

**UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE**  
**Přírodovědecká fakulta**  
Katedra aplikované geoinformatiky a kartografie



**MONITOROVÁNÍ POVODNÍ Z DAT  
ENVISAT / MERIS**

Bakalářská práce

Kamila ROHELOVÁ

Srpen 2010

Vedoucí práce: Ing. Eva Štefanová

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně a že jsem všechny použité prameny řádně citovala.

Jsem si vědoma toho, že případné použití výsledků získaných v této práci, mimo Univerzitu Karlovu v Praze, je možné pouze po písemném souhlasu této univerzity.

Svoluji k zapůjčení této práce pro studijní účely a souhlasím s tím, aby byla řádně vedena v evidenci vypůjčovatelů.

V Praze dne 25. srpna 2010

.....

Kamila Rohelová

### **Poděkování**

Ráda bych poděkovala vedoucí své bakalářské práce Ing. Evě Štefanové. Dále bych chtěla velmi poděkovat svým kolegům z oboru, jmenovitě především Lucii Koucké a Josefu Chrástovi za cenné rady, připomínky a věnovaný čas při zpracování praktické části mé bakalářské práce. V neposlední řadě děkuji také celé mé rodině za podporu a trpělivost během mého studia.

## **Monitorování povodní z dat ENVISAT / MERIS**

### **Abstrakt**

Předmětem této práce je určení vhodnosti dat MERIS pro monitorování povodní. Práce se věnuje problematice optických družicových dat se středním prostorovým rozlišením pro monitorování povodní. Podává přehled využití metod pro detekci povodní. Možnosti využití dat jsou prakticky otestovány na vybraných archivních datech agentury ESA pomocí navrhnutého algoritmu. Dílčím cílem je také prověření vhodnosti dat i pro území České republiky. Zpracování družicových dat bylo provedeno pomocí volně šiřitelného software Beam. Zhodnocení možného využití pro monitorování je provedeno na základě výsledných mapových výstupů.

**Klíčová slova:** Zápavy, Envisat, MERIS

## **Floods monitoring using ENVISAT / MERIS**

### **Abstract**

The object of this research work is to determine the suitability of data MERIS for monitoring floods. This study deals with issues of optical satellite data with medium spatial resolution for monitoring floods. It gives an overview of the use of methods for detection of flooding. Possibilities of data are practically tested on the selected archived data using the ESA of designed algorithm. A partial order is also screening the suitability of data for the Czech Republic. Processing of satellite data was done using free software Beam. Evaluation of possible use for monitoring is done on the basis of the resulting map outputs.

**Keywords:** Floods, Envisat, MERIS

## Obsah

Přehled použitých zkratk	6
Seznam obrázků a tabulek	9
1 Úvod	10
2 Současný stav řešené problematiky	12
2.1 Přehled institucí zabývajících využitím DPZ pro sledování povodní	13
3 Povodně	17
3.1 Definice povodně	17
3.2 Rozdělení povodní	17
4 Dálkový průzkum Země	19
4.1 Zářivé vlastnosti krajinných objektů	19
4.1.1 Spektrální vlastnosti vody	20
5 DRUŽICE ENVISAT	22
5.1 Základní charakteristika družice ENVISAT	22
5.2 Senzor MERIS	23
6 Detekce povodní na základě dat DPZ	27
6.1 Využití družicových dat pro povodňové události	27
6.2 Nástroje používané pro detekci povodní	29
7 Zpracování dat a výsledky	33
7.1 Používaná data a software	33
7.2 Předzpracování dat	35
7.3 Vlastní algoritmus zpracování dat	36
7.4 Výsledky	38
8 Diskuze	41
9 Závěr	43

## **Přehled použitých zkratk**

<b>(A)ATSR</b>	<b>Advanced Along-Track Scanning Radiometer</b>
<b>AERONET</b>	<b>Aerosol Robotic Network</b>
<b>ASAR</b>	<b>Advanced Synthetic Aperture Radar</b>
<b>CPA</b>	<b>Civil Protection Authorities</b>
<b>DORIS</b>	<b>Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite</b>
<b>DPZ</b>	<b>Dálkový průzkum Země</b>
<b>DRS</b>	<b>Data Relay Satellite</b>
<b>EFFS</b>	<b>European Flood Forecasting System</b>
<b>ENVISAT</b>	<b>Environment Sattelite</b>
<b>EOMD</b>	<b>Earth Observation Market Development</b>
<b>ERS</b>	<b>Earth observation Satellites</b>
<b>ESA</b>	<b>The European Space Agency = Evropská kosmická agentura</b>
<b>FLOREO</b>	<b>Flood Risk Earth Observation monitoring</b>
<b>FR</b>	<b>Full-Resolution = plné rozlišení dat</b>
<b>GETASSE30</b>	<b>Global Earth Topography And Sea Surface Elevation at 30 arc sekund resolution</b>
<b>GIS</b>	<b>Geographic Information System = Geografický informační systém</b>
<b>GMES</b>	<b>Global Monitoring for Environment and Security</b>
<b>GOMOS</b>	<b>Global Ozone Monitoring by Occultation of Stars</b>
<b>GSE</b>	<b>GMES Services Elements</b>
<b>IČ</b>	<b>Infračervené (záření)</b>

<b>InFOV</b>	<b>I</b> nstrument <b>F</b> ield <b>O</b> f <b>V</b> iew
<b>LRR</b>	<b>L</b> aser <b>R</b> etro <b>R</b> eflector
<b>MERIS</b>	<b>M</b> edium <b>R</b> esolution <b>I</b> maging <b>S</b> pectrometer
<b>MIPAS</b>	<b>M</b> ichelson <b>I</b> nterferometer for <b>P</b> assive <b>A</b> tmospheric <b>S</b> ounding
<b>MIR</b>	<b>M</b> iddle <b>I</b> nfrared = Střední infračervené (záření)
<b>MNDWI</b>	<b>M</b> odified <b>N</b> ormalised <b>D</b> ifference <b>W</b> ater <b>I</b> ndex = Upravený normalizovaný rozdílový vodní index
<b>MOST</b>	<b>M</b> inistry of <b>S</b> cience and <b>T</b> echnology
<b>MWR</b>	<b>M</b> icrowave <b>R</b> adiometer
<b>NATO</b>	<b>N</b> orth <b>A</b> tlantic <b>T</b> reaty <b>O</b> rganization = Severoatlantická aliance
<b>NDVI</b>	<b>N</b> ormalized <b>D</b> ifference <b>V</b> egetation <b>I</b> ndex = Normalizovaný rozdílový vegetační index
<b>NDWDI</b>	<b>N</b> ormalized <b>D</b> ifference <b>W</b> ater <b>D</b> eviation <b>I</b> ndex
<b>NDWI</b>	<b>N</b> ormalized <b>D</b> iference <b>W</b> ater <b>I</b> ndex = Normalizovaný rozdílový vodní index
<b>NIR</b>	<b>N</b> ear <b>I</b> nfrared = Blízké infračervené (záření)
<b>NOAA</b>	<b>N</b> ational <b>O</b> ceanic and <b>A</b> tmospheric <b>A</b> dministration
<b>NRSCC</b>	<b>N</b> ational <b>R</b> emote <b>S</b> ensing <b>C</b> entre of <b>C</b> hina)
<b>NRT</b>	<b>N</b> ear <b>R</b> eal <b>T</b> ime
<b>OSIRIS</b>	<b>O</b> perational <b>S</b> olutions <b>F</b> or <b>T</b> he <b>M</b> anagement <b>O</b> f <b>I</b> nundation <b>R</b> isks <b>I</b> n <b>T</b> he <b>I</b> nformation <b>S</b> ociety
<b>PECS</b>	<b>P</b> lan for <b>E</b> uropean <b>C</b> ooperating <b>S</b> tates
<b>PIR</b>	<b>P</b> assive <b>I</b> nfrared
<b>PRODEX</b>	<b>P</b> rogramme de <b>D</b> évelop-pement d' <b>E</b> xpériences scientifiques = Scientific Experiment Development Programme
<b>RA-2</b>	<b>R</b> adar <b>A</b> ltimeter <b>2</b>
<b>RADAR</b>	<b>R</b> adio <b>D</b> etecting <b>A</b> nd <b>R</b> anging
<b>RGB</b>	<b>R</b> ed <b>G</b> reen <b>B</b> lue = červená, zelená, modrá (barevná syntéza)

<b>RR</b>	<b>Reduced-Resolution</b> = redukované rozlišení dat
<b>RVI</b>	<b>Ratio Vegetation Index</b> = Jednoduchý poměrový vegetační index
<b>SCIAMACY</b>	<b>Scanning Imaging Absorption Spectrometer for Atmospheric Chartography</b>
<b>SERTIT</b>	<b>Service Régional de Traitement d'Image et de Télédétection)</b>
<b>SfP</b>	<b>Science for Peace</b>
<b>SMAC</b>	<b>Simplified Method for Atmospheric Correction</b>
<b>SSR</b>	<b>Solid-State Recorder</b>
<b>WGS 84</b>	<b>World geodetic system</b> = Světový systém 1984

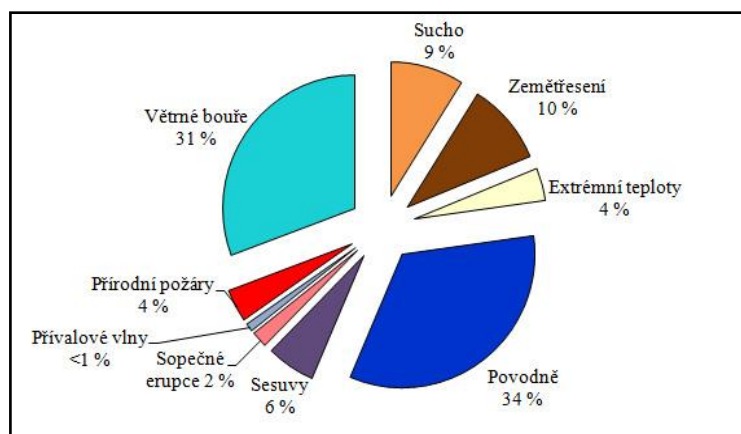


## Seznam obrázků a tabulek

Tab. 1	Spektrální charakteristika senzoru MERIS .....	24
Tab. 2	Seznam zpracovaných dat.....	33
Tab. 3	Barevné syntézy pro vizualizaci dat.....	36
Obr. 1	Přírodní katastrofy ve světěrodní katastrofy ve svět .....	10
Obr. 2	Příklad výstupu aplikace Portal to Rapid Mapping Service`s products .....	15
Obr. 3	Příklad mapového výstupu z Portal to Rapid Mapping Service`s products .....	15
Obr. 4	Příklad výstupu systému Dartmouth Flood Observatory .....	16
Obr. 5	Obecný průběh spektrální odrazivosti vody a vegetace .....	20
Obr. 6	Družice Envisat je nejtěžší a nejkomplexnější družice evropské organizace ESA ...	22
Obr. 7	Rozsah spektrometru MERIS .....	25
Obr. 8	MERIS FOV, dráhy kamer, výpočet pixelů a šířka záběru.....	25
Obr. 9	Ukázka programu EOLI-SA .....	34
Obr. 10	Ukázka programu BEAM .....	34
Obr. 11	Schématické vyjádření algoritmu pro detekci vodních ploch .....	38
Obr. 12	Přehled povodní detekovaných na území USA .....	39
Obr. 13	Přehled povodní detekovaných na území České republiky.....	40

## 1 Úvod

Povodně jsou přirozenou součástí vývoje krajiny a významně se podílejí na jejím vytváření (LANGHAMMER, 2007). Avšak v posledních letech dochází k růstu četností a intenzity povodní. Povodně představují často velké riziko pro společnost jak z hlediska ohrožení lidských životů, tak dopadu na majetek, infrastrukturu či krajinu. Následky povodní pak představují obrovskou zátěž pro národní ekonomiku. V letech 1974 – 2003 bylo 34 % všech světových přírodních katastrof způsobeno povodněmi, což je řadí na první místo všech přírodních katastrof ve světě (viz obr. 1). Téměř 200 milionů lidí je postiženo povodněmi každý rok. Globální klimatické změny mohou stav zhoršit, jelikož působí na nárůst četnosti výskytu a extremity přírodního ohrožení.



**Obr. 1 Přírodní katastrofy ve světě**  
(zdroj: EM-DAT - International Disaster Database)

Proto je v posledních letech vyvíjena obrovská snaha o nalezení vhodných metod, které by umožnily provádět predikci, detekci, monitoring i následky katastrofálních událostí. S rozvojem dálkového průzkumu Země (DPZ) a technologií geografických informačních systémů (GIS) se otevřely nové možnosti v této problematice. Vedle klasického využití DPZ ve vojenských aplikacích, zemědělství, lesnictví, meteorologii atd. nachází nyní své uplatnění i v hydrologii. DPZ umožňuje hodnotit rozsáhlé území, a to i v oblastech, které jsou v době povodní nedostupné. Zajišťuje víceméně nepřetržité pozorování zemského povrchu. Význam družic s neustálým vývojem přístrojového vybavení a tedy i větší dostupností a přesností informací

neustále roste. Sledování povodní pomocí DPZ jako samostatného téma se stalo předmětem vědeckých a intenzivnějších výzkumných prací teprve v posledních desetiletích. Jednou z možností, jak detekovat povodně, je využití satelitních snímků s nízkou a střední rozlišovací schopností, na kterou je nyní zaměřena velká pozornost. Ačkoli poskytuje mapy většího měřítka pro pozorování rozsáhlých záplav, umožňuje sledovat různá místa na Zemi několikrát za den. Je tudíž vhodná pro rychlý monitoring povodní na regionální úrovni.

Hlavním cílem této práce je zhodnocení možností využití dat Envisat / MERIS pro detekci povodní jak z hlediska prostorového, tak i temporálního. V teoretické části je nutné podat stručný přehled metod pro detekci a monitorování povodní a následně vybrat vhodný algoritmus, pomocí kterého bude poté provedeno praktické testování na datech MERIS. Dílčím cílem je také otestování vhodnosti dat nejen celosvětově, ale také pro území České republiky. Výsledkem zpracování družicových dat budou tématické mapy detekovaných povodní.

Hlavní cíle práce je možné vyjádřit v těchto základních bodech:

- podat stručný přehled současného stavu řešené problematiky
- podat přehled metod pro detekci povodní a jejich základní principy
- aplikovat zvolený algoritmus pro detekci povodní na datech z družice Envisat / MERIS na modelové území
- zhodnotit a navrhnout možnosti využití MERISU pro monitorování povodní
- zhodnotit vhodnost dat pro monitorování povodní na území České republiky

## 2 Současný stav řešené problematiky

Detekce povodní patří mezi mladé obory DPZ. Postupy pro mapování povodňových událostí a odhadů případných rizik byly vytvořeny až v posledních dvaceti letech, kdy došlo k dynamickému rozvoji metod DPZ společně s využitím nástrojů GIS. (HAIS, In LANGHAMMER, 2007). Prvotní studie zabývající se využitím DPZ pro hodnocení povodní vycházely z dat družice Landsat. Tyto studie byly zaměřeny zejména na hodnocení povodní v USA (HALLBERG ... [et al.], 1973; RANGO ... [et al.], 1974, Cit. In LANGHAMMER, 2007).

Jelikož je detekce povodní relativně mladým a úzce specializovaným oborem, souvisí s tím i dostupnost literatury zabývající se touto problematikou. Nejvíce zdrojů tvoří články vědeckých časopisů zabývajících se DPZ a materiály z vědeckých setkání. Téměř všechny zdroje jsou dostupné pouze v anglickém jazyce.

Jedním z institutů zabývajících se monitoringem povodní je FÖMI v Maďarsku. Větší výskyt povodní a sucha v posledním desetiletí byl signálem k vyvinutí efektivního modelu ke sledování těchto přírodních katastrof na regionální úrovni. Cílem je rychlý a velkoměřítkový monitoring s použitím satelitních dat s nízkým a středním rozlišením včetně družice Envisat. V člancích CSORNAI ... [et al.] (2003), CSORNAI ... [et al.] (2004) jsou popsány výsledky a příklady úspěchů tohoto projektu. Jak je uvedeno v CSORNAI ... [et al.] (2004), použití středního prostorového a vysokého spektrálního rozlišení Envisat / MERIS má velký potenciál v mapování povodní na regionální úrovni. Článek CSORNAI ... [et al.] (2007) popisuje další fáze projektu, kde je kladen větší důraz na lepší zpracování a vyhodnocení dat MERIS a hodnocení kvality satelitních dat Envisat (MERIS, ASAR) a dalších optických satelitních dat (IRS AWiFS a Landsat TM / IRS LISS).

Dalším projektem zabývajícím se touto problematikou je Dragon program v Číně pod vedením profesora Jiren LI. Jedním z hlavních cílů tohoto výzkumného projektu je větší využití družice ENVISAT v krizovém managementu, posouzení jeho produktů a postupu zpracování obrazu pro rychlé mapování povodní. Článek ANDREOLI ... [et al.] (2008) se věnuje monitoringu jezera Poyang založeného na datech ENVISAT (ASAR a MERIS) mezi lety 2004 až 2006. V této práci je také obsažena metoda detekce a popis jejích dílčích kroků. Cílem dalšího článku LI ... [et al.] (2008) je představení dosažených zlepšení ve využívání Envisat pro detekci povodní v téměř reálném čase. Výsledky ukazují 23 úspěšných využití družice z 27 pokusů během čínského povodňového období let 2005, 2006 a 2007.

Stručný přehled využití aktivního a pasivního DPZ k odhadnutí zaplavených ploch a vymezení hranic povodně je podán v článku SMITH (1997). Jsou zde popsány výhody a nevýhody daných metod a jejich využití. V druhé části článku se věnuje také využití DPZ pro určení výšky hladiny velkých řek.

Článek STANCALIE ... [et al.] (2006) představuje možnosti, které nabízí data DPZ a GIS ke zlepšení prostředků a metod pro předpověď, hodnocení a monitoring povodní. V rámci NATO Science for Peace (SfP) projektu byla vytvořena metodika na extrahování zaplavených území v Rumunsku.

Práce YESOU ... [et al.] (2007) je školicím programem DPZ pro monitoring povodní, který byl vytvořen v rámci instituce SERTIT. Jsou zde popsány dílčí kroky metody pro detekci povodní pro senzory MERIS, ASAR a družici FORMOSAT-2.

Dalšími články obsahující popis metod detekce povodní pro optická data jsou IRIMESCU ... [et al.] (2009); MIWEI (2009); ZHAO, LI, ZHANG (2005) a WANG, COLBY, MULCAHY (2001).

Z literatury v českém jazyce byla nalezena jediná kapitola zabývající se touto problematikou HAIS, IN LANGHAMMER, (2007): Využití metod dálkového průzkumu Země pro hodnocení povodňových událostí. Zde jsou stručně nastíněny metody pro hodnocení povodňových událostí.

Dále byla využita vysokoškolská skripta KOLÁŘ; HALOUNOVÁ; PAVELKA (1997), především pro základní principy zpracování družicových dat.

Pro získání dat technické povahy byla použita v první řadě příručka MERIS vydávaná ESA (Evropskou kosmickou agenturou).

## 2.1 Přehled institucí zabývajících využitím DPZ pro sledování povodní

Rozvoj DPZ přinesl obrovské možnosti pro sledování povodní, a tudíž byl i impulsem pro vznik mnoha institucí. Dnes se touto problematikou zabývá několik výzkumných center, univerzitních pracovišť a mnoho dalších institucí.

Jednou z největších organizací je ESA (*Evropská kosmická agentura*), která se podílí na několika projektech zabývajících se povodněmi. Tato mezivládní organizace pro využití vesmíru má v současnosti 18 členských států a sídlí v Paříži.

Projekt *Flood Plain Monitoring* je součástí ESA EOMD (Earth Observation Market Development) programu, který usiluje o posílení evropské a kanadské kapacity pro poskytování geoinformačních služeb založených zejména na datech DPZ. Hlavním cílem projektu Flood Plain Monitoring je úspěšně začlenit jeho služby založené na DPZ do operačních postupů orgánů civilní ochrany CPA (Civil Protection Authorities) a pojišťovnictví ve Francii a Německu. Centrum má v úmyslu poskytovat 24hodinovou službu pro Francii a sousední

země. Orgány civilní ochrany mohou získat rychlé informace o rozsahu dynamiky povodně - do 6 hodin a dopadu povodně na specifické krajinné prvky do 12 hodin.

Dalšími projekty v rámci ESA's *GMES* (Global Monitoring for Environment and Security) *Services Elements* (GSE) jsou *Risk-EOS*, *Respond* a *TerraFirma*. *GMES* byla zřízena za účelem splnění rostoucí potřeby mezi evropskými politickými činiteli k získání přístupu k přesným a včasným informacím pro lepší správu životního prostředí, k pochopení a zmírnění dopadů změny klimatu a zajištění bezpečnosti. *Risk-EOS* poskytuje mapové služby pro vnitrostátní a regionální orgány civilní ochrany v Evropě pro všechny fáze povodní a požárů. *Respond* poskytuje rychlé zmapování povodní pro mezinárodní uživatelskou veřejnost (Organizace spojených národů, nevládní organizace, Červený kříž, Národní humanitární organizace) a pro humanitární organizace mimo Evropu. *Respond* také poskytuje tematické mapové služby pro humanitární organizace na podporu dlouhodobého mezinárodního výzkumu a pro činnost vedoucí ke snížení zranitelnosti. *TerraFirma* poskytuje dlouhodobé mapování pohybů zemského povrchu a monitorování služeb pro vnitrostátní geo-vědecká centra, geologické průzkumy a vnitrostátní subjekty odpovědné za řízení hydro-geologických rizik v Evropě.

ESA spolu s NRSCC (National Remote Sensing Centre of China) a MOST (Ministry of Science and Technology) v Číně spolupracují na již zmíněném projektu nazvaném *Dragon*. Tento tříletý projekt DPZ (2004-2007) se zaměřuje na výzkum a vývoj aplikací využívající převážně data z družic ERS a Envisat. Na tento projekt nyní navazuje *Dragon 2* zahájený v roce 2008. Jedním z cílů je větší využití družice Envisat pro rychlé mapování povodní.

SERTIT (*Service Régional de Traitement d'Image et de Télédétection*) je specializovaným střediskem v rámci Univerzity ve Strasbourgu od roku 1986. Je zaměřen na získávání geografických informací ze satelitních snímků. Mezi jeho hlavní činnosti patří rychlé mapování, monitoring přírodních zdrojů, obhospodařování půdy, územní plánování a dopadové studie, průzkumy životního prostředí a přírodní katastrofy a krizový management. SERTIT je podporován ESA a je považován jako hlavní zdroj informací pro rychlé mapování území, s nímž spolupracuje CNES, DLR, ESA a mnoho dalších. Výstupem je interaktivní systém Portal to Rapid Mapping Service's products, pomocí kterého uživatel získá přehled o lokalizaci přírodních katastrof včetně povodní. Příklad výstupu aplikace ukazuje obrázek 2. Každá zaznamenaná přírodní katastrofa pak obsahuje odkaz na stránky s popisem katastrofy a vytvořenými mapovými produkty ze satelitních snímků. Obrázek 3 pak zobrazuje příklad takovéto mapy.

FÖMI (*Institute of Geodesy, Cartography and Remote Sensing*) je institutem DPZ v Maďarsku. Větší výskyt povodní a sucha v posledních letech vedl k vyvinutí efektivního modelu sledování těchto přírodních katastrof na regionální úrovni. S využitím ESA programu Prodex (Scientific Experiment Development Programme) vznikl projekt *Application development for the utilisation of envisat data in remote sensing based regional flood/waterlog and drought monitoring*.



**SERTIT** Portail d'accès aux produits du Service de Cartographie Rapide  
Portal to Rapid Mapping Service's products

2010 05 / 2010 : Inondations en Pologne - Floods in Poland

Présentation du Service de Cartographie Rapide (.pdf format)  
Rapid Mapping Service presentation (.pdf format)

Les produits de cartographie rapide sont réalisés dans un court délai, en optimisant au mieux la donnée disponible. La responsabilité de l'auteur ne peut être engagée quant à leurs contenu ou éventuelle utilisation.

Rapid Mapping Activity products are realised to the best of our ability, within a very short time frame, optimising the material available. No liability concerning their content or use is assumed by the producer.

Localisation - Location	Lien vers la page - Link to the page	Événement - Event	Date - Date
2010	Inondations en Pologne - Floods in Poland	SAFER Call ID 038	05 / 2010
2009			
2008			
2007			
2006			
2005	Eruption volcanique en Islande - Volcanic eruption in Iceland	Charter Call ID 307 SAFER Call ID 035	04 / 2010
.....			

Obr. 2 Příklad výstupu aplikace Portal to Rapid Mapping Service's products  
(zdroj: <http://sertit.u-strasbg.fr>)

**POLAND**  
Opole Powiat - Strzeg area  
Oder River - Flood impact  
Situation the 27th of May 2010

Legend

- Potentially flooded area
- Reference water body
- Potentially affected road
- Primary road
- Secondary road
- Railway

Metadata

Map title: 2010 - Inondations en Pologne - Floods in Poland

Location: Opole Powiat - Strzeg area

Date: 27th of May 2010

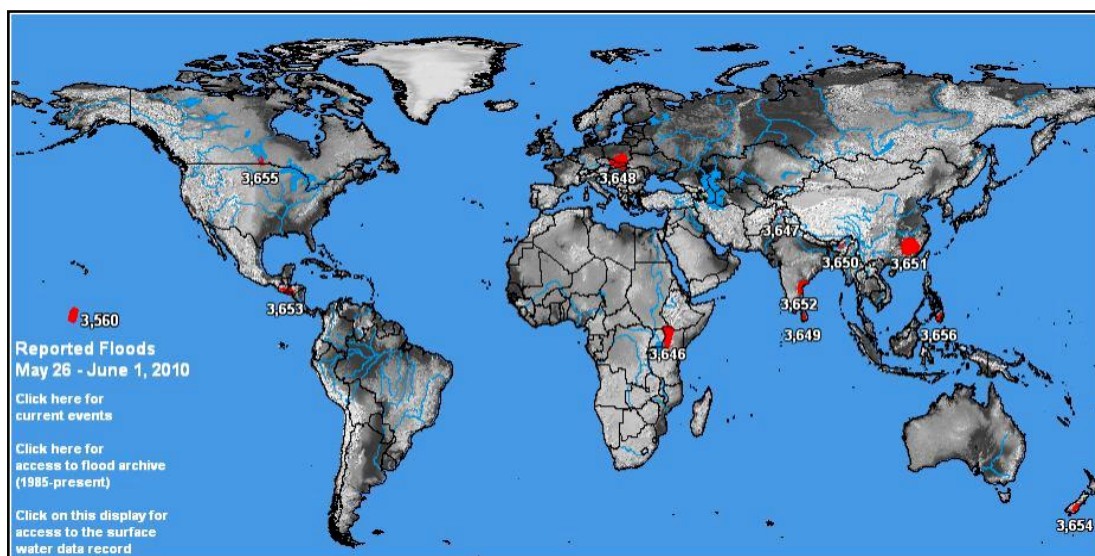
Data Sources

Reference water bodies extracted from SPOT 5 data (10-m)

Background images

Map produced the 27th of May 2010 by SERTIT

Obr. 3 Příklad mapového výstupu z Portal to Rapid Mapping Service's products  
(zdroj: <http://sertit.u-strasbg.fr>)



Obr. 4 Příklad výstupu systému Dartmouth Flood Observatory  
(zdroj: <http://www.dartmouth.edu>)

Dartmouth Flood Observatory využívá DPZ k detekci, měření a mapování průtokového množství vody v řece a monitorování povodní. To zahrnuje sledování řek, záznam dat povrchových vod, aktivní archiv velkých povodní a záplavové mapy vytvořené a zveřejněné v průběhu trvání povodně. Flood Observatory je pod vedením profesora Brakenridge v rámci Univerzity Dartmouth v Hanoveru. Příklad výstupu systému zobrazující zaznamenané povodně ilustruje obrázek 4.

Další výzkumy související s povodněmi se uskutečnily v několika důležitých projektech na evropské úrovni. Těmito projekty jsou evropský systém předpovídání povodní- EFFS (*European Flood Forecasting System*), OSIRIS (*Operational Solutions For The Management Of Inundation Risks In The Information Society*), FLOODMAN orientovaný na předpovídání povodní v téměř aktuálním čase, systém varování a řízení na základě radarových družicových snímků, hydrologických a hydraulických modelech a datech z pozemního měření, dále FLOODRELIEF systém pro podporu rozhodování v aktuálním čase sjednocující hydrologické, meteorologické a radarové technologie, FLOODsite zabývající se integrovanou analýzou povodňových rizik a metodikou řízení.

Projekt FLOREO (*FLOod Risk Earth Observation monitoring*) je řešen v rámci programu PECS, který je společnou aktivitou České republiky a agentury ESA zaměřenou na podporu zapojení českých firem a institucí do programů ESA. Do projektu je také zapojena Katedra aplikované geoinformatiky a kartografie PřF UK v Praze. Projekt je zaměřen na vybudování systému včasné předpovědi rizika vzniku povodňového jevu na regionální a národní úrovni ČR a vizuální prezentaci výsledků pomocí webového portálu a mapového serveru.



## 3 Povodně

### 3.1 Definice povodně

„Povodeň je výrazný přechodný vzestup hladiny toku, způsobený náhlým zvýšením průtoku nebo dočasným zmenšením koryta zejména při výskytu ledových jevů“ (SOBÍŠEK ... [et al.], 1993).

Povodeň jak ji stanovuje Nařízení vlády č. 100 / 99 Sb., o ochraně před povodněmi, je „přechodné zvýšení hladiny vodního toku nebo jiných povrchových vod, při kterém hrozí vylití vody z koryta nebo voda již zaplavuje území a může způsobit škody; povodní je i stav, kdy voda z určitého území nemůže dočasně přirozeným způsobem odtékat nebo odtok vody je nedostatečný (např. ledovou zácpou).“

### 3.2 Rozdělení povodní

*Klasifikace povodní dle Alexandra*

Základní typy:

- říční povodně – jsou povodně způsobené srážkami či táním sněhu a ledu s pomalým nástupem, nebo rychlejší bleskové povodně způsobené většinou intenzivními přívalovými srážkami při bouřkách,
- estuáριοvé povodně - jsou výsledkem kombinace přílivové vlny moře, zapříčiněné silnými větry, a říční povodně vzniklé dešťovými přívaly ve vnitrozemí,
- pobřežní povodně - jsou způsobeny hurikány a jinými silnými bouřemi nebo též vlnami tsunami.

Další typy:

Jsou následkem protržení přehrad, působení vulkanismu a zemětřesení. (ALEXANDER, 1993, Cit. In LANGHAMMER, 2009)

### Typy povodní v ČR

Povodeň může být způsobena přírodními jevy, zejména táním, dešťovými srážkami nebo chodem ledů (přirozená povodeň), nebo jinými vlivy, zejména poruchou vodního díla, která může vést až k jeho havárii (protržení) nebo nouzovým řešením kritické situace na vodním díle (zvláštní povodeň).

Příčiny přirozených povodní:

- zimní a jarní povodně způsobené táním sněhové pokrývky, popřípadě v kombinaci s dešťovými srážkami. Tyto povodně se vyskytují nejvíce na podhorských tocích a postupují dále do níže položených úseků větších toků,
- letní povodně jsou způsobené dlouhotrvajícími regionálními dešti, vyskytují se zpravidla na všech tocích zasaženém území, obvykle s výraznými důsledky na středních a větších tocích,
- letní povodně jsou způsobené krátkodobými srážkami velké intenzity (přivalovými dešti - i přes 100 mm na několik málo hodin) zasahujícími poměrně malá území, mohou se vyskytovat kdekoli, mají extrémně rychlý průběh. Tyto povodně jsou někdy označovány jako "bleskové povodně",
- zimní povodně jsou způsobené ledovými jevy na tocích, i při relativně menších průtocích, vyskytují se v úsecích náchylných ke vzniku ledových jevů.

Příčiny zvláštních povodní:

Při zvláštní povodni jde většinou o protržení hráze vodního díla. Její příčiny mohou být následující:

- technická příčina
- silné zemětřesení
- letecká katastrofa
- teroristický útok
- válečný konflikt

Obecně lze konstatovat, že riziko jejich vzniku je velmi nízké, což vyplývá z velmi nízké pravděpodobnosti výskytu výše uvedených příčin.

## 4 Dálkový průzkum Země

DPZ shromažďuje údaje o objektech a jevech na povrchu Země i pod ním a případně i v její atmosféře. V anglické literatuře je pak pojem DPZ znám pod jménem Remote sensing.

Definice pro DPZ je celá řada, proto zde zmíním jen některé. „Dálkovým průzkumem Země se v nejobecnější rovině rozumí získávání informací o objektech a jevech bez přímého kontaktu s nimi“ (DOBROVOLNÝ, 1998). KOLÁŘ (1990) uvádí, že „dálkový průzkum Země je založen na poznatku, že pro každý fyzikální objekt a jeho stav je charakteristický způsob, jakým ovlivňuje okolní silová pole. Měřením charakteristik polí lze zpětně zjistit údaje o objektu bez toho, abychom se s ním dostali do přímého kontaktu.“ CAMPBELL (2002) popisuje DPZ jako způsob získávání informací o zemském povrchu a vodních plochách ze snímků, které jsou pořízené z výškové perspektivy za využití elektromagnetického záření v jednom nebo více intervalech spektra, toto záření je odraženo nebo emitováno zemským povrchem.

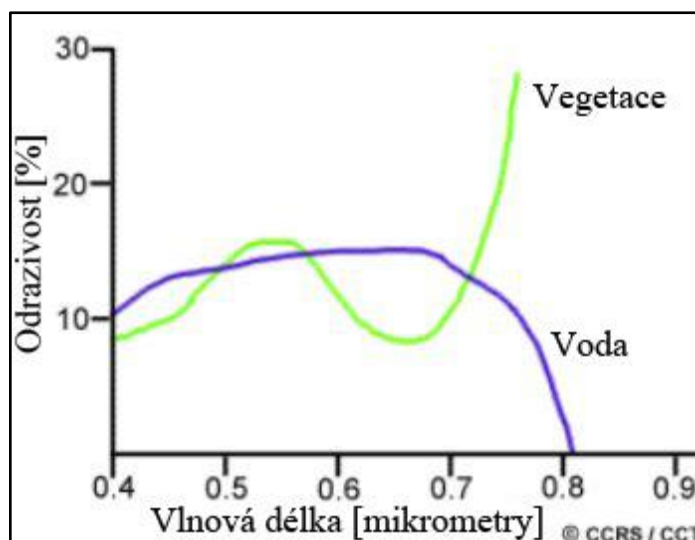
V dnešním pojetí se označení DPZ zúžilo na měření elektromagnetického záření emitovaného nebo odraženého zkoumaným objektem. Přitom se využívají přístroje umístěné na balónech, letadlech, umělých družicích nebo kosmických lodích. Většina současných přístrojů měří přírodní záření, tj. teplotní záření emitované objektem nebo odražené slunečním zářením. Tento způsob je označován jako pasivní metoda. Aktivní metoda oproti tomu využívá umělý zdroj záření, který je zpravidla nesený nosičem včetně měřicí aparatury, která registruje intenzitu odraženého záření (KOLÁŘ, 1990).

### 4.1 Zářivé vlastnosti krajinných objektů

Intenzita odraženého záření, stejně jako intenzita vyzařovaného záření, je závislá na elektromagnetických vlastnostech látky. Tyto vlastnosti jsou závislé na druhu látky nebo objektu, jeho okamžitém fyzikálním stavu a také na stavu jeho okolí. Znalost těchto zářivých vlastností dovoluje naopak z naměřených intenzit záření, resp. odrazivosti či emisivity stanovit o jakou látku se jedná (KOLÁŘ; HALOUNOVÁ; PAVELKA, 1997).

Příslušnost k nějakému druhu může být vyjádřena druhovými parametry, které mají kvalitativní povahu (např. louka, dům, rybník atp.). Stav měřené látky udávají stavové parametry, které jsou spíše kvantitativního charakteru (např. výška, vlhkost atp.). Zářivé vlastnosti objektu popisuje jeho spektrální charakteristika, která je vyjádřena průběhem závislosti odrazivosti nebo emisivity dané látky na vlnové délce. Ze znalosti vztahu mezi

spektrální charakteristikou a příslušnými stavovými parametry lze odvodit nejvýhodnější spektrální pásma pro měření (KOLÁŘ, 1990).



Obr. 5 Obecný průběh spektrální odrazivosti vody a vegetace  
(zdroj: <http://www.cps-amu.org>)

#### 4.1.1 Spektrální vlastnosti vody

Voda je všudypřítomnou látkou v zemské krajině. Předmětem sledování je její výskyt ve skupenství pevném, kapalném i plynném. V celém oboru elektromagnetického spektra jsou zářivé vlastnosti vody vesměs dosti odlišné od ostatních látek na zemském povrchu. Přítomnost vody mění spektrální projev každého objektu (KOLÁŘ, HALOUNOVÁ, PAVELKA, 1997).

Z hlediska odrazových vlastností jsou pro vodu důležité především následující skutečnosti:

- oproti jiným materiálům či povrchům jde o látku poměrně homogenní
- může se na snímcích vyskytovat v různých skupenstvích, jejichž odrazové vlastnosti se liší
- její odrazové vlastnosti jsou odlišné od jiných běžných povrchů
- modifikuje spektrální chování všech látek, v nichž je přítomna

Voda se v oceánu a uzavřených vodních plochách vyznačuje nízkou odrazivostí záření na všech vlnových délkách. Sluneční záření proniká vodním sloupcem a je ve vodě silně absorbováno. Maximální odrazivost vody, i když ve srovnání s jinými běžnými povrchy poměrně nízká, připadá na viditelnou část spektra, v IČ (infračervené) části spektra odrazivost vodních objektů bez příměsí dále klesá a voda se chová téměř jako absolutně černé těleso. V případě výskytu jakýchkoliv znečišťujících látek nebo i planktonu, odrazivost vody roste.

Podle KOLÁŘE (1990) je maximální propustnost vody na vlnové délce 0,48  $\mu\text{m}$  (mikrometrů) a trvale klesá s vlnovou délkou záření až do oblasti tepelného IČ záření. V těchto vlnových délkách proniká záření v čisté vodě až do hloubky 20 m. V intervalu 0,8–1,1  $\mu\text{m}$  je to však pouze do 10 cm. Vyšší propustnost vody v krátkovlnné oblasti viditelného záření může být tedy použita pro získání určité informace o dnu vodní nádrže.

Na IČ snímcích se naopak vodní povrchy často jeví jako nejtmaší a lze je využít k lokalizaci vodních objektů.

V případě výskytu mechanických nebo biologických příměsí se záření na nich odráží, což přispívá ke zvýšené odrazivosti vodní plochy. Vlastnosti vodních objektů (vodního sloupce) se určují ve viditelném oboru spektra, především v oblasti jeho nejkratších vlnových délek (modré světlo). S rostoucím obsahem chlorofylu dochází k poklesu odrazivosti v modré části spektra a vzrůstá v části zelené.

Z množství emitovaného dlouhovlnného záření je možné zjišťovat teplotu vody, avšak je to zatíženo složitými podmínkami, které formují přenos tepla mezi vodní hladinou a atmosférou.

Spektrální vlastnosti vody v tuhém stavu se výrazně liší. Sníh a led mají ve viditelné a blízké IČ části spektra vysokou odrazivost. Na rozdíl od vody v kapalném stavu převyšuje odrazivost čerstvě napadlého sněhu odrazivost ostatních povrchů. Podobně vysokou odrazivost mají také horní vrstvy oblačnosti, jež jsou tvořeny ledovými krystalky. Do vlnových délek 1,1  $\mu\text{m}$  je odrazivost sněhu a mraků velmi podobná. Odlišení obou povrchů lze zcela jednoznačně provést v delších vlnových délkách, ve středním IČ pásmu. Zde je odrazivost sněhu významně nižší než odrazivost oblačnosti. (KOLÁŘ, 1990)

Voda s hladkým povrchem je zrcadlový odrazeč v oboru vlnových délek radarového záření, nic se tedy neodráží do antény. Voda s drsným povrchem odráží signál s různou silou. Např. radarovým systémem pracujícím v L pásmu a s úhlem pohledu 20°–26° lze detekovat vlny, jestliže výška vlny je větší než 1 m. Lepších výsledků je možno získat pro vlny ve směru kolmém na směr letu (KOLÁŘ, HALOUNOVÁ, PAVELKA, 1997).

## 5 DRUŽICE ENVISAT

### 5.1 Základní charakteristika družice ENVISAT

Envisat je zkratkou celého jména **Environmental Satellite**. Slouží k měření atmosféry, oceánu, země a ledu. Jejím cílem je zajistit plnou kontinuitu dat poskytovaných ESA z družic ERS (Earth observation Satellites), avšak ve vyšší kvalitě a novými možnostmi. Je předpokládáno významné přispění k environmentálnímu výzkumu, především k poznání klimatických změn a dalších přírodních jevů (<http://www.gisat.cz/>).

Dne 1. března 2002 byla družice vynesena raketou Ariane 5 na oběžnou dráhu. Její provoz byl prodloužen do roku 2013 a je řízen Evropským centrem pro kosmický provoz v Darmstadtu. Družice Envisat navazuje na evropské družice ERS-1 a 2, které byly vypuštěny v devadesátých letech.



*Obr. 6 Družice Envisat je nejtěžší a nejkomplexnější družice evropské organizace ESA  
(zdroj: <http://www.ioccg.org>)*

Envisat se pohybuje po slunečně-synchronní dráze (prochází přes oba póly) ve střední výšce 800 km nad Zemí. Za den oběhne Zemi čtrnáctkrát, a nad stejným místem a za stejných podmínek obíhá jednou za 35 dní. Sluneční panely průběžně mění svoji orientaci, aby na ně dopadalo sluneční záření s co největší intenzitou. Jeho výška je 10 m a váží okolo 8,5 tuny.

Instrument má celkové zorné pole  $68^\circ (+1^\circ/-0,1^\circ)$  a tomuto při uvedené výšce družice nad Zemí odpovídá šířka záběru 1150 km. (ESA, 2006, *MERIS Product Handbook*).

Družice je vybavena deseti hlavními přístroji:

*ASAR (Advanced Synthetic Aperture Radar)* - radiolokátor pracující v C-pásmu

*MERIS (MEdium Resolution Imaging Spectrometer)* - měří odražené sluneční záření (390 až 1040 nm) od Země (povrch i atmosféra)

*AATSR (Advanced Along Track Scanning Radiometer)* - skenující radiometr k měření teploty povrchu oceánů

*RA-2 (Radar Altimeter 2)* - radiolokační výškoměr, měří tedy topografii pevniny, oceánů a mořského ledu

*MWR (Microwave Radiometer)* - mikrovlnný radiometr pro monitorování vlhkosti atmosféry a půdy

*DORIS (Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite)*- radar sloužící k přesnému určování dráhy družice z dopplerovského posunu frekvence signálů vysílaných z pozemních stanic sledující ledovce, sesuvy půdy a sopky

*GOMOS (Global Ozone Monitoring by Occultation of Stars)* - spektrometr pro studium ozonové vrstvy

*MIPAS (Michelson Interferometer for Passive Atmospheric Sounding)* - vysoko rozlišující spektrometr pro stanovení chemického složení atmosféry

*SCIAMACHY (SCanning Imaging Absorption spectroMeter for Atmospheric CHartography)*

- zobrazující spektrometr, který zkoumá chemické složení atmosféry

*LRR (Laser RetroReflector)* - laserový odrážec, který odráží laserové pulzy vyslané ke družici z pozemních stanic, používá se k aktuálnímu měření výšky družice

## 5.2 Senzor MERIS

MERIS je pasivní zobrazující spektrometr umístěný na družici Envisat, který měří odražené sluneční záření od zemského povrchu a oblaků ve viditelné a blízké infračervené (IČ) části spektra. Proto je pozorování Země omezeno na denní režim, především záběr úhlu pohledu je limitován velikostí solárního úhlu do  $80^\circ$ . Instrument má celkové zorné pole  $68^\circ (+1^\circ/-0,1^\circ)$  (ESA, 2006, *MERIS Product Handbook*).

MERIS má vysoké spektrální a radiometrické rozlišení a dvojí prostorové rozlišení. Snímkuje v pásmu 1150 km širokém s prostorovou rozlišovací schopností 300 m pro regionální pozorování zemského povrchu či redukováném rozlišením 1200 m pro globální mise zahrnující otevřený oceán i pobřežní vody.

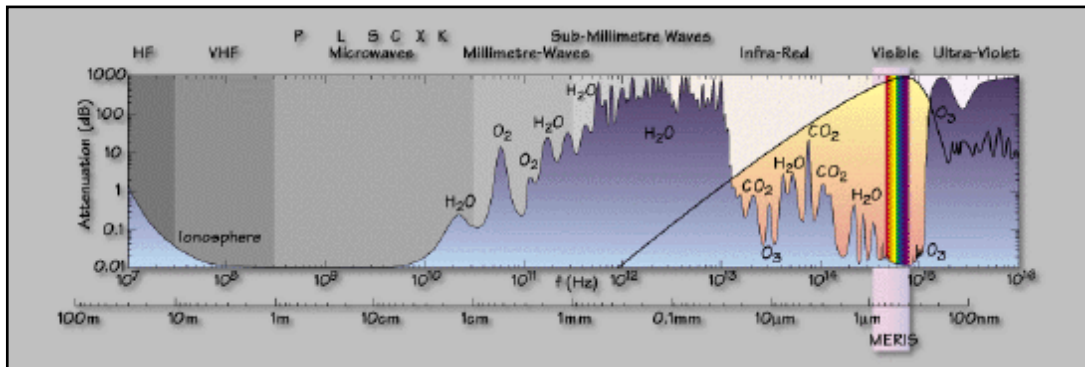
Původním posláním senzoru MERIS je měřit “barvu” oceánu a pobřežních oblastí v širokém vlnovém pásmu, a tak poskytovat přesné informace o mořské biologii. Z údajů o barevnosti vod se dají odvodit informace o koncentracích chlorofylu, suspendovaných sedimentů a aerosolů. Mapování distribuce fytoplanktonu je důležité pro studium globálního oteplování, jelikož fytoplankton pohlcuje asi polovinu skleníkového plynu oxidu uhličitého. Kromě příspěvku k poznání uhlíkového cyklu data MERIS také napomůžou sledování teplotního režimu svrchních vod oceánu a při plánování tras rybářských lodí (KOLÁŘ, 2008c).

MERIS snímá zemský povrch v 15 spektrálních pásmech na vlnových délkách v intervalu elektromagnetického spektra od 390 nm (nanometrů) do 1040 nm (tab. 1). Pro každé z těchto pásem je možné naprogramovat jeho pozici a šířku. (BÉZY, DELWART, RAST, 2000). Spektrální šířka pásma lze měnit v rozmezí 1,25 až 30 nm v závislosti na pozorované spektrální vlastnosti a množství energie potřebné v daném pásmu k provedení odpovídajícího měření. Na otevřeném oceánu průměrná požadovaná šířka pásma je 10 nm pro pásma ve viditelné části spektra. Pro další spektrální charakteristiky jako je např. kyslíkový absorpční pás vyskytující se na vlnové délce 760 nm je potřebná nižší spektrální šířka než 10 nm.

**Tab. 1** Spektrální charakteristika senzoru MERIS (zdroj: ESA, 2006, MERIS Product Handbook)

Kanál	Střed vlnové délky (nm)	Šířka spektrálního pásma (nm)	Kódování spektrálního pásma	Aplikace
1	412,5	10	BLUE	Žluté substance a detritální pigmenty
2	442,5	10	BLUE	Maximum absorpce chlorofylu
3	490	10	BLUE	Chlorofyl a jiné pigmenty
4	510	10	BLUE	Suspendované sedimenty
5	560	10	GREEN	Minimum absorpce chlorofylu
6	620	10	RED	Suspendované sedimenty
7	665	10	RED	Absorpce chlorofylu a fluorescence
8	681,25	7,5	RED	Maximum fluorescence chlorofylu
9	708,75	10	RED	Fluorescence , atmosférické korekce
10	753,75	7,5	NIR	Vegetace, oblačnost, absorpce O <sub>2</sub>
11	760,625	3,75	NIR	Absorpční pás O <sub>2</sub>
12	778,75	15	NIR	Atmosférické korekce
13	865	20	NIR	Atmosférické korekce
14	885	10	NIR	Vegetace, vodní pára
15	900	10	NIR	Vodní pára

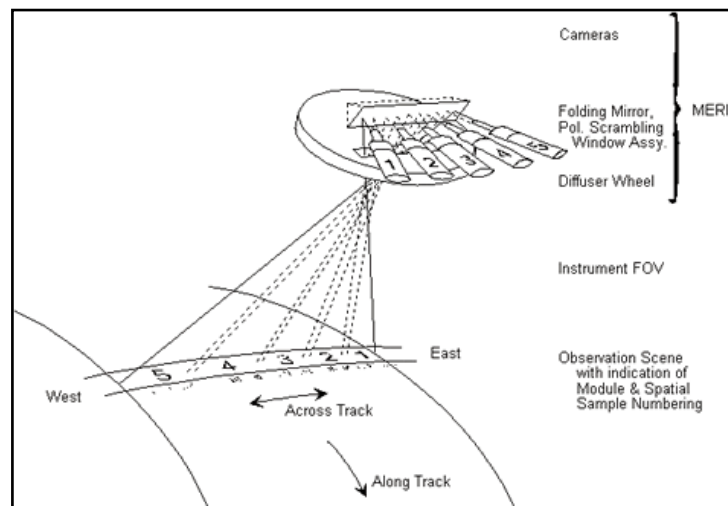




**Obr. 7 Rozsah spektrometru MERIS**  
(zdroj: ESA, 2006, MERIS Product Handbook)

Radiometrický výkon je jedním z nejdůležitějších požadavků senzoru MERIS, jelikož signály přicházející z oceánu jsou slabé a tedy velmi obtížné detekovat a kvantifikovat. Ačkoli radiometricky nejnáročnějším cílem pro sledování je otevřený oceán, MERIS musí mít velký dynamický rozsah na pokrytí těchto slabých signálů, tak ale i signálů vycházejících z jasných cílů jako jsou mraky a zemský povrch. To klade náročné požadavky na radiometrický výkon. Vynikající radiometrická přesnost je také nutná pro atmosférickou korekci, protože 90 % ze signálu pochází z atmosféry a pouze 10 % z oceánu. (BÉZY, DELWART, RAST, 2000). Radiometrická hloubka dat je 8 bitů (256 odstínů šedi).

InFOV (Instrument Field Of View) je rozdělena na pět částí, přičemž každá část odpovídá jedné kameře. Prostorové zobrazení je dosaženo použitím „push-broom“ principu, kdy dochází k měření napříč směru pohybu nosiče, zajištěno elektronicky, a po směru zajištěno pohybem nosiče, jak ukazuje obrázek 8 (ESA, 2006, MERIS Product Handbook).



**Obr. 8 MERIS FOV, dráhy kamer, výpočet pixelů a šířka záběru**  
(zdroj: ESA, 2006, MERIS Product Handbook)

Kalibrace se provádí v průměru jednou za dva týdny v době, kdy satelit přelétá přes jižní pól a Slunce osvětluje kalibrační zařízení. MERIS získává data pokaždé, jsou-li vhodné světelné podmínky, a sice v denní části oběžné dráhy, kde Slunce dopadá v úhlu menším než  $80^\circ$  v subsatelitním bodu (BÉZY, DELWART, RAST, 2000).

MERIS je navržen tak, aby sloužil jak pro globální, tak regionální pozorování. Data s redukovaným rozlišením RR (reduced-resolution) získávají nepřetržitě během denního režimu, s daty zaznamenávanými na palubní záznamová zařízení a odesílanými jednou za oběžnou dráhu družice (každých 100 min) přes X- nebo Ka-pásmo pozemním stanicím vysoké zeměpisné šířky. Tato data jsou pak zpracována systematicky pro každý oběh družice. Vedle RR dat MERIS poskytuje také data plného rozlišení FR (full-resolution). FR data jsou předávána prostřednictvím DRS (Data Relay Satellite) nebo X-pásma pozemním přijímacím stanicím v době zorného pole družice. Součástí Envisat je také zařízení SSR (Solid-State Recorder), který lze použít pro záznam FR dat v době bez dosahu DRS nebo viditelnosti pozemní stanice. Kombinované použití DRS, pozemní stanice a SSR zajišťuje, že každé místo na Zemi má přístup k FR datům (BÉZY, DELWART, RAST, 2000).

Produkty senzoru MERIS jsou dostupné v různém časovém měřítku, v různém prostorovém rozlišení a v různých zpracovatelských úrovních. Co se týká prostorového rozlišení, jsou to již zmíněné FR a RR data. Podle času mohou být produkty rozděleny na NRT (Near Real Time) a data konsolidovaná. NRT služby poskytují data do tří hodin od pořízení dat. Naproti tomu upravená data jsou dostupná většinou do tří týdnů. NRT a upravená data mají stejný formát, ale kvalita pomocných dat je lepší. Envisat poskytuje produkty MERIS ve třech zpracovaných úrovních. Úroveň 1B obsahuje převzorkovaný obraz s hodnotami pixelů, které jsou kalibrovány na horní hranici atmosféry. Úroveň 2 vychází z úrovně 1B s hodnotami pixelů, které jsou zpracovány tak, aby obsahovaly geofyzikální měření. A úroveň 3 je sloučení více produktů MERIS pro zobrazení geofyzikálních měření pro určité časové období.

## 6 Detekce povodní na základě dat DPZ

### 6.1 Využití družicových dat pro povodňové události

Využití metod DPZ je v případě povodní velmi široké. Obecně lze oblasti využití rozdělit na prevenci, monitoring a vyhodnocení povodňových situací. U prevence povodní jde především o podporu preventivních opatření, mapování charakteristik povodí (krajinného pokryvu, reliéfu, půdní vlhkosti, propustnosti a odvozených parametrů), jakož i rozsahu předešlých povodní pro stanovení plošné rizikovosti záplav, hydrologické modelování, podporu systémů pro včasné varování. Při sledování povodní je hlavním požadavkem operativnost a rychlá dostupnost. Cílem využití dat DPZ v období po povodni je stanovení rozsahu škod a plánování jejich odstranění. Archivní data také lépe pomáhají stanovit budoucí územní plán pro jednotlivé obce a města. (KOLÁŘ, 2008b.)

SMITH (1997), Cit. In LANGHAMMER (2007) uvádí využití metod DPZ pro stanovení zaplaveného území, odhad povodňového stupně a odtoku. Vývoj směřoval dále k vytváření odhadů možných rizik ale i povodňových následků. Postupně se využití metod DPZ rozšířilo na řešení celé řady problémů týkajících se povodňových událostí. Rovněž stále se zvyšující informační potenciál distančních dat umožňuje zpřesnění a obohacení metod DPZ při hodnocení povodní.

Tato práce je ale zaměřena pouze na tu část, která stanovuje rozsah a detekci záplavy. Pro hodnocení povodňových událostí z hlediska využití metod DPZ je praktické členění dle vlnové délky. První skupinou je optický DPZ, který zahrnuje viditelné, blízké IČ, střední IČ a vzdálené IČ záření. Optický DPZ se nachází v rozmezí kolem 0,3–14  $\mu\text{m}$  (LILLESAND; KIEFER, 1994). Druhou skupinou metod je DPZ v mikrovlnné části spektra. LILLESAND, KIEFER (1994) vymezují interval mikrovlnného elektromagnetického záření 1 mm–1 m.

#### A. DPZ v optické části spektra

Pro odlišení vody od suché půdy a povrchu pokrytého vegetací se nejčastěji využívá blízká IČ část spektra, kde dochází k silné absorpci záření vodou a naopak k větší reflektanci u suchých povrchů.

Nicméně použití kanálů v blízkém IČ spektru má značná omezení v zastavěných oblastech, neboť plochy pokryté asfaltem mají malou reflektanci, a na snímku tak vytvářejí černé plochy,

ty pak mohou být zaměnitelné s vodou. Značné omezení má optický DPZ také v zaplaveném lese, neboť stromy mají vysokou odrazivost ve viditelném a blízkém IČ pásmu.

Snad největším problémem u optických dat je ale přítomnost oblačnosti. Využívá se tedy v oblastech, kde stromy a vegetace nezakrývají vodní hladinu a jasná obloha dovoluje získání dat.

## **B. DPZ v mikrovlnném spektru**

DPZ v oblasti mikrovlnného spektra, zejména radarové snímání řeší problém oblačnosti. Radary<sup>1</sup> také nejsou limitovány tmou, mohou se používat jak ve dne, tak v noci. Intenzita záření, které je zpětně odražené k radarové anténě od zemského povrchu, závisí především na nerovnosti a na vlhkosti povrchu v místě, kam záření dopadlo (KOLÁŘ, 2008b).

Čistá stojatá voda se chová jako zrcadlový odražeč, což znamená, že zpětně přicházející energie je nulová a vodní plochy se projevují tmavými barvami. Zvlněná vodní hladina se ale naproti tomu projevuje světlejšími odstíny. Tato situace nastává v době povodňových událostí vlivem povětrnostních podmínek, ale také vlivem zvýšeného průtoku vody v korytech řek. Tyto vlivy mohou učinit určení zaplavených území velmi problematické.

Další překážkou je také lesní pokrývka. Klíčem pro určení zaplavených ploch v lesních porostech je založen na faktu, že zaplavený lesní porost se projevuje jasným zpětným rozptylem, na rozdíl od nezaplavených lesů, pro které je typický efekt dvojitého odrazu. Rovněž problematické je přesné vymezení záplav v zastavěných oblastech.

Radarová data mohou také poskytovat informaci o silně podmáčených místech, tohoto lze využít při stanovení čáry maximálního rozlivu. Porovnáním dvou scén stejného území pořízených v různých dnech umožní určit místa, která na scéně nejsou zalita vodou, ale indukují, že byla pod vodou (KOLÁŘ, 2008b).

## **C. Kombinovaný přístup**

Nyní převládá kombinované využití optických dat s daty v mikrovlnné oblasti spektra. Optická data poskytují dobré rozlišení rozsahu povodní na otevřených místech, identifikují oblasti, kde vegetace působí problémy a pomáhají vyhodnotit radarová data. Zatímco radarová data mají dobré časové rozlišení, jsou nezávislé na meteorologických podmínkách, na denní době a je z nich možné určit zaplavené území skrze vegetaci.

---

1 Radar (Radio Detection and Ranging) byl zkonstruován jako zařízení pro zjišťování přítomnosti objektů a jejich polohy. Radar vysílá krátký intenzivní mikrovlnný signál určitým směrem a zaznamenává část signálu navraceného po jeho odrazu od předmětů. Odrazové vlastnosti povrchů jsou formovány především drsností a vodním obsahem. Výhodou radaru je, že mikrovlnné záření je schopné procházet skrz zákal, déšť, oblaka i dým. Vlastní zdroj záření umožňuje kromě maximální kontroly vlastnosti vysílaného záření také snímání v Zemi i v noci (DOBROVOLNÝ, 1998, s. 57)

## 6.2 Nástroje používané pro detekci povodní

Pro určení zaplaveného území z družicových dat se používají různé metody a nástroje zahrnující vizuální interpretace, klasifikace obrazu, detekce změny, poměry kanálů, které se různými způsoby kombinují a doplňují. Výběr nejúčinnější metody k identifikaci a mapování vodních ploch závisí na satelitní informaci (optické nebo radarové), jakož i na prostorovém rozlišení. V průběhu povodní se preferují jednoduché a rychlé metody.

### A. Prahování

Prahování je převod hodnot obrazové funkce do množiny o malém počtu prvků, zpravidla do množiny  $\{0,1\}$ . Celý soubor dat je rozdělen tak, že v první skupině je podmínka splněna a v druhé ne. Nejčastěji bývá graficky prezentována jako černá a bílá. V jistém smyslu se může na prahování pohlížet jako na segmentaci nebo na nejjednodušší způsob klasifikace obrazu, případně jako na extrémní lineární transformaci kontrastu v obraze. Prahování se užívá např. pro oddělení objektů nebo pro tvorby masky určitého typu území. Prahování je velmi často využito s dalším typem zpracování. Nejjistějším způsobem nalezení prahu je interaktivně zkusným posunem hodnoty prahu nebo nalezení prahu na základě rozložení pixelů v histogramu obrazu. Automaticky lze nalézt hodnotu prahu obtížně (KOLÁŘ, HALOUNOVÁ, PAVELKA, 1997).

### B. Barevná syntéza

Barevná syntéza je způsob zobrazení, při kterém se používají tři základní barvy R- červená, G- zelená a B- modrá, do kterých se většinou vloží 3 pásma nebo kanály. O skutečných barvách lze hovořit pouze v tom případě, máme-li k dispozici tři pásma z viditelné části spektra, která odpovídají vnímání lidského oka. Ve všech ostatních případech je výsledkem RGB kombinací, zahrnující pásma z jiné oblasti než viditelné tzv. syntéza v nepravých (falešných) barvách. Použitím jednoho původního pásma a nově vytvořených pásem (např. dělením obrazu, indexy) do syntézy vzniká tzv. hybridní barevná syntéza (HALOUNOVÁ, PAVELKA, 2005).

### C. Zvýraznění pomocí více pásem

#### a) Dělení obrazu obrazem

Výsledkem dělení obrazu obrazem se spektrální nebo barevné charakteristiky jevů vyjadřují na obrazu bez ohledu na změny ozáření. Dělení obrazu obrazem se používá pro rozlišení jemných spektrálních změn. (KOLÁŘ, HALOUNOVÁ, PAVELKA, 1997, s. 106). „*Proces dělení dvou obrazů může eliminovat negativní faktory, které se na snímcích násobí a degradují jeho radiometrické vlastnosti. Takovými jsou např. vlivy topografie, úhlu dopadu slunečních paprsků atd. - tedy vlivy, které ovlivňují osvětlení celé scény* (DOBROVOLNÝ, 1998).“

## b) Vegetační indexy

Mezi složitější aritmetické operace s pásmy patří také výpočet vegetačních indexů. „*Vegetační indexy jsou poměrové kanály uzpůsobené chování vegetace v různých vlnových délkách* (KOLÁŘ, HALOUNOVÁ, PAVELKA, 1997, s. 109).“ Nemusí však být využity pouze ke zvýraznění vegetační složky, ale mohou být použity pro řadu dalších aplikací. Existuje celá řada vegetačních indexů.

- *RVI (Ratio Vegetation Index)*

Jednoduchý poměrový vegetační index byl prvním indexem, který byl použit (JORDAN, 1969). Vyjadřuje poměr mezi odrazivostí v blízké infračervené části spektra NIR a červené části spektra (dále RED). Nabývá hodnot od nuly do nekonečna.

$$RVI = NIR / RED$$

- *NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)*

NDVI dává do vztahu normalizovaným poměrem odrazivost povrchů v červené viditelné a blízké infračervené části spektra. Obvykle je NDVI využíván pro monitorování vegetace, ale vodní plochy se zde zobrazují tmavou barvou, která může být velmi dobrým indikátorem pro určení vodních ploch.

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$$

- *NDWI (Normalized Difference Water Index)*

NDWI poprvé použil McFeeters pro určení vodních ploch v roce 1996. NDWI využívá vysoké odrazivosti vody v zeleném pásmu (dále GREEN) a nízké odrazivosti vody v blízkém IČ pásmu. Na druhé straně půda a vegetace má za normálních okolností vyšší odrazivost v blízkém IČ pásmu než v zeleném, takže informace o vegetaci a půdě je účinně eliminována. Hodnota NDWI se rovná nule nebo je záporná (MIWEI, 2009).

$$NDWI = (GREEN - NIR) / (GREEN + NIR)$$

- *MNDWI (Modified normalised difference water index)*

MNDWI je odvozen od NDWI, ale počítá se středním IČ pásmem (MIR) namísto blízkého IČ pásma.

$$MNDWI = (GREEN - MIR) / (GREEN + MIR)$$

- *NDWDI (Normalized Difference water deviation Index)*

ZHANG ... [et al.] (2008) zkonstruoval nový index NDWDI založený na indexu NDWI pro extrahování prostorově časových charakteristik sucha roku 2006 v regionu Sichuan a Chongqing na základě dat MODIS<sup>2</sup>. Tento nový index se ukázal být velice citlivý pro mapování regionálního sucha.

#### **D. Řízená klasifikace**

Řízená klasifikace vychází z tzv. trénovacích množin. Jsou to vzory typů, které se budou při vlastní klasifikaci hledat. Řízená klasifikace dává obecně přesnější výsledky, je ale náročnější na obsluhu a citlivá na řadu faktorů, které mohou její úspěšnost velmi snížit (PAVELKA, 1999). Celý proces řízené klasifikace potom zahrnuje následující fáze:

1. definování tzv. trénovacích ploch
2. výpočet statistických charakteristik (tzv. spektrálních příznaků) pro trénovací plochy charakterizující jednotlivé třídy, jejich editace a výběr vhodných pásem pro vlastní klasifikaci
3. volba vhodného rozhodovacího pravidla (tzv. klasifikátoru) pro zařazení všech prvků obrazu do jednotlivých tříd
4. zařazení všech obrazových prvků do vymezených tříd
5. úprava, hodnocení a prezentace výsledků klasifikace

#### **E. Neřízená klasifikace**

*„U tohoto typu klasifikace se nepoužívá trénovací množina. Klasifikace je založena na principu, že pixely ze stejných nebo příbuzných ploch mají blízkou spektrální odezvu, a proto se shlukují do shluků (KOLÁŘ, HALOUNOVÁ, PAVELKA, 1997, s.125).“* Výsledkem první fáze neřízené klasifikace jsou tzv. třídy spektrální. Třídami informačními se ale stávají až v interpretační fázi, kdy jsou spektrální třídy srovnávány s jinými třídami, podpůrnými a referenčními daty a je určena jejich informační hodnota. Základní kroky obecné neřízené klasifikace jsou následující:

1. definování přibližného počtu výsledných shluků
2. generování počáteční polohy centroidu pro každý shluk
3. postupné přiřazení všech pixelů k tomu shluku, k němuž mají v příznakovém prostoru nejbližší

---

<sup>2</sup> MODIS (Moderate-resolution Imaging Spectro-radiometer) je zobrazujícím spektrometrem družice Terra. Se šířkou záběru 2230 km měří každé místo na Zemi opakovaně po 1-2 dnech ve 36-ti spektrálních pásmech. Díky vysoké frekvenci měření se výborně hodí pro zkoumání významu různého typu oblačnosti a aerosolů v klimatickém systému Země. Je také skvělým pomocníkem při studiích uhlíkového cyklu (<http://www.gisat.cz>).

4. výpočet nového centroidu pro každý shluk na základě přiřazených pixelů
5. opakování kroku 3 a 4 do té doby, dokud se poloha shluku či počet pixelů zařazených do shluku výrazně nemění
6. přiřazení konkrétního významu každému tzv. stabilnímu shluku
7. vytváření informačních tříd spojováním tříd spektrálních (DOBROVOLNÝ, 1998)



## 7 Zpracování dat a výsledky

### 7.1 Používaná data a software

Nejdříve bylo třeba vyhledat a získat potřebná data. Pro tuto práci byla vybrána data cíleně, tak aby obsahovala území, které bylo zasaženo významnou povodní s velkým rozlivem. Jako příklad pro ověření dané metodiky byla zvolena povodeň v Turecku (8. 9.–12. 9. 2009) a USA (29. 5.–4. 6. 2007). Součástí práce bylo také zjištění vhodnosti dat pro území České republiky. K tomuto účelu byla vybrána povodeň 10. 8.– 20. 8. 2002. Dalším parametrem pro výběr dat byla také oblačnost, která často znemožňuje využití optických dat.

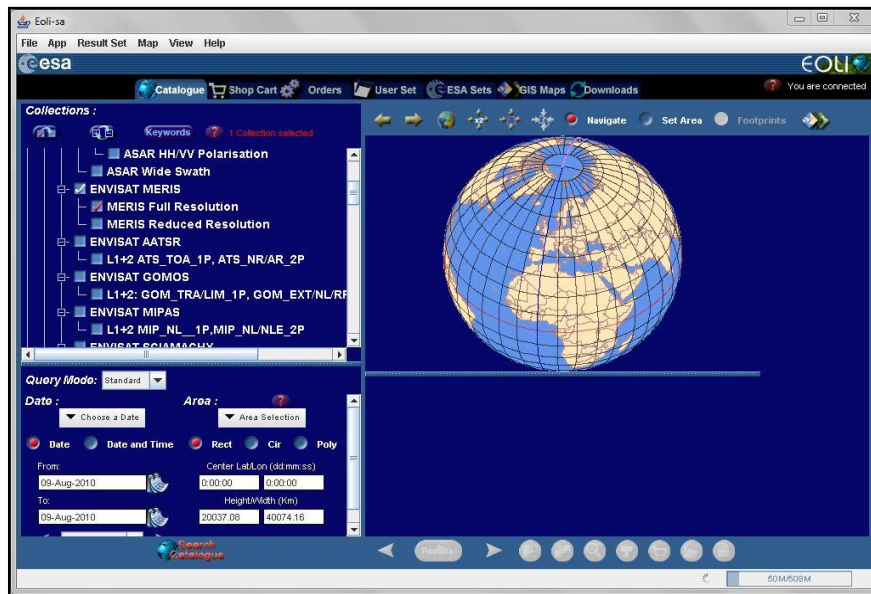
Všechna data jsou poskytnuta agenturou ESA. O data bylo potřeba zažádat agenturu ESA a poté vybrat a objednat jednotlivé snímky pomocí programu EOLI-SA verze 7.0.6. Tato aplikace, kterou poskytuje ESA, pracuje jako on-line katalog a umožňuje svým uživatelům vyhledávání a základní prohlížení (náhledy) dat pořízených družicemi Envisat, ERS, Landsat, SPOT, NOAA, Terra/Aqua a dalšími (viz obr. 9).

Přijímaná data jsou úrovně Level 1 v plném rozlišení označovaných jako MER\_FR\_1P. Data jsou ve formátu \*N1. Pro zpracování dat v programu BEAM VISAT je používán formát \*.BEAM-DIMAP. Velikost jedné scény je okolo 400 MB. V tabulce 2 jsou uvedeny vybrané snímky modelového území, které byly prakticky zpracovány.

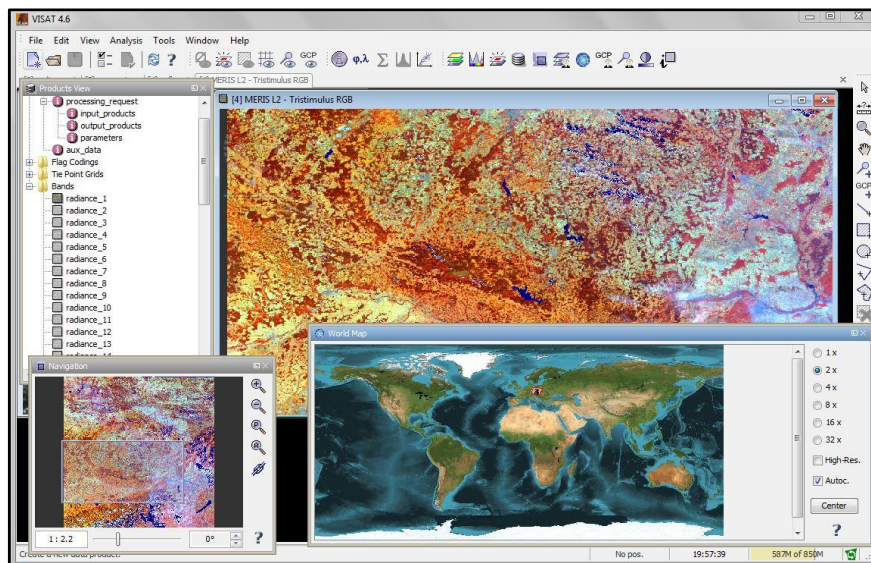
Defekt na použitém snímku území ČR je způsoben špatným přenosem dat.

**Tab. 2 Seznam zpracovaných dat**

Stát	Produkt	Datum pořízení	Čas pořízení	Číslo orbitu	ID souboru
Česká republika	MER_FR_1P	19. srpna 2002	09:30	2452	0046.N1
Turecko	MER_FR_1P	10. září 2009	08:38	39368	0080.N1
USA	MER_FR_1P	29. května 2007	16:06	27420	0054.N1



Obr. 9 Ukázka programu EOLI-SA



Obr. 10 Ukázka programu BEAM

## 7.2 Předzpracování dat

Před samotnou prací s daty MERIS bylo potřeba provést několik oprav dat, jako je úprava geometrických zkreslení a radiometrická kalibrace. Nejprve byly provedeny radiometrické korekce SMILE a SMAC.

V prvním kroku byla provedena korekce SMILE pomocí nástroje Smile Correction Processor. Přístroj MERIS měří odražené sluneční záření pomocí detektorů CCD, kterým je vybavena každá z pěti kamer. Korekce SMILE se používá pro odstranění postupného spektrálního posunu, který může vzniknout uvnitř jednotlivých kamer (tzv. „smile effect“). I když je tento posun malý, odchylka je v řádu 1,0 nm, a na snímcích může být jen těžko rozpoznatelný, může způsobit nepřesnosti při aplikaci algoritmů, které vyžadují velmi přesné měření (BEAM help).

Dále je vypočítán příslušný vegetační index (viz dále) pomocí nástroje Band arithmetic v programu BEAM VISAT, pro který jsou vstupními daty výstupy z korekce SMILE.

V dalším kroku bylo nutné provést atmosférickou korekci SMAC (Simplified Method for Atmospheric Corrections). Cílem této korekce je odstranění radiometrických zkreslení způsobených atmosférickými efekty, jako jsou především pohlcování, rozptyl, aerosoly a vyzařování. SMAC vyžaduje jako vstupní parametry informace o atmosférickém tlaku při zemském povrchu, vrstvě ozonu, obsah vodní páry ve vzduchu a hodnotu optické hloubky aerosolu. Hodnota optické hloubky aerosolu je vyžadována na vlnové délce 550 nm (BEAM help). Byla zjištěna na internetových stránkách AERONET (Aerosol Robotic Network) <http://aeronet.gsfc.nasa.gov/>. V České republice se nenachází žádná stanice, proto byla vybrána stanice v Lipsku (IFT Leipzig). V USA byla vybrána stanice Key Biscayne, kde byla dostupná data pro dané datum. V Turecku byla použita data ze stanice Eforie. Horizontální viditelnost byla dopočítána automaticky po doplnění údaje o hodnotě optické hloubky aerosolu. Typ aerosolu byl zvolen jako kontinentální. V záložce Bitmask byl nastaven vzorec, který vypočítá odrazivost pro každý pixel a zařadí ho do příslušné masky.

Bitmask, neboli jednoduchá základní bitmapa, lze využít a usnadnit si tak práci při zpracování dat. MERIS produkt L1 obsahuje připojené informace o zemském povrchu pro každý pixel dané scény. Bitmapy rozdělují pixely do kategorií, např. zda se jedná o pevninu, oceán, břehovou linii nebo jasné povrchy apod. Bitmapa „Bright“ obsahuje jasné pixely, které zahrnují oblačnost, písčité povrchy a půdy s vyšší odrazivostí, led, sníh apod. (MERIS Product Handbook s. 51).

Posledním krokem je geometrická korekce. Před samotným krokem ortorektifikace je nejdříve potřeba převést pásma vzniklá korekcí SMAC k pásmům vytvořených korekcí SMILE pomocí funkce Band arithmetic, aby bylo možné provést ortorektifikaci. Ortorektifikace v programu BEAM VISAT probíhá automaticky bez nutnosti manuálního zadávání vlíčovacích bodů. V nabídce byla zvolena projekce UTM se souřadnicovým systémem WGS-84. Algoritmus ortorektifikace provádí georeferenci s použitím specifického výškového modelu

s dostačující přesností. Při ortorektifikaci je možné volit ze dvou zdrojů informací o výšce: externí digitální model terénu DEM GETASSE30 nebo sady vlastních kontrolních bodů „Tie points“. Byl zvolen DEM GETASSE30, který je při prvním použití nejdříve třeba stáhnout z webových stránek <http://envisat.esa.int/services/beam/>. Převzorkování bylo provedeno metodou nejbližšího souseda.

### 7.3 Vlastní algoritmus zpracování dat

Pro vizualizaci dat byly nejprve prakticky vyzkoušeny různé kombinace pásem (viz Přílohy). Tab. 3 obsahuje výčet zvolených kombinací pásem, které byly nejvíce užívány pro tuto práci. Prvními dvěma kombinacemi pásem jsou zobrazení ve skutečných barvách. Ostatní barevné syntézy jsou zobrazeny v nepravých (falešných) barvách.

**Tab. 3 Barevné syntézy pro vizualizaci dat**

R	G	B
pásmo 8	pásmo 5	pásmo 4
pásmo 8	pásmo 5	pásmo 1
pásmo 14	pásmo 9	pásmo 3
pásmo 12	pásmo 8	pásmo 3
pásmo 8	pásmo 12	pásmo 2

Pro prohlížení dat byly také využity MERIS bitmapy „Bright“ a „Coastline“, zobrazující jasné pixely a břehové linie.

Pro zpracování této práce byla vybrána obdobná metodika, která byla navržena v rámci organizace SERTIT popsaná ve článku Yesou ... [et al.], (2007). Tento algoritmus pro extrahování vodních ploch je založená na dvojitěm prahování. První prahování bylo aplikováno na vegetační index  $NDVI_{mean}$  vypočítaný z dat MERISU, doplněný druhým prahováním pásma 15.

Vzorec pro výpočet  $NDVI_{mean}$ :

$$NDVI_{mean} = \frac{\frac{1}{n_{pir}} \sum_{i=10}^{15} DN - \frac{1}{n_{red}} \sum_{i=6}^9 DN}{\frac{1}{n_{pir}} \sum_{i=10}^{15} DN + \frac{1}{n_{red}} \sum_{i=6}^9 DN}$$

$i$  ... číslo pásma

$DN$  ... hodnota odrazivosti

$n_{pir}$  ... počet blízkých IČ pásem

$n_{red}$  ... počet červených pásem

Index  $NDVI_{mean}$  byl vypočten pomocí nástroje Band arithmetic v programu BEAM VISAT, který provádí výpočty s pásmy, a přidán jako nové pásmo produktu.

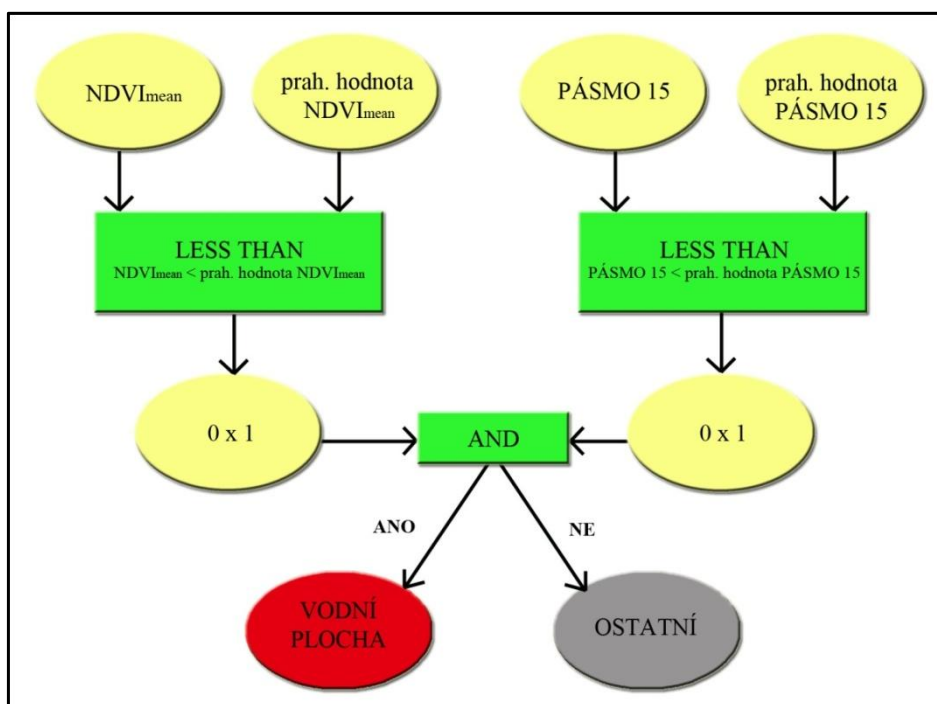
Vzorec pro výpočet indexu:

$$NDVI_{mean} = ((1/6 * (PÁSMO 15 + PÁSMO 14 + PÁSMO 13 + PÁSMO 12 + PÁSMO 11 + PÁSMO 10)) - (1/4 * (PÁSMO 9 + PÁSMO 8 + PÁSMO 7 + PÁSMO 6))) / ((1/6 * (PÁSMO 15 + PÁSMO 14 + PÁSMO 13 + PÁSMO 12 + PÁSMO 11 + PÁSMO 10)) + (1/4 * (PÁSMO 9 + PÁSMO 8 + PÁSMO 7 + PÁSMO 6)))$$

Prahové hodnoty byly zvoleny na základě vlastního průzkumu hodnot pixelů v daném pásmu a rozložení jeho histogramu. Na základě několika testů byla určena optimální prahová hodnota. Zatímco prahové hodnoty pro  $NDVI_{mean}$  dosahují záporných hodnot, prahové hodnoty pro pásmo 15 se pohybují v kladných číslech. Maximální hodnota  $NDVI_{mean}$  pro Českou republiku byla stanovena na - 0,06, pro Turecko (- 0,24) a USA (-0,20) byla o něco nižší. Pro pásmo 15 je rozdíl prahových hodnot České republiky, Turecka a USA menší, jedná se o hodnoty 0,24 (Česká republika), 0,19 (Turecko) a 0,25 (USA).

Následně byl aplikován zvolený rozhodovací algoritmus, který je zobrazen na obrázku 11. S použitím nástroje Bitmask overlay (BEAM VISAT) byly postupně zadávány jednotlivé podmínky pro vyklasifikování vodních ploch na základě prahových hodnot, které byly poté aplikovány najednou. Aby byl pixel klasifikován jako vodní plocha, musí splňovat obě podmínky zároveň. Jestliže je podmínka splněna, daný pixel nabývá hodnota 1. V opačném případě je mu přidělena hodnota 0. Výsledkem je tedy průnik podmínek, který eliminuje chybně zařazené ostatní povrchy do této kategorie. Nesplňuje-li tedy pixel žádnou podmínku či pouze jednu z nich, je zařazen do kategorie ostatní.

Posledním krokem bylo již uložení výsledného produktu ve formátu \*.geotiff a zaškrtnutou možností „full scene“, která zajišťuje uložení obrazu s původním počtem pixelů. S tímto formátem je již dále možné pracovat v programu ArcGIS.



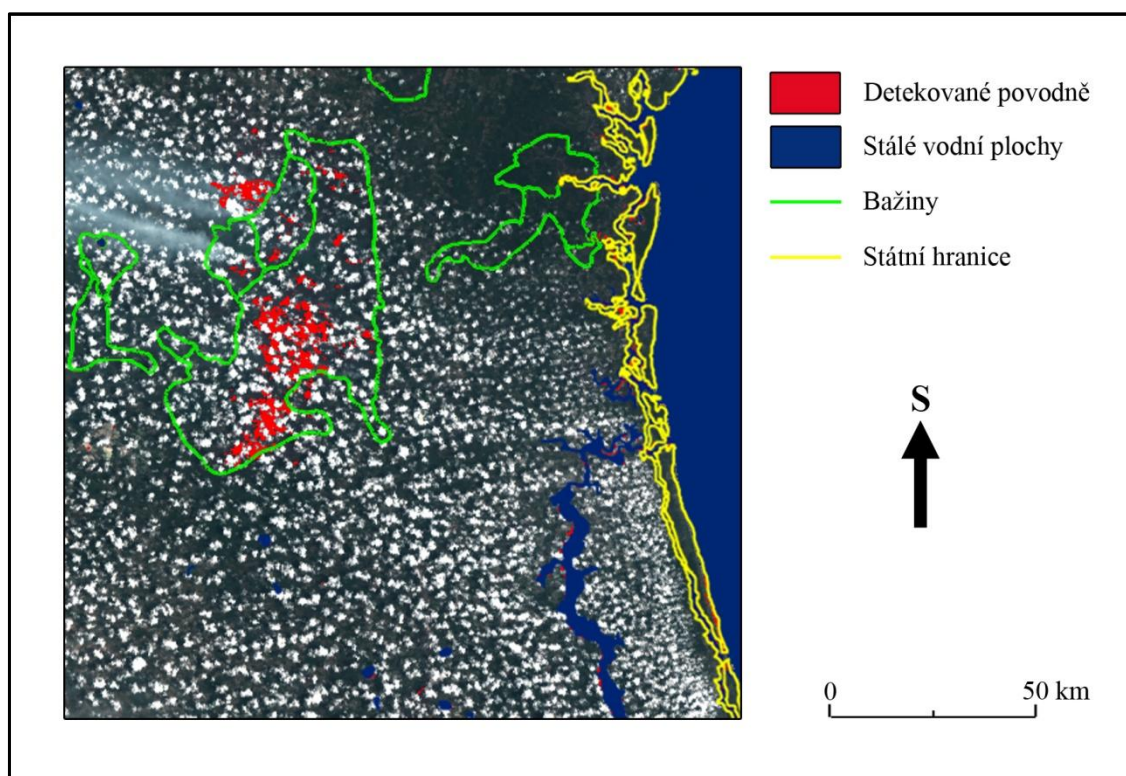
Obr. 11 Schématické vyjádření algoritmu pro detekci vodních ploch

## 7.4 Výsledky

Sestavením rozhodovacího algoritmu pomocí nástroje Bitmask overlay (BEAM VISAT) bylo možné aplikovat metodiku dvojitého prahování pro detekci povodní na vybraná družicová data. Praktické testování vybraného algoritmu bylo provedeno na archivních datech pořízených v době velkých povodní, které postihly Turecko (září 2009) a USA na území Floridy a Georgie (květen-červen 2007). Výstupem aplikace této metodiky jsou extrahované vodní plochy daného území. Pro určení oblastí zasažených povodní byly použity vrstvy shapefile s vodními plochami. Výsledkem aplikační části práce jsou mapové výstupy zobrazující detekované oblasti zasažené povodněmi (viz Přílohy). Na obrázku 12 je ukázán příklad výsledku aplikace použité metodiky.

Porovnáním výstupů použitého algoritmu s vrstvou typu shapefile vodních plochami a vizuální interpretací byla zjištěna poměrně dobrá přesnost klasifikace. Provedením dvojitého prahování byla poměrně účinně vyloučena špatná klasifikace oblačnosti a jejích stínů v jednotlivých prahováních. Detekční metodika se ukázala být vhodná pro extrahování vodních ploch na datech MERIS.



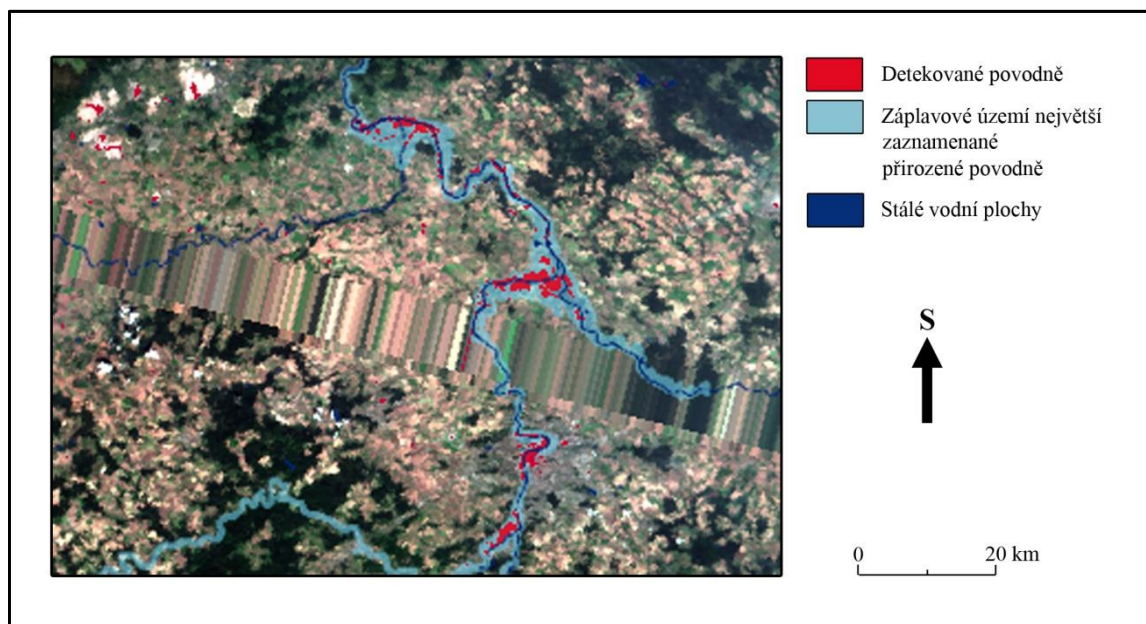


**Obr. 12** Přehled povodní detekovaných na území USA na základě družicového snímku z 29. 5. 2007

Mapový výstup USA zobrazuje povodeň na hranicích státu Florida a Georgia v roce 2007. Jedná se o povodeň způsobenou tropickou bouří Barry. Detekovaná povodeň se nachází na území chráněné oblasti Okefenokee National Wildlife Refuge, kde se rozkládají rozsáhlé bažiny. Během tropické bouře na toto území spadlo velké množství srážek. Na použitých snímcích je patrné, že došlo k velkému rozvodnění těchto bažin. To bylo následně vydetekováno z družicových snímků.

Odlišných výsledků však bylo dosaženo pro data Turecka. Zde došlo v důsledku přívalových dešťů k velkým povodním v oblasti Istanbulu. V době pořízení snímků se však bohužel nad tímto územím nacházelo velké množství oblačnosti, která znesnadňovala možnost detekce. Dalším limitujícím faktorem je nízké prostorové rozlišení pro oblast Istanbulu, kde v důsledku městské zástavby je detekování povodní problematické. Pro povodně Turecka nebylo dosaženo příliš dobrých výsledků s využitím dat MERIS. Detekované oblasti povodní jsou z velké části výsledkem nepřesné vrstvy shapefile vodních ploch pro území Turecka.

Aplikace dané metodiky na území České republiky byla realizována pro povodeň roku 2002, kdy naše území zasáhla na určitých místech až 500-letá povodeň. Průběh povodňové vlny po dolním Labi byl ovlivněn rozsáhlými rozlivy (OBRUSNÍK, 2003), které byly pomocí dat DPZ velmi dobře detekovány (obr. 13).



*Obr. 13 Přehled povodní detekovaných na území České republiky na základě družicového snímku z 19. 8. 2002 (snímek poskytl ESA) (snímek poskytl)*



## 8 Diskuze

Pro detekci povodní byla prakticky zpracována data MERIS. Zjištění, zda je možné data MERIS účinně využít pro detekci povodní jak celosvětově, tak pro území České republiky, bylo jedním z hlavních cílů. Pro aplikační část práce byla zvolena metodika navržená v rámci organizace SERTIT, která pracuje na základě dvojitého prahování vegetačního indexu  $NDVI_{mean}$  a infračerveného pásma 15. Na základě praktické aplikace dvojitého prahování bylo shledáno významné zpřesnění detekce, které eliminuje chybně klasifikované pixely do kategorie vodní plochy.

V literatuře je nalezeno jak pozitivní hodnocení využití dat MERIS pro detekci povodní, tak i kritické. Jak uvádí CSORNAI ... [et al.] (2004) MERIS se středním prostorovým a vysokým spektrálním rozlišením má velký potenciál pro mapování povodní na regionální úrovni a vyšší. Pro přírodní katastrofy je důležité také především dobré temporální rozlišení, které satelity s vysokým prostorovým rozlišením nemají. MERIS, s periodou senzoru 3 dny, je dobrým kompromisem těchto požadavků. Za tuto dobu periody lze např. pořídít minimálně jeden snímek pokrývající celé území České republiky. Rozlohou menší části území, jako je např. západní nebo východní část, mají snímky k dispozici častěji. Praktickou aplikací na zvolená data v době povodní na území USA a České republiky byl dosažen dobrý výsledek, který potvrzuje možnost využití senzoru MERIS pro monitoring povodní. Dle CSORNAI ... [et al.] (2007) se celková přesnost povodňových map ukázala být dobrá, o něco nižší byla v místech s vegetací, která byla zasažena povodněmi.

Na druhou stranu lze souhlasit s SEILER, CSAPLOVICS, VOLLMER, (2005), že prostorová rozlišovací schopnost 300 m je velmi limitujícím faktorem. Jeden pixel pokrývá území o rozloze 90 000 m<sup>2</sup>. Pro příklad, řeka, jejíž šířka se pohybuje kolem 250 až 400 m, je zobrazena linií pouze o 1 pixelu. Z výsledků snímků je patrné, že se musí jednat o povodeň velkého rozlivu. V případě České republiky, šířka koryta řeky Labe kolísá od 50 do 100 m. Za normálního stavu není tedy na satelitních snímcích rozpoznatelná. Přestože byla zjištěna možnost užití dat MERIS i pro území České republiky, je nutné mít na paměti, že výzkum vhodnosti metodiky byl aplikován pouze na rok 2002, kdy Českou republiku zasáhla jedna z největších povodní. Tato prostorová rozlišovací schopnost je pravděpodobně také důvodem špatného výsledku pro povodeň v Turecku. Dalším důvodem může být také přítomnost oblačnosti v době pořízení družicového snímku.

Získaná data MERIS nejsou často využitelná v důsledku přítomnosti významného pokrytí oblačností (LI ... [et al.], 2008) Častá přítomnost oblačnosti v průběhu záplav je snad největším problémem použitelnosti všech optických dat včetně senzoru MERIS.

Vzhledem k časté přítomnosti velké oblačnosti nad monitorovaným územím a prostorové rozlišovací schopnosti 300 m, mohou být data MERIS používána spíše jako doplňková.

Envisat má velký potenciál pro monitorování a správu velkých vodních útvarů. Je vhodný jak pro sledování rozsáhlých citlivých území v kontextu s globálními klimatickými změnami jako je např. jezero Dönting v Číně, tak pro monitorování dynamiky velkých řek a povodní např. na řece Lena či Ganga (ANDREOLI ... [et al.], 2007).

Velkým přínosem do budoucna by mohla být integrace satelitních snímků zobrazujícího spektrometru MERIS a radarového přístroje ASAR, pořízených ve stejnou dobu (CSORNAI ... [et al.], 2004).

## 9 Závěr

Tato práce se věnuje problematice využití dat MERIS pro detekci povodní. V úvodu práce byl proveden přehled základních metod pro detekci povodní pomocí dat DPZ a následně zvolen vhodný algoritmus pro data MERIS.

Praktickou částí práce bylo otestování navrženého algoritmu, který je založen na dvojitým prahování. První prahování bylo aplikováno na vegetační index  $NDVI_{mean}$  doplněné druhým prahováním infračerveného pásma 15, kde se voda vyznačuje velmi nízkou odrazivostí. Pro zpracování praktické části byly využity vybrané družicové snímky, pořízené v době velkých povodní v Turecku (září 2009) a USA (květen-červen 2007). Cílem této práce bylo také zjištění vhodnosti dat pro území České republiky (srpen 2002). Na základě výsledků bylo zjištěno, že povodně je možné detekovat pomocí vybraného algoritmu s použitím empiricky určených prahových hodnot z dat MERIS. Průnik podmínek obou prahování eliminuje chybně zařazené pixely, především oblačnost a její stíny do kategorie vodních ploch. Porovnáním výstupů použité metodiky s vrstvou typu shapefile s vodními plochami a vizuální interpretací byla zjištěna vcelku dobrá přesnost klasifikace. Pro exaktnější určení přesnosti by bylo třeba provést porovnání s klasifikací jiných družicových dat. To již ale přesahuje rámec této práce.

Hlavním cílem bylo zhodnocení vhodnosti dat MERIS pro detekci povodní. MERIS má dobré prostorové a temporální rozlišení, na druhé straně je ale prostorové rozlišení 300 m velkým limitem. MERIS je využitelný pro určení povodní velké rozlohy. Jako další skutečnost velmi limitující využití těchto dat byla shledána oblačnost, která většinou pokrývá oblohu během povodní, a proto často zcela znemožňuje jejich monitoring. V tomto případě by bylo vhodné použít data radarová. Velkým přínosem by mohlo být využití radarového přístroje ASAR a senzoru MERIS pořízených ve stejném čase.

Další řešenou otázkou byla možnost využití dat MERIS na území České republiky. Testování vhodnosti dat bylo provedeno pro povodeň roku 2002, kdy byly v celé řadě profilů zaznamenány historicky nejvyšší vodní stavy a průtoky. Na mnoha místech došlo k velkým rozlívům, které byly úspěšně detekovány. Bylo ověřeno, že MERIS může být nasazen i na území České republiky během takto velkých povodní s rozsáhlými rozlívky. Pro povodně s menšími rozlívky mohou být ale data MERIS nevhodná. Pro určení vhodnosti dat, by bylo třeba provést průzkum pro více povodňových událostí.

MERIS má především potenciál pro monitoring na regionální a globální úrovni. Uplatňuje se především při sledování velkých vodních ploch jako jen např. jezero Dongting v Číně a pro monitorování dynamiky velkých řek a jejich povodní např. na řece Lena.

## Seznam zdrojů informací

- ANDREOLI, R. ... [et al.]. 2007. Synergy of low and medium resolution Envisat ASAR and optical data for lake watershed monitoring: Case study of Poyang lake (Jiangxi, P.R. CHINA). *Proceedings of the Envisat Symposium*. Montreaux, 23-27 April 2007.
- ANDREOLI, R. ... [et al.]. 2008. Three Years of Poyang Hu (Jiangxi, P.R. China) Monitoring using ENVISAT Low and Medium Resolution data time series: Application to the 2004-2006 Period. *Proceedings of the Dragon Programme final results SP-655*. Beijing, 21-25 April 2008. Dostupné z WWW:<<http://earth.eo.esa.int/dragon/symp2008/proceedings/25andreo.pdf>>
- BÉZY, J. L. ; DELWART, S. ; RAST, M. 2000. MERIS – A New Generation of Ocean-Colour Sensor onboard Envisat. *ESA Bulletin 103*. 2000. p. 48-56. Dostupné z WWW:<<http://esapub.esrin.esa.it/bulletin/bullet103/besy103.pdf>>
- CAMPBELL, J.B. (2002): *Introduction to Remote Sensing*. New York : The Guildford Press, 2002.
- CSORNAI, G. ... [et al.]. 2003. Application development for the utilisation of ENVISAT data. *ESA MERIS Workshop*. Frascati, 11-14 November 2003.
- CSORNAI, G. ... [et al.]. 2004. Evaluation of remote sensing based regional flood/waterlog and drought monitoring model utilizing multi-source satellite data set including ENVISAT data. *ESA ENVISAT & ERS Symposium*. Salzburg, 6-10 September 2004.
- CSORNAI, G. ... [et al.]. 2007. Disaster monitoring with the integrated utilization of ENVISAT and other satellite data sets in the 2004-2006 period in Hungary. *ESA ENVISAT Symposium*. Montreux, 23-27 April 2007.
- ČESKÁ REPUBLIKA. Nařízení vlády ze dne 28. dubna 1999. In Sběrka zákonů České republiky. 1999, 37, s. 2530-2537. Dostupný také z WWW:<<http://aplikace.mvcr.cz/archiv2008/sbirka/1999/sb037-99.pdf>>
- DOBROVOLNÝ, P. 1998. *Dálkový průzkum Země, digitální zpracování obrazu*. Brno: PřF Masarykovy Univerzity. 1998. 210 s.
- Dostupné z WWW: <<http://envisat.esa.int/envisatsymposium/proceedings/sessions/4E2/460372ar.pdf>>

- ESA. 2006. *MERIS Product Handbook*, Envisat MERIS Product Handbook, 1.1. European Space Agency, Paris.
- HAIS, M. 2007. Využití metod dálkového průzkumu Země pro hodnocení povodňových událostí. In: LANGHAMMER, J. *Povodně a změny v krajině*. Praha: PŘF UK a MŽP, 2007. ISBN 978-80-86561-86-8. s. 123-137.
- HALOUNOVÁ, L. ; PAVELKA, K. 2005. *Dálkový průzkum Země*. Praha : České vysoké učení technické, 2005. ISBN 80-01-03124-1.
- IRIMESCU, A. ... [et al.]. 2009. The Use of Remote Sensing and Gis Techniques in Flood Monitoring and Damage Assessment: A Study Case in Romania. In: ANTHONY, J. A. A.; VARDANIAN, T. G., HAKOPIAN, CH. *Threats to Global Water Security. NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental security*. Dordrecht : Springer Verlag, 2009. p. 167-177.
- JORDAN, C. F. Derivation of leaf area index from quality of light on the forest floor. *Ecology*. 1969, Vol. 50, No. 4, p. 663-666.
- KOLÁŘ, J. ; HALOUNOVÁ, L. ; PAVELKA, K. 1997. *Dálkový průzkum Země*. Praha: ČVUT. 1997. 164 s. ISBN: 80-01-01567-X
- KOLÁŘ, J. 1990. *Dálkový průzkum Země*. Praha : SNTL, 1990. ISBN 80-03-00517-5.
- KOLÁŘ, J. 2008b. *Informační služby s využitím pozorovacích družic : studie*. Praha : Czech Space Office, 2008. 55 s. ISBN 978-80-904163-4-5.
- KOLÁŘ, J. 2008c. *Principy fungování a využívání pozorovacích satelitů : studie*. Praha : Czech Space Office, 2008. 62 s. ISBN 978-80-904163-5-2.
- KOLÁŘ, J. 2008a. *Digitální zpracování obrazových dat*. Praha : Czech Space Office, 2008. 61 s. ISBN 978-80-904163-0-7.
- LANGHAMMER, J. 2009. *Typologie povodní, extrémní povodně v Evropě a ČR* [elektronický zdroj]. poslední aktualizace 29. 9. 2009. Dostupné z: <[http://web.natur.cuni.cz/~langhamr/lectures/floods/prezentace/langhammer\\_1\\_uvod\\_historicke\\_extremni\\_povodne.pdf](http://web.natur.cuni.cz/~langhamr/lectures/floods/prezentace/langhammer_1_uvod_historicke_extremni_povodne.pdf)>. Výukový materiál pro předmět Povodně v krajině.
- LANGHAMMER, J. 2007. *Povodně a změny v krajině*. Praha : PŘF UK a MŽP. 2007. 396 s. ISBN 978-80-86561-86-8.
- LI, J. ... [et al.]. (2008): Near Real time exploitation of ENVISAT for flood monitoring in P.R. China during the 2005,2006 and 2007 raining and typhoons seasons. *Proceedings of the Dragon Programme final results SP-655*. Beijing, 21-25 April 2008. Dostupné z WWW: <<http://earth.eo.esa.int/dragon/symp2008/proceedings/23li.pdf>>
- LILLESAND, T. M. ; KIEFER, R. W. 1994. *Remote sensing and image interpretation*. New York, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore : John Wiley and Sons,. 1994. 750 p. ISBN 0-471-57783-9.

MINISTERSTVO ZEMĚDĚLSTVÍ. 2002

[http://toky.fsv.cvut.cz/Predmety/vto/ke\\_stazeni/cviceni/strat\\_ochr\\_povod.pdf](http://toky.fsv.cvut.cz/Predmety/vto/ke_stazeni/cviceni/strat_ochr_povod.pdf)

MIWEI, L. 2009. *Monitoring ephemeral vegetation in Poyang lake using MODIS remote sensing images*. Enschede : ITC. 54 p. Dostupné z WWW:

<[http://www.itc.nl/library/papers\\_2009/msc/nrm/liu.pdf](http://www.itc.nl/library/papers_2009/msc/nrm/liu.pdf)>

OBRUSNÍK, I. 2003. Činnost Českého hydrometeorologického ústavu a návaznost na systém krizového řízení při povodni 2002. *Mezinárodní konference medicíny katastrof VII ročník*. Zlín, 23-25 červen 2003. Dostupné z WWW:

<[http://www.egozlin.cz/upload.cs/d/d92a3244\\_0\\_obrusnik\\_chmu\\_praha\\_2003.pdf](http://www.egozlin.cz/upload.cs/d/d92a3244_0_obrusnik_chmu_praha_2003.pdf)>

PAVELKA, K. 1999. *Zpracování obrazových záznamů DPZ*. 1. vydání. Praha : ČVUT, 1999.

SEILER, R. ; CSAPLOVICS, E. ; VOLLMER, E. 2005. Monitoring landcover changes of the Niger Inland Delta ecosystem (Mali) by means of Envisat-MERIS Data. In: HUBER, B. A. ; SINCLAIR, B. J. ; LAMPE, K. H. *African Biodiversity: Molecules, Organism, Ecosystems*. New York : Springer Verlag, 2005. p. 395-404.

SMITH, L. C. 1997. Satellite remote sensing of river inundation area, stage and discharge: A review, *Hydrological Processes*. 1997, Vol. 11, p. 1427-1439. Dostupné z WWW:

<<http://www.geog.ucla.edu/downloads/297/179.pdf>>

SOBÍŠEK, B. ... [et al.]. 1993. *Meteorologický slovník výkladový a terminologický*. Praha : Ministerstvo životního prostředí ČR, Academia. 1993. 594 s.

STANCALIE, G. ... [et al.]. 2004. Application of EO data in flood forecasting for the Crisuri Basin, Romania. In: SCHANZE, J.; ZEMAN, E.; MARSALEK, J. (Eds.). *Flood Risk Management: Hazards, Vulnerability and Mitigation Measures*. NATO Science Series, Vol. 67. Dordrecht : Springer Verlag, 2006. p. 101-113. ISBN 978-1-4020-4596-7.

WANG, Y. ; COLBY, J. D. ; MULCAHY K. A. 2001. An efficient method for mapping flood extent in a coastal floodplain using Landsat TM and DEM data. *International Journal of Remote Sensing*. 2002, Vol. 23, No. 18, p. 3681-3696. ISSN 0143-1161.

YESOU, H. ... [et al.]. 2007. *Training course on Land Remote Sensing: Flood monitoring training course*. SERTIT. 2007. Dostupné z WWW:

<<http://earth.esa.int/landtraining07/D4PB-exercise-Yesou.pdf>>

ZHANG, W. J. ... [et al.]. 2008. Response of remotely sensed Normalized Difference Water Deviation Index to the 2006 Drought of eastern Sichuan Basin. *Science in China Series D: Earth Sciences*. 2008, Vol. 51, No. 5, p. 748-758.

ZHAO, Y. ; LI, S. ; ZHANG, Y. 2005. Early detection and monitoring of drought and flood in China Using Remote Sensing and GIS. In: SIVAKUMAR, M. V. K.; MOTHA, R. P.; DAS, H. P. *Natural disasters and extreme events in agriculture*. Heidelberg : Springer Verlag, 2005. p. 305-317. ISBN 978-3-540-28307-2.

### **Internetové zdroje**

AERONET. Aerosol robotic network [online]. [cit.2010-07-05]. Dostupné z WWW:

<<http://aeronet.gsfc.nasa.gov/>>

CENTRE FOR PROMOTION OF SCIENCE. Aligarh Muslim University [online]. [cit.2010-06-05]. Dostupné z WWW <<http://www.cps-amu.org/>>

Dostupné z WWW: <<http://sertit.u-strasbg.fr/>>

GISAT. [online]. [cit.2010-03-05]. Dostupné z WWW: <<http://www.gisat.cz/content/cz>

IOCCG. Meris US Workshop 14. July 2008. Podklady k prezentaci [online] [cit. 2010-05-21]

Dostupné z WWW: <[http://www.ioccg.org/sensors/Envisat\\_and\\_MERIS\\_status.pdf](http://www.ioccg.org/sensors/Envisat_and_MERIS_status.pdf)>

SERTIT. Portal to Rapid Mapping Service`s products [online]. [cit.2010-04-20].



## **Seznam příloh**

Příloha 1 Vybrané družicové snímky (kombinace pásem 8,5,4)

Příloha 2 Náhledy barevných kompozic dat MERIS pro území ČR 19. 8. 2002

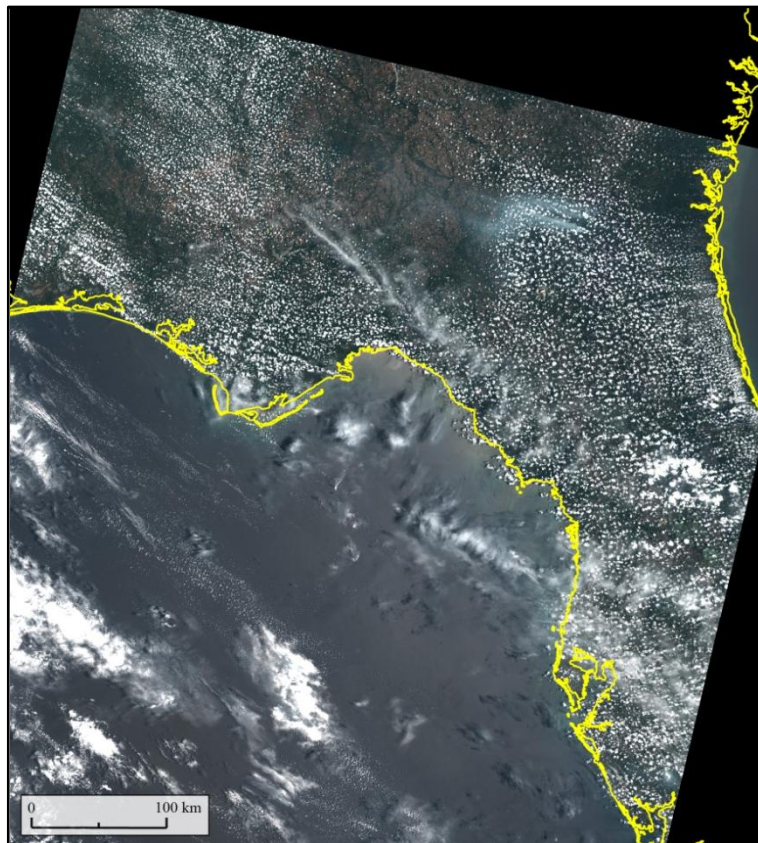
Příloha 3 Výsledky praktické části pro území USA (Florida) 29. 5 2007

Příloha 4 Výsledky praktické části pro území Turecka 10. 9. 2009

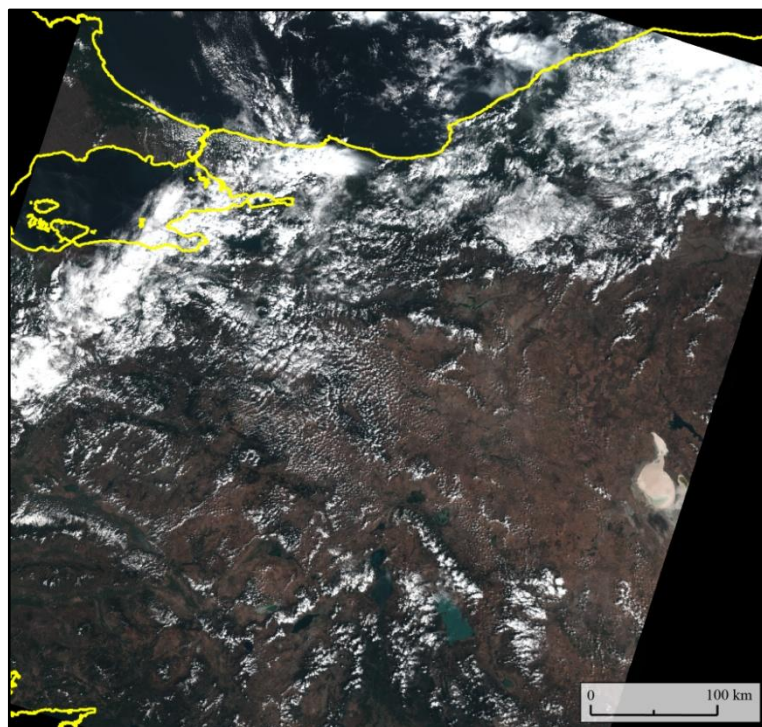
Příloha 5 Výsledky praktické části pro území ČR 19. 8. 2002

Příloha 6 CD s elektronickou verzí práce

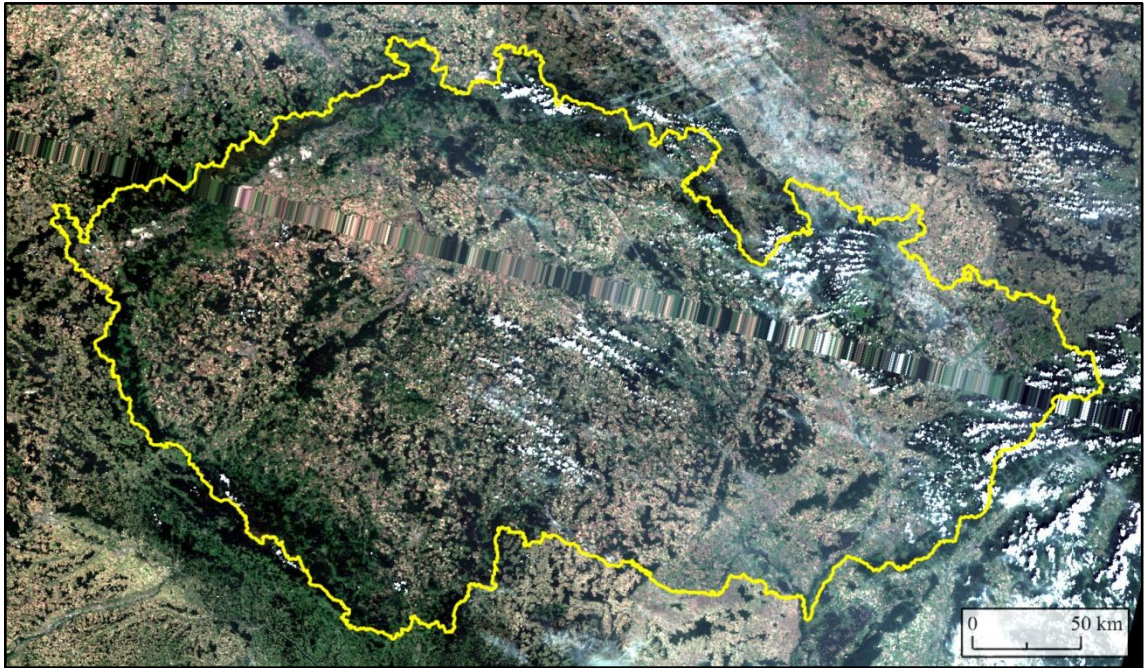
**Příloha 1: Vybrané družicové snímky (kombinace pásem 8,5,4)**



**Příloha 1a:** Ukázka snímku nad územím USA (Florida) pořízeného družicí MERIS 29. 5. 2007 (snímek poskytla ESA)



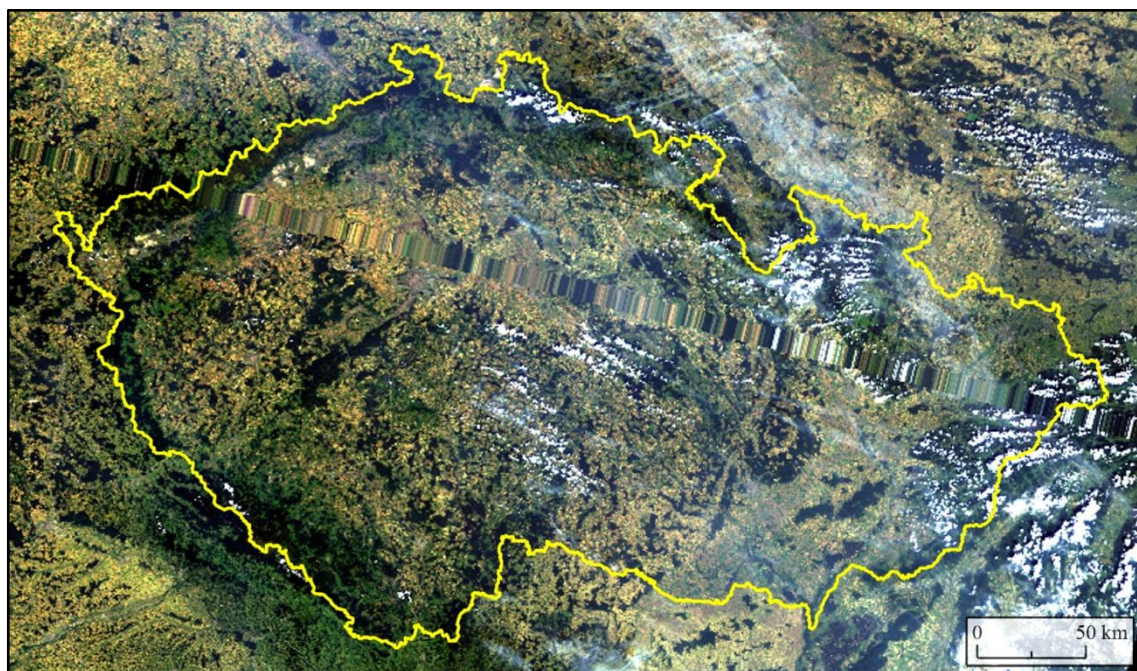
**Příloha 1b:** Ukázka snímku nad územím Turecka pořízeného družicí MERIS 10. 9. 2009 (snímek poskytla ESA)



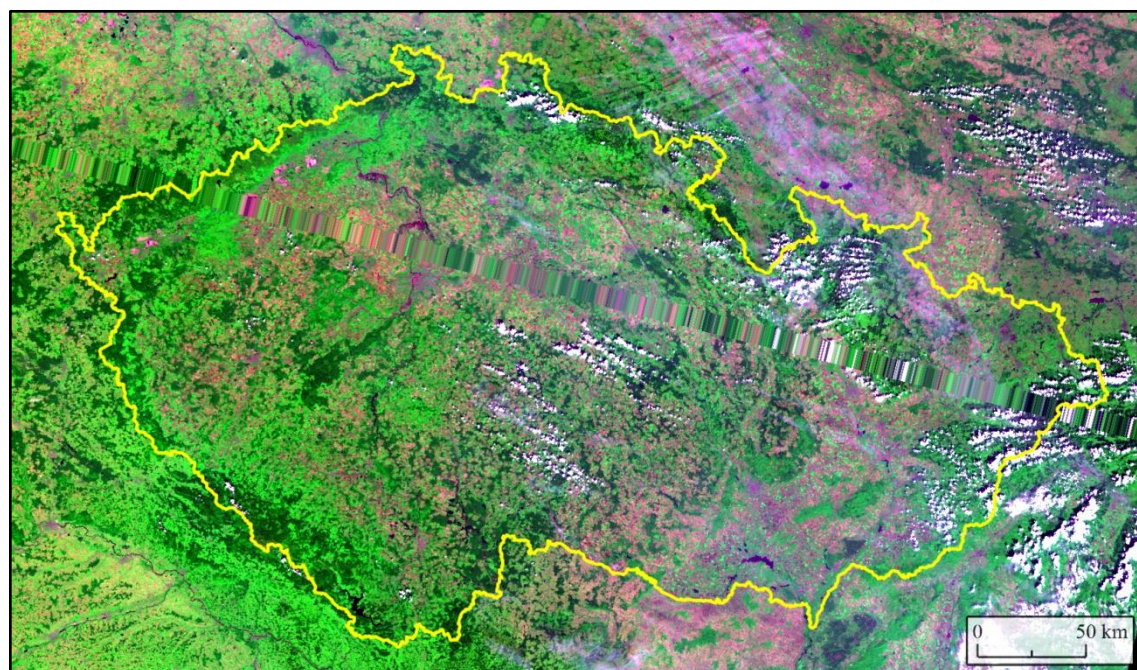
**Příloha 1c:** Ukázka snímku nad územím ČR pořízeného družicí MERIS 19. 8. 2002 (snímek poskytl ESA)



**Příloha 2: Náhledy barevných kompozic dat MERIS na příkladu pro území ČR  
19. 8. 2002**

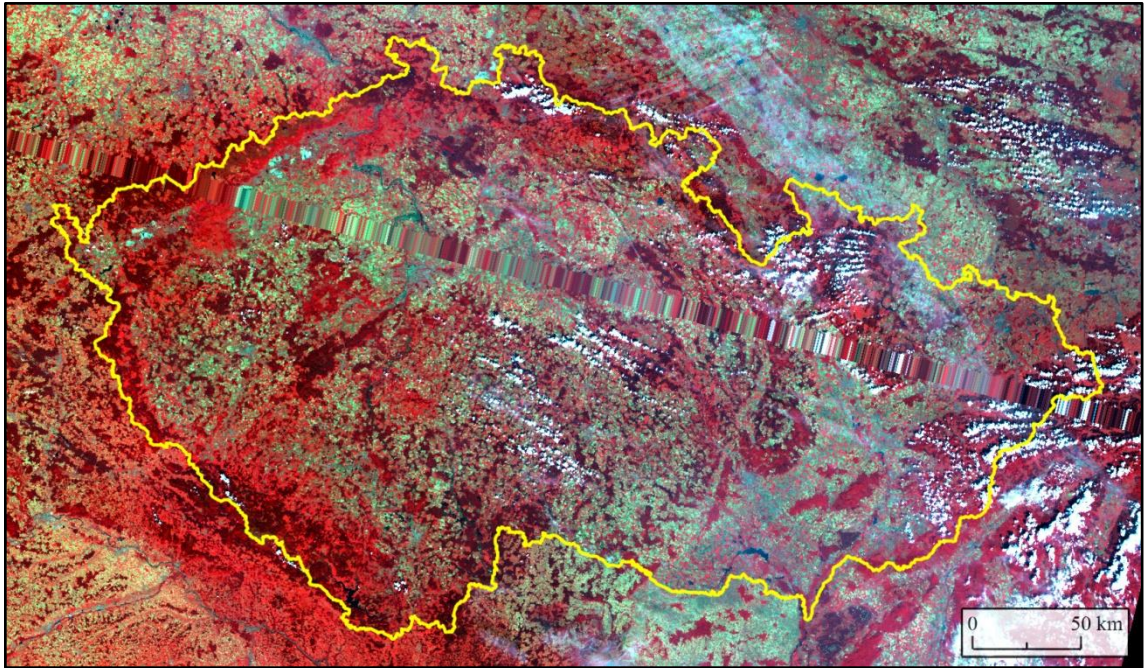


**Příloha 2a:** Náhled barevné kombinace MERIS 8,5,1 družicového snímku (snímek poskytl ESA)

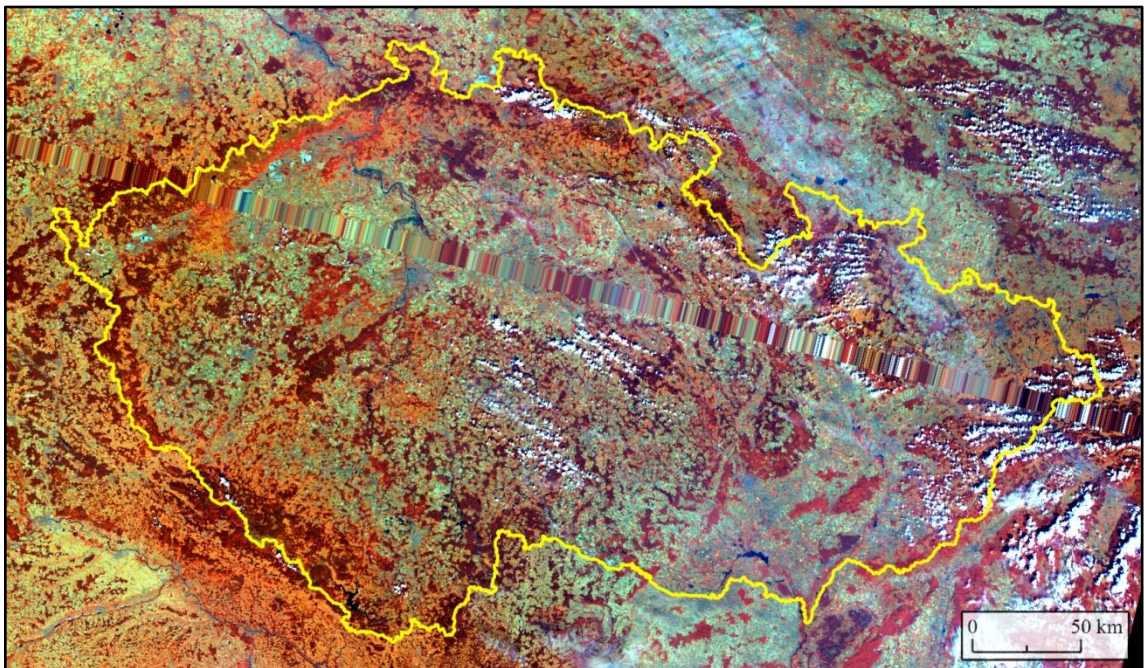


**Příloha 2b:** Náhled barevné kompozice 8,12,2 družicového snímku MERIS (snímek poskytl ESA)





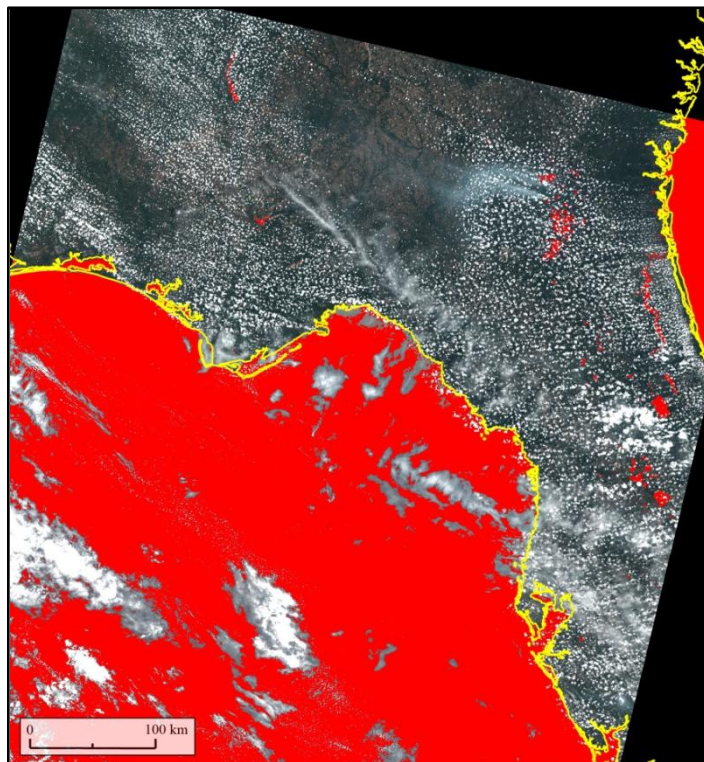
**Příloha 2c:** Náhled barevné kompozice 12,8,3 družicového snímku MERIS (snímek poskytl ESA)



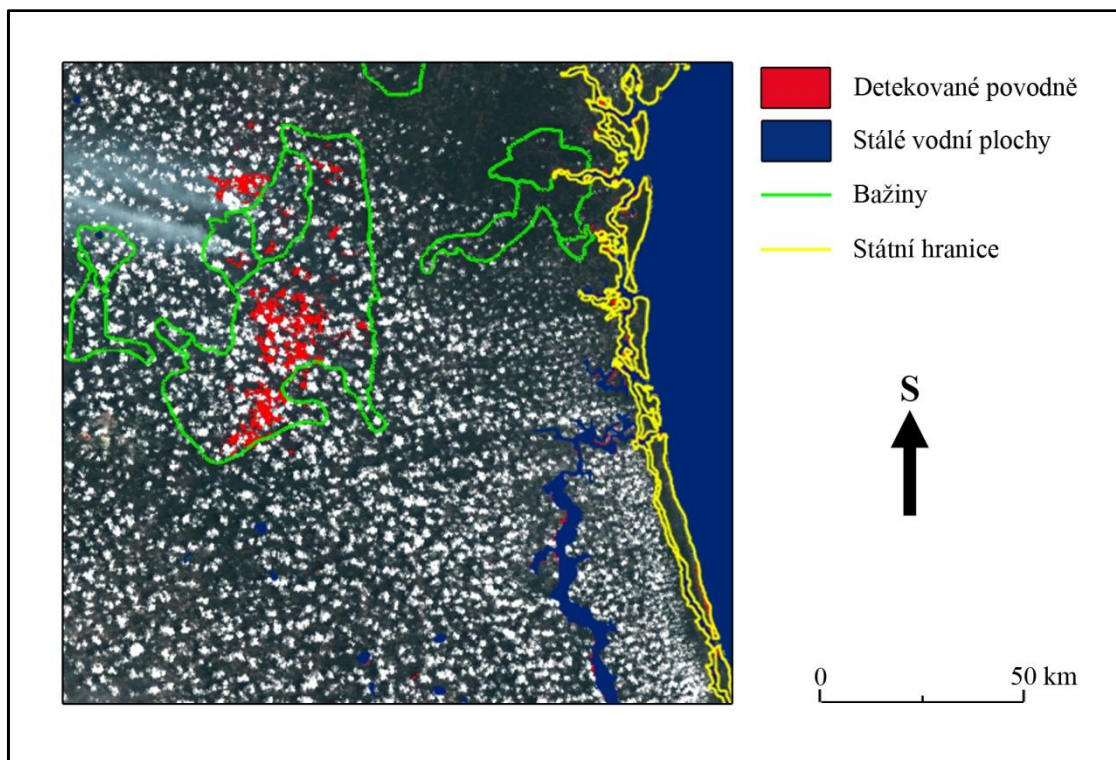
**Příloha 2d:** Náhled barevné kompozice 14,9,3 družicového snímku MERIS (snímek poskytl ESA)



**Příloha 3: Výsledky praktické části pro území USA (Florida) 29. 5. 2007**

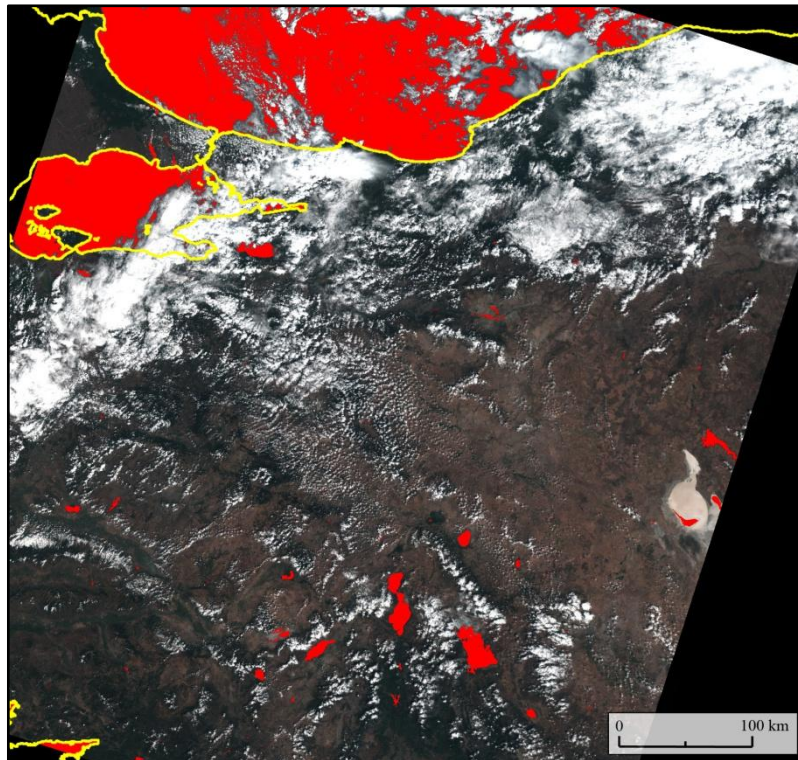


**Příloha 3a:** Vodní plochy (červeně) extrahované metodikou dvojitého prahování na snímku MERIS (snímek poskytl ESA)

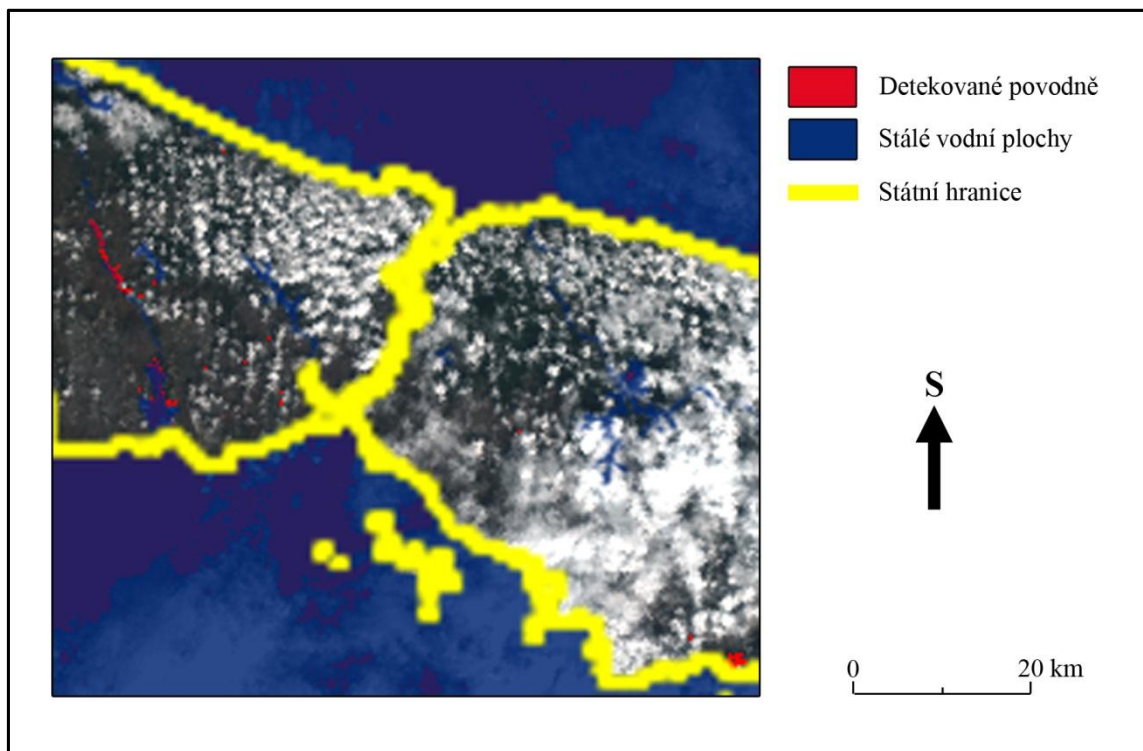


**Příloha 3b:** Povodně detekované na území Okefenokee National Wildlife Refuge pomocí družicového snímku MERIS (snímek poskytl ESA)

**Příloha 4: Výsledky praktické části pro území Turecka 10. 9. 2009**



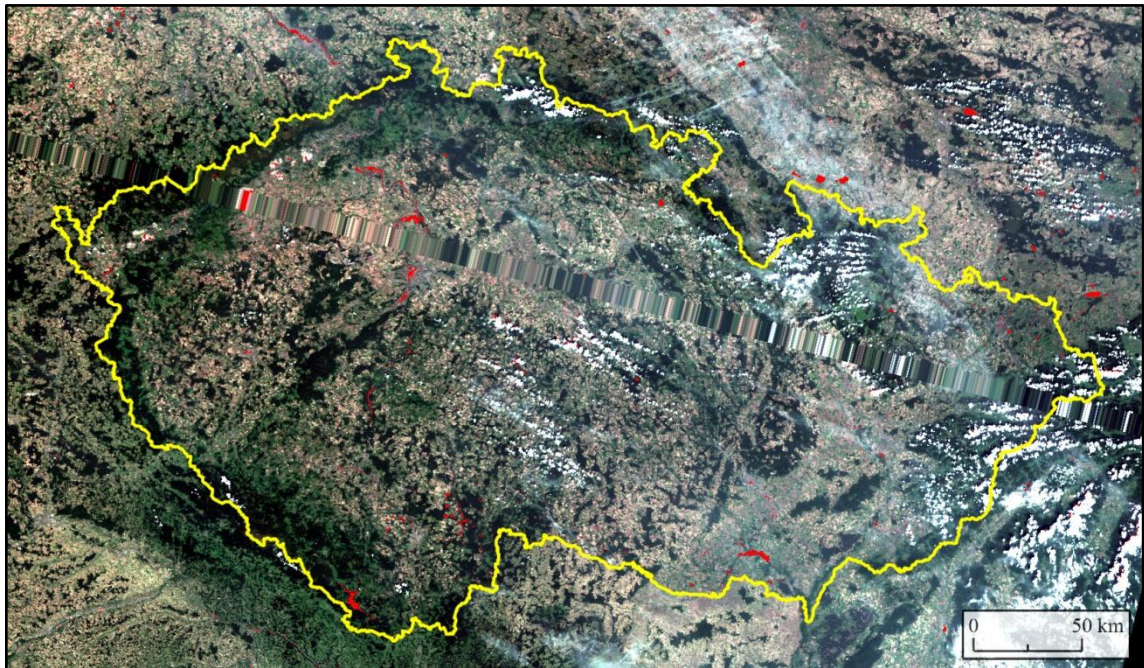
**Příloha 4a:** Vodní plochy (červeně) extrahované metodikou dvojitého prahování na snímku MERIS (snímek poskytl ESA)



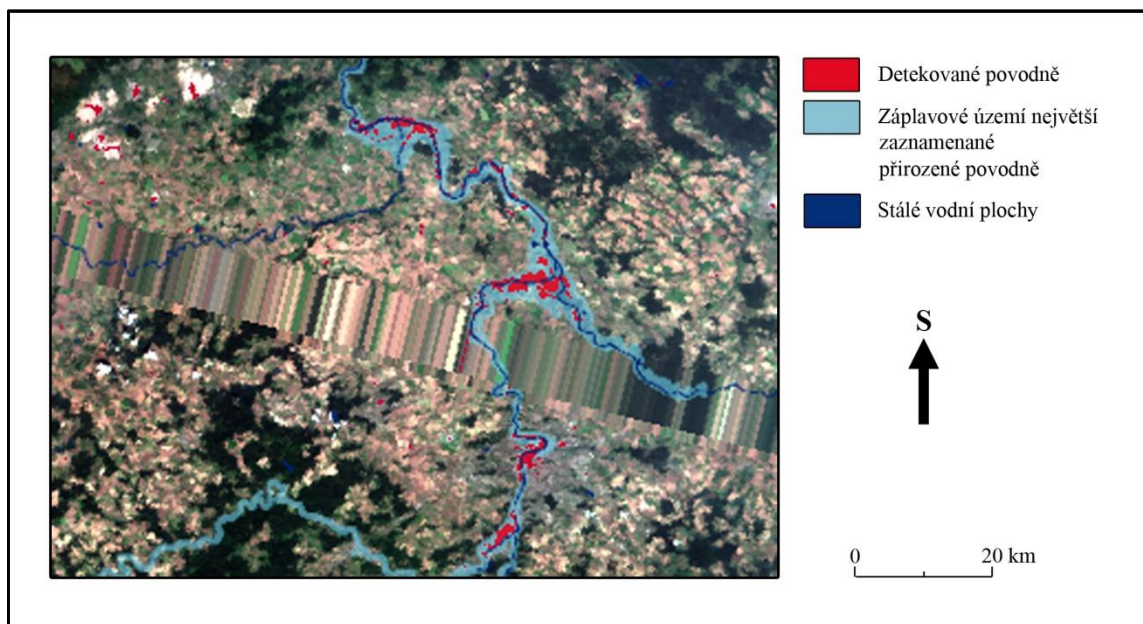
**Příloha 4b:** Povodně detekované v okolí Istanbulu pomocí družicového snímku MERIS (snímek poskytl ESA)



**Příloha 5: Výsledky praktické části pro území ČR 19. 8. 2002**



**Příloha 5a:** Vodní plochy (červeně) extrahované metodikou dvojitého prahování na snímku MERIS (snímek poskytl ESA)



**Příloha 5b:** Povodně detekované na řece Vltava a Labe pomocí družicového snímků MERIS (snímek poskytl ESA)