

História družicových meteorologických pozorovaní v Slovenskom hydrometeorologickom ústave

M. Jurašek, J. Kaňák, D. Kotlárková: History Satellite Meteorological Observations at the Slovak Hydrometeorological Institute. Život. Prostr., Vol. 43, No. 4, p. 208 – 211, 2009.

The satellite Earth observations are crucial for the weather forecasting, because they provide information about actual weather also from the places where a regular observation are missing or about strictly local phenomena. Two basic types of satellites are exploited in the meteorology: circumpolar and geostationary satellites. The Earth is observed in several narrow spectral bands – channels. The central wavelength for each channel is chosen by purpose what process in atmosphere has to be monitored. The beginnings of analog satellite data reception at the Slovak Hydrometeorological Institute stretch back to late 70's of the last century. First, the adapted facsimile NEVA was used as a reception station. Its antenna was pointed to the satellite appearance point manually. The new device for automatic picture transmission (APT) was finished in 1979. Digital reception from Meteosat satellite started in 1983 when WIRPS (Weather Image Receiving and Processing System) was installed at Malý Javorník. All three Meteosat channels: infrared, visible and water vapor were available, but due to insufficient computer power mostly infrared channel was used. Full potential of received Meteosat data was reached after several upgrades of the receiving system, last in 1998 by VCS Nachrichtechnik. Nowadays, data from MSG (Meteosat Second Generation) are received by EUMETCast system. All 12 available channels are processed by own software at the SHMÚ. Since January 3rd, 2006, Slovakia is a full member of EUMETSAT organization.

Družicové pozorovania sa radia do vedného odboru dištančných meraní. Pri dištančnom meraní sa získavajú informácie o objektoch, oblastiach, alebo javoch pomocou analýzy údajov zo zariadení, ktoré nie sú v priamom kontakte s cieľom skúmania. Pomocou metód dištančných meraní sme schopní získať priestorovo početné údaje aj z oblastí, kde je veľmi malá hustota pozorovaní in situ, hlavne z málo zaľudnených oblastí a zo svetových oceánov a morí. Tiež nám umožňujú pozorovať a monitorovať výskyt lokálnych javov medzi stanicami pozorovacej siete, ktoré sú často spojené s nebezpečnými prejavmi počasia, ako sú privalové dažde, silné búrky, krupobitie a pod. Poznať aktuálny stav počasia aj na miestach, kde nemáme priame pozorovania, je nevyhnutné pri tvorbe dobrej predpovedi počasia. V Slovenskom hydrometeorologickom ústave v Bratislave využívame údaje z meteorologických družíc v operatívnej prevádzke a na vedecko-výskumné účely pri riešení medzinárodných projektov.

Základné fakty o meteorologických družiciach

V meteorológii sa využívajú údaje z dvoch typov družíc. Rozdelené sú podľa typu obežnej dráhy na *cirkumpolárne* a *geostacionárne* družice. Obežná dráha cirkumpolárnych meteorologických družíc prechádza blízko zemských pólou, z toho vychádza aj ich názov. Zem obiehajú vo výške 810 až 870 km (napr. družice NOAA a MetOp, obr.1), ktorej odpovedá obežná doba približne 100 minút. Medzi dvoma obehmi sa dráha v rovníkovej oblasti posunie približne o 25,5 stupňa na západ a môže byť synchronizovaná so Slnkom tak, aby prelietavala určitú zemepisnú šírku vždy v rovnakom miestnom čase. Vďaka menšej obežnej výške majú cirkumpolárne družice lepšie obrazové rozlíšenie. V súčasnosti je to od 1 x 1 km v subsatelitnom bode po 2,5 x 2,5 km na okraji snímaného pásu. Hlavnou nevýhodou týchto družíc je nerovnomerné časové rozloženie jednotlivých preletov, na druhej strane poskytujú časovo

husté údaje aj z polárnych oblastí, čo geostacionárne družice nedokážu.

Geostacionárne družice obiehajú našu Zem vo výške 36 000 km nad rovníkom. Ich obežná doba je identická s rotáciou Zeme, čo z pohľadu pozorovateľa na Zemi vyzerá, akoby družica stála na jednom mieste. Umožňuje to pravidelné monitorovanie celého zemského disku. V súčasnosti sú poskytované údaje každých 15 minút pre celý disk a 5 minút pre európsku oblasť – tzv. *Rapid Scan Service*. Európska geostacionárna družica má obrazové rozlíšenie okolo 3 x 3 km v subsatelitnom bode a 1 x 1 km pre kanál s vysokým rozlíšením. V dôsledku zakrivenia zemského povrchu je u nás rozlíšenie približne dvakrát horšie a snímanie údajov z polárnych oblastí absolútne nemožné. Veľká časová hustota meraní umožňuje meteorológom študovať aj dynamiku procesov v atmosfére pri tvorbe počasia. Počasie na celej Zemi monitoruje systém piatich geostacionárnych družíc: európsky METEOSAT 9 monitoruje Európu a Afriku, starší METEOSAT 7 sleduje Indický oceán a Áziu, japonská družica MTSAT Japonsko, Austráliu a východnú Áziu, GOES W monitoruje západné pobrežie amerického kontinentu a GOES E jeho východné pobrežie.

Spracovanie údajov z geostacionárnych družíc prebieha odlišne ako pri cirkumpolárnych. Kým v prípade cirkumpolárnych družíc každý prijíma údaje priamo zo senzorov, geostacionárne družice namerané údaje odosielať do riadiacich centier na spracovanie a tie sú distribuované užívateľom. Väčšina geostacionárnych meteorologických družíc plní aj telekomunikačnú funkciu. Zbierajú údaje z pozorovacích staníc a distribuujú spracované namerané údaje aj z ostatných družíc.

Oba typy družíc pracujú na rovnakom princípe. Citlivými detektormi merajú množstvo žiarenia prichádzajúceho z určitého bodu na Zemi. Rozsah vlnových dĺžok detegovaného žiarenia, tzv. kanál, je zvolený podľa toho, aký proces v atmosfére sledujeme. Napríklad, ak chceme poznať schopnosť objektov (zemského povrchu, oblakov) odrážať slnečné žiarenie, musíme si vybrať vlnovú dĺžku z viditeľnej časti spektra (0,6 alebo 0,8 μm). Ak sa zaujímate o množstvo vodnej pary v atmosfére, zvolíme vlnovú dĺžku, v ktorej vodná para absorbuje žiarenie zo zemského povrchu (6,2 alebo 7,3 μm). Údaje z detektora treba ďalej spracovať. Určiť presnú polohu bodu, odkiaľ sú údaje, prepočítať hodnoty z meraných jednotiek na fyzikálne zmysluplné veličiny a prípadne aplikovať rôzne korekcie, napríklad na výšku Slnka pri meraní odrazeného slnečného žiarenia. Získané údaje sa potom zobrazia užívateľovi vo



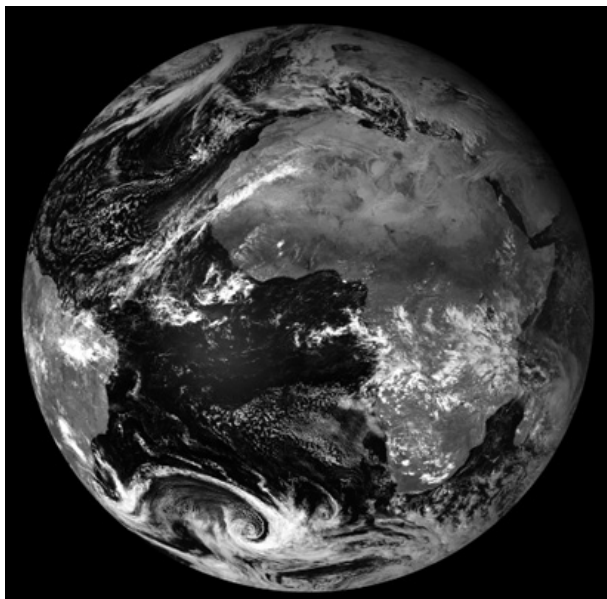
Obr. 1. Európska cirkumpolárna družica MetOp. Zdroj: EUMETSAT

vhodnej vizuálnej podobe. Ak je výstupom obrazová informácia, všetky farby sú vytvorené umelo a slúžia iba na ľahšiu interpretáciu údajov.

Analogové začiatky v Slovenskom hydrometeorologickom ústave (SHMÚ)

Začiatok prijímania a využívania snímok z meteorologických družíc v SHMÚ sa datuje do prvej polovice 70. rokov minulého storočia. Po úprave fototelegrafu NEVA a anténneho systému na Malom Javorníku pri Bratislave sa začal uskutočňovať príjem analogových informácií z meteorologických cirkumpolárnych družíc. Spracúvali sa údaje z amerických družíc ESSA, NOAA a z ruských družíc METEOR. Dráha letu družice a jej objavenie sa nad obzorom boli vypočítavalo ručne a ručne sa navádzala aj anténa na bod nad obzorom, aby sa zachytil prvý signál z družice.

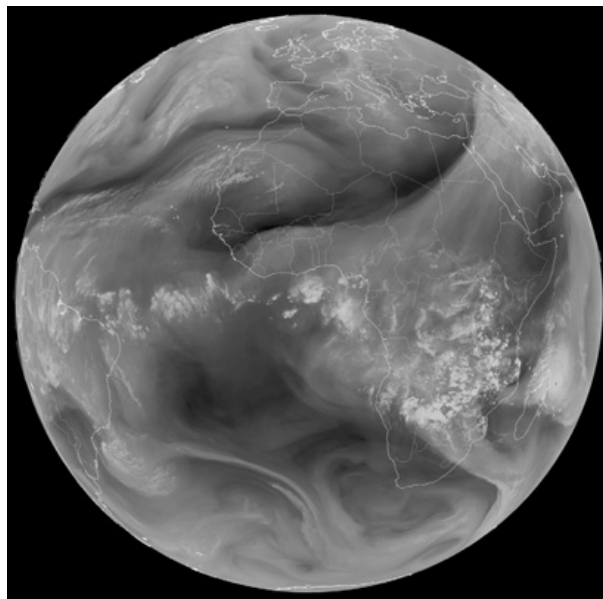
V r. 1979 bola dokončená výstavba nového zariadenia APT (*Automatic Picture Transmission* – automatický prenos snímky) pre príjem údajov z meteorologických družíc, ktoré bolo v operatívnej prevádzke od r. 1980. Snímky sa na začiatku robili vo forme negatívov na čiernobiely film formátu A4 a ďalej klasickým fotografickým procesom prenášali na fotografický papier. Takto zhotovené pozitívy sa spočiatku dopravovali z Malého Javorníka na pracovisko meteorológov na letisku v Bratislave autom, neskôr sa prenos družicových obrázkov uskutočňoval pomocou priemyselnej televízie. Zo snímok sa vytváral archív, ktorý sa využíval na vedecké účely.



Obr. 2. Snímka Zeme vo VIS pásme $0,8 \mu\text{m}$. V pravej hornej časti obrázku je súmrak. Svetlá škvrna pod západnou Afrikou je odraz slnka na vodnej hladine. Zdroj: EUMETSAT

Digitálna éra

K zásadnej zmene v technológii prijímu a spracovania meteorologických snímok z družíc došlo v r. 1983, keď SHMÚ zakúpil a inštaloval digitálny systém schopný prijímať snímky s vysokým rozlíšením tak z geostacionárnych, ako aj z cirkumpolárnych družíc. Tento systém známy pod označením WIRPS (*Weather Imaging Receiving and Processing System* – Systém na príjem a spracovanie snímok počasia) od firmy Dornier bol riadený počítačom PDP. Pre zobrazovanie využíval na svoj čas výkonné grafické zariadenie COMTAL, ktoré umožňovalo zobrazovať už nielen statické snímky, ale aj animácie, takže meteorológ mal k dispozícii časový vývoj oblačnosti. Družicové informácie sa na pracovisko meteorológov dostávali vo forme úplného farebného televízneho signálu a pevnými linkami na digitálny fotozapisovač, ktorý produkoval fotografie s vysokým rozlíšením. Tieto informácie sa využívali hlavne na prípravu predpovedí počasia a prvé štúdie, pre ktoré bolo potrebné digitálne spracovanie obrazu, napr. sledovanie oslnenia terénu, množstva oblačnosti alebo pokusy o odhad výšky oblačnosti. Robili sa pokusy s digitálnou analýzou snímok pomocou algoritmov na rozpoznávanie a klasifikáciu obrazu. Vtedajšie počítače ešte neumožnili naplno využiť možnosti poskytované meteorologickými družicami METEOSAT. Používali sa napr. snímky s menším rozlíšením, najmä pre prenosy na vzdialenejšie pracoviská a spravidla sa používal iba infračervený kanál. Od r. 1985 sa začala distribúcia družicových informácií



Obr. 3. Snímka Zeme v IR pásme $WV6,2 \mu\text{m}$, tzv. kanál vodných pár. Suchá vzduchová hmota je tmavá, svetlá je vlhká, alebo je tam oblačnosť. Zdroj: EUMETSAT

verejnosti prostredníctvom Československej televízie a ostatným užívateľom cez dlhovlnný vysielateľ OLT-22.

Pracovisko na Malom Javorníku sa v tom čase podieľalo na riešení projektov KAS METEO – komplexný automatizovaný meteorologický systém (vedecko-technická spolupráca medzi vtedajšími ZSSR, PLR a ČSSR), KIS – kybernetický informačný systém monitorovania prírodného prostredia a „Štandardizácia RVHP“. Pracovníci sa zúčastnili na medzinárodnom experimente OBLAK 1, ktorý sa uskutočnil v rámci programu INTERKOZMOS. Významné bolo aj riešenie úloh Aktívneho centra WMO, v rámci ktorého organizoval SHMÚ medzinárodné sympóziu *Remote Sensing Applications in Hydrology and Water Resources*.

Až príchod nových výkonnejších počítačov a rozvoj budovania počítačových sietí začiatkom 90. rokov minulého storočia otvorili cestu používaniu snímok družice METEOSAT v plnom priestorovom a časovom rozlíšení. V r. 1992 bola podpísaná prvá dohoda o spolupráci medzi organizáciou EUMETSAT (Európska organizácia pre využívanie meteorologických družíc) a českým a slovenským hydrometeorologickým ústavom, čo umožnilo v plnej miere využívať digitálne údaje z meteorologických družíc s vysokým rozlíšením a 30-minútovým krokom obnovy údajov. Prvá generácia družíc METEOSAT snímala Zem v troch kanáloch: viditeľnom – VIS (vlnové dĺžky detegovaného žiarenia $0,4 - 1,0 \mu\text{m}$), v infračervenom – IR ($10,5 - 12,5 \mu\text{m}$) a v kanále absorpcie vodnou parou – WV ($5,7 - 7,1 \mu\text{m}$); (obr. 2, 3).

VIS kanál sa využíval v prvom rade na detekciu oblačnosti, sledovanie jej pohybu, typu, vývoja a rozpadu. Oblačnosť je tvorená malými kvapkami vody, alebo ľadovými kryštálmi. Podľa veľkosti kvapiek, typu a orientácie ľadových kryštálov má každý typ oblačnosti inú schopnosť odrážať krátkovlnné slnečné žiarenie, tzv. albedo. Platí to aj o rôznych povrchoch, napríklad les má iné albedo ako dozrievajúce obilie, preto sa VIS kanál tiež využíva na detekciu vlastností povrchu. VIS kanál sa dá využiť iba cez deň.

IR kanál bol zvolený tak, aby v ňom elektromagnetické žiarenie neabsorboval žiadny atmosférický plyn a detegované žiarenie pochádza priamo zo zemského povrchu, alebo od oblačnosti. Využíval sa tiež na detekciu oblačnosti, sledovanie jej pohybu, typu, vývoja a rozpadu i na určovanie teploty povrchu a oblačnosti, ale bol použiteľný aj v noci.

WV kanál patrí svojím rozpätím vlnových dĺžok tiež do infračervenej oblasti spektra, ale v tejto časti spektra je elektromagnetické žiarenie pohlcované vodnou parou. Umožňuje to rozlíšiť vlhké vzduchové hmoty od suchých (Karlson, 1997; Kidder, Vonder Haar, 1995).

Na pracovisku synoptickej meteorológie sa postupne začali družicové snímky kombinovať s ďalšími druhmi meteorologických údajov, ako sú napr. teplotné a tlakové polia, polia vlhkosti a zrážok formou izočiar prekladaných cez družicové snímky.

V r. 1995 sa na spracovanie a distribúciu družicových snímok začal používať nový, podstatne výkonnejší počítač. Prijem a spracovanie satelitného signálu sa uskutočňovali pomocou softvéru vyvinutého v SHMÚ.

Rok 1998 bol ďalším míľnikom v technológii prijmu družicových údajov v SHMÚ, v septembri bol pôvodný systém WIRPS modernizovaný. Hlavnou zmenou bola nová dekódovacia jednotka údajov vo veľkom rozlíšení z družíc METEOSAT (MHR-DU). Prijem a prvotné spracovanie údajov bolo realizované na novej pracovnej stanici DEC Alpha so softvérom AXP-SAT. Údaje z METEOSAT-u sa prijímali v dvoch formátoch. A-formát predstavoval celý zemský disk a B-formát výrez s Európou a príľahlým Atlantickým oceánom. Okrem toho sa prijímali aj údaje z ostatných geostacionárnych družíc, ale v menšom časovom a priestorovom rozlíšení.

V júli 1999 sa Slovensko stalo prvým štátom spolupracujúcim s EUMETSAT-om. Bol to prvý krok k plnohodnotnému členstvu v tejto organizácii a umožnilo nám to prístup k všetkým údajom a produktom z družíc v jeho správe.

Súčasnoscť

Dňa 28. augusta 2002 bola na druhý pokus vypustená prvá zo série družíc MSG (*Meteosat Second Generation* – METEOSAT druhej generácie). Družica poskytuje zábery Zeme až v 12 kanáloch a vo väčšom rozlíšení,

ako to bolo pri prvej generácii. To kladie väčšie nároky na prenos údajov, a preto sa musel zmeniť aj systém prijímania údajov z družíc. Kvôli poruche zosilňovača na družici MSG-1 hneď po štarte bol EUMETSAT nútený zvoliť náhradný spôsob distribúcie družicových údajov. Zvolený bol spôsob distribúcie systémom EUMETCast (prenos údajov cez komerčné družice). V r. 2004 MSG-1 začal plniť úlohu základného servisu, v rámci ktorého sa označuje ako METEOSAT 8 a poskytoval údaje každých 15 minút z celého zemského disku. V r. 2007 prevzala túto úlohu družica MSG-2 (s operatívnym označením METEOSAT 9), druhá z plánovanej štvorice družíc MSG. METEOSAT 8 je v súčasnosti záložnou družicou a využíva sa pre 5 minútové snímkovanie Európy, tzv. *Rapid Scan Service*.

SHMÚ prijíma všetkých 12 kanálov, na spracovanie údajov používa vlastný program a na vizualizáciu, okrem komerčných produktov aj vlastný prehliadač ViewMSG. Oba tieto programy boli v rámci pomoci pod záštitou EUMETSAT-u poskytnuté Ukrajine. Množstvo údajov je také veľké, že pre meteorológov sa stalo neefektívne sledovať každý kanál zvlášť. Do popredia sa dostali produkty typu RGB kompozit. Tento produkt vzniká tak, že sa červenej, zelenej a modrej zložke farebného obrázka priradí iná informácia (napríklad iný kanál alebo rozdiel kanálov). Získaný farebný obrázok poskytne lepšiu informáciu, ako každá vstupná informácia zvlášť.

Okrem produktov RGB kompozit EUMETSAT inicioval 8 projektov na podporu lepšieho využitia nových prístupných údajov. Tieto projekty dostali označenie SAF (*Satellite Application Facilities* – aplikačné vybavenie satelitov). V rámci týchto projektov bolo vyvinutých množstvo ďalších satelitných produktov. SHMÚ aktívne participuje na SAF-e pre podporu hydrológie a vodného manažmentu. Viac informácií možno nájsť na webových stránkach EUMETSAT-u.

Dňa 3. januára 2006 sa Slovensko stalo plnoprávnym členom EUMETSAT-u. Členstvo umožňuje zapájať sa do všetkých aktivít, ktoré EUMETSAT vyvíja. V tom istom roku EUMETSAT vypustil na obežnú dráhu aj svoju prvú cirkumpolárnu družicu MetOp, ktorá je súčasťou programu EPS (EUMETSAT Polar System).

Literatúra

- Karlsson, K. G.: An Introduction to Remote Sensing in Meteorology, Norrköping : SMHI, 1997.
Kidder, S. Q., Vonder Haar, T. H.: Satellite Meteorology – An introduction, San Diego : Academic Press, 1995, 466 p.

Mgr. Marián Jurašek, *marian.jurasek@shmu.sk*

RNDr. Ján Kaňák, *jan.kanak@shmu.sk*

RNDr. Dagmar Kotláríková, *dagnar.kotlarikova@shmu.sk*
Slovenský hydrometeorologický ústav, Jeseníova 17, 833 15 Bratislava