

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování



METEOROLOGICKÉ DRUŽICE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vedoucí práce: Ing. Jana Soukupová, Ph.D.

Bakalant: Jan Koechr

2014

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením Ing. Jany Soukupové, Ph.D., a že jsem uvedl všechny literární prameny, ze kterých jsem čerpal.

V Praze dne

.....

Poděkování

Rád bych poděkoval Ing. Janě Soukupové, Ph.D. za poskytnutí cenných informací a příkladné vedení bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat panu RNDr. Martinu Setvákovi, CSc., který je vedoucím družicového oddělení Českého hydrometeorologického ústavu a který mi poskytl užitečné informace a materiály. Nemalé poděkování patří mým přátelům a rodině za podporu a trpělivost během studia.

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá popisem minulých, současných i budoucích meteorologických družic. Obsahuje hrubý nástin historického vývoje meteorologie od neolitické revoluce, přes antické myslitele až do dnešní digitalizované doby, kdy se meteorologii věnujeme jako vědě. V další kapitole se ve stručnosti dozvídáme základní informace z oblasti vývoje samotných meteorologických družic. V hlavní části bakalářské práce jsou popsány nejdůležitější světové meteorologické družice, jejich technická specifika, zaměření a využití v oblasti monitorování a předpovídání počasí. V závěru práce je věnován prostor družicím budoucnosti a jejich využití. Dozvídáme se jak mohou meteorologické družice pomoci při predikci živelných katastrof. A nechybí část věnovaná příkladům produktů družic, které snímají českou republiku. Pro vytvoření této práce bylo čerpáno především z internetových zdrojů z důvodu nejaktuálnějších informací

Klíčová slova: meteorologické družice, satelit, Meteosat, NOAA, počasí

Abstract

This bachelor thesis deals with past, present and future of meteorological satellites. Gives a gross outline of the historical development of meteorology from the Neolithic revolution, through ancient scientist up to the present digitized age when we understand meteorology as a science. The next chapter briefly learn basic information about the development of meteorological satellites. In the major part of this thesis is to describe the most important global meteorological satellites, their technical characteristics, focus and use in field of monitoring and forcast weather. The conclusion of this thesis refered to satellites and their future use. We learn how weather satellites can help in predicting natural disasters. Hereafter you can find varies types of products of satellites that scan the Czech Republic. To create this work major sources comes from Internet because you can find there most update information.

Keywords : weather satellites , satellite, Meteosat , NOAA weather

Obsah

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | Úvod..... | 10 |
| 2 | Historický vývoj meteorologie..... | 12 |
| 2.1 | Historie meteorologických družic | 15 |
| 3 | Meteorologické systémy | 17 |
| 3.1 | Geostacionární družice | 17 |
| 3.1.1 | Meteosat | 18 |
| 3.1.2 | GOES | 24 |
| 3.1.3 | GMS a MTSat | 26 |
| 3.1.4 | Feng - Yun | 27 |
| 3.1.5 | INSAT | 28 |
| 3.2 | Polární družice..... | 29 |
| 3.2.1 | NOAA - POES | 30 |
| 3.2.2 | Feng - Yun 1,3 | 33 |
| 3.2.3 | Jason-1,2 | 34 |
| 3.2.4 | Meteor | 35 |
| 3.2.5 | Metop | 36 |
| 4 | Srovnání geostacionárních a polárních družic | 39 |
| 5 | Družice budoucnosti a jejich využití..... | 40 |
| 5.1 | SENTINEL 1 | 40 |
| 5.2 | SENTINEL 2..... | 41 |
| 5.3 | SENTINEL 3 | 42 |
| 5.4 | SENTINEL 4..... | 42 |

| | | |
|-----|---|----|
| 5.5 | SENTINEL 5 | 43 |
| 6 | Využití družic při živelných katastrofách | 44 |
| 7 | Příklady využití meteorologických družic v České republice..... | 48 |
| 8 | Závěr | 58 |
| 9 | Seznam použité literatury..... | 60 |
| 10 | Seznam použitých obrázků | 65 |
| 11 | Seznam použitých tabulek..... | 67 |

Cíle práce

Hlavním cílem této bakalářské práce je formou literární rešerše popsat vývoj a využití družic.

V první části práce bude pomocí dostupných zdrojů literatury vysvětleno, jak meteorologické družice ovlivnily poznání v meteorologii a jaké jsou jejich přínosy při predikci počasí ve světě.

V druhé části práce bude pozornost soustředěna na jednotlivé družicové systémy. Budou popsány nejdůležitější družice, které v současné době slouží k předpovědi počasí ve světě a v České republice. Bude popsán jejich význam včetně kladů a limitů jejich využití, na základě čehož bude nastíněn jejich potenciál pro pozorování počasí v budoucnosti.

Metody

První hlavní výzkumnou metodou použitou v této bakalářské práci je rámcová analýza, která slouží k lepší organizaci dat, jejich strukturaci a následné interpretaci. Jelikož jsou cíle bakalářské práce stanoveny podrobně předem a předmět výzkumu lze objektivně kategorizovat, jedná se o vhodnou metodu.

Druhou hlavní výzkumnou metodou je kompilační analýza zdrojů odborné literatury vztahené k tématu meteorologických družic. Pomocí této metody budou shromážděny a organicky spojeny výsledky a závěry předchozích odborných prací, které budou následně syntetizovány ve vlastní poznatky o tématu meteorologických družic.

Seznam použitých zkratek

| | |
|----------------|--|
| AMSU | <i>Advanced Microwave Sounding Units</i> |
| ASCAT | <i>Advanced Scatterometer</i> |
| AVHRR | <i>Advanced Very High Resolution Radiometer</i> |
| CMA | <i>China Meteorological Administration</i> |
| ČHMÚ | <i>Český hydrometeorologický ústav</i> |
| DRT | <i>Data Relay Transponder</i> |
| EPS | <i>EUMETSAT Polar System</i> |
| FCI | <i>Flexible Combined Imager</i> |
| FY | <i>Feng Yun</i> |
| GERB | <i>Geostacionary Earth Radiation Budger</i> |
| GMS | <i>Geostacionary Meteorological Satellite</i> |
| GOES | <i>Geostationary Operational Enviromental Satellite</i> |
| GOME | <i>Global Ozone Monitoring Experiment</i> |
| GRAS | <i>Global Navigation Satellite System Receiver for Atmospheric Soundinng</i> |
| HIRS/3 | <i>High Resolution Infrared Radiation Sounder</i> |
| IASI | <i>Infrared Atmospheric Sounding Interferometer</i> |
| INSAT | <i>Indian National Satellite System</i> |
| IRS | <i>Infrared Sounder</i> |
| ISRO | <i>Indian Space Research Organisation</i> |
| LI | <i>Lighting Imager</i> |
| MCP | <i>Mission Communication Payload</i> |
| MHS | <i>Microwave Humidity Sounder</i> |
| MSG | <i>Meteosat Second Generation</i> |
| MSU | <i>Microwave Sounding Unit</i> |
| MTG | <i>Meteosat Third Generation</i> |
| MTSat | <i>Multifunctional Transport Satellite</i> |
| MVISR | <i>Multichannel Visible and IR Scan Radiometr</i> |
| NOAA | <i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i> |
| OSTM | <i>Ocean Surface Topography Mission</i> |
| POES | <i>Polar-Orbit Earth Observation Mission</i> |
| S&B | <i>Search and Rescue transponder</i> |
| SAGEIII | <i>StratosphericAerosol and Gas Experiment</i> |
| SART | <i>Search and Rescue Transponder</i> |
| SEM | <i>Space Enviroment Monitor</i> |
| SEVIRI | <i>Spinning Enhanced Visible and infrared Image</i> |
| SSU | <i>Stratospheric Sounding Unit</i> |
| S-VISSR | <i>Stretched Visible and Infrared Spin Scan Radiometer</i> |
| TOVS | <i>Tiros Operational Vertical Sounder</i> |
| UVN | <i>Ultraviolet Visible Near-Infrared Spectometr</i> |

| | |
|--------------|---|
| VISSR | <i>Visible and Infrared Spin Scan Radimeter</i> |
| WMO | <i>World Meteorological Organization</i> |
| WWW | <i>World Weather Watch</i> |
| WXSAT | <i>Weather Satelit</i> |

1 Úvod

Počasí patří k jedné z nejdůležitějších složek biotického a abiotického prostředí. Společně s reliéfem, zeměpisnou polohou a nadmořskou výškou rozhoduje o rázu krajiny a určuje základní pravidla pro výskyt, podobu a způsob života na zemském povrchu.

Počasí ovlivňuje lidskou činnost, rozmístění obyvatelstva, jeho složení, tělesnou stavbu i jeho rozvoj či úpadek. V krátkodobém časovém horizontu také ovlivňuje ekonomickou prosperitu a určuje hospodářský výsledek lidstva.

Počasí je charakteristické svou proměnlivostí. Nedá se však jednoznačně a objektivně určit, zda změny počasí přináší vysloveně negativní či pozitivní dopady. K tomu je nutno podotknout, že při dělení dopadů na negativní a pozitivní se vždy jedná o hodnocení z antropocentrické perspektivy.

Pokud při změnách počasí přichází kruté mrazy, náhlé přívaly deště a následné povodně, nebo nastává např. dlouhé období sucha, vnímáme tyto změny atmosféry spíše negativně. Na druhou stranu si ale uvědomujeme i to, že srážky v určitém množství působí blahodárně na úrodu a že sluneční svit dává fauně i floře možnost růstu a produkce.

Výše popsané projevy počasí spolu s mnoha dalšími vedly lidskou společnost k významné snaze o poznání počasí a konkrétních meteorologických jevů. Tato snaha přitom sahá až do počátků rozvoje zemědělství a rolnictví, kdy se lidé začali stávat na počasí doslova závislími. Za tu dobu samozřejmě došlo k významnému posunu a od nesystematického pozorování v období starověku se počasí postupně stalo předmětem zkoumání v rámci samostatné vědní disciplíny, kterou je meteorologie.

Dnešní meteorologie je založena především na rychlém a přesném získávání a vyhodnocování hydrometeorologických dat, což zajišťují stále modernější technologické prostředky. Těmito prostředky máme na mysli především meteorologické družice, které jsou hlavním tématem této práce.

V první části bakalářské práce dojde k syntéze poznatků z dostupných literárních zdrojů o potřebách sledování počasí. Od raných dob starověku až po současnost, kdy dochází k využívání nejmodernějšího dostupného technologického zařízení. Rešerše literatury bude především zaměřena na zahraniční zdroje, které o této problematice pojednávají.

V druhé části práce se těžiště poznání více přesune k samotným družicím, jejich konkrétním produktům a výstupům. V této části bude využívána především dostupná literatura, ale i oficiální internetové zdroje ústavů, které meteorologické družice spravují a provozují.

2 Historický vývoj meteorologie

Lidská společnost si uvědomuje svou závislost na počasí již od neolitické revoluce, tedy od doby přechodu od společnosti sběračů a lovců ke společnosti založené na zemědělství, osídlující jedno místo. Proces neolitizace probíhal již od 10. tisíciletí př. n. l. a potřeba pozorování počasí se během něj postupně objevuje ve všech starověkých civilizacích. Na počasí závisela kvalita úrody, která byla podmínkou nejen prosperity, ale i samotného přežití celé společnosti. Náhlé změny počasí však neovlivňovaly jenom hospodářství, ale i duchovní a sociální vývoj lidských společenství. Hrůzné projevy počasí jako je například bouře, blesk či hrom byly vysvětlovány jako zásah vyšší moci. Vznik božstev je tedy neodmyslitelně spjat s pozorováním počasí a jeho dopadů na lidskou činnost. Nemožnost ovlivnění projevů počasí zapříčinilo ustanovení prvních šamanů, kteří se snažili za pomoci spojení s „duchovní sférou“ zasáhnout do vývoje počasí ve prospěch daného společenství. Používané techniky jako jsou okultní tance, obětování části úrody či zvíře přetrvaly až do dnešních dní a můžeme je pozorovat při náboženských rituálech po celém světě.

Za první dochované zobrazení jevu souvisejícího s počasím je nález keramiky z mezopotámské kultury Tell Halaf (3700 – 3500 př. n. l.) s motivem oblaku, z něhož prší. Reálné počátky studia projevů počasí lze ale datovat až od starověkého Řecka, kde se přírodní vědy těšily velkému zájmu. Zde je také původ slova meteorologie („meteoros“ – vznášet se ve výši; „logia“ – nauka), které jako první použil řecký filosof Platón ve smyslu „rozhovoru o věcech ve vzduchu, tělesech nebeských a jiných jevech přírodních“. Nejstarším spisem, který se přímo zabývá meteorologií a který se stal studijní literaturou na mnoho následujících století až do renesance, je pak Aristotelova „Meteórologica“ z období kolem roku 340 př. n. l. Platónův žák a nejvýznamnější filosof vrcholného období řecké filosofie Aristoteles zde ve čtyřech knihách popisuje hranici mezi zemskou sférou a vzdušným obalem Země (atmosférou) a vykládá mimo jiné koloběh vody v přírodě, vznik mraků, deště, větru, bouřky, ale i zemětřesení a dalších jevů (Skřehot, 2004; Horstmeyer, 2005; Šťastná, 2011).

V pozorování počasí lze od Antiky nalézt již jistou pravidelnost i následné praktické využití nabytých poznatků. Od 5. stol. př. n. l. byly pro poučení lidu vyvěšovány na veřejných místech tzv. parapegmata, čili kalendáře pro hospodáře. Aristotelův žák Theofrastos sestavil ve spisu „Kniha znamení“ největší přehled povětrnostních pravidel s návody pro zemědělce, jak mají být k těmto pravidlům vztaženy polní práce. Antické znalosti byly následně v mnohém doplněny o poznatky Arabů a Židů, například v popisu zemského klimatu, koloběhu vody, vědeckém popisu oblaků nebo meteorologických jevů jako je duha nebo halo efekt ve vzduchu (např. v 9. stol. kniha „Popis deště a oblaků“ od arabského učenice Ibn Doraida al-Azdi). Meteorologie byla v té době ale spojována především s astronomií a astrologií, respektive byla spíše jejich okrajovou součástí. Také z toho důvodu byl ještě do středověku přisuzován vliv na počasí nebeským tělesům a překonání tohoto dogmatu přinesl až vynález prvních meteorologických přístrojů (Skřehot, 2004; Horstmeyer, 2005; Behringer, 2010).

Kolem roku 1500 sestavil Leonardo da Vinci první hygrometr, skutečný zlom v meteorologii ale nastává teprve v 17. století, kdy Galileo Galilei a jeho žáci zkonstruovali kapalinový teploměr a Jan Evangelista Torricelli a jeho žáci rtuťový tlakoměr. Od té doby přestává být meteorologie závislá jen na subjektivních pozorováních a začíná se datovat moderní, tzv. přístrojová epocha meteorologie. V roce 1667 sestrojil Robert Hooke přístroj pro měření větru, tzv. anemometr. Na základě těchto objevů byly postupně zmapovány pasáty a vytvořeny první povětrnostní mapy. Od 18. století se meteorologie stává součástí fyziky a začínají vznikat první meteorologické společnosti a ústavy sdružující jednotlivé meteorologické stanice (např. Societa meteorologica palatina v Mannheimu, Ústav pro meteorologii a zemský magnetismus ve Vídni aj.). V Čechách došlo k zahájení souvislých měření teploty v pražské jezuitské koleji v Klementinu v roce 1775, od roku 1804 zde dochází i k pravidelnému měření srážek. Shromážděné výsledky měření a pozorování se stávají základem pro formulování prvních meteorologických teorií. V průběhu 19. století se pak rozvíjí dynamická meteorologie, vycházející z poznatků hydrodynamiky a termodynamiky. Dochází k sestrojení psychrometru – přístroje pro měření relativní vlhkosti vzduchu (v roce 1825 - Ernest Ferninand August) nebo aneroidu – přístroje pro

měření atmosférického tlaku (v roce 1843 - Lucien Vidie) (Kožnarová, 2009; Šťastná, 2011).

Od poloviny 19. století se pak rozvíjí tzv. synoptická meteorologie, která se zabývá současným sledováním atmosférických jevů na rozsáhlých územích a která prakticky umožňuje moderní vědeckou předpověď počasí. První synoptické mapy jsou spojeny se jménem Heinricha Wilhelma Brandese. V roce 1854 pak francouzský vědec Urbain Le Verrier vyslovuje domněnku, že ničivé meteorologické jevy jako např. vichřice lze předpovídat, jsou-li dostupná rozsáhlejší meteorologická data. Tento závěr odstartoval zřizování tzv. povětrnostních služeb v mnoha zemích Evropy i USA a telegrafickou mezinárodní výměnu měřených dat. Pro studium fyzikálních jevů probíhajících v atmosféře začaly ke konci 19. století vznikat vysokohorské observatoře a také se započalo s vypouštěním výzkumných balónů. Nebývalý rozvoj měření, shromažďování a výměny dat od 19. a především pak ve 20. století umožnil vytvoření rozsáhlých a centralizovaných meteorologických archivů a stal se předpokladem vzniku moderní meteorologie klimatologie. V čele s prof. Vilhelmem Bjerknesem vznikla na začátku 20. století tzv. norská frontologická škola formulující myšlenku, že počasí lze předpovídat na základě řešení soustav hydrodynamických a termodynamických rovnic. V synoptické praxi je využívána detailní analýza atmosférických front a od 2. světové války je zaváděno použití meteoradarů (Krška, 2001; Bednář, 2003; Šťastná, 2011).

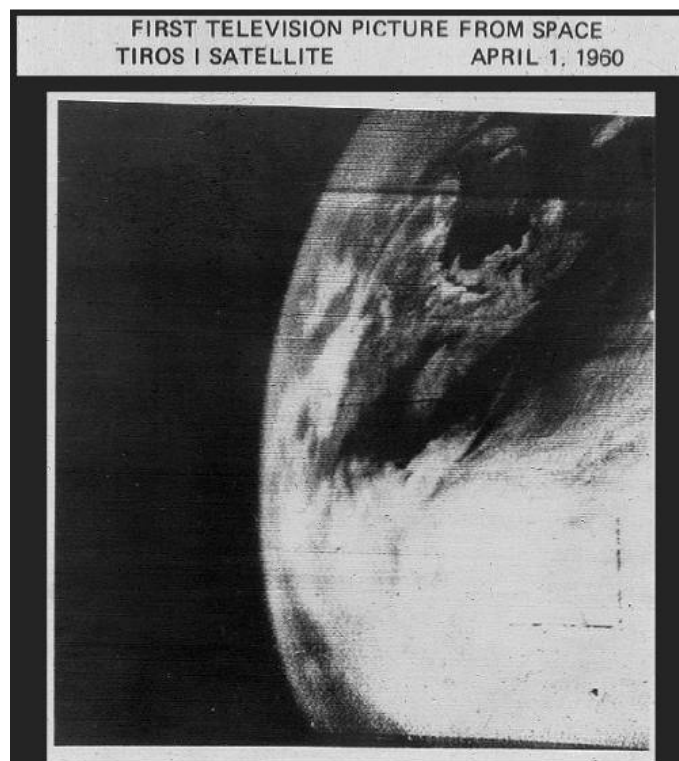
Počátek počítačové a digitalizované meteorologie je spojen se jménem maďarského matematika Johna von Neumanna, kdy se v roce 1950 podařilo vědeckému týmu pod jeho vedením vytvořit první matematický model 24 hodinové předpovědi počasí. Bouřlivý rozvoj techniky od poloviny 20. století pak umožnil sledovat stav atmosféry z orbity Země, a to pomocí geostacionárních a polárních meteorologických družic. Spolu s rozvojem telekomunikací a výpočetní techniky, která umožňuje operativně přenášet, zpracovávat a vyhodnocovat aktuální meteorologická data, došlo ke vzniku moderní globalizované meteorologie a klimatologie s čím dál dokonalejšími možnostmi predikovat počasí (Kožnarová, 2009).

2.1 Historie meteorologických družic

V dnešní době jsou meteorologické družice nedílnou součástí dálkového průzkumu Země (DPZ). Byly to právě snímky získané z prvních kosmických letů, které poskytovaly důležité informace v oblasti meteorologie. Tyto snímky vypovídaly o momentálním stavu atmosféry (především zemské oblačnosti) a pomáhaly člověku pochopit zákonitosti tvorby počasí a tím přinesly i více možností pro kvalitní předpovědi.

První úspěšná operativní meteorologická družice byla vypuštěna 1. dubna 1960, jmenovala se TAIROS - 1 a tento úspěch patřil Američanům. Odstartovali tím éru družic na polárních drahách. Sovětský svaz jako první meteorologickou družici vypustil Kosmos 122 a to 25. června 1966. Mezi první satelity na geostacionární dráze patří NASA ATS-1, vypuštěn 7. 12. 1966. Tyto první, na dnešní dobu neúplně vyspělé satelity se postupem času zdokonalovaly až do podoby dnešních radiometrů skenujících zemský povrch s velmi vysokou přesností (Mudrych 1985; Kramer, 2002).

Obrázek 1- První pořízený snímek z družice Tiros 1



zdroj: <http://apod.nasa.gov/apod/ap000401.html>

Nutno však podotknout, že již ve 20. a 30. letech mnoho tehdejších autorů sci-fi literatury přišlo s myšlenkou obíhajících družic kolem Země a uvědomovali si přínos, který by to pro meteorologii mělo. Jednalo se především o dílo 2001: Vesmírná odysea, jejímž autorem je Arthur C. Clarke.

Počkal, až do sebe Floyd vstřebá tento nevšední pohled na zcela všední objekt, a pokračoval: „V průběhu minulého roku jsme prováděli magnetický průzkum této oblasti, a to z družice na velmi nízké oběžné dráze. Byl dokončen teprve minulý měsíc a zde je výsledek - mapa, kterou počaly všechny současné problémy.“ (Clarke, 1982)

Obrovský posun v oblasti meteorologie nepřímo zavinila druhá světová válka. V průběhu této války totiž dochází k obrovskému posunu ve zbrojním a hlavně raketovém inženýrství. Především výzkumy Wernhera von Brauna, který ve službách třetí říše konstruoval především rakety, v tomto směru dosáhl obrovských úspěchů. Již v roce 1943 sestrojil raketu, která byla schopna odnést 12-ti tunovou nálož na vzdálenost více než 300 km. Jeho nevídaného talentu si samozřejmě všimla Americká vojenská rozvědka a vědec byl s celým jeho týmem, v rámci operace Paperclip, přesunut do USA. Tam Braun začal se stejným úsilím pracovat na raketovém programu USA. V roce 1955 se mu podařilo sestrojít raketový motor F1, který se v roce 1960 stal součástí rakety Saturn V. A právě raketa Saturn pomohla vynést člověka na měsíc v projektu Apollo. Později se zjistilo, že výzkum von Brauna nenapomohl jen USA, ale díky zabavení obrovského množství výzkumných plánů rudou armádou napomohly jeho výzkumy také SSSR.

Mezi další vynálezy, které později přispěly k vývoji meteorologických družic, můžeme také řadit gyroskop (který byl poprvé použit v raketách V1) nebo navádění radiovými vlnami.

Přesto, že druhá světová válka byla bezesporu jednou z nejhroznějších kapitol v dějinách lidstva, byla to zároveň doba, kdy došlo k celé řadě válečných objevů, které po skončení války našli uplatnění v oborech, které mají za cíl lidstvu pomáhat (URL 38).

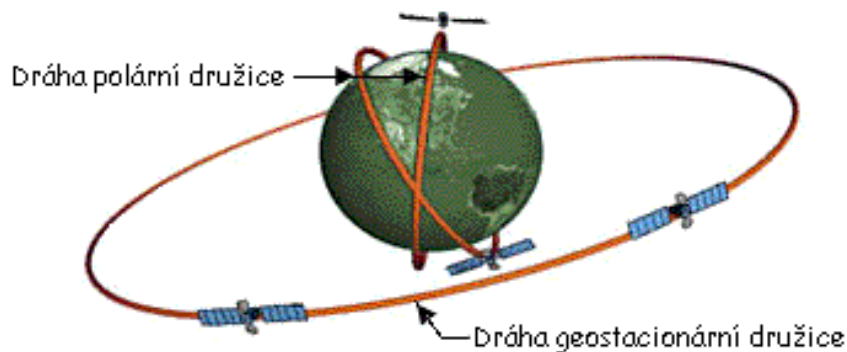
3 Meteorologické systémy

Zemská atmosféra je monitorována systémem meteorologických družic. Tento systém je složen ze satelitů, které jsou označeny jako **WXSAT** (Weather Satelit). Podle své orbitální dráhy jsou satelity rozděleny na dva základní typy:

- **geostacionární družice**
- **polární družice**

Každý má své preference, které když se zkombinují, lze získat kvalitní informace o atmosféře.

Obrázek 2 - Schéma pohybu geostacionárních a polárních družic



zdroj: <http://metmladez.wz.cz/metdeti/i17.htm>

3.1 Geostacionární družice

Geostacionární družice se pohybují na rovníku ve výšce cca 36 000 km nad Zemí a monitorují téměř jednu třetinu Země. Jeden oběh kolem planety vykonají za 24 h (tedy cca stejnou rychlostí jakou se Země otáčí kolem své osy) a jsou prakticky "zavěšené" nad určitým poledníkem. A tím pádem z pohledu ze Země je jejich poloha neměnná (Moran & Morgan, 1989; Soukupová, 2011).

Geostacionární dráha je jedinečná a v dnešní době je již poměrně zaplněna nad oblastmi, které jsou hustě obydlené. Nicméně, vzhledem ke své velké vzdálenosti od Země jsou nevýhodou energetické nároky na vypuštění či potřeba kvalitnějších skenerů s mnohem lepší rozlišovací schopností.

3.1.1 Meteosat

Meteosat je Evropský meteorologický systém, který byl vyvinut programem ESA v roce 1972. Meteosat-1 byla první evropská vesmírná meteorologická geosynchronní družice, vypuštěna byla 23. listopadu 1977. Do vesmíru byla vynesena americkou raketou Delta z mysu Canaveral. Od této chvíle měly stát západní Evropy satelitní systém pro pozorování počasí. Meteosat-1 po třech letech, tedy roku 1979, selhal a následovalo vypuštění dalších družic z první série (viz Tab. 1).

Úspěch programu Meteosat podnítil velkou skupinu evropských národů pro zřízení trvalé organizace. 24. května 1983 šestnáct zemí podepsalo dohodu EUMETSAT, která přišla v platnost v červnu 1986. Od 1. ledna 1987 přešla zodpovědnost za operace satelitů Meteosat z organizace ESA na EUMETSAT (Kramer, 2002).

Tabulka 1 - Přehled družic Meteosat první generace

| Typ | datum vypuštění | rok ukončení |
|-------------------|-----------------|---------------|
| Meteosat-1 | 23.11.1977 | 25.11.1979 |
| Meteosat-2 | 19.6.1981 | 11.8.1988 |
| Meteosat-3 | 15.6.1988 | 31.5.1995 |
| Meteosat-4 | 6.3.1989 | 4.2.1994 |
| Meteosat-5 | 2.3.1991 | 16.4.2007 |
| Meteosat-6 | 20.11.1993 | 15.11.2011 |
| Meteosat-7 | 2.9.1997 | stále funkční |

zdroj: Autor

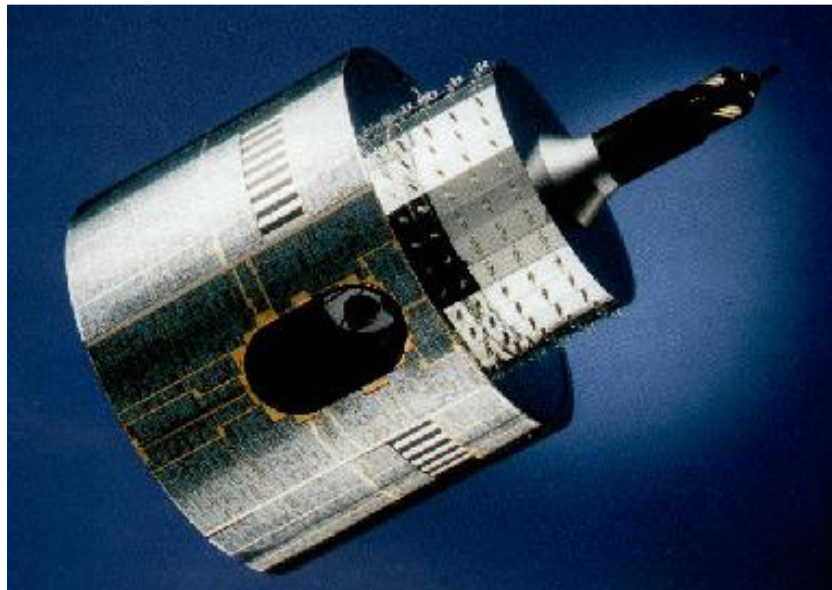
Meteostat - první generace

Družice spadají do skupiny družic geostacionárních a Zemi obíhají ve výšce kolem 36 tisíc kilometrů. Jsou "zavěšeny" nad Guinejským zálivem a z této pozice jsou

schopné nasnímat celou Evropu a Afriku, západní Asii, část jižní Ameriky a větší část Atlantského oceánu.

Hmotnost družice Meteosat je přibližně 320kg, včetně 40kg paliva při startu. Má tvar válce o průměru cca 2 m a výšce 3 m. Družice je stabilizována v prostoru díky rotaci o rychlosti 100 otáček za minutu (URL 21).

Obrázek 3 - Družice Meteosat 1. generace



zdroj: http://old.chmi.cz/meteo/sat/inf_mtst.html

Každých 30 minut družice snímá celý zemský disk. Snímat družice začíná vždy v 30. a 60. minutě, následně 25 minut snímá a zbylých 5 minut má na návrat do výchozí pozice a stavu (návrat čidel, kalibrace a telemetrické údaje). Tento cyklus se stále opakuje a Meteosat takto nasnímá 48 obrazových souborů za 24h (URL 16).

Nejdůležitější zařízení na palubě Meteosatu je 3-kanálový skenující radiometr VISSR (*Visible and Infrared Spin Scan Radimeter*). Díky němu může být povrch Země nasnímaný ve třech různých spektrálních kanálech, které družice vybírá podle potřeby použití snímků (viz. Tab. 2)

Tabulka 2 - VISSR, 3-kanálový skenující radiometr

| Pásmo | Zkratka | Vlnová délka [μm] | Rozlišení |
|----------------------------|---------|--------------------------------|-----------|
| viditelné pásmo | VIS | 0,4 až 1 μm | 2,5 km |
| pásmo absorpce vodních par | WV | 5,7 až 7,1 μm | 5 km |
| tepelné infračervené pásmo | IR | 10,5 až 12,5 μm | 5 km |

zdroj: PAVELKA, Karel. *Dálkový průzkum Země - družicové systémy*. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2010, 41-42 s. ISBN 978-80-01-04628-9.

Toto rozlišení je platné pouze pro pixely v ose záběru. Vlivem zakřivení Země a změnou vzdálenosti k pixelu, jsou ostatní pixely zkresleny. V naší zeměpisné šířce se pohybujeme v rozlišení 4-5km ve viditelném pásmu (Pavelka, 2010).

Meteosat - druhá generace - MSG-1

Zkrácený název družic MSG je zkratkou anglických slov: *Meteosat Second Generation*. Stejně jako první generace je provozovatelem těchto satelitů organizace EUMETSAT. Můžeme se setkat se dvojím typem označení těchto družic: buď se uvádí pořadové (výrobní) číslo za zkratkou MSG, tedy např. **MSG 1**, a nebo s pořadovým číslem ve spojení s názvem Meteosat, např. **Meteosat 8**. V obou dvou případech se jedná o jednu a tu samou družici, ale v praxi se více využívá druhý způsob pojmenování, kdy nerozlišujeme, z jaké generace družice pochází.

Družice MSG jsou opět geostacionárními. Výška jejich dráhy je 35 790 km a dráha má poloměr 42 168 km. Stabilizace na oběžné dráze je opět pomocí rotace 100 otáček za minutu. Oproti první generaci pořizují snímky v kratším časovém intervalu (15 minut, místo původních 30 minut) a ve více vlnových délkách (12 spektrálních kanálů místo původních tří) a samozřejmě ve větším rozlišení (zachycují přesněji jevy jako bouřky, sněhové přeháňky, výskyt mlh apod.) (URL 21, 24).

Druhá generace družic Meteosat má stejně jako první generace tvar válce, je však o něco větší. Průměr činí 3,7 m a výška 3,8 m (údaje pro MSG-2), váha družice se pohybuje kolem 2035 kg včetně zásoby pohonné hmoty (mono-methyl hydrazín). Plášť hlavního válce je pokrytý osmi slunečními panely, ty poskytují celkem 600 W energie. V horní části družice jsou umístěny antény, které slouží pro komunikaci s centrem a pro přenos dat. Předpokládá se, že životnost družice je 7 let, čemuž odpovídá i zásoba paliva (Pavelka, 2010).

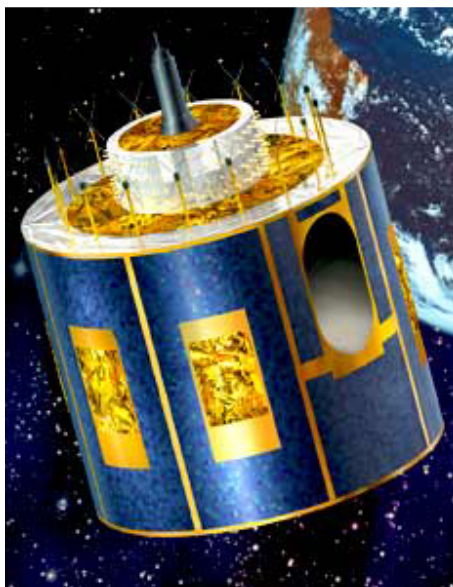
Družice MSG jsou do vesmíru vynášeny pomocí raket Ariane-5G ze základny Kourou ve Francouzské Guayaně (URL 25).

Tabulka 3 - Přístrojové vybavení družic MSG

| Zařízení | Zkratka | Popis |
|---|----------------|--|
| Spinning Enhanced Visible and infrared Imager | SEVIRI | hlavní zařízení pro snímání obrazových dat |
| Mission Communication Payload | MCP | slouží pro komunikaci a telemetrii |
| Geostacionary Earth Radiation Budger | GERB | zařízení pro monitorování vrchních vrstev atmosféry pomocí výpočtu záření (především pro monitorování klimatu a klimatických změn) |
| Search and Rescue transponder | S&B | zařízení pro záznam nouzových signálů |

zdroj: <http://old.chmi.cz/meteo/sat/msg/msg03.html>

Obrázek 4 - Družice MSG 1



zdroj: http://space.skyrocket.de/doc_sdat/msg-1.htm

Tabulka 4 - Přehled družic MSG

| | | |
|--------------|--------------|-------------|
| MSG-1 | 28. 8. 2002 | Meteosat 8 |
| MSG-2 | 21. 12. 2005 | Meteosat 9 |
| MSG-3 | 5. 7. 2012 | Meteosat 10 |
| MSG-4 | léto 2015 | Meteosat 11 |

zdroj: Autor

Meteosaty druhé generace jsou celkem 4. Plánovaná životnost systému MSG je přibližně do roku 2020 - 2022. Již od roku 2018 - 2019 by měla nastoupit třetí generace **MTG** (Meteosat Third Generation). (Setvák, 2014).

- **MTG-I** (MTG Imager). Předpokládané vypuštění se odhaduje na rok 2018 a měli by být celkem 4 družice. Přístrojové vybavení tohoto satelitu bude **Flexible Combined Imager** (FCI) a **Lighting Imager** (LI).

- **MTG-S** (MTG Sounder). Předpokládané vypuštění se odhaduje na rok 2019, celkem 2 družice. Přístrojové vybavení tohoto satelitu bude **Infrared Sounder** (IRS) pro hyperspektrální sondáž atmosféry a **Ultraviolet Visible Near-Infrared Spectrometr** (UVN) (Setvák, 2014).

Obrázek 5 - Družice MTG-I



zdroj: http://space.skyrocket.de/doc_sdat/mtg-i.htm

3.1.2 GOES

Meteorologický systém amerických družic **GOES** (*Geostationary Operational Environmental Satellite*) byl vyvinut a vypuštěn organizací NASA. Ve chvíli, kdy byl schopný provozu, se řízení ujala NOAA, která v současnosti tuto družici zaštiťuje.

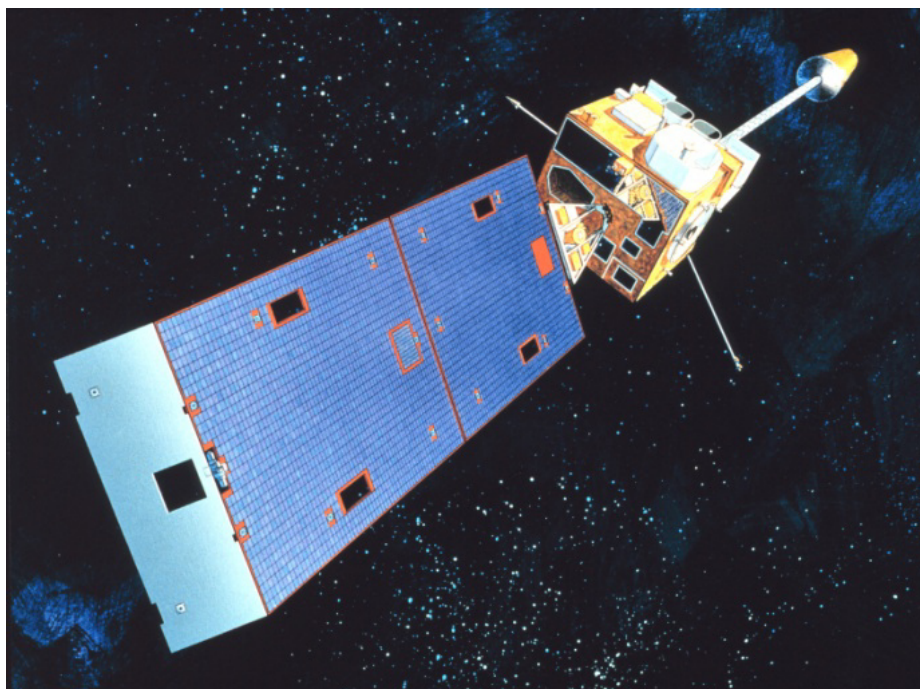
První družice GOES byla na svou dráhu vynesena 16. října 1975. V začátcích byly družice stabilizovány rotací a Zemi byly schopné snímat z pouhých 10 % času. Tento typ satelitů byl v provozu v letech 1975 až 1994. Od 13. dubna 1994 do současnosti jsou družice další generace vybaveny troj-osou stabilizací (*three-axis stabilized*). První družicí z této generace byla GOES 8 (13. 4. 1994).

Další družice z této generace, GOES 9 - 12 (někdy označované písmeny J, K, L, M), byly úspěšně vypuštěny mezi roky 1994 - 2001. Tyto satelity váží okolo 2100 kg, obíhají ve výšce 35 800 km nad Zemí a díky nové technologii stabilizace dokáže tato série satelitů zabírat Zemi kontinuálně. Tím, že družice GOES "visí" nad jedním pevným bodem nad Zemí, poskytují stálou informaci o případných nepříznivých změnách počasí, jako jsou tornáda, přívalové povodně, krupobití a hurikány. Satelity GOES jsou schopné zaznamenávat vývoj bouře a sledovat její pohyb, dokážou odhadnout míru srážek během bouří a hurikánů a predikovat tak včasné protipovodňové varování (URL 10,12,13).

V dnešní době jsou funkční tři družice:

- GOES 13 (GOES-East) na 75° z.d.
- GOES 15 (GOES-West) na 135° z.d
- záložní GOES 14, který je hybernován na oběžné dráze na 105° z.d.

Obrázek 6 - Družice GOES



zdroj: http://www.nasa.gov/sites/default/files/images/616798main_GOES.jpg

Koncem roku 2015 by měla odstartovat třetí generace družic, a to GOES-R. Měly by být plně operativní v roce 2017 a předpokládaná životnost je do roku 2025. Poté bude následovat ještě obdobná družice GOES-S. Odstartovat by měla v roce 2017, funkční bude od r. 2020 a životnost se odhaduje do r. 2028 (Setvák, 2014).

Tabulka 5 - Charakteristika skenujícího radiometru družic GOES I-M

| kanál (vlnová délka) | rozlišení |
|---------------------------|------------------------|
| 0.52 - 0.71 μm | 1 km |
| 3.73 - 4.07 μm | 4 km |
| 5.70 - 7.30 μm | 4 km |
| 10.2 - 11.2 μm | 4 km |
| 13.0 - 13.7 μm | 4 km (8 km pro GOES-N) |

zdroj: Přednášky *Distanční pozorování a detekční metody v meteorologii I* (MFF UK, NMET020)

3.1.3 GMS a MTSat

Japonské družice **GMS** (*Geostacionary Meteorological Satellite*), také známé pod názvem "*Himawari*" (*Slunečnice*), jsou součástí **WWW** (*World Weather Watch*), což je projekt, který spadá pod WMO. Všechny satelity série GSM operují na 140° v.d. ve výšce 36 000 km. Družice má tvar válce a je stabilizována rotací kolem své osy (100 ot./min). *Zobrazujícím zařízením je radiometr VISSR, skenující rotací jako u jiných geostacionárních meteorologických družic. Skenování disku trvá 22min., perioda vysílání je 30 minut; každý záznam obsahuje 10000 linek pro viditelné záření a 2500 linek pro infračervené (Pavelka, 2010; URL 26).*

První družice z této série odstartovala v roce 1977. Následovali další 4 družice GMS v rozmezí let 1981 až 1995. Po GMS-5 byla série nahrazena družicemi **MTSat** (*Multifunctional Transport Satellite*). Jedná se o družice MTSat-1R a MTSat-2 (neboli Himawari 6 a 7), které jsou nyní v aktivním stavu. Tyto multifunkční satelity mají krom funkce meteorologické, kdy poskytují informace o tajfunech, vichřicích a vytrvalých srážkách celé asijsko-pacifické oblasti, také funkci komunikační a navigační (URL 9, 11, 27).

Obrázek 7 - Družice MTSat 1



zdroj: <http://en.allmetsat.com/satellite-mtsat.php>

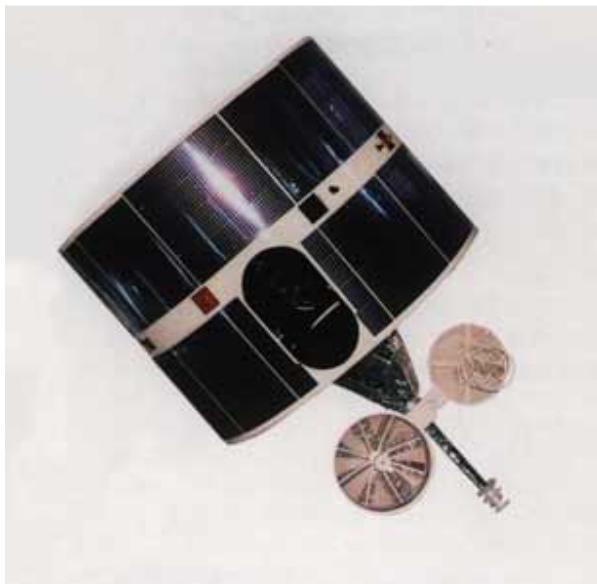
3.1.4 Feng - Yun 2,4

Feng - Yun, zkráceně **FY**, jsou čínské meteorologické družice (Feng Yun = vítr a oblak). Spadají pod organizaci **CMA** (*China Meteorological Administration*). Vyskytují se v sériích 1 a 3 (Feng-Yun-1 / FY-1) na polárních drahách a v sérii 2 a 4 na geostacionárních. Dále se za číslicí jednotlivých sérií udává písmeno, které určuje pořadí, v jakém byly družice vyvinuty (např.: FY-2A).

První čínskou geostacionární družicí byla FY-2A, na oběžnou dráhu vynesena raketou Long March v roce 1997. Její poloha byla 105° v.d. nad Indickým oceánem a západní Asií. Čínské geostacionární družice mají předem navrhnuté lokace: 105° v.d., $86,5^{\circ}$ v.d. a 123° v.d., přičemž umístění na 105° v.d. je fixní a další dvě pozice slouží především jako záložní (URL 28).

V programu FY-2 je celkem 6 družic (A až F). V současnosti jsou v provozu jen 3 poslední (tzn. FY-2D, E, F). Od vypuštění družice FY-2D měla Čína k dispozici informace o pohybu oblačnosti každých 15 minut. Tím se významně podílela při predikci záplav (URL 4, 5).

Obrázek 8 - Družice Feng-Yun série 2



zdroj: http://space.skyrocket.de/doc_sdat/fy-2.htm

Poslední z programu FY-2, Feng Yun 2F, byla vypuštěna 13. ledna 2012. Na oběžnou dráhu byla vynesena pomocí rakety Long March 3A a je "zavěšena" na 86,5°v.d. FY-2F váží cca 1400kg. Je válcovitého tvaru a stabilizována rotací kolem své osy (100 ot./min). Nese pěti kanálové zařízení pod názvem **S-VISSR** (*Stretched Visible and Infrared Spin Scan Radiometer*), které pořizuje snímky každých 30 minut, a to v oblasti viditelného světla, i v infračerveném spektru. Krom tohoto zařízení je na palubě družice ještě přístroj monitorující Slunce, který zaznamenává sluneční erupce (URL 15, 31).

3.1.5 INSAT

Indické víceúčelové družice **INSAT** (*Indian National Satellite System*) spadají pod organizaci **ISRO** (*Indian Space Research Organisation*). Jejich posláním bylo zaštiťovat telekomunikaci, vysílání, meteorologické informace a mimo jiné měly pomáhat při záchranných akcích v Indii.

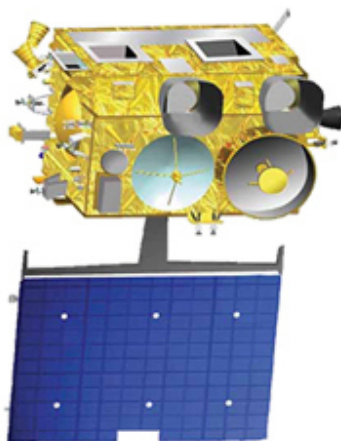
První vypuštěná družice Insat-1A se nedočkala velkých úspěchů. Byla vypuštěna v roce 1982, avšak ještě tentýž rok byla kvůli závadě deaktivována. Její místo na 74° v.d. nahradila v roce 1983 družice Insat-1B. Od tohoto roku se ze série družic Insat stal největší telekomunikační systém pro Asijsko-pacifickou oblast. Přineslo to velký rozvoj telekomunikačních a radiových přenosů, a to i do odlehlých částí Indie či vzdálených ostrovů (URL 1).

Družice Insat 1B byla vynesena na oběžnou dráhu raketoplánem STS-8, družice typu 2 raketou Ariane. Hmotnost družice typu 2 je cca 900kg, s palivem okolo 1900kg. Od typu 2E jsou vypuštěny domácím nosičem GSLV. Družice typu 3 váží téměř 2750kg a její životnost se odhaduje na 12 let (Pavelka, 2010).

Ze současných družic ze série Insat bych zmínil především družici Insat-3D, která byla vypuštěna 26. července 2013 z Kourou ve Francouzské Guyaně. Do vesmíru ji vynesla raketa Ariane-5 a je umístěna na 82° v.d. Jejím úkolem je monitorovat povrch země a oceánu, generovat vertikální profil atmosféry a upozorňovat na přírodní katastrofy. Ačkoli je družice navržena primárně pro meteorologické potřeby, dokáže stejně tak dobře posloužit i pro *search and rescue services* (URL 8, 33).

Družice na své palubě nese šesti kanálový multi-spektrální radiometr, **DRT** (*Data Relay Transponder*), který se využívá především pro sběr hydrometeorologických dat a **SART** (*Search and Rescue Transponder*).

Obrázek 9 - Družice INSAT



zdroj: <http://www.isro.org/satellites/insat-3d.aspx>

3.2 Polární družice

Družice s polární dráhou letu obíhají Zemi přes póly ve směru sever-jih. Ve vztahu k zemskému rovníku mají sklon dráhy 98 až 99 stupňů. Jeden oblet družici trvá zhruba 100 minut, přičemž dané území je schopna "vidět" jen několik minut (přelet trvá cca 15min). Vlivem rotace Země a záběru družice je možné daný bod sledovat jen párkrát za den. *Oproti geostacionárním družicím mají výrazně lepší geometrické rozlišení, dané zejména běžnou výškou dráhy od 600-1200km. Pokud se jedná o ucelený systém družic, lze je výhodně vysílat na stejnou dráhu např. v tandemu posunutě na dráze; zkracuje se tak doba mezi pozorováním (Pavelka, 2010).*

Vzhledem k tomu, že stabilizace již není pomocí rotace celé družice, ale je zajištěna pomocí gyroskopů, může družice na svém těle nést více přístrojů než geostacionární.

V následující kapitole budou popsány nejdůležitější světové polární družice jako je NOAA POES, Feng-Yun, Jason, Meteor a MetOp.

3.2.1 NOAA - POES

POES (Polar-Orbit Earth Observation Mission)

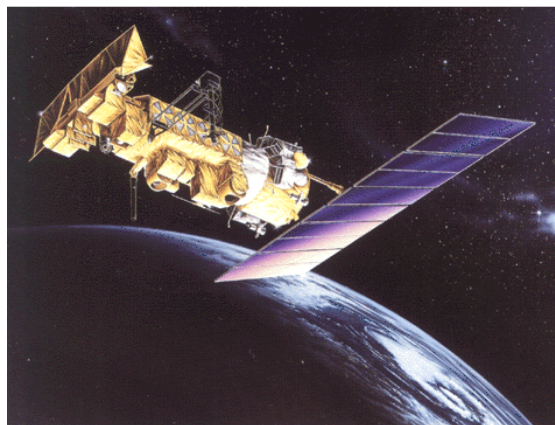
Jedná se o americké družice, jejichž název je odvozen od americké vládní agentury **NOAA** (*National Oceanic and Atmospheric Administration*). Tato organizace spravuje veškeré operační meteorologické družicové systémy v USA. Celý observační systém je podstatnou částí programu **WMO** (*World Meteorological Organization*).

Program družic NOAA zahrnuje družice I. generace (odvozené z družic Tiros a ESSA) a družice typu Tiros-N (odvozené od vojenských družic) (Pavelka, 2010).

Před startem je družice označena písmenem abecedy dle pořadí výroby družice. Po dosažení oběžné dráhy je družice přejmenována tak, že písmeno je nahrazeno číslem

- NOAA-K -> NOAA 15
- NOAA-L -> NOAA 17

Obrázek 10 - Družice NOAA



zdroj: <http://old.chmi.cz/meteo/sat/imgs/noaa.gif>

NOAA-TIROS N

Startem družice TIROS-N v roce 1978 započala II. generace družic NOAA. Tento nový typ družic se pohyboval po heliosynchronní kruhové dráze ve výšce 830-870 km. Družice jsou schopné přeletět 2x denně nad stejným územím. Obvykle spolupracují dvě družice, které jsou vzájemně posunuté na dráze a poskytují informace cca každých 6 hodin (Pavelka, 2010).

Hlavním přístrojovým vybavením družic typu NOAA je skenující mechanický radiometr **AVHRR** (*Advanced Very High Resolution Radiometer*), který poskytuje obrazová data pro DPZ. Pro sondáž atmosféry je družice vybavena souborem tří přístrojů **TOVS** (*Tiros Operational Vertical Sounder*). Data z tohoto zařízení se využívají jak pro meteorologické účely, tak i pro radiometrickou korekci. Je složen z následujících přístrojů:

- **HIRS/3** (*High Resolution Infrared Radiation Sounder*) - poskytuje data pro zpracování teplotních a vlhkostních profilů atmosféry, monitoruje povrchovou teplotu a oblačnost a využívá se pro vzdálený pohled do vesmíru.
- **SSU** (*Stratospheric Sounding Unit*) - provádí určování teploty ve výškách 25 - 50 km.
- **MSU** (*Microwave Sounding Unit*) - měří teploty bez ohledu na oblačnost (URL 18)

NOAA-KLMNO

Družice NOAA - K, L, M, N, O je alternativní označení pro NOAA 15, 16, 17, 18, 19. Oproti předchozím typům mají změněnou konstrukci a pokročilejší přístrojovou výbavu. Mechanický skenující radiometr AVHRR byl nahrazen pokročilejší verzí **AVHRR/3** (viz. Tab. 6). Některé přístroje jako SSU a MSU byly odstraněny a nahrazeny vyspělejší technikou. Jedná se o zařízení **AMSU-A1, A2 a B** (*Advanced Microwave Sounding Units*). AMSU-A je 15-kanálový mikrovlnný radiometr, který se využívá pro měření teploty a vlhkosti. Data z AMSU-B (5-kanálový mikrovlnný

radiometr) slouží pro monitorování vodních par. Přístroj **HIRS/3** (*High Resolution Infrared Radiation Sounder*) má vylepšenou kalibrační sekvenci a využívá se pro pohled do vesmíru. Družice NOAA má na své palubě mimo jiné i zařízení pro nouzové volání **SARP** (*Search and Rescue Processor*. (URL 29, 30).

Tabulka 6 - Charakteristika 6-kanálového přístroje AVHRR3

| Kanál | Vlnová délka [μm] | Oblast spektra | Využití |
|-----------------|-------------------|---|--|
| kanál 1 | 0.58 - 0.68 μm | červená oblast spektra | denní oblačnost |
| kanál 2 | 0.725 - 1.0 μm | blízké infračervené záření | hranice voda - země |
| kanál 3A | 1.58 - 1.64 μm | infračervené záření | detekce sněhu a ledu |
| kanál 3B | 3.55 - 3.93 μm | infračervené záření, resp. tepelné záření | noční oblačnost a povrchová teplota moře |
| kanál 4 | 10.3 - 11.3 μm | tepelné záření | noční oblačnost a povrchová teplota moře |
| kanál 5 | 11.5 - 12.5 μm | tepelné záření | povrchová teplota moře |

zdroj: http://old.chmi.cz/meteo/sat/inf_noaa.html

První tři kanály operují výlučně v odraženém slunečním záření, poslední dva jsou čistě tepelné a kanál 3B je v denních hodinách smíšeným a v noci jen tepelným.

Kanály 1 a 2

Snímky pořízené v těchto kanálech připomínají černobílou fotografii zemského povrchu. Snímky z obou kanálů jsou si podobné, ale rozdíl je především v zobrazení vegetace. Kanál 2 zobrazuje povrch pokrytý vegetací světleji než kanál 1. Naopak vodní plochy zobrazuje tmavší. Díky kombinaci obou je možné získat informace o stavu vegetace.

Kanál 3b

Tento kanál využívá jak odražené sluneční záření, tak tepelné vyzařování. V nočních hodinách odpovídají snímky kanálům 4 a 5. Objekty, které přes den odrážejí nejvíce světla, se zobrazují nejtmavěji.

Kanál 4 a 5

Snímají pouze tepelné záření, neboli energii, kterou zemský povrch, vodní plochy nebo oblačnost vyzařuje. Nejchladnější objekty jsou zobrazeny bíle, naopak teplé můžeme vidět šedě až černě (URL 18).

3.2.2 Feng - Yun 1,3

Jak bylo řečeno v kapitole 3.1.4, družice Feng - Yun se vyskytují ve dvou sériích. Přičemž série 1 a 3 se pohybují po polární dráze.

První satelit s pojmenováním FY-1A byl na polární dráhu vynesena v roce 1988. Váha této družice byla 880kg a pohybovala se ve výšce 853-871km. Na palubě nesla mnohokanálový radiometr **MVISR** (*Multichannel Visible and IR Scan Radiometr*) pracující v 10 kanálech viditelného a infračerveného záření. Po ní následovaly další ze série 1 (Pavelka, 2010; URL 3).

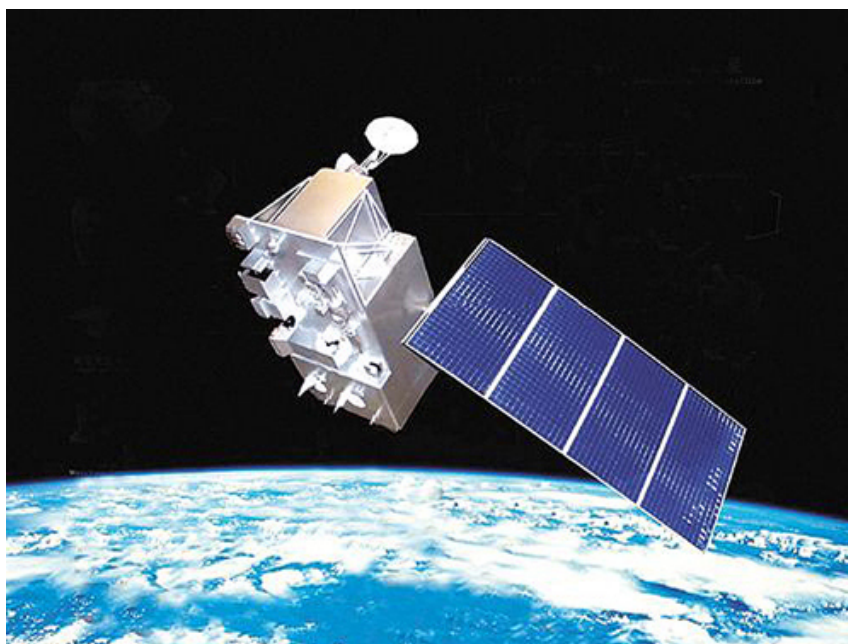
Tabulka 7 - Charakteristika 5 - kanálového přístroje MVISR

| kanál | vlnová délka | využití |
|-------|--------------|--|
| 1 | 0.58 - 0.68 | Denní oblačnost a snímání povrchu Země |
| 2 | 0.725 - 1.10 | Denní oblačnost, pozorování vody, ledu, sněhu a vegetace |
| 3 | 0.48 - 0.53 | Snímání oceánu |
| 4 | 0.53 - 0.58 | Snímání oceánu |
| 5 | 10.5 - 12.5 | Denní oblačnost a teplota moří |

zdroj: KRAMER, H. *Observation of the earth and its environment: survey of missions and sensors*. 4th ed. New York: Springer, c2002, xxix, 1510 p. ISBN 35-404-2388-5.

V současnosti jsou aktivní 3 družice FY-3 (A,B,C). Oproti Feng-Yun 1 mají mnoho vylepšení, jsou větší (cca 2200kg) a pohybují se na dráze ve výšce 836km. Data z těchto družic se využívají jak pro globální numerické předpovědi, tak pro studium globálních změn, variability klimatu, monitorování rozsáhlých přírodních katastrof či pro různé odborné činnosti (letecké, námořní, armádní) (URL 6, 7, 32).

Obrázek 11 - Družice Feng - Yun 3



zdroj: http://www.spacenews.com/sites/spacenews.com/files/images/articles/FengYun3A_CMA4X3.jpg

3.2.3 Jason-1,2

Družice Jason-2 byla vypuštěna v roce 2008 a je určena pro program sledování moří **OSTM** (*Ocean Surface Topography Mission*). Jejím předchůdcem byl Jason-1 (odstartoval 2001), který byl zaměřen na velmi přesné měření hladiny moří. Jason-2 dokáže změřit vzdálenost mezi satelitem a hladinou moře s přesností na několik centimetrů. Poskytuje velmi přesné pozorování odchylek výšky hladiny moří, informace o celosvětové úrovni moře, rychlosti a směru mořských proudů a teplotě (URL 19).

Obrázek 12 - Družice Jason



zdroj: <http://www.enjoyspace.com/uploads/news/juin2010/jason2/jason.jpg>

3.2.4 Meteor

System meteorologických družic Meteor byl založen v roce 1975 v bývalém SSSR. Byly to družice určené především pro monitorování teplot hladin oceánů a atmosféry, vlhkosti, radiace, mořského ledu, sněhové pokrývky a oblačnosti. *Běžně byly družice umístěny na dráhu o výšce 850km, inklinace 81.2°; při konstelaci tří družic posunutých konstantně na dráze bylo dosaženo termínového rozlišení 6-12h (Pavelka 2010).*

V současnosti je v provozu třetí generace družic meteor. Jedná se především o družici Meteor 3M-N1, která byla do vesmíru vynesena raketou Sojuz-2-1b v roce 2009. Tato družice váží kolem 2800kg a pohybuje se ve výšce 832km. Mezi hlavní vybavení, kterým družice disponuje, je americké zařízení **SAGEIII** (*Stratospheric Aerosol and Gas Experiment*) pro měření koncentrace ozónu (URL 20).

Tabulka 8 - Přehled ruských družic Meteor

| Rok | Typ družice | Rok | Typ družice |
|-----------|----------------------|------|---------------|
| 1964-1977 | Meteor-1-n, Meteor M | 1989 | Meteor 3-3 |
| 1975-1993 | Meteor-2-n, 22kusů | 1991 | Meteor 3-4 |
| 1984-1994 | Meteor-3-n | 1991 | Meteor 3-5 |
| 1985 | Meteor 3-1 | 1994 | Meteor 3-6 |
| 1988 | Meteor 3-2 | 2001 | Meteor 3-7(M) |

zdroj: PAVELKA, Karel. *Dálkový průzkum Země - družicové systémy*. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2010, 116 s. ISBN 978-80-01-04628-9

Obrázek 13 - Družice Meteor



zdroj: <http://www.astronautix.com/graphics/m/meteor.jpg>

3.2.5 Metop

Metop patří mezi první evropské družice poskytující informace pro meteorologii a DPZ. Série tří polárních družic Metop tvoří dohromady **EPS** (*EUMETSAT Polar System*) a spadají pod americkou organizaci NOAA.

První z této série byla vypuštěna 19. října 2006 Metop-A. Družici na oběžnou dráhu vynesla ruská raketa Sojuz po pěti odkladech startu. Satelit Metop-A byl v té době nejmodernější družice svého druhu. Poskytovala přesnější údaje o klimatických změnách, čímž umožnila spolehlivější a dlouhodobější předpovědi. Díky přesnějším

informacím bylo od této chvíle možné předpovídat počasí na pět dnů místo tří. *Družice o hmotnosti 4300kg zasílá získané údaje při každém obletu pozemní stanici. Z centrály Evropské organizace pro využívání meteorologických družic (Eumetsat) v německém Darmstadtu pak data putují odběratelům, tedy jednotlivým meteorologickým organizacím v 18 zemích, včetně České republiky, která je přidruženým členem organizace od roku 1994 (Soukupová, 2011).*

Šest let po startu první družice byla vypuštěna družice Metop-B (17. září 2012). Obě dvě tyto družice obíhají na spodní polární oběžné dráze ve výšce 817 km, aby poskytl podrobnější informace o zemské atmosféře, oceánech a kontinentech. Oběžná doba je přibližně 100 minut (URL 17,23).

Posun dráhy mezi dvěma sousedními oblety činí na rovníku přibližně 25.5 stupně na západ. Dráha je heliosynchronní, tj. družice přelétá určitou zeměpisnou šířku vždy ve stejném místním čas. (Soukupová, 2011).

Tyto dvě družice pracují paralelně a na rok 2017 se plánuje vypuštění satelitu Metop-C.

Obrázek 14 - Družice MetOp



zdroj: <http://www.exoplanety.cz/wp-content/uploads/2012/09/metop.jpg>

Na palubě je celá řada významných zařízení, z nichž následující jsou i na družicích NOAA: AVHRR-3, HIRS (High resolution Infrared Radiation Sounder/4), AMSU-A (Advanced Microwave Sounding Unit A1 and A2), MHS (Microwave Humidity Sounder), SEM (Space Environment Monitor). Nová zařízení jsou IASI (Infrared Atmospheric Sounding Interferometer), zařízení k měření spektra atmosféry a odvození teploty a vlhkosti ve vertikálních profilech, ASCAT (Advanced Scatterometer), GRAS (Global Navigation Satellite System Receiver for Atmospheric Sounding) a GOME (Global Ozone Monitoring Experiment) (Pavelka, 2010).

Tabulka 9 - Výčet zařízení na družici MetOp a jejich funkce

| Zařízení | Funkce |
|---------------------|--|
| HIRS | měření teploty povrchu oceánů, hodnot celkového atmosférického ozónu, srážkové vody, výšky a pokrytí oblačností a také pro určování albeda |
| AMSU-A1 a A2 | výpočet profilů teploty a vlhkosti od zemského povrchu až do horní stratosféry - využití k měření srážek a vlastností povrchu; sněhová pokrývka, oceánský led a půdní vlhkost. |
| MHS | odhad srážkové vody v oblačnosti |
| SEM | kosmické počasí |
| IASI | vertikální profily teploty a vlhkosti |
| ASCAT | monitorování mořského ledu, půdní vlhkosti a kvality sněhu |
| GRAS | GPS přijímač, měří zvrstvení atmosféry |
| GOME | poskytuje informace o stratosférickém ozónu |

zdroj: http://old.chmi.cz/meteo/sat/inf_metop.html

4 Srovnání geostacionárních a polárních družic

Mezi hlavní výhody geostacionárních družic patří především možnost snímání jednoho území několikrát denně. Družice MSG poskytují data každých 15 minut ve 12 spektrálních kanálech, což je nepostradatelná vlastnost při předpovědi počasí. Geostacionární družice mají oproti polárním mnohem horší rozlišení (kvůli výšce orbity - cca 36 000km) a navíc nejsou schopné snímat polární oblasti. Všeobecně pro všechny oblasti, které jsou vzdálenější od rovníku, se jejich rozlišovací schopnost vlivem zakřivení země snižuje. Pro představu, pokud družice Meteosat scanuje oblast rovníku, jeden pixel tohoto obrazu má rozlišení 2,5 km². Jestliže se bude jednat o obraz České republiky, rozlišení jednoho pixelu klesne na 4-5 km².

Polární družice naopak díky své běžné výšce dráhy (600 - 1200km) vynikají lepší rozlišovací schopností. Například snímky z družice NOAA mají velikost pixelu 1,1 x 1,1 z pruhu území přes 2000 km širokého. Na úkor toho jsou však schopné snímky pořizovat jen 4x - 8x denně (podle počtu aktivních družic). Krom toho, že jsou schopné snímat i oblasti pólů, je jejich další předností možnost nést na své palubě i další přístroje. Zejména pro sondáž atmosféry, při které získáváme informace o teplotě, tlaku, vlhkosti a dalších vlastnostech horních vrstev atmosféry.

Vzhledem k rozdílným vlastnostem obou druhů družic se proto v oblasti meteorologie využívá jak geostacionárních tak polárních. Díky kombinaci dat z obou typů družic a následným zpracováním jsou meteorologové schopni předpovědět vývoj počasí.

5 Družice budoucnosti a jejich využití

Evropský program pro monitorování životního prostředí a bezpečnosti **Copernicus** (dříve GMES) připravuje v rámci své vesmírné komponenty nový program. Základem bude pět řad družic **SENTINEL**, přičemž každou řadu tvoří dvě družice (označované A a B). Tyto Sentinely zaujmou místo některých zastaralých satelitů a přispějí zlepšením kvality pozorování Země. Mimo družice Sentinel bude tvořit vesmírnou komponentu i mnoho dalších přispívajících misí, složených z družic jako jsou MetOp, MSG, CryoSat aj. O přenos pořízených dat družicemi se na Zemi postará síť pozemních stanic, která tento systém doplňuje.

5.1 SENTINEL 1

Jedná se o radarovou misi, která navazuje na Envisat a ERS-1. Nezávisle na počasí a denní době je schopná poskytovat data v prostorovém rozlišení 5 až 40 metrů. Jak bylo řečeno výše, družice Sentinel 1 se skládá ze dvou družic. První již byla vypuštěna a to 3. 4. 2014 a druhá se plánuje na rok 2015.

Hlavním zaměřením těchto dvou družic je pozorování pevniny a moří. Především se budou věnovat monitoringu mořského ledu, oceánských vod, pobřeží, ale i polárních oblastí. Pro Českou republiku budou především přínosem v oblasti protipovodňových opatření a to díky dostupnosti aktuálních dat v téměř reálném čase. Pomocí radarové interferometrie jsou družice schopné zaznamenat deformace terénu s milimetrovou přesností. Radarové snímky, na rozdíl od optických, je možné pořizovat i přes oblačnost. Další využití satelitů Sentinel 1 je monitorování zemědělských plodin či sledování sněhové pokrývky.

Obrázek 15 - Družice Sentinel 1



zdroj: <http://gmes.gov.cz/gmes/gmes-space>

5.2 SENTINEL 2

Dvojice družic Sentinel 2 navazuje na Landsat a SPOT. Jejich výstupem budou multispektrální obrazová data ve 13 kanálech. Prostorové rozlišení se bude pohybovat od 10 do 60 metrů. Družice Sentinel 2A by měla být v provozu v letošním roce (2014).

Díky multispektrálnímu snímkování se bude družice využívat především pro monitorování vegetace, sledování jejího stavu, a nebo pro klasifikaci lesních porostů. Stejně jako u Sentinelu 1 se rychlost dostupnosti dat pohybuje kolem 1-3 hodin. Mohou tak napomoci při sledování lesních požárů či dlouhodobého sucha.

Obrázek 16 - Družice Sentinel 2



zdroj: <http://gmes.gov.cz/gmes/gmes-space>

5.3 SENTINEL 3

Sentinel 3 bude pořizovat radarová a multispektrální data v prostorovém rozlišení 300 až 500 metrů. Satelit 3A by měl být vynesena v roce 2014 a nahradí Envisat a Cryosat-2. Jeho hlavním zaměřením budou moře a atmosféra. Bude schopný monitorovat teploty zemského povrchu a vod a mimo to bude i vhodný pro monitoring atmosféry.

Obrázek 17 - Družice Sentinel 3

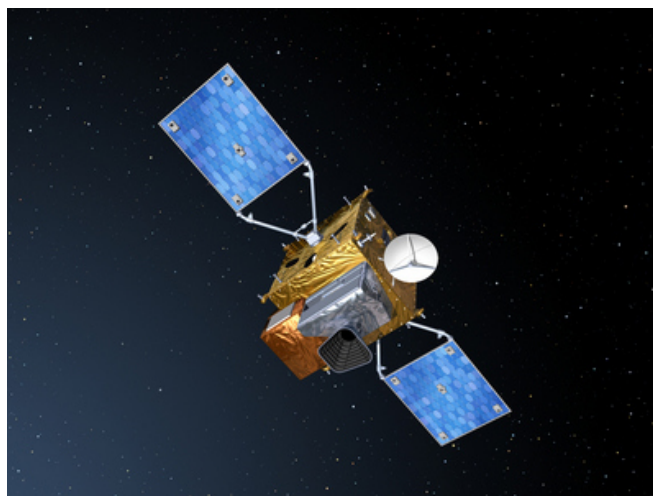


zdroj: <http://gmes.gov.cz/gmes/gmes-space>

5.4 SENTINEL 4

Tato družice bude do vesmíru vynesena jako součást mise MTG, která by měla odstartovat v roce 2017. Sentinel 4 UVN bude mít prostorové rozlišení 8 km vlivem geostacionární dráhy letu a bude zaměřen na monitorování kvality ovzduší a chemických látek v atmosféře (O_3 nebo NO_2).

Obrázek 18 - Družice Sentinel 4

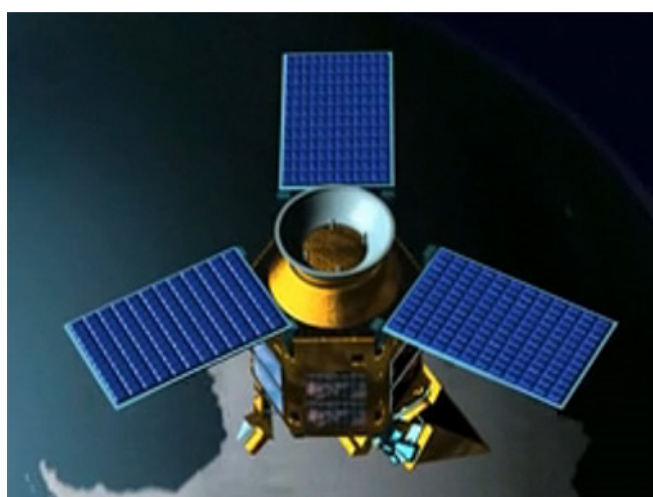


zdroj: <http://gmes.gov.cz/gmes/gmes-space>

5.5 SENTINEL 5

Než budou družice Sentinel 5A a 5B v roce 2020 vyneseny do vesmíru, plánuje se ještě družice Sentinel 5 - Precursor. Ten bude umístěn jen jako komponent družice Metop, která se pohybuje na polární dráze. Snímky budou mít prostorové rozlišení 7 km a budou použity především pro studium chemie atmosféry a tvorbu klimatických modelů (URL 34).

Obrázek 19 - Družice Sentinel 5



zdroj: <http://gmes.gov.cz/gmes/gmes-space>

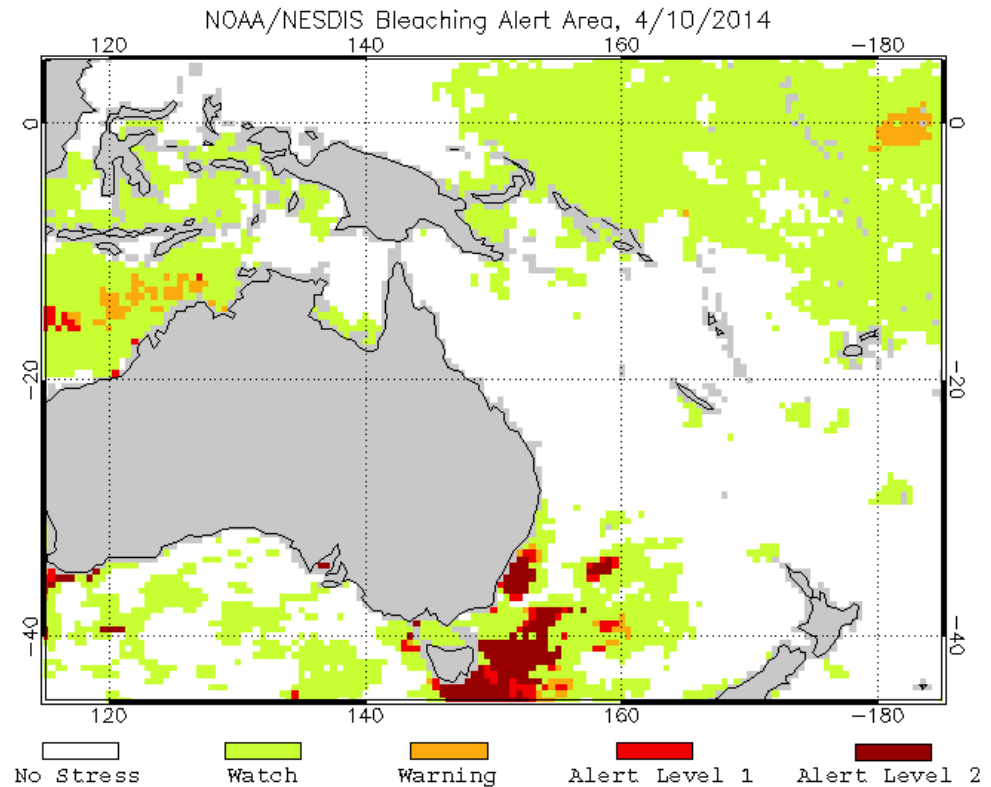
6 Využití družic při živelných katastrofách

Družice rotující po oběžné dráze přinášejí každých 15 min unikátní snímky jako je tomu například u družic Meteosat, které snímají Evropu, Severní Atlantik a Afriku. Snímáním výkyvů v počasí, které mají za příčinu vznik živelných katastrof, družice přispívají k lepší a rychlejší předpovědi těchto pohrom. Soustava družic METEOSAT, má primární úkol detekovat a předpovídat možné hrozby v počasí jako jsou bouřky nebo mlhy, alespoň 6 hodin dopředu (URL 32). Získaná data se následně vyhodnocují a změny v proudění mohou vést například ke vzniku tzv. konvektivních bouří. Konvektivní bouře jsou bouře „velmi silné intenzity“ (*severe storms*), které splňují alespoň jedno z následujících kritérií: výskyt tornáda, výskyt krup o průměru větším než 2 cm, výskyt ničivého větru o rychlosti přesahující 25 m.s⁻¹ (Sobišek, 1993). Přímou tedy ohrožují majetek a lidské životy. Družice umožňují snímání těchto bouří ve všech jejich stádiích, tedy od vzniku, až po jejich zánik. V některých případech se dokonce zvyšuje rychlost snímání družic z 5 na 15 snímků za minutu z důvodu vysoké nestability a proměnlivosti těchto bouří kvůli přesnému určení a včasnému varování úřadů a obyvatelstva (URL 32).

Propracovaný systém pozorování a varování tvoří systém družic NOAA. Tato organizace díky satelitům sleduje úbytky korálů, rozšíření požárů a kouře, organickou složku oceánu, déšť ve všech jeho formách od sněhových bouří až po tropické deště, vznik tropických poruch jakou jsou hurikány (URL 14).

Při pozorování úbytku korálů po celém světě používá NOAA především systému POES. Poskytuje informace téměř v reálném čase o tepelném stresu, který vyvolává bělení korálů na 24 vybraných místech po celém světě. Systém varování zahrnuje informace o globální mořské povrchové teplotě, její anomálie, povrchové proudění větru po oceánech a různé časové řady. Analýzou dat z bójí umístěných v oceánech vzniká online systém ohrožení úbytku korálů (viz obr.č.20).

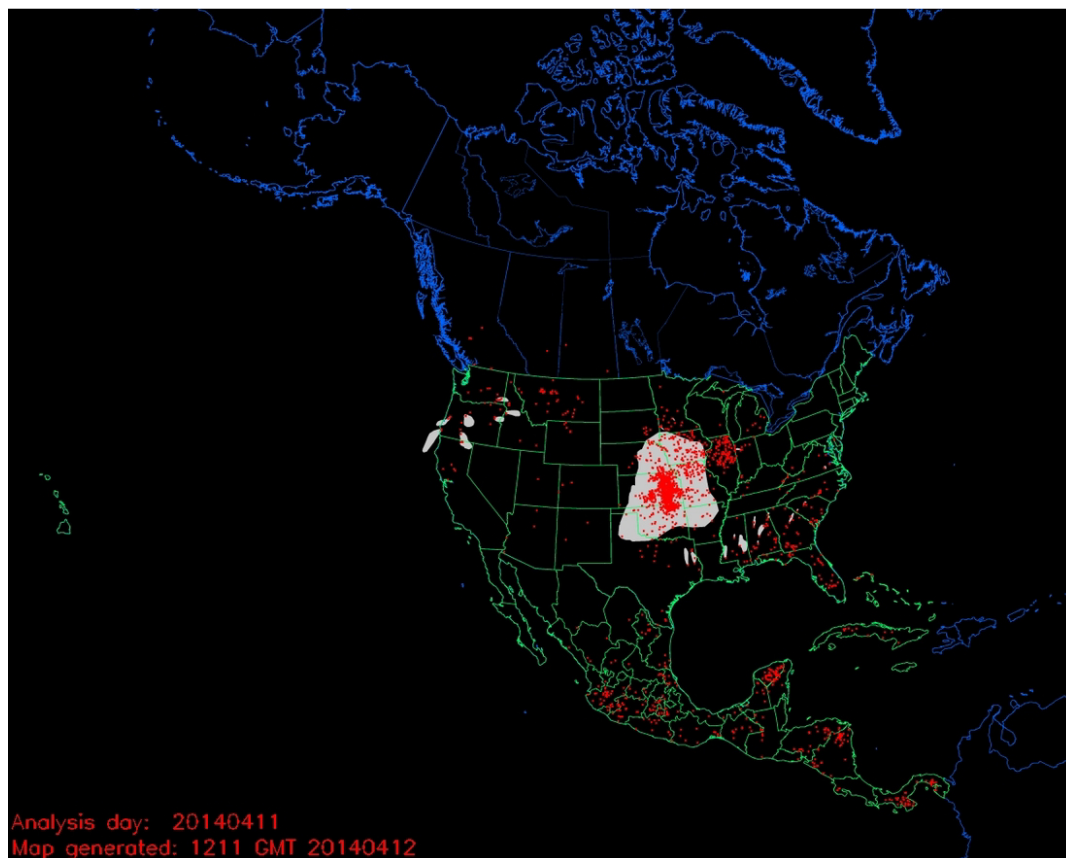
Obrázek 20 - Monitorování úbytku korálů



zdroj: <http://www.ospo.noaa.gov/data/cb/baa/baaese.gif>

Dalším pozorovaným jevem jsou požáry. *Hazard Mapping System* sbírá data od družicových systémů GOES, NOAA, MODIS a DMSP, jejímž výsledkem je internetová aplikace zobrazující on-line data o výskytu požárů. V tomto případě se využívá detekce abnormální množství tepelné energie zvané „hotspot“ (viz. obr. č. 21). Zajímavostí je, že družice NOAA nejsou primárně určeny pro zjišťování požárů, a tudíž vznikají falešné hotspot např. od rozpálených povrchů v urbánním prostředí, které se musejí prostřednictvím dalších kanálů odstranit.

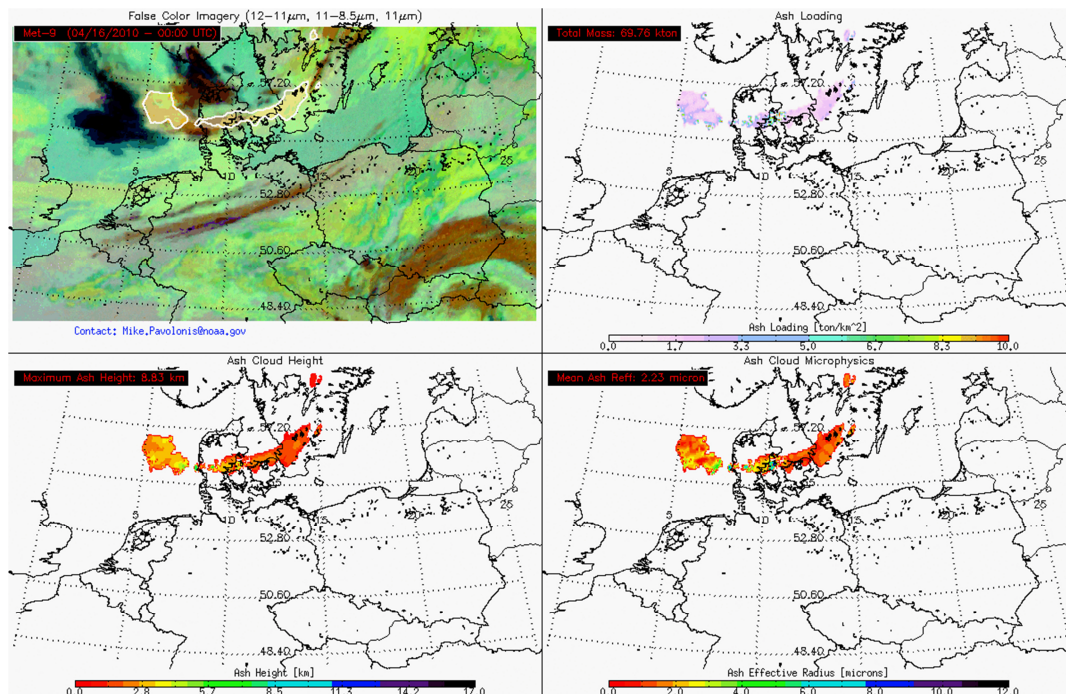
Obrázek 21 - Hotspot



zdroj: <http://www.ospo.noaa.gov/data/land/fire/currenthms.jpg>

Nejlepší příklad využití družic při přírodních katastrofách můžeme pozorovat při erupci sopky Eyjafjallajökull na Islandu, která svou druhou erupcí dne 14. dubna 2010 vyvrhla sopečný popel do atmosféry a uzavřela letecký prostor nad většinou Evropy. Družice Meteosat druhé generace jsou schopné detekovat prach rozptýlený v atmosféře. Sehrály tak důležitou roli v monitoringu rozšíření a pohybu sopečného prachu nad Evropou. Na obr. č.22 můžeme vidět záběry z družice METEOSAT-9.

Obrázek 22 - Monitoring sopečného prachu



zdroj:

<http://cimss.ssec.wisc.edu/sage/geology/lesson3/images/EuropeAshAnimation2010.gif>

Využití družic ale nekončí jen u přírodních katastrof. V roce 2010 došlo k havárii ropné plošiny Deepwater Horizont v Mexickém zálivu, kdy začalo unikat z poškozeného vrtu obrovské množství surové ropy. Během 87 dnů vznikla skvrna, která měla kolem 180 000 km². Úkolem satelitů NOAA, které situaci monitorovaly, bylo zjistit rozsah skvrny, její pohyb, ale především predikce zasažení pobřeží.

Příkladem využití družic je nepřeborné množství. Je nutné si uvědomit, že veškerá data sbíraná družicemi je nutné nejdříve vyčistit od nežádoucích jevů (jako například při detekci požárů). Všechny sebrané informace jsou vstupními daty do složitých analýz, které mohou predikovat hrozby od úbytku korálů až po hurikány.

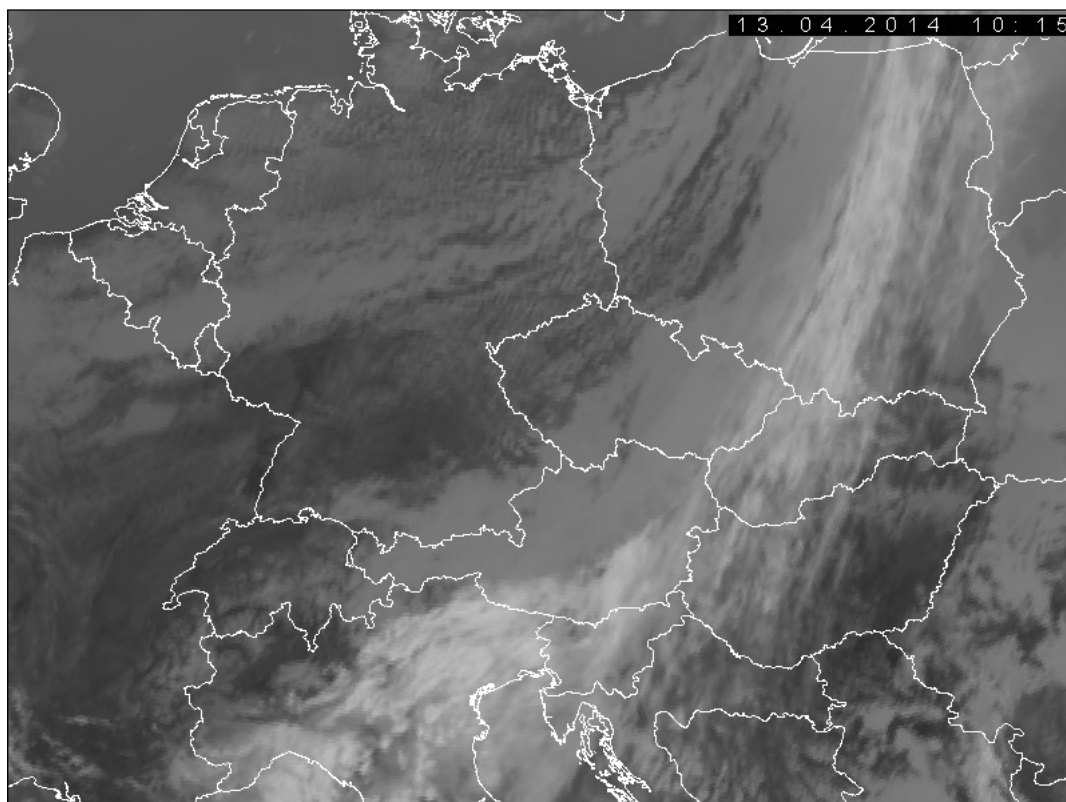
7 Příklady využití meteorologických družic v České republice

V České republice využívá meteorologických družic zejména Český hydrometeorologický ústav (ČHMÚ). Primárně ČHMÚ přijímá data z evropské geostacionární družice Meteosat druhé generace (MSG), které jsou popsány v kapitole 3.1.1.2. Aktuální snímky z družic jsou dostupné na webových stránkách ČHMÚ (www.chmi.cz)

Před samotnými příklady je nutné uvést pojem "*atmosférické okno*", které je vysvětleno jako: *zemská atmosféra pohlcuje nebo se od ní odráží většina elektromagnetického záření tudíž na zemský povrch dopadá pouze viditelné světlo (vlnová délka od 400 do 760 nm) právě tímto "optickým oknem" a také analogicky s tímto termínem existuje v atmosféře "radiové okno" pro elektromagnetické záření radiové (vlnová délka od 10-2 m do 15 m)* (URL 35).

Na obr. č. 23 vidíme ČR snímanou pomocí infračerveného světla v tepelném pásu v atmosférickém oknu. Používá se černobílé zobrazení, kdy teplé oblasti se jeví jako tmavé a chladné naopak světle. Nejchladnější oblastí se pak stává oblačnost, která je vyobrazena bílou barvou (URL 36).

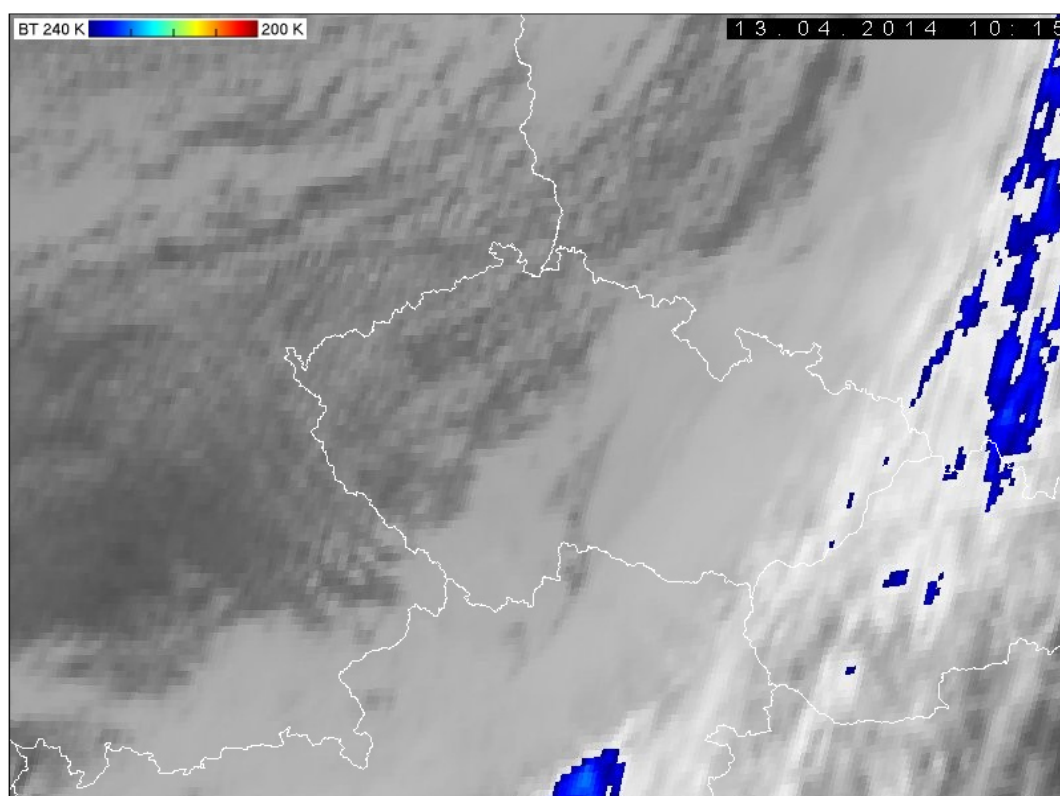
Obrázek 23 - IR snímek střední Evropy



zdroj: http://www.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/sat/data_jsmsgview.html

Na obrázku č. 24 můžeme pozorovat totéž jako u obrázku výše. Rozdíl je ve zvýraznění rozsahu teplot 200 K (červená) až 240 K (fialová). Tento produkt se nejvíce hodí pro monitorování konvektivních bouří, především pak jejich aktivita a intenzita (URL 36).

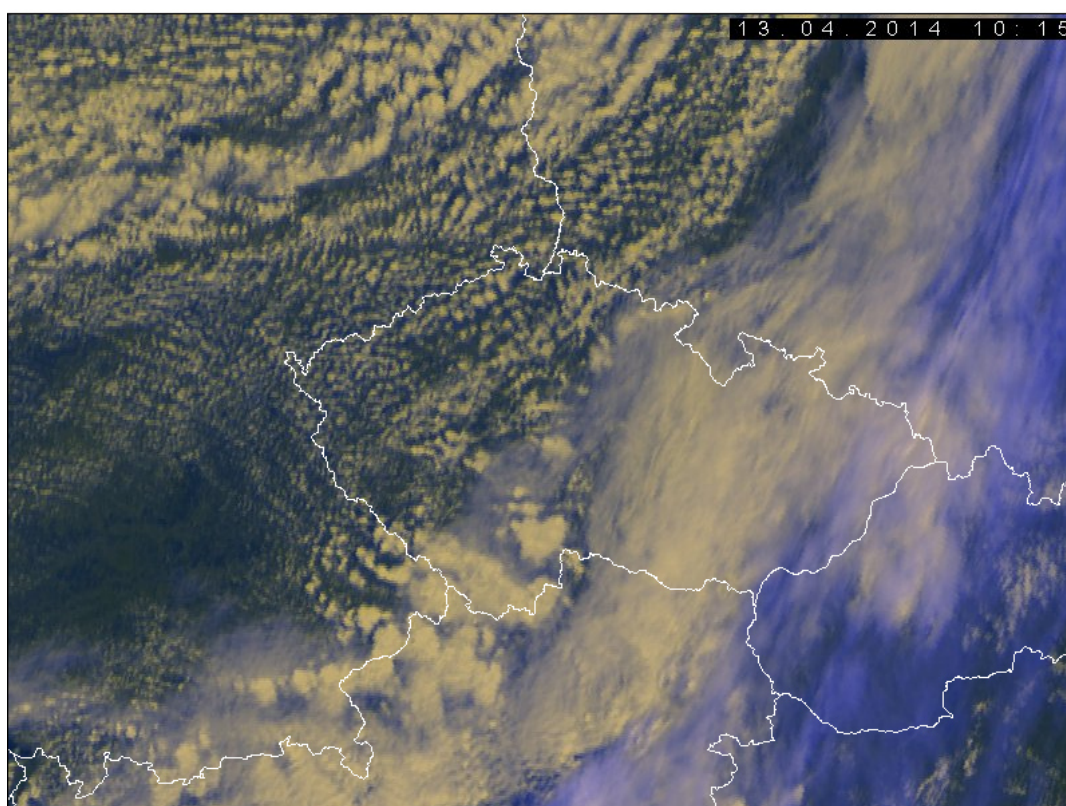
Obrázek 24 - IR snímek ČR s barevným zvýrazněním teplot



zdroj: http://www.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/sat/data_jsmsgview.html

Další příklad jaký nabízí ČHMÚ online monitoruje zemských povrch kombinací spektrálních kanálů viditelného a tepelného pásma (viz obr. č. 25). Vzniká tak RGB kombinace barev, která se blíží lidskému vnímání barev. Na tomto snímku je žlutě vyobrazena teplá nízká až střední oblačnost. Naproti tomu vysoká oblačnost, která je chladná, je zastoupená bílou až modrou barvou (URL 36).

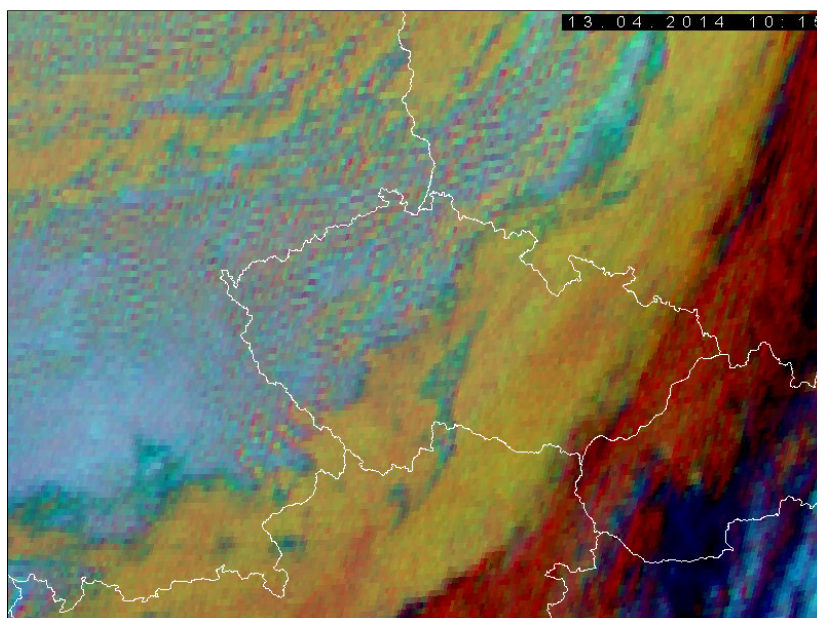
Obrázek 25 - Snímek z kombinace tepelného a viditelného pásma



zdroj: http://www.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/sat/data_jsmsgview.html

Poslední příklad z družic MSG je obr. 26. Tzv. 24-hodinový mikrofyzikální RGB produkt. Můžeme zde pozorovat oblačnost v nepravých barvách. Vertikálně mohutná oblačnost je odstupňována podle intenzity červenou barvou. Řídké cirry mají tmavě modrou až černou barvu, střední a nízká oblačnost okrovou a nejnižší oblačnost zelenou. Terén tohoto produktu se jeví jako tmavě růžový, případně modrý jedná-li se o vodní plochu. V čem je tento snímek jedinečný, je že dokáže detekovat malé částice a tudíž se dají sledovat i písečné či prашné bouře přicházející z afrického kontinentu (URL 36).

Obrázek 26 - Kombinace termálních kanálů

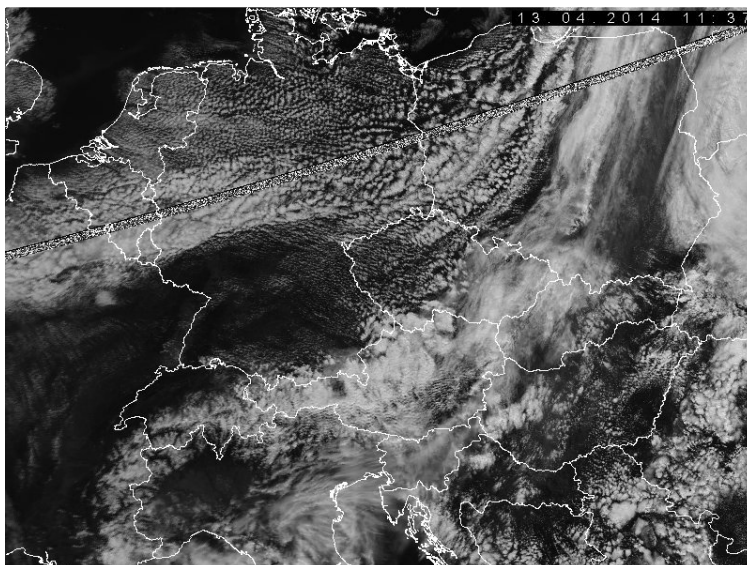


zdroj: http://www.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/sat/data_jsmsgview.html

Pro porovnání se snímky z družice MSG budou dále uvedeny příklady snímků pořízených družicí NOAA 19 v přibližně stejném čase. Jak bylo popsáno v kapitole 3.2.1.2 družice NOAA používá pro snímkování 6-kanálový mechanický skenující radiometr AVHRR/3. Níže budou uvedeny snímky z jednotlivých kanálů. Stejně jako snímky z družice MSG jsou dostupné online na webových stránkách ČHMÚ.

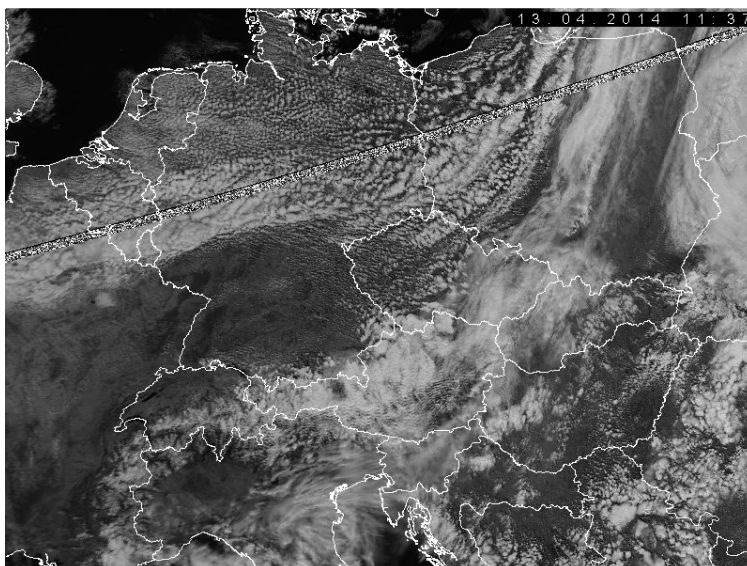
Na obrázcích č. 27 a 28 je patrný rozdíl mezi kanálem 1 a 2. Na snímku pořízeným kanálem 2 je patrné, že povrch pokrytý vegetací je zobrazován světleji než u kanálu 1 a vodní plochy jsou oproti vegetaci výrazně tmavší.

Obrázek 27 - Snímek pořízen spektrálním kanálem 1



zdroj: http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/sat/data_jsavhrrview.html

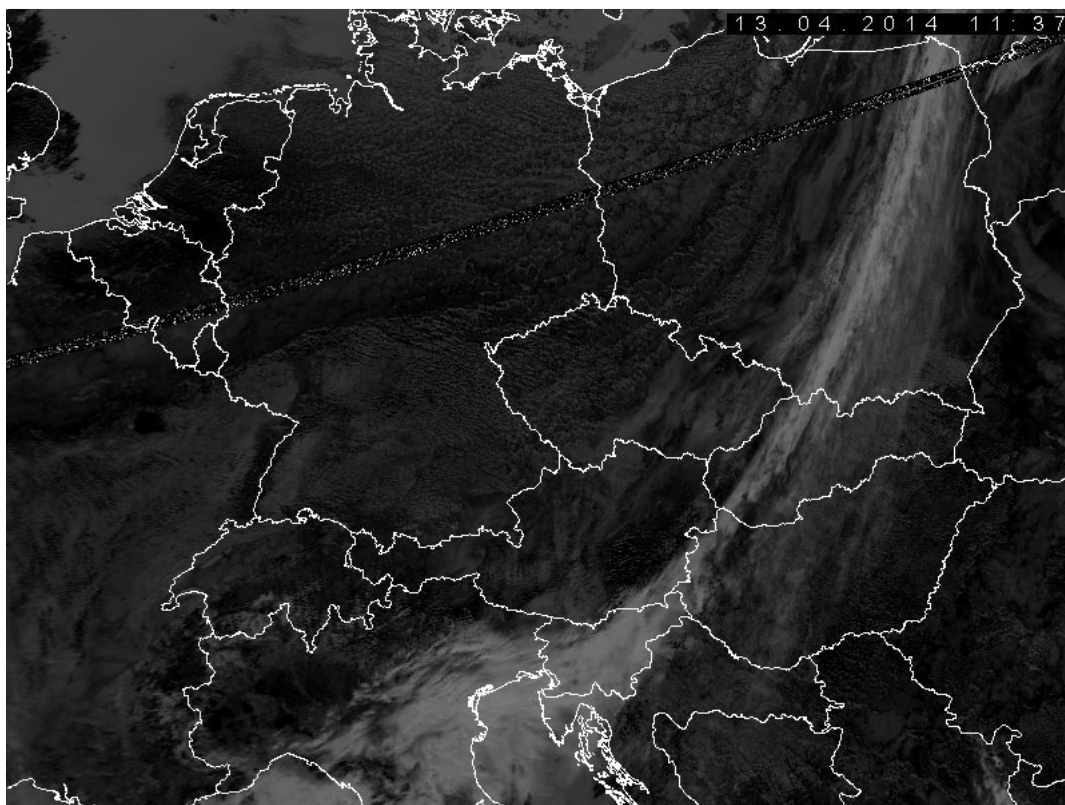
Obrázek 28 - Snímek pořízen spektrálním kanálem 2



zdroj: http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/sat/data_jsavhrrview.html

Na obrázku č. 29 je snímek pořízený kanálem 3. Objekty, které přes den odrážejí nejvíce světla se zobrazují nejtmavěji.

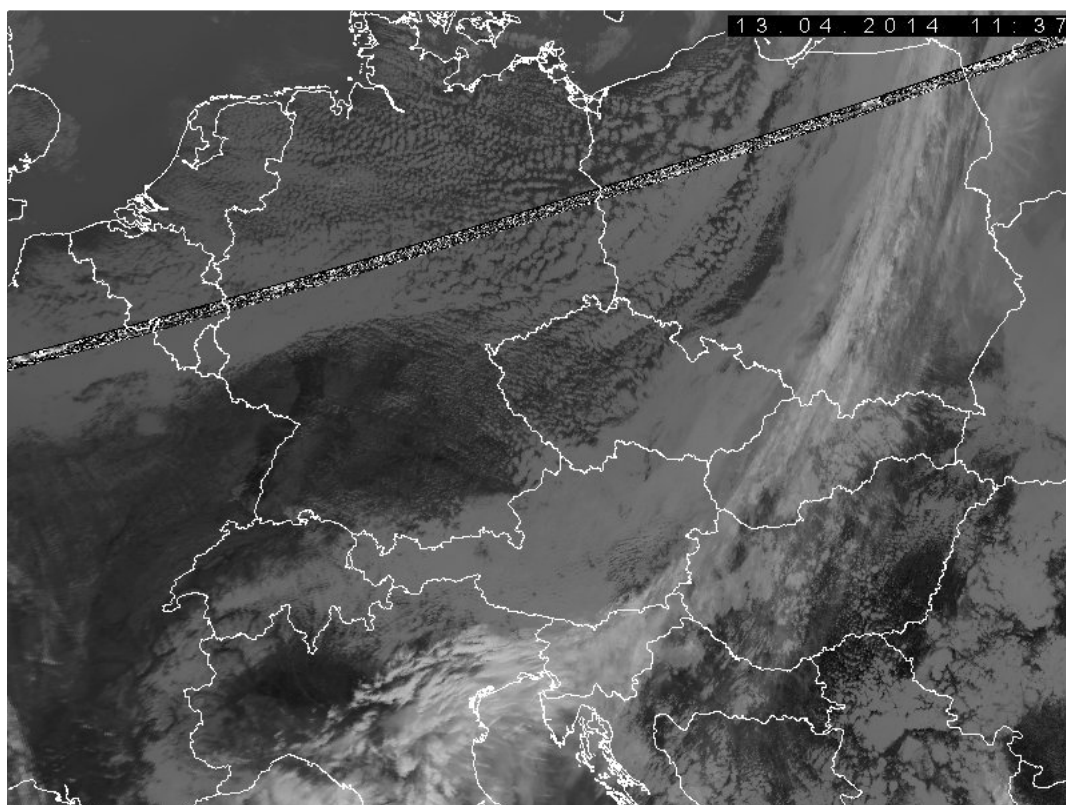
Obrázek 29 - Snímek pořízen spektrálním kanálem 3



zdroj: http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/sat/data_jsavhrrview.html

Obrázek č. 30 reprezentuje kanály 4 a 5. Snímá se pouze tepelné záření, neboli energie, kterou zemský povrch, vodní plochy nebo oblačnost vyzařuje. Nejchladnější objekty jsou zobrazeny bíle, naopak teplé můžeme vidět šedě až černě.

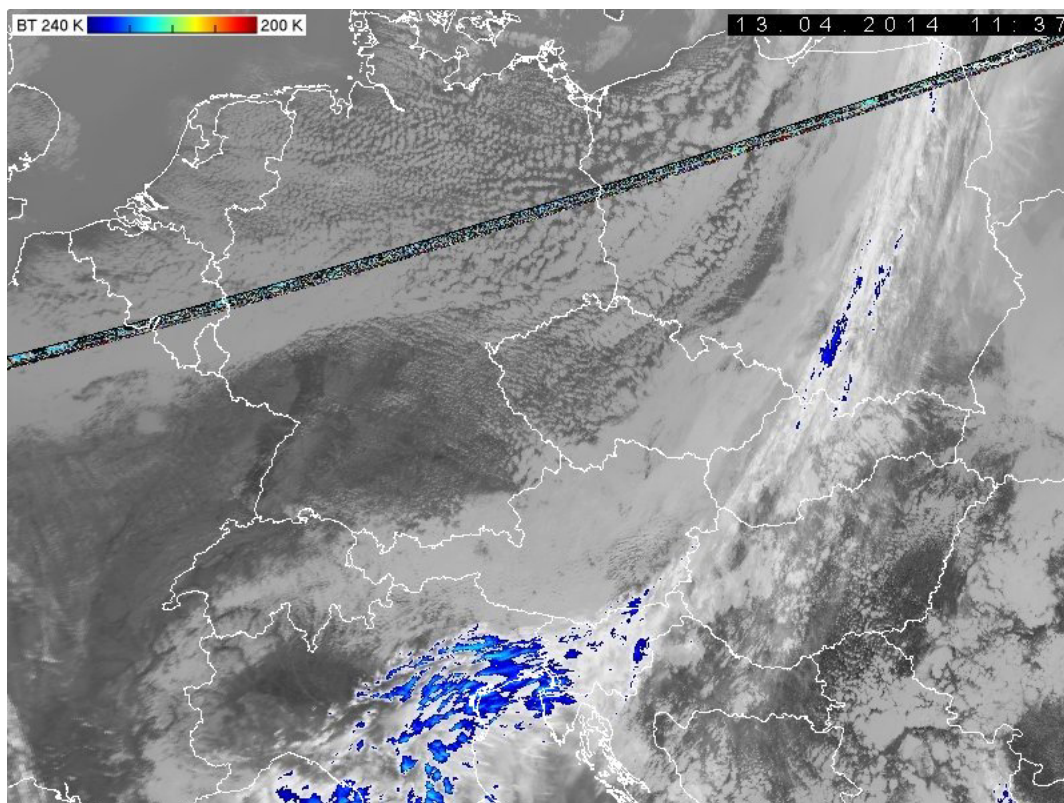
Obrázek 30 - Snímek pořízen kombinací spektrálních kanálů 4 a 5



zdroj: http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/sat/data_jsavhrrview.html

Na obrázku č. 31 je opět snímek pořízen kanálem 4 , ale tentokrát s barevně zvýrazněným teplotním intervalem 200 - 240K stejně jako tomu je u snímku z družice MSG (viz. obr. č. 24).

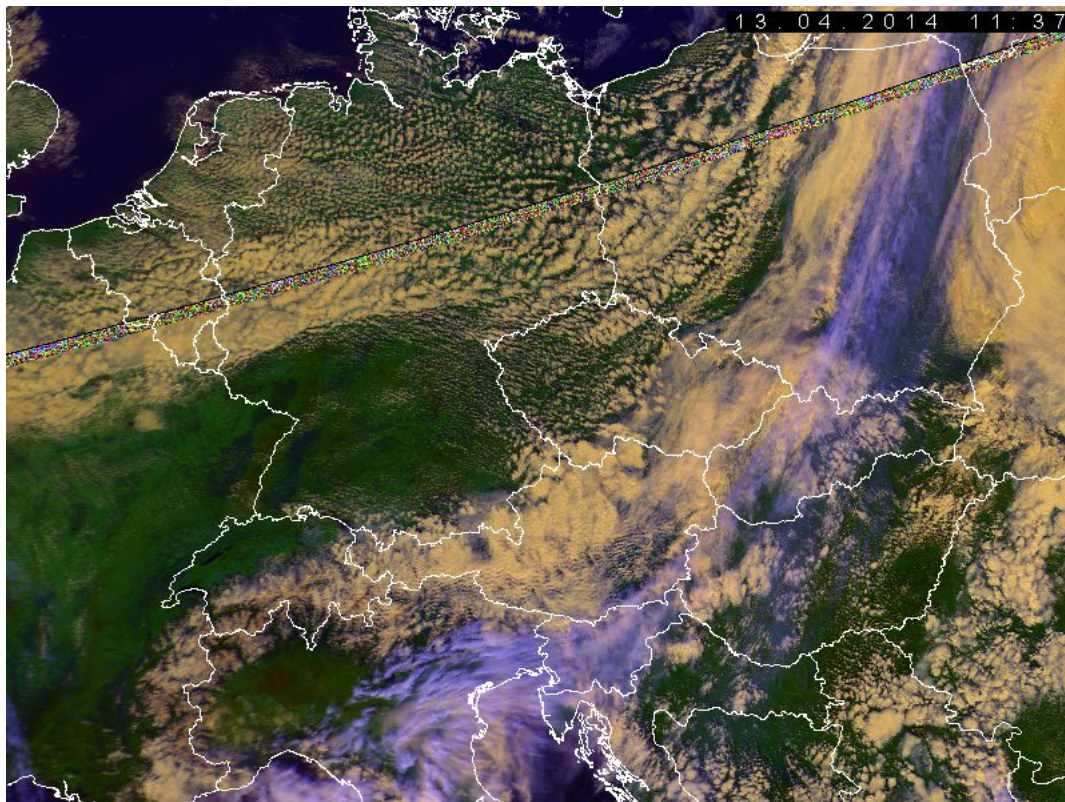
Obrázek 31- Snímek pořízen spektrálním kanálem 4 s barevným zvýrazněním teplot



zdroj: http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/sat/data_jsavhrrview.html

Na obrázku č. 32 je zobrazen snímek, který vznikne barevnou RGB syntézou kanálů 1,2 a 4. Snímek lze porovnat s fotografií pořízenou z družice MSG (viz. obr. č. 25)

Obrázek 32 - Snímek vzniklý barevnou RGB syntézou kanálů 1, 2 a 4



zdroj: http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/sat/data_jsavhrrview.html

8 Závěr

Výsledkem této bakalářské práce je souhrn informací o minulých a současných meteorologických družicových systémech, které jsou nezbytnou součástí pro předpověď počasí. Informace k danému tématu byly získány studiem dostupné české i zahraniční odborné literatury, ale vzhledem k rychle se vyvíjejícím technologiím, se kterými družicové systémy operují, bylo nezbytné využití internetových zdrojů. Jednalo se především o zahraniční oficiální webové stránky k jednotlivým družicím. Cenné informace byly poskytnuty i vedoucím družicového oddělení ČHMU.

Hlavní část bakalářské práce byla věnována rozboru jednotlivých družic s důrazem na jejich technickou vybavenost. Podařilo se tím zachytit rychlý vývoj technického zařízení, který družicím umožňuje snímkování planety Země s čím dál tím větší přesností, která v minulosti ani zdaleka nedosahovala takových kvalit. Dnešní družice nesou oproti svým předchůdcům na své palubě mnohem více přístrojového vybavení. Jsou díky tomu schopné monitorovat nepřehledné množství atmosférických jevů od pozorování vývoje bouřek až po vygenerování vertikálních profilů atmosféry a dalekých pohledů do vzdáleného vesmíru. Hlavní skenující přístroje družic jsou schopné pořizovat snímky ve více spektrech a ty jsou téměř v reálném čase dostupné běžnému uživateli na webových stránkách spravujících informace o dané družici.

V budoucnosti se budou družice samozřejmě dále technicky zdokonalovat a zaujmou místa dnes již zastaralých satelitů. Jedná se například o řadu družic SENTINEL. Tyto moderní družice budou schopné monitorovat deformace terénu s milimetrovou přesností a pořizovat snímky s výborným prostorovým rozlišením. Budou se věnovat především monitoringu oceánských vod, mořského ledu a polárních oblastí, ale jejich využití se najde i při sledování stavu vegetace či klasifikaci lesních porostů.

Meteorologické družice, nejen že poskytují data pro předpověď počasí, ale díky informacím, které poskytují, jsou schopné zachraňovat i lidské životy. Jde především o včasnou predikci živelných katastrof. V budoucnosti se očekává, že družice budou schopné živelné pohromy předpovídat ještě s větším předstihem než dnes.

V závěru bakalářské práce jsou uvedeny příklady produktů družic MSG a NOAA se zaměřením na Českou republiku. Tyto snímky pořízené v různých spektrech jsou volně dostupné na webových stránkách ČHMÚ a proto i běžný uživatel si může téměř v reálném čase prohlédnout povětrnostní situaci nad Českou republikou.

9 Seznam použité literatury

Literární zdroje:

BEDNÁŘ, Jan. *Meteorologie: [úvod do studia dějů v zemské atmosféře]*. Vyd. 1. Praha: Portál, 2003, 223 s. ISBN 80-717-8653-5.

BEHRINGER, Wolfgang. *Kulturní dějiny klimatu: od doby ledové po globální oteplování*. Vyd. 1. Překlad Vladimír Cinke. Praha: Paseka, 2010, 404 s. ISBN 978-807-4320-224.

CLARKE, Arthur C. *2001: Vesmírná odysea ;: Rajské fontány*. 1. vyd. v Odeonu. Překlad Vladimír Svoboda. Praha: Odeon, 1982, 437 s. ISBN 9784444407304.

COLLINGE, V a Celia KIRBY. *Weather radar and flood forecasting*. New York: J. Wiley, c1987, x, 296 p., [8] p. of plates. ISBN 04-719-1296-4.

HORSTMAYER, S.L. *An outline of the history of meteorology*. Ohio, The College of Mt. St. Joseph [online]. 2005 [cit. 2014-04-01]. Dostupné online z http://www.shorstmeyer.com/msj/geo165/met_hist.pdf

KEMEL, Miroslav. *Klimatologie, meteorologie, hydrologie*. Vyd. 1. Praha: ČVUT, 1996. ISBN 978-800-1014-561.

KOŽNAROVÁ, Věra a Jiří KLABZUBA. *Aplikovaná meteorologie a klimatologie*. [1. vyd.]. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2005, 40 s. ISBN 978-80-213-1280-7.

KRAMER, H. *Observation of the earth and its environment: survey of missions and sensors*. 4th ed. New York: Springer, c2002, xxix, 1510 p. ISBN 35-404-2388-5.

KRŠKA, Karel. *Dějiny meteorologie v českých zemích a na Slovensku*. Vyd. 1. Praha: Univerzita Karlova, 2001, 563 s. ISBN 80-7184-951-0.

MATĚJČEK, Tomáš. *Malý geografický a ekologický slovník: příručka pro školy i veřejnost*. 1. vyd. Praha: Nakladatelství České geografické společnosti, 2007, 132 s. ISBN 978-808-6034-683.

MORAN, Joseph M a Michael D MORGAN. *Meteorology: the atmosphere and the science of weather*. 2nd ed. London: Collier Macmillan, c1989, xvii, 557 p., [16] p. of plates. ISBN 00-238-3330-0.

MUDRYCH, Zdeněk. *Dálkový průzkum země*. 1. vyd. Praha: Academia, 1985, 142 s.

PAVELKA, Karel. *Dálkový průzkum Země - družicové systémy*. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2010, 116 s. ISBN 978-80-01-04628-9.

SKŘEHOT, P. *Úvod do studia meteorologie*. Praha: Meteorologická Operativní Rada (M.O.R.), 2004.

SOBÍŠEK, Bořivoj. *Meteorologický slovník výkladový*. 1. vyd. Praha: Ministerstvo životního prostředí České republiky, 1993, 594 s. ISBN 80-853-6845-5.

SOUKUPOVÁ, Jana. *Atmosférické procesy: (základy meteorologie a klimatologie)*. Vyd. 6. V Praze: Česká zemědělská univerzita, 2011, 193 s. ISBN 978-80-213-2234-9.

ŠŤASTNÁ, Andrea. *Meteorologie*. Brno, 2011. Diplomová práce. Masarykova univerzita v Brně, Fakulta pedagogická, Katedra fyziky. Vedoucí diplomové práce Mgr. Tomáš Milář.

Přednášky *Distanční pozorování a detekční metody v meteorologii I* (MFF UK, NMET020)

Webové stránky:

1. About ISRO. [online]. [cit. 2014-04-12]. Dostupné z:
<http://isro.org/scripts/Aboutus.aspx>
2. Data From Newest Ocean Satellite Ready for Their 'Close-up'. [online]. [cit. 2014-04-12]. Dostupné z:
http://www.nasa.gov/mission_pages/ostm/news/ostmb-20090805b.html#.U0hNI_1_uHQ
3. Feng-Yun-1. [online]. [cit. 2014-04-06]. Dostupné z:
<http://en.allmetsat.com/satellite-fy1.php>
4. Feng-Yun-2. [online]. [cit. 2014-04-06]. Dostupné z:
<http://en.allmetsat.com/satellite-fy2.php>
5. FY-2F. [online]. [cit. 2014-04-06]. Dostupné z:
http://www.nsmc.cma.gov.cn/NewSite/NSMC_EN/Channels/100188.html
6. FY-3 Program. [online]. [cit. 2014-04-06]. Dostupné z:
http://www.nsmc.cma.gov.cn/NewSite/NSMC_EN/Channels/100097.html
7. FY-3A. [online]. [cit. 2014-04-06]. Dostupné z:
http://www.nsmc.cma.gov.cn/NewSite/NSMC_EN/Channels/100184.html
8. Geo-Stationary Satellite - GSAT-10. [online]. [cit. 2014-04-03]. Dostupné z:
<http://isro.org/satellites/insat-3d.aspx>
9. Geostacionary Meteorological Satellite "Himawari" (GMS). [online]. [cit. 2014-03-25]. Dostupné z: http://www.jaxa.jp/projects/sat/gms/index_e.html
10. Geostationary Operational Environmental Satellites (GOES). [online]. [cit. 2014-03-25]. Dostupné z: <http://www.ospo.noaa.gov/Operations/GOES/index.html>
11. GMS 1 (Himawari 1). [online]. [cit. 2014-03-25]. Dostupné z:
http://space.skyrocket.de/doc_sdat/gms-1.htm
12. GOES. [online]. [cit. 2014-03-25]. Dostupné z: <http://en.allmetsat.com/satellite-goes.php>
13. GOES History. [online]. [cit. 2014-03-25]. Dostupné z:
http://www.ospo.noaa.gov/Organization/History/GOES_history.html
14. Hazard Mapping System Fire and Smoke Product. [online]. [cit. 2014-04-09]. Dostupné z: <http://www.ospo.noaa.gov/Products/land/hms.html>

15. China launch again – Long March 3A launches FengYun-2F. [online]. [cit. 2014-04-06]. Dostupné z: <http://www.nasaspacesflight.com/2012/01/china-launch-again-long-march-3a-launches-fengyun-2f/>
16. Informace o družicích METEOSAT první generace. [online]. [cit. 2014-03-11]. Dostupné z: http://old.chmi.cz/meteo/sat/inf_mtst.html
17. Informace o družicích MetOp. [online]. [cit. 2014-03-11]. Dostupné z: http://old.chmi.cz/meteo/sat/inf_metop.html
18. Informace o družicích NOAA. [online]. [cit. 2014-03-11]. Dostupné z: http://old.chmi.cz/meteo/sat/inf_noaa.html
19. Jason-2. [online]. [cit. 2014-04-12]. Dostupné z: <http://www.eumetsat.int/website/home/Satellites/CurrentSatellites/Jason2/index.html>
20. Meteor satellite. [online]. [cit. 2014-04-12]. Dostupné z: <http://www.russianspaceweb.com/meteor.html>
21. Meteosat. [online]. [cit. 2014-03-11]. Dostupné z: <http://en.allmetsat.com/satellite-meteosat.php>
22. Meteosat. [online]. [cit. 2014-03-11]. Dostupné z: <http://www.eumetsat.int/website/home/Satellites/CurrentSatellites/Meteosat/index.html>
23. Metop. [online]. [cit. 2014-03-11]. Dostupné z: <http://www.eumetsat.int/website/home/Satellites/CurrentSatellites/Metop/index.html>
24. MSG - Meteosat druhé generace. [online]. [cit. 2014-03-11]. Dostupné z: <http://old.chmi.cz/meteo/sat/msg/msg03.html>
25. MSG 1, 2, 3, 4 (Meteosat 8, 9, 10, 11). [online]. [cit. 2014-03-11]. Dostupné z: http://space.skyrocket.de/doc_sdat/msg-1.htm
26. MTSAT. [online]. [cit. 2014-04-03]. Dostupné z: <http://en.allmetsat.com/satellite-mtsatsat.php>
27. MTSat 2 (Himawari 7). [online]. [cit. 2014-04-03]. Dostupné z: http://space.skyrocket.de/doc_sdat/mtsatsat-2.htm

28. National Satellite Meteorological Center of CMA FY-2 Program. [online]. [cit. 2014-04-06]. Dostupné z:
http://www.nsmc.cma.gov.cn/NewSite/NSMC_EN/Channels/100096.html
29. NOAA. [online]. [cit. 2014-03-11]. Dostupné z: <http://en.allmetsat.com/satellite-noaa.php>
30. NOAA 18,19 (NOAA N, N´). [online]. [cit. 2014-03-11]. Dostupné z:
http://space.skyrocket.de/doc_sdat/noaa-n.htm
31. Satellite: FY-2F. [online]. [cit. 2014-04-06]. Dostupné z: <http://www.wmo-sat.info/oscar/satellites/view/110>
32. Satellite: FY-3C. [online]. [cit. 2014-04-06]. Dostupné z: <http://www.wmo-sat.info/oscar/satellites/view/115>
33. Satellite: INSAT-3D. [online]. [cit. 2014-04-03]. Dostupné z: <http://www.wmo-sat.info/oscar/satellites/view/193>
34. Vesmírná komponenta GMES/Copernicus. [online]. [cit. 2014-04-07]. Dostupné z: <http://generator.citace.com/dokument/DvH8FdyZZrMzNSSy?kontrola=1>
35. Fyzikální pojmy. [online]. [cit. 2014-04-15]. Dostupné z:
http://www.geneze.info/pojmy/fyzikalni_pojmy.htm
36. Aktuální data z družice MSG. [online]. [cit. 2014-04-15]. Dostupné z:
http://www.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/sat/data_jsmsgview.html
37. Aktuální data z polárních družic NOAA. [online]. [cit. 2014-04-16]. Dostupné z:
http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/sat/data_jsavhrrview.html
38. Operace Paperclip. [online]. [cit. 2014-04-16]. Dostupné z: <http://www.cez-okno.net/clanok/mozne-suvistlosti/operace-paperclip>

10 Seznam použitých obrázků

| | |
|---|----|
| Obrázek 1- První pořízený snímek z družice Tiros 1..... | 15 |
| Obrázek 2 - Schéma pohybu geostacionárních a polárních družic | 17 |
| Obrázek 3 - Družice Meteosat 1. generace | 19 |
| Obrázek 4 - Družice MSG 1..... | 22 |
| Obrázek 5 - Družice MTG-I..... | 23 |
| Obrázek 6 - Družice GOES..... | 25 |
| Obrázek 7 - Družice MTSat 1 | 26 |
| Obrázek 8 - Družice Feng-Yun série 2 | 27 |
| Obrázek 9 - Družice INSAT | 29 |
| Obrázek 10 - Družice NOAA..... | 30 |
| Obrázek 11 - Družice Feng - Yun 3..... | 34 |
| Obrázek 12 - Družice Jason | 35 |
| Obrázek 13 - Družice Meteor..... | 36 |
| Obrázek 14 - Družice MetOp..... | 37 |
| Obrázek 15 - Družice Sentinel 1 | 41 |
| Obrázek 16 - Družice Sentinel 2 | 41 |
| Obrázek 17 - Družice Sentinel 3 | 42 |
| Obrázek 18 - Družice Sentinel 4..... | 43 |
| Obrázek 19 - Družice Sentinel 5 | 43 |
| Obrázek 20 - Monitorování úbytku korálů..... | 45 |
| Obrázek 21 - Hotspot | 46 |
| Obrázek 22 - Monitoring sopečného prachu | 47 |
| Obrázek 23 - IR snímek střední Evropy..... | 49 |
| Obrázek 24 - IR snímek ČR s barevným zvláštěním teplot..... | 50 |
| Obrázek 25 - Snímek z kombinace tepelného a viditelného pásma..... | 51 |
| Obrázek 26 - Kombinace termálních kanálů..... | 52 |
| Obrázek 27 - Snímek pořízen spektrálním kanálem 1 | 53 |
| Obrázek 28 - Snímek pořízen spektrálním kanálem 2 | 53 |

| | |
|---|----|
| Obrázek 29 - Snímek pořízen spektrálním kanálem 3 | 54 |
| Obrázek 30 - Snímek pořízen kombinací spektrálních kanálů 4 a 5..... | 55 |
| Obrázek 31- Snímek pořízen spektrálním kanálem 4 s barevným zvýrazněním teplot... | 56 |
| Obrázek 32 - Snímek vzniklý barevnou RGB syntézou kanálů 1, 2 a 4..... | 57 |

11 Seznam použitých tabulek

| | |
|--|----|
| Tabulka 1 - Přehled družic Meteosat první generace..... | 18 |
| Tabulka 2 - VISSR, 3-kanálový skenující radiometr..... | 20 |
| Tabulka 3 - Přístrojové vybavení družic MSG | 21 |
| Tabulka 4 - Přehled družic MSG | 22 |
| Tabulka 5 - Charakteristika skenujícího radiometru družic GOES I-M | 25 |
| Tabulka 6 - Charakteristika 6-kanálového přístroje AVHRR3..... | 32 |
| Tabulka 7 - Charakteristika 5 - kanálového přístroje MVISR | 33 |
| Tabulka 8 - Přehled ruských družic Meteor | 36 |
| Tabulka 9 - Výčet zařízení na družici MetOp a jejich funkce | 38 |