

# AUTOMATICKÝ SYSTÉM PRO PŘÍJEM A ZPRACOVÁNÍ DRUŽICOVÝCH METEOROLOGICKÝCH SNÍMKŮ

Ing. Ondřej Baran, Ing. Pavel Vyskočil, prof. Ing. Miroslav Kasal, CSc., Václav Baran  
Ústav radioelektroniky, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, VUT v Brně  
Purkyňova 118, 612 00 Brno

Email: xbaran03@stud.feec.vutbr.cz, xvysko03@stud.feec.vutbr.cz, kasal@feec.vutbr.cz, xbaran@fi.muni.cz

*Abstrakt – Článek je věnován problematice příjmu a zpracování meteorologických dat získávaných z meteorologických družic. Jedná se o družice NOAA na polárních drahách provozované americkou organizací NOAA, u kterých se využívá analogové služby APT. Dále jsou zpracovávána digitální data geostacionárních družic Meteosat evropské organizace EUMETSAT.*

## 1. ÚVOD

Meteorologické družice se od konce 60. let 20. století staly neodmyslitelným nástrojem sloužícím ke sledování stavu a k předpovědím vývoje počasí na Zemi. Postupem času bylo vyvinuto několik generací meteorologických družic a v současné době je na oběžných drahách okolo Země umístěno takové množství meteorologických satelitů, které umožňuje sledování okamžitého stavu počasí téměř kdekoli v celé zemské kouli. Vybavení na palubě satelitů se neustále rozšiřuje a zdokonaluje a dnes je možno sledovat kromě počasí, stavu oblačnosti a srážek také celou řadu dalších událostí a faktorů ovlivňujících zemský povrch či atmosféru (výskyty požárů, stav vegetace, teploty oceánů, stav ozónové vrstvy, atd.), [1].

Tento článek je zaměřen na popis pracoviště určeného pro příjem meteorologických družicových snímků, jejich zpracování a interpretaci. Pracoviště je poměrně jednoduše realizovatelné a finančně dostupné i v amatérských podmínkách a bude sloužit ve výuce předmětu Směrové a družicové spoje k demonstraci dalšího možného využití satelitní komunikace. Pracoviště umožňuje přijímat jak analogové snímky družic NOAA (National Oceanic and Atmosphere Administration) na polárních oběžných drahách, tak digitální snímky pořízené geostacionárními družicemi Meteosat, distribuované prostřednictvím společnosti EUMETSAT (European Organization for the Exploitation of Meteorological Satellites) přes geostacionární družici EuroBird 9A. Analogová data vysílaná družicemi NOAA systémem APT (Automatic Picture Transmission) jsou volně přístupná. Příjem digitálních snímků je podmíněn zakoupením specializovaného software a hardwarového dekódovacího klíče. Volný příjem je pak omezen jen na určitý typ dat přenášených v šestihodinových intervalech, což je možné rozšířit zakoupením licence. Pro zpracování přijatých surových dat je možné využít

nekomerční software a získat tak snímky ve formě obrázků.

Následující odstavce nejprve stručně pojednávají o vesmírném segmentu a přenášených datech obou systémů (analogového i digitálního). Jelikož jsou družice velmi komplexní zařízení s množstvím přístrojů a vybavení, jejichž celkový popis by překročil rozsah tohoto článku, budou rozebrány pouze části přímo související s přijímacím pracovištěm a přenášenými daty. Druhá část příspěvku již popisuje vybudované pracoviště a praktické zkušenosti nabyté při jeho realizaci. Nakonec je uvedeno zpracování a interpretace přijatých dat.

## 2. ANALOGOVÉ SNÍMKY APT – DRUŽICE NOAA

Americká organizace NOAA v současné době aktivně provozuje pět meteorologických družic obíhajících Zemi na polárních drahách (viz Tab. 1). Pouze čtyři z těchto družic mají funkční systém APT pro vysílání analogových dat v pásmu 137 MHz s frekvenční modulací.

### 2.1. KOSMICKÝ SEGMENT

Kosmický segment, využívaný přijímacím pracovištěm, je tvořen čtyřmi družicemi NOAA umístěnými na nízkých polárních slunečně synchronních oběžných drahách ve výšce přibližně 850 km nad zemským povrchem s periodou obletu přibližně 100 minut. Polární dráha prochází nad oběma póly Země s inklinací velmi blízkou 90°, rovina polární dráhy je tedy téměř kolmá na rovinu rovníku. Při každém dalším obletu se družice na polární dráze nachází na jiné zeměpisné délce nad rovníkem [2], [3]. Speciálním případem polární oběžné dráhy je slunečně synchronní dráha, jejíž výhoda spočívá v tom, že družice přelétá nad stejným místem na Zemi vždy ve stejný místní čas.

družice	datum vypuštění	nosná frekvence APT	úhel inklinace	výška oběžné dráhy	precesní poměr	perioda obletu
	-	MHz	°	km	min/měsíc	min
NOAA 15	13. 5. 1998	137,500	98,50	807	-1,0	101,10
NOAA 16	21. 9. 2000	- *)	99,00	849	+4,8	102,10
NOAA 17	24. 6. 2002	137,6200	98,70	810	-2,6	101,20
NOAA 18	20. 5. 2005	137,9125	98,74	854	+0,8	102,12
NOAA 19	6. 2. 2009	137,1000	98,70	870	-1,5	102,14

\*) APT vysílač poškozen několik měsíců po vynesení na oběžnou dráhu

Tab. 1: Meteorologické družice na polárních oběžných drahách spravované organizací NOAA [4], [5]

Tab. 1 shrnuje hlavní parametry čtyř meteorologických satelitů NOAA umožňujících příjem pomocí systému APT. Pro úplnost je také přidán pátý satelit NOAA 16, u kterého došlo krátce po jeho vypuštění k poruše na APT vysílači.

V současné době jsou družice NOAA 17 a NOAA 18 provozovány jako primární. Roviny jejich oběžných drah jsou oproti sobě otočeny o 90°. Touto konfigurací je zajištěno snímání jednoho místa na zemi nejméně čtyřikrát za den. Ostatní družice fungují jako záložní.

Z pohledu meteorologických informací je nejdůležitější součástí na palubě družice šestikanálový skenující radiometr AVHRR/3 (Advanced Very High Resolution Radiometer) [6], [7]. Vlnové délky přiřazené jednotlivým kanálům jsou shrnuty v Tab. 2. Kanály 1, 2 a 3A slouží ke snímání odraženého slunečního záření horní hranice viditelné části spektra a poskytují data v denních hodinách. Kanály 4 a 5 snímají výhradně tepelné záření a kanál 3B je smíšený, poskytuje informace během dne i v noci. Analogové výstupy všech kanálů radiometru jsou současně digitalizovány s rozlišením 10 bitů rychlostí 39,936 vzorků za sekundu na kanál. Každý další vzorek je snímán po pootočení radiometru o 0,95 miliradiánu. Celkově je získáno 2048 vzorků na kanál na jeden pruh skenování Země, který odpovídá rozsahu  $\pm 55,4^\circ$  od místa přímo pod družicí (tzv. nadir), tj. pás široký přibližně 3000 km. Kanály 3A a 3B nemohou pracovat současně. K zemi je proto vysíláno pouze pět ze šesti kanálů radiometru. V denních hodinách je spolu s ostatními vysílán kanál 3A a v nočních hodinách kanál 3B. Snímače radiometru pro infračervené záření jsou chlazeny na teplotu 105 K pomocí dvoustupňového pasivního chladiče. Optická soustava radiometru sestává ze dvou subsystémů – teleskopu a optické prepínací jednotky. Teleskop má průměr apertury 20,3 cm, optický

prepínač rozděluje výstupní paprsek teleskopu do šesti spektrálních kanálů radiometru.

kanál	rozsah spektra vlnových délek [μm]	popis
1	0,58 – 0,68	viditelná červená oblast spektra
2	0,725 – 1,0	blízké infračervené záření
3A	1,58 – 1,64	infračervené záření
3B	3,55 – 3,93	infračervené záření/tepelné záření
4	10,3 – 11,3	tepelné záření
5	11,5 – 12,5	tepelné záření

Tab. 2: Spektrální pásma šestice kanálů radiometru AVHRR/3 [6]

Rozlišení radiometru v místě přímo pod družicí (v nadiru) je 1,1 x 1,1 km, na okrajích snímku je přibližně 2,5 x 2,5 km. Výstupní digitalizovaná data radiometru jsou prostřednictvím procesoru MIRP (Manipulated Information Rate Processor) převedena na čtyři výstupy. Data v plném rozlišení HRPT (High Resolution Picture Transmission) jsou zpracována digitálně a v reálném čase jsou k uživateli přenášena v pásmu 1,7 GHz. Použitím každého třetího skenovaného řádku AVHRR je sníženo rozlišení a tato data jsou analogově přenášena v pásmu 137 MHz systémem APT. Další dva datové výstupy jsou pouze archivovány na paměťová média na palubě družice a na pokyn pozemní řídicí stanice mohou být vysílány. Jedná se o data zachycující určitá území (LAC – Local Area Coverage) a data s uměle sníženým rozlišením 4 x 4 km s globálním pokrytím (GAC – Global Area Coverage). Pro příjem digitálních HRPT dat je

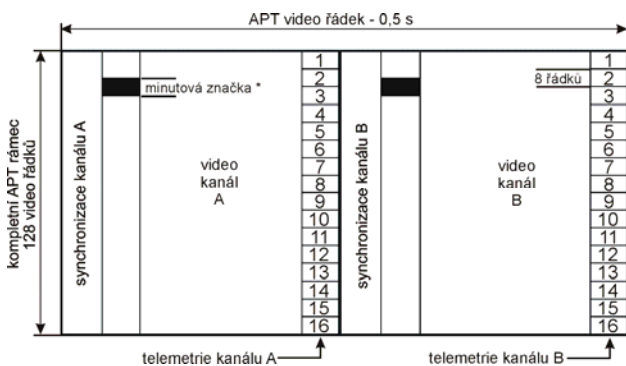
zapotřebí složitý a nákladný systém se směřovanou parabolickou anténou. Analogová data systému APT je možno přijímat v pásmu 137 MHz na poměrně jednoduchou všesměrovou anténu.

## 2.2. APT

Systém APT umožňuje přenos dat s redukováním rozlišením, přičemž je možné kombinovat kterékoliv dva kanály ze šestice kanálů radiometru AVHRR/3. Volbu dvojice kanálů provádí pozemní řídicí stanice. Neustále je vysílán jeden kanál s infračerveným spektrem (nejčastěji kanál 4). Jako druhý kanál je pak během dne vysílán kanál s viditelným spektrem (nejčastěji kanál 2), který je v noci nahrazen dalším infračerveným kanálem.

Digitální 10 bitová data vystupující z radiometru AVHRR/3 jsou redukována na 8 nejvýznamnějších bitů (redukce rozlišení na 4 x 4 km). Tato data jsou pak převedena D/A převodníkem na analogový signál, který je frekvenčně omezen šířkou pásma 2080 Hz a následně amplitudově modulován na nosný kmitočet 2400 Hz. Zde opět dochází k filtraci se šířkou pásma 4160 Hz. V tomto místě je signál připraven k přeložení do VHF pásma (nosná v okolí 137 MHz) prostřednictvím frekvenční modulace. Výkon vysílače je 5 W a signál je vysílán s kruhovou pravotočivou polarizací (RHCP) [7].

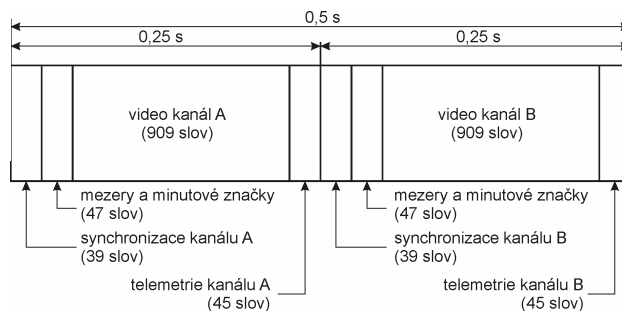
Dva ze šesti možných kanálů AVHRR jsou multiplexovány do výsledného snímku tak, že kanál A APT je složen z prvního skenovaného řádku AVHRR jednoho spektrálního kanálu a kanál B APT pak obsahuje druhý skenovaný řádek AVHRR dalšího spektrálního kanálu [7]. Třetí skenovaný řádek je vypuštěn a celý postup se neustále opakuje. Formát APT rámce je vyobrazen na Obr. 1.



\* minutové značky trvají po dobu 4 video řádků

Obr. 1: Formát jednoho APT rámce [7]

Jeden rámec je generován za 64 sekund a skládá se ze 128 video řádků. Oba kanály, A i B, obsahují 16 polí s telemetrickými daty, která také slouží ke kalibraci APT snímku. Osm video řádků tvoří jedno telemetrické pole, přičemž pro kalibraci celého snímku postačuje pouze jeden kompletní ATP rámec. V každém video řádku (viz. Obr. 2) je obsaženo 2080 slov, datová rychlost pak odpovídá 4160 slovům za sekundu. Každý kanál má také svou synchronizaci a přenáší ještě tzv. minutové značky. Podrobné informace přesahující rámec tohoto článku jsou uvedeny v [7].



Obr. 2: Formát jednoho APT video řádku [7]

## 3. DIGITÁLNÍ SNÍMKY – DRUŽICE MSG

Evropská organizace EUMETSAT ve spolupráci s Evropskou vesmírnou agenturou ESA (European Space Agency) provozuje od druhé poloviny 80. let 20. století geostacionární meteorologické družice. První z nich, Meteosat-1, byla vynesena na oběžnou dráhu roku 1977 [8]. Postupem času se vystřídal celkem 7 těchto družic označovaných Meteosaty první generace. Od roku 2006 jsou jako jejich nástupci provozovány další geostacionární meteorologické družice tzv. Meteosaty druhé generace MSG (Meteosat Second Generation) [9]. Tyto společně s družicemi METOP na nízkých polárních oběžných drahách zajišťují sběr meteorologických dat pro Evropu a Afriku.

### 3.1. KOSMICKÝ SEGMENT DRUŽIC MSG

Družice MSG se nacházejí na geostacionární oběžné dráze Země. Geostacionární dráha je umístěna v rovině rovníku ve výšce průměrně 35790 km nad zemským povrchem [2], [3]. Vztaženo vůči zemské ose, družice se na této dráze pohybuje stejnou úhlovou rychlostí jako jakýkoliv bod na Zemi, a tedy oběhne Zemi za jeden den. Družice se pak jeví jako nehybná, zavěšená na stejném místě nad rovníkem a neustále pokrývá stejné území. Toto je s výhodou použito i u geostacionárních meteorologických družic, které umožňují nepřetržité monitorování určitého stejného území a mohou tak

velmi rychle odhalit případné náhlé změny počasí, bouře, atd.

V současné době se na geostacionární dráze nacházejí dva z celkově čtyř plánovaných MSG satelitů. MSG-1 je umístěn nad zeměpisnou délkou 9,5° východně, slouží jako záložní satelit a používá se ke zrychlenému skenování (RSS – Rapid Scanning Service) určité části zemského povrchu. MSG-2 je přesně nad průsečíkem rovníku a nultého poledníku a slouží jako primární družice EUMETSATu se všemi meteorologickými službami [10]. Družice MSG mají tvar válce a jsou stabilizovány vlastní rotací. Družice rotuje rychlostí 100 otáček za minutu, což je také využíváno jako podstata snímkování [9].

Hlavním zařízením na palubě družice je radiometr SEVIRI (Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager), který umožňuje zaznamenávat 12 různých spektrálních kanálů (viz Tab. 3) [9], [10]. Rozlišovací schopnost radiometru je pro místa pod družicí (v nadíru) pro kanál s vysokým rozlišením (HRV) 1 km a pro ostatní kanály 3 km. Pro oblast střední Evropy je rozlišovací schopnost zmenšena z důvodu šikmějšího pohledu (HRV kanál 3 x 2 km, ostatní kanály 6 x 4 km, delší rozměr udává orientaci severo-jihním směrem).

číslo kanálu	označení kanálu	rozsah vlnových délek [μm]
1	VIS 0,6	0,56 – 0,71
2	VIS 0,8	0,74 – 0,88
3	IR 1,6	1,50 – 1,78
4	IR 3,9	3,48 – 4,36
5	WV 6,2	5,35 – 7,15
6	WV 7,3	6,85 – 7,85
7	IR 8,7	8,30 – 9,10
8	IR 9,7: O <sub>3</sub>	9,38 – 9,94
9	IR 10,8	9,80 – 11,80
10	IR 12,0	11,00 – 13,00
11	IR 13,4: CO <sub>2</sub>	12,40 – 14,40
12	HRV	0,50 – 0,90

Tab. 3: Spektrální pásma radiometru SEVIRI družic MSG [9], [10]

Kanály 1 a 2 ve viditelném absorpčním pásmu slouží k zobrazení oblačnosti a zemského povrchu v denním světle. Kanál 3 je pro blízkou infračervenou oblast a umožňuje rozlišit mezi sněhem a oblačností. Krátkovlnné infračervené pásmo snímá kanál 4. Plní

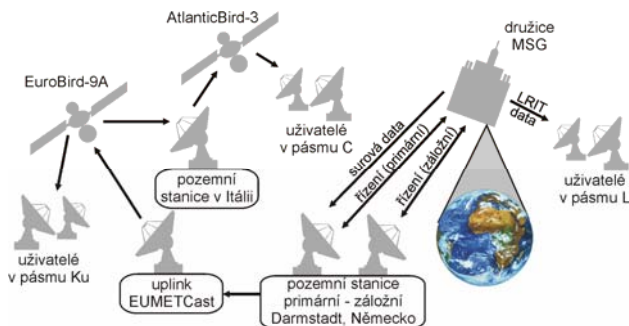
jednak obdobnou funkcí jako kanál 3, a navíc lze s jeho pomocí rozpoznávat mlhy. Kanály 5 a 6 jsou v pásmu absorpce vodních par v troposféře. Infračervené pásmo kanálu 7 rozlišuje mezi zemským povrchem a sněhovými mraky. Pomocí kanálu 8 lze určovat celkové množství ozónu ve spodních vrstvách troposféry. Absorpční pásmo dlouhovlnného infračerveného záření kanálů 9 a 10 slouží pro monitorování teploty zemského povrchu, zatímco teplotu v atmosféře je možné pozorovat v absorpčním pásmu oxidu uhličitého kanálu 11. Viditelné spektrum je snímáno kanálem 12 s vysokým rozlišením [11].

Radiometr je schopen skenovat zemský povrch v plném rozlišení rychlostí 4 snímky za hodinu. Jeho optická soustava je složena ze skenovacího zrcadla sklopeného o 45° od hlavní osy radiometru, s možností vychylování z této polohy v rozsahu ± 5,5°, dále z primárního (o průměru 51 cm), sekundárního a terciárního zrcadla. Polovodičová snímací čidla pro jednotlivé kanály jsou umístěna v ohniskové rovině, snímače infračervených kanálů jsou navíc pasivně chlazeny na teplotu 95 K [9]. Skenování probíhá od jižního k severnímu pólu, družice otáčející se rychlostí 100 otáček za minutu musí vykonat 1250 otáček pro vytvoření jednoho kompletního snímku.

Kromě radiometru SEVIRI nesou družice MSG modul sběru dat z pozemích automatických stanic (DCS – Data Collection System) a modul pro přenos dat z jiných meteorologických družic (MDD – Meteorological Data Distribution). Dále je zabudován modul pro měření krátkovlnného a dlouhovlnného celkového záření GERB (Geostationary Earth Radiation Budget) a také modul S&R (Search&Rescue) sloužící k vyhledávání a retranslaci nouzových signálů z mobilních terminálů na Zemi nacházejících se v dosahu družic MSG [8], [10].

### 3.2. POZEMNÍ SEGMENT

Sběr, zpracování a distribuci meteorologických dat řídí pozemní kontrolní stanice situovaná v německém městě Darmstadt. Primárně jsou z tohoto místa řízeny všechny družice organizace EUMETSAT. Přijatá surová data na tzv. úrovni 1 (Level 1) jsou zde kalibrována a geometricky a radiometricky korigována. Nyní, na úrovni 1,5 (Level 1,5), jsou prostřednictvím systému EUMETCast distribuována koncovým uživatelům v Evropě v pásmu Ku přes komerční geostacionární družici EuroBird 9A (viz Obr. 3). Uživatelé v Evropě, v Africe a v oblasti Atlantického oceánu mohou data přijímat také v pásmu C přes geostacionární satelit AtlanticBird 3.



Obr. 3. Zjednodušené schéma přenosu a distribuce družicových dat EUMETSAT (upraveno a zjednodušeno podle [10])

Pozemní kontrolní stanice také přijímá meteorologické informace pořízené z jiných zdrojů (družice, pozemní radary a další), které po zpracování vysílá spolu s daty získanými z MSG. Protože jsou téměř veškerá data licencována, musí si koncoví uživatelé zpřístupnění konkrétních informací zaplatit.

### 3.3. PŘENÁŠENÁ DATA

Surová data radiometru SEVIRI na úrovni 1 (Level 1) vysílaná z družic MSG proudí do pozemního řídicího střediska rychlostí 3,2 Mb/s. Rozměr snímku kanálu HRV je 5568 x 11136 pixelů, u ostatních spektrálních kanálů 3712 x 3712. Každý obrazový bod má 10 bitové rozlišení [9].

Přepravená data úrovně 1,5 (Level 1,5) jsou ke koncovým uživatelům distribuována pouze v digitální formě, a to jednak prostřednictvím služby EUMETCast DVB a také přímo přes družici MSG-2 v pásmu 1,7 GHz.

U služby EUMETCast DVB je možné rozlišit dva typy přenosu v závislosti na počtu použitých spektrálních kanálů radiometru SEVIRI a na způsobu komprese přenášených dat. V plném rozlišení (High Rate SEVIRI) se přenáší všech 12 spektrálních kanálů [10]. Kanál viditelného spektra HRV je částečně ztrátově komprimován, ostatních 11 kanálů používá bezztrátovou kompresi. Data s plným rozlišením lze ještě rozdělit do dvou oddílů. Prvnímu z nich odpovídají snímky celého zemského disku, kdy je možné získat během jedné hodiny čtyři sady dat v plném rozlišení. Do druhého oddílu spadají data družice MSG-1, která pomocí služby zrychleného skenování (RSS) zabírá pouze severní třetinu zemského disku, čímž se ztrojnásobí počet možných snímků za hodinu na 12 (jsou tedy k dispozici snímky s časovým rozestupem 5 minut). Dalším typem je redukováný přenos (Low Rate SEVIRI) s 5 vybranými spektrálními

kanály (VIS 0,6; IR 1,6; IR 3,9; WV 6,2; IR 10,8) [10], které jsou komprimovány ztrátově. Během jedné hodiny je možné získat pouze dvě sady těchto redukováných dat (jeden snímek každých 30 minut).

Distribuce dat ke koncovému uživateli v pásmu 1,7 GHz je označována jako LRIT (Low Rate Information Transmission) a je obdobou redukováného přenosu (Low Rate SEVIRI) [10].

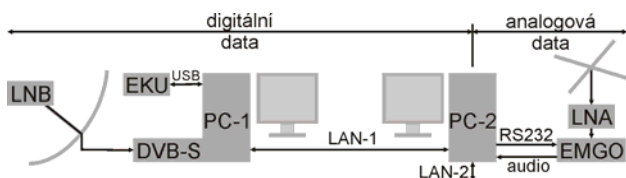
Služba EUMETCast DVB také umožňuje přístup k digitálním datům získaným jinými meteorologickými družicemi. Jedná se například o polární družice METOP organizace EUMETSAT nebo polární družice NOAA a geostacionární družice GOES organizace NOAA.

Kromě snímků pořízených v šestihodinových intervalech (00:00, 06:00, 12:00 a 18:00 UTC) podléhají všechna data licenci společnosti EUMETSAT. Pro zpřístupnění určitých dat je tedy potřebná registrace a pořízení dekódovacího hardwarového klíče (EKU v případě Low Rate SEVIRI a High Rate SEVIRI, SKU v případě LRIT).

## 4. PŘIJÍMACÍ PRACOVNÍŠTĚ

Pracoviště vybudované v laboratoři Směrových a družicových spojů na Ústavu radioelektroniky FEKT VUT v Brně umožňuje přijímat meteorologické snímky jak geostacionárních družic MGS, tak družic NOAA na nízkých polárních drahách. Data z družic NOAA jsou analogová, přenášená v pásmu VHF na nosném kmitočtu okolo 137 MHz, zatímco digitální snímky z družic MSG jsou přeposílány přes geostacionární družici EuroBird 9A v pásmu Ku. Jedná se tedy o dva odlišné systémy pracující na výrazně vzdálených kmitočtech, a proto je popis pracoviště rozdělen na dvě samostatné části. Ve výsledku toto pracoviště pracuje plně automaticky a zpracovaná data z obou systémů jsou uložena na jeden společný pevný disk pro jejich archivaci a snadné zpřístupnění.

- Přijímací část digitálního systému EUMETCast je blokově zachycena v levé části Obr. 4. Data jsou vysílána družicí EuroBird 9A, nacházející se nad rovníkem na 9° východní délky, transpondérem na středním kmitočtu 11977,0 MHz v pásmu Ku s horizontální polarizací. Jedná se o datový kanál přenášený prostřednictvím digitální satelitní televize DVB-S. Je zde tedy použita modulace QPSK se symbolovou rychlostí 27500 symbolů za sekundu a kódovým poměrem 3/4.



Obr. 4: Blokové znázornění přijímacího pracoviště

Podle doporučení EUMETCast [10] pro střední Evropu je pro příjem dat zvolena offsetová parabolická anténa o průměru 85 cm, doplněná nízkosumovým konvertorem LNB. Signál z konvertoru je dále veden do digitálního satelitního tuneru DVB-S, který je ve formě PCI karty zabudován do počítače PC-1.

Pro příjem digitálních dat EUMETCast byl zakoupen software (EUMETCast Client Software), jehož funkce je podmíněna přihlašovacím jménem a heslem. Dále byla zaplacená licence pro přístup k určitému balíku meteorologických dat. Dešifrování je zajištěno pomocí USB EKU (EUMETCast Key Unit) hardwarového klíče [10]. Přijátá data jsou neustále ukládána na pevný disk přijímacího počítače PC-1 v komprimovaném formátu, který neumožňuje jejich přímé použití. Pro dekompresi a snadnou interpretaci přijatých dat je použit volně dostupný program xrit2pic [12], který je pravidelně spouštěn na zpracovatelském počítači PC-2.

Při příjmu jsou poměrně vysokou rychlostí přenášeny velké objemy dat, které musí být v určitých časových okamžicích uloženy na pevný disk počítače PC-1. Zde je nejkritičtější místo systému, k pevnému disku je třeba vyhradit veškerou možnou přenosovou kapacitu. Pokud by na pevný disk často přistupovala i jiná aplikace, mohlo by docházet k zahlcení a ztrátám některých přijímaných segmentů, což by se ve výsledku projevilo nekompletností dekomprimovaných dat. Tato skutečnost se při oživování pracoviště potvrdila. Při spuštění dekodovací aplikace xrit2pic na přijímacím počítači PC-1 nastaly rozsáhlé výpadky v přijímaných datech a výsledné snímky byly téměř nepoužitelné. Z tohoto důvodů byla zvolena jako finální konfigurace přijímací – zpracovatelský počítač. PC-1 tedy neustále přijímá data, která jsou po síti LAN-1 kopírována do PC-2, kde je na ně použit dekodovací algoritmus aplikace xrit2pic. Vylepšení této konfigurace a zvýšení spolehlivosti bylo dosaženo alokováním části operační paměti RAM na PC-1 jako úložiště právě přijímaného segmentu (tzv. ramdisk) [10] a zakázáním brány firewall počítače PC-1, který není připojen do žádné veřejné sítě a nemůže být tedy ohrožen.

- Pro příjem analogových snímků systému APT z družic NOAA bylo zbudováno pracoviště podle

blokového schématu v pravé části Obr. 4. APT signál je přenášen v pásmu 137 MHz s pravotočivou kruhovou polarizací. Doba přeletu družice nad pozorovacím místem je přibližně 10 – 15 minut. Z tohoto důvodu je zapotřebí buďto směrová anténa směřovaná na právě přelétávající družici, anebo anténa všesměrová. Směřovaný anténní systém je poměrně složitá a nákladná záležitost, proto byla zvolena druhá varianta se všesměrovou anténou typu Lindenblad [13]. Ta je tvořena čtyřmi skládanými dipóly, nafázovanými a impedančně přizpůsobenými na 50 Ω. Bezprostředně u antény je připojen nízkosumový pásmový předzesilovač se ziskem přibližně 20 dB. Z důvodu výrazného rušení především od blízkých rádiových FM vysílačů byl předzesilovač koncipován s vázanou pásmovou propustí na vstupu. Toto opatření bylo ovšem nedostačující, a proto byl vstup navíc doplněn pásmovou propustí 4. řádu. Došlo sice ke zhoršení šumového čísla předzesilovače, ale tato konfigurace již dostatečně potlačila signály nežádoucích rádiových FM vysílačů o více než 45 dB. Předzesilovač je napájen přímo po koaxiálním kabelu z přijímače.

Jako přijímač byl zvolen výrobek Ing. Goly [14] (EMGO v Obr. 4) přímo určený pro příjem APT signálů polárních družic NOAA a případně APT signálu geostacionární družice GOES po konverzi do pásma 137 MHz. Přijímač je typu superheterodyn s dvojitým směšováním, nejprve na mezifrekvenci 10,7 MHz a dále na 455 kHz, šířka mezifrekvenčního filtru je 30 kHz. Pro nastavování kmitočtů slouží smyčka fázového závěsu PLL s krokem 10 kHz, kterou je možno manuálně přeladovat mezi kmitočty 134 až 141 MHz. Přijímač je také možno ovládat prostřednictvím sériové linky RS232 z počítače PC-2. Užitečný signál je přiveden do linkového audio vstupu zvukové karty počítače PC-2. Pro dekodování snímků a automatické ovládání přijímače byla zvolena volně dostupná verze programu WXtoImg [15].

Příjem APT signálů byl také testován na komerčním přijímači YAESU VR-5000 na rozsahu širokopásmové FM. Mezifrekvenční filtr přijímače je široký 230 kHz, což se projevilo zvýšenou úrovní šumu v nízkofrekvenčním signálu a výraznějším zrněním ve výsledném snímku.

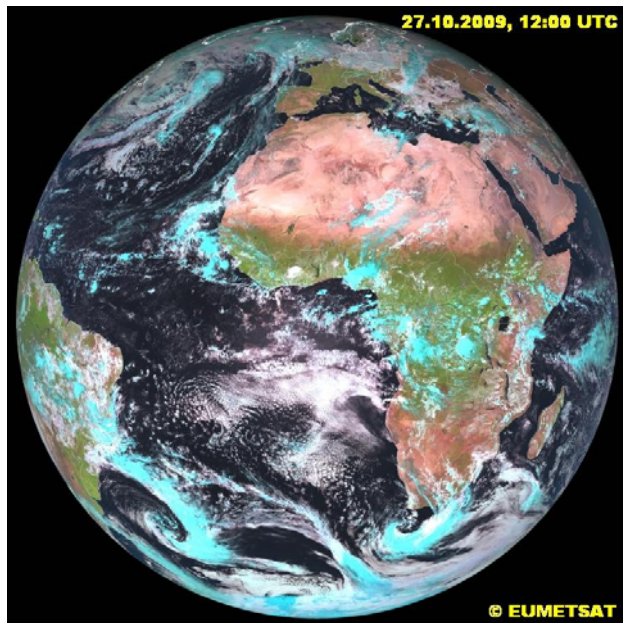
## 5. ZPRACOVÁNÍ A VYHODNOCENÍ DRUŽICOVÝCH DAT

Hlavním záměrem při budování celého pracoviště byla možnost automatického zpracování a vyhodnocení přijatých dat, která by pak byla kdykoli přístupna

v rámci Ústavu radioelektroniky pro studenty. Některé snímky (v souladu s licencí EUMETCast) pak budou vystaveny na webových stránkách předmětu Směrové a družicové spoje.

- Digitální data systému EUMETCast jsou zpracovávána pomocí programu xrit2pic [12], který komprimované informace radiometru SEVIRI dekomprimuje a seskládá jednotlivé segmenty do výsledného obrazu. Program xrit2pic je také schopen zobrazit snímky získané polárními družicemi METOP nebo snímky RSS MGS-2, které jsou komprimovány algoritmem bzip2. Výsledkem je vždy obrázek uložený ve formátu jpg.

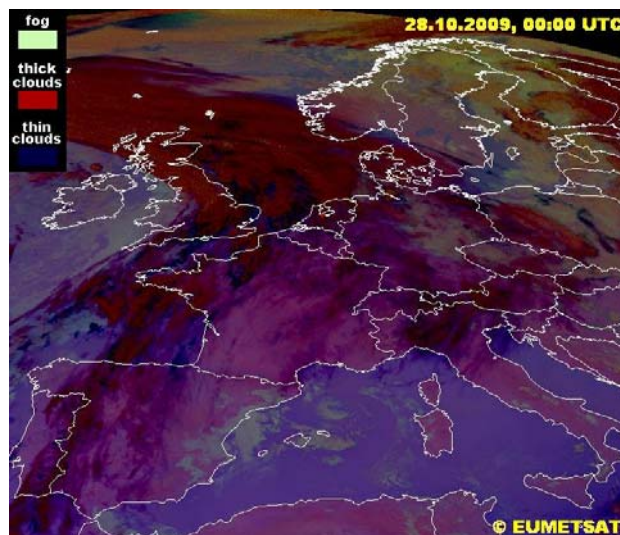
Pro automatický režim v denních hodinách byly vybrány snímky s vysokým rozlišením (High Rate SEVIRI), a to pouze tři kanály radiometru SEVIRI – VIS 0,6; VIS 0,8; IR 1,6. Jejich kompozicí vzniká falešný barevný snímek zemského disku (normal RGB), viz Obr. 5. Kanál VIS 0,6 je mapován modrou, kanál VIS 0,8 zelenou a kanál IR 1,6 červenou barvou, jejich vzájemný podíl je rovnoměrný.



Obr. 5: Barevná kompozice tří kanálů radiometru SEVIRI (VIS 0,6; VIS 0,8, IR 1,6), snímek ze dne 27. 10. 2009 ve 12:00 UTC. © EUMETSAT.

V nočních hodinách, kdy na snímače VIS 0,6 a VIS 0,8 nedopadá žádné světlo odražené ze Země, je použito barevné mapování pro noční detekci mlh (night fog detection), viz Obr.6 se zachycenou částí Evropy. Využívá tyto tři IR spektrální kanály – IR 3,9 (mapováno zeleně), IR 10,8 (mapováno RGB s různou vahou jednotlivých barev) a IR 12,0 (mapováno

červeně), přičemž jednotlivé barvy jsou započítány různou měrou [12]. Generovaný snímek obsahuje škálu pro rozeznání mlh, mírné oblačnosti a těžkých dešťových mraků.



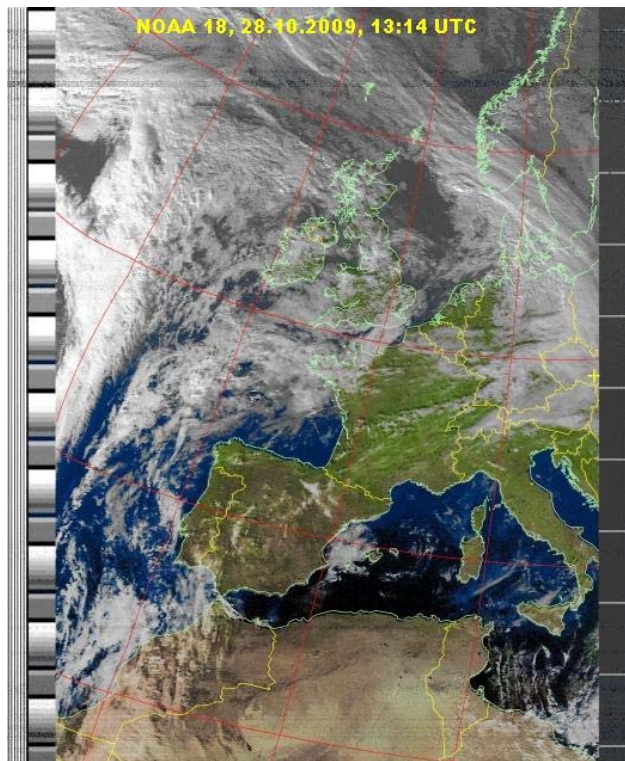
Obr. 6: Barevná kompozice tří kanálů radiometru SEVIRI (IR 3,9; IR 10,8, IR 12,0) pro noční detekci mlh, snímek ze dne 28. 10. 2009 ve 00:00 UTC.

© EUMETSAT.

- Analogový signál družic NOAA je zpracováván programem WXtoImg [15]. Ten umožňuje automatickou aktualizaci kepleriánů družic, ze kterých dokáže vypočítat aktuální dobu přeletu. Podle toho pak přes sériovou linku přeladuje přijímač EMGO na kmitočet aktuální přelétající družice. Program WXtoImg poskytuje několik nastavení pro barevné mapování výsledného snímku vycházející převážně ze 2. a 4. kanálu radiometru AVHRR (viz Tab. 2), které jsou nejčastěji systémem APT přenášeny. V denních hodinách jsou mapovány oba kanály. V nočních hodinách se využívá pouze kanál 4 tepelného záření (kanál 2 je nahrazen jiným IR kanálem, který program WXtoImg nezpracovává, neplatí pro družici NOAA 18, která vysílá kanál 2 a 4 neustále). Vhodným barevným namapováním je pak možné získat barevné snímky uložené opět ve formátu jpg.

Pro automatické zpracování v denních hodinách byla vybrána multispektrální analýza (MSA – Multispectral Analysis). Výsledkem je snímek v tzv. falešných barvách, kde je možné odlišit oblačnost, pevninu a moře. Pro noční hodiny je pak zvoleno barevné mapování 4. IR kanálu se zvýrazněním srážek (MCIR-Precip - Map Coloured IR with Precipitation). Výsledek je tedy opět v tzv. falešných barvách, kde je moře zbarveno do modra a pevnina do zelena. Vysoká

oblačnost má barvu bílou, nízká oblačnost je zobrazena šedě případně v barvě pevniny nebo moře. Tmavší barva označuje místa s vyšší teplotou. Pravděpodobnost a intenzita srážek roste při přechodu barev zelená-žlutá-oranžová-červená-černá-bílá [15]. Příklad přijatého snímku polární družice NOAA 18 je na Obr. 7.



Obr. 7: Multispektrální analýza kanálů A a B systému APT družice NOAA 18 ze dne 28. 10. 2009, čas přeletu 13:14 UTC.

- Pracoviště je automaticky řízeno ze zpracovatelského počítače PC-2, který zároveň slouží jako archiv přijatých dat. Na přijímacím počítači PC-1 je zřízen FTP server, pomocí kterého se přistupuje z PC-2 k přijatým surovým digitálním datům. Veškeré operace se soubory (kopírování do PC-2 a mazání na PC-1), ovládání a nastavování zpracovávajících programů jsou řízeny z příkazové řádky prostřednictvím dávkových souborů ve Windows. Toto umožňuje také program xrit2pic, který je v tomto režimu (bez uživatelského rozhraní) mnohem stabilnější (jak se ověřilo jeho používáním). Dávkové soubory jsou pravidelně v šestihodinových intervalech spouštěny z volně dostupného plánovacího programu. Dávka tedy zajistí zkopírování příslušných surových dat z PC-1 do PC-2 přes FTP. Následně je spuštěna aplikace xrit2pic, která vygeneruje příslušné snímky a uloží je do složky s dočasnými soubory k dalšímu zpracování. Z jedné

sady surových dat jsou vytvořeny dva snímky v šestihodinových intervalech (00:00, 06:00, 12:00 a 18:00 UTC), jeden vyobrazuje celý zemský disk, druhý pak detail Evropy. Nakonec jsou použita surová data smazána jak na PC-2, tak přes FTP na PC-1. Snímky z analogového systému APT vznikají přímo na PC-2, kde jsou také podrobeny dalšímu zpracování.

Dalším zpracováním snímků se rozumí přidání značky copyrightu, data a času, kdy byl daný snímek pořízen. Tento proces je řízen prostřednictvím příkazové řádky ve freewareovém programu ImageMagick [16], který také vytváří náhledy vždy několika aktuálních snímků pro jejich zveřejnění na internetových stránkách.

## 6. ZÁVĚR

Naším cílem bylo navrhnout a zrealizovat laboratorní pracoviště pro příjem, zpracování a vyhodnocení meteorologických údajů. Digitální data z družic Meteosat jsou přijímána pomocí komerčně dostupných komponentů – parabolické antény, nízkošumového konvertoru a DVB-S tuneru. Pro druhou část pracoviště s příjmem analogových dat z družic NOAA byla vyrobena anténa typu Lindenblad s kruhovou polarizací doplněná o nízkošumový předzesilovač pro pásmo 137 MHz. Veškerá data jsou dekodována a zpracována na počítači, který zároveň slouží jako archiv přijatých snímků.

Na pracovišti jsou automaticky zpracovávány snímky systému APT družic NOAA 15, NOAA 17, NOAA 18 a NOAA 19 a také snímky radiometru SEVIRI s vysokým rozlišením z družic Meteosat druhé generace. Mimo těchto automaticky vyhodnocovaných dat je možno aktivovat příjem dalších meteorologických informací poskytovaných v rámci licence EUMETCast.

Přijímací pracoviště vzniklo jako součást nové laboratorní úlohy v rámci modernizace laboratorní výuky předmětu Směrové a družicové spoje na Ústavu radioelektroniky VUT v Brně, za podpory projektu FRVŠ. Díky této nové úloze si studenti budou moci osvojit další způsoby využití družic a družicových komunikací a seznámit se s principem získávání meteorologických snímků, se kterými člověk přichází do styku v každodenním životě.

## PODĚKOVÁNÍ

Tento článek vznikl za podpory grantového projektu č. 105/2009/G1 „Inovace laboratorní výuky magisterského předmětu Směrové a družicové spoje“ Fondu rozvoje vysokých škol MŠMT České republiky,



grantu č. 102/08/H027 „Pokročilé metody, struktury a komponenty elektronické bezdrátové komunikace“ Grantové agentury České republiky a výzkumného záměru č. MSM 0021630513 „Elektronické komunikační systémy a technologie nových generací (ELKOM)“ MŠMT České republiky.

## LITERATURA

- [1] HAYNES, Robert. Sentinels in the Sky: Weather Satellites. Report NOAA, NASA, 1889. Dostupný z WWW: <[http://www.eric.ed.gov/ERICDocs/data/ericdocs2sql/content\\_storage\\_01/0000019b/80/1f/8f/ae.pdf](http://www.eric.ed.gov/ERICDocs/data/ericdocs2sql/content_storage_01/0000019b/80/1f/8f/ae.pdf)>.
- [2] MONTENBRUCK, Oliver, GILL, Eberhard. Satellite Orbits: Models, Methods, and Applications. Berlin: Springer, 2000. ISBN 3-540-67280-X.
- [3] Wikipedia, the free encyclopedia. Dostupné z WWW: <<http://www.wikipedia.org>>.
- [4] Satellite Status Information: NOAA Operational Satellites. Dostupné z WWW: <<http://noaasis.noaa.gov/NOAASIS/ml/status.html>>.
- [5] NOAA, Office of Satellite Operation: POES Status. Dostupné z WWW: <<http://www.oso.noaa.gov/poesstatus/>>.
- [6] Informace o družicích NOAA. Český hydrometeorologický ústav, Družicové oddělení. Dostupné z WWW: <[http://www.chmi.cz/meteo/sat/inf\\_noaa.html](http://www.chmi.cz/meteo/sat/inf_noaa.html)>.
- [7] NOAA KLM User's Guide. Dostupné z WWW: <<http://www2.ncdc.noaa.gov/docs/klm/index.htm>>.
- [8] SETVÁK, Martin. MSG – Meteosat druhé generace. Meteorologické zprávy 57/2004, s. 15-20. Dostupné z WWW: <[http://www.chmu.cz/meteo/olm/Let\\_met/\\_tmp/Dr uzice.htm](http://www.chmu.cz/meteo/olm/Let_met/_tmp/Dr uzice.htm)>.
- [9] MSG – Meteosat druhé generace. Český hydrometeorologický ústav, Družicové oddělení. Dostupné z WWW: <<http://www.chmi.cz/meteo/sat/msg/msg03.html>>.
- [10] Internetové stránky organizace EUMETSAT. <http://www.eumetsat.int>
- [11] OK2MNM. Digitální příjem družicových snímků. Dostupné z WWW: <<http://bruxy.regnet.cz/ok2mnm/MSG-1/index.html>>.
- [12] ALBLAS, Rob. xrit2pic – software pro dekompresi meteorologických snímků MSG. Dostupné z WWW: <[http://www.alblas.demon.nl/wsat/software/soft\\_msg.html](http://www.alblas.demon.nl/wsat/software/soft_msg.html)>.
- [13] BAUER, Tomáš. Anténa s nízkošumovým předzesilovačem pro pásmo VHF. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2009. 56s. Vedoucí diplomové práce prof. Ing. Miroslav Kasal, CSc.
- [14] GOLLA, Miroslav. FM Receiver for 134 – 141 MHz. Dostupné z WWW: <<http://www.emgo.cz/>>
- [15] WXtoImg - software pro dekódování signálů APT a WEFAX z meteorologických družic. Dostupné z WWW: <<http://www.wxtoimg.com/>>
- [16] ImageMagick – software pro úpravu obrázků z příkazové řádky. Dostupné z WWW: <<http://www.imagemagick.org/script/index.php>>