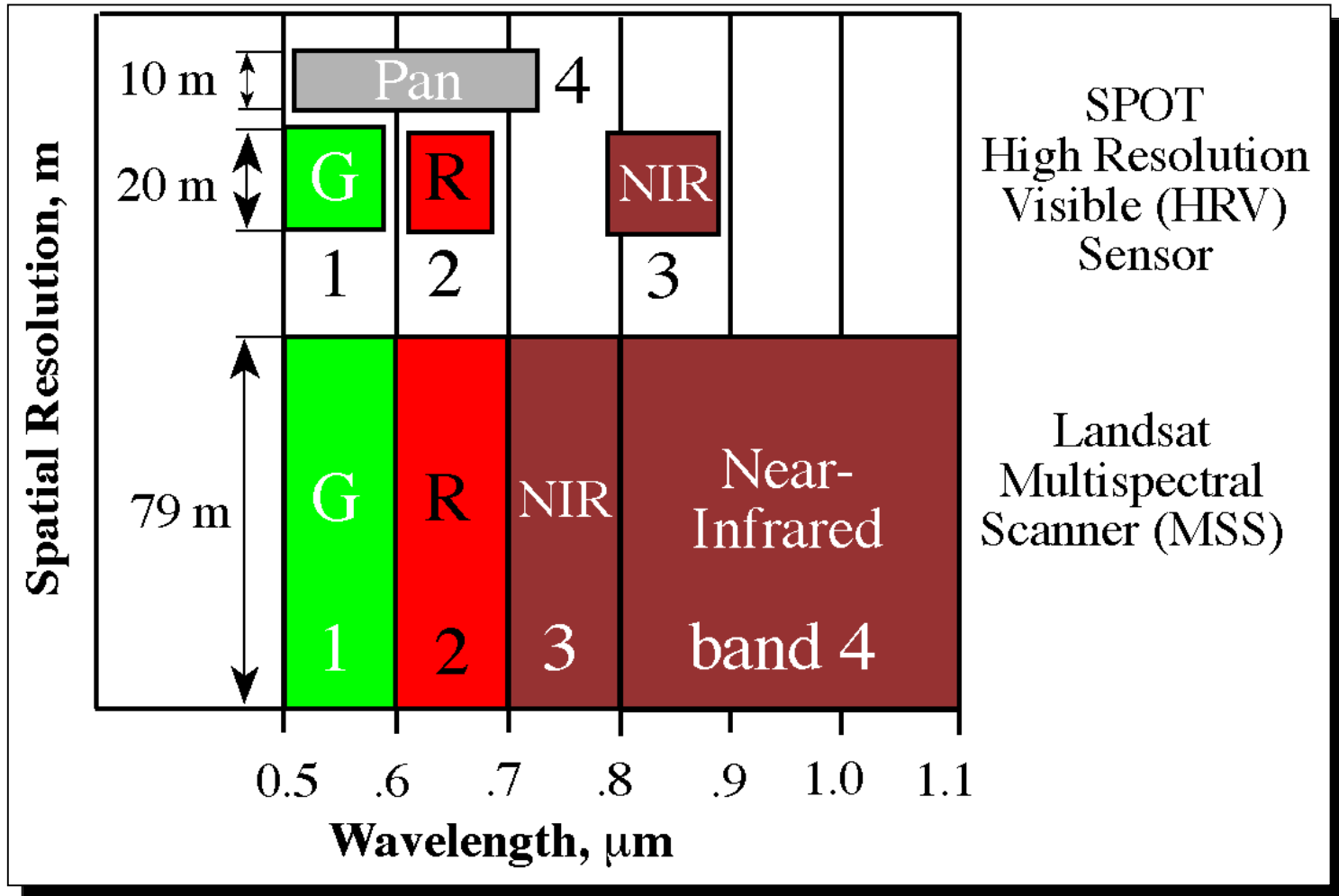
Farebné kompozícia odrazivosti v infračervenom pásme na vrchu dátovej kocky pozostávajúcej zo záznamu elektromagnetickej energie v 224 spektrálnych pásmach širokých 10 nm.



Airborne Visible Infrared Imaging Spectrometer (AVIRIS) Datacube of Sullivan's Island Obtained on October 26, 1998 (Jensen, 2007)

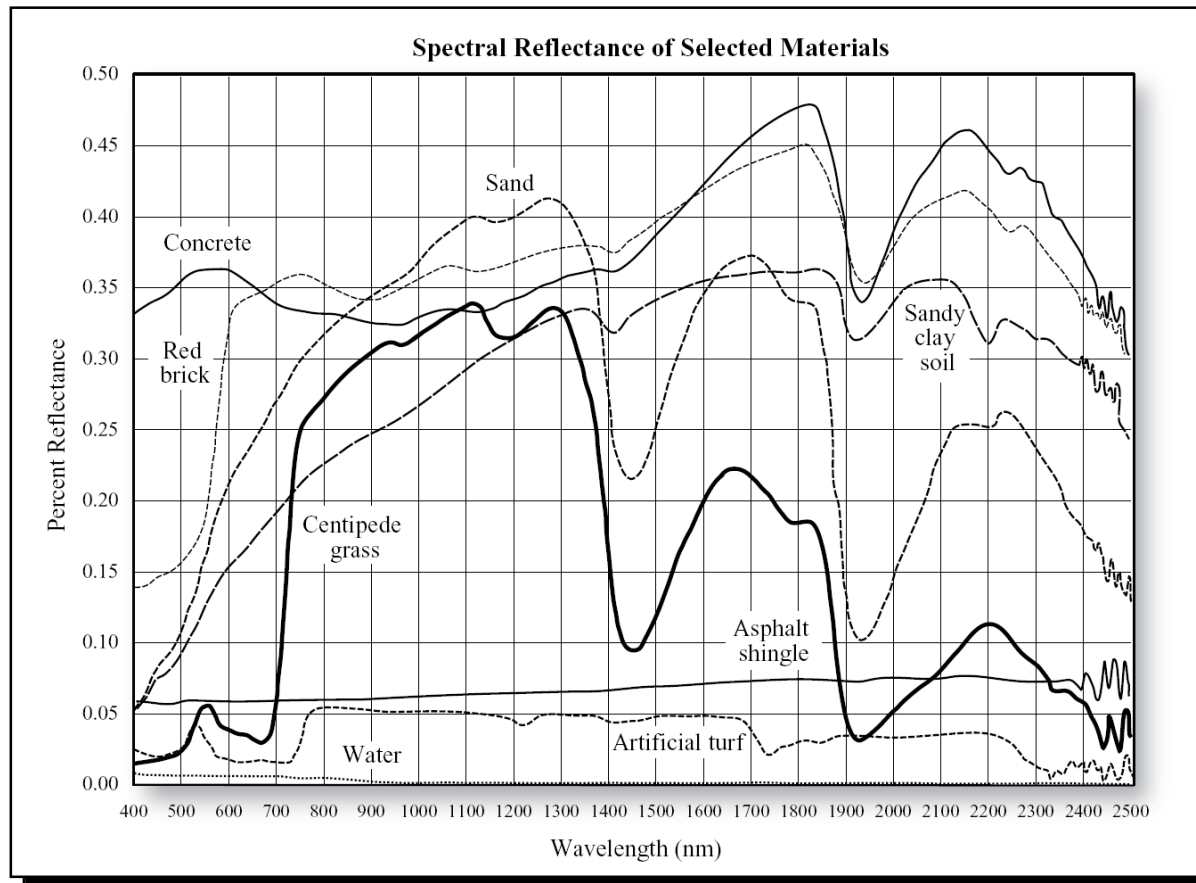


Spectral bands of the Landsat and SPOT sensors



Podstata multispektrálneho záznamu

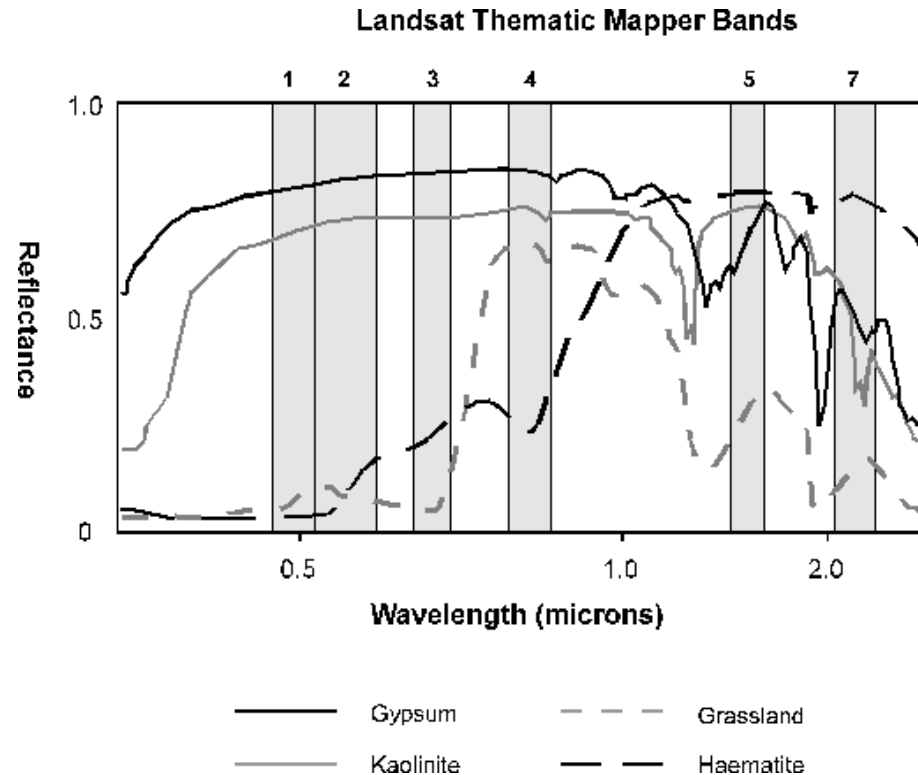
- Každý rozsah vlnovej dĺžky (pásmo) v satelitnom zázname bol zvolený z určitého dôvodu.
- Niektoré pásma boli zvolené pre mapovanie vegetácie, iné pre geologické mapovanie, iné pre mapovanie teploty povrchu, alebo mapovanie dna plytkých vôd.



- V laboratórnych podmienkach je možné ožariť vzorku horniny alebo minerálu EMG žiarením („svetlom“) a merať intenzitu odrazeného žiarenia pre jednotlivé vlnové dĺžky žiarenia EMG spektra.
- Rôzne typy materiálov sa prejavujú rôznou odrazivosťou v rôznych častiach spektra.

Podstata multispektrálneho záznamu

- Sadrovec a ílový minerál kaolinit sú charakterizované vysokou odrazivosťou vo viditeľnej (TM band 1, 2, 3) a blízkej infračervenej (TM band 4) a absorpciou žiarenia v strednom infračervenom pásme (TM band 5). Pásmo 7 senzora TM je sústredené v tejto oblasti pohltania EMG žiarenia obomi minerálmi.
- Horniny s vysokým obsahom hematitu a železa majú najvyššiu odrazivosť v strednom infračervenom pásme (TM band 5, 7) a najviac pohlcujú žiarenia v modrom (TM band 1) and v ultrafialovom pásme.
- Zelená trávnatá vegetácia má najvyššiu odrazivosť v blízkom infračervenom pásme (TM band 4) a najviac absorbuje žiarenie v červenej časti spektra.
- Na základe spektrálnych vlastností vieme spoľahlivo odlíšiť jednotlivé typy plôch na multispektrálnom zázname.



Sensors on-board the Landsat satellites

Landsat 1 -3 satellites
equipped with the MultiSpectral Scanner (MSS)

MSS Bands

Band Number (L1-L3)	Band Number(L4-L5)	μm	Resolution*
4	~ 2 (0.52–0.60 μm)	0.5-0.6	68 m X 83 m
5	~ 3 (0.63–0.69 μm)	0.6-0.7	68 m X 83 m
6	~ 4 (0.76–0.90 μm)	0.7-0.8	68 m X 83 m
7	~ 4	0.8-1.1	68 m X 83 m
8	~ 6 (2.08–2.35 μm)	10.41-12.6	68 m X 83 m

Landsat 7, Enhanced Thematic Mapper plus

ETM+ Bands

Band Number	μm	Resolution
1	0.45-0.515	30 m
2	0.525-0.605	30 m
3	0.63-0.69	30 m
4	0.75-0.90	30 m
5	1.55-1.75	30 m
6	10.4-12.5	60 m
7	2.09-2.35	30 m
8	0.52-0.9	15 m

Landsat 4 -5 satellites

In addition to MSS they were equipped with the Thematic Mapper (TM) scanner

TM Bands

Band Number	μm	Resolution
1	0.45-0.52	30 m
2	0.52-0.60	30 m
3	0.63-0.69	30 m
4	0.76-0.90	30 m
5	1.55-1.75	30 m
6	10.4-12.5	120 m
7	2.08-2.35	30 m

Landsat 8, Operational Land Imager
and Thermal InfraredSensor

OLI Bands

Band Number	μm	Resolution
1	0.433–0.453	30 m
2	0.450–0.515	30 m
3	0.525–0.600	30 m
4	0.630–0.680	30 m
5	0.845–0.885	30 m
6	1.560–1.660	60 m
7	2.100–2.300	30 m
8	0.500–0.680	15 m
9	1.360–1.390	30 m

TIRS Bands

Band Number	μm	Resolution
10	10.6-11.2	100 m
11	11.5-12.5	100 m

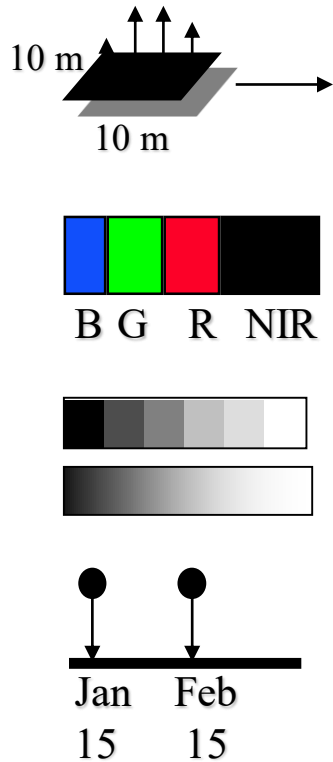
Kombinácie pásiem LANDSAT Thematic Mapper

Thematic Mapper (TM)	Landsat	Wavelength (micrometers)	Resolution (meters)
	4-5		
	Band 1	0.45-0.52	30
	Band 2	0.52-0.60	30
	Band 3	0.63-0.69	30
	Band 4	0.76-0.90	30
	Band 5	1.55-1.75	30
	Band 6	10.40-12.50	120* (30)
	Band 7	2.08-2.35	30

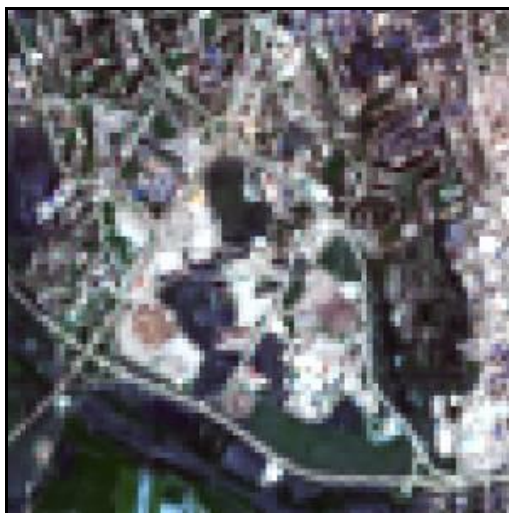
- Campbell et al. (2010)
- <http://web.pdx.edu/~emch/ip1/bandcombinations.html>

- 321: kompozícia v pravých farbách.
- 432: kompozícia v nepravých farbách s použitím blízkeho infračerveného pásma. Vegetácia sa javí v odtieňoch červenej, zastavané plochy v tyrkysovej až modrej, pôdy sa javia od tmavo po svetlohnedú. Ihličnaté stromy sa javia tmavšie červené ako listnaté stromy. Všeobecne sýte červené odtiene indikujú širokolisté rastliny, zdravé rastliny. Svetlejšie odtiene červenej indikujú trávnaté porasty a riedko vegetáciou porastené plochy. Táto kombinácia je často používaná pre monitoring stavu plodín, vlhkosť pôdy.
- 742: kompozícia využíva jedno pásmo z viditeľnej časti spektra, jedno z blízkej infračervenej časti a jedno zo strednej infračervenej časti. Zobrazuje scénu v nepravých farbách, avšak spôsobom podobným ich prirodzenému vzhľadu. Zdravá živá vegetácia sa javí vo svetlých odtieňoch zelenej, odkrytá pôda/zemina ružovo, suchá vegetácia a riedko porastené plochy sa javia oranžovo až hnedo, otvorená vodná plocha na modro. Táto kompozícia sa často používa v geologických aplikáciách pre suché/púštne oblasti, keďže rôzne typy pôd/hornín sa javia odlišne. Taktiež sa používa v poľnohospodárstve, lesníctve, v analýze horiacich a spálených oblastí.
- 451: Kompozícia využíva blízke infračervené, stredné infračervené a modré pásmo. Hlboká, nezakalená voda sa javí veľmi tmavo, plytká alebo zakalená voda sa javí v odtieňoch svetlomodrej. Vegetácia je zobrazená v oranžových, hnedých a červených odtieňoch. Zelená a hnedá často reprezentuje odkrytú pôdu. Biela, tyrkysová a šedá reprezentujú väčšinou zastavané urbaizované plochy.
- 754: kompozícia používa odrazivosť mimo viditeľnej časti spektra (väčšie vlnové dĺžky), ktorá je menej citlivá na atmosféricky rozptyl. Pobrežná čiara je jasne a ostro odlišiteľná, veľmi dobre možno posudzovať vlhkosť odkrytej pôdy a mineralogické vlastnosti povrchu bez vegetácie. Kompozícia sa preto používa pre geologické aplikácie.
- 543: Okraje vodnej plochy ostro vynikajú. Zvýraznené sú rozdiely medzi rôznymi typmi vegetácie a ich stavu (fenologického, zdravotného) v odtieňoch hnedej, zelenej a oranžovej. Kompozícia je vhodná pre analýzu vlhkosti pôdy a celkovo obsahu vody na povrchu, vrátane vegetácie, čo je vhodné pre sledovanie jej kondície.

Rozlíšenie senzorov v DPZ



- **Spatial** - the size of the field-of-view, e.g. 10 x 10 m.
- **Spectral** - the number and size of spectral regions the sensor records data in, e.g. blue, green, red, near-infrared, thermal infrared, microwave (radar).
- **Radiometric** - the sensitivity of detectors to small differences in electromagnetic energy. (8bit, 16bit)
- **Temporal** - how often the sensor acquires data, e.g. every 30 days.



(a) veľkosť pixla 30 m



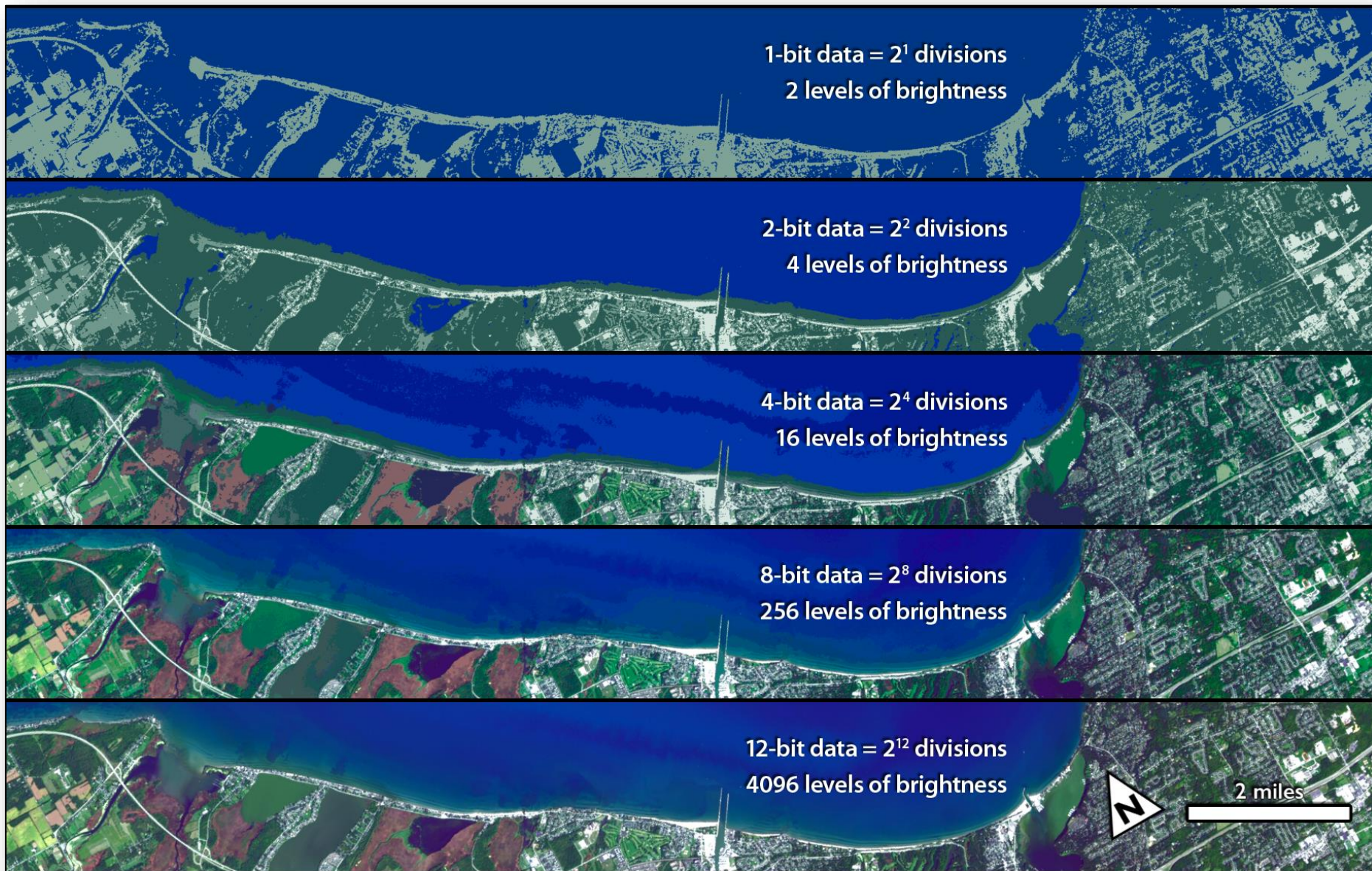
(b) veľkosť pixla 15 m



(c) veľkosť pixla 15 m

Obr. 8.8: Ukážka zaostrenia satelitnej snímky pomocou počítačovej operácie „pan-sharpening“ pre juhozápadnú časť Košíc s obchodnou zónou (2 x 2 km) zachytenú multispektrálnym skenerom OLI na družici LANDSAT 8 dňa 28. marca 2014. Vysvetlivky sú uvedené v texte. Zdroj dát: NASA/USGS

Rádiometrické rozlíšenie

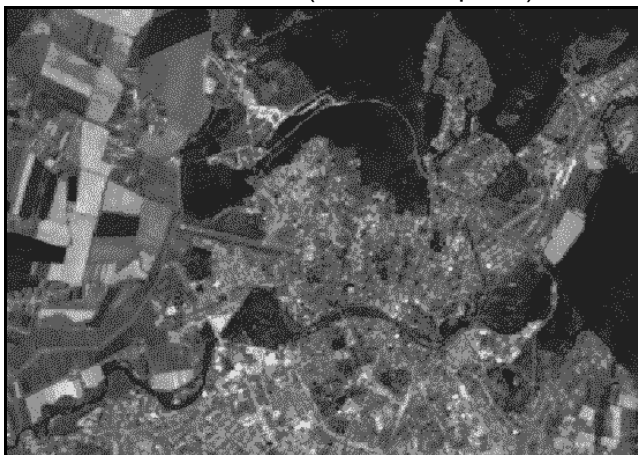




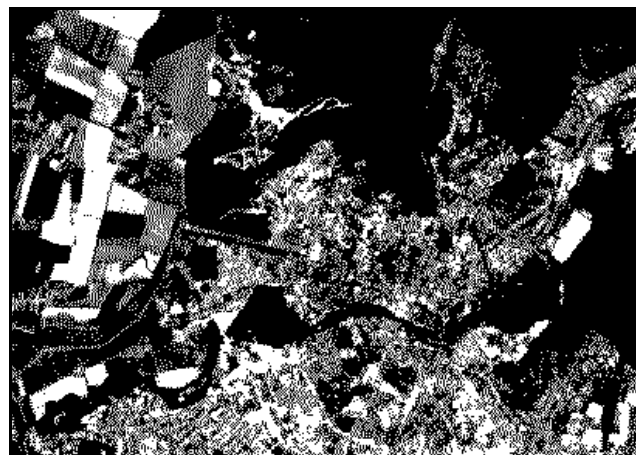
16 úrovní (4 bitová stupnica)



8 úrovní (3 bitová stupnica)

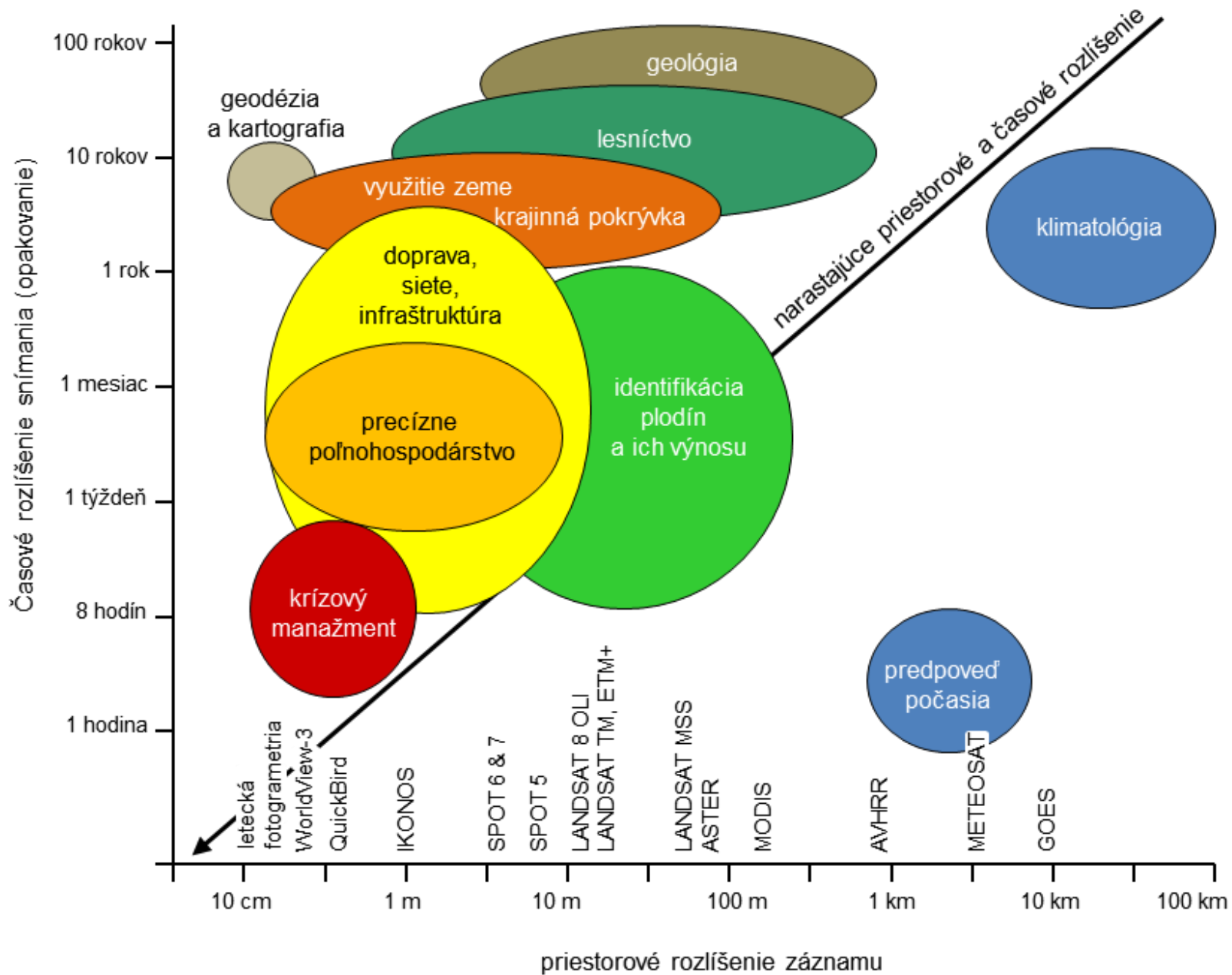


4 úrovne (2 bitová stupnica)



2 úrovne (1 bitová stupnica)

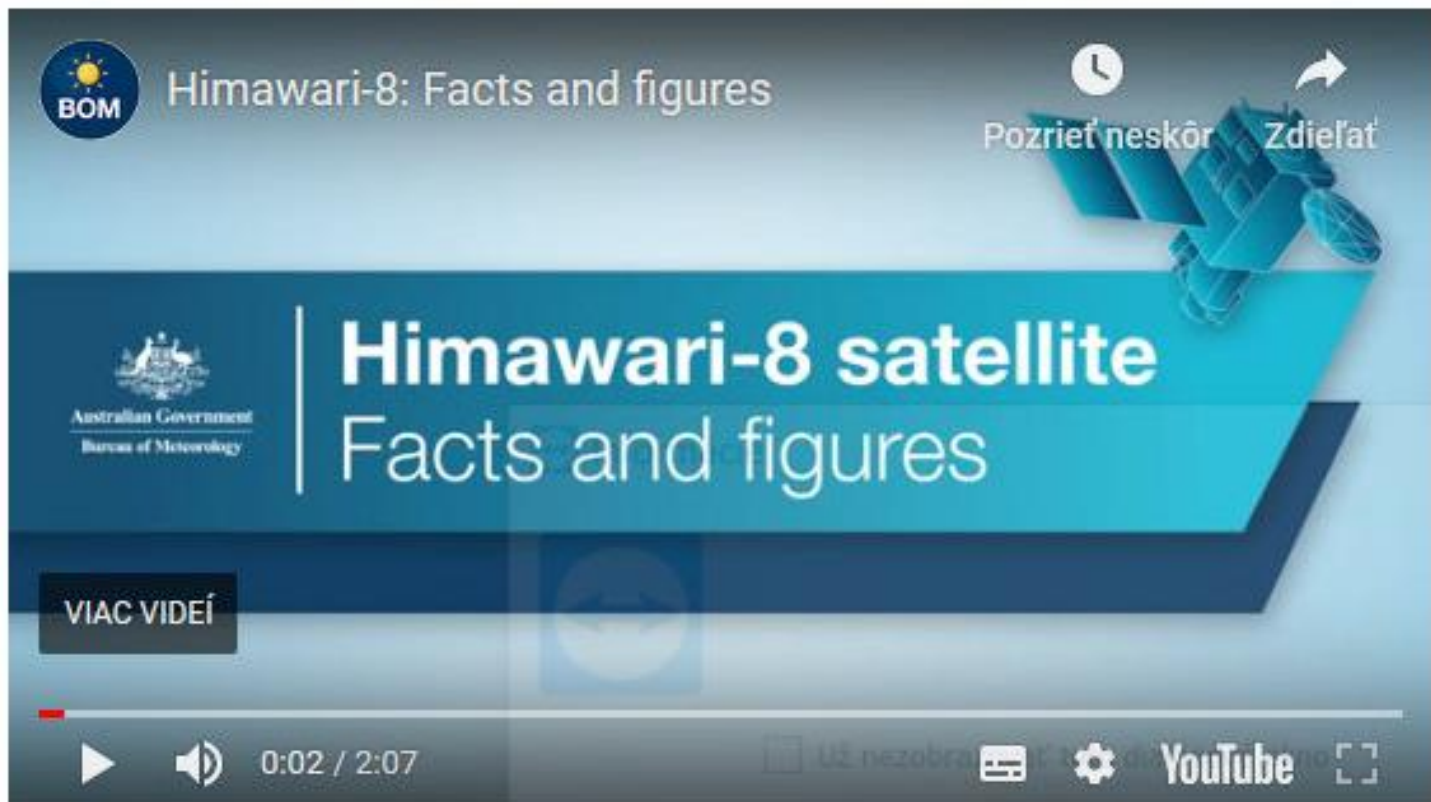
Obr. 8.10: Porovnanie rôznych úrovní rádiometrického rozlíšenia v odtieňoch šedej pre záznam odrazivosti v panchromatickom pásme (520 - 900 nm) zachytenom pomocou senzora ETM+ na družici LANDSAT 7 s priestorovým rozlíšením 15 m. Oblasť mesta Uzhhorod (7x12 km) na slovensko-ukrajinskom pohraničí dňa 15. mája 2008. Zdroj dát: NASA/USGS



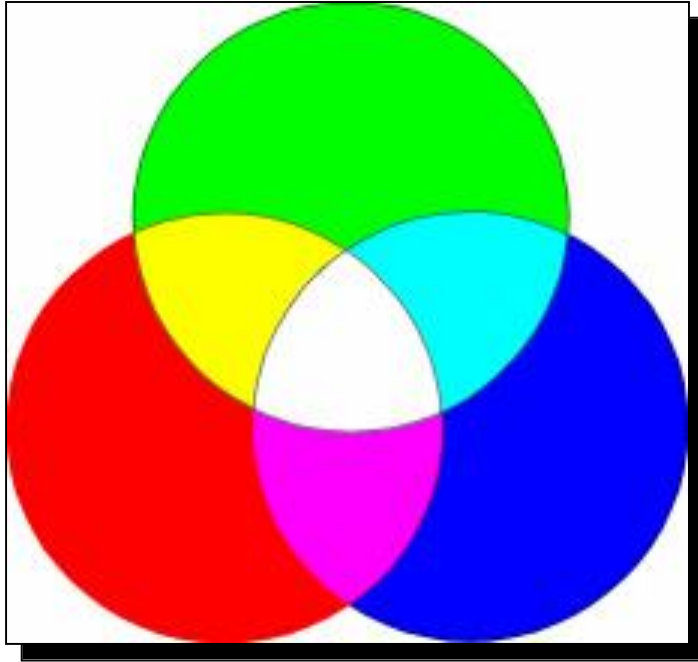
Porovnanie

- <http://www.bom.gov.au/australia/satellite/himawari.shtml>

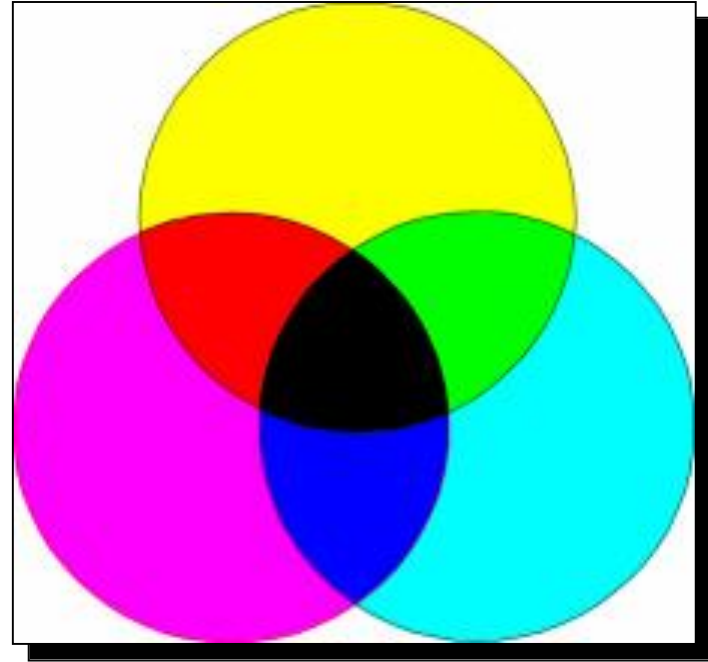
Himawari-8 and -9



Colour theory



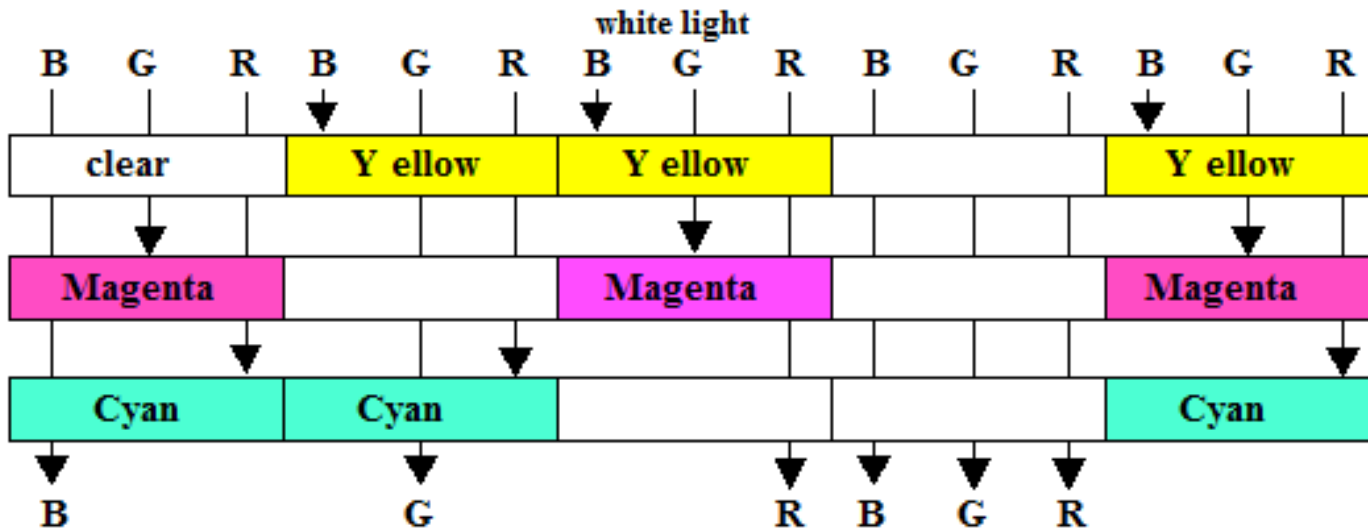
Additive Color



Subtractive Color

Colour theory and band composites

- In order to view the recorded reflectance by the sensors, the reflectance in particular spectral band is displayed on the monitor using the RGB colour model (through red, green and blue channels RGB)
- The colourful effect is achieved in our brain by perceiving different combination of intensity values via the RGB channels.



D. Colors in the Positive Transparency Viewed by the Photo-interpreter



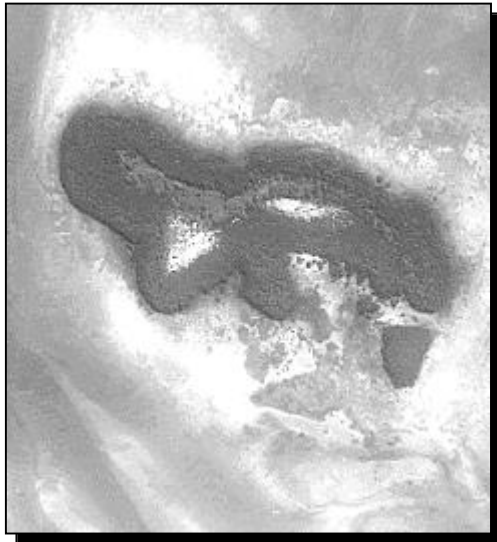
blue - the
complementary
color of yellow

green - the
complementary
color of magenta

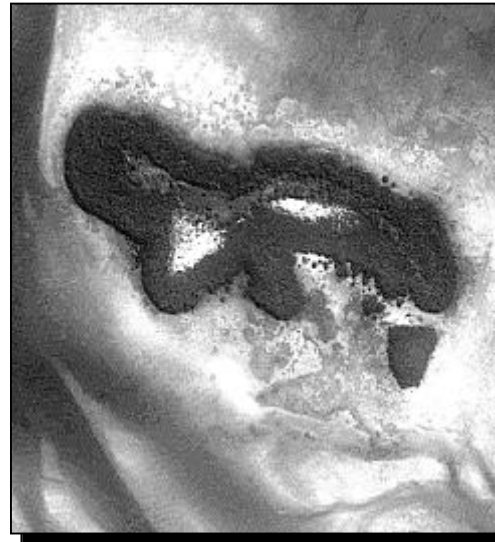
red - the
complementary
color of cyan

Záznam v troch vybraných spektrálnych pásmach multispektrálneho senzoru MSS na družici LANDSAT 3

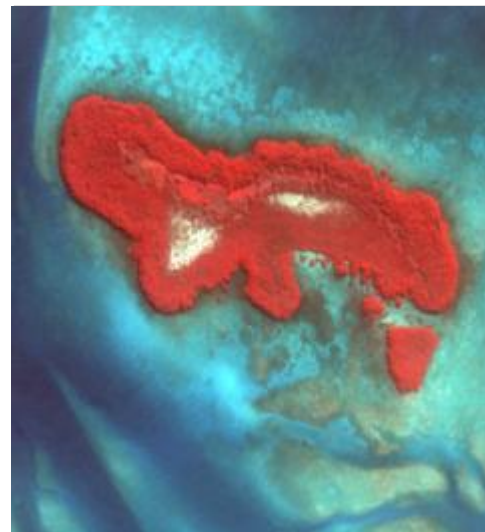
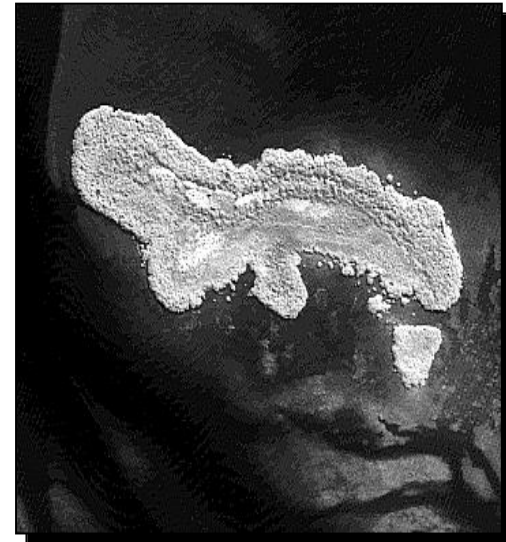
Odrazivosť v zelenom pásme



v červenom

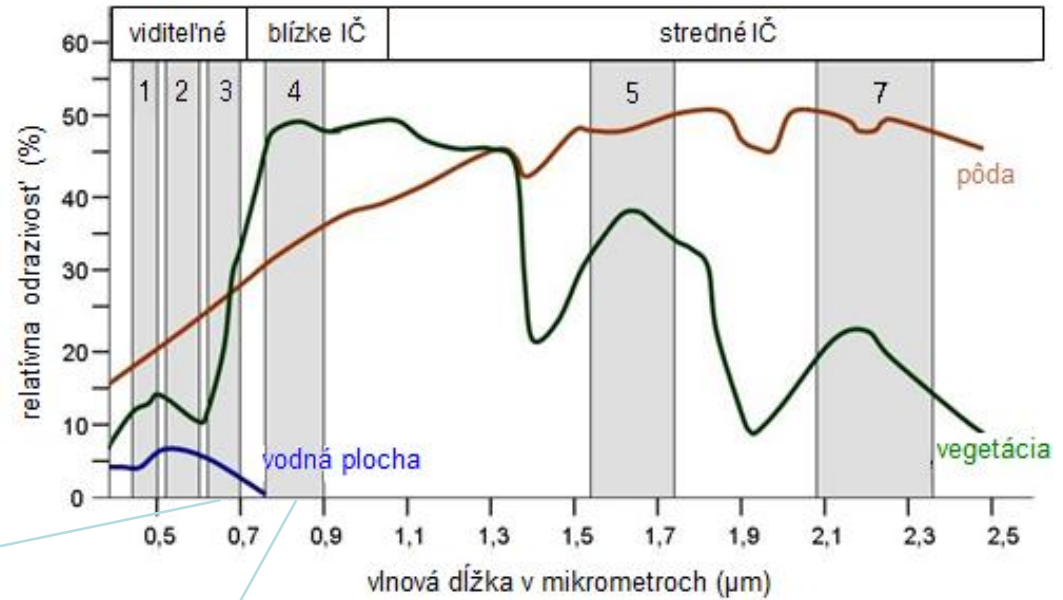


v infračervenom (NIR/CIR)



Farebná kompozícia (syntéza)
RGB (monitor) = NIR, red,
green

Relatívna spektrálna odrazivosť troch rôznych typov povrchu a spektrálny rozsah pásiem (1-5, 7) multispektrálneho skenera ETM+ na družici Landsat 7.



(a)



(b)

Výrez snímky zaznamenávajúcej odrazivosť v červenej (a) a v infračervenej časti spektra (b) získanej družicou LANDSAT 7 senzorom ETM+ pre oblasť Užhorodu (12 x 12km) na slovensko-ukrajinskom pohraničí dňa 15. mája 2008. Zdroj dát: NASA/USGS

Multispektrálny záznam družice LANDSAT 7 senzorom ETM+

Relatívna odrazivosť:



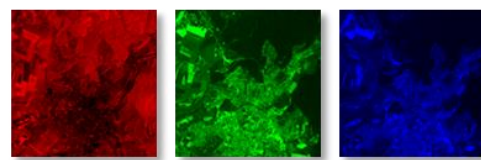
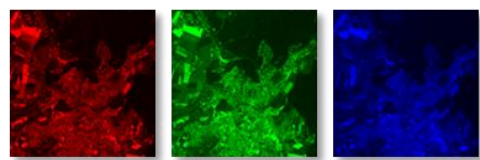
kanál 1 (450-515 nm) kanál 2 (525-605 nm) kanál 3 (630-690 nm) kanál 4, (750-900 nm)



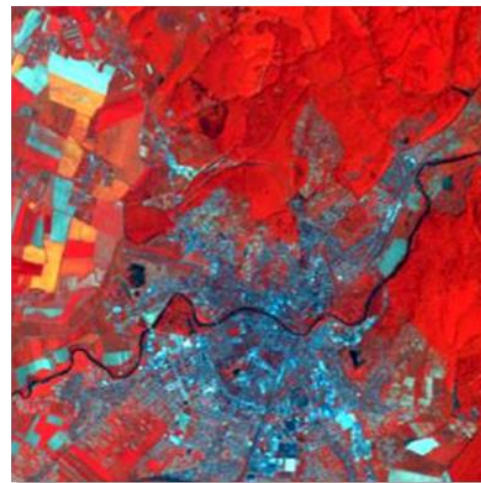
RGB zobrazovacie kanály

Red = kanál 3, Green = kanál 2, Blue = kanál 1

Red = kanál 4, Green = kanál 2, Blue = kanál 1



RGB farebná syntéza v prirodzených farbách



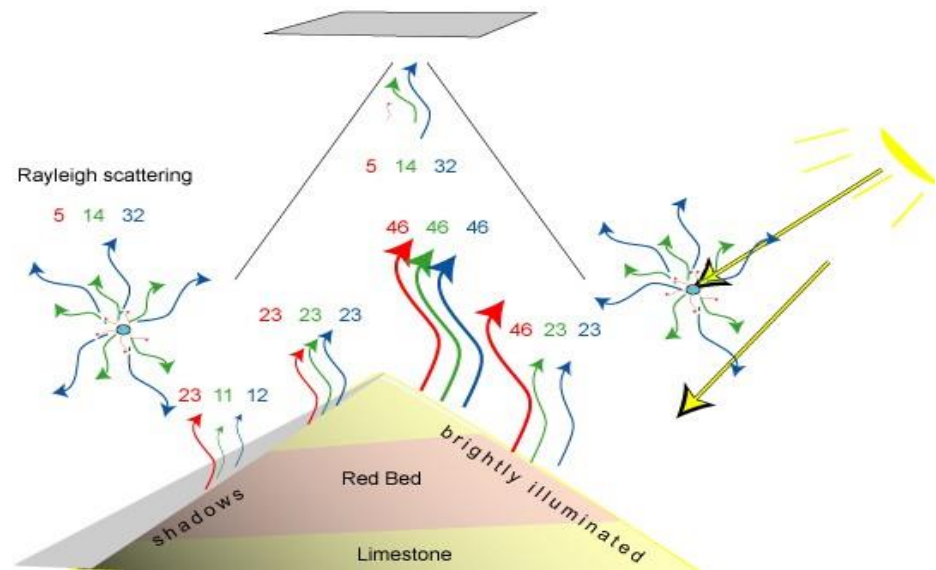
RGB farebná syntéza v nepravých farbách

Vizualizácia záznamu v štyroch spektrálnych kanáloch multispektrálneho skenera ETM+ na družici LANDSAT 7 a odvodené RGB farebné syntézy pre oblasť Užhorodu (12 x 12km) na slovensko-ukrajinskom pohraničí dňa 15. mája 2008.
Zdroj dát: NASA/USGS

Band ratios (index)

- Band ratios are useful for extracting information purely based on spectral properties of the earth surface.
- The ratio of two bands removes much of the effect of illumination (e.g. shadows) in the analysis of spectral differences.
- This is possible because the composition differences between two geologic units (here limestone, which is "grey white" in RGB321, and "red bed" which is red in RGB321)

determine the ratio of any two bands, whereas the illumination determines the magnitude of reflectance received by the satellite sensor (recorded as the digital number, DN, usually 0-255).

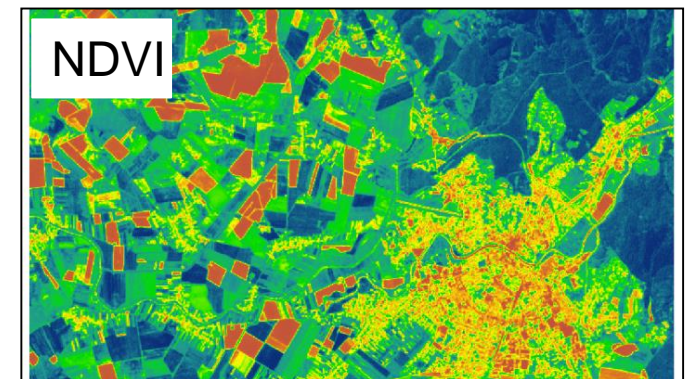
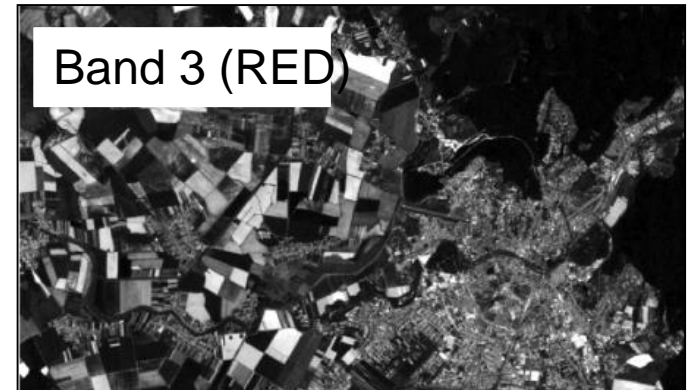


Band ratios (index) example

Normalized difference vegetation index (NDVI)

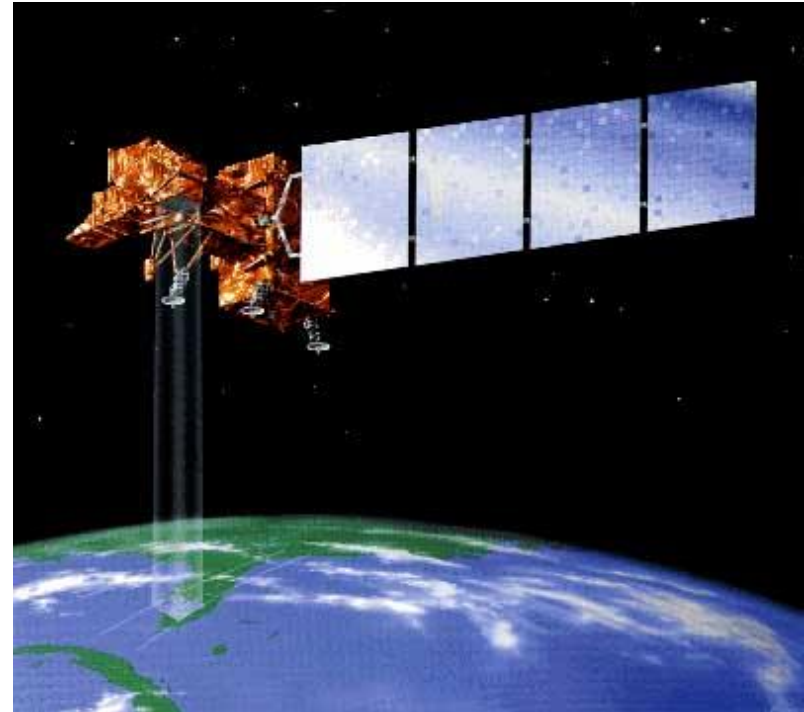
- The documented and default NDVI equation is as follows:
- $NDVI = ((IR - R)/(IR + R))$
 - IR = pixel values from the infrared band
 - R = pixel values from the red band
- This index outputs values between -1.0 and 1.0, mostly representing greenness, where any negative values are mainly generated from clouds, water, and snow, and values near zero are mainly generated from rock and bare soil.
- Very low values (0.1 and below) of NDVI correspond to barren areas of rock, sand, or snow. Moderate values (0.2 to 0.3) represent shrub and grassland, while high values (0.6 to 0.8) indicate temperate and tropical rainforests.

Landsat ETM+ 15 May 2008,
Uzhorod, Ukraine



Earth observation satellites

- There are thousands of satellites dedicated to different purposes (telecommunication, navigation, observation, military, biomonitring)
- From th remote sensing point of view the Earth observation satellites are the most important.
- See the list:
http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_Earth_observation_satellites
- Most relevant for geology:
 - LANDSAT, SPOT, ASTER, ERS, EOS, GEOS, AVHRIS, RADARSAT, GEOEYE, NOAA, ENVISAT, ...



LANDSAT program

For over 40 years, the Landsat program has collected spectral information from Earth's surface, creating a historical archive unmatched in quality, detail, coverage, and length.

Instrument ↕	Picture ↕	Launched ↕	Terminated ↕
Landsat 1		July 23, 1972	January 6, 1978
Landsat 2		March 5, 1978	January 22, 1981
Landsat 3		March 5, 1978	March 31, 1983

Landsat 4		July 16, 1982	December 14, 1993
Landsat 5		March 1, 1984	June 5, 2013 ^[7]
Landsat 6		October 5, 1993	October 5, 1993
Landsat 7		April 15, 1999	Still active
Landsat 8		February 11, 2013	Still active

Sensors on-board the Landsat satellites

Landsat 1 -3 satellites
equipped with the MultiSpectral Scanner (MSS)

MSS Bands

Band Number (L1-L3)	Band Number(L4-L5)	μm	Resolution*
4	~ 2 (0.52–0.60 μm)	0.5-0.6	68 m X 83 m
5	~ 3 (0.63–0.69 μm)	0.6-0.7	68 m X 83 m
6	~ 4 (0.76–0.90 μm)	0.7-0.8	68 m X 83 m
7	~ 4	0.8-1.1	68 m X 83 m
8	~ 6 (2.08–2.35 μm)	10.41-12.6	68 m X 83 m

Landsat 7, Enhanced Thematic Mapper plus

ETM+ Bands

Band Number	μm	Resolution
1	0.45-0.515	30 m
2	0.525-0.605	30 m
3	0.63-0.69	30 m
4	0.75-0.90	30 m
5	1.55-1.75	30 m
6	10.4-12.5	60 m
7	2.09-2.35	30 m
8	0.52-0.9	15 m

Landsat 4 -5 satellites

In addition to MSS they were equipped with the Thematic Mapper (TM) scanner

TM Bands

Band Number	μm	Resolution
1	0.45-0.52	30 m
2	0.52-0.60	30 m
3	0.63-0.69	30 m
4	0.76-0.90	30 m
5	1.55-1.75	30 m
6	10.4-12.5	120 m
7	2.08-2.35	30 m

Landsat 8, Operational Land Imager
and Thermal InfraredSensor

OLI Bands

Band Number	μm	Resolution
1	0.433–0.453	30 m
2	0.450–0.515	30 m
3	0.525–0.600	30 m
4	0.630–0.680	30 m
5	0.845–0.885	30 m
6	1.560–1.660	60 m
7	2.100–2.300	30 m
8	0.500–0.680	15 m
9	1.360–1.390	30 m

TIRS Bands

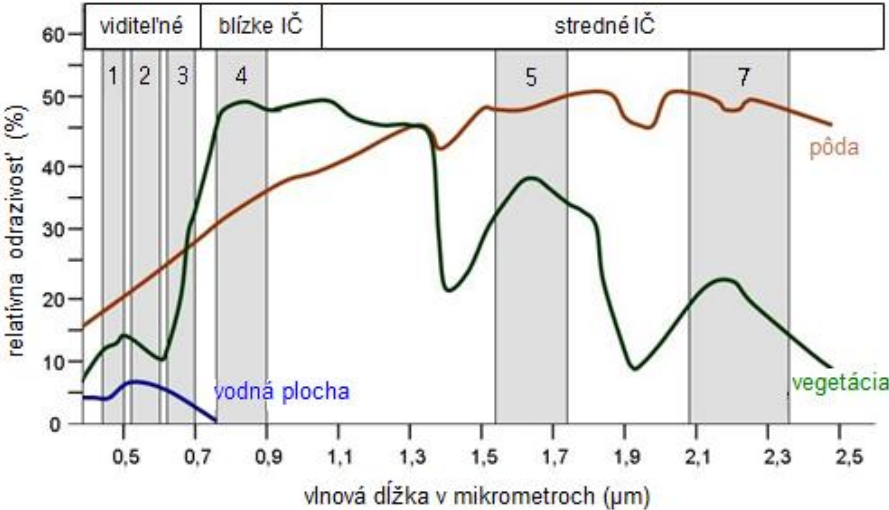
Band Number	μm	Resolution
10	10.6-11.2	100 m
11	11.5-12.5	100 m

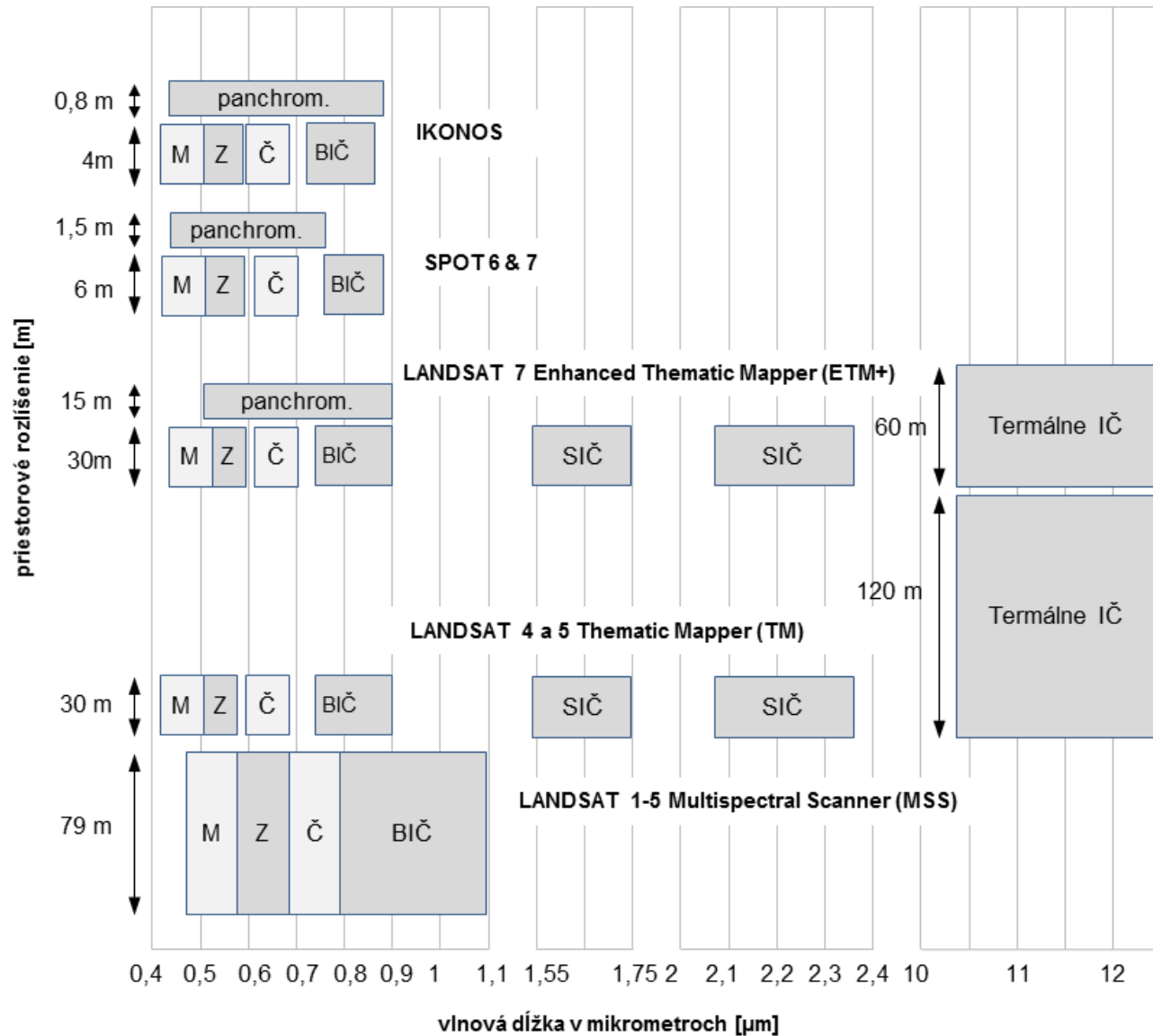
Landsat 7		April 15, 1999	Still active
-----------	---	----------------	--------------

Landsat 7, Enhanced Thematic Mapper plus

ETM+ Bands

Band Number	μm	Resolution
1	0.45-0.515	30 m
2	0.525-0.605	30 m
3	0.63-0.69	30 m
4	0.75-0.90	30 m
5	1.55-1.75	30 m
6	10.4-12.5	60 m
7	2.09-2.35	30 m
8	0.52-0.9	15 m





Online data resources

- https://lpdaac.usgs.gov/data_access
 - <http://glovis.usgs.gov/>
 - <http://earthexplorer.usgs.gov/>
 - SRTM <https://lta.cr.usgs.gov/SRTM2>

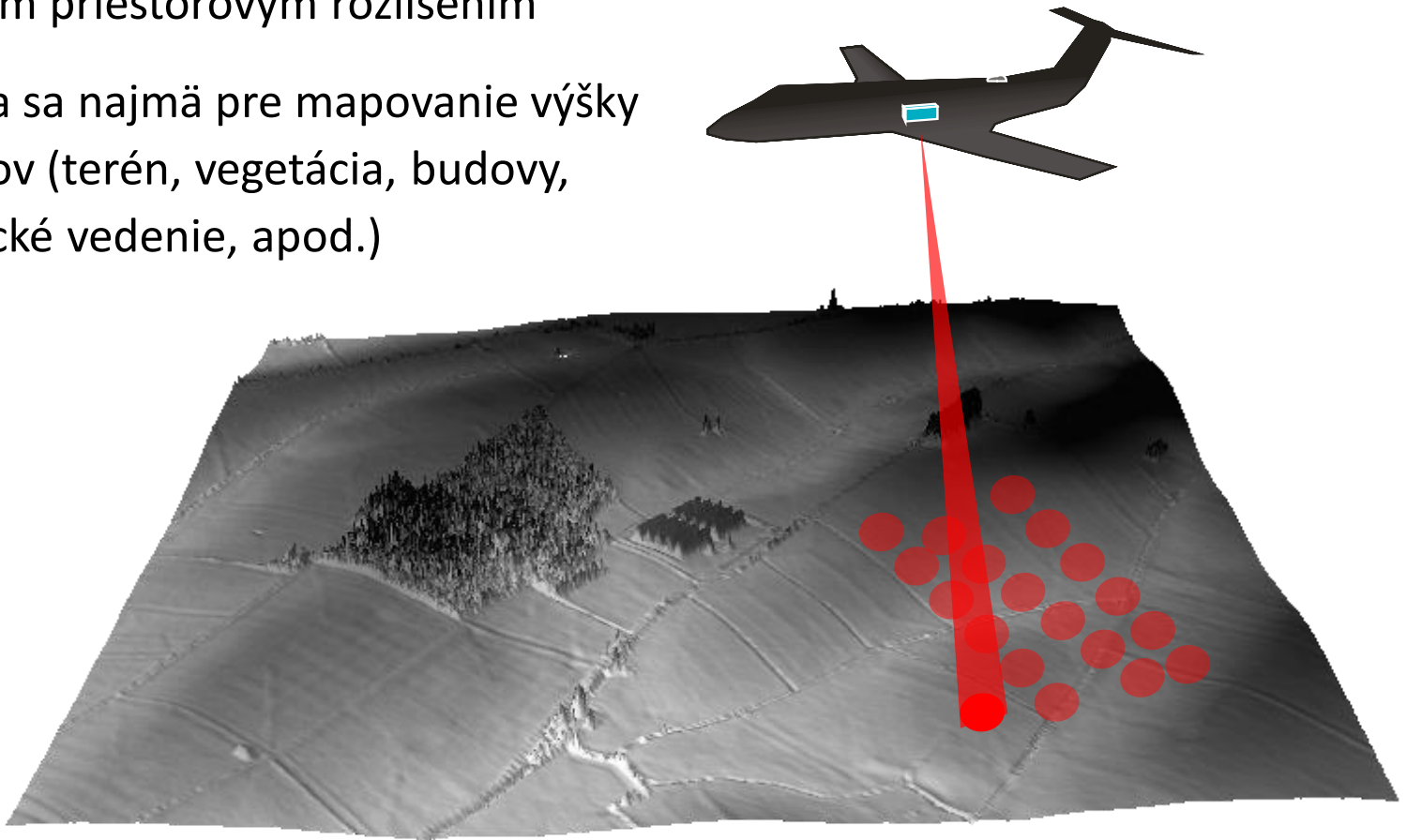
Active remote sensing

The most widely used active remote sensing systems include:

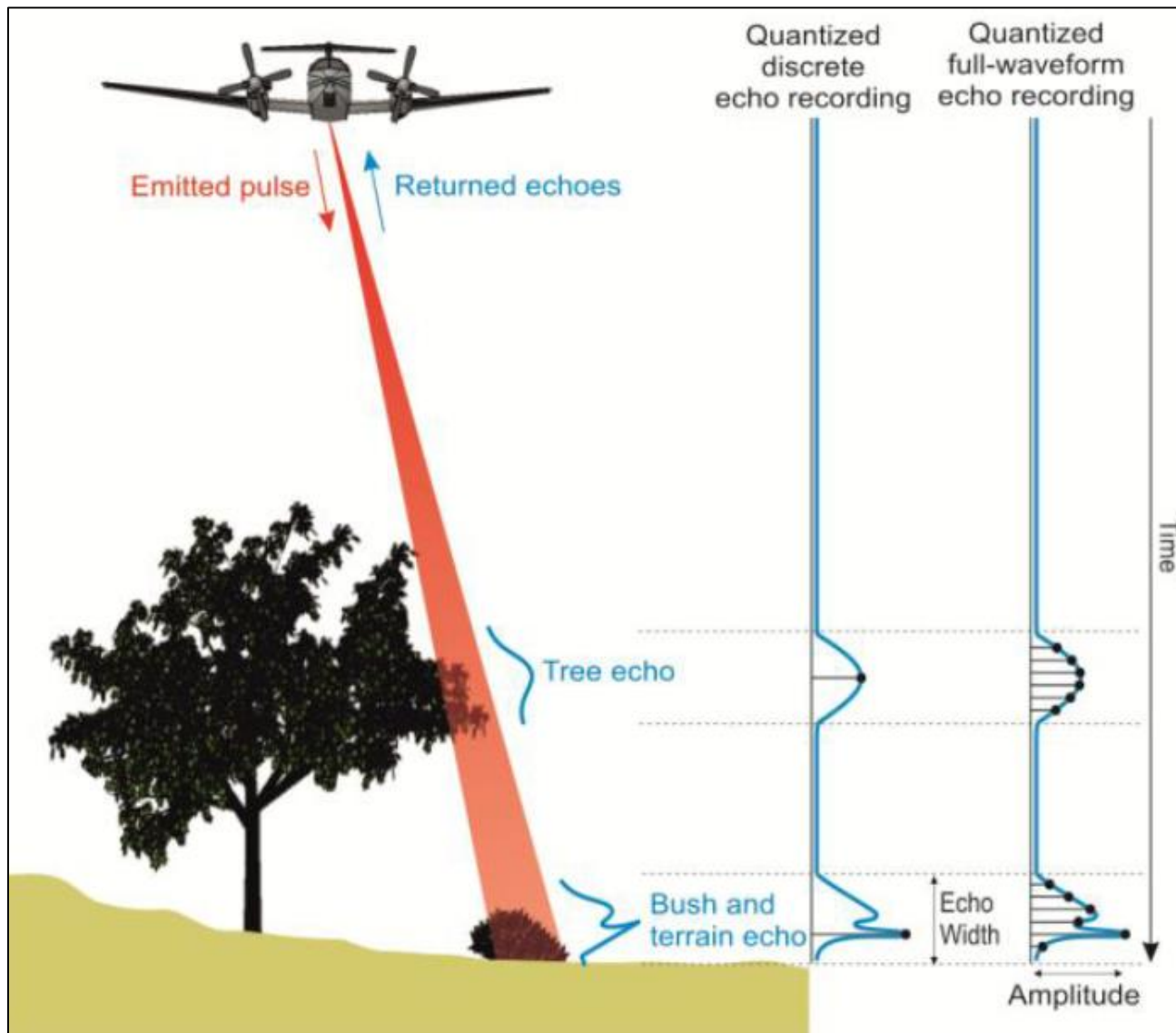
- active microwave (RADAR), based on the transmission of long-wavelength microwaves (e.g., 3 – 25 cm) through the atmosphere and then recording the amount of energy back-scattered from the terrain;
- LIDAR, which is based on the transmission of relatively short-wavelength laser light (e.g., 0.90 μm) and then recording the amount of light back-scattered from the terrain; and
- SONAR, which is based on the transmission of sound waves through a water column and then recording the amount of energy back-scattered from the bottom or from objects within the water column.

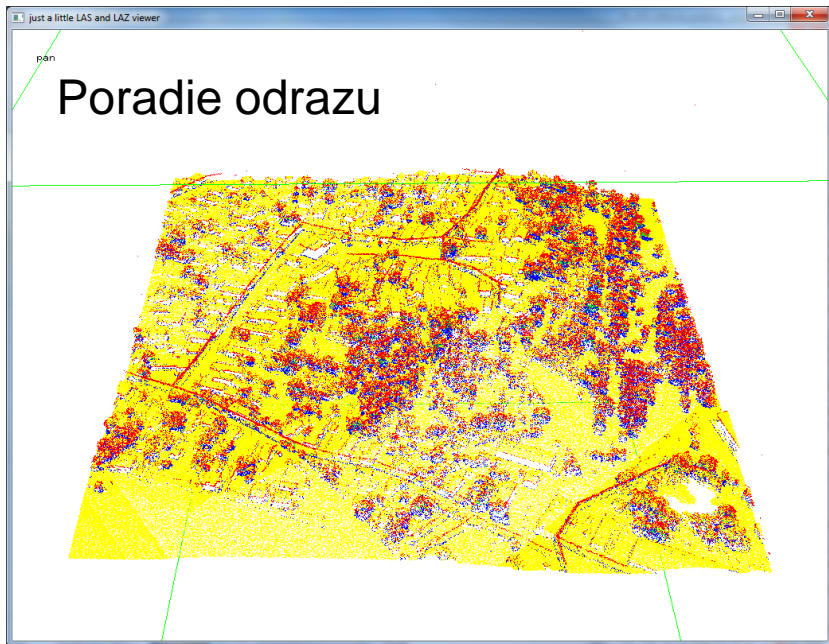
Topografický LiDAR, laserová altimetria

- Veľmi efektívna technológia pre zber polohovo lokalizovaných informácií s vysokou presnosťou a vysokým priestorovým rozlíšením
- Využíva sa najmä pre mapovanie výšky objektov (terén, vegetácia, budovy, elektrické vedenie, apod.)



Diskétne a „full waveform“ lidarové snímanie

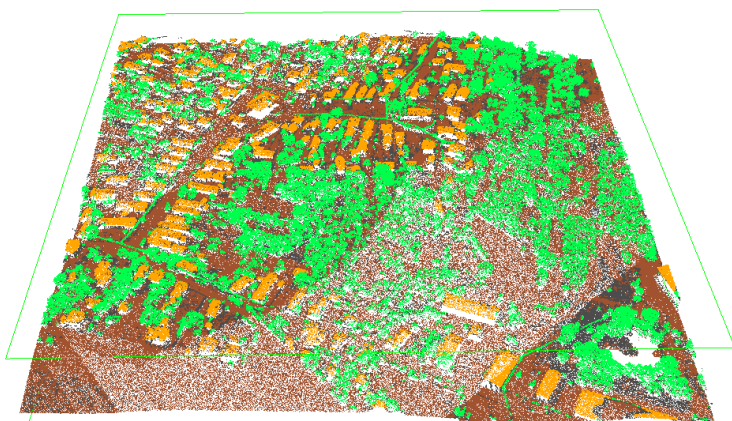




just a little LAS and LAZ viewer

pan

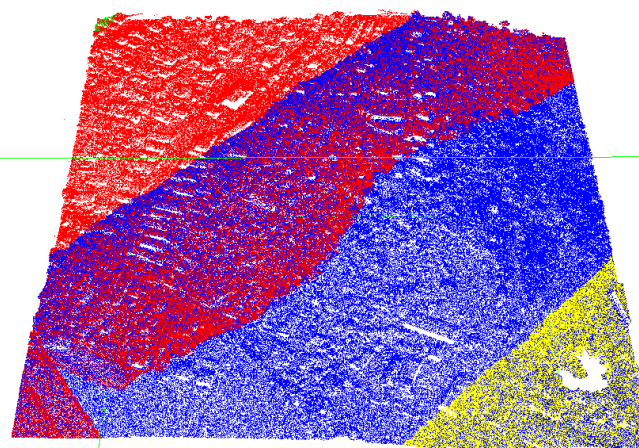
Klasifikácia (ground, buildings, vegetation)



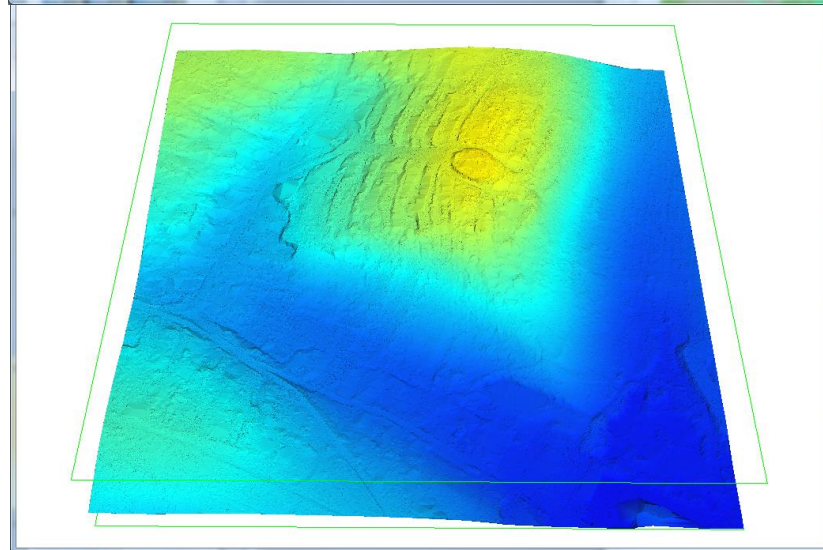
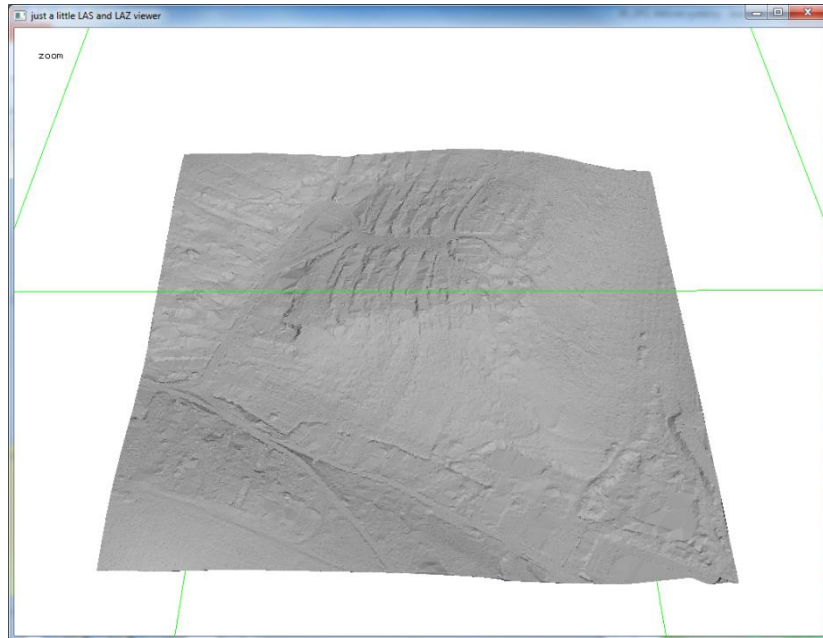
just a little LAS and LAZ viewer

zoom

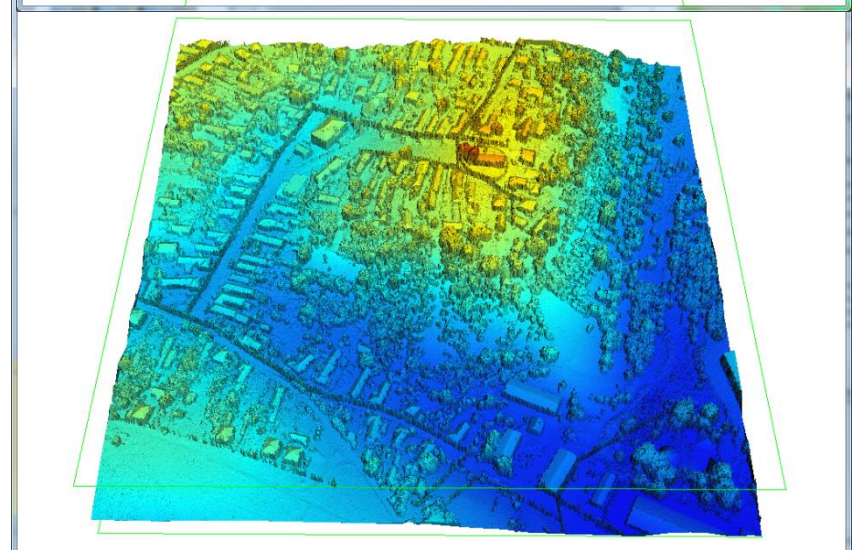
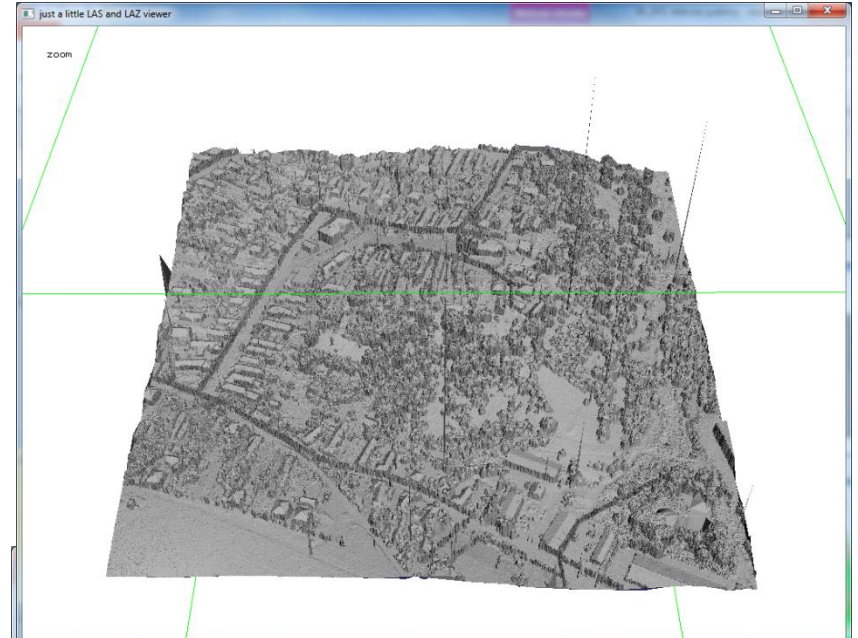
Letová čiara



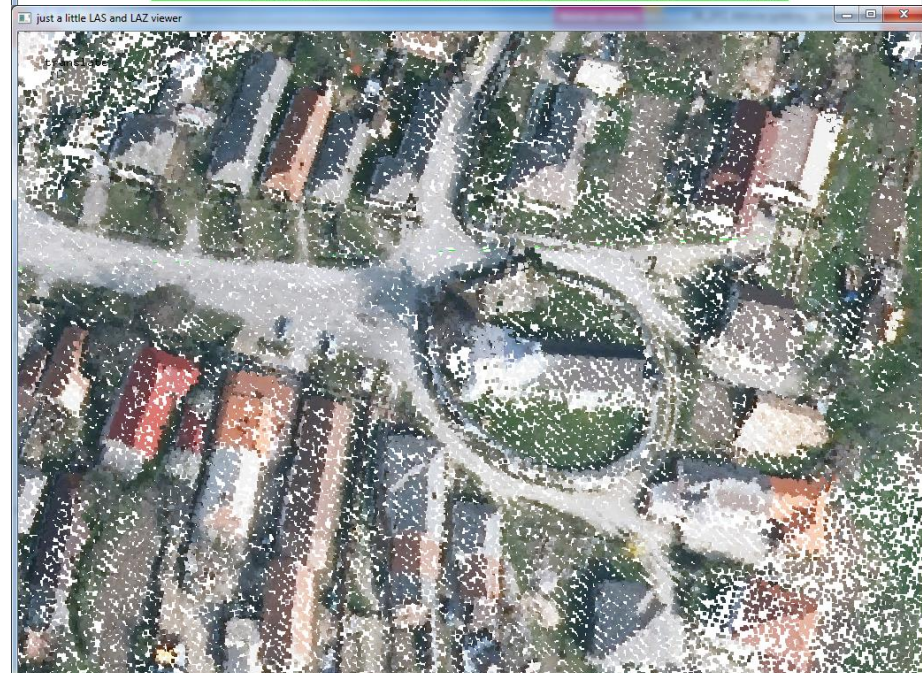
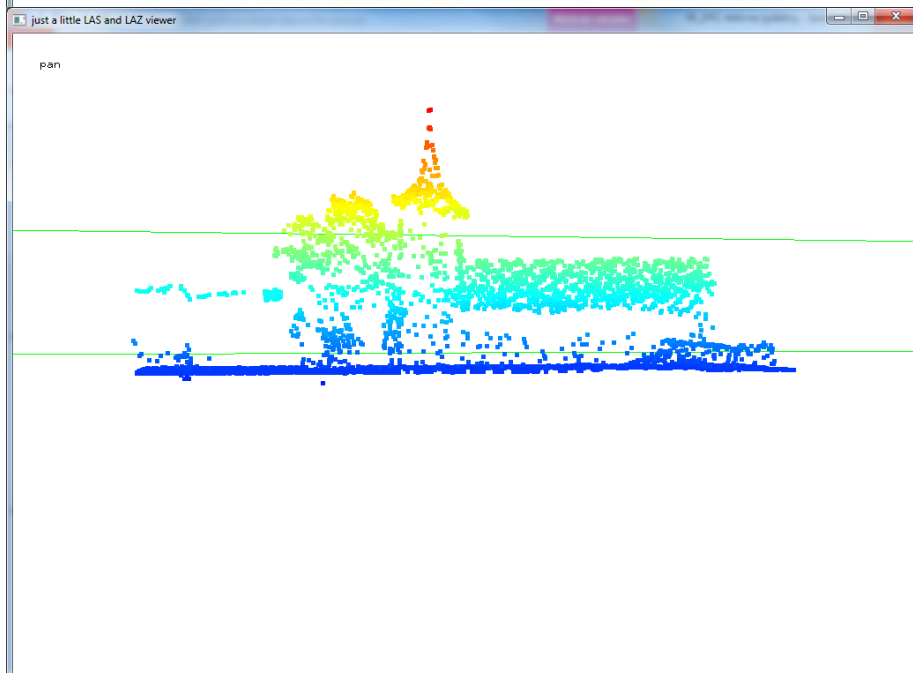
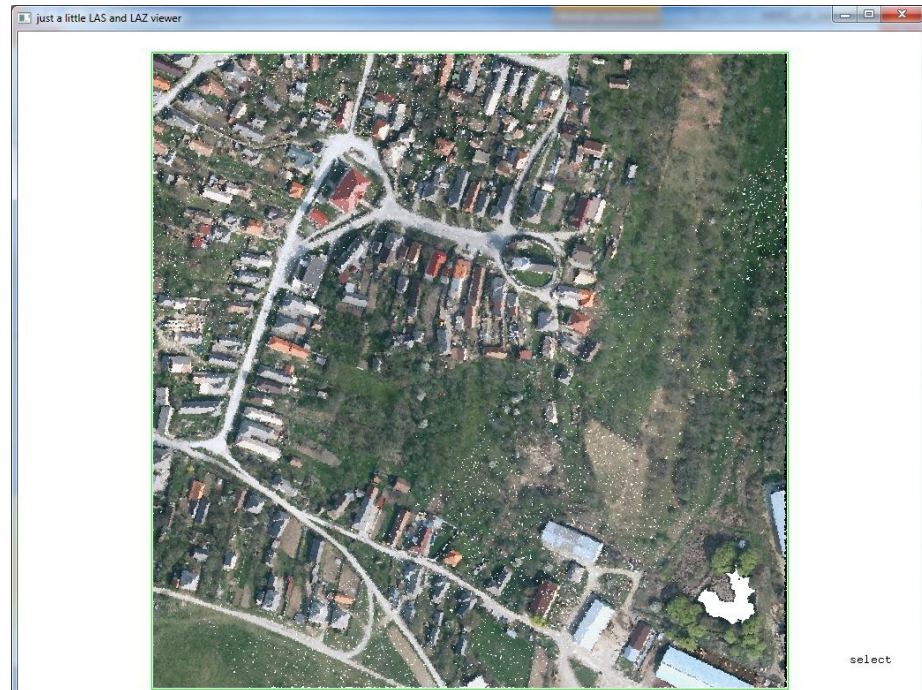
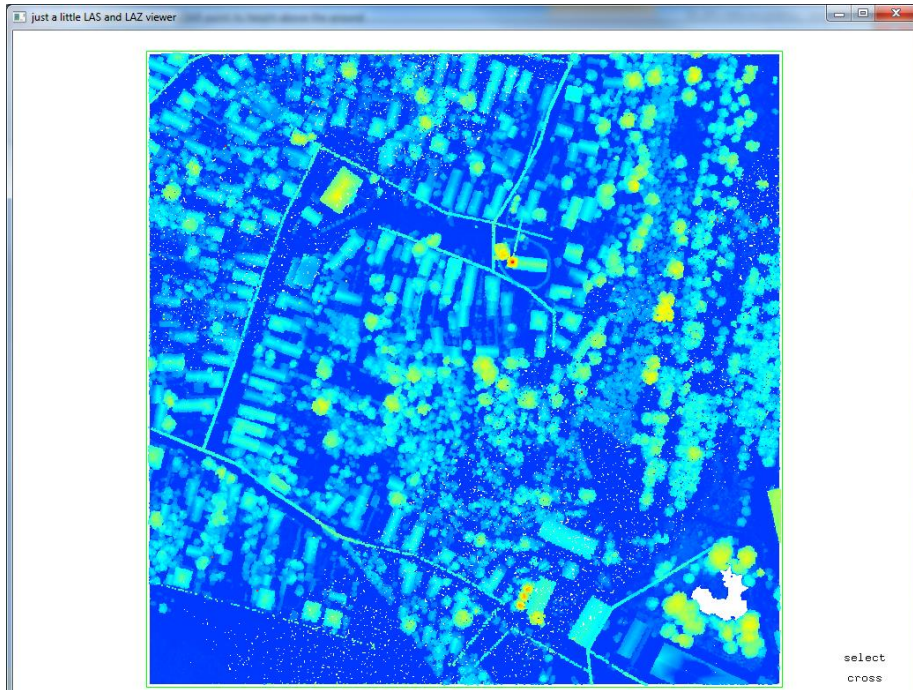
Digitálny model terénu (reliéfu) (DMR)



Digitálny model povrchu krajinného krytu (Digital Surface Model)



Normalizovaná výška (výška bodov nad terénom) Body s priradenou farbou podľa ortofotosnímky





Large-scale and high-resolution 3-D cave mapping by terrestrial laser scanning: a case study of the Domica Cave, Slovakia

Michal Gallyay¹, Ján Kaňuk¹, Zdenko Hochmuth¹, John D. Meneely², Jaroslav Hofierka¹, and Vladimír Sedlák¹

¹Institute of Geography, Faculty of Science, Pavol Jozef Šafárik University in Košice, Jesenná 5, 04001 Košice, Slovak Republic
²School of Geography, Archaeology and Palaeoecology, Queen's University Belfast, BT7 1NN Belfast, UK

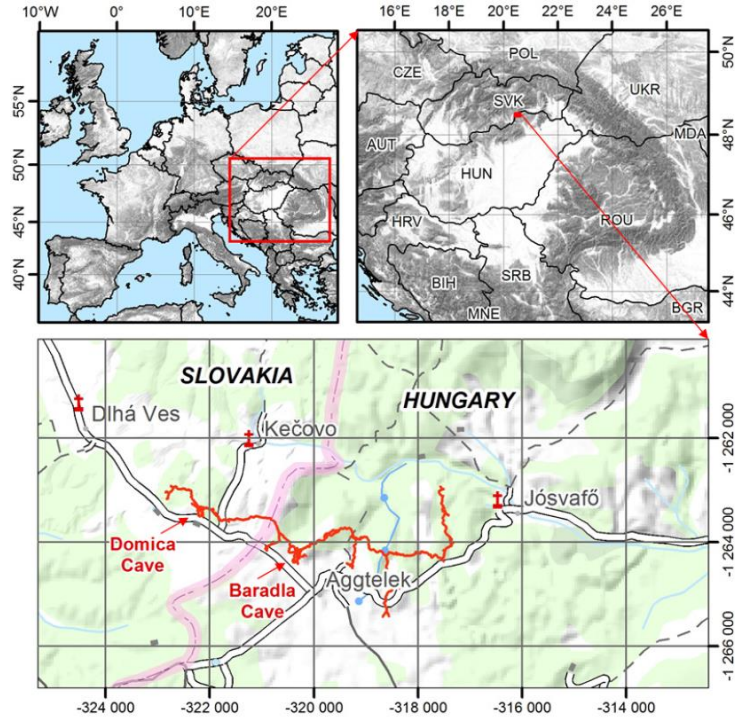
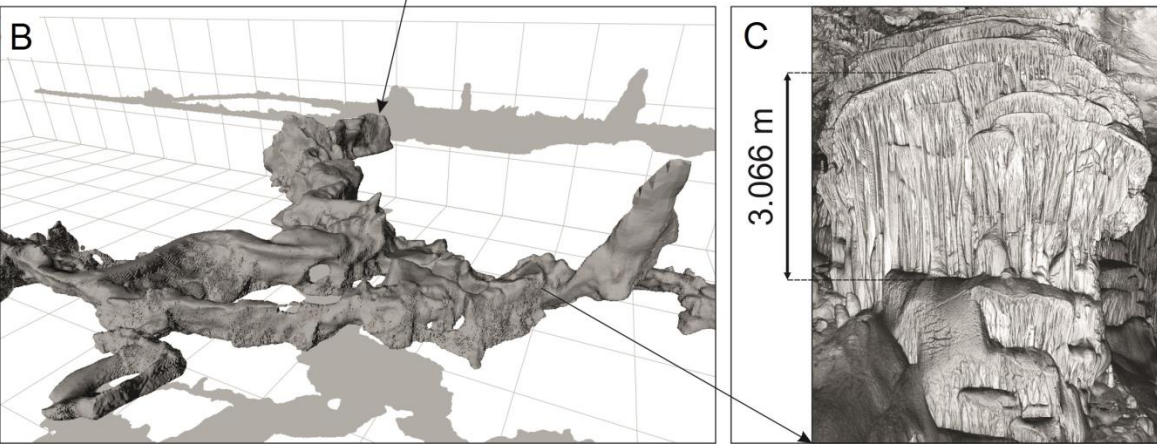
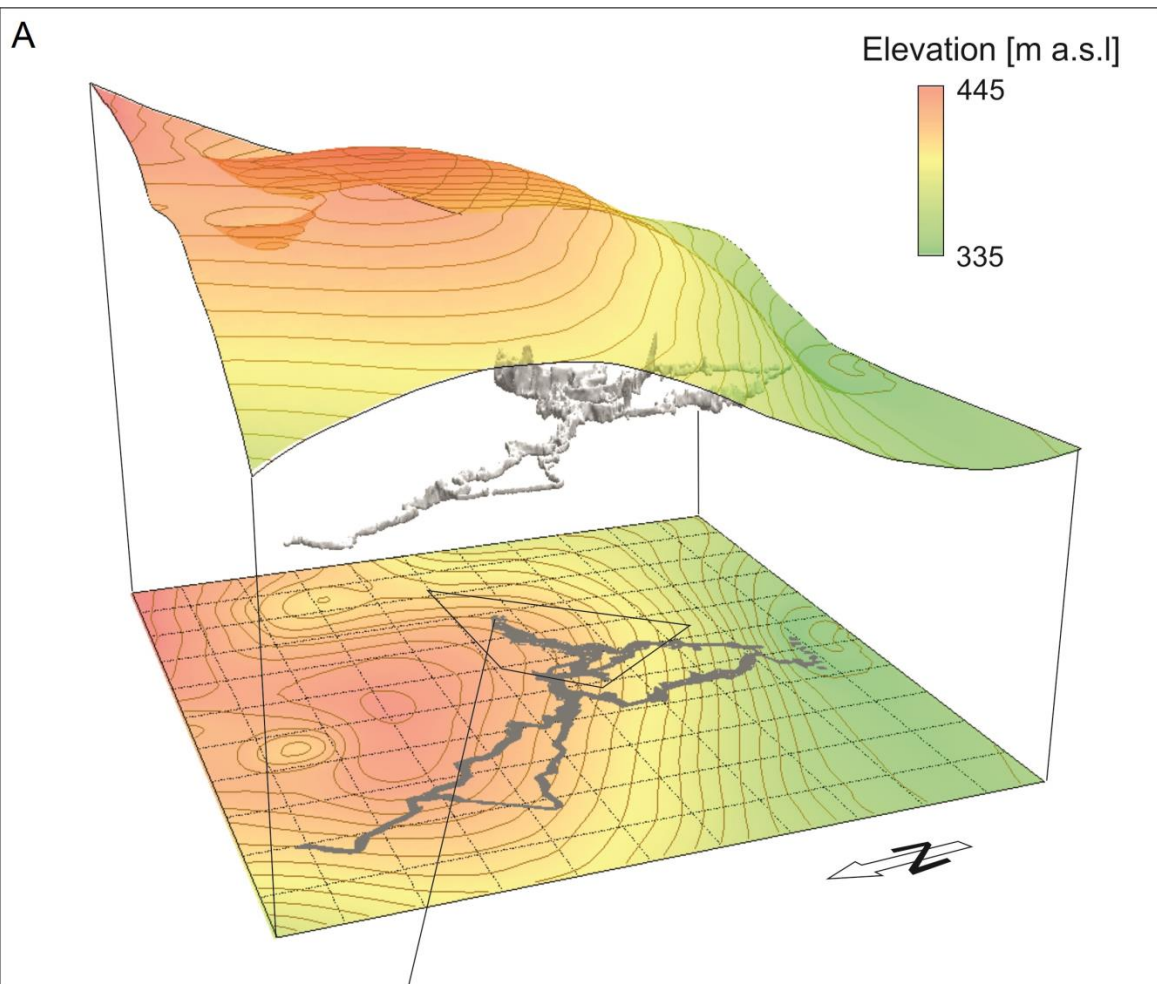


Table 3. Summary statistics of differences between corresponding targets used in the registration of point clouds acquired from individual scanner positions.

Measured variable	Value
Scanner positions (count)	327
Sum of matched targets (count)	1,690
Minimum difference (mm)	0.07
Mean difference (mm)	1.98
Maximum difference (mm)	6.60
Standard deviation of differences (mm)	1.04
Root mean squared difference (mm)	2.24



Further reading

- Jensen R. (2007). Remote Sensing: An Earth Resources Perspective
- Campbell, Wynne (2011). Introduction to Remote Sensing.