

Dálkový průzkum Země

POŘIZOVÁNÍ DAT

RNDr. Ladislav Plánka, CSc.

Institut geodézie a důlního měřictví, Hornicko-geologická fakulta, VŠB – TU Ostrava

*Podkladové materiály pro přednáškový cyklus předmětu „Dálkový průzkum Země“
(jazyková ani odborná korektura neprovedena)*

Pořizování dat

- Získávání údajů o krajině metodou dálkového průzkumu (též *sběru dat o ...*) spočívá v měření množství zářivé energie, které obsahuje elektromagnetické záření odražené nebo emitované jednotlivými složkami krajiny.
- Výsledkem měření jsou data, která jsou zaznamenávána:
 - buď přímo v místě lokalizace měřícího přístroje (např. na palubě letadla, družice apod.),
 - nebo jsou telemetrickými kanály přenášeny na pozemní přijímací stanice, kde jsou archivována a dále zpracovávána.

Základní systém dálkového průzkumu

Zahrnuje s ohledem na pořizování dat:

- snímací zařízení,
- nosiče a
- záznamová zařízení (obvykle ve spojení se snímacím zařízením, ale i ve spojení s nosičem, nebo zcela samostatně mimo nosič i mimo záznamové zařízení).

Snímací zařízení

Měření

A.:

- stacionární,
- nestacionární, nebo

B.:

- bodové – rozměr bodu může být v realitě značný,
- liniové (trasování, profilování) – výsledkem je křivka,
- plošné (fotografování, skenování) – jeho výsledkem jsou obrazová, resp. digitální obrazová data).

Snímací zařízení

Základní požadavek, který musí každý přístroj pro dálkový průzkum splňovat, je schopnost měřit energii elektromagnetického záření v závislosti na proměnných, jež ji určují, tzn. na:

- čase,
- vlnové délce,
- prostoru, popř. i
- polarizaci, a vždy na
- geometrickém uspořádání (nezávisí na konstrukci přístroje).

Druhy rozlišení (resolution)

Rozlišujeme:

- spektrální (spektral) rozlišení,
- prostorové (spatial) rozlišení,
- radiometrické (radiometric) rozlišení,
- polarizační rozlišení a
- časové (temporal) rozlišení.

Spektrální rozlišení

Spektrální rozlišení se vztahuje ke specifickým vlnovým délkám v elektromagnetickém spektru, které může senzor vzhledem ke svým technickým parametrům zachytit a registrovat.

Podle šířky intervalu elektromagnetického spektra, kterou je detektor schopen registrovat hovoříme o **hrubém nebo jemném spektrálním rozlišení**.

Udává se počtem pracovních pásem v elektromagnetickém spektru a šířkami jejich vlnového rozsahu.

Spektrální rozlišení

Měření prováděné na určitém intervalu vlnových délek se označuje jako **měření spektrální** a v případě, že je k dispozici více spektrálních intervalů hovoříme o **měření multispektrálním** (v extrémním případě i **hyperspektrálním**).

Počet spektrálních pásem a jejich šířka je praktickým odrazem spektrální rozlišovací schopnosti použitého přístroje.

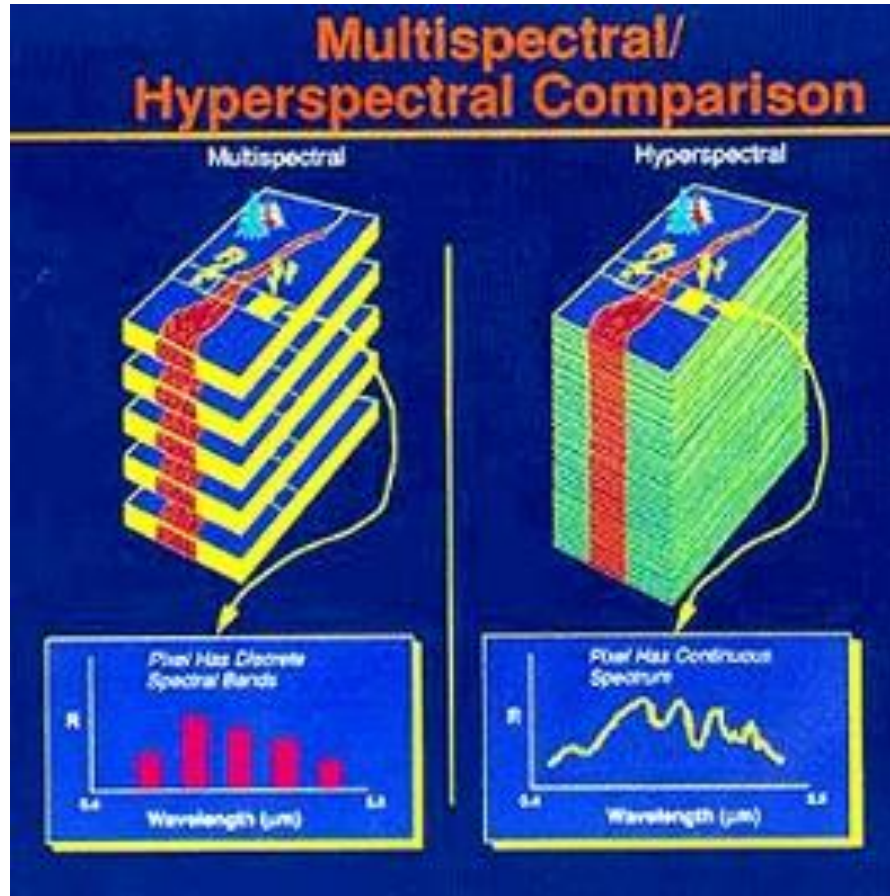
V zásadě je možné použít dvě koncepce multispektrálního měření, a to měřit záření v různých spektrálních pásmech z jednoho místa:

- současně (**paralelní měření**) - řádkové resp. maticové snímací systémy, nebo
- postupně (**sekvenční měření**).

Multispektrální x hyperspektrální

- Hyperspektrální data (senzory, měření) se od multispektrálních dat (senzorů, měření) liší především v počtu a šířce použitých spektrálních pásem a dále v jejich plynulé návaznosti, tzn., že mezi nimi nenajdeme „neproměřované vlnové délky“.
- Počet pásem se u multispektrálních dat pohybuje v řádech jednotek (např. senzor ETM+ na družici Landsat využívá 8 spektrálních pásem, zatímco hyperspektrální senzor pokrývá stejný rozsah elektromagnetického spektra v řádu desítek až stovek pásem (cca 20 - 400), jejichž šířka je samozřejmě užší (10 – 20 nm) než u multispektrálních senzorů, a tak se při vykreslování grafů spektrálních křivek odrazivosti dosahuje jejich spojitého plynulého průběhu.

Multispektrální x hyperspektrální



Např.:

- Družicové hyperspektrální skenery ASTER, Hyperion, MODIS aj.
- Letecké hyperspektrální skenery AISA, APEX, AVIRIS, HyMap aj.
- Pozemní hyperspektrální senzory (FieldSpec, SpecTIR aj.)

Ilustrační obrázek z „Remote Sensing Tutorial, 2013

Prostorové rozlišení

Prostorové rozlišení poukazuje na rozměr nejmenšího objektu, který může být rozlišený detektorem nebo na oblast na zemském povrchu, reprezentovanou každým pixelem (nejmenší zobrazovací jednotkou).

Je třeba jej posuzovat zvlášť pro fotochemický záznam dat a zvlášť pro elektronický záznam dat.

Jedná se tedy o velikost území tvořící plochu jednoho pixelu, z něhož je zaznamenána jedna hodnota odrazivosti v jednom spektrálním pásmu (udává se jako délkový rozměr stran pixelu v délkových jednotkách na zemském povrchu, tj. desítky cm až tisíce km).

Radiometrické rozlišení

Radiometrické rozlišení odpovídá pracovnímu pásmu (*dynamic range*) nebo počtu možných hodnot, kterou může pixel nabývat v každém spektrálním pásmu.

Je závislé na počtu bitů, do kterých je registrované elektromagnetické spektrum dělené.

(Konkrétní číselná hodnota pixelu se označuje jako *digital number - DN*).

Např.:

- 1bitová data - rozsah 0 nebo 1
- 6bitová data - rozsah 0 – 63 (např. Landsat MSS)
- 8bitová data - rozsah 0 - 255, tj. 256 stupňů šedi (2^8 hodnot) - viz např. Landsat TM
- 10bitová data - rozsah 0 – 1023 (např. NOAA – AVHRR)

Radiometrické rozlišení

- Až do příchodu dat s velmi vysokým rozlišením byla družicová data pořizována v **8bitovém** radiometrickém rozlišení.
- Výjimku představují radarová data, která jsou díky svému velkému radiometrickému rozsahu dodávána standardně v **16bitovém** rozlišení.
- **Družicová data velmi vysokého rozlišení jsou dnes v naprosté většině pořizována v 11ti bitové hloubce.** Prakticky to znamená, že senzor každého pásma je schopen rozlišit až 2^{11} , tj. 2048 stupňů jasu.
- Přestože lidské oko takový rozsah nevyužije, je 11bitová hloubka velkou výhodou pro automatizované vyhodnocování družicových snímků. Protože žádné běžné programy s 11bitovými daty nepracují, je tato bitová hloubka formálně načítána do 16bitových obrazových formátů.

Radiometrické rozlišení

- Většina barevných obrazových dat, se kterými se běžný uživatel setkává, jsou 24bitová data vytvořená RGB syntézou (tzn. sestávající se ze tří spektrálních pásem). Každé pásmo má 2^8 , tj. 256 stupňů jasu, a výsledná 24bitová data mohou tedy mít až $256 \times 256 \times 256$, tj. 16 777 216 různých barevných odstínů.
- Originální digitální družicová data v 11bitovém radiometrickém rozlišení (uložená v 16bitových obrazových formátech) mají buď jedno obrazové pásmo v případě panchromatických dat a nebo 4 a více pásem v případě multispektrálních dat. Většina běžných obrazových prohlížečů není schopna taková data správně zobrazovat. Proto je často prováděn převod (Scaling) do 8bitové hloubky a poté mohou být připravovány standardní 24bitové barevné kombinace v přirozených, případně falešných barvách podle potřeb uživatele. Změna 16bitového na 8bitový rozsah znamená pro každé pásmo převedení intervalu 2048 hodnot do intervalu 256 hodnot. Cílem je provést převod tak, aby vizuálně nedošlo k významné ztrátě informace. Tento postup lze optimalizovat podle potřeb zákazníka a plánovaného použití výsledných dat.

(z <http://www.gisat.cz>)

Polarizační rozlišení

Je udáváno (pouze u aktivních zařízení) počtem kombinací různých možností polarizace u vysílaného a přijímaného elektromagnetického záření.

Praktické možnosti: HH, VV, HV, VH

[... polarizace horizontální (H) a vertikální (V)]

Časové rozlišení

Doba, která uplyne od pořízení dvou měření obrazových dat stejného území ze stejného přístroje (desítky minut až desítky dní, příklady viz tabulka).

Družice	Časové rozlišení	Šířka scény	Pixwl
METEOSAT 7	30 min	polokoule	2,5 – 5 km
NOAA 17	12 hodin	2600 km	1,1 km
QuickBird 2	2 – 4 dny	11 km	0,65 m
LANDSAT 7	16 dnů	185 km	30 (15) m
SPOT 5	26 dnů	60 km	2,5 (10) m

Přístrojové parametry

Konkrétní hodnoty všech typů rozlišení dat jsou určeny technickým řešením a kvalitou konstrukce použitého přístroje, a proto se souhrnně označují jako **přístrojové parametry**.

Snímací zařízení

Podle způsobu registrace elektromagnetického záření rozlišujeme zařízení:

- **konvenční (fotografická)** – záznam na fotografický papír,
- **nekonvenční (nefotografické)** – energie převáděna na měření elektrických veličin.

(konvenční/fotografická zařízení se velmi rychle přesouvají do sféry „historické“)

Podle charakteru záření:

- pasivní, a to:
 - přímé (zdrojem je záření odražené od zemského povrchu, např. letecká fotografie),
 - nepřímé (zdrojem je záření vyzařované objekty na zemském povrchu nebo v atmosféře, např. termovize,
- aktivní (záření není přirozené, ale je vysíláno ze zdroje na nosiči, např. lidary, altimetry).

Snímací zařízení

Podle nosiče:

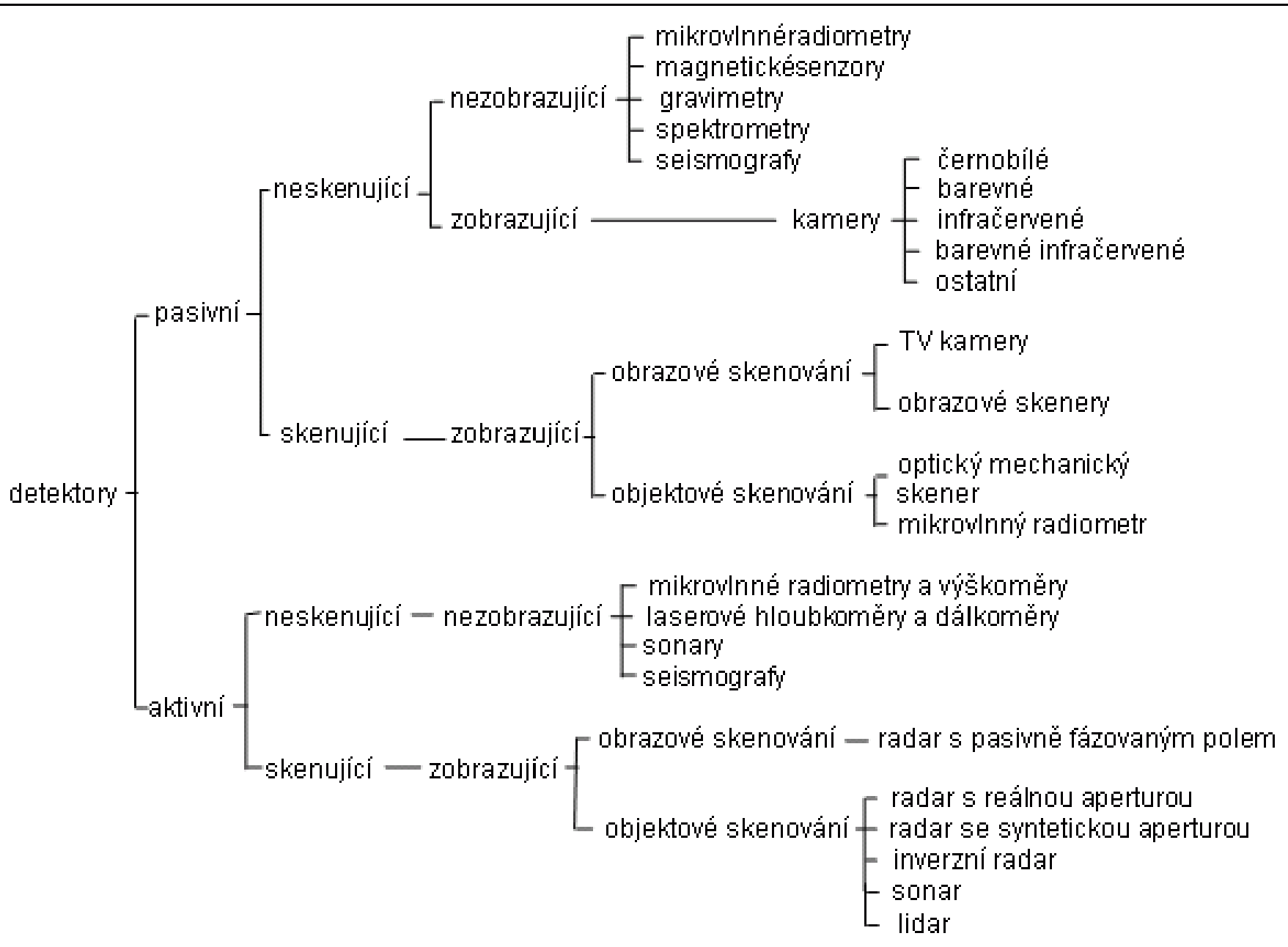
- pozemní,
- letecké a
- družicové.

Podle spektrální šíře záběru:

- panchromatické,
- spektrální a
- multispektrální, resp.
- hyperspektrální.

Snímací zařízení...

- podle barvy (☺),
- podle osy záběru,
- podle zorného pole kamery,
- podle velikosti snímaného území,
- ...

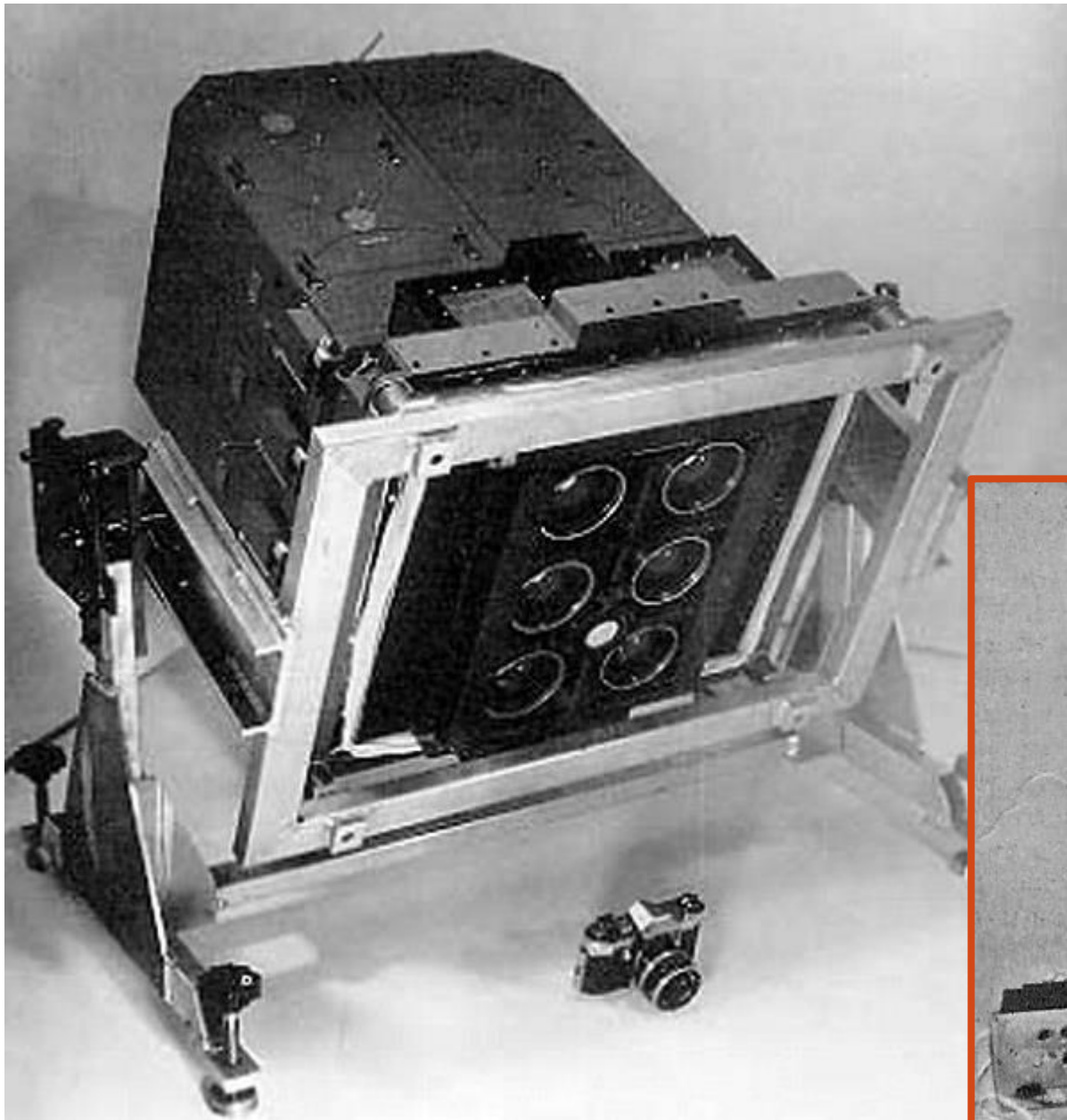


Pasívní přístroje

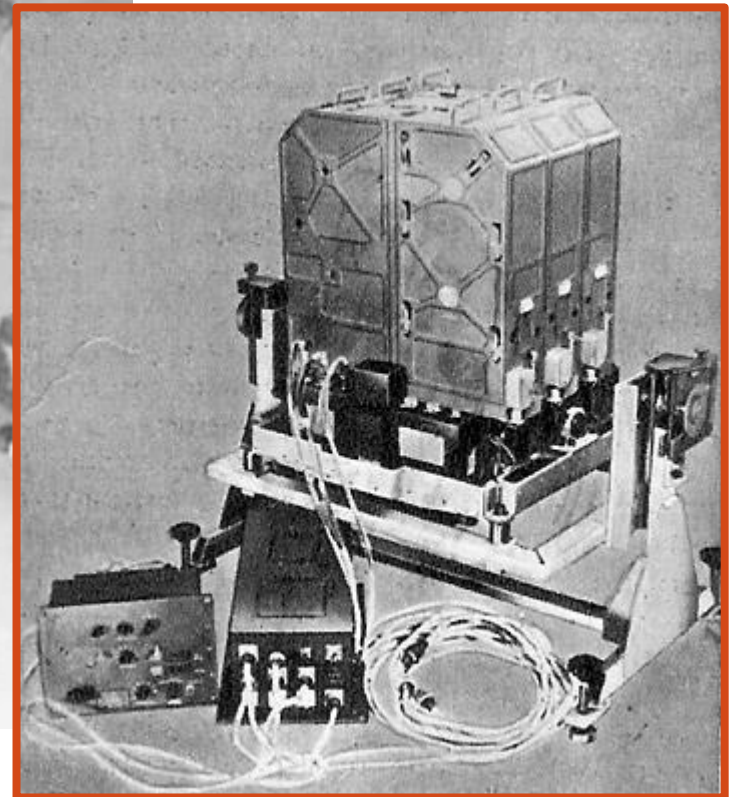
- Fotografické kamery
- Televizní systémy
- Fototelevizní systémy
- Radiometry (skenery, spektrometry, spektrometry, spektrometry)

Fotografické přístroje

Název	c (mm)	Nosič	Spektrální vlastnosti	Rozlišení (m)
KFA-3000	3000	Kosmos, Resur-F	PAN	2
Hasselblad 500EL	80	pilotované kosmické lety	PAN nebo multispektrální	50 - 125
MKF-6M	125	Sojuz-22, Saljut, Mir	0,46-0,50; 0,52- 0,56; 0,58-0,62; 0,64-0,68; 0,70- 0,74; 0,79-0,89;	12 - 50
KATE	140	Saljut, Mir, Resurs-F	0,4-0,6; 0,6-0,7; 0,7- 0,85	60
	200			30
	1010			5



MKF-6M



Fotografické přístroje

- Na vesmírnou misi byl v roce 2008 vyslán vůbec poprvé v dějinách digitální kompakt (Samsung NV24HD a spolu s ním zrcadlovka Samsung GX-20)
- V roce 2010 se na ISS dostaly dvě špičkové profesionální zrcadlovky **Nikon D3X** a **D3S**, které doprovázelo nejrůznější příslušenství.



Fotoaparát s nejvyšším rozlišením míří do vesmíru

Na palubě družice ESA **Gaia** pro mapování hvězd, je fotoaparát, složený ze 106 CCD prvků, každý s rozlišením 8,8 megapixelů (celkem cca miliarda pixelů).

Fotoaparát se udržuje v provozu při teplotě $-110\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Po vypuštění v roce 2013 byla sonda zaparkovaná v Lagrangeově bodě/libračním bodě L_2 (místě, kde se vyrovnává působení gravitace Slunce a Země), cca 1,5 milionu km od Země.

Televizní a fototelevizní systémy

Největší rozšíření v 70. letech 20. století (dnes opět, ale v digitálních verzích na bázi CCD).

(Např. NIMBUS rozkládal obraz na 800 řádek, tj. při výšce letu 1400 km zahrnoval pás o přibližné šířce 3 km.)

Televizní systémy

- Nejpoužívanějším typem televizních kamer se staly **vidikonové kamery RBV (Return Beam Vidicon)**. Kamery se skládaly z objektivu s uzávěrkou a filtrem, dále z obrazové desky, citlivé na světlo a paměťové polovodičové desky, která je snímána elektronovým paprskem. Odražený paprsek nese obrazovou informaci, dále se zpracuje a jako videosignál se zapisuje na magnetickou pásku, případně se přímo vysílá v reálném čase. Tři kamery RBV v multispektrální sestavě s předřazenými vymežujícími filtry byly užity u družic Landsat 1 i Landsat 2.
- Modifikovaný RBV byl použit na Landsatu 3. Zařízení bylo tvořeno dvěma panchromatickými RBV kamerami, pracujícími v oboru 0,505 - 0,75 μm . Kamery byly sestaveny tak, že každá zabírala 98 km a záběry na sebe navazovaly s překrytím 13 km a vytvářely snímek 183 x 98 km. Díky dvojnásobné ohniskové vzdálenosti a zkrácení expozice při odstranění spektrálních filtrů se dosáhlo rozlišovací schopnosti 25 m. Zachycená obrazová data byla na Zemi zpracovávána standardně v měřítku 1:1000 000 jako snímky přibližně 23 x 23 cm.
- Vylepšeným systémem byl **AVCS (Advanced Vidicon Camera System)**.

Televizní systémy

Nosič	c (mm)	Rozlišovací schopnost v km	Záběr v km	h (km)
Meteor	16	1,26 - 4	940 - 1400	620 - 890
Molnija	20	60	polokoule	30 000
Tiros	9	3	725	590 - 970
ESSA	25	3,25	1500 - 3000	1330- 510
Nimbus	17	2	2500	1070 - 1180
Landsat 1,2 RBV	126	0,06 - 0,12	185	900 - 920
Landsat 3 RBV	250	0,025	183	900 - 920

Fototelevizní systémy

- Fototelevizní systémy měly odstranit nevýhody televizního snímkování, hlavně špatnou geometrickou a radiometrickou kvalitu dat, zlepšit geometrickou rozlišovací schopnost a odstranit nutnost transportu exponovaných filmů z fotografických kamer na Zemi.
- Snímky zhotovené na palubě družice byly okamžitě vyvolány a pomocí televizní kamery a přenosové techniky byla data dopravena na Zemi. I zde je provoz snímkovacího systému omezen zásobou filmu a připočteme-li složitost celého systému, je zjevné, proč byl používán jen velmi krátkou dobu.

Radiometry

- Jedná se o přístroje na měření množství odraženého nebo emitovaného elektromagnetického záření, které měří radiaci z určité elementární plochy zemského povrchu v určitém intervalu spektra.
- Na družicích se objevily již v 60. letech (např. Kosmos 243 vypuštěný v roce 1968 nesl soubor 13 multifrekvenčních pasivních radiometrů, stanice Skylab v roce 1973 mikrovlnný radiometr aj.).
- Jsou základem všech snímacích rozkladových zařízení (skenerů).
- Snímání radiometry s možností záznamu je možné teoreticky od „gama“ záření až po dlouhovlnné radiové vlny. Pracují obvykle na multispektrálním principu.

Radiometry

Základní části přístroje tvoří:

- spektrální dělič,
- detektor,
- zesilovač a

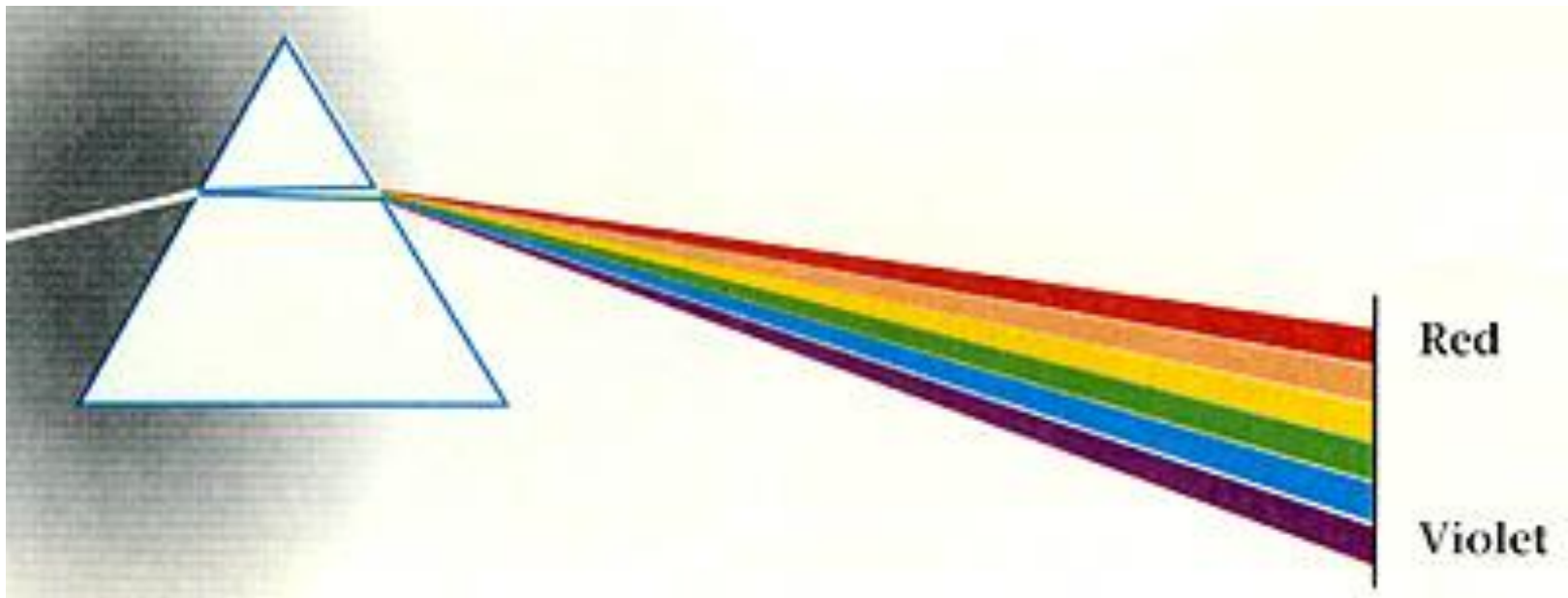
(záznamové zařízení, které může ale nemusí být jeho součástí).

Spektrální dělič

- Vymezuje spektrální interval měřených vlnových délek.
- Pro radiometry určené k dálkovému průzkumu pracující v optické části spektra se z důvodu nižší poruchovosti uplatňuje rozklad záření:
 - **hranolem** nebo
 - **disperzní mřížkou** (odraz nebo lom) avymezení vlnového intervalu optickými filtry, a to filtry
 - absorpčními nebo
 - interferenčními (interference na rozhraní vrstev).
- Lze použít i různě konstruovaná polopropustná zrcadla.
- Pro práci s vyššími vlnovými délkami se využívá speciálně konstruovaných detektorů (viz dále).

Optický hranol

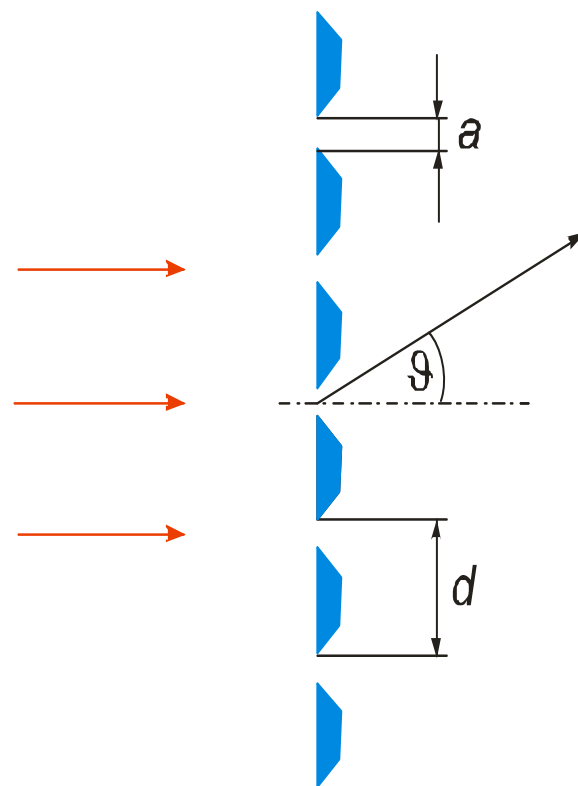
1666 – Isaac Newton pomocí optického hranolu rozložil bílé světlo na jednotlivé spektrální barvy



Optická mřížka

Zařízení sloužící k rozkladu světla podle vlnových délek:

- mají různá technická provedení,
- jsou tvořena štěrbinami (vrypy) konečné šířky a ,
- mají stanovený počet vrypů na jednotku délky n ,
- mají definovanou mřížkovou konstantu d (tj. vzdálenost mezi jednotlivými vrypy),
- mají celkový počet vrypů N .



Detektor

Elektromagnetické záření jako celek, resp. jeho vyseparovaná část dopadá na **detektor**, který je vyroben z takové látky, která obvykle mění své elektrické vlastnosti v závislosti na absorbované elektromagnetické energii.

Těmito vlastnostmi jsou především elektrické napětí nebo proud, ale i vnitřní odpor v obvodu, jehož součástí je použitý detektor.

Detektor

Podle způsobu, jakým detektor reaguje na změnu intenzity způsobené změnou počtu absorbovaných fotonů anebo změnou jejich energie (vlnové délky) se detektory dělí do dvou hlavních skupin, a to:

- 1. detektory prvního typu (tepelné),**
- 2. detektory druhého typu (fotonové).**

Tepelné detektory...

... reagují změnou teploty na změnu absorbované energie. Změna teploty detektoru pak následně způsobuje změnu jeho elektrických vlastností, převážně pak změnu jeho vnitřního odporu.

Rozlišujeme:

- **bolometry** - jsou vybaveny materiálem, který mění svůj vnitřní odpor v závislosti na teplotě,
- **termistory** - měří termoelektrickou sílu, která vzniká na spoji dvou vodivě spojených látek, obvykle oxidů kovů (mangan, kobalt, nikl), z nichž jedna je vystavena dopadajícímu záření a druhá je stíněna,
- **pyroelektrické detektory** - jsou tvořeny krystaly speciálních látek, v nichž dochází vlivem teploty k produkci povrchového náboje a tím ke změně vnitřního odporu.

Fotonové detektory ...

- ... jsou založeny na přímém působení dopadajících fotonů na elektrony polovodičového materiálu.
- Každý fotonový detektor reaguje jen na záření, jehož vlnová délka je menší než určitá mezní hodnota (λ_{\max} neboli tzv. **bod zvratu**), která je specifická pro materiál, z něhož je vyroben.

Fotonové detektory

- Např. polovodiče křemík (Si) a germanium (Ge) mají bod zvratu 1,1 μm ; síran olovnatý (PbS) 2,9 μm ; trojné sloučeniny teluridu rtuti a kadmia v závislosti na poměru složek 1 - 30 μm aj.
- Při pokojové teplotě mohou pracovat detektory s hraniční vlnovou délkou menší než 3 μm , při měření ve vlnových délkách 4 – 5 μm by neměla teplota detektorů přesáhnout teplotu suchého ledu, tj. 195 K a v pásmu 8 – 14 μm je třeba jejich teplotu udržovat na hodnotě kapalného dusíku (77 K) a pro vyšší vlnové délky až na hodnotě bodu varu helia (4,2 K).

Vlastnosti detektorů

- Spektrální citlivost
- Časová konstanta
- Detekční schopnost
- ...

Spektrální citlivost

- **Spektrální citlivost** vyjadřuje vztah mezi velikostí výstupního elektrického signálu a vlnovou délkou dopadajícího záření.
- Podle průběhu této závislosti se detektory rozdělují na:
 - **selektivní** (např. fotonové), které reagují pouze na vlnové délky určitých hodnot,
 - **neselektivní**, jejichž reakce je na délce vlny nezávislá (např. tepelné detektory).

Časová konstanta

Časová konstanta je definována jako doba od začátku ozařování detektoru do okamžiku, kdy výstupní signál dosáhl úrovně $1/e$ neboli 63 % konečné hodnoty.

Jedná se tedy o rychlost, s jakou reaguje detektor na dopadající záření odpovídající rychlosti nárůstu výstupního signálu (rozmezí mikrosekund až nanosekund).

Detekční schopnost

Detekční schopnost radiometru je jeho schopnost měřit nízké hodnoty zářivého toku.

Je přímo závislá na hodnotě vnitřního šumu přístroje.

Kalibrace detektorů:

- laboratorní (porovnání se zářivým etalonem),
- pozemní (snímání objektů známých zářivých charakteristik, nutná u multispektrálních přístrojů),
- srovnání s vnitřním standardem,
- měření „černého Vesmíru“, resp. „modré oblohy“.

Základní vlastnosti radiometrů

- Odezva
- Vnitřní šum
- Citlivost
- Zorné pole

Odezva

- Základní vztah mezi dopadajícím tokem záření a velikostí výstupní elektrické veličiny (např. napětím) radiometru vyjadřuje **odezva**

$$R = \frac{\Delta V}{\Delta \Phi} = \frac{(V - V_N)}{(\Phi - \Phi_N)}$$

- Odezva udává, o kolik se změní výstupní elektrická veličina při dané změně velikosti zářivého toku.

Šum a citlivost

Změna radiační energie je vždy měřitelná až od jisté mezní velikosti zářivého toku.

Je to tok, který je stejně veliký jako je tok záření produkovaný prvky radiometru a nazývá se **vnitřní šum** přístroje.

Této hodnotě toku odpovídá na výstupu i jistá velikost elektrické veličiny V_N .

Převrácená hodnota vnitřního šumu se označuje jako **citlivost** přístroje (D).

Zorné pole

Velikost zářivého toku dopadajícího do radiometru je omezena **zorným polem přístroje**, čili velikosti prostorového úhlu, z něhož záření do radiometru dopadá.

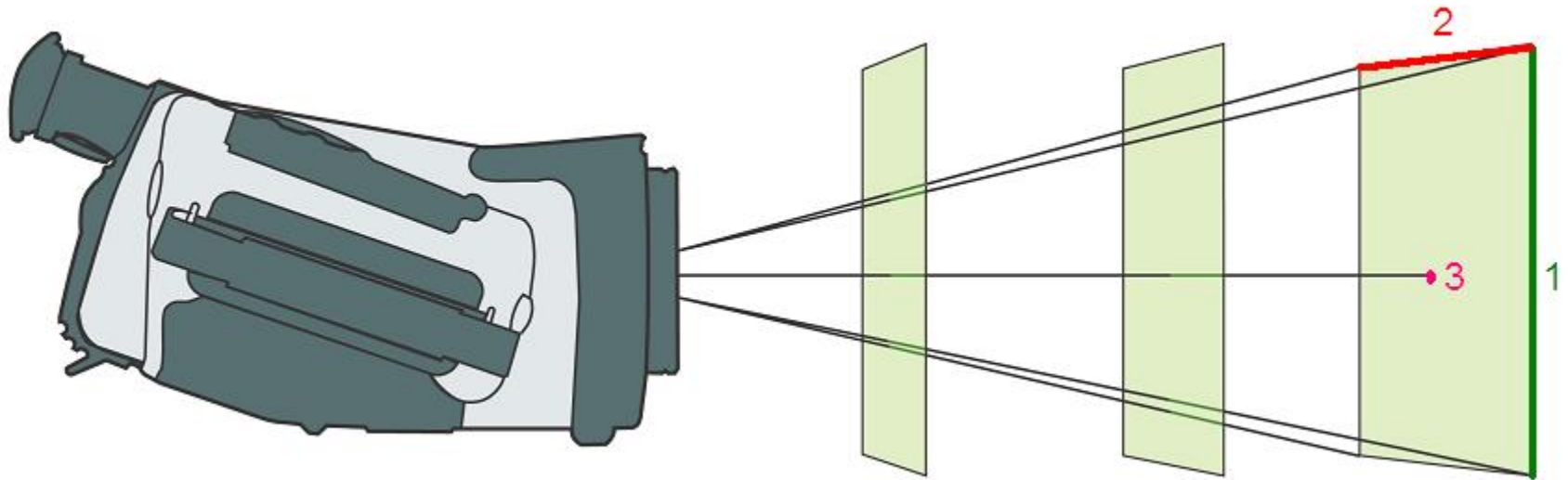
Rozlišujeme:

- okamžité zorné pole (IFOV) určuje velikost pixelu, velikost např. 2 mrad,
- celkové zorné pole (FOV) určuje šíři záběru,

též:

- horizontální zorné pole (HFOV)
- výšková zorné pole (VFOV)

VFOV, HFOV, IFOV



- 1 – VFOV (vertikální zorné pole),
- 2 – HFOV (horizontální zorné pole),
- 3 – **IFOV** (instantaneous **field of view**, okamžité zorné pole, tj. velikost bodu/pixelu)

Nezobrazující radiometry

- Trasující radiometry
- Výškoměry (altimetry)
- Rozptyloměry (skaterometry)

Trasující radiometry

Trasující (trasovací, profilové, profilující) radiometry se používají při podpůrném pozemním měření nebo na leteckých či kosmických nosičích.

Všeobecně slouží pro průzkum atmosféry, oceánů a teplotního rozložení.

Většinou se konstruují jako trasové radiometry infračervené nebo radiometry mikrovlnné, převládají varianty multispektrální.

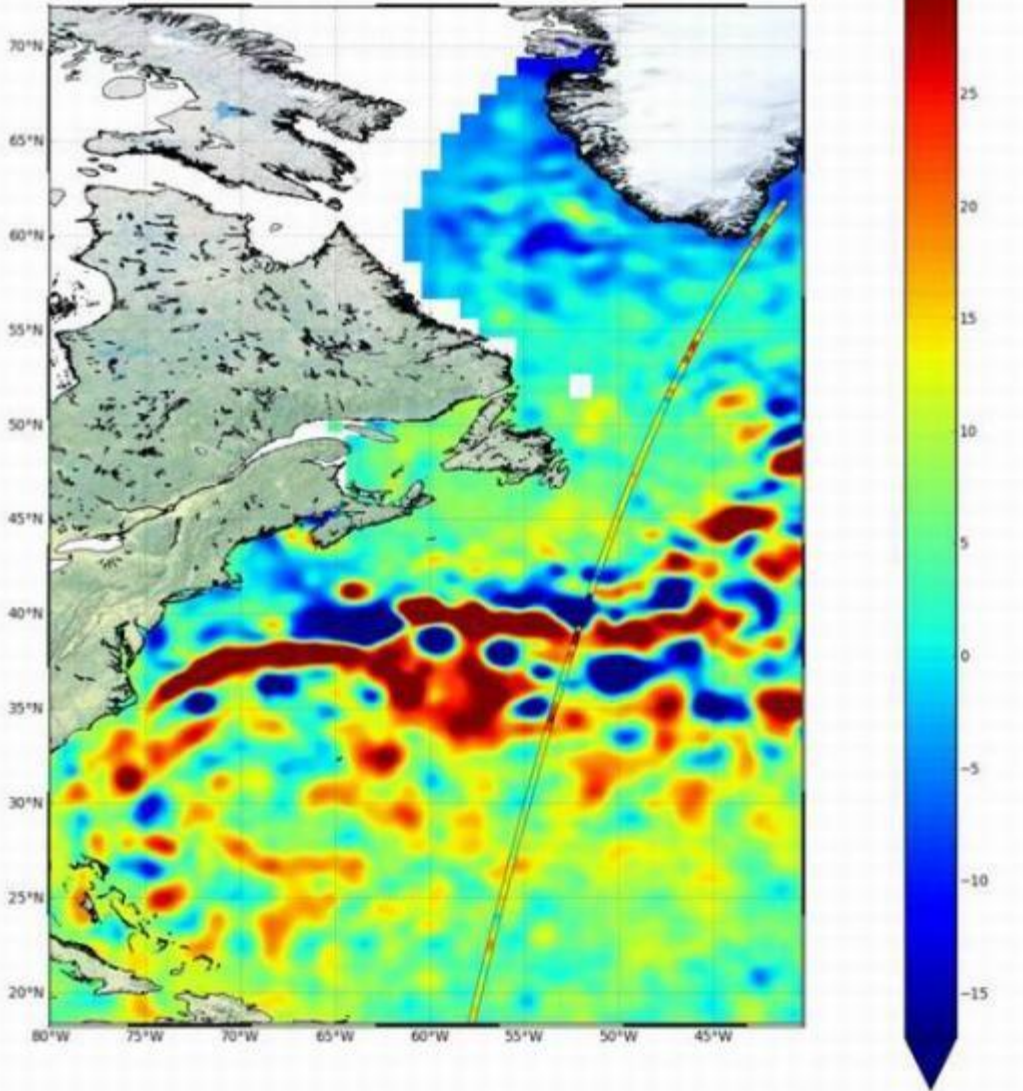
Výškoměry

Družicová altimetrie je metoda určování tvaru geoidu v oblastech moří a oceánů, kde se měří výška družicového nosiče nad vodní hladinou pomocí radarového výškoměru

(Terminologický slovník VÚGTK)

Konkrétní altimetry mohou být konstruovány jak s využitím radarových, tak laserových technologií.

Výškoměry



Výškoměr na Sentinel-3A (GMES/Copernicus) je první družicový výškoměr, poskytující stoprocentní pokrytí celého zemského povrchu v módu „SAR“. Tím přímo navazuje na výsledky z mise CryoSat, Jason a dalších.

(snímek z roku 2016, <http://www.czechspaceportal.cz>)

Rozptyloměry

- Rozptyloměry jsou přístroje umožňující měření rychlostí a směru větru (proto Wind Scatterometer).
- Často tvoří soubor přístrojů, který má společné označení (jako Active Microwave Instrument, AMI na družici ERS-2, pracující v letech 1995 – 2011). Tento konkrétní rozptyloměr byl schopný měřit z oběžné dráhy rychlost větru v zemské atmosféře s přesností 3 m.s^{-1} při plošném rozlišení $50 \times 50 \text{ km}$.

Zobrazující radiometry

Snímací rozkladová zařízení (zobrazující radiometry, skenery)

- Zobrazující radiometry jsou schopné poskytnout obrazovou formu měřených dat.
- K jejímu získání je třeba, aby byl radiometr schopen současně měřit data nejen ve směru letu (trasující radiometr) ale i napříč směru, kterým se nosič pohybuje.

Skenery:

- **mechanické (mechanooptické)** měří pomocí jednoho detektoru postupně území podél celé řady „kolmé“ na směr letu tak, by bylo zachyceno celkové zorné pole skeneru [též příčné skenování],
- **elektronické (elektrooptické)** jsou osazeny takovým počtem detektorů, aby svými zornými úhly pokryly celou řadu najednou (celkové zorné pole). Osazení takovýchto zařízení CCD senzory pak umožňuje provádět i plošný (maticový) záznam [též podélné skenování].

Mechanické skenery

Mechanický skener používá k posunu okamžitého zorného pole radiometru ve směru napříč pohybem nosiče **pohyblivého zrcadla**.

Natáčení zrcadla zajišťuje mechanický systém, který spolu se zrcadlem tvoří **skenovací jednotku** skeneru. Ta může být umístěna:

- před objektivem, pak hovoříme o **předmětovém** skeneru,
- za objektivem, pak hovoříme o **obrazovém** skeneru.

Mechanické skenery

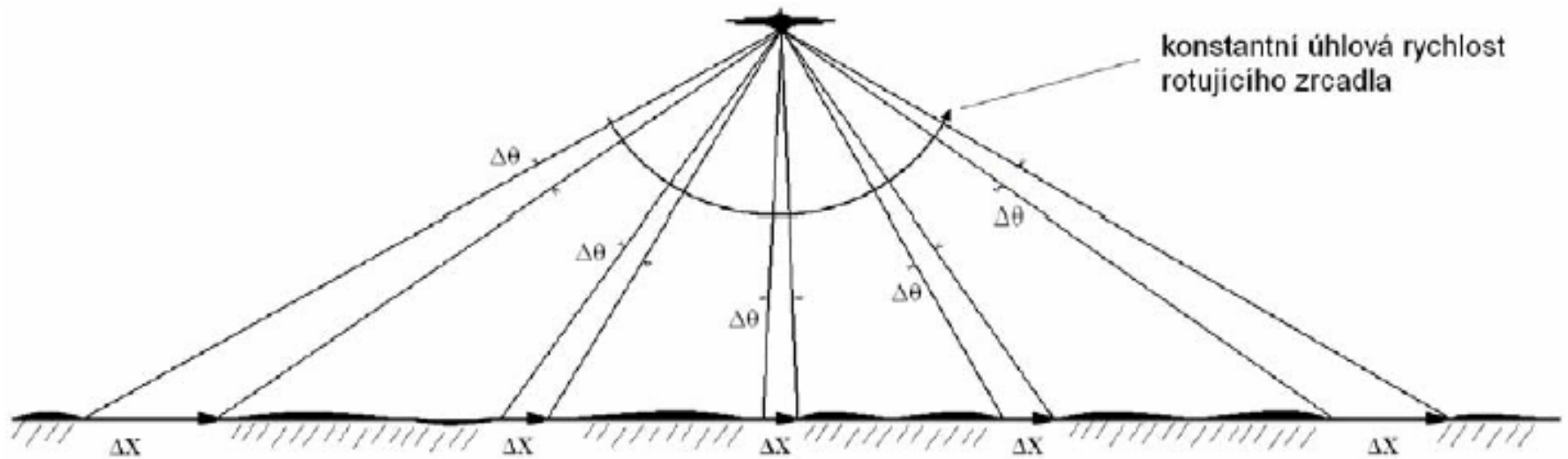
Podle tvaru skenované řádky lze skenery dělit na:

- konické (měří podél kruhové řádky, takže úhel pozorování je v celé délce řádky stejný. Dráha paprsku se během skenovacího cyklu posunuje po plášti kužele s vrcholem ve skeneru) a
- lineární (tvoří přímkovou řádku kolmou na směr letu nosiče. Měření podél řádky zprostředkuje rotující nebo kmitající ploché zrcadlo).

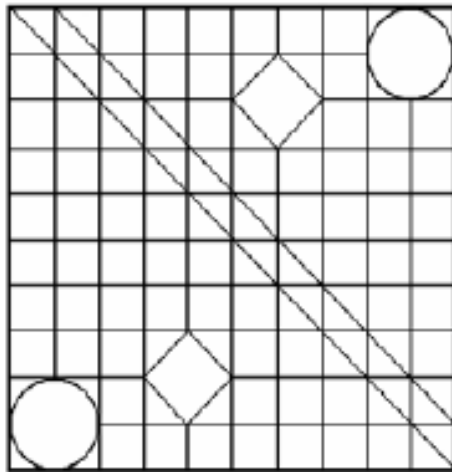
Geometrie měření mechanickým lineárním skenerem

- Tangenciální změna měřítka (ve směru kolmém na pohyb nosiče se mění rozměr obrazového prvku a následně se deformují tvary zobrazených objektů).
- Kolísání velikosti obrazového pixlu.
- Poziční chyby v poloze objektů v důsledku jejich rozdílné nadmořské výšky.
- U družicového měření dochází k úhybu skenovaných řádek západním směrem (rotace Země).
- Nestabilita nosiče.

Tangenciální změna měřítka

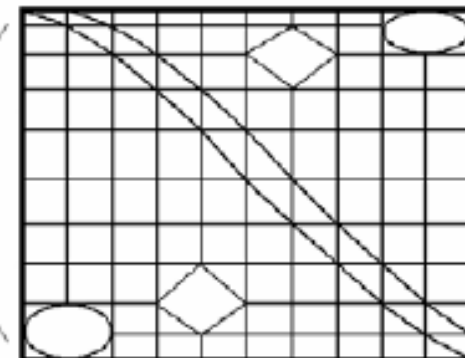


letecká fotografie



skenovaný záznam
příčného skeneru

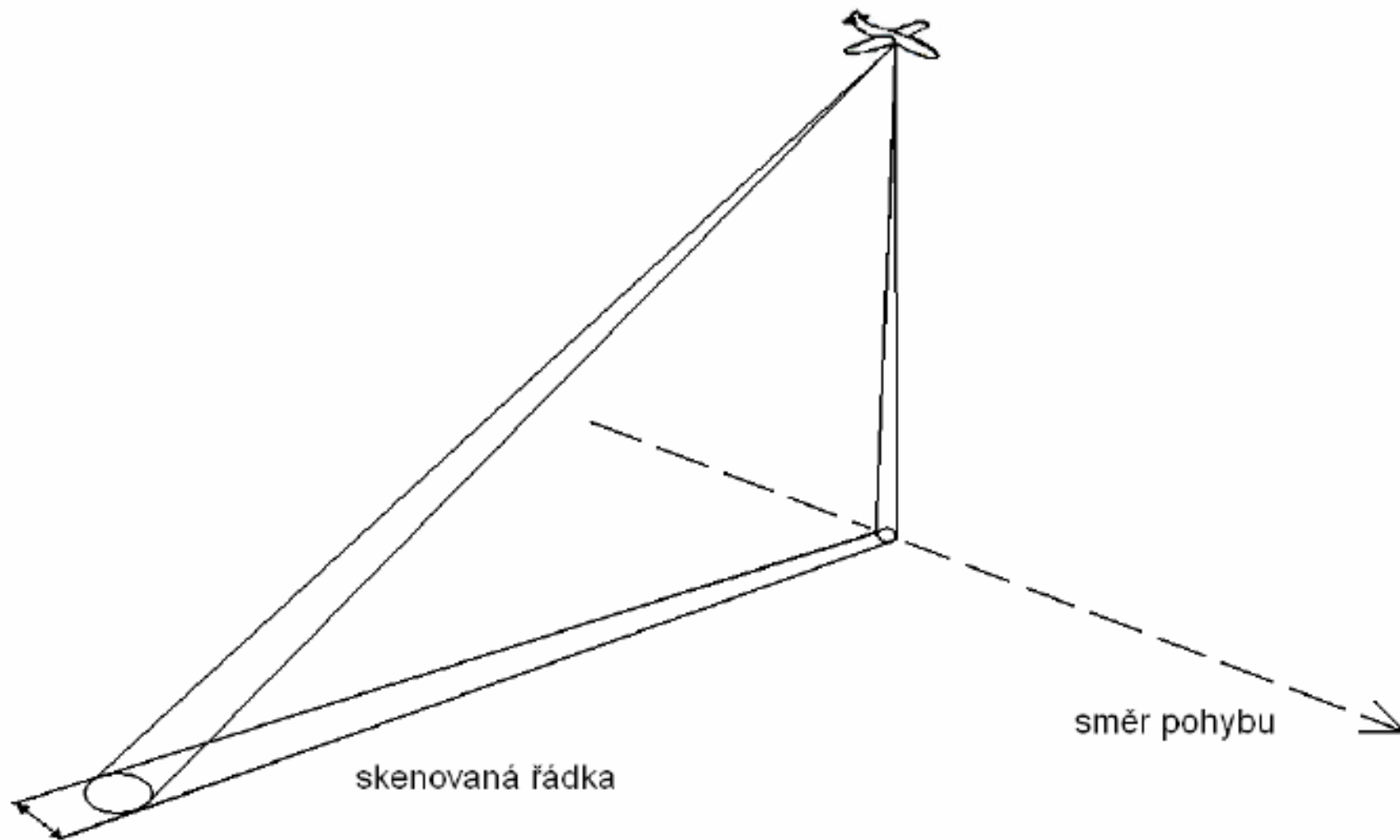
proměnlivé příčné
měřítka



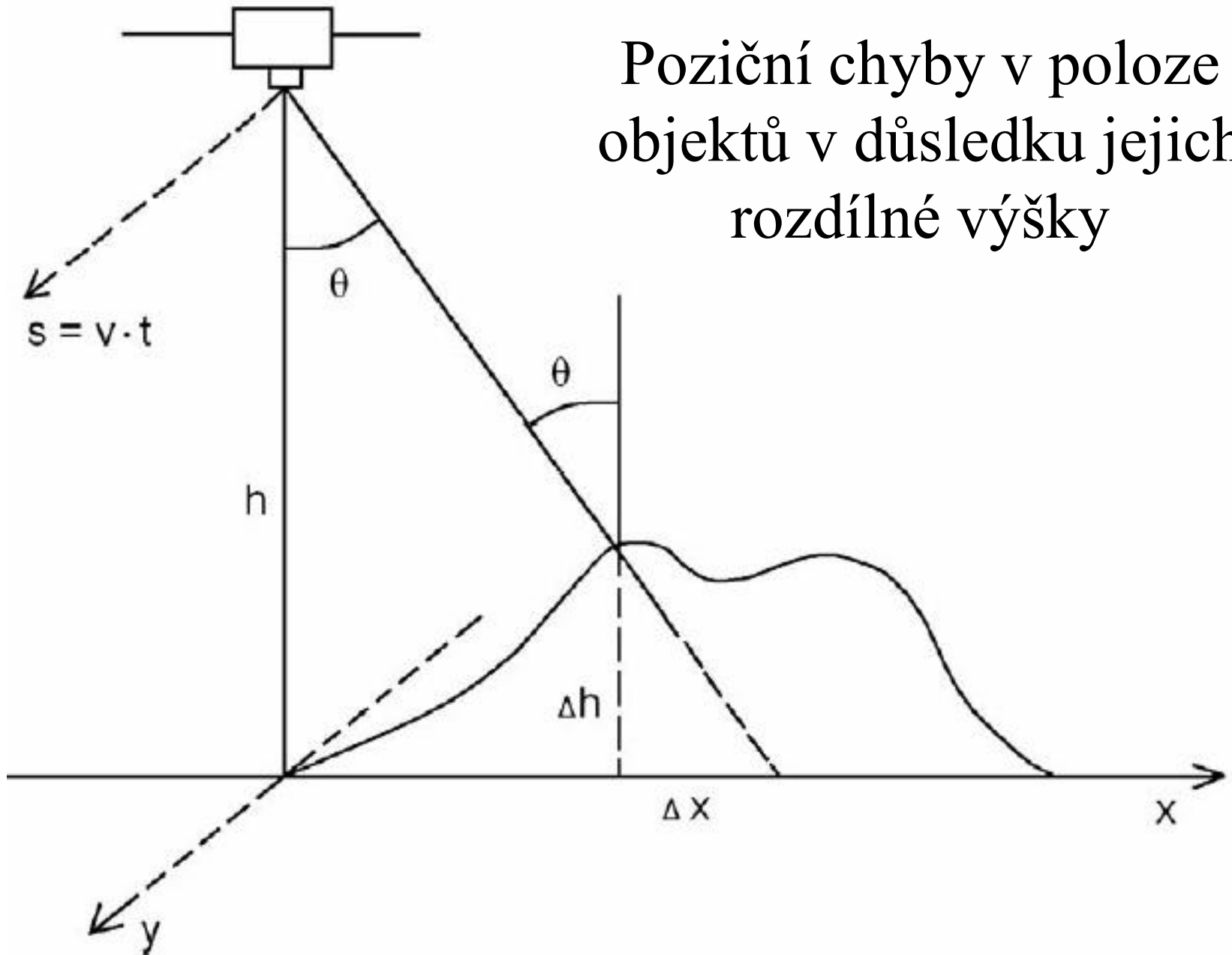
směr
pohybu



Kolísání velikosti obrazového prvku



Poziční chyby v poloze
objektů v důsledku jejich
rozdílné výšky



Nestabilita nosiče

Vnitřní příčiny:

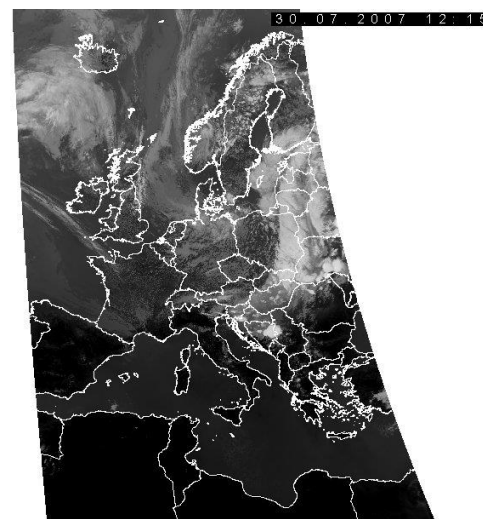
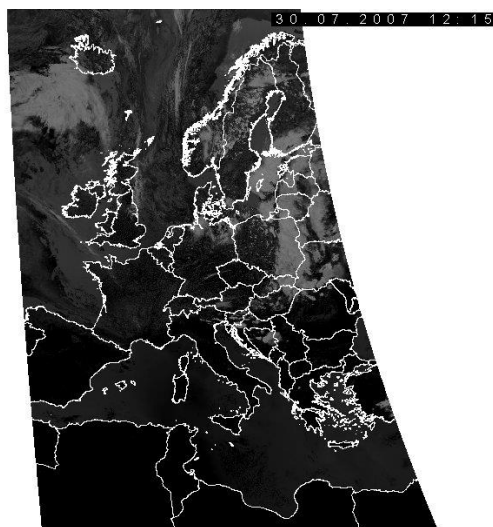
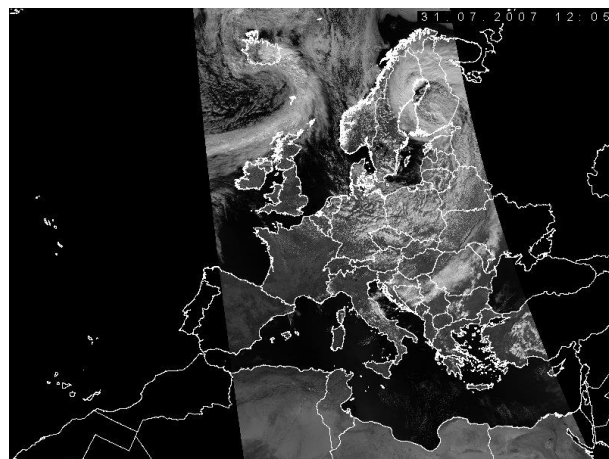
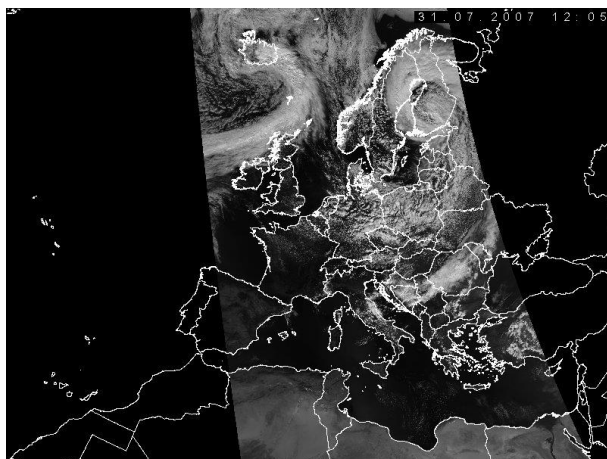
- Technické problémy družice

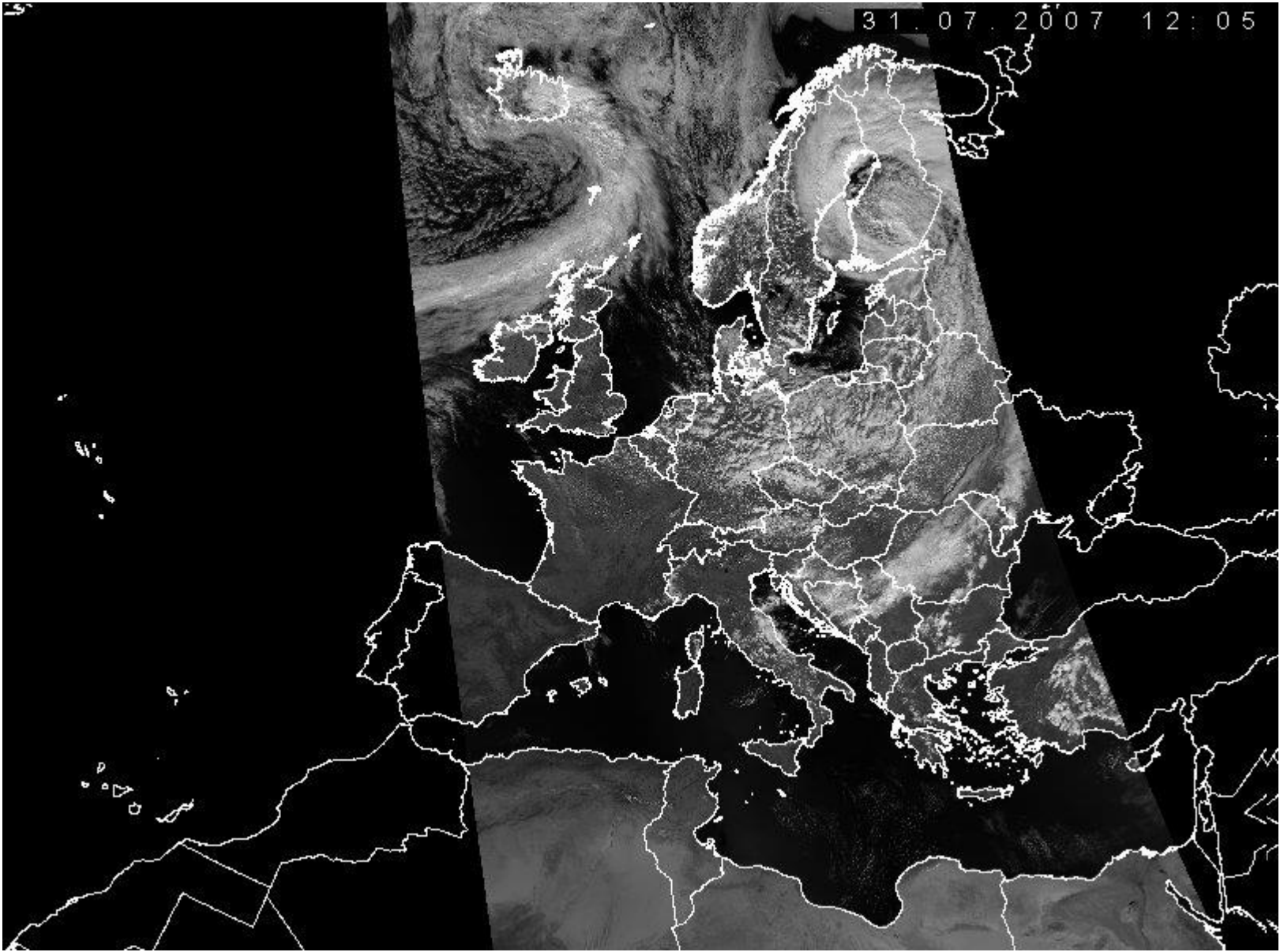
Vnější příčiny:

- Sluneční radiace
- Relativistické efekty temné hmoty
- Gravitomagnetické pole planet

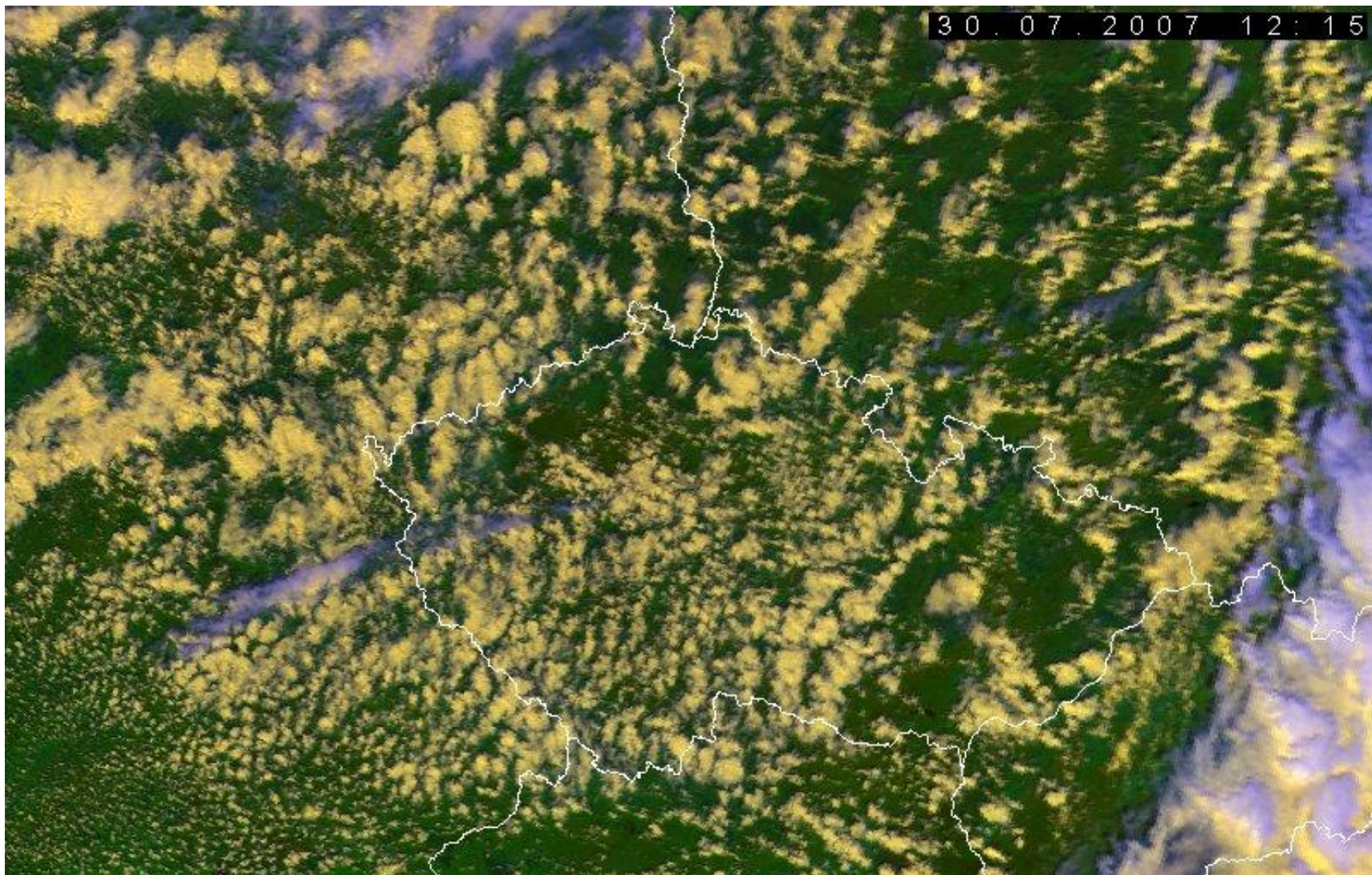
U pilotovaných prostředků je třeba zahrnout i lidský činitel a u nosičů létajících v troposféře ještě navíc počasové vlivy.

Snímky Evropy z kanálů 1 – 4 AVHRR družice NOAA 18 z 30.7.2007 12,15 hod.





30.07.2007 12:15



Barevná RGB syntéza kanálů 1, 2 a 4 AVHRR
NOAA 18

Vybrané skenery

- **VHRR (Very High Resolution Radiometer)** – po vylepšení (Advanced), tedy AVHRR, již je pětikanálový (spektrální pásma 0,55-0,90; 0,725-1,1; 3,55-3,93; 10,5-11,5; 10,5-11,5), v modifikaci AVHRR/3 šestikanálový. Jeho zorné pole je 110,8°.
- **HRV, resp. HRVIR (High Resolution Visible ..and Infra Red)**
- **ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus)** – Landsat 7
- **TM (Landsat 4,5)**
- **MSS (Landsat 1 – 3)**
- ...

Vybrané skenery

Název	Spektrální rozsah (nm)	Počet kanálů
Hyperion	349,896 – 2582,28	242
IKONOS-2	445 - 900	5
INSAT-2E	550 - 12500	6
IRS-1A	450 - 860	4
IRS-1B	450 - 860	4
ETM+	450 - 12500	8
MSS	500 - 1100	4
TM	450 - 12500	7

Aktivní přístroje

Aktivní přístroje

- Mohou být konstruovány jako zobrazující i jako nezobrazující (lineární, trasující).
- Tyto systémy vysílají mikrovlnný signál a měří charakteristiky signálu odraženého od zemského povrchu.
- Nejčastěji se využívají vlnové délky Ka-pásma (0,8 – 1,1 cm), X-pásma (2,2 – 3,8 cm), C-pásma (3,8 – 7,5 cm) a L-pásma (15 až 30 cm).
- Čím delší je vlnová délka, tím hlouběji pronikají mikrovlny pod zemský povrch.

Trasující aktivní přístroje

K nezobrazujícím radarům patří např.:

- tzv. Dopplerův radar (měření rychlosti v autodopravě),
- PPI radary (v radarové meteorologii, při řízení dopravy, pro navigační účely), které se skládají z kruhové obrazovky, po níž se kontinuálně odráží radarový paprsek, který zaznamenává echo z rotující antény z území o poloměru až několik set km.

Zobrazující aktivní přístroje

K zobrazujícím typům přístrojů patří tzv. boční radary (pořizují obrazový záznam po jedné nebo obou stranách letu), a to:

- radary s reálnou aperturou (Real Aperture Radar), který je možné používat pouze na letadlových nosičích, a proto bývá označován také SLAR (Side Looking Airborne Radar) a
- radary se syntetickou aperturou (SAR, Synthetic Aperture Radar), který je využíván především na družicích, např. kanadské satelity RADARSAT, satelity ESA ERS, ENVISAT a Sentinel-1, japonské satelity JERS, izraelské satelity Ofek-8 a Ofek-10.

Lidary

Podle způsobu činnosti se rozlišují tři typy lidarů a to:

- laserové dálkoměry (výškoměry, hloubkoměry) a skenery,
- diferenciální absorpční lidary, kterými lze určovat koncentraci ozónu, vodních par a polutantů v atmosféře,
- dopplerovské lidary pro měření rychlosti pohybu pevných a atmosférických objektů (nezobrazující).

Literatura a použité zdroje

- Kolář, J.: *Dálkový průzkum Země*. Populární přednášky o fyzice, svazek 35, Praha, SNTL 1990, 176 str. + 16 stran příloh
- Kolář, J., Halounová, L., Pavelka, K.: *Dálkový průzkum Země 10*. Vydavatelství ČVUT, Praha 1997, 164 s., ISBN 80-01-01567-X
- Štroner, M. a kol.: *3D skenovací systémy* Česká technika - nakladatelství ČVUT, Praha, 2013, ISBN 978-80-01-05371-3
- Štroner, M. , Pospíšil, J.: *Terestrické skenovací systémy*. Česká technika - nakladatelství ČVUT, Praha, 2008. 187 s. ISBN 978-80-01-04141-3
- Kašpar, M., Pospíšil, J., Štroner, M., Křemen, T., Tejkal, M.: *Laser Scanning in Civil Engineering and Land Surveying*. Vega, 2004. 103 s.
- <http://www.czechspace.cz>
- <http://www.gisat.cz>
-