

Možnosti využití metod dálkového průzkumu a prostorových analýz pro řešení krizových situací

Pavel Doubrava, Jiří Kvapil, Tereza Ponocná,
Lenka Rejentová, Jaroslav Řeřicha, Zbyněk Stein

Možnosti využití metod dálkového průzkumu a prostorových analýz pro řešení krizových situací

Pavel Doubrava
Jiří Kvapil
Tereza Ponocná
Lenka Rejentová
Jaroslav Řeřicha
Zbyněk Stein



Praha, srpen 2015

Možnosti využití metod dálkového průzkumu a prostorových analýz pro řešení krizových situací

Publikaci recenzovali:

prof. PhDr. Martin Gojda, CSc., Katedra archeologie Filozofické fakulty Západočeské univerzity v Plzni,
doc. RNDr. Tomáš Řezník, Ph.D., Geografický ústav Přírodovědecké fakulty Masarykovy univerzity

Autorský kolektiv:

RNDr. Pavel Doubrava, Mgr. Jiří Kvapil, Mgr. Tereza Ponocná, Mgr. Lenka Rejentová,
Ing. Jaroslav Řeřicha, DESS, Mgr. Zbyněk Stein

Všechna práva vyhrazena. Pokud není uvedeno jinak, nesmí být žádná část této publikace reprodukována nebo používána v jakékoliv formě nebo jakýmikoliv prostředky, elektronickými nebo mechanickými, včetně fotokopí a mikrofilmů, bez písemného povolení CENIA, české informační agentury životního prostředí.

Grafický design a sazba:

Mgr. Lenka Rejentová

Tisk:

AGAMA poly-grafický ateliér, s.r.o.

Vydala:

© CENIA 2015 nákladem 300 ks

Kontakt:

CENIA, česká informační agentura životního prostředí
Vršovická 1442/65, 100 10, Praha 10
www.cenia.cz, info@cenia.cz

První vydání

128 stran

Neprodejné

Snímek na titulní straně: Výřez ze scény Landsat LC81910252013304LGN00_B7.TIF © NASA, USGS

ISBN 978-80-85087-22-2

	Abstrakt	5
	Abstract	7
	1 Úvod	9
2	Užití družicových dat v krizovém řízení pro podporu environmentální bezpečnosti	11
	3 Družicové systémy využitelné v krizových situacích	13
	3.1 Meteorologické družice	14
	3.2 Monitoring půdní vlhkosti	18
	3.3 Monitoring kvality ovzduší	23
	3.4 Klasifikace území na základě multispektrálních snímků	28
	4 Podpůrná data a pozemní měření	41
	4.1 Kalibrace družicových dat pomocí senzorových sítí	42
	4.2 Sběr a využití dat z registrů IPPC a IRZ pro podporu krizového řízení při povodňových situacích	48
5	Postup zpracování družicových dat pro hodnocení povodňových situací	53
	5.1 Technologický postup zpracování družicových dat	54
	5.2 Zpracování družicových dat pomocí řízené klasifikace	55
	5.3 Zpracování družicových dat z tepelné oblasti spektra	63
	5.4 Zpracování radarových družicových dat	67
6	Služby Copernicus a současný stav jejich implementace v ČR	69
	6.1 Rozvoj služeb Copernicus	70
	6.2 Monitorování území	71
	6.3 Mořské prostředí	74
	6.4 Atmosféra	76
	6.5 Krizové řízení	78
	6.6 Bezpečnost	81
	6.7 Změna klimatu	82
7	Softwarové nástroje pro zpracování a vizualizaci prostorových dat	83
	7.1 Zpracování dat	84
	7.2 Vizualizace dat	88
	8 Závěr	91
	Citované zdroje	93
	Použité podklady	99
	Seznam zkratk	103
	Seznam obrázků	109
	Seznam tabulek	113
	Příloha 1 Hlavní online archivy družicových dat	117
	Příloha 2 Dostupnost družicových dat v online archivech	119

Abstrakt

Předkládaná publikace je jedním z výstupů projektu „Integrované hodnocení dopadů globálních změn na environmentální bezpečnost České republiky“, jehož byla CENIA, česká informační agentura životního prostředí (CENIA) v letech 2012–2015 spoluřešitelem. Publikace představuje přehled systémů dálkového průzkumu Země (DPZ), jejichž data jsou obecně využitelná pro hodnocení environmentální bezpečnosti České republiky (ČR), a to napříč všemi relevantními environmentálními složkami vstupujícími do hodnocení, tj. od základních systémů, kterými jsou např. meteorologické družice, až po úzce specializované systémy monitorující půdní vlhkost, kvalitu ovzduší aj. Uvedeno je rovněž, jakým způsobem dochází ke kalibraci a převodu získaných relativních dat na data absolutních hodnot, pro které je navržena metodika sledování oblastí potenciálních rizik pomocí WSN (Wireless Sensor Network). Na základě uvedeného přehledu systémů DPZ pak byla vybrána data družice Landsat 8 a byla využita jedna z popsanych služeb programu Copernicus, služba krizového řízení GIO EMS – Mapping (GMES/Copernicus Initial Operations Emergency Management Service), pro vymezení rizikových lokalit při povodňových situacích v ČR. K datům DPZ pak byla doplněna data z registrů IRZ (Integro-

vaný registr znečišťovatelů) a IPPC (Integrovaná prevence a omezování znečišťování), která slouží pro identifikaci potenciálně kontaminovaných lokalit. Současně je popsán použitý postup zpracování využitých dat.

V oblasti zpracování dat popisující rizika poskytování ekosystémových služeb byl vyvinut software, v rámci kterého byly vytvořeny jak nástroje pro jejich zpracování, tak webová aplikace pro jejich vizualizaci. Výsledkem zpracování jsou mapové vrstvy ohrožení, zranitelnosti a hodnoty ekosystémových služeb, celkové riziko a hot-spots, které jsou publikovány na adrese <http://envisec.cenia.cz>.

Abstract

This publication is one of the outputs of the project „Integrated assessment of global change impacts on environmental security of the Czech Republic“, in which was CENIA, Czech Environmental Information Agency in years 2012–2015 participating as a co-investigator. The publication presents an overview of systems for remote sensing, whose data is generally usable for the assessment of environmental security of the Czech Republic, across all relevant environmental components entering the assessment, i.e. from the basic systems such as meteorological satellites, to highly specialized systems for monitoring the soil moisture, air quality etc. It is also mentioned how to accomplish data calibration and transfer from relative to absolute value. For this step is also proposed methodology for potential risk areas monitoring using WSN. On the basis of the remote sensing systems overview were chosen data from the Landsat 8 satellite and one of the described Copernicus program services was used, the emergency management service GIO EMS – Mapping, for the identification of risk areas during flood situations in the Czech Republic. Remote sensing data was supplemented with data from the Integrated Pollution Register and Integrated Pollution Prevention and Control which were used to

identify potentially contaminated sites.

In the field of processing the data, which describes the risks of ecosystem services providing, was developed software under which were created tools for data processing as well as web applications for visualization. The result of the data processing are the map layers of threats, vulnerability, value of ecosystem services, the total risk and hot-spots that are published at <http://envisec.cenia.cz>.

1

Úvod

Projekt „Integrované hodnocení dopadů globálních změn na environmentální bezpečnost České republiky“ (EnviSec), financovaný Ministerstvem vnitra České republiky v rámci „Programu bezpečnostního výzkumu České republiky (2010–2015)“, se zaměřil na rozvoj integrovaných přístupů k hodnocení globálního dopadu změny ekosystémů na bezpečnost životního prostředí v ČR.

Cílem tohoto projektu bylo vytvoření společného rámce pro posuzování bezpečnosti životního prostředí s cílem zhodnotit bezpečnostní rizika pro ekosystémy a ekosystémové služby (ES), které jsou obzvláště citlivé na měnící se trendy v oblasti přírodních procesů a lidské společnosti. Přínosy projektu jsou také v oblasti vytvoření a zkvalitnění technologií, technik, procesů, postupů a jejich aplikace do praxe, které směřují k efektivnímu krizovému managementu nejen na národní, ale i mezinárodní úrovni. Dále je to pak hodnocení rizik a tvorba postupů v krizových situacích, zejména integrovaných systémů a integrovaných informačních souborů dat pro predikci, prevenci a řešení krizových stavů.

Při řešení projektu bylo využito dat DPZ. V oblasti ochrany životního prostředí patří DPZ mezi jeden z hlavních datových zdrojů. Na poli DPZ se CENIA aktivně zapojuje především do programů GEO (*Group on Earth Observations*) a Copernicus (dříve GMES – *Global Monitoring for Environment and Security*), data z těchto programů byla zkoumána jako možný datový zdroj v projektu EnviSec. V současnosti existuje několik desítek družicových systémů, které snímají široké spektrum elektromagnetického záření. Proto jedním z cílů projektu bylo přinést ucelený přehled o družicových systémech, které by bylo možné a vhodné využít pro podporu krizového řízení, a následně vývoj metod a příprava nástrojů pro daný účel.

DPZ je disciplína založená na fyzikálních principech. Data o životním prostředí jsou získávána pomocí specializovaných senzorů, umístěných zpravidla na leteckých nebo kosmických nosičích, tedy distančním způsobem bez přímého kontaktu se studovaným objektem. Naměřená data jsou zpracovávána matematicko-fyzikálními a matematickými metodami. Základním fyzikálním jevem, na kterém je DPZ založen, je interakce elektromagnetického záření se zkoumaným objektem. Informace o tom, jak probíhá tato interakce, udává energie, kterou zaznamenává detektor v přesně vymezených intervalech vlnových délek v daném prostorovém úhlu. Takto definovaná interakce je výchozí pro ur-

čování hledaných vlastností daných objektů. Každý objekt na zemském povrchu má vliv na naměřené hodnoty energie a to jak v čase, tak v prostoru. Proto je nutné, aby tato energie byla měřena prostřednictvím kvantitativních fyzikálních veličin.

Pro zjišťování charakteristik objektů na zemském povrchu (např. typ objektu, jeho stav a další) je tedy nutno pořizovat data v oddělených spektrálních intervalech (spektrálních kanálech), přičemž současná přístrojová technika družicového DPZ pracuje především v oblastech spektra od 400 nm (ultrafialové záření) do 10 mm (mikrovlnné záření).

Pro přesné definování typu objektu na zemském povrchu nebo jeho stavu (u vegetace třeba zdravotního stavu) je potřeba znát co nej přesněji spektrální křivku odrazivosti daného objektu. Přitom platí, čím vyšší počet spektrálních kanálů se použije pro analýzu, tím se získá přesnější spektrální křivka odrazivosti pro daný objekt. Pro každý daný objekt v daném stavu je dán jeho vlastní specifický průběh spektrální křivky odrazivosti. To mimo jiné znamená, že lze multispektrální (hyperspektrální) data vyhodnocovat automaticky pomocí matematických a fyzikálních analytických nástrojů (např. analýzy příznakových prostorů, klasifikační metody aj).

Mimo část zabývající se shromážděním, analýzou a zpracováním datových zdrojů DPZ se zapojuje CENIA do projektových činností také soustředí na tvorbu analytických a vizualizačních nástrojů pro zpracování a interpretaci dat environmentální bezpečnosti, která byla využita jako podklad pro tvorbu map zobrazujících ohrožení a zranitelnost ekosystémů, celkové riziko poskytování ekosystémových služeb, hodnotu ekosystémových služeb a hot-spots environmentálních rizik.

2

**Užití družicových
dat v krizovém
řízení pro podporu
environmentální
bezpečnosti**

V rezortu životního prostředí jsou družicová data jedním ze základních zdrojů informací pro hodnocení a posuzování jak jeho aktuálního stavu, tak i jeho vývoje. Na základě činnosti CENIA byly vymezeny zájmové oblasti, které bezprostředně souvisí s environmentální bezpečností a krizovým řízením. Mezi tyto oblasti patří níže uvedené:

Podpora krizového řízení při povodních

- určování čáry rozlivu pomocí družicových radarových dat a výškových modelů za cílem vytipování rizikových oblastí jako jsou např. hustá zástavba, hlavní komunikace, průmyslová zařízení, evidovaná kontaminovaná místa aj.;
- predikce povodňových situací, kombinace meteorologických dat s daty o vlhkosti půd jako podklad pro modelování vývoje povodňové situace;
- plánování přístupových tras pro záchranné složky, určování evakuačních tras, zjišťování průjezdnosti klíčových přístupových tras.

Detekce kontaminace

- určování vegetace zasažené znečištěním při povodních na základě klasifikace multispektrálních snímků;
- určování čáry rozlivu při povodních za účelem vymezení potenciálně kontaminovaného území;
- identifikace rizikových oblastí s využitím dat pro určování čáry rozlivu a známých ekologických rizik (evidovaná kontaminovaná místa, průmyslová zařízení aj.);
- určování kontaminovaných vodních ploch na základě klasifikace multispektrálních snímků.

Predikce sucha

- inventarizace zemědělských plodin na základě klasifikace multispektrálních snímků, v kombinaci s daty o vlhkosti půd a meteorologickými daty.

Potravinová bezpečnost

- inventarizace plodin zemědělství na základě klasifikace multispektrálních snímků;
- zjišťování objemu úrody na základě klasifikace multispektrálních snímků.

Radiační bezpečnost

- inventarizace plodin zemědělství a vegetace – zjišťování vzniklých škod (zasažené vegetace) při krizových situacích na základě klasifikace multispektrálních snímků.

Monitoring kvality ovzduší

- využití družicových dat jako základ pro modelování vývoje znečištění, spolu s in-situ daty sloužícími jako kalibrace modelu;
- monitoring a predikce vývoje kvality ovzduší na základě meteorologických družicových dat a dat z vědeckých družicových optických přístrojů.

3

Družicové systémy využitelné v krizových situacích

Jedním z hlavních zdrojů dat v rámci projektu EnviSec je program Copernicus. Tento program rozděluje data z pozorování Země do tří základních skupin, vesmírná komponenta, in-situ měření a Copernicus služby.

Pro využití dat v projektu EnviSec je klíčovou skupinou vesmírná komponenta, jejíž data lze rozdělit do dvou hlavních skupin. Jednak jsou to data

ze série družic Sentinel, které jsou vyvíjeny přímo v rámci programu Copernicus Evropskou kosmickou agenturou (ESA) a dále jsou to data z družic přispívajících misí dalších vesmírných agentur. Pro využití družicových dat při monitorování environmentálních rizik však nelze opomenout ani význam družic mimo program Copernicus.

3.1 METEOROLOGICKÉ DRUŽICE

Hlavní organizace provozující meteorologické družice jsou americká NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*) a evropská EUMETSAT (*the European organisation for the exploitation of METeorological SATellites*). Obě tyto organizace provozují dvě základní řady družic, jednu s geostacionární drahou a druhou s polární drahou oběhu. Mezi další státy provozující meteorologické družice se řadí zejména Indie, Rusko a Čína.

Do kategorie meteorologických družic se řadí družice určené pro předpovídání počasí a výzkum klimatu. Na základě jejich dat jsou vytvářeny zejména předpovědní a klimatické modely. V ČR existují dva hlavní meteorologické modely počasí, ALADIN (*Aire Limitée, Adaptation Dynamique, Development INternational*) používaný Českým hydrometeorologickým ústavem (ČHMÚ) a MEDARD (*Meteorological and Environmental Data Assimilating system for Regional Domains*) používaný Akademií věd České republiky (AV ČR).

Kromě využití dat z meteorologických družic pro předpovědní modely nacházejí tato data také uplatnění zejména v kombinaci s daty z jiných družicových systémů nebo s daty z in-situ měření. Meteorologické družice přinášejí data týkající se měření srážek, obsahu vody v oblacích, obsahu vodní páry, mořského povrchového větru, teploty povrchu moře, ledu, sněhu, vlhkosti půdy a mnoho dalších. Jejich uplatnění lze tedy nalézt v širokém spektru oborů, jako jsou zemědělství, krizové řízení, hydrologie aj. V kombinaci s daty z vědeckých družic je to například také monitoring půdní vlhkosti a s tím spojené předpovídání povodňových situací nebo monitoring kvality ovzduší.

Mezi mise přispívající do programu Copernicus patří družice provozované organizací EUMETSAT. Jedná se o sérii geostacionárních družic Meteosat druhé generace (MSG), respektive plánované družice Meteosat třetí generace (MTG) a dále polární družice MetOp (*Meteorological Operational satellite*

programme). Obě tyto série družic jsou úzce spojeny s družicemi Sentinel 4, respektive Sentinel 5, jejichž přístroje budou z důvodu úspory finančních prostředků v programu Copernicus umístěny na družice provozované organizací EUMETSAT. [1]

3.1.1 Meteorologické družicové systémy provozované EUMETSAT

3.1.1.1 Meteosat

Evropský program geostacionárních meteorologických družic Meteosat byl zahájen již v roce 1977. Do roku 1997 bylo vypuštěno 7 družic první generace (Meteosat-1 až Meteosat-7), poslední z nich je stále v provozu. Všechny družice první generace byly vybaveny přístrojem MVIRI (*Meteosat Visible and InfraRed Imager*).

Obr. 1 MSG

© EUMETSAT



Současné družice Meteosat jsou již druhou generací a oproti svým předchůdcům disponují novými přístroji a mnoha vylepšeními. Hlavní přístroj je nazýván SEVIRI (*Spinning Enhanced Visible and InfraRed Imager*), který je přesnější než předchozí MVIRI a je zaměřen na poskytování přesných atmosférických dat pro předpovědi počasí pomocí výpočetní techniky. Družice Meteosat-8 nese navíc přístroj GERB (*Geostationary Earth Radiation Budget*), který je zaměřen na sledování klimatu. Poslední družice druhé generace (Meteosat-11) má být vypuštěna v roce 2015.

Po roce 2018 má program družic Meteosat pokračovat družicemi třetí generace, kterých má být celkem šest. Družice mají být dvojího druhu. MTG-I (*Meteosat Third Generation – Imaging satellite*) ponese univerzální optický spektrometr a detektor blesků, první ze čtyř plánovaných družic by měla

Obr. 2 MTG



© EUMETSAT

být vypuštěna v roce 2018. Druhým typem je MTG-S (*Meteosat Third Generation – Sounding satellite*), ponese

přístroj pro mapování prostorového rozložení teploty a vodní páry v atmosféře – první ze dvou plánovaných družic bude vypuštěna po roce 2020. Součástí družic MTG-S bude také mise Sentinel 4 v podobě zařízení UVN (*Ultraviolet, Visible and Near-infrared spectrometer*) pro sledování chemického složení atmosféry. [2]

Tab. 1 Senzor MVIRI (Meteosat-1 až 7)

Provozovatel	EUMETSAT
Družice	Meteosat-1 až Meteosat-7
Senzor	MVIRI
Typ dat	optická
Typ senzoru	multispektrální
Počet spektrálních pásem	3 (VIS (<i>VISible</i>), IR (<i>InfraRed</i>), TIR (<i>Thermal InfraRed</i>))
Prostorové rozlišení	VIS 2,5 km; TIR 5 km
Záběr senzoru	polokoule
Perioda snímání	30 minut
Stereosnímky	ne
Možnost programování	ne
Uvedení do provozu	do roku 1997
Plánovaná životnost	5 let

Tab. 2 Senzor SEVIRI (MSG)

Provozovatel	EUMETSAT
Družice	MSG (Meteosat-8 až Meteosat-11)
Senzor	SEVIRI
Typ dat	optická
Typ senzoru	multispektrální
Počet spektrálních pásem	12
Prostorové rozlišení	1000; 3000 m
Záběr senzoru	polokoule
Perioda snímání	20 minut
Stereosnímky	ne
Možnost programování	ne
Uvedení do provozu	2002–2015
Plánovaná životnost	10 let

3.1.1.2 EPS

Druhým hlavním družicovým systémem provozovaným organizací EUMETSAT jsou meteorologické družice s polární drahou (EPS – *EUMETSAT Polar System*), které dodávají taktéž data využívaná zejména v numerických modelech

pro předpověď počasí a sledování klimatu. První z těchto družic MetOp-A byla vypuštěna v roce 2006. Tato družice nese celkem 11 přístrojů. Některé z nich jsou shodné s přístroji na družicích NOAA, neboť se jedná o první evropskou družici v společném projektu NOAA a EUMETSAT nazvaného IJPS (*Initial Joint Polar System*). V rámci tohoto programu byla v roce 2012 vypuštěna další družice MetOp-B a v roce 2017 je plánováno vypuštění třetí a poslední družice v této sérii, MetOp-C. Hlavními meteorologickými přístroji, které mají tyto družice společné s družicemi NOAA, jsou AMSU-A1/AMSU-A2 (*Advanced Microwave Sounding Units*), HIRS/4 (*High-resolution Infrared Radiation Sounder*), AVHRR/3 (*Advanced Very High Resolution Radiometer*), MHS (*Microwave Humidity Sounder*). Mimo to obsahuje družice i vědecké přístroje pro zkoumání stavu atmosféry IASI (*Infrared Atmospheric Sounding Interferometer*), ASCAT (*Advanced SCATterometer*), GOME-2 (*Global Ozone Monitoring Experiment*). [2]

Po roce 2020 je plánováno vypuštění dalších družic systému EPS-SG (*EUMETSAT Polar System – Second Generation*), a to druhé

Obr. 3 MetOp-A



© EUMETSAT

generace družic MetOp-SG (*Meteorological Operational satellite programme – Second Generation*), které budou využity i v programu organizace NOAA JPSS (*Joint Polar Satellite System*). Součástí mise bude také Sentinel 5 v podobě přístroje UVNS (*Ultraviolet, Visible, Near-infrared, Shortwave Spectrometer*) pro monitoring chemického složení atmosféry, tento přístroj bude na první z plánovaného páru družic. [1]

Tab. 3 Senzor AMSU-A1/AMSU-A2 (MetOp, NOAA)

Provozovatel	EUMETSAT, NOAA
Družice	MetOp-A až MetOp-C, resp. NOAA-17 až NOAA-19
Senzor	AMSU-A1/AMSU-A2
Typ dat	radarová
Typ senzoru	patnáctifrekvenční
Počet spektrálních pásem	15 (23,8–89,0 GHz)
Prostorové rozlišení	45 km (A2 – 15 km)
Záběr senzoru	1650 km
Perioda snímání	2–3x denně
Interferometrie	–
Možnost programování	–
Uvedení do provozu	od 2006, resp. od 1998
Plánovaná životnost	5 let

Na novějších družicích je senzor AMSU-A2 nahrazen AMSU-B.

Tab. 4 Senzor HIRS/4 (MetOp, NOAA)

Provozovatel	EUMETSAT, NOAA
Družice	MetOp-A až MetOp-C, resp. NOAA-17 až NOAA-19
Senzor	HIRS/4
Typ dat	optická
Typ senzoru	multispektrální
Počet spektrálních pásem	20 (1 VIS; 19 IR; 3,8–15 μm)
Prostorové rozlišení	10 km
Záběr senzoru	2160 km
Perioda snímání	2–3x denně
Stereosnímky	ne
Možnost programování	ne
Uvedení do provozu	od 2006, resp. od 1998
Plánovaná životnost	5 let

Tab.5 Senzor AVHRR/3 (MetOp, NOAA)

Provozovatel	EUMETSAT, NOAA
Družice	MetOp-A až MetOp-C, resp. NOAA-17 až NOAA-19
Senzor	AVHRR/3
Typ dat	optická
Typ senzoru	multispektrální
Počet spektrálních pásem	6
Prostorové rozlišení	1090 km
Záběr senzoru	2500 km
Perioda snímání	2–3x denně
Stereosnímky	ne
Možnost programování	ne
Uvedení do provozu	od 2006, resp. od 1998
Plánovaná životnost	5 let

Tab. 6 Senzor MHS (MetOp, NOAA)

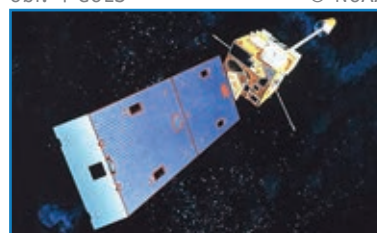
Provozovatel	EUMETSAT, NOAA
Družice	MetOp-A až MetOp-C, resp. NOAA-17 až NOAA-19
Senzor	MHS
Typ dat	radarová
Typ senzoru	pětifrekvenční
Počet spektrálních pásem	5 (89,0; 157,0; 2x183,3; 190,3 GHz)
Prostorové rozlišení	17 km
Záběr senzoru	1650 km
Perioda snímání	2–3x denně
Interferometrie	–
Možnost programování	–
Uvedení do provozu	od 2006, resp. od 1998
Plánovaná životnost	5 let

3.1.2 Meteorologické družicové systémy provozované NOAA

3.1.2.1 GOES

Obr. 4 GOES

© NOAA



Historie amerických geostacionárních meteorologických družic ze série GOES (*Geostationary Operational Environmental*

Satellite) sahá do roku 1974, kdy byl vypuštěn jejich první předchůdce. V současné době jsou aktivní čtyři družice (GOES-12 až GOES-15). První z nich patří do druhé generace družic této řady, ostatní tři patří již do třetí generace. Vypouštěny byly v letech 2001–2010. V budoucnu jsou plánovány další dvě družice, které budou vypuštěny po roce 2015. Všechny tyto družice jsou však určeny především pro sledování západní polokoule a jejich data nelze využít v rámci ČR, proto zde nejsou uvedeny parametry senzorů těchto družic. [3]

3.1.2.2 DMSP

Obr. 5 DMSP

© NOAA



DMSP (*Defense Meteorological Satellite Program*) je série vojenských meteorologických družic s polární drahou, které

jsou vypouštěny od 60. let 20. století. V současnosti jsou aktivní 4 družice, poslední byla vypuštěna v roce 2014. Hlavním senzorem je SSM/I (*Special Sensor Microwave/Imager*). Tento senzor je určen pro zjišťování rychlosti větru nad hladinou oceánu, plochy pokryté ledem, stáří ledu, srážek nad pevninou, srážek nad vodou, obsahu vody v oblačnosti, teploty zemského povrchu, sněhové pokrývky, teploty povrchu moře a půdní vlhkosti.

V rámci tohoto programu je v budoucnosti plánováno vypuštění ještě několika obdobných družic. [3]

Tab. 7 Senzor SSM/I (DMSP)

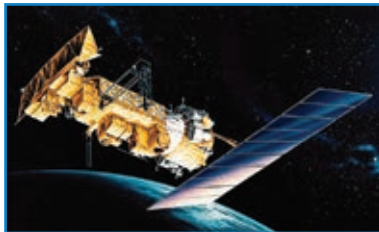
Provozovatel	NOAA
Družice	DMSP
Senzor	SSM/I
Typ dat	radarová
Typ senzoru	čtyřfrekvenční
Počet spektrálních pásem	4 (19,35; 22,235; 37; 85,5 GHz)

Prostorové rozlišení	12,5 km (19 a 22 GHz); 7,5 km (37 GHz); 2,5 km (85 GHz)
Záběr senzoru	1394 km
Perioda snímání	1 den (> 72°s.š. ½ dne)
Interferometrie	–
Možnost programování	–
Uvedení do provozu	1962–2009
Plánovaná životnost	4 roky

3.1.2.3 POES

Obr. 6 NOAA-19

© NOAA



POES (*Polar Operational Environmental Satellite*) je americká část společného projektu organizací NOAA a EUMETSAT nazvaného IJPS, která navazuje na úspěšnou řadu civilních amerických meteorologických družic s polární drahou, které jsou vypouštěny již od počátku 70. let 20. století (družice NOAA-1 až NOAA-16). Americkým příspěvkem do tohoto projektu jsou družice NOAA-17 až NOAA-19, které byly vypuštěny v letech 2002–2009. Evropským příspěvkem jsou pak družice řady MetOp. Všechny družice v rámci tohoto projektu mají společnou sadu meteorologických přístrojů AMSU-A1/AMSU-A2, HIRS/4, AVHRR/3, MHS. Více o senzorech na družicích NOAA, je uvedeno v kapitole 3.1.1.2 EPS. [3]

POES (*Polar Operational Environmental Satellite*) je americká část společného projektu organizací NOAA a EUMETSAT nazvaného IJPS, která navazuje na úspěšnou řadu civilních amerických meteorologických družic s polární drahou, které jsou vypouštěny již od počátku 70. let 20. století (družice NOAA-1 až NOAA-16). Americkým příspěvkem do tohoto projektu jsou družice NOAA-17 až NOAA-19, které byly vypuštěny v letech 2002–2009. Evropským příspěvkem jsou pak družice řady MetOp. Všechny družice v rámci tohoto projektu mají společnou sadu meteorologických přístrojů AMSU-A1/AMSU-A2, HIRS/4, AVHRR/3, MHS. Více o senzorech na družicích NOAA, je uvedeno v kapitole 3.1.1.2 EPS. [3]

3.1.2.4 JPSS

Obr. 7 JPSS

© NOAA



JPSS je plánovaným pokračováním amerických meteorologických a environmentálních družic s polární drahou. Po roce 2017 je plánováno vypuštění dvou družic v rámci tohoto programu, které mají nahradit a sloučit dva výše uvedené americké systémy družic s polární drahou (DMSP a POES) a připojí se tak k evropským družicím MetOp. Překlenovací družicí je Suomi NPP (*Suomi National Polar-orbiting Partnership*) vytvořená v rámci programu NPOESS (*National Polar-orbiting Operational Environmental Satellite System*), která byla vypuštěna v roce 2011. [3]

JPSS je plánovaným pokračováním amerických meteorologických a environmentálních družic s polární drahou. Po roce 2017 je plánováno vypuštění dvou družic v rámci tohoto programu, které mají nahradit a sloučit dva výše uvedené americké systémy družic s polární drahou (DMSP a POES) a připojí se tak k evropským družicím MetOp. Překlenovací družicí je Suomi NPP (*Suomi National Polar-orbiting Partnership*) vytvořená v rámci programu NPOESS (*National Polar-orbiting Operational Environmental Satellite System*), která byla vypuštěna v roce 2011. [3]

3.1.3 Ruské meteorologické družice

3.1.3.1 Meteor

Družice Meteor patří do série meteorologických družic provozovaných od 60. let 20. století. Postupně byly vysílány družice sériových označení Meteor, Meteor-2 (do 2001), Meteor-3 (do 2002), Meteor-3M (do 2009) a Meteor-M.

V současné době jsou provozovány dvě družice sériového označení Meteor-M1 a Meteor-M2. V budoucnu je plánována série tří družic řady Meteor-MP. Jejich přístrojové vybavení má navazovat na předchozí série, půjde pouze o jejich vylepšenou verzi. Vypuštění družic je plánováno po roce 2018. [4]

3.1.3.2 Elektro-L

Obr. 8 Elektro-L

© Roscosmos



Nová generace ruských geostacionárních meteorologických družic je provozovaná organizací Roscosmos (*Russian Federal Space Agency*). První byla vypuštěna v roce 2011. V současnosti je pouze jednou ze tří funkčních ruských meteorologických družic spolu s družicemi Meteor-M1 a M2. [4]

Nová generace ruských geostacionárních meteorologických družic je provozovaná organizací Roscosmos (*Russian Federal Space Agency*). První byla vypuštěna v roce 2011. V současnosti je pouze jednou ze tří funkčních ruských meteorologických družic spolu s družicemi Meteor-M1 a M2. [4]

Tab. 8 Senzor MSU-GS (Elektro-L)

Provozovatel	Roscosmos
Družice	Elektro-L
Senzor	MSU-GS (<i>Multi-band Scanning Instrument</i>)
Typ dat	optická
Typ senzoru	multispektrální
Počet spektrálních pásem	10 (8 VNIR (<i>Visible and Near-InfraRed</i>); 2 TIR)
Prostorové rozlišení	1 km
Záběr senzoru	polokoule
Perioda snímání	30 minut (v případě nutnosti až 10 minut)
Stereosnímky	ne
Možnost programování	ne
Uvedení do provozu	2011
Plánovaná životnost	10 let

3.2 MONITORING PŮDNÍ VLHKOSTI

Data týkající se půdní vlhkosti jsou hojně využívána v kombinaci s daty z meteorologických družic, a to zejména s údaji o obsahu vody v oblacích a srážkách, které lze využít pro podporu krizového řízení, například při predikci povodňových situací, určování čáry rozlivu, predikce sucha a hrozby požárů.

Samotné modelování půdní vlhkosti vyžaduje kromě pořízení a analýzy družicových snímků také funkční model pro zpracování dat a ověření výsledků v terénu.

Pro monitorování vlhkosti půdy (obsahu vody v půdě) jsou hojně využívána především radarová data, někdy doplněna optickými daty. ESA na svých webových stránkách zveřejnila datovou sadu vlhkosti půdy s celosvětovým pokrytím za období 1978–2013. Tato datová sada se skládá ze tří produktů, data z aktivních a pasivních senzorů a sloučená data.

První datová sada (autor – Vienna University of Technology) byla vytvořena na základě měření rozptylu v pásmu C (C-band – 4 až 8 GHz). Data byla sbírána přístroji na družicích ERS-1 a ERS-2 (*European Remote-Sensing Satellite*), přístroje SCAT (*SCATterometer*) a MetOp-A s přístrojem ASCAT.

Druhá datová sada byla vytvořena na základě dat z pasivního pozorování mikrovlnného spektra (autor – Vrije University of Amsterdam ve spolupráci s NASA (*National Aeronautics and Space Administration*)). Data byla shromážděna družicemi Nimbus 7, přístroj SMMR (*Scanning Multichannel Microwave Radiometer*); DMSP, přístroj SSM/I; TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*), přístroj TMI (*TRMM Microwave Imager*) a družicí Aqua, přístroj AMSR-E (*Advanced Microwave Scanning Radiometer – EOS*). [5]

Kromě měření půdní vlhkosti jsou některé z těchto přístrojů určeny především pro globální měření obsahu vody v atmosféře, tj. i měření srážek. Jedná se především o přístroje na družicích DMSP, přístroj SSM/I; TRMM, přístroje PR (*Precipitation Radar*) a TMI; a přístroje nové družice GPM Core Observatory (*Global Precipitation Measurement*), DPR (*Dual-frequency Precipitation Radar*), GMI (*GPM Microwave Imager*). Poslední jmenovaná družice je zároveň základním prvkem souboru družic GPM Constellation, které sledují globální srážky. [6]

Speciální družicí, přímo určenou pro monitoring půdní vlhkosti je družice SMOS (*the Soil Moisture and Ocean Salinity mission*) ze série družic Earth Explorer, které jsou vypouštěny v rámci vědecko-výzkumného programu Living Planet, financovaného ESA. [7]

Mezi hlavní mise přispívající do programu Copernicus, jejichž radarová data lze využít v této problematice, patří družice série Sentinel 1, které navazují na předchozí mise ESA, a to družice ERS-2 (senzor C-band SAR (*Synthetic Aperture Radar*)) a EnviSat (senzor ASAR (*Advanced Synthetic Aperture Radar*)). Dalšími přispívajícími radarovými misemi do programu Copernicus jsou pak kanadská Radarsat-2, německé TerraSAR-X a TanDEM-X, italská série družic Cosmo-SkyMed a série meteorologických družic MetOp.

Mezi důležité plánované družice určené pro mapování půdní vlhkosti patří také družice SMAP (*Soil Moisture Active Passive*).

3.2.1 Seznam misí

Ukončené mise: Nimbus 7 (1978–1987), ERS-1 (1991–2000), ERS-2 (1995–2011), EnviSat (2002–2012)

Současné mise: DMSP (1962–2014), TRMM (1997), Aqua (2002), MetOp-A (2006), Radarsat-2 (2007), TerraSAR-X (2007), SMOS (2009), TanDEM-X (2010), Cosmo-SkyMed 1–4 (2007–2010), MetOp-B (2012), RISAT-1 (2012), Sentinel 1A (2014), GPM (2014), ALOS-2 (2014).

Plánované mise: Paz (2015), SMAP (2015), JPSS (2017), TSX-NG (2017), MetOp-C (2017).

3.2.2 Využitelná data z přístrojů na současných a plánovaných družicích

3.2.2.1 Sentinel 1

Obr. 9 Sentinel 1



© ESA

Družice Sentinel 1A a 1B jsou vyvíjeny v rámci programu Copernicus Radar Mission for Land and Ocean Services.

Projekt zahrnuje dvě družice, obě vybavené přístrojem SAR pracujícím na frekvenci 5,405 GHz. Je určen především pro monitorování mořského ledu a životního prostředí v polárních oblastech, sledování životního prostředí moří a oceánů, monitoring rizik pohybů zemského povrchu, mapování zemského povrchu (především lesních porostů vody a půdy), mapování zemědělské činnosti a mapování pro účely podpory humanitární pomoci v krizových situacích. [8]

Tab. 9 Senzor C-band SAR (Sentinel 1)

Provozovatel	ESA
Družice	Sentinel 1
Senzor	C-band SAR
Typ dat	radarová
Typ senzoru	jednofrekvenční
Počet spektrálních pásem	1 (5,404 GHz)
Prostorové rozlišení	5–40 m
Záběr senzoru	20–400 km
Perioda snímání	12 dní každá družice; 2 dny Evropa a Kanada; 6 dní celý svět
Interferometrie	ano
Možnost programování	ano
Uvedení do provozu	2014
Plánovaná životnost	7–12 let

3.2.2.2 MetOp

Přístroj nové generace ASCAT, který nesou družice MetOp, je určen primárně pro získávání informací o vzdušném proudění, které mají sloužit především k předpovědi počasí a výzkumu klimatu. Data z tohoto senzoru však naleznou uplatnění i v jiných aplikacích, jako je monitorování pevninského i mořského ledu, sněhové pokrývky a vlhkosti půdy.

Družice se pohybují po polární dráze ve výšce 800 km. Dvě sady tří antén přístroje ASCAT umožňují současné pořizování dvou záběrů, což přispívá nejen k vyššímu pokrytí, ale také k lepšímu rozlišení pořizovaných dat oproti předchůdcům (ERS-1 a ERS-2, přístroj SCAT). Přístroj pracuje na stejné frekvenci jako jeho předchůdce SCAT. Jako doplňková data pro určování vlhkosti půdy lze využít i údaje ze senzorů AMSU-A1/A2 a HIRS/4, více o těchto senzorech a družicích série MetOp je uvedeno v kapitole 3.1.1.2 EPS. [9]

Tab. 10 Senzor ASCAT (MetOp)

Provozovatel	EUMETSAT
Družice	MetOp-A až MetOp-C
Senzor	ASCAT
Typ dat	radarová
Typ senzoru	jednofrekvenční
Počet spektrálních pásem	1 (5,255 GHz)
Prostorové rozlišení	50 km (zkušební 25 km)
Záběr senzoru	2x500 km (oba záběry mají odklon 384 km od osy)
Perioda snímání	5 dní
Interferometrie	–
Možnost programování	ne
Uvedení do provozu	od 2006
Plánovaná životnost	5 let

3.2.2.3 Radarsat-2

Obr. 10 Radarsat-2



© CSA

Družice Radarsat-2, provozovaná Kanadskou kosmickou agenturou (CSA – Canadian Space Agency), pořizuje radarová data ve

vyšším rozlišení. Tato data jsou distribuována jako komerční produkt. Jednou z mnoha aplikací těchto dat je zjišťování stavu půdy a plodin na ní pěstovaných. Kromě jiného se tato data využívají také k monitoringu ledu a vodstva a dále také v zemědělství, lesnictví, geologii a při krizovém řízení. [10]

Tab. 11 Senzor SAR (Radarsat-2)

Provozovatel	CSA
Družice	Radarsat-2
Senzor	SAR
Typ dat	radarová
Typ senzoru	jednofrekvenční
Počet spektrálních pásem	1 (5,405 GHz)
Prostorové rozlišení	3–100 m
Záběr senzoru	18–500 km
Perioda snímání	12 dní
Interferometrie	–
Možnost programování	ano
Uvedení do provozu	2007
Plánovaná životnost	7 let

3.2.2.4 TerraSAR-X

Obr. 11 TerraSAR-X a TanDEM-X



© Airbus Defence & Space

Komerční radarová data nabízí i společnost Airbus Defence & Space, která provozuje dvě radarové družice, TerraSAR-X a TanDEM-X, obě

tyto družice pořizují data ve spektrálním pásmu X (8 – 12,5 GHz). Tato data jsou hojně využívána pro tvorbu výškových modelů, topografické mapování, ale také pro mapování stavu půdy a stavu pokryvu Země. Po roce 2017 je plánována nová generace družic označená TSX-NG (*TerraSAR-X – Next Generation*) a na rok 2015 je také plánováno vypuštění španělské družice Paz, která bude vycházet z konstrukce družice TerraSAR-X. [11]

Tab. 12 Senzor SAR-X (TerraSAR-X)

Provozovatel	Airbus Defence & Space
Družice	TerraSAR-X
Senzor	SAR-X
Typ dat	radarová
Typ senzoru	jednofrekvenční
Počet spektrálních pásem	1 (9,65 GHz)
Prostorové rozlišení	1; 3; 16 m
Záběr senzoru	5x10 km
Perioda snímání	11 dní
Interferometrie	ano
Možnost programování	ano
Uvedení do provozu	2007
Plánovaná životnost	5 let

3.2.2.5 TanDEM-X

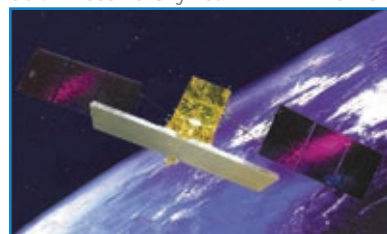
Družice TanDEM-X je doplňkem sesterské družice TerraSAR-X a byla vypuštěna zejména kvůli zvýšení časové dostupnosti dat a tvorbě stereoskopických snímků. [11]

Tab. 13 Senzor SAR-X (TanDEM-X)

Provozovatel	Airbus Defence & Space
Družice	TanDEM-X
Senzor	SAR-X
Typ dat	radarová
Typ senzoru	jednofrekvenční
Počet spektrálních pásem	1 (9,65 GHz)
Prostorové rozlišení	1; 3; 16 m
Záběr senzoru	5x10 km
Perioda snímání	3 dny
Interferometrie	ano
Možnost programování	ano
Uvedení do provozu	2010
Plánovaná životnost	5 let

3.2.2.6 Cosmo-SkyMed

Obr. 12 Cosmo-SkyMed



© ASI

Série italských družic Cosmo-SkyMed byla vypuštěna v letech 2007–2010. Každá z těchto družic je vybavena radarem pracujícím

v pásmu X. Projekt je napůl civilní, napůl vojenský a jeho hlavním účelem je průzkum, zpravodajství, odhad škod z povodní, sucha, lesních požárů aj. [12]

Tab. 14 Senzor SAR 2000 (Cosmo-SkyMed)

Provozovatel	ASI (Agenzia Spaziale Italiana)
Družice	Cosmo-SkyMed

Senzor	SAR 2000
Typ dat	radarová
Typ senzoru	jednofrekvenční
Počet spektrálních pásem	1 (9,6 GHz)
Prostorové rozlišení	1; 3; 15; 30; 100 m
Záběr senzoru	max. 200 km
Perioda snímání	16 dní (každá družice)
Interferometrie	ano
Možnost programování	ano
Uvedení do provozu	2007–2010
Plánovaná životnost	7 let

3.2.2.7 Aqua

Obr. 13 Aqua

© NASA



Družice Aqua se pohybuje na slunečně-synchronní dráze a je součástí konstelace družic nazvané A-Train (*Afternoon Train*). Do

této skupiny patří také družice CloudSat, CALIPSO (*Cloud-Aerosol Lidar and Infrared Pathfinder Satellite Observation*), Aura, PARASOL (*Polarization and Anisotropy of Reflectances for Atmospheric Science coupled with Observations from a Lidar*) – odstavná, GCOM-W1 (*Shizuku; the Global Change Observation Mission – Water*) a OCO-2 (*Orbiting Carbon Observatory*). Název této skupiny je odvozen od toho, že se družice pohybují po společné polární dráze a okolo 12:30 místního času postupně přecházejí přes rovník. Hlavním účelem této konstelace je sběr dat z různých senzorů na stejném místě během krátkého časového úseku.

Primárním účelem družice Aqua, která je vybavena celkem šesti přístroji, je studium srážek, výparu a koloběhu vody. Důležitým přístrojem pro sledování půdní vlhkosti je AMSR-E, který je určen pro měření srážek, obsahu vody v oblacích, obsahu vodní páry, mořského povrchového větru, teploty povrchu moře, ledu, sněhu a vlhkosti půdy. Tento přístroj navazuje na své předchůdce, kterými jsou SMMR z družic Nimbus 7 a Seasat, SSM/I z družice DMSP a AMSR (*Advanced Microwave Scanning Radiometer*) z družice ADEOS II (*Advanced Earth Observing Satellite*). [13]

Tab. 15 Senzor AMSR-E (Aqua)

Provozovatel	NASA
Družice	Aqua
Senzor	AMSR-E
Typ dat	radarová

Typ senzoru	12 – kanálů; 6 – frekvencí; dvě polarizace
Počet spektrálních pásem	6 (6,925; 10,65; 18,7; 23,8; 36,5; 89,0 GHz)
Prostorové rozlišení	6x4 km (89,0 GHz); 14x8 km (36,5 GHz); 32x18 km (23,8 GHz); 27x16 km (18,7 GHz); 51x29 km (10,65 GHz); 75x43 km (6,925 GHz)
Záběr senzoru	1445 km
Perioda snímání	1–2 dny
Interferometrie	–
Možnost programování	–
Uvedení do provozu	2002
Plánovaná životnost	6 let

3.2.2.8 SMOS

Obr. 14 SMOS

© ESA



Družice SMOS, je určena ke dvěma hlavním úkolům a jedním z nich je i měření půdní vlhkosti. Tato veličina je obvykle udávána

v procentech. Její přístroj MIRAS (*Microwave Imaging Radiometer using Aperture Synthesis*) dokáže měřit půdní vlhkost již od 4 %. [14]

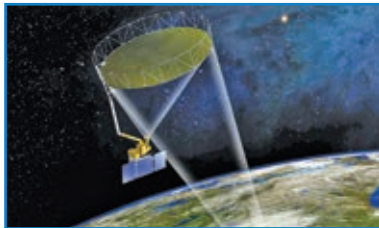
Tab. 16 Senzor MIRAS (SMOS)

Provozovatel	ESA
Družice	SMOS
Senzor	MIRAS
Typ dat	radarová
Typ senzoru	jednofrekvenční
Počet spektrálních pásem	1 (1,400–1,427 GHz)
Prostorové rozlišení	35–50 km
Záběr senzoru	cca 1000 km
Perioda snímání	1–3 dny
Interferometrie	–
Možnost programování	–
Uvedení do provozu	2009
Plánovaná životnost	3 roky

3.2.2.9 SMAP

Obr. 15 SMAP

© NASA



Družice SMAP je určena především k mapování půdní vlhkosti a určování jejího stavu (zmrzlá / rozmrzlá). Tato měření mají sloužit zejména k porozumění cyklu vody, energie a uh-

líku a k rozšíření možností modelů pro předpověď počasí a modelů klimatu. Hlavními přístroji družice jsou radiometr a SAR. [15]

Tab. 17 Senzor L-band Radiometer (SMAP)

Provozovatel	NASA
Družice	SMAP
Senzor	L-band Radiometer
Typ dat	radarová
Typ senzoru	jednofrekvenční
Počet spektrálních pásem	1 (1,41 GHz)
Prostorové rozlišení	39x47 km
Záběr senzoru	cca 1000 km
Perioda snímání	3 dny – rovníkové oblasti; 2 dny oblasti > 45°s.š.
Interferometrie	–
Možnost programování	–
Uvedení do provozu	2015
Plánovaná životnost	3 roky

Tab. 18 Senzor SAR (SMAP)

Provozovatel	NASA
Družice	SMAP
Senzor	SAR
Typ dat	radarová
Typ senzoru	jednofrekvenční
Počet spektrálních pásem	1 (1,26 GHz)
Prostorové rozlišení	1–3 km
Záběr senzoru	cca 1000 km
Perioda snímání	3 dny – rovníkové oblasti; 2 dny oblasti > 45°s.š.
Interferometrie	–
Možnost programování	–
Uvedení do provozu	2015
Plánovaná životnost	3 roky

3.2.2.10 RISAT-1 a RISAT-2

Družiči RISAT-1 (*Radar Imaging SATellite*) s radarovým přístrojem, která je určena zejména pro využití při krizovém řízení, mapování povodní, v zemědělství, lesnictví aj., vypustila ISRO (*Indian Space Research Organisation*) v rámci programu IRS (*Indian Remote Sensing*). RISAT-1 je jednou ze dvou družic s radarovým přístrojem, vypuštěných v rámci tohoto programu. Druhou radarovou družicí v programu IRS je RISAT-2, zatímco první z družic pracuje v pásmu C, senzor družice RISAT-2 pracuje v pásmu X a jejím hlavním účelem je kontrola hranic Indie a státní bezpečnost (monitoring lodí, protiteroristické operace aj.). [16]

Tab. 19 Senzor SAR (RISAT-1)

Provozovatel	ISRO
Družice	RISAT-1
Senzor	SAR
Typ dat	radarová
Typ senzoru	jednofrekvenční
Počet spektrálních pásem	1 (5,350 GHz)
Prostorové rozlišení	1–50 km
Záběr senzoru	10–240 km
Perioda snímání	25 dní
Interferometrie	ano
Možnost programování	ano
Uvedení do provozu	2012
Plánovaná životnost	5 let

3.2.2.11 ALOS-2

Obr. 16 ALOS-2



© JAXA

JAXA (*Japan Aerospace eXploration Agency*) vypustila družici ALOS (*Advanced Land Observing Satellite*) za účelem mapování

zemského povrchu a zvládnání přírodních katastrof. První z družic obsahovala jak optické přístroje, tak i jeden radarový. V roce 2014 byla vypuštěna družice ALOS-2, která je navazujícím projektem, avšak z důvodu úsporných opatření obsahuje pouze radarový přístroj PALSAR-2 (*Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar*). [36]

Tab. 20 Senzor PALSAR-2 (ALOS-2)

Provozovatel	JAXA
Družice	ALOS-2
Senzor	PALSAR-2
Typ dat	radarová
Typ senzoru	jednofrekvenční
Počet spektrálních pásem	1 (pásmo L – 1,2 GHz)
Prostorové rozlišení	1–10 m
Záběr senzoru	25–490 km
Perioda snímání	–
Interferometrie	–
Možnost programování	–
Uvedení do provozu	2014
Plánovaná životnost	5 let

3.3 MONITORING KVALITY OVZDUŠÍ

Pro monitoring kvality ovzduší, tvorbu modelů vývoje znečištění a jeho predikci je v dnešní době dostupné již velké množství družicových dat. Mezi hlavní zdroje lze zařadit jak přístroje na meteorologických družicích, tak přístroje umístěné na družicích vypouštěných v rámci vědeckých misí.

Příkladem modelování znečištění ovzduší může být služba poskytovaná pro mapovou aplikaci města Ottawa (viz obr. níže). [17]

Obr. 17 Mapová aplikace monitorování kvality ovzduší ve městě Ottawa



Příkladem meteorologických družic vhodných pro tento účel jsou družice ze systému POES (družice NOAA) a evropské družice Meteosat a MetOp. Základními meteorologickými přístroji na těchto družicích, které lze k tomuto účelu využít, jsou přístroje SEVIRI, AVHRR, AMSU-A1/A2, HIRS/4 a MHS popsané v kapitole 3.1.1.1 Meteosat a 3.1.1.2 EPS. [4]

Mise specializované na monitoring kvality ovzduší staví zejména na odkazu přístrojů z družic EnviSat, přístroj SCIAMACHY (*SCanning Imaging Absorption spectroMeter for Atmospheric CartographY*) a ERS-2, přístroj GOME. V současnosti tato data dodávají zejména družice Aura, přístroj OMI (*Ozone Monitoring Instrument*) a meteorologické družice MetOp-A a MetOp-B nesoucí vědecký přístroj na monitoring kvality ovzduší GOME-2. Stejným přístrojem má být vybavena i sesterská družice MetOp-C.

V rámci programu Copernicus mají kontinuitu měření zajistit družice Sentinel, a to konkrétně družice Sentinel 4 s přístrojem UVN, Sentinel 5 – Precursor s přístrojem TROPOMI (*TROPospheric Ozone Monitoring Instrument*) a Sentinel 5 s přístrojem UVNS. Sensory z misí Sentinel 4 a 5 nebudou umís-

těny na samostatných družicích, ale je plánováno jejich využití na družicích MTG respektive MetOp-SG po roce 2020, jak je uvedeno v kapitolách věnujících se těmto systémům (3.1.1.1. Meteosat a 3.1.1.2 EPS). [18]

Hlavními přispívajícími misemi se senzory pro monitoring atmosféry v rámci programu Copernicus jsou výše zmiňované MSG, MetOp a dále také družice CALIPSO a plánovaná francouzsko-německá družice MERLIN (*MEthane Remote sensing LIdar mission*). [18]

Mezi další družice dodávající zajímavá data týkající se kvality ovzduší patří i další družice z konstelace A-Train (více viz kapitola 3.2.2.7 Aqua). [13]

3.3.1 Seznam misí nesoucích vědecké přístroje pro monitoring kvality ovzduší

Ukončené mise: ERS-2 (1995–2011), EnviSat (2002–2012).

Současné mise: Terra (1999), Aqua (2002), MSG (2002), Aura (2004), CALIPSO (2006), CloudSat (2006), MetOp-A (2006), GOSAT (2009), GCOM-W1 (2012), MetOp-B (2012), Kanopus-V (2012), OCO-2 (2014).

Plánované mise: Sentinel 5 – Precursor (2016), MetOp-C (2017), MTG (2018), Sentinel 4 (2018), MERLIN (2019), MetOp-SG (2020), Sentinel 5 (2020).

Související meteorologické mise: POES (družice série NOAA) (2002), JPSS (2017).

3.3.2 Využitelná data z přístrojů na současných a plánovaných družicích

3.3.2.1 Sentinel 5 – Precursor

Obr. 18 Sentinel 5 – Precursor © ESA



Družice je připravována v rámci programu Copernicus Low Earth Orbit Atmosphere Mission. Z hlediska přístrojového vybavení by měla

překlenout mezeru mezi senzory na družicích EnviSat/Aura a Sentinel 5, jejíž start je prozatím plánován na rok 2020. Bude provádět chemické měření částic atmosféry, ve vysokém časovém a prostoro-ovém rozlišení. Se zvýšenou frekvencí bude získávat data o změnách v troposféře, především bude měřit koncentrace O_3 , NO_2 , SO_2 , BrO, formaldehydu

a aerosolů. Přístroj bude také měřit v pásmech NIR (*Near-InfraRed*) a SWIR (*ShortWave InfraRed*), která jsou určena především pro detekci oblačnosti, měření výškového rozsahu aerosolů a detekci CO₂ a CH₄.

Hlavním přístrojovým vybavením družice, jejíž start je plánován na rok 2016, bude spektrometr TROPOMI. [19]

Tab. 21 Senzor TROPOMI (Sentinel 5 – Precursor)

Provozovatel	ESA
Družice	Sentinel 5 – Precursor
Senzor	TROPOMI
Typ dat	optická
Typ senzoru	multispektrální
Počet spektrálních pásem	5 pásem (270–495 nm; 710–775 nm; 2314–2382 nm)
Prostorové rozlišení	7x7 km
Záběr senzoru	2700 km
Perioda snímání	1 den
Stereosnímky	ne
Možnost programování	ne
Uvedení do provozu	2016
Plánovaná životnost	7 let

3.3.2.2 MTG a Sentinel 4

Po roce 2018 je plánováno vypuštění první z družic MTG, která by měla obsahovat kromě standardních meteorologických přístrojů také vědecký přístroj UVN, který je vyvíjen v rámci mise Sentinel 4 (samostatná družice Sentinel 4 není nyní v plánu). Ten má pracovat v ultrafialové (305–400 nm), viditelné (400–500 nm) a blízké infračervené (750–775 nm) oblasti spektra. Prostorové rozlišení bude 8 km a spektrální rozlišení mezi 0,12 nm a 0,5 nm v závislosti na spektrálním kanálu. Přístroj je určen pro monitorování vybraných chemických látek v atmosféře ve vysokém časovém a prostorovém rozlišení. Bude měřit především koncentrace O₃, NO₂, SO₂, formaldehydu a aerosolů. Data budou generována přibližně každou hodinu. [19]

Tab. 22 Senzor UVN (MTG, Sentinel 4)

Provozovatel	EUMETSAT, ESA
Družice	MTG, Sentinel 4
Senzor	UVN
Typ dat	optická
Typ senzoru	multispektrální
Počet spektrálních pásem	3 (UV (<i>UltraViolet</i>) 305–400 nm; VIS 400–500 nm; NIR 750–775 nm)
Prostorové rozlišení	8 km
Záběr senzoru	Evropa a severní Afrika
Perioda snímání	60 minut (výhledově 30 minut)

Stereosnímky	ne
Možnost programování	ne
Uvedení do provozu	po 2018
Plánovaná životnost	7–12 let

3.3.2.3 MetOp a Sentinel 5

Tato série meteorologických družic provozovaných organizací EUMETSAT nese kromě standardních meteorologických přístrojů i přístroj GOME-2. Data z tohoto přístroje slouží především k určování obsahu troposférického O₃ a jeho vertikálního rozložení, dále také slouží pro určování obsahu NO₂, SO₂, vodní páry, O₂, BrO, a jiných stopových plynů, ale také aerosolů.

Druhá generace meteorologických družic MetOp-SG má kromě meteorologických přístrojů obsahovat i přístroj UVNS, který má navazovat zejména na přístroje GOME-2 z předchozí generace družic MetOp a na misi Sentinel 5 – Precursor (TROPOMI) a MTG (Sentinel 4 – UVN). [19]

Tab. 23 Senzor GOME-2 (MetOp)

Provozovatel	EUMETSAT
Družice	MetOp-A až MetOp-C
Senzor	GOME-2
Typ dat	optická
Typ senzoru	multispektrální
Počet spektrálních pásem	5 spektrálních pásem; rozsah 240–790 nm; spektrální rozlišení 0,2–0,4 nm
Prostorové rozlišení	80x40 km
Záběr senzoru	120–1920 km
Perioda snímání	1,5 dne
Stereosnímky	ne
Možnost programování	ne
Uvedení do provozu	2006, 2012, 2017
Plánovaná životnost	7 let

Tab. 24 Senzor UVNS (MetOp-SG, Sentinel 5)

Provozovatel	EUMETSAT
Družice	MetOp-SG (Sentinel 5)
Senzor	UVNS
Typ dat	optická
Typ senzoru	multispektrální
Počet spektrálních pásem	7 (UV1 300–1270 nm; UV2 400–2300 nm; VIS 400–500 nm; NIR 710–775 nm; SWIR-1 1593–1672 nm; SWIR-2 1940–2030 nm; SWIR-3 2305–2385 nm)
Prostorové rozlišení	5–15 km
Záběr senzoru	polokoule
Perioda snímání	1,5 dne

Stereosnímky	ne
Možnost programování	ne
Uvedení do provozu	2020 a 2026
Plánovaná životnost	7 let

3.3.2.4 Cloudsat a CALIPSO

Obr. 19 CALIPSO

© NASA



V roce 2006 byly vypuštěny v programu EOS (*Earth Observing System*) dvě družice CloudSat a CALIPSO, které se zařadily do

konstelace družic A-Train (více viz kapitola 3.2.2.7 Aqua). Primárním účelem těchto družic je sledování oblačnosti a aerosolů a výzkum jejich vlivu na počasí a globální klima. [20] [21]

Tab. 25 Senzor CPR (CloudSat)

Provozovatel	NASA
Družice	CloudSat
Senzor	CPR (<i>Cloud Profiling Radar</i>)
Typ dat	radarová
Typ senzoru	jednofrekvenční
Počet spektrálních pásem	1 (94,05 GHz)
Prostorové rozlišení	1,4x3,5 km; 500 m vertikálně
Záběr senzoru	100 km
Perioda snímání	16 dní
Interferometrie	ne
Možnost programování	ne
Uvedení do provozu	2006
Plánovaná životnost	3 roky

Tab. 26 Senzor CALIOP (CALIPSO)

Provozovatel	NASA
Družice	CALIPSO
Senzor	CALIOP (<i>Cloud-Aerosol Lidar with Orthogonal Polarisation</i>)
Typ dat	–
Typ senzoru	lidar
Počet spektrálních pásem	2 (532 a 1064 nm)
Prostorové rozlišení	70 m v intervalech 333 m; 30 m vertikálně
Záběr senzoru	70 m
Perioda snímání	16 dní
Interferometrie	ne
Možnost programování	ne
Uvedení do provozu	2006
Plánovaná životnost	3 roky

3.3.2.5 MERLIN

MERLIN je německo-francouzský projekt vyvíjený ve spolupráci CNES (*Centre National d'Etudes Spatiales*) a DLR (*Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt*) a je určený pro měření atmosférické koncentrace CH_4 v nižších vrstvách atmosféry za pomoci laseru IPDA LIDAR (*Integrated Path Differential Absorption Light Detection And Ranging instrument*). [22]

Tab. 27 Senzor IPDA LIDAR (MERLIN)

Provozovatel	CNES, DLR
Družice	MERLIN
Senzor	IPDA LIDAR
Typ dat	–
Typ senzoru	lidar
Počet spektrálních pásem	1 (1645 nm)
Prostorové rozlišení	50 x 0,1 km
Záběr senzoru	100 m
Perioda snímání	28 dní
Interferometrie	ne
Možnost programování	ne
Uvedení do provozu	2019
Plánovaná životnost	3 roky

3.3.2.6 Aura

Obr. 20 EOS – Aura

© NASA



Aura je americkou vědeckou družicí ze série EOS určenou pro pozorování atmosféry. Řadí se mezi družice skupiny A-Train

(více viz kapitola 3.2.2.7 Aqua). Její přístroj OMI navazuje na měření svých předchůdců, přístroje GOME a TOMS (*Total Ozone Mapping Spectrometer*). OMI je klíčový přístroj pro sledování obnovy ozónové vrstvy a sledování CFC (chlór-fluorované uhlovodíky) v atmosféře. Využíván je také pro monitorování znečištění atmosféry plyny jako jsou O_3 , NO_2 , SO_2 a aerosoly, popelem a prachem z vulkanických erupcí. Dále je také využíván pro monitoring BrO, formaldehydu a OClO (oxid chloričitý) ve stratosféře a troposféře. [23]

Tab. 28 Senzor OMI (Aura)

Provozovatel	NASA
Družice	Aura
Senzor	OMI
Typ dat	optická
Typ senzoru	multispektrální

Počet spektrálních pásem	3 (270–214 nm; 306–380 nm; 350–500 nm)
Prostorové rozlišení	13x24 km
Záběr senzoru	2600 km
Perioda snímání	1 hodina na osvětlené straně Země
Stereosnímky	ne
Možnost programování	ne
Uvedení do provozu	2004
Plánovaná životnost	5 let

3.3.2.7 Terra

Obr. 21 EOS – Terra



© NASA

Terra je družice ze série EOS určená k pozorování životního prostředí, klimatických změn a znečištění ovzduší. Obsahuje 5 senzorů, senzor MODIS (*MODerate-resolution Imaging Spectroradiometer*) je nástupcem AVHRR radiometru družice NOAA použitý zároveň i u družice Aqua. [13] [24]

hruje 5 senzorů, senzor MODIS (*MODerate-resolution Imaging Spectroradiometer*) je nástupcem AVHRR radiometru družice NOAA použitý zároveň i u družice Aqua. [13] [24]

Přístrojové vybavení družice Terra:

- ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*)
- CERES (*Clouds and the Earth's Radiant Energy System*)
- MISR (*Multi-angle Imaging SpectroRadiometer*)
- MODIS
- MOPITT (*Measurements Of Pollution In The Troposphere*)

Tab. 29 Senzor ASTER (Terra)

Provozovatel	NASA
Družice	Terra
Senzor	ASTER
Typ dat	optická
Typ senzoru	multispektrální
Počet spektrálních pásem	14
Prostorové rozlišení	VNIR – 15 m; SWIR – 30 m; TIR – 90 m
Záběr senzoru	60x60 km
Perioda snímání	16 dní
Stereosnímky	ano
Možnost programování	ano
Uvedení do provozu	1999
Plánovaná životnost	6 let

Tab. 30 Senzor MODIS (Terra, Aqua)

Provozovatel	NASA
Družice	Terra, Aqua
Senzor	MODIS

Typ dat	optická
Typ senzoru	multispektrální
Počet spektrálních pásem	36
Prostorové rozlišení	250–1000 m
Záběr senzoru	2330 km
Perioda snímání	1–16 dní
Stereosnímky	–
Možnost programování	–
Uvedení do provozu	1999 (2002)
Plánovaná životnost	6 let

3.3.2.8 OCO-2

Obr. 22 OCO-2



© NASA

Tato družice byla vypuštěna v rámci programu EOS jako náhrada za družici OCO, která byla zničena v roce 2009 při neúspěšném startu, a zařadí se do konstelace družic A-Train (více viz kapitola 3.2.2.7 Aqua). Jejím hlavním cílem je pozorování cyklu CO₂ v atmosféře, sledování jeho prostorového i sezónního rozložení a určení zdrojů jak přírodních, tak vytvořených lidmi. [25]

startu, a zařadí se do konstelace družic A-Train (více viz kapitola 3.2.2.7 Aqua). Jejím hlavním cílem je pozorování cyklu CO₂ v atmosféře, sledování jeho prostorového i sezónního rozložení a určení zdrojů jak přírodních, tak vytvořených lidmi. [25]

Tab. 31 Senzor OCO-2 (OCO-2)

Provozovatel	NASA
Družice	OCO-2
Senzor	OCO-2
Typ dat	optická
Typ senzoru	multispektrální
Počet spektrálních pásem	3 (NIR – 760 nm; SWIR – 1610 nm; 2060 nm)
Prostorové rozlišení	1,29x2,25 km
Záběr senzoru	10 km
Perioda snímání	globální pokrytí – 1 měsíc
Stereosnímky	ne
Možnost programování	ne
Uvedení do provozu	2014
Plánovaná životnost	3 roky

3.3.2.9 Kanopus-V

Obr. 23 Kanopus-V



© Roscosmos

Ruská environmentální družice Kanopus-V (*Kanopus - Vulkan*) je určena pro monitorování znečištění, lesních požárů aj. Je první ze série družic Kanopus a byla vypuštěna

Je první ze série družic Kanopus a byla vypuštěna

v červenci 2012. Plánováno je celkem šest družic v této sérii. Druhou má být družice Kanopus-V-IK 1 (*Kanopus – Vulkan Infrakrasny*) doplněná o senzor pro snímání v infračervené části spektra. Tato družice má být uvedena do provozu v roce 2015. [4]

Tab. 32 Senzor PSS (Kanopus-V)

Provozovatel	Roscosmos
Družice	Kanopus-V
Senzor	PSS (Panchromatic Imaging System)
Typ dat	optická
Typ senzoru	panchromatický
Počet spektrálních pásem	1 (0,5–0,8 μm)
Prostorové rozlišení	2,5 m
Záběr senzoru	20 km
Perioda snímání	–
Stereosnímky	–
Možnost programování	–
Uvedení do provozu	2012
Plánovaná životnost	5 let

Tab. 33 Senzor MSS (Kanopus-V)

Provozovatel	Roscosmos
Družice	Kanopus-V
Senzor	MSS (MultiSpectral Imaging System)
Typ dat	optická
Typ senzoru	multispektrální
Počet spektrálních pásem	4 (0,5–0,9 μm)
Prostorové rozlišení	12 m
Záběr senzoru	20 km
Perioda snímání	17 dní
Stereosnímky	–
Možnost programování	–
Uvedení do provozu	2012
Plánovaná životnost	5 let

Tab. 34 Senzor MSU-200 (Kanopus-V)

Provozovatel	Roscosmos
Družice	Kanopus-V
Senzor	MSU-200 (Multispectral Scanner Unit)
Typ dat	optická
Typ senzoru	multispektrální
Počet spektrálních pásem	0,54–0,86 μm
Prostorové rozlišení	25 m
Záběr senzoru	250 km
Perioda snímání	17 dní
Stereosnímky	–
Možnost programování	–
Uvedení do provozu	2012

Plánovaná životnost	5 let
---------------------	-------

3.3.2.10 GOSAT

Obr. 24 GOSAT

© JAXA

Japonská družice



GOSAT (*Greenhouse Gases Observing Satellite*), byla jednou z prvních družic primárně určenou ke sledování antropogenních

emisí CO₂ a CH₄. Její přístrojové vybavení zahrnuje senzory TANSO-FTS (*Thermal And Near infrared Sensor for carbon Observation – Fourier Transform Spectrometer*) a TANSO-CAI (*Thermal And Near infrared Sensor for carbon Observation – Cloud and Aerosol Imager*). [36]

Tab. 35 Senzor TANSO-FTS (GOSAT)

Provozovatel	JAXA
Družice	GOSAT
Senzor	TANSO-FTS
Typ dat	optická
Typ senzoru	multispektrální
Počet spektrálních pásem	4 (VIS; 2x SWIR; TIR)
Prostorové rozlišení	–
Záběr senzoru	–
Perioda snímání	3 dny
Stereosnímky	–
Možnost programování	–
Uvedení do provozu	2009
Plánovaná životnost	5 let

3.4 KLASIFIKACE ÚZEMÍ NA ZÁKLADĚ MULTISPEKTRÁLNÍCH SNÍMKŮ

Optické multispektrální senzory patří mezi nejběžnější přístroje používané pro DPZ. V rámci programu Copernicus jsou připravovány dvě hlavní mise nesoucí tyto přístroje, a to konkrétně mise Sentinel 2 a 3. Dále existuje mnoho dalších misí s optickými přístroji, přispívajících do tohoto programu, mezi které patří ERS-2, EnviSat, Deimos-2, DMC (*Disaster Monitoring Constellation*), EnMAP (*Environmental Monitoring and Analysis Program*), Pléiades, PRISMA (*PRecursore IperSpettrale della Missione Applicativa*), PROBA-V (*PRoject for OnBoard Autonomy*), RapidEye, SEOSat/Ingenio (*Satélite Español de Observación de la Tierra*), SPOT (*Système Pour l'Observation de la Terre*) a VEN μ S (*Vegetation and Environment Monitoring on a New Micro-Satellite*). Data z těchto přístrojů nalézají uplatnění v mnoha oborech, jako jsou zemědělství, mapování krajinného pokryvu, krizové řízení nebo územní plánování. Tato data obsahují také důležité informace o procesech v biosféře a změnách vegetačního krytu, které mohou například posloužit při identifikaci oblastí sucha a s tím spojené problematiky potravinové bezpečnosti nebo rizika požárů.

Hlavním smyslem klasifikace území za pomoci multispektrálních snímků, kterou by bylo možno využít v rámci definovaných příkladů užití, je právě inventarizace plodin zemědělství, klasifikace vegetace, ale také klasifikace vodních ploch.

Inventarizaci plodin zemědělství je možno využít hned z několika hledisek. Jako primární účel je klasifikace pro potřeby zmiňované potravinové bezpečnosti státu. Kombinace vegetačních indexů spolu s daty o vlhkosti půdy a meteorologickými daty, mohou dát představu o celkové úrodě. Z těchto datových sad lze také určovat suché oblasti, kde je zvýšené riziko požárů. Obdobně lze tato data využít nejen pro zemědělské plodiny, ale pro veškerou vegetaci.

Další možností využití multispektrálních dat v rámci definovaných příkladů užití je vyhledávání kontaminovaných míst respektive určování zasažené vegetace. Na základě multispektrálních dat lze také identifikovat znečištění vod, jednak průmyslovými kontaminanty, ale také eutrofizaci vod v důsledku zemědělské činnosti (změna barevnosti vodních ploch).

3.4.1 Seznam misí

Ukončené mise: Landsat 1–4 (1972–1993), SPOT 1–3 (1986–1997), Kompsat-1 (1999–2008),

ERS-2 (1995–2011), ALOS (2006–2011), EnviSat (2002–2012), Ikonos (1999–2015).

Současné mise: Landsat 5 (1984), SPOT 4 (1998), Landsat 7 (1999), EROS A (2000), PROBA-1 (2001), QuickBird (2001), SPOT 5 (2002), Resourcesat-1 (2003), Beijing-1 (2005), Cartosat-1 (2005), Resurs DK1 (2006), EROS B (2006), KOMPSAT-2 (2006), Cartosat-2 (2007), WorldView-1 (2007), IMS-1 (2008), RapidEye (2008), GeoEye-1 (2008), Cartosat-2A (2008), UK-DMC 2 (2009), WorldView-2 (2009), Cartosat-2B (2010), Deimos-1 (2011), Pléiades 1 (2011), Resourcesat-2 (2011), NigeriaSAT-1 (2011), NigeriaSAT-NX (2011), Pléiades 2 (2012), SPOT 6 (2012), KOMPSAT-3 (2012), PROBA V (2013), Landsat 8 (2013), PRISMA (2013), Resurs-P N1 (2013), Resurs-P N2 (2014), Deimos-2 (2014), SPOT 7 (2014), WorldView-3 (2014).

Plánované mise: Sentinel 2 (2015), SEOSat/Ingenio (2015), WorldView-4 (2016), Sentinel 3 (2016), VEN μ S (2016), PRISMA (2017), EnMAP (2018).

3.4.2 Využitelná data z přístrojů na současných a plánovaných družicích

3.4.2.1 Sentinel 2

Obr. 25 Sentinel 2

© ESA



Vyvíjen v rámci programu Copernicus Optical High Resolution Land Mission. Projekt počítá s dvojicí družic (fázově posunuty

o 180°) pro multispektrální snímání s vysokým prostorovým rozlišením a s větší šířkou záběru. Formát dat bude koncipován tak, aby byla zachována kontinuita (a rozšířeny možnosti) operačního provozu družicových systémů Landsat a SPOT. [26]

Tab. 36 Senzor MSI (Sentinel 2)

Provozovatel	ESA
Družice	Sentinel 2
Senzor	MSI (<i>Multi Spectral Instrument</i>)
Typ dat	optická
Typ senzoru	multispektrální
Počet spektrálních pásem	13 (4 VNIR; 6 SWIR; 3 pro atmosférické korekce); (443–2190 nm)

Prostorové rozlišení	10 m (VNIR); 20 m (SWIR); 60 m (pásma pro atmosférické korekce)
Záběr senzoru	290 km
Perioda snímání	5 dní (souběžný let dvou družic), 2–3 dny v rozšířeném modu
Stereosnímky	–
Možnost programování	ano
Uvedení do provozu	2015
Plánovaná životnost	7–12 let

3.4.2.2 Sentinel 3

Obr. 26 Sentinel 3

© ESA



Tyto družice jsou vyvíjeny v rámci programu Copernicus Medium Resolution Land and Ocean Mission. Projekt je zaměřen na globální monitorování povrchu pevniny a oceánů.

Se dvěma identickými družicemi má pokrýt daty celou Zemi během dvou dnů (zpracovaná data mají být distribuována v časech kratších jak 3 hodiny). V návaznosti na data z přístroje MERIS (*MEdium Resolution Imaging Spectrometer*) z družice EnviSat budou senzory OLCI (*Ocean and Land Colour Instrument*) dodávat barevná obrazová data pro sledování povrchu vodních ploch. A dále v návaznosti na přístroj AATSR (*Advanced Along Track Scanning Radiometer*) z družice EnviSat to budou data z měření povrchové teploty vodních ploch naměřené senzory SLST (*Sea and Land Surface Temperature Instrument*). Družice budou mimo tyto optické přístroje obsahovat i radarový přístroj SRAL (*Sentinel 3 KU/C Radar Altimeter*) určený zejména pro topografické mapování vodních ploch a přístroj MWR (*MicroWave Radiometer*). [27]

Tab. 37 Senzor OLCI (Sentinel 3)

Provozovatel	ESA
Družice	Sentinel 3
Senzor	OLCI
Typ dat	optická
Typ senzoru	multispektrální
Počet spektrálních pásem	21 (400–1020 nm)
Prostorové rozlišení	300 m
Záběr senzoru	1270 km
Perioda snímání	27 dní (opakování cyklu), pokrytí celé Země do dvou dnů se dvěma družicemi
Stereosnímky	–
Možnost programování	ano

Uvedení do provozu	2016
Plánovaná životnost	7–12 let

Tab. 38 Senzor SLST (Sentinel 3)

Provozovatel	ESA
Družice	Sentinel 3
Senzor	SLST
Typ dat	optická
Typ senzoru	multispektrální
Počet spektrálních pásem	9 (550–12000 nm)
Prostorové rozlišení	VIS; SWIR – 500 m; MWIR (<i>MidWave InfraRed</i>); FIR (<i>Far InfraRed</i>) – 1 km
Záběr senzoru	1675/750 km
Perioda snímání	27 dní (konfigurace zahrnuje 2 družice)
Stereosnímky	–
Možnost programování	ano
Uvedení do provozu	2016
Plánovaná životnost	7–12 let

Obr. 27 UK-DMC-2

© ESA



3.4.2.3 DMC

DMC je konstelace mikrodružic sestavených v SSTL (*Surrey Satellite Technology Ltd.*) a jsou koordinovány organizací DMC International Imaging, která je podporována alžírskou, nigerijskou, tureckou, britskou, španělskou a čínskou vládou. Každá z družic je vlastněna a kontrolována jedním ze členů. Konstrukce těchto družic byla vytvářena tak, aby výsledná data byla co nejvíce kompatibilní s daty z družic Landsat, která je zvyklá používat široká veřejnost. První z družic byla vynesena na oběžnou dráhu již v roce 2002. Mezi již vyřazené družice této konstelace patří Alsat-1 (Alžírsko), Bilsat-1 (Turecko), Nigeriasat-1 (Nigérie) a UK-DMC-1 (Spojené království). V současné době je v provozu poslední družice první generace Beijing-1 (Čína) a družice druhé generace, mezi které se řadí UK-DMC-2 (Spojené království), Deimos-1 (španělská komerční družice), NigeriaSAT-2 a NigeriaSAT-X (Nigérie). Zatím posledním přírůstkem do konstelace byla v roce 2014 španělská družice Deimos-2. [28]

Tab. 39 Senzor MSI (Beijing-1)

Provozovatel	DMC International Imaging
Družice	Alsat-1, Bilsat-1, Nigeriasat-1, UK-DMC-1 (všechny mimo provoz) a Beijing-1
Senzor	MSI (<i>MultiSpectral Imager</i>)

Typ dat	optická
Typ senzoru	multispektrální
Počet spektrálních pásem	3
Prostorové rozlišení	32 m
Záběr senzoru	600 km
Perioda snímání	2 dny (každá družice)
Stereosnímky	–
Možnost programování	ano
Uvedení do provozu	2002–2005
Plánovaná životnost	5 let

Tab. 40 Senzor Eastman Kodak KLI-14403 Linear CCD (UK-DMC-2, Deimos-1)

Provozovatel	DMC International Imaging, Deimos Imaging Inc.
Družice	UK-DMC-2, Deimos-1
Senzor	Sensor Eastman Kodak KLI-14403 Linear CCD
Typ dat	optická
Typ senzoru	multispektrální
Počet spektrálních pásem	3
Prostorové rozlišení	22 m
Záběr senzoru	660 km
Perioda snímání	2 dny
Stereosnímky	–
Možnost programování	–
Uvedení do provozu	2009 a 2011
Plánovaná životnost	5 let

Tab. 41 Senzor VHR Sensor (NigeriaSAT)

Provozovatel	DMC International Imaging
Družice	NigeriaSAT-2 a NigeriaSAT-NX
Senzor	VHR Sensor (Very High Resolution Sensor)
Typ dat	optická
Typ senzoru	multispektrální
Počet spektrálních pásem	5 (3 VIS; 1 NIR; 1 PAN (PANchromatic))
Prostorové rozlišení	5 m; 2,5 m PAN
Záběr senzoru	350 km
Perioda snímání	2 dny
Stereosnímky	ano
Možnost programování	ano
Uvedení do provozu	2011
Plánovaná životnost	5 let

Tab. 42 Senzor EOS-D Camera (Deimos-2)

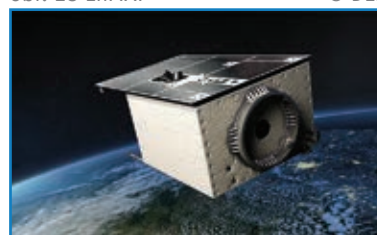
Provozovatel	DMC International Imaging Deimos Imaging Inc.
Družice	Deimos-2
Senzor	EOS-D Camera (Electro-Optical System-D Camera)

Typ dat	optická
Typ senzoru	multispektrální
Počet spektrálních pásem	5 (PAN 450–900 nm; MS1 420–510 nm; MS2 510–580 nm; MS3 600–720 nm; MS4 760–890 nm)
Prostorové rozlišení	PAN 0,75 m; MS 4 m
Záběr senzoru	12/24 km
Perioda snímání	2 dny
Stereosnímky	–
Možnost programování	–
Uvedení do provozu	2014
Plánovaná životnost	7–10 let

3.4.2.4 EnMAP

Obr. 28 EnMAP

© DLR



EnMAP je německá hyperspektrální družice plánovaná na rok 2018. Data z této družice mohou sloužit v mnoha oborech,

jako jsou zemědělství, lesnictví, pedologie, geologie, mapování pobřežních oblastí a vnitrozemských vod. [29]

Tab. 43 Senzor HSI (EnMAP)

Provozovatel	DLR
Družice	EnMAP
Senzor	HSI (HyperSpectral Imager)
Typ dat	optická
Typ senzoru	hyperspektrální
Počet spektrálních pásem	420–2450 nm
Prostorové rozlišení	30 m
Záběr senzoru	30 km
Perioda snímání	4 dny
Stereosnímky	–
Možnost programování	–
Uvedení do provozu	2018
Plánovaná životnost	7 let

3.4.2.5 SPOT

Obr. 29 SPOT5 © Airbus Defence & Space



Hlavním tvůrcem družic série SPOT je CNES, pro distribuci snímků sloužila státem (Francií) kontrolovaná agentura SPOT Image,

kteřá je dnes součástí společnosti Airbus Defence & Space. Přístroje na těchto družicích pracují

v pásmu viditelném a blízkém infračerveném. Data z těchto družic jsou určena především pro monitoring vegetace, vodních ploch, sledování lidských aktivit, studium klimatu a oceánů. Zatím poslední družicí této série je SPOT 7, která byla vypuštěna v roce 2014. [11] [30]

Tab. 44 Senzor HRVIR_MS (SPOT 4)

Provozovatel	Airbus Defence & Space, CNES
Družice	SPOT 4
Senzor	HRVIR_MS (<i>Haute Résolution dans le Visible et l'Infra-Rouge</i>)
Typ dat	optická
Typ senzoru	multispektrální
Počet spektrálních pásem	4
Prostorové rozlišení	20 m
Záběr senzoru	60 km
Perioda snímání	5 dní
Stereosnímky	ano
Možnost programování	ano
Uvedení do provozu	1998
Plánovaná životnost	5 let

Tab. 45 Senzor HRVIR_PAN (SPOT 4)

Provozovatel	Airbus Defence & Space, CNES
Družice	SPOT 4
Senzor	HRVIR_PAN
Typ dat	optická
Typ senzoru	panchromatický
Počet spektrálních pásem	1
Prostorové rozlišení	10 m
Záběr senzoru	60 km
Perioda snímání	5 dní
Stereosnímky	ano
Možnost programování	ano
Uvedení do provozu	1998
Plánovaná životnost	5 let

Tab. 46 Senzor VEGETATION (SPOT 4)

Provozovatel	Airbus Defence & Space, CNES
Družice	SPOT 4
Senzor	VEGETATION
Typ dat	optická
Typ senzoru	multispektrální
Počet spektrálních pásem	4
Prostorové rozlišení	1 km
Záběr senzoru	2250 km
Perioda snímání	1 den
Stereosnímky	ano
Možnost programování	ano
Uvedení do provozu	1998
Plánovaná životnost	5 let

Tab. 47 Senzor HRG_MS (SPOT 5)

Provozovatel	Airbus Defence & Space, CNES
Družice	SPOT 5
Senzor	HRG_MS (<i>Haute Résolution Géométrique</i>)
Typ dat	optická
Typ senzoru	multispektrální
Počet spektrálních pásem	4
Prostorové rozlišení	VNIR – 10 m, SWIR – 20 m
Záběr senzoru	60 km
Perioda snímání	2–3 dny
Stereosnímky	ano
Možnost programování	ano
Uvedení do provozu	2002
Plánovaná životnost	5 let

Tab. 48 Senzor HRG_PAN (SPOT 5)

Provozovatel	Airbus Defence & Space, CNES
Družice	SPOT 5
Senzor	HRG_PAN
Typ dat	optická
Typ senzoru	panchromatický
Počet spektrálních pásem	1
Prostorové rozlišení	5 m (supermode 2,5–3 m)
Záběr senzoru	60 km
Perioda snímání	2–3 dny
Stereosnímky	ano
Možnost programování	ano
Uvedení do provozu	2002
Plánovaná životnost	5 let

Tab. 49 Senzor HRS (SPOT 5)

Provozovatel	Airbus Defence & Space, CNES
Družice	SPOT 5
Senzor	HRS
Typ dat	optická
Typ senzoru	panchromatický
Počet spektrálních pásem	1
Prostorové rozlišení	10 m
Záběr senzoru	120 km
Perioda snímání	2–3 dny
Stereosnímky	ano
Možnost programování	ano
Uvedení do provozu	2002
Plánovaná životnost	5 let

Tab. 50 Senzor VEGETATION 2 (SPOT 5)

Provozovatel	Airbus Defence & Space, CNES
Družice	SPOT 5
Senzor	VEGETATION 2
Typ dat	optická

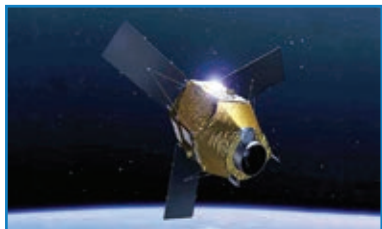
Typ senzoru	multispektrální
Počet spektrálních pásem	4
Prostorové rozlišení	1 km
Záběr senzoru	2250 km
Perioda snímání	1 den
Stereosnímky	ano
Možnost programování	ano
Uvedení do provozu	2002
Plánovaná životnost	5 let

Tab. 51 Senzor HRG (SPOT 6 a 7)

Provozovatel	Airbus Defence & Space, CNES
Družice	SPOT 6 a SPOT 7
Senzor	HRG
Typ dat	optická
Typ senzoru	multispektrální
Počet spektrálních pásem	5 (VIS, NIR, SWIR, PAN)
Prostorové rozlišení	1,5–8 m
Záběr senzoru	60–600 km
Perioda snímání	2–3 dny
Stereosnímky	ano
Možnost programování	ano
Uvedení do provozu	2012 a 2014
Plánovaná životnost	10 let

3.4.2.6 Pléiades

Obr. 30 Pléiades 2



© CNES

Dvojice družic Pléiades 1A a 1B vznikla ve francouzsko-italském programu ORFEO (*Optical & Radar Federated Earth Observati-*

on). Družice mají na půl civilní a vojenský účel. První z družic byla vypuštěna v roce 2011 a druhá v roce 2012. Družice mají přinášet obdobná data jako družice série SPOT s ještě větším rozlišením. [30]

Tab. 52 Senzor Pléiades-HR (Pléiades 1A a 1B)

Provozovatel	CNES
Družice	Pléiades 1A a Pléiades 1B
Senzor	Pléiades-HR (Pléiades High Resolution)
Typ dat	optická
Typ senzoru	multispektrální
Počet spektrálních pásem	5 (VIS, NIR, PAN)
Prostorové rozlišení	PAN – 0,7 m; VNIR – 2,8 m
Záběr senzoru	20 km
Perioda snímání	1 den
Stereosnímky	ano

Možnost programování	ano
Uvedení do provozu	2011 a 2012
Plánovaná životnost	5 let

3.4.2.7 PROBA

Obr. 31 PROBA-1

© ESA



PROBA je první sérií mikro-družic vyvíjených v ESA a je součástí programu MicroSat. V rámci projektu PROBA byly vypuště-

ny 3 družice s pořadovými čísly 1 a 2 a PROBA-V (V = Vegetation), která je pokračováním úspěšného přístroje Vegetation na družicích série SPOT. Pro pozorování povrchu Země je určena především družice PROBA-1. V rámci tohoto projektu má být v roce 2018 vypuštěna ještě další družice, a to PROBA-3 (sesterská družice PROBA-2). [31]

Tab. 53 Senzor CHRIS (PROBA-1)

Provozovatel	ESA
Družice	PROBA-1
Senzor	CHRIS (Compact High Resolution Imaging Spectrometer)
Typ dat	optická
Typ senzoru	hyperspektrální
Počet spektrálních pásem	19 (0,415–1,05 μm)
Prostorové rozlišení	20 m (spektrální rozlišení 0,005–0,012 μm)
Záběr senzoru	14 km
Perioda snímání	7 dní
Stereosnímky	–
Možnost programování	–
Uvedení do provozu	2001
Plánovaná životnost	2 roky

Tab. 54 Senzor HRC (PROBA-1)

Provozovatel	ESA
Družice	PROBA-1
Senzor	HRC (High Resolution Camera)
Typ dat	optická
Typ senzoru	panchromatická
Počet spektrálních pásem	1
Prostorové rozlišení	5 m
Záběr senzoru	13 x 13 km
Perioda snímání	7 dní
Stereosnímky	–
Možnost programování	–
Uvedení do provozu	2001
Plánovaná životnost	1 rok

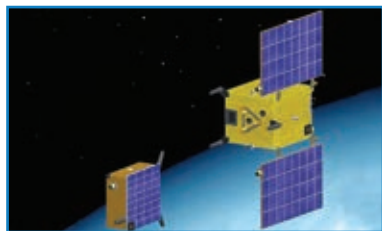
Tab. 55 Senzor HRG (PROBA-V)

Provozovatel	ESA
Družice	PROBA-V
Senzor	HRG
Typ dat	optická
Typ senzoru	multispektrální
Počet spektrálních pásem	3 (VIS 400–750 nm; NIR 750–1300 nm; SWIR 1300–3000 nm)
Prostorové rozlišení	100–350 m
Záběr senzoru	2250 km
Perioda snímání	2 dny
Stereosnímky	–
Možnost programování	–
Uvedení do provozu	2013
Plánovaná životnost	2 roky

3.4.2.8 PRISMA

Obr. 32 PRISMA

© ASI



PRISMA je družice pro pozorování Země s aplikacemi v oblastech krajinného pokryvu, zemědělství, znečištění povrchových vod,

monitoringu pobřeží, uhlíkového cyklu aj. s inovativním elektro-optickým senzorem, který kombinuje hyperspektrální senzor s panchromatickým. [22]

Tab. 56 Senzor PRISMA instrument (PRISMA)

Provozovatel	ASI
Družice	PRISMA
Senzor	PRISMA instrument
Typ dat	optická
Typ senzoru	hyperspektrální
Počet spektrálních pásem	VIS 400–700 nm
Prostorové rozlišení	5 m
Záběr senzoru	30 km
Perioda snímání	29 dní
Stereosnímky	–
Možnost programování	–
Uvedení do provozu	2017
Plánovaná životnost	5 let

3.4.2.9 RapidEye

RapidEye je konstelace pěti identických mikrodružic navržených v SSTL a vyrobených společností MDA (*MacDonald Dettwiler and Associates Ltd.*) pro německý komerční projekt. Všechny pět družic bylo vyneseno na oběžnou dráhu společně v roce 2008. Hlavní oblasti využití, na které jsou data z těchto družic cílena je zemědělství, lesnictví, životní pro-

Obr. 33 RapidEye © BlackBridge AG



středí, krizové řízení, krajinný pokryv, využití území aj. V roce 2014 oznámil provozovatel systému, společnost BlackBridge, vý-

voj druhé generace těchto družic. [32]

Tab. 57 Senzor JSS 56 (RapidEye)

Provozovatel	BlackBridge AG
Družice	RapidEye
Senzor	JSS 56 (Jena Spaceborne Scanner 56)
Typ dat	optická
Typ senzoru	multispektrální
Počet spektrálních pásem	5 (VNIR)
Prostorové rozlišení	5 m
Záběr senzoru	77 km
Perioda snímání	1 den
Stereosnímky	–
Možnost programování	–
Uvedení do provozu	2008
Plánovaná životnost	7 let

3.4.2.10 SEOSat/Ingenio

Obr. 34 SEOSat/Ingenio

© CDTI



Španělská družice navazující na odkaz družic série SPOT má poskytovat doplňkové služby k družicím Sentinel 2. [22]

Tab. 58 Senzor UVAS (SEOSat/Ingenio)

Provozovatel	CDTI (Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial), ESA
Družice	SEOSat/Ingenio
Senzor	UVAS (Ultraviolet Visible and near-infrared Atmospheric Sounder)
Typ dat	optická
Typ senzoru	multispektrální
Počet spektrálních pásem	5 (VIS + NIR 520–670 nm; 410–480 nm; 520–580 nm; 610–670 nm; 790–880 nm)
Prostorové rozlišení	PAN 2,5 m; MS 10 m
Záběr senzoru	55–60 km
Perioda snímání	49 dní
Stereosnímky	–
Možnost programování	–
Uvedení do provozu	2015

Plánovaná životnost	7 let
---------------------	-------

3.4.2.11 VEN μ S

Družice VEN μ S vznikající v rámci izraelsko-francouzské spolupráce bude obsahovat superspektrální senzor pořizující snímky s vysokým rozlišením na předem určených místech po celé Zemi. [22]

Tab. 59 Senzor VSC (VEN μ S)

Provozovatel	CNES, ISA (<i>Israel Space Agency</i>)
Družice	VENμS
Senzor	VSC (<i>VENμS Superspectral Camera</i>)
Typ dat	optická
Typ senzoru	superspektrální
Počet spektrálních pásem	12 (420–910 nm)
Prostorové rozlišení	5,3 m
Záběr senzoru	27 km
Perioda snímání	2 dny
Stereosnímky	–
Možnost programování	ano
Uvedení do provozu	2016
Plánovaná životnost	3 roky

3.4.2.12 Program Landsat

Obr. 35 Landsat 7 © NASA, USGS



První družice v rámci programu Landsat byla vypuštěna již v roce 1972. Data pořizovaná těmito družicemi patří k jedněm z nejvíce

využívaných, a to v širokém spektru oborů jako jsou zemědělství, lesnictví, geologie, hydrologie, kartografie, územní plánování aj. V současné době jsou v provozu družice s pořadovými čísly 5, 7 a 8. První dvě uvedené družice však již dodávají data v omezené kvalitě, a proto byla v roce 2013 v rámci mise LDCM (*Landsat Data Continuity Mission*) vypuštěna družice Landsat 8. Přístroje na všech družicích Landsat jsou obdobné, tak aby bylo možné navázat na dříve získaná data. [33]

Tab. 60 Senzor MSS (Landsat 1 až 5)

Provozovatel	NASA, USGS (<i>United States Geological Survey</i>)
Družice	Landsat 1 až Landsat 5
Senzor	MSS (<i>Multispectral Scanner System</i>)
Typ dat	optická
Typ senzoru	multispektrální

Počet spektrálních pásem	4 (520–600; 630–690; 760–900; 2080–2350 nm)
Prostorové rozlišení	60 m (po převzorkování)
Záběr senzoru	185 km
Perioda snímání	18 dní (Landsat 1–3); 16 dní (Landsat 4 a 5)
Stereosnímky	–
Možnost programování	ne
Uvedení do provozu	od 1972 (Landsat 1–5 již mimo provoz)
Plánovaná životnost	5 let

Tab. 61 Senzor TM (Landsat 4 a 5)

Provozovatel	NASA, USGS
Družice	Landsat 4, Landsat 5
Senzor	TM (<i>Thematic Mapper</i>)
Typ dat	optická
Typ senzoru	multispektrální
Počet spektrálních pásem	7 (450–12500 nm)
Prostorové rozlišení	30 m (termální pásmo – 120 m)
Záběr senzoru	185 km
Perioda snímání	16 dní
Stereosnímky	–
Možnost programování	ano
Uvedení do provozu	1982 a 1984 (Landsat 4 mimo provoz)
Plánovaná životnost	5 let

Tab. 62 Senzor ETM+ (Landsat 7)

Provozovatel	NASA, USGS
Družice	Landsat 7
Senzor	ETM+ (<i>Enhanced Thematic Mapper Plus</i>)
Typ dat	optická
Typ senzoru	multispektrální
Počet spektrálních pásem	8 (450–12500 nm)
Prostorové rozlišení	30 m (termální pásmo – 60 m; PAN – 15 m)
Záběr senzoru	185 km
Perioda snímání	16 dní
Stereosnímky	–
Možnost programování	ano
Uvedení do provozu	1999
Plánovaná životnost	5 let

Tab. 63 Senzor HRMSI (Landsat 7)

Provozovatel	NASA, USGS
Družice	Landsat 7
Senzor	HRMSI (<i>High Resolution MultiSpectral Imager</i>)
Typ dat	optická
Typ senzoru	multispektrální

Počet spektrálních pásem	5 (4 VNIR; 1 PAN)
Prostorové rozlišení	VNIR – 10 m; PAN – 5 m
Záběr senzoru	185 km
Perioda snímání	16 dní
Stereosnímky	ano
Možnost programování	ano
Uvedení do provozu	1999
Plánovaná životnost	5 let

Tab. 64 Senzor OLI (Landsat 8)

Provozovatel	NASA, USGS
Družice	Landsat 8
Senzor	OLI (<i>Operational Land Imager</i>)
Typ dat	optická
Typ senzoru	multispektrální
Počet spektrálních pásem	10 (433–2300 nm); 9 VIS/NIR, 1 PAN
Prostorové rozlišení	30 m; PAN – 15 m
Záběr senzoru	185 km
Perioda snímání	16 dní
Stereosnímky	ano
Možnost programování	ano
Uvedení do provozu	2013
Plánovaná životnost	5 let

Tab. 65 Senzor TIRS (Landsat 8)

Provozovatel	NASA, USGS
Družice	Landsat 8
Senzor	TIRS (<i>Thermal InfraRed Sensor</i>)
Typ dat	optická
Typ senzoru	multispektrální
Počet spektrálních pásem	2 (10,3–11,3 μm ; 11,5–12,5 μm)
Prostorové rozlišení	100 m
Záběr senzoru	185 km
Perioda snímání	16 dní
Stereosnímky	–
Možnost programování	–
Uvedení do provozu	2013
Plánovaná životnost	5 let

3.4.2.13 DigitalGlobe

Obr. 36 QuickBird © DigitalGlobe



DigitalGlobe je soukromá americká společnost produkující snímky Země ve velmi vysokém rozlišení. Mezi její družice patří

QuickBird, WorldView-1 a 2 a nejnovější přírůstek z roku 2014 družice WorldView-3. [34]

Tab. 66 Senzor MS (QuickBird)

Provozovatel	DigitalGlobe
Družice	QuickBird
Senzor	MS (<i>MultiSpectral</i>)
Typ dat	optická
Typ senzoru	multispektrální
Počet spektrálních pásem	4
Prostorové rozlišení	2,4 m
Záběr senzoru	544 km (16,5 km – 1 scéna)
Perioda snímání	1–3,5 dne
Stereosnímky	ano
Možnost programování	ano
Uvedení do provozu	2001
Plánovaná životnost	7 let

Tab. 67 Senzor PAN (QuickBird)

Provozovatel	DigitalGlobe
Družice	QuickBird
Senzor	PAN
Typ dat	optická
Typ senzoru	panchromatický
Počet spektrálních pásem	1
Prostorové rozlišení	0,6 m
Záběr senzoru	544 km (16,5 km – 1 scéna)
Perioda snímání	1–3,5 dne
Stereosnímky	ano
Možnost programování	ano
Uvedení do provozu	2001
Plánovaná životnost	7 let

Tab. 68 Senzor PAN (WorldView-1)

Provozovatel	DigitalGlobe
Družice	WorldView-1
Senzor	PAN
Typ dat	optická
Typ senzoru	panchromatický
Počet spektrálních pásem	1 (0,4–0,9 μm)
Prostorové rozlišení	0,5 m
Záběr senzoru	17,6 km
Perioda snímání	2 dny
Stereosnímky	ano
Možnost programování	ano
Uvedení do provozu	2007
Plánovaná životnost	7 let

Tab. 69 Senzor MS (WorldView-2)

Provozovatel	DigitalGlobe
Družice	WorldView-2
Senzor	MS
Typ dat	optická
Typ senzoru	multispektrální

Počet spektrálních pásem	8
Prostorové rozlišení	1,84 m
Záběr senzoru	16,4 km
Perioda snímání	1 den
Stereosnímky	ano
Možnost programování	ano
Uvedení do provozu	2009
Plánovaná životnost	7 let

Tab. 70 Senzor PAN (WorldView-2)

Provozovatel	DigitalGlobe
Družice	WorldView-2
Senzor	PAN
Typ dat	optická
Typ senzoru	panchromatický
Počet spektrálních pásem	1 (0,45–0,8 μ m)
Prostorové rozlišení	0,5 m
Záběr senzoru	16,4 km
Perioda snímání	1 den
Stereosnímky	ano
Možnost programování	ano
Uvedení do provozu	2009
Plánovaná životnost	7 let

Tab. 71 Senzor SS (WorldView-3)

Provozovatel	DigitalGlobe
Družice	WorldView-3
Senzor	SS (SuperSpectral)
Typ dat	optická
Typ senzoru	multispektrální
Počet spektrálních pásem	17 (1 PAN; 8 VIS; 8 SWIR)
Prostorové rozlišení	PAN – 0,31 m; VIS – 1,3 m; SWIR – 4 m
Záběr senzoru	13,1 km
Perioda snímání	< 1 den
Stereosnímky	ano
Možnost programování	ano
Uvedení do provozu	2014
Plánovaná životnost	7 let

Obr. 37 GeoEye-1

© DigitalGlobe



Společnost DigitalGlobe pak dále provozuje družici GeoEye-1, kterou převzala po sloučení se společností GeoEye v roce 2013.

V roce 2016 má být vypuštěna družice WorldView-4 (GeoEye-2), kterou původně připravovala společnost GeoEye. Do roku 2015 provozovala také družici Ikonos. [34]

Tab. 72 Senzor MS (Ikonos)

Provozovatel	DigitalGlobe
Družice	Ikonos
Senzor	MS
Typ dat	optická
Typ senzoru	multispektrální
Počet spektrálních pásem	4
Prostorové rozlišení	3,2 m
Záběr senzoru	11 km
Perioda snímání	3–5 dní
Stereosnímky	ne
Možnost programování	ano
Uvedení do provozu	1999–2015
Plánovaná životnost	12 let

Tab. 73 Senzor PAN (Ikonos)

Provozovatel	DigitalGlobe
Družice	Ikonos
Senzor	PAN
Typ dat	optická
Typ senzoru	panchromatický
Počet spektrálních pásem	1
Prostorové rozlišení	0,82 m
Záběr senzoru	11,3 km
Perioda snímání	3–5 dní
Stereosnímky	ne
Možnost programování	ano
Uvedení do provozu	1999–2015
Plánovaná životnost	12 let

Tab. 74 Senzor MS (GeoEye-1)

Provozovatel	DigitalGlobe
Družice	GeoEye-1
Senzor	MS
Typ dat	optická
Typ senzoru	multispektrální
Počet spektrálních pásem	4
Prostorové rozlišení	1,65 m
Záběr senzoru	15,2 km
Perioda snímání	3 dny
Stereosnímky	ano
Možnost programování	ano
Uvedení do provozu	2008
Plánovaná životnost	10 let

Tab. 75 Senzor PAN (GeoEye-1)

Provozovatel	DigitalGlobe
Družice	GeoEye-1
Senzor	PAN
Typ dat	optická
Typ senzoru	panchromatický

Počet spektrálních pásem	1
Prostorové rozlišení	0,41 m
Záběr senzoru	15,2 km
Perioda snímání	3 dny
Stereosnímky	ano
Možnost programování	ano
Uvedení do provozu	2008
Plánovaná životnost	10 let

Tab. 76 Senzor MS (WorldView-4)

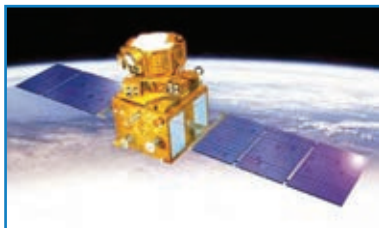
Provozovatel	DigitalGlobe
Družice	WorldView-4 (GeoEye-2)
Senzor	MS
Typ dat	optická
Typ senzoru	multispektrální
Počet spektrálních pásem	4
Prostorové rozlišení	1,36 m
Záběr senzoru	14,5 km
Perioda snímání	3 dny
Stereosnímky	ano
Možnost programování	ano
Uvedení do provozu	2016
Plánovaná životnost	10 let

Tab. 77 Senzor PAN (WorldView-4)

Provozovatel	DigitalGlobe
Družice	WorldView-4 (GeoEye-2)
Senzor	PAN
Typ dat	optická
Typ senzoru	panchromatický
Počet spektrálních pásem	1
Prostorové rozlišení	0,34 m
Záběr senzoru	14,5 km
Perioda snímání	3 dny
Stereosnímky	ano
Možnost programování	ano
Uvedení do provozu	2016
Plánovaná životnost	10 let

3.4.2.14 Indické systémy DPZ

Obr. 38 Resourcesat-1



© ISRO

ISRO vyslala v programu IRS do roku 2015 již 19 družic. Jejich hlavním účelem je poskytování dat DPZ pro Indii. Data

z těchto družic mají široké uplatnění v oborech, jako jsou zemědělství, lesnictví, krizové řízení, územní plánování, hydrologie, kartografie aj. Mezi družice,

kteří v současné době posílají data využitelná v projektu EnviSec, patří Resourcesat-1 a 2, Cartosat-1, 2, 2A, 2B, IMS-1 a RISAT-1 a 2 (poslední dvě uvedené družice nesou radarové přístroje SAR viz kapitola 3.2.2.10 RISAT-1 a RISAT-2). V budoucnu jsou plánovány další družice série Cartosat-2. [16]

Tab. 78 Senzor LISS-4 (Resourcesat-1)

Provozovatel	ISRO
Družice	Resourcesat-1
Senzor	LISS-4 (Linear Imaging Self Scanner)
Typ dat	optická
Typ senzoru	multispektrální
Počet spektrálních pásem	3 (VNIR)
Prostorové rozlišení	5,8 m
Záběr senzoru	23 km
Perioda snímání	5 dní
Stereosnímky	ano
Možnost programování	ano
Uvedení do provozu	2003
Plánovaná životnost	5 let

Tab. 79 Senzor LISS-3 (Resourcesat-1)

Provozovatel	ISRO
Družice	Resourcesat-1
Senzor	LISS-3
Typ dat	optická
Typ senzoru	multispektrální
Počet spektrálních pásem	3 (SWIR)
Prostorové rozlišení	23,5 m
Záběr senzoru	141 km
Perioda snímání	24 dní
Stereosnímky	ne
Možnost programování	ne
Uvedení do provozu	2003
Plánovaná životnost	5 let

Tab. 80 Senzor AWiFS (Resourcesat-1)

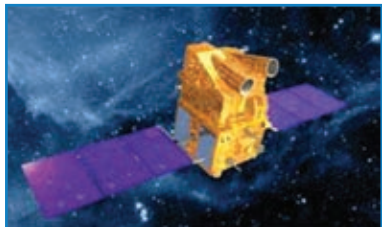
Provozovatel	ISRO
Družice	Resourcesat-1
Senzor	AWiFS (Advanced Wide Field Sensor)
Typ dat	optická
Typ senzoru	multispektrální
Počet spektrálních pásem	3 (VNIR); 1 (SWIR)
Prostorové rozlišení	56 m
Záběr senzoru	740 km
Perioda snímání	5 dní
Stereosnímky	ne
Možnost programování	ne

Uvedení do provozu	2003
Plánovaná životnost	5 let

Družice Resourcesat-2 je pokračováním družice Resourcesat-1 a má i stejné přístrojové vybavení, hlavním vylepšením je zvětšení šíře záběru senzoru LISS-4 na 70 km. Družice byla vypuštěna v roce 2011 a její životnost je plánována na 5 let.

Obr. 39 Cartosat 2B

© ISRO



Další sérií družic v rámci programu IRS jsou družice Cartosat. Nejnovější družicí v této řadě je Cartosat-2B a je

již čtvrtou družicí této řady. Navazuje na družice Cartosat-1, 2, 2A. Jedná se o jejich vylepšenou verzi s lepším prostorovým rozlišením. Mezi stále funkční družice s optickými přístroji v tomto programu patří také družice IMS-1. [16]

Tab. 81 Senzor Panchromatic Camera (Cartosat-2B)

Provozovatel	ISRO
Družice	Cartosat-2B
Senzor	Panchromatic Camera
Typ dat	optická
Typ senzoru	panchromatický
Počet spektrálních pásem	1
Prostorové rozlišení	0,8 m
Záběr senzoru	9,6 km
Perioda snímání	4 dny
Stereosnímky	ano
Možnost programování	ano
Uvedení do provozu	2010
Plánovaná životnost	5 let

Tab. 82 Senzor Mx-T (IMS-1)

Provozovatel	ISRO
Družice	IMS-1 (Indian MicroSatellite)
Senzor	Mx-T (Multispectral Camera)
Typ dat	optická
Typ senzoru	multispektrální
Počet spektrálních pásem	4
Prostorové rozlišení	37 m
Záběr senzoru	151 km
Perioda snímání	24 dní
Stereosnímky	ne
Možnost programování	ne
Uvedení do provozu	2008
Plánovaná životnost	2 roky

Tab. 83 Senzor HySI (IMS-1)

Provozovatel	ISRO
Družice	IMS-1
Senzor	HySI (HyperSpectral Imager)
Typ dat	optická
Typ senzoru	hyperspektrální
Počet spektrálních pásem	64
Prostorové rozlišení	505 m
Záběr senzoru	130 km
Perioda snímání	24 dní
Stereosnímky	ne
Možnost programování	ne
Uvedení do provozu	2008
Plánovaná životnost	2 roky

3.4.2.15 Izraelské systémy DPZ

Obr. 40 EROS B

© ISA



ISA vyslala v rámci svého vesmírného programu dvě družice s optickými přístroji s vysokým rozlišením, EROSA a B.

V sérii družic EROS je plánováno v blízké budoucnosti vypuštění dalších satelitů (EROS C v roce 2018). [35]

Tab. 84 Senzor CCD/TDI (EROS A)

Provozovatel	ISA
Družice	EROS A
Senzor	CCD/TDI (Charge Coupled Device/Time Delay Integration)
Typ dat	optická
Typ senzoru	panchromatický
Počet spektrálních pásem	1 (0,5–0,9 μm)
Prostorové rozlišení	1,8 m
Záběr senzoru	14 km
Perioda snímání	2 dny
Stereosnímky	ano
Možnost programování	ano
Uvedení do provozu	2000
Plánovaná životnost	10 let

Tab. 85 Senzor CCD/TDI (EROS B)

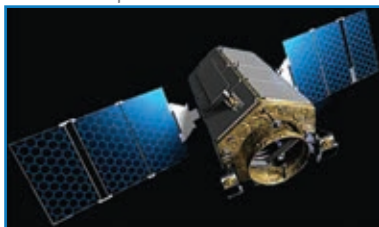
Provozovatel	ISA
Družice	EROS B
Senzor	CCD/TDI
Typ dat	optická
Typ senzoru	panchromatický
Počet spektrálních pásem	1 (0,5–0,9 μm)
Prostorové rozlišení	0,7 m

Záběr senzoru	7 km
Perioda snímání	3 dny
Stereosnímky	ano
Možnost programování	ano
Uvedení do provozu	2006
Plánovaná životnost	10 let

3.4.2.16 Korejské systémy DPZ

Obr. 41 Kompsat-2

© KARI



Série družic KOMPSAT (*Korean MultiPurpose SATellite*) je vyvíjena Korejským výzkumným institutem pro letectví a vesmír

(KARI – *Korea Aerospace Research Institute*). V rámci tohoto projektu byly vypuštěny družice KOMPSAT-1 a 2. V květnu 2012 byla vypuštěna družice s pořadovým číslem 3. [37]

Tab. 86 Senzor MSI (KOMPSAT-2)

Provozovatel	KARI
Družice	KOMPSAT-2
Senzor	MSI
Typ dat	optická
Typ senzoru	multispektrální
Počet spektrálních pásem	4
Prostorové rozlišení	4 m
Záběr senzoru	15 km
Perioda snímání	5 dní
Stereosnímky	ne
Možnost programování	ano
Uvedení do provozu	2006
Plánovaná životnost	5 let

Tab. 87 Senzor PAN (KOMPSAT-2)

Provozovatel	KARI
Družice	KOMPSAT-2
Senzor	PAN
Typ dat	optická
Typ senzoru	panchromatický
Počet spektrálních pásem	1
Prostorové rozlišení	1 m
Záběr senzoru	15 km
Perioda snímání	5 dní
Stereosnímky	ne
Možnost programování	ano
Uvedení do provozu	2006
Plánovaná životnost	5 let

Tab. 88 Senzor PAN (KOMPSAT-3)

Provozovatel	KARI
Družice	KOMPSAT-3
Senzor	PAN
Typ dat	optická
Typ senzoru	multispektrální
Počet spektrálních pásem	PAN, VNIR (400–900 nm)
Prostorové rozlišení	PAN 0,7 m; VNIR 2,8 m
Záběr senzoru	15 km
Perioda snímání	28 dní
Stereosnímky	ne
Možnost programování	ano
Uvedení do provozu	2012
Plánovaná životnost	4 roky

3.4.2.17 Série družic Resurs

Obr. 42 Resurs DK1

© Roscosmos



Resurs je série ruských družic určených pro DPZ. Současným zástupcem této série je družice Resurs-DK1 s hlavním senzorem

Geoton-L1. Jejím hlavním úkolem je topografické a tematické mapování, inventarizace přírodních zdrojů, monitoring znečištění v atmosféře, vodě a půdě aj. V letech 2013 a 2014 byly vypuštěny dvě nové družice této série, RESURS-P N1 a N2 s hyperspektrálním senzorem GSA (*Hyperspectral Imaging Instrument*). V plánu je vypuštění dalších tří družic této řady. [4]

Tab. 89 Senzor Geoton-L1 (Resurs)

Provozovatel	Roscosmos
Družice	Resurs-DK1, Resurs-P N1 a N2
Senzor	Geoton-L1
Typ dat	optická
Typ senzoru	multispektrální
Počet spektrálních pásem	4
Prostorové rozlišení	0,9–1,5 m (PAN), 1,5–2 m (MS)
Záběr senzoru	950 km
Perioda snímání	3 dny
Stereosnímky	ne
Možnost programování	ano
Uvedení do provozu	2006
Plánovaná životnost	5 let

4

Podpůrná data a pozemní měření

4.1 KALIBRACE DRUŽICOVÝCH DAT POMOCÍ SENZOROVÝCH SÍTÍ

Z naměřených dat DPZ se většinou získají přesné časové řady relativních hodnot, které je mnoho nutno převést na absolutní hodnoty (např. odrazivost z hodnot od 0 do 1 na $W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$). Některé přístroje na družicích DPZ již měří přímo energii prostřednictvím kvantitativních fyzikálních veličin – např. koncentrace plynů, či aerosolů v atmosféře. Tyto naměřené veličiny je nutno periodicky srovnávat s naměřenými daty z pozemního měření (in-situ). Data naměřená pozemní měřicí sítí jsou potom pro data získaná metodami DPZ daty referenčními.

Jednou z aktivit projektu EnviSec je zjistit, jaké jsou možnosti využití evropské iniciativy Copernicus pro potřeby bezpečnostního monitoringu pomocí dat DPZ a dat naměřených in-situ. Pro druhou část iniciativy Copernicus, tedy „data naměřená in-situ“ lze využít bezdrátové sensorové sítě (WSN). Ty mohou sloužit pro bezpečnostní monitoring jako:

- výše zmíněná referenční data pro zpřesnění výsledků zpracování dat DPZ;
- nebo mohou sloužit jako bezprostřední aktivní prvek systémů včasné výstrahy (EWS – *Early Warning Systems*).

4.1.1 Referenční bezdrátová sensorová síť

Referenční měřicí síť musí být vymezena tak, aby obsahovala všechny prvky (objekty) měřené pomocí družicových senzorů. Dále musí být jednoznačně územně vymezena pomocí zeměpisných souřadnic a jednotlivé měřené veličiny musejí být definovány také zcela jednoznačně.

Pro vybudování referenční měřicí sítě se v současné době, z hlediska aplikačních možností, flexibility a v neposlední řadě příznivé ceny, jeví jako nejvhodnější tzv. bezdrátová sensorová síť.

Senzorové sítě WSN se skládají z prostorově rozmístěných senzorů, které monitorují fyzikální parametry, jako je například teplota, zvuk, tlak, vlhkost, koncentrace plynů, prach, pohyb a mnoho dalších. Vývoj těchto sítí byl původně motivován širokými aplikacemi ve vojenské oblasti. WSN se dnes uplatňují v mnoha dalších aplikacích – pro monitorování a kontrolu životního prostředí, pracovních stanovišť, zdravotnických aplikací, řízení dopravy i domácí automatizace. Kromě toho, že WSN obsahuje mnoho měřicích senzorů uspořádaných v různých konfiguracích, je každý samostatný senzor vybaven komunikačním zařízením, malým mikrokontrolerem a zdrojem elektrické energie, většinou baterií.

Každý snímač (uzel) se může od sebe lišit velikostí. Náklady na tyto senzory mohou být velice rozdílné, ceny se pohybují od desetitisíců po koruny. Cena je závislá jak na velikosti provedení, tak na složitosti měření, paměti, spotřebě energie, výpočetní rychlosti a způsobu komunikace. [38] [39] [40]

Senzorové sítě se skládají ze sensorových polí, která obsahují rozmístěné sensorové uzly. Takzvané základové stanice slouží pro shromažďování informací, které pro ni získaly uzly v daném sensorovém poli. Tyto stanice slouží jako rozhraní mezi sensorovou sítí a uživatelem. Propojení s internetem není podmínkou, sdílení je realizováno většinou pro dopravu informací vzdáleným uživatelům.

Charakteristické vlastnosti sítí WSN:

- schopnost odolávat i nepříznivým okolním podmínkám;
- mobilita uzlů – možnost snadného přemístění senzorů;
- monitorování široké škály veličin;
- bezobslužný provoz;
- nízká spotřeba elektrické energie. [41]

4.1.2 Sensorový modul

Senzorový modul je samostatná jednotka sítě schopná získávat data ze senzorů připevněných na jeho základní desce, dále tato data předzpracovat a pomocí komunikačního rozhraní je odeslat k uživateli. Skládá se z níže uvedených zařízení, která shromažďují a zpracovávají data a komunikují s dalšími uzly:

- mikrokontroleru;
- přijímače – vysílače;
- senzorů;
- zdroje energie;
- sekundárního komunikačního zařízení. [42]

Mikrokontroler

Mikrokontroler je zařízení, které obsahuje CPU (*Central Processing Unit*), paměť a periferní zařízení. Dokáže vykonávat úkoly, zpracovává data a navíc dohlíží na funkčnost dalších součástí v sensorovém uzlu. Mikrokontrolery mají výhodu v tom, že jsou programovatelné a tím použitelné i pro jiná zařízení. Také nejsou náročné na napájení, protože jejich příkon je velice nízký. [43] [44]

Přijímač – vysílač

Komunikace v bezdrátové síti je realizována pomocí rádiových vln, optické komunikace (laser) nebo infračerveného portu. Laser nemá vysoké ná-

roky na napájení, ale funguje jen na přímou viditelnost a je proto citlivý na povětrnostní podmínky. Nepotřebuje žádnou vysílací anténu, ale jeho vysílací kapacita je omezena. WSN sítě používají komunikační frekvenci mezi 433 MHz a 2,4 GHz. Funkce vysílače i přijímače je kombinovaná do jednoho zařízení, nazývaného transceiver. Může se nacházet v režimech: přenos, příjem, nečinný, spánek. [43] [44]

Externí paměť

Z hlediska napájení existují tyto druhy paměti: čipové paměti a flash paměti. RAM (*Random-Access Memory*) paměti nemají ve WSN velké uplatnění. Flash paměti se používají kvůli dobrým cenám a velkým kapacitám paměti. [43] [44]

Zdroje energie (napájecí zdroje)

Senzorové uzly pro svoji správnou funkci potřebují napájecí zdroje, které jsou důležité pro snímání, komunikaci a zpracování dat. Nejvíce energeticky náročná bývá často komunikace, ale v některých případech je pro snímání nutné senzoru dodávat energii po delší dobu. Energie je uložena v bateriích nebo kapacitorech. AA baterie jsou hlavním zdrojem energie pro senzorové uzly. Používají se baterie dobíjecí a nedobíjecí. Dále se rozdělují podle toho, z jakého materiálu jsou vyrobeny elektrody. Dnes se už také vyskytují tzv. samodobíjecí (samopoháněné) senzory, které umí dobít energii ze slunečního záření nebo vibracemi, příkladem jsou DPM (*Dynamic Power Management*) a DVS (*Dynamic Voltage Scaling*). DPM se stará o klesající úroveň energie v senzorovém uzlu, který není v dané době využíván nebo aktivní. DVS mění úroveň energie závislejší na pracovním zatížení. Proměnlivým napětím spolu s frekvencí je možné získat kvadratické zmenšení spotřeby energie. [43] [44]

Senzory

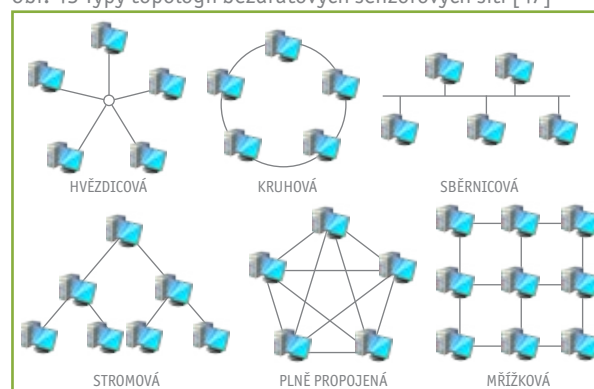
Senzor je zařízení, které dokáže zachytit nebo změřit fyzikální veličiny ze sledovaného prostoru. Zachytí spojitý analogový signál a provede digitalizaci pomocí A/D převodníku a digitální signál pošle mikrokontroleru pro další zpracování. Požadavky na senzorové uzly jsou: malá velikost, extrémně nízká spotřeba energie, práce bez obsluhy, přizpůsobivost prostředí. Bezdrátové senzorové uzly jsou mikroelektronická senzorová zařízení, která mohou být vybavena omezeným zdrojem napětí obvykle 0,5 Ah a 1,2 V. [43] [44]

4.1.3 Topologie bezdrátových senzorových sítí

Základním problémem v komunikačních sítích je přenos zpráv s dosaženou předepsanou propustností a kvalitou služeb. Kvalita služeb může být definována podmínkami jako např. zpoždění zprávy, bitová chybovost, ztráta paketů, náklady na vysílání, spotřeba energie apod. Na základě kvality služeb, finančních možností a typu aplikace se navrhne konfigurace celé sítě, tj. její topologie. Senzorová síť se skládá z uzlů, z nichž každý má schopnost měřit a může přijímat a odesílat zprávy přes bezdrátové komunikační spojení. Jedna komunikační síť se může skládat z několika podsítí s různou topologií. [45] [46]

Základní typy topologií bezdrátových sítí jsou hvězdicová (*star*), kruhová (*ring*), sběrnicevá (*bus*), stromová (*tree*), plně propojená (*fully connected*) a mřížková (*mesh*). Nejčastěji využívanými typy topologií pro bezdrátové senzorové sítě jsou plně propojená a mřížková (Obr. 43). [47]

Obr. 43 Typy topologií bezdrátových senzorových sítí [47]



Topologie plně propojené sítě

Plně propojená síť je komunikační síť, ve které je každý modul propojen se všemi ostatními. Tato síť nepotřebuje používat směrování nebo přepínání. Nicméně největší nevýhodou plně propojené topologie je, že počet spojení kvadraticky roste s nárůstem počtu modulů. Tato vlastnost je nepraktická pro rozsáhlé sítě. Prakticky i síť jen se dvěma moduly je plně propojená síť. [38]

Mřížková topologie

Sítě typu mřížka jsou distribuované sítě, které zpravidla umožňují komunikaci pouze se sousedními moduly. Moduly používané v těchto sítích jsou většinou stejného druhu, takže sítě typu mřížka jsou někdy označovány jako sítě typu peer-to-peer. Mřížkové sítě jsou dobré pro projekty velkého rozsahu co do rozlohy pokrytého území, či množství měřicích bodů. Jsou to sítě pro aplikace např.

v oblastech sledování osob, požárů, zemětřesení atd. Na obrázku 43 je topologie mřížky znázorněna s pravidelnou strukturou, síť ovšem nemusí mít moduly takto pravidelně rozloženy. Mřížkové sítě jsou rozloženy tak, aby byla možná komunikace více směry mezi moduly, aby mohly jednotlivé moduly komunikovat i v případě výpadku jednoho z nich. Výhodou těchto sítí je, že i když jsou všechny moduly totožné, je možné některé z nich stanovit jako tzv. vedoucí moduly a přidat jim některé další konkrétní funkce. Pokud vedoucí modul přestane plnit svoji funkci (částečně, nebo úplně), tak jeho funkce převezme některý z vedlejších modulů. [38]

Tato topologie je nejméně náročná na spotřebu elektrické energie a je nejspolehlivější v oblasti bezdrátových sensorových sítí. V porovnání například s topologií plně propojených sítí komunikuje modul pouze s moduly ve svém okolí a ne se všemi. Dále je tato topologie spolehlivá v případě výpadku některého z modulů. Při takovémto výpadku se u topologie mřížky nalezne jiná cesta, kterou je možno posílat data od modulu k centrální stanici. Pokud by k takovému výpadku došlo například u stromové topologie, tak by celá jedna větev, která je pod vyřazeným modulem, nemohla komunikovat a zasílat naměřená data do centrální stanice. U mřížkové topologie je každý modul propojen s několika dalšími moduly v jeho okolí, a proto může být zvoleno více přenosových cest, což u jiných topologií není možné. [38]

4.1.4 Komunikační protokoly

Pro komunikaci mezi jednotlivými sensorovými moduly sítí WSN se používají různé komunikační protokoly. Z hlediska energetické náročnosti, spolehlivosti konektivity a bezchybného přenosu naměřených dat jsou nejlépe využitelné dva typy komunikačních protokolů – ZigBee a 6LoWPAN (*IPv6 over Low Power Wireless Personal Area Networks*). [38]

ZigBee

ZigBee je komunikační standard pro bezdrátovou komunikaci, určený pro monitorování a řízení elektroniky, často používaný i u komunikace mezi bezdrátovými senzory. Bezdrátový standard ZigBee je postaven na standardu 802.15.4, který definuje fyzickou a linkovou vrstvu modelu OSI (*Open Systems Interconnection*) a standard ZigBee jej rozšiřuje o definici vrstvy síťové a transportní. ZigBee poskytuje cenově nenákladnou, nízko příkonovou bezdrátovou komunikaci pro monitorování a řízení systémů. Standard ZigBee lze použít pro jednoduchou bezdrátovou komunikaci s nízkými požadavky

na samostatný hardware a napájení. Proto je nejvíce používán v aplikacích bateriového napájení, kde při výrazně nižší spotřebě energie poskytuje výrazně delší dosah komunikace v porovnání např. s jiným standardem pro bezdrátovou komunikaci Bluetooth, který by byl pro zvolenou aplikaci nevhodný. Přenosová rychlost je sice výrazně nižší, ale pro aplikace, u kterých se ZigBee využívá, je postačující. Pro řízení a ovládání spotřebičů, nebo monitorování je zbytečné využívat standardu WiFi, u kterého je zbytečně vysoká přenosová rychlost. Pro standard 802.15.4 je přiděleno několik rádiových pásem:

- pásmo ISM 2,4 GHz, 16 kanálů, přenosová rychlost 250 kb.s⁻¹, definováno celosvětově;
- pásmo 915 MHz, 10 kanálů, přenosová rychlost 40 kb.s⁻¹, definováno pro USA;
- pásmo 868 MHz, 1 kanál, přenosová rychlost 20 kb.s⁻¹, definováno pro Evropu. [38] [47] [48]

Při přenosu informací dochází k probuzení koncové stanice (sensorového modulu) stanicí centrální ve vymezeném časovém intervalu, a poté jsou přeneseny veškeré potřebné informace. Interval synchronizačních sekvencí může být nastaven v rozmezí od 15 ms až přibližně 15 min (někdy lze i několik hodin). ZigBee protokol může být použit u různých typů topologií, jako například hvězdicové, stromové nebo mřížkové topologie. [38] [47] [48]

6LoWPAN

Protokol 6LoWPAN je postaven na základě bezdrátových sítí 802.15.4, pracuje s frekvencemi 868 MHz, 915 MHz, 2,4 GHz a poskytuje připojení bezdrátovým zařízením využívajícím síť 802.15.4. Připojení bezdrátových zařízení probíhá přes rozhraní založené na IP protokolu. Protokol 6LoWPAN byl navržen pro používání v aplikacích s nízkou spotřebou, které komunikují s ostatními zařízeními v již existující IP síti. 6LoWPAN může být zapojen nejen ve hvězdicové, point to point, stromové a mřížkové topologii, ale také v jejich kombinacích. 6LoWPAN má automatické tvoření trasy a její případné opravování. [38] [47] [48] [49]

Výhodou tohoto protokolu je např. bezproblémová integrace bezdrátových zařízení s nízkou spotřebou do již existujících IP sítí. Dále také spolupráce s ostatními protokoly postavenými na protokolové sadě 802.15.4 jako je například ZigBee. Další velkou výhodou je dlouholetá životnost baterií použitých v zařízeních potřebných pro danou aplikaci. [38] [47] [48] [49]

Charakteristické vlastnosti protokolové sady

6LoWPAN jsou malá velikost paketů (127B), nízká propustnost ($250 \text{ kb}\cdot\text{s}^{-1}$) a nízká spotřeba, což je důležité pro využití u bateriemi napájených zařízení. Cena zařízení je relativně nízká. [38] [47] [48] [49]

Oba popisované protokoly jsou navrženy pro využití v bezdrátových sítích s nízkou spotřebou energie. Životnost baterie senzorů bývá několik let při využití protokolu ZigBee i při využití protokolu 6LoWPAN. Oba protokoly pracují v pásmu 868 MHz potřebném pro komunikaci mezi zvolenými senzory moduly, což je dáno tím, že jsou oba postaveny na standardu 802.15.4. [38] [47] [48] [49]

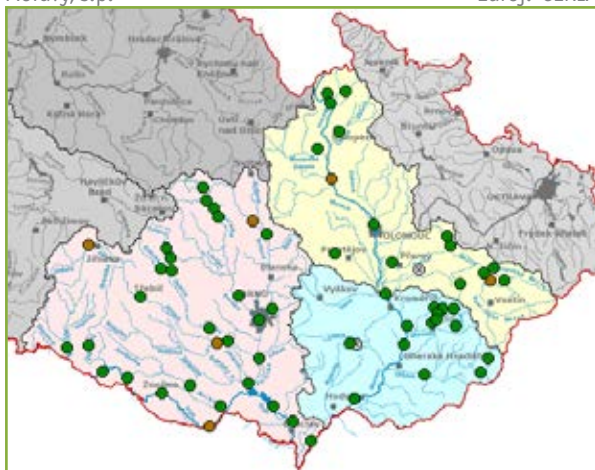
4.1.5 Příklad využití WSN pro aplikace monitoringu životního prostředí

Oblast monitoringu životního prostředí nabízí široký prostor pro využití bezdrátových sensorových sítí, a to od sbírání dat o charakteristikách životního prostředí až po monitoring pro podporu krizového řízení (plošné a lokální záplavy, lesní požáry, inverzní stavy ovzduší atd.).

4.1.5.1 Monitoring říční sítě

Jednou z možností jak využít efektivně bezdrátovou sensorovou síť je návrh na rozšíření sítě vodoměrných stanic v působnosti Povodí Moravy, s.p.

Obr. 44 Stávající měřicí síť stanic ČHMÚ a Povodí Moravy, s.p. zdroj: CENIA



Stávající síť vodoměrných stanic Povodí Moravy, s.p. nebo ČHMÚ pokrývá převážně větší toky II. a III. řádu. Pro zajištění detailního monitoringu odtokových poměrů lze navrhnout vytvoření měřicí sítě založené na bezdrátových a energeticky soběstačných senzorech, která by zajistila rovnoměrné pokrytí i v odlehlých oblastech povodí bez nutnosti budování rozsáhlé infrastruktury.

Rozmístění stanic lze navrhnout takovým způsobem, aby došlo k zahuštění již existující sítě a po-

krytí oblastí, ve kterých v současné době neprobíhá monitoring. Přesné rozmístění stanic by bylo nutno řešit v analýze, kde by byly zohledněny geomorfologické a hydrologické charakteristiky jednotlivých povodí a vodních toků, aby nedocházelo ke zbytečně hustému pokrytí, nebo aby naopak nebyl někde nedostatek měřicích profilů. Výsledkem analýzy by pak byla metodika umísťování vodoměrných sensorových stanic a zároveň by byla vtipována testovací území, ve kterých by zvolená metodika byla ověřována.

Výsledkem analýzy může být např. orientační přehled ideálních vzdáleností jednotlivých měřicích profilů v závislosti na řádovosti (absolutní) vodního toku:

- II. řád: 10 km
- III. řád: 5 km
- IV. řád: 2 km
- V. řád: 1 km

Přesné pokrytí jednotlivých vodních toků stanoví analýza, nepředpokládá se pokrytí všech toků uvedených řádů v rámci působnosti Povodí Moravy, s.p.

Vybudování nových měřicích profilů s sebou nutně ponese i nezbytné stavební zásahy v korytech vodních toků, ať již to bude budování přelivů nebo vytváření standardizovaných vodoměrných profilů, aby bylo možné určovat průtok vodního toku z výšky jeho hladiny nebo jinými metodami.

Bezdrátová sensorová síť se skládá z desítek až tisíců sensorových modulů, které předávají data přes základnové stanice (jednotky až desítky kusů) do centrální databáze.

Náklady na vybudování bezdrátové sensorové sítě se odvíjejí od typů a množství použitých senzorů, množství sensorových modulů a množství základnových stanic. Pro představu, vybudování sítě s jednoduchými senzory, s cca 1500 sensorovými moduly a několika desítkami základnových stanic představuje finanční náklady ve výši kolem 10 až 15 mil. Kč.

4.1.5.2 Další možné aplikace WSN v životním prostředí

Možností pro využití WSN v oblasti životního prostředí je velké množství. Velmi potřebnou aplikací by mohl být monitoring lokálních topenišť, kdy by mohla být vybudována doplňková bezdrátová síť pro měření PM_{10} a NO_x ve vybraných obcích nejpostiženějších oblastí severní Moravy a severních Čech. Senzory by mohly být umístěny buď plošně po obcích, nebo v každém komíně v nejpostiženějších

obcích. Tímto způsobem by mohly být monitorovány i další plyny nebezpečné pro životní prostředí a zdraví obyvatelstva jako např. CO, CO₂, NO, NO₂ a SO₂.

Celý systém by mohl být součástí automatizovaného systému včasné výstrahy (EWS) pro krizové meteorologické situace (vyhlášení inverzní situace, regulační stupně, atd.). Zrovna tak by mohl být na základě technologie WSN navržen systém pro celoplošný monitoring vlhkosti půd z pohledu schopnosti krajiny zadržet vodu.

Jiným příkladem využití WSN by mohlo být spojení této technologie monitoringu s digitálním modelem terénu pro podávání např. hodinových předpovědí intenzity osvětlení z pohledu výroby (či hlavně nevýroby) elektřiny ze solárních elektráren.

4.1.6 Typická použití sítí WSN v oblasti environmentální bezpečnosti

V současné době je stále větší tlak na sledování velkého počtu fyzikálních veličin v konkrétních lokalitách na velmi rozlehlých územích, velké množství senzorů měří v síti fyzikální vlastnosti svého okolí (teplotu, tlak, vlhkost, koncentraci plynů v atmosféře, v půdě, ve vodě, dále vibrace, sesuvy, atd.). Využití bezdrátových měřicích sítí pro kontaktní monitoring životního prostředí je velmi moderní a přesnou metodou pro získání jeho charakteristik a sledování trendů dalšího vývoje. Rozvoj bezdrátových senzorových sítí ve světě v oblasti environmentální bezpečnosti je velmi dynamický. Oblasti, ve kterých se WSN používají nejčastěji, jsou následující:

Monitoring kvality ovzduší

Již v několika městských aglomeracích (např. Stockholm, Londýn, Brisbane aj.) byly vybudovány bezdrátové senzorové sítě pro sledování koncentrací nebezpečných plynů pro obyvatele. Bezdrátová technologie sběru dat ze senzorů je ve městech lépe využitelná než použití kabelů. Navíc měření mohou probíhat téměř kontinuálně. Pro tyto aplikace jsou používány různé architektury (topologie) sítí, různé typy analýz dat a vytěžování dat. [42]

Včasná detekce lesních požárů

Bezdrátová senzorová síť instalovaná na velkých lesních plochách (měří teplotu, vlhkost a detekuje plyny, jež vznikají při hoření dřevní hmoty a vegetace) umožňuje identifikovat ohniska vzniku požáru a jeho šíření. Včasná detekce je zásadní pro úspěšné akce hasičů při hašení a lokalizaci ohnisek požárů. WSN tohoto typu jsou již testovány v USA, konkrét-

ně v několika vybraných lokalitách Arizony a Kalifornie. [50]

Včasná detekce sesuvů půdy

Detekční systém WSN založený na husté síti senzorů (akcelerometrů) měří v reálném čase nepatrné pohyby půdy a také další parametry půdy a jejich změny, které mohou nastat před nebo během sesuvu půdy. Takto nasbíraná data slouží k vytváření predikčních map, které předpovídají výskyt sesuvů dlouho předtím, než se tak skutečně stane. Takto navržené bezdrátové senzorové sítě se testují v oblastech s důlní činností (Pensylvánie, Wales), ale i v oblastech bohatých na přírodní sesuvy (ve střední Číně). [51] [52]

Monitoring kvality vody (především říční toky, jezera, přehradní nádrže)

Sledování kvality vody pomocí WSN zahrnují jak analýzy vlastností vody v přehradách, řekách, jezerech a oceánech, tak i sledování kvality podzemních vod. Použití většího množství bezdrátových senzorů rozmístěných na větší ploše umožňuje vytvoření přesnějších map stavu vody bez nutnosti manuálního vyhledávání dat a umožňuje také trvalé nasazení monitorovacích stanic v místech se špatným přístupem. Příkladem takového systému může být systém monitoringu přítoků řeky Loiry ve Francii. [51] [52]

Varovné systémy pro povodně (nebo katastrofální sucha)

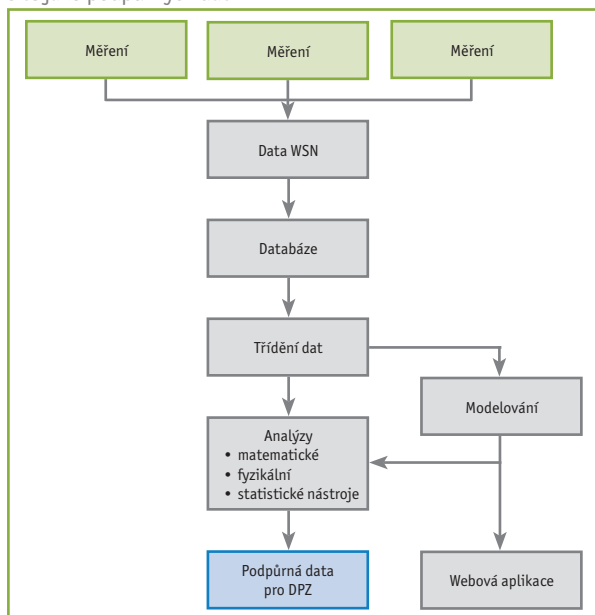
Bezdrátové senzorové sítě mohou včas a tím účinně zabránit následkům přírodních katastrof, jako jsou povodně nebo katastrofální sucha. Bezdrátové senzorové uzly byly úspěšně nasazeny na mnoha řekách, kde jsou změny vodní hladiny sledovány v reálném čase a stavová data jsou v reálném čase předávána do centrální databáze. Takové systémy jsou již provozovány celkem rutinně (nejvíce v USA, ale i ve Velké Británii, Francii, či Slovinsku). [51] [52]

Výše uvedené příklady se týkají využití sítí WSN pro přímý kontaktní monitoring životního prostředí. Metodami DPZ se sledují charakteristiky životního prostředí bezkontaktně, pomocí měření fyzikálních veličin záření odraženého nebo emitovaného objekty na zemském povrchu. Oba typy měření se využívají v praxi na sobě nezávisle. Při zpracování dat DPZ (především při využití řízených a kontextuálních klasifikátorů) je vždy nutno použít testovací (referenční) data získaná při měřeních in-situ. Tato data vždy pomohou ke zpřesnění výsledků zpracování dat DPZ. Pokud jsou data in-situ pořizována

kontinuálně pomocí bezdrátové senzorové sítě, pak se přesnost výsledků zpracování dat DPZ především s ohledem na srovnávání a změny v čase, výrazně zvyšuje.

Z výše popsaných důvodů byl navržen postup zpracování dat ze sítě WSN pro aplikace sledování oblastí potenciálních rizik (Obr. 45). Od sběru (měření) až po jejich vstup do procesu zpracování dat DPZ.

Obr. 45 Schéma procesu zpracování dat bezdrátové senzorové sítě jako podpůrných dat DPZ



4.2 SBĚR A VYUŽITÍ DAT Z REGISTRŮ IPPC A IRZ PRO PODPORU KRIZOVÉHO ŘÍZENÍ PŘI POVODŇOVÝCH SITUACÍCH

Jako podpůrná data využitelná v rámci podpory krizového řízení při povodňových situacích byly v rámci projektu EnviSec pro potřebu identifikace rizikových lokalit zpracovány informace z IRZ a databáze IPPC, které obsahují údaje o známých znečišťovatelných životního prostředí. Při povodňových situacích může docházet ke kontaminaci vod, která může mít za následek vážné poškození životního prostředí, lidského zdraví a majetku, informace z těchto registrů tak mohou napomoci předcházet a minimalizovat způsobené škody.

4.2.1 Sběr dat

Databáze IPPC jsou spolu s IRZ centrálně provozované a aktualizované přehledy, které obsahují informace o zařízeních, která mohou být nebezpečná pro své okolí (např. výrobní linky, provozní sklady chemikálií, chovy hospodářských zvířat, uskladnění odpadů atd.). Přičemž databáze IPPC má s IRZ společnou určitou množinu záznamů o objektech, které svým charakterem spadají do obou evidencí. Tyto centralizované registry spravuje Ministerstvo životního prostředí (MŽP), provozovatelem je CENIA.

4.2.2 Sběr dat IPPC

V souladu s ustanovením § 3 odst. 1 zákona č. 76/2002 Sb., o integrované prevenci, ve znění pozdějších předpisů podává provozovatel zařízení žádost o vydání integrovaného povolení příslušnému krajskému úřadu, buď jen v elektronické, nebo v listinné i elektronické podobě. Řízení o vydání integrovaného povolení je zahájeno dnem, v němž byla žádost doručena krajskému úřadu. Úřad o žádosti provozovatele rozhodne ve lhůtě do 45 dnů od obdržení vyjádření příslušných správních úřadů a účastníků řízení. [53]

Proces administrace řízení o vydání integrovaného povolení je uveden na schématu zpracovaném MŽP (Obr. 46). Proces integrované prevence a omezení znečištění je zachycen od podání žádosti o vydání integrovaného povolení žadatele až do doby vydání integrovaného povolení, případně zamítnutí žádosti, povolujícím krajským úřadem.

4.2.3 Sběr dat IRZ

Hlášení do IRZ lze podat výhradně v elektronické podobě prostřednictvím Integrovaného systému

plnění ohlašovacích povinností v oblasti životního prostředí (ISPOP).

Provozovatelé nemusí použít přímo řešení vytvořené MŽP (tj. formulář PDF (*Portable Document Format*), který je pro zaregistrované provozovny IRZ k dispozici ke stažení v jednotlivých uživatelských účtech v ISPOP), musí ovšem při ohlašování dodržet datový standard, který zveřejňuje rovněž MŽP. Datový standard definuje datovou strukturu hlášení do IRZ. Datové standardy jsou zveřejňovány na stránkách ISPOP. [54]

4.2.4 Zpracování v GIS

4.2.4.1 Lokalizace

Zatímco v databázi IRZ je dořešena otázka lokalizace jednotlivých subjektů, v systému IPPC tomu tak bylo pouze částečně. V rámci činností v projektu EnviSec byla u dat IPPC dořešena lokalizace jednotlivých sledovaných zařízení.

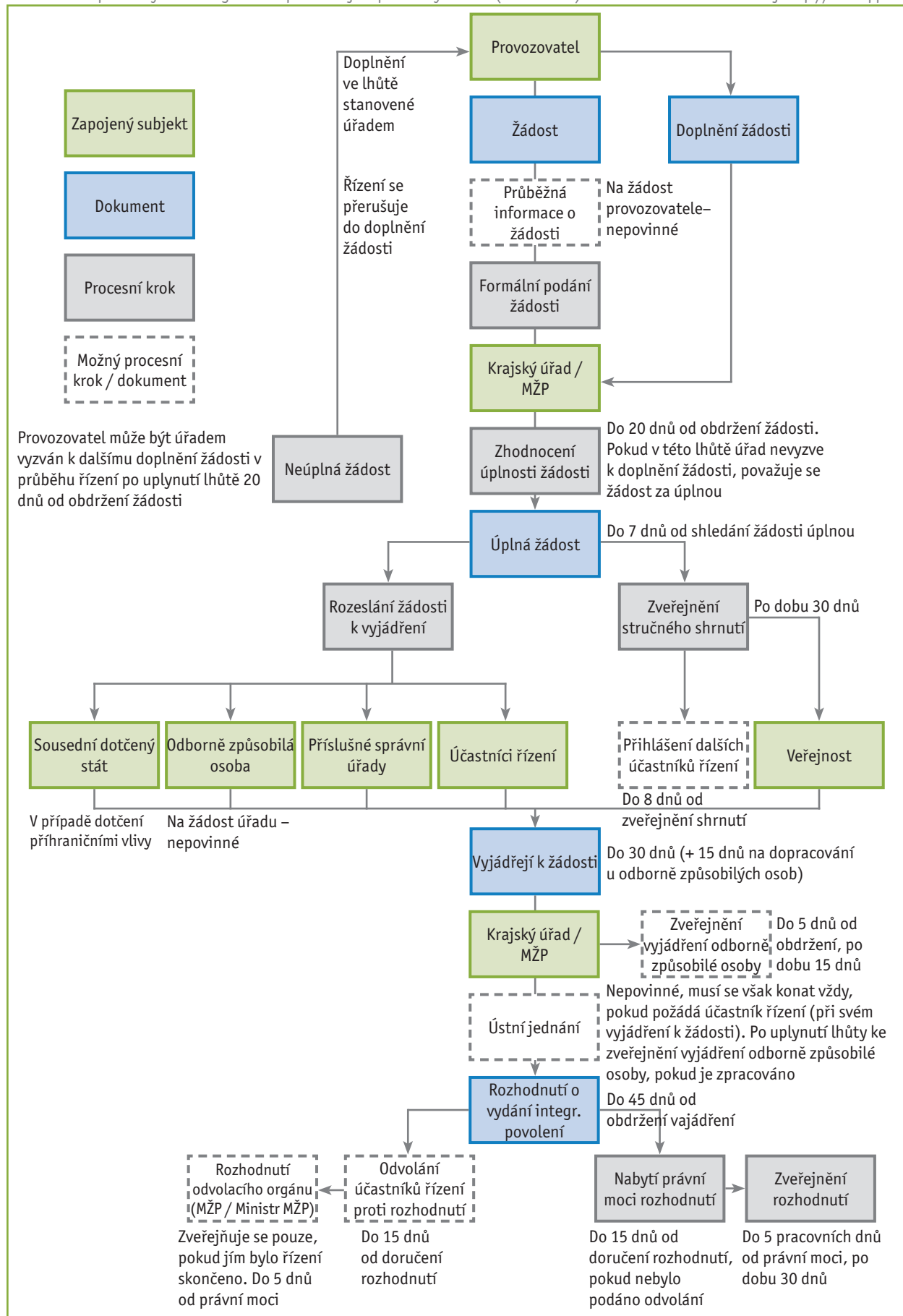
Většina subjektů byla lokalizována za pomoci adresních bodů. Jelikož potenciální riziko je spojeno přímo s konkrétním zařízením, bylo nutné provést jejich přesnou lokalizaci. Sídla vlastníků jsou mnohdy i ve značné vzdálenosti od těchto provozních zařízení a k danému zařízení mají pouze vlastnický a právní vztah. V databázi IPPC je seznam zařízení, která podle stanovených kritérií spadají do povinné evidence. Tento centralizovaný registr spravuje MŽP.

Lokalizace zařízení v databázi IPPC je nutná k tomu, aby na základě prostorových informací o těchto zařízeních bylo možno modelovat jejich vliv na okolí a odhadovat možné škody na okolním prostředí. Zařízení sledovaná v databázi IPPC ve svém souhrnu mohou představovat významné plošné environmentální riziko nejen v okamžiku havárie nebo živelné pohromy, ale i v dlouhodobém časovém horizontu, kdy se projevují jejich trvalé nežádoucí vlivy na životní prostředí.

V rámci lokalizace zařízení byly do databáze přidány položky souřadnic X a Y v souřadnicovém systému S-JTSK (*Systém jednotné trigonometrické sítě katastrální*).

4.2.4.2 Převod do GIS

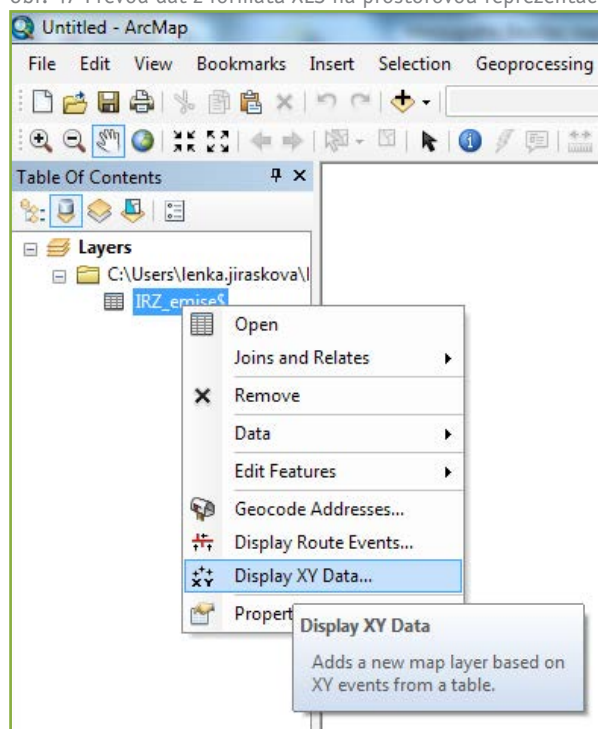
Jedním z nejběžněji používaných formátů pro prezentaci prostorových dat v prostředí GIS (*Geografický informační systém*) je formát SHP (*Shapefi-*



le), ten je využíván i v rámci projektu EnviSec, jelikož zpracování dat je založeno na softwaru ArcGIS, pro nějž je tento formát nativní. Shapefile obsahuje hlavní soubor, kde je každý záznam bodu určený v souřadnicích, dále indexový soubor SHX (*Shape index format*), který propojuje prvky v hlavním souboru se záznamy atributů jednotlivých prvků, které jsou uloženy v databázovém souboru DBF (*DataBase File*) ve formátu dBase IV.

Výstupní data z registrů IRZ a IPPC jsou předávána ve formátu XLS (*Microsoft Excel Spreadsheet*), kde jsou ve sloupcích uvedeny souřadnice X a Y spolu s atributy jednotlivých prvků. Pro načtení tohoto souboru do GIS software je možné jej nejprve převést do formátu dBase IV anebo využít přímé podpory formátu XLS, kterou software ArcGIS nabízí. Po načtení zdrojových dat lze jednoduše zobrazit jejich prostorovou reprezentaci na základě uvedených souřadnic (Obr. 47). Po zobrazení prostorové reprezentace prvků lze data vyexportovat do formátu SHP.

Obr. 47 Převod dat z formátu XLS na prostorovou reprezentaci



4.2.5 Publikace dat

Pro publikaci prostorových dat z registrů IRZ a IPPC je využívána infrastruktura Národního geoportálu INSPIRE. Ten umožňuje tvorbu veřejně dostupných mapových služeb, které vycházejí ze standardů OGC (*Open Geospatial Consortium*) a Směrnice 2007/2/ES o zřízení infrastruktury pro prostorové informace v Evropském společenství (*INSPIRE*).

4.2.6 Mapové služby Národního geoportálu INSPIRE

Primárně jsou mapové služby na Národním geoportálu INSPIRE vytvářeny jako INSPIRE prohlížečské služby, které vycházejí ze standardu OGC pro WMS (*Web Map Service*) verze 1.3.0. Tyto služby lze využít v tzv. tlustých klientech (softwarových aplikacích) a umožňují prohlížení publikovaných dat.

Data jsou dostupná také prostřednictvím REST (*REpresentational State Transfer*) služeb. Tyto služby jsou vhodné zejména pro tvorbu jednoduchých mapových aplikací a umožňují zobrazování doplňujících informací (např. v pop-up oknech) a také využití některých běžných metod pro GIS úlohy, jako je např. dotazování, vyhledávání atributů nebo geoprocessing. Tyto služby jsou využity i v mapové aplikaci tohoto projektu (více viz kapitola 7.2).

Kromě výše uvedeného jsou data dostupná i prostřednictvím SOAP (*Simple Object Access Protocol*) služby Esri ArcGIS Serveru.

4.2.7 Vizualizace služeb

V rámci webové aplikace jsou zpřístupněna data IRZ a IPPC spolu s podkladovými vrstvami a analyzovanými družicovými snímky při povodňových situacích.

Obr. 48 Ukázka webové mapové aplikace – povodňová rizika



Data jsou rovněž přístupná na stránkách Národního geoportálu INSPIRE (<http://geoportal.gov.cz/>), kde jsou vytvořeny předpřipravené mapové kompozice (Obr. 49).

4.2.8 Využití dat

Předpokládané využití dat z registrů IRZ a IPPC spolu s analyzovanými družicovými snímky z povodňových situací je zejména při krizovém řízení v rámci rezortu životního prostředí. Data z těchto registrů mohou sloužit zejména při identifikaci lo-

kalit ohrožených kontaminací vod. Při zvýšeném stavu hladiny toků může docházet k zatopení zařízení (např. výrobní linky, provozní sklady chemikálií, chovy hospodářských zvířat, uskladnění odpadů atd.), která vypouštějí nebo skladují látky nebezpečné pro životní prostředí a také pro lidské zdraví. Identifikace těchto lokalit může být využita přímo v průběhu krizového řízení k minimalizaci následků povodní, ale také jako zdroj informací pro plánovaná protipovodňová opatření.

Obr. 49 Ukázka mapové kompozice „Provozovny ohlašovatelů do IRZ 2004–2012“ na stránkách Národního geoportálu INSPIRE [55]



Vzhledem k tomu, že jsou veškerá data publikována pomocí veřejně dostupných mapových služeb na stránkách Národního geoportálu INSPIRE a webové aplikace projektu, očekává se i zájem o zpracovaná data IPPC a IRZ od více skupin uživatelů, jako jsou:

- experti na životní prostředí ze státní správy;
- experti na životní prostředí ze samosprávy;
- experti krizového řízení na nižších úrovních managementu;
- vědecké týmy;
- univerzitní studenti;
- široká veřejnost.

5

Postup zpracování družicových dat pro hodnocení povodňových situací

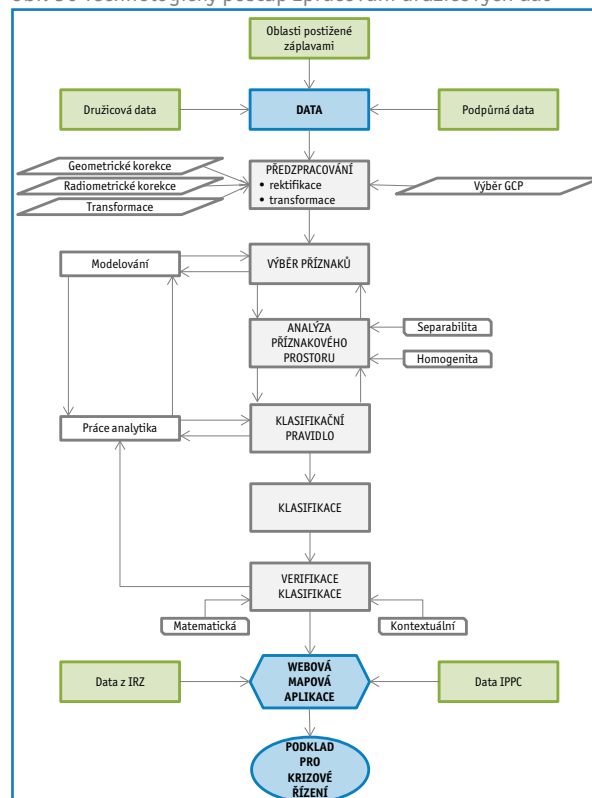
5.1 TECHNOLOGICKÝ POSTUP ZPRACOVÁNÍ DRUŽICOVÝCH DAT

Metodika vychází z technologie zpracování multispektrálních satelitních dat DPZ, která musí obsahovat následující dílčí technologické postupy:

- proces výběru vhodných satelitních multispektrálních dat;
- proces řízené klasifikace;
- výběr testovacího území;
- analýzu příznakového prostoru;
- výběr vhodného řízeného klasifikátoru (pravděpodobnostní, kontextuální, ANN (*Artificial Neural Network*), atd.);
- verifikaci klasifikačního procesu;
- další analytické postupy (např. možnosti využití kombinace spektrální knihovny a multispektrálního příznakového prostoru, atd.) – *v našem případě nebylo použito, pro zjednodušení zpracovatelského procesu byla použita pouze jedna analýza: příznakového prostoru.*

Technologický postup zpracování družicových obrazových dat pro potřebu přesné identifikace oblastí postižených záplavami je uveden na Obr. 50.

Obr. 50 Technologický postup zpracování družicových dat



5.2 ZPRACOVÁNÍ DRUŽICOVÝCH DAT POMOCÍ ŘÍZENÉ KLASIFIKACE

Schéma na Obr. 50 znázorňuje technologii zpracování multispektrálních družicových dat pořizovaných digitálními optickými zobrazovacími systémy. Technologický postup zpracování je definován jednotlivými kroky, které jsou podrobněji popsány v následujícím textu.

Výběr dat

- družicová multispektrální data;
- podpůrná lokalizovaná data.

Předzpracování dat

- geometrické korekce;
- radiometrické korekce;
- transformace (rektifikace);
- výběr kontrolních bodů pro transformaci (výběr GCP – *Ground Control Point*).

Výběr příznaků

- výběr testovacího území a trénovacího souboru;
- podpůrná data;
- modelování.

Analýza příznakového prostoru

- separabilita;
- homogenita.

Výběr klasifikačního pravidla a vlastní proces klasifikace obrazu

- klasifikace největší pravděpodobnosti (Maximum-Likelihood Classifier).

Verifikace výsledků klasifikace obrazu

Prezentace výsledků klasifikace ve webové mapové aplikaci nebo GIS prostředí [56] [57] [58]

5.2.1 Výběr dat

5.2.1.1 Družicová multispektrální data

Možnosti výběru satelitních dat jsou v současné době poměrně široké. Pro účely projektu EnviSec lze z důvodů prostorového, spektrálního a termínového rozlišení použít multispektrální data ze tří družicových systémů – SPOT, RapidEye a Landsat. Data z těchto družic jsou pro území ČR běžně dostupná, perioda snímání je dostatečně krátká (výhoda z hlediska vyšší pravděpodobnosti bezoblačné scény), počet spektrálních kanálů je dostatečný a především prostorové rozlišení je velmi dobré (6–30 metrů).

V rámci projektu byla testována data ze systému OLI družice Landsat 8 (popis družice viz Tab. 64), která byla v době řešení projektu zdarma volně dostupná a podle technických parametrů jednotlivých spektrálních kanálů i nejhodnější.

Tab. 90 Spektrální pásma družice Landsat 8

Označení pásma	Rozsah od [μm]	Rozsah do [μm]	Kódování spektrál. pásma	Prostorové rozlišení [m]
8 PAN	0,5	0,68	PAN	15,0
1	0,433	0,453	COASTAL	30,0
2	0,45	0,515	BLUE	30,0
3	0,525	0,6	GREEN	30,0
4	0,63	0,68	RED	30,0
5	0,845	0,885	NIR	30,0
9	1,36	1,39	SWIR	30,0
6	1,56	1,66	SWIR	30,0
7	2,1	2,3	SWIR	30,0

5.2.1.2 Podpůrná lokalizovaná data

Pro proces řízení klasifikace obrazu je potřeba vytvořit trénovací soubor, který přesně a jednoznačně definuje jednotlivé třídy (příznaky), které je třeba identifikovat. V případě povodní to mohou být různé typy vodních hladin, které jsou znečištěny jednotlivými kontaminanty.

Jako podpůrná data pro tvorbu trénovacího souboru lze použít:

- tematické mapové podklady z různých zdrojů (dokumentace krajských úřadů, firemní plány atd.);
- vlastní terénní mapování.

Z hlediska tvorby trénovacího souboru lze do podpůrných dat obecně zahrnout:

- bitové mapy (masky);
- vektory;
- spektrální příznaky (ze spektrálních katalogů);
- georeferenční data;
- zobrazovací tabulky (parametry zobrazovaných spektrálních kanálů);
- pseudobarevné tabulky (parametry histogramů pro jednotlivé spektrální kanály);
- georeferenční body;
- parametry dráhy družicového nosiče. [59] [60]

5.2.2 Předzpracování dat

Předzpracováním dat se rozumí především radiometrické a geometrické korekce, transformace (rektifikace) dat do zvoleného souřadnicového systému a kartografického zobrazení. Většinou lze pořídit data po základních radiometrických korekcích a většinou transformovaná do souřadnicového systému WGS-84 (*World Geodetic System 1984*). Někdy se však může stát, že vybraná data tato předzpracování nemají,

a proto je nutno pro další zpracování korekce provést. Vzhledem k tomu, že státní mapové dílo ČR je v souřadnicovém systému S-JTSK, je z důvodů kompatibility nutné data transformovat do požadovaného souřadnicového systému. [61]

5.2.2.1 Geometrické korekce

Faktory, které ovlivňují geometrické vlastnosti obrazu pořízeného metodami družicového DPZ, jsou následující:

- změny v poloze a rychlosti nosiče;
- rotace Země;
- nelineárnost objektivu snímacího systému;
- zakřivení zemského povrchu;
- panoramatický úhel pozorování.

Všechny tyto distorze obrazu koriguje provozovatel družicového systému, záleží na stupni předzpracování dat (level 0–n), který je nutno při nákupu (objednávce) dat definovat. Pokud některý typ družicových multispektrálních dat nemá přesně definovány jednotlivé kroky geometrických korekcí, je vhodné pořídit data předzpracovaná do stupně ortorektifikace. [59] [62]

5.2.2.2 Radiometrické korekce

Družicová data DPZ je nutné pro účely přesné identifikace oblastí zasažených povodněmi pořídit po stupni předzpracování radiometrickými korekcemi. Tento typ radiometrických korekcí eliminuje náhodné chyby při skenovacím procesu. Úprava hodnot v obrazovém záznamu probíhá tak, aby co nejvíce odpovídaly skutečným odrazovým, či zářivým vlastnostem objektů. [58]

Naměřené hodnoty odrazivosti objektů závisí na přesné kalibraci měřicího zařízení. Kalibraci provádí většina systémů automaticky, například periodickým snímáním daných referenčních ploch o známých radiačních vlastnostech. [58]

Jediná radiometrická korekce, kterou standardně neprovádí provozovatel družicového systému DPZ je kompenzace sezónních rozdílů. Tato kompenzace může být důležitá z hlediska identifikace druhotných příznaků zaplavených lokalit. [62]

Algoritmy kompenzace sezónních vlivů mohou být dva:

- použití podílů původních pásem multispektrálního obrazu;
- výška Slunce je normalizována na pozici družice v zenitu například dělením každého záznamu sinem výšky Slunce. Parametry o výšce Slunce jsou pro každou obrazovou scénu zapsány v hlavičce souboru. [62]

Pro výpočet radiometrických a atmosférických korekcí kompenzujících sezónní vlivy lze použít algoritmus:

$$R_{\lambda} = \frac{\pi D^2 (L_{\lambda sensor} - L_{\lambda haze})}{TAU_v Esun_{\lambda} \cos(90 - \theta) TAU_z}$$

kde:

R_{λ} ... spektrální odrazivost na povrchu Země;

D ... vzdálenost Země – Slunce;

$L_{\lambda sensor}$... zdánlivá spektrální zář;

$L_{\lambda haze}$... zář atmosféry;

TAU_v ... prostupnost atmosféry Země – senzor;

$Esun_{\lambda}$... ozáření difúzním zářením atmosféry;

θ ... zenitový úhel Slunce;

TAU_z ... prostupnost atmosféry Slunce – Země. [59]

5.2.2.3 Transformace (rektifikace)

Transformace je proces převodu obrazových dat do určité mapové projekce. V případě družicových dat DPZ se produkovaná data nacházejí v systému WGS-84. Ta lze v některých případech na území ČR použít, nicméně většinou (i z hlediska použitelnosti podpůrných dat) je nutností obrazová data převést do státního souřadnicového systému S-JTSK.

Pro přímý převod mezi systémy WGS-84 a S-JTSK existují převodní rovnice. Při jejich volbě je nutno dbát na jejich přesnost z hlediska výsledné přesnosti celé transformace.

Transformace z WGS-84 do S-JTSK má dvě části:

- transformace elipsoidu WGS-84 na Besselův elipsoid, který je základním referenčním elipsoidem pro systém S-JTSK;
- zobrazení z Besselova elipsoidu do kartézského souřadnicového systému S-JTSK (známé jako Křovákovo zobrazení). [62]

Přesněji řečeno, nejprve se transformují zeměpisné souřadnice WGS-84 na pravoúhlé prostorové souřadnice, pak se provede transformace prostorových pravoúhlých souřadnic do systému S-JTSK. Následně se vypočtou zeměpisné souřadnice S-JTSK a pokračuje se v dalších výpočtech. Poté se zeměpisné souřadnice S-JTSK zobrazí na kouli, tím se získají sférické souřadnice (U, V). Tyto souřadnice se dále transformují na souřadnice šikmého kuželového zobrazení (S, D), ty se následně zobrazí na kartografické poledníky a rovnoběžky. Další transformací získáme rovinné souřadnice (y, x) souřadnicového systému S-JTSK. [62]

K celému převodu je nutno ještě dodat, že systém WGS-84 je definován souborem pozemních

stanc a polohami družic navigačního systému GPS (*Global Positioning System*) a představuje tak geometrický absolutní souřadnicový systém. Systém S-JTSK byl definován na bázi trigonometrické sítě a vykazuje nepravidelně měnící se lokální deformace. Z toho důvodu neplatí mezi oběma systémy přesný transformační klíč. Je proto důležité jednotlivé koeficienty transformace stanovit tak, aby chyba transformace byla co nejmenší.

5.2.2.4 Výběr kontrolních bodů pro transformaci

Nejpřesnější metodou geometrické transformace leteckého nebo družicového snímku je ortorektifikace s využitím digitálního modelu terénu. Pokud postup ortorektifikace nelze použít, existují i další postupy převedení obrazových dat do zvoleného mapového zobrazení. Jedná se zejména o jednoduchou podobnostní nebo afinní transformaci, polynomickou transformaci zvoleného stupně, transformaci metodou plátových modelů (transformace po částech) nebo transformaci pomocí racionálních polynomických funkcí. Všechny výše uvedené metody vyžadují použití tzv. kontrolních (vlíčovacích) bodů, tj. bodů o známých zeměpisných nebo mapových souřadnicích, které lze pokud možno jednoznačně identifikovat na snímku i v mapě. [59] [63]

Obecný postup rektifikace obrazu pomocí vlíčovacích bodů je následující:

1. sběr vlíčovacích bodů (GCP);
2. volba stupně transformace;
3. výpočet transformačních rovnic;
4. testování transformačních rovnic;
5. rektifikace obrazu;
6. převzorkování obrazu. [63]

Nejpoužívanější metodou pro transformaci dat pomocí identických vlíčovacích bodů je polynomická transformace druhého a vyšších řádů. Pokud má deformace souřadnicové soustavy transformované mapy, snímku nebo jiného zdroje komplikovanější průběh anebo lokální charakter, je dobré použít polynomickou transformaci vyššího řádu. [63]

Polynomická transformace n-tého řádu má tvar:

$$X = \sum_{m=0}^n \sum_{i=0}^m a_{m,i} x^i y^{m-i}$$

$$Y = \sum_{m=0}^n \sum_{i=0}^m b_{m,i} x^i y^{m-i}$$

Koeficienty transformačních rovnic se odhadnou metodou nejmenších čtverců. [63]

Pro výpočet koeficientů polynomické transfor-

mace n-tého řádu je potřebných alespoň

$$N_n = \frac{n^2 + 3n + 2}{2}$$

dvojic identických bodů. [63]

Speciálně pro afinní transformaci $\rightarrow n=1$ jsou potřebné alespoň tři dvojice identických bodů. V případě polynomu druhého řádu je zapotřebí znát souřadnice minimálně šesti identických bodů, při použití polynomu třetího řádu pak deseti identických bodů. [59] [63]

Nedoporučuje se však používat minimální počet bodů, ale přidat další body, které zmenší polohovou chybu. V praxi se používají pouze polynomy druhého a třetího řádu, jelikož vyšší řády nepřinášejí podstatnější zvýšení přesnosti, spíše naopak. [59] [63]

Polynom druhého řádu:

$$X = a_0 + a_1x + a_2y + a_3xy + a_4x^2 + a_5y^2$$

$$Y = b_0 + b_1x + b_2y + b_3xy + b_4x^2 + b_5y^2$$

Resp. třetího řádu:

$$X = a_0 + a_1x + a_2y + a_3xy + a_4x^2 + a_5y^2 + a_6x^2y + a_7xy^2 + a_8x^3 + a_9y^3$$

$$Y = b_0 + b_1x + b_2y + b_3xy + b_4x^2 + b_5y^2 + b_6x^2y + b_7xy^2 + b_8x^3 + b_9y^3$$

[59] [63]

Tab. 91 Minimální počty bodů v jednotlivých stupních polynomické transformace

Stupeň polynomické transformace	Minimální počet bodů*
první	3
druhý	6
třetí	10

* vhodnější je přidat více bodů – zmenšení polohové chyby

5.2.3 Výběr příznaků

Příznaky rozumíme objekty, které mají být identifikovány v celém obrazu (scéně). Jsou tedy vybírány vždy s přihlédnutím k danému projektu nebo experimentu. V našem případě jde tedy o identifikaci lokalit zaplavených povodňovými vodami.

Definování příznakového prostoru:

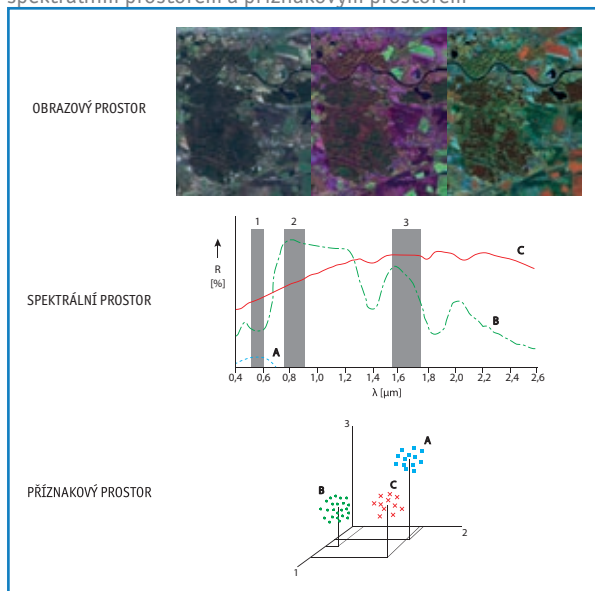
- jednotlivé spektrální příznaky jsou definovány v rámci příznakového prostoru;
- osy příznakového prostoru jsou dány počtem použitých spektrálních kanálů. [56]

5.2.3.1 Výběr testovacího území a trénovacího souboru

Testovací území musí být vymezeno tak, aby ob-

sahovalo všechny prvky (objekty) našeho zájmu. Testovací území musí být jednoznačně vymezeno pomocí zeměpisných souřadnic, trénovací soubor musí obsahovat všechny třídy našeho zájmu. Trénovací plochy musejí být definovány zcela jednoznačně. [56]

Obr. 51 Schéma vztahu mezi multispektrálním obrazem, spektrálním prostorem a příznakovým prostorem



Zásady pro výběr testovacího území a trénovacího souboru:

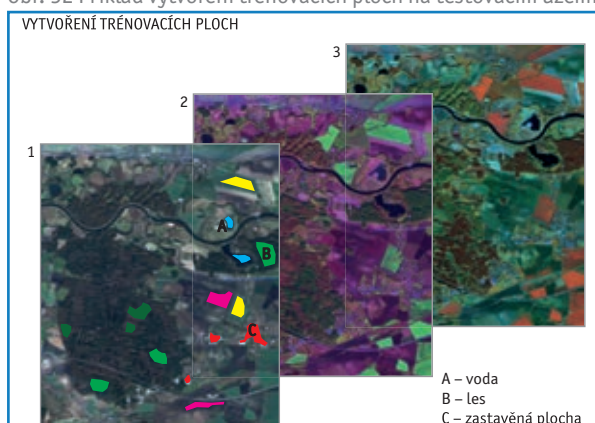
- testovací území musí být kompletní a reprezentativní;
- mělo by zahrnovat také podpůrná data;
- testovány jsou spektrální třídy. [56]

Trénovací soubor musí splňovat následující podmínky:

- dostatečný počet pixelů v každé trénovací ploše;
- vhodná velikost trénovacích ploch;
- vhodná poloha trénovacích ploch;
- rozmístění trénovacích ploch pro každou třídu.

[56]

Obr. 52 Příklad vytvoření trénovacích ploch na testovacím území



5.2.3.2 Podpůrná data

Pro úspěšný proces řízené klasifikace obrazu je zcela nezbytná vysoká přesnost výběru trénovacího souboru pro budoucí klasifikaci. Pro přesnou identifikaci jednotlivých objektů (záplavových vod) se musí využít všechny možné stávající zdroje dat, které jsou pro danou lokalitu k dispozici.

Trénovací soubor lze výrazně zpřesnit terénním průzkumem. Příprava terénního průzkumu vychází ze znalostí spektrálního projevu jednotlivých typů vodních hladin získaných při analýze příznakového prostoru a z dalších podpůrných datových souborů.

5.2.3.3 Modelování

Modelování v oblasti DPZ je důležité pro zpřesnění identifikace jednotlivých objektů na zemském povrchu. Přístupů k modelování dat DPZ je několik:

- fyzikální modelování – kvantifikace parametrů ovlivňujících modelovanou veličinu. Cílem je získat absolutní hodnoty odrazivosti;
- empirické modelování – vztah mezi daty DPZ a např. biofyzikálními parametry objektů. Tento vztah je formulován na základě regresní závislosti;
- kombinovaný přístup prvních dvou – přepočítání hodnot pixelů na absolutní hodnoty a jejich korelační a regresní analýza s pozemními měřeními;
- modelování příznakového prostoru – na základě analýzy rozložení pixelů a shluků v příznakovém prostoru se opětovně upravuje trénovací soubor tak, aby míry separability a homogenity byly co možná největší. [64] [65] [66]

Nejčastěji je využíváno fyzikální modelování pomocí spektrálních indexů. Jedná se o aritmetické operace s pásmy multispektrálního obrazu. Cílem je na základě spektrálního chování zvýraznit (potlačit) některou složku v obraze. Spektrální indexy lze rozdělit na:

- poměrové;
- ortogonální. [62] [65]

Poměrové indexy jsou vhodným nástrojem pro studium kontaminace vodních ploch. Příkladem takovýchto indexů je celá řada, nejčastěji jsou sestavovány právě pro multispektrální data z ETM+ družice Landsat 7, nebo OLI družice Landsat 8.

Ke kvantifikaci vypočtených parametrů jsou nutné indexy počítané z atmosféricky korigovaných dat. [62] [65]

Ortogonální indexy jsou lineární kombinací původních pásem multispektrálního obrazu. [62] [65]

5.2.4 Analýza příznakového prostoru

Při analýze příznakového prostoru je nutné se zaměřit na maximální míru separability a homogenity tříd. Nejčastějším hodnocením vzájemné separace tříd je pomocí korelačního pole dvou pásem a elipsy charakterizující trénovací množinu každé třídy. [56] [65]

5.2.4.1 Separabilita

Hodnocení míry separability (odlišnosti) mezi jakýmkoliv dvěma třídami může být vyjádřena také v kvantitativní formě.

Obecně vzato, analýza datového souboru v rámci příznakového prostoru před procesem klasifikace je pro dobrý výsledek klasifikace nezbytností. V průběhu tohoto procesu je vždy stanoven konečný počet příznaků (tříd) pro příslušné datové soubory a veškeré testy separability a analýzy kontingenčních tabulek. [59] [63]

Separabilita je statistické měření vzdálenosti vždy mezi dvěma příznaky v příznakovém n -rozměrném prostoru. Pro výpočet separability bylo odvozeno několik vztahů. V rámci tohoto zpracování byl použit jednak test separability pomocí transformované odchylky (TD – *Transformed Divergence*) – což je vážená vzdálenost mezi průměrnými vektory uvažovaných tříd a také test podle předpisu Jeffries-Matusita. [59]

Transformovaná odchylka je v tomto případě definována vztahem:

$$D_{ij} = \frac{1}{2} \text{tr}((C_i - C_j)(C_i^{-1} - C_j^{-1})) + \frac{1}{2} \text{tr}((C_i^{-1} - C_j^{-1})(\mu_i - \mu_j)(\mu_i - \mu_j)^T)$$

potom

$$TD_{ij} = 2 \left(1 - \exp\left(\frac{-D_{ij}}{8}\right) \right)$$

kde:

i a j ... dvě srovnávané třídy (příznaky);

C_i ... kovarianční matice třídy (příznaku) i ;

μ_i ... průměrový vektor třídy (příznaku) i ;

tr ... trasovací funkce (suma prvků na hlavní diagonále);

T ... transpoziční funkce. [59]

Rovnice pro výpočet vzdálenosti Jeffries-Matusita (JM) je definována jako:

$$\alpha = \frac{1}{8} \left(\frac{2(\mu_i - \mu_j)^T (\mu_i - \mu_j)}{C_i + C_j} \right) + \frac{1}{2} \ln \left(\frac{|C_i + C_j|}{2\sqrt{|C_i||C_j|}} \right)$$

potom

$$JM_{ij} = \sqrt{2(1 - e^{-\alpha})}$$

Pokud ze všech testů separability je jasně patrné, že všechny vybrané třídy (příznaky) pro všechny datové soubory jsou dobře separovány, potom takto vybrané trénovací soubory mohou být s úspěchem použity např. pro pravděpodobnostní klasifikaci. [59]

5.2.4.2 Homogenita

Z hlediska výše kvality výsledku klasifikačního procesu je třeba, aby dané analyzované příznaky (třídy) byly také co možná nejvíc homogenní. V rámci příznakového prostoru můžeme homogenitu (heterogenitu) posuzovat ze dvou hledisek.

Z hlediska spektrální homogenity (heterogenity) lze použít vztahu:

$$h_s = \sum_c w_c \sigma_c$$

kde:

c ... je proměnná příznakového prostoru (např. pásmo multispektrálního obrazu);

w ... je váha daného atributu;

σ ... je směrodatná odchylka pixelů daného pásma.

Z hlediska tvarové homogenity (heterogenity) se posuzuje hladkost, která optimalizuje hranice:

$$h_h = \frac{1}{\sqrt{n}}$$

a kompaktnost, která optimalizuje tvar:

$$h_k = \frac{l}{b}$$

kde:

l ... je obvod skupiny pixelů;

n ... počet pixelů tvořících skupiny (shluky);

b ... obvod nejmenšího pravoúhelníku opsaného skupině (shluku) pixelů. [59] [63]

5.2.5 Výběr klasifikačního pravidla a vlastní proces klasifikace obrazu

Obecně si lze pod pojmem klasifikace představit třídění objektů do jednotlivých skupin (tříd).

V projektu byla použita pouze příznaková klasifikace (operující v tzv. příznakovém prostoru), která patří mezi základní metody DPZ. Na základě multispektrálního obrazu jsou sestaveny spektrální příznaky, tj. charakteristické změny radiační veličiny v závislosti na změně druhového či stavového parametru. Dochází tak ve své podstatě ke třídění obrazových pixelů do jednotlivých skupin o podobných vlastnostech – ke klasifikaci dat na základě určitého rozhodovacího pravidla (klasifikátoru). [59] [63]

Počet pixelů pokrývajících stejné území (v geografickém smyslu slova) závisí přirozeně na počtu pásem (obrazových vrstev) družicového snímku, vstupujících do procesu klasifikace. Tato množina pixelů se často označuje jako spektrální vektor. Algoritmus klasifikace se obecně snaží separovat jednotlivé spektrální vektory do předem definovaných tříd (např. půda, vegetace, vodní plochy, atd.). Výsledná tematická mapa tak odráží počet a proporce těchto tříd. [58] [59] [63]

Klasifikace jako taková vyžaduje dva kroky. Nejprve je analyzována podobnost spektrálních vektorů s ohledem na spektrální odrazivost (naplnění příznakového prostoru). Následuje pak vlastní klasifikace, tj. přiřazení k jednotlivým třídám. Statistika obrazových dat je tak přímo ovlivněna výběrem trénovacího souboru. Uživatel má tak možnost ovlivnit nejen počet výsledných tříd, ale i jejich význam. [58] [59] [63]

Výběr klasifikačního pravidla je důležitý pro predikci možné přesnosti klasifikačního procesu. Z tohoto důvodu se používají pouze řízené klasifikátory.

Příklad dělení řízených klasifikátorů:

- geometrické;
- pravděpodobnostní;
- hybridní;
- expertní;
- umělé neuronové sítě.

Pro účely tohoto projektu byla metodika postavena na pravděpodobnostním klasifikátoru největší pravděpodobnosti (Maximum-Likelihood Classifier).

5.2.5.1 Klasifikace největší pravděpodobnosti

Tento klasifikátor je založen na předpokladu, že rozdělení bodů tvořících jednu třídu tréninkových dat má Gaussovo, tedy normální rozdělení. Lze tak určit statistickou pravděpodobnost dané hodnoty pixelu jako člena vybrané třídy. Pixel je nakonec zařazen do třídy s největší určenou pravděpodobností. [63]

Po analýze a testování příznakových prostorů

bylo možno přistoupit k vlastní řízené klasifikaci. Dobrý výsledek dalo Bayesovo pravidlo největší pravděpodobnosti. Proces klasifikace proběhl podle následujícího předpisu:

$$D = \ln(a_c) - \left(\frac{1}{2} \ln |Cov_c| \right) - \left(\frac{1}{2} \frac{(X - M_c)^T (X - M_c)}{Cov_c} \right)$$

kde:

D ... váhová vzdálenost (pravděpodobnost);

c ... daná třída (příznak);

X ... rozměrový vektor kandidátského pixelu;

M_c ... střední vektor vzorku třídy (příznaku) c ;

a_c ... procentuální pravděpodobnost, kdy kandidátní pixel se stává součástí třídy c ;

Cov_c ... kovarianční matice pixelů ve vzorku třídy c ;

$|Cov_c|$... determinant Cov_c ;

\ln ... přirozený logaritmus;

T ... transpoziční funkce. [63]

Pro zvýšení přesnosti Bayesova klasifikátoru bylo použito váhových faktorů pro jednotlivé třídy. Ty byly počítány jako váhové odchylky podle následujícího předpisu:

$$W_{ij} = \frac{\sum_{i=1}^{c-1} \left(\sum_{j=i+1}^c f_i f_j U_{ij} \right)}{\frac{1}{2} \left[\left(\sum_{i=1}^c f_i \right)^2 - \sum_{i=1}^c f_i^2 \right]}$$

kde:

i a j ... jsou dva příznaky (třídy), které se porovnávají;

U_{ij} ... nevážená odchylka mezi i a j ;

W_{ij} ... vážená odchylka mezi i a j ;

c ... počet příznaků (tříd);

f_i ... váhový faktor pro příznak i . [63]

5.2.6 Verifikace výsledků klasifikace obrazu

Výsledek klasifikace je hodnocen podle různých kritérií. Klasifikace není ukončena, dokud není stanovena její přesnost.

Pro chyby v klasifikaci obrazu platí následující:

- chybně klasifikované pixely se ve výsledném obrazu nevyskytují náhodně, ale mají určité prostorové uspořádání;
- chybně klasifikované pixely jsou většinou aso-

ciovány pouze s určitými třídami;

- chybně klasifikované pixely se většinou nevykytují izolovaně, ale v určitých skupinách;
- chybně klasifikované pixely jsou svým výskytem vázány na typické části klasifikovaných ploch. [62]

Přesnost klasifikace se stanovuje nejčastěji dvěma způsoby:

- sestavením klasifikační chybové matice, která srovnává výsledek klasifikace s testovacími plochami, které byly použity pro sestavení trénovacího souboru;
- hodnocením výsledku klasifikace s přímým využitím trénovacího souboru. [63]

Klasifikační chybová matice se sestavuje pro dané třídy, kdy se srovnávají jednotlivé pixely v plochách ve výsledku klasifikace s reálnými „pixely“ určenými v testovacím území. Příklad takové klasifikační chybové matice je v následující tabulce:

Tab. 92 Klasifikační chybová matice

třída	kód	suma pixelů	0	1	2	3	4	5
Voda čistá	1	123	13	110	0	0	0	0
Voda kont. 1	2	98	15	0	83	0	0	0
Voda kont. 2	3	74	5	0	0	69	0	0
Voda kont. 3	4	66	8	0	0	0	58	0
Les	5	106	9	0	0	0	0	97

Přůmerná přesnost: $P_K = 89,29\%$

Z tabulky je patrné, že správně klasifikované pixely se nacházejí na diagonále. Počty mimo diagonálu představují chyby v klasifikaci. Z tabulky lze také velmi dobře identifikovat třídy, které se spolu nejvíce zaměňují nebo třídy, které od sebe nelze odlišit vůbec. [56] [63] [67]

Průměrná přesnost je tedy stanovena podílem sumy pixelů na hlavní diagonále a celkovým počtem posuzovaných pixelů (kategorie 0 jsou neklasifikované/nezařazené pixely):

$$P_K = \frac{\sum_{i=1}^n pix_{diag}}{\sum_{i=1}^n pix_{TS}} \quad [56] [63]$$

Hodnocení výsledku klasifikace s přímým využitím trénovacího souboru zahrnuje:

- chyby z opomenutí (vynechání) – ve sloupcích

mimo hlavní diagonálu;

- chyby z nesprávného zařazení – v řádcích matice mimo hlavní diagonálu;
- přesnost z hlediska uživatele – představuje pro každou třídu počet správně klasifikovaných pixelů (hodnota na hlavní diagonále) dělený celkovým počtem pixelů, které do této kategorie byly zařazeny (suma v řádce);
- přesnost z hlediska zpracovatele – poměr mezi počtem správně klasifikovaných pixelů (tedy opět hodnota na hlavní diagonále) a počtem pixelů použitých pro testování dané třídy (suma ve sloupci). [56] [62] [63]

Tab. 93 Klasifikační chybová matice s využitím testovacích dat

		Referenční data									
Klasifikovaná data	třída	kód	0	1	2	3	4	5	Σ	PU[%]	
	Voda čistá	1	7	321	0	43	0	0	0	371	86,5
Voda kont. 1	2	4	0	35	0	0	0	0	39	89,7	
Voda kont. 2	3	15	0	0	108	26	0	0	149	72,5	
Voda kont. 3	4	18	0	10	0	284	0	0	312	91,0	
Les	5	6	0	0	0	16	228	0	250	91,2	
SUMA			50	321	45	151	326	228	1121	87,1	
CHO [%]				0,0	22,2	28,5	12,9	0,0			
CHZ [%]				11,6	0,0	17,4	3,2	6,4			
PZ [%]				100,0	77,8	71,5	87,1	100,0			

Vysvětlivky k tabulce:

průměrná přesnost je 87,1 %;

CHO ... chyba z opomenutí;

CHZ ... chyba z nesprávného zařazení;

PU ... přesnost z hlediska uživatele;

PZ ... přesnost z hlediska zpracovatele. [62]

Hodnocení výsledků klasifikace – koeficient kappa

• porovnává klasifikaci provedenou podle určitého rozhodovacího pravidla s klasifikací vzniklou čistě náhodným procesem zařazování pixelů do jednotlivých tříd;

• jeho výpočet je založen na předpokladu, že i při pouze náhodném procesu zařazování pixelů zpracovávaného obrazu do jednotlivých tříd bude určité procento těchto pixelů zařazeno správně;

Potom hodnotu koeficientu Kappa lze zjednodušeně vyjádřit následujícím způsobem:

$$K = \frac{PP - PO}{1 - PO}$$

kde:

PP ... přesnost pozorovaná (určená z chybové matice);

PO ... přesnost dosažitelná pouze náhodným zařazením pixelů do jednotlivých tříd. [59] [63]

Podle výsledků verifikace klasifikace, neboli stanovení požadované přesnosti klasifikace, se buď výstup z klasifikace implementuje do geoinformačního systému, kde tvoří jednu z „tematických vrstev“, nebo se celý zpracovatelský proces zopakuje od výběru příznaků, přes analýzu příznakového prostoru až po klasifikační pravidlo a klasifikaci.

Na Obr. 53 je prezentována extrakce vodních ploch ze snímku družice Landsat 8 (růžové odstíny). S využitím klasifikačních postupů lze od sebe odlišit relativně čistou vodu od vodní masy zkalené množstvím příměsí při povodni (odplavená zemina, ropné produkty apod.), případně i zjistit místa jejich usazování v krajině. Výřez zahrnuje oblast jižně od Prahy.

Obr. 53 Příklad výsledku řízené klasifikace (rozsah rozlivu vodních ploch)



5.2.7 Prezentace výsledků klasifikace ve webové mapové aplikaci

Výsledkem klasifikace je tematická mapa, která je prezentována ve webové mapové aplikaci jako jedna z mapových vrstev.

Výstupní analýzy družicových snímků z povodňových situací jsou primárně určeny k identifikaci potenciálních rizikových oblastí, a to zejména v místech, kde jsou evidovány v registrech IRZ a IPPC znečišťovatelé produkující emise škodlivin do vody a půdy. Informace o znečišťovateli jsou pravidelně aktualizovány a publikovány pomocí WMS služeb poskytovaných Národním geoportálem INSPIRE.

Pro vzájemné porovnání těchto vstupních dat lze využít dvou přístupů:

- prvním je zobrazení všech vstupních dat v prostředí GIS, kde lze nad analyzované družicové snímky zobrazit další tematické mapové vrstvy dostupné nejen pomocí WMS služeb (včetně výše zmíněných);
- další možností je zobrazení vrstev ve vytvořené webové aplikaci pro vizualizaci dat. Zde jsou k dispozici vrstvy s lokalitami evidovanými v regi-

strech IRZ a IPPC a analyzované družicové snímky jako podkladová data. Výhodou je otevřenost a dostupnost této aplikace, jejíž finální verze je zpřístupněna široké veřejnosti. Samotná webová aplikace je popsána v kapitole 7.2 Vizualizace dat.

5.3 ZPRACOVÁNÍ DRUŽICOVÝCH DAT Z TEPELNÉ OBLASTI SPEKTRA

Z hlediska identifikace kontaminace záplavových vod (především identifikace materiálů aktivních v prostředí) je metodami DPZ možné například mapovat teploty, které v průměrech za delší období velmi dobře vypovídají o stavu dané lokality. Díky možnosti některých družicových systémů snímat v termální infračervené části spektra, lze sestavit mapy povrchových teplot, které jsou vhodným podkladem pro základní identifikaci některých specifických kontaminantů.

Pro tyto účely byla použita termální pásma senzoru TIRS družice Landsat 8 (Tab. 94). Základní fyzikální principy a zákony, z nichž je nutné při termálním mapování vycházet jsou popsány níže. Jsou zde popsány algoritmy a vztahy, jež se v rámci termálního mapování uplatňují při kvantitativním vyjádření teplotních poměrů.

Tab. 94 Spektrální pásma TIRS družice Landsat 8

Pásma	Rozsah od (μm)	Rozsah do (μm)	Rozlišení (m)
TIR1	10,3	11,3	100
TIR2	11,5	12,5	100

Z hlediska elektromagnetického záření je za termální (tepelnou) infračervenou část spektra považováno záření ve vlnových délkách větších než $3 \mu\text{m}$. Avšak vlivem atmosféry je pro metody DPZ možné využít atmosférických oken o vlnových délkách $3\text{--}5 \mu\text{m}$ a $8\text{--}14 \mu\text{m}$. Vzhledem k tomu, že v oblasti $3\text{--}5 \mu\text{m}$ je množství odraženého záření poměrně značné, je možné k měření teplot využít pouze noční snímky. Naopak v oblasti $8\text{--}14 \mu\text{m}$ je již množství odraženého záření vzhledem k emitovanému velmi malé, proto je možné použít toto atmosférické okno ke zjišťování teplot i pro snímky pořízené v denních hodinách. Právě v tomto atmosférickém okně jsou situována tepelná pásma družice Landsat 8 (rozsah pásem $10,3\text{--}12,5 \mu\text{m}$, prostorové rozlišení 100 metrů lze převzorkovat na 30 metrů pro kompatibilitu s ostatními spektrálními pásmy senzoru OLI).

Objekty na zemském povrchu vyzařují energii jako funkci své teploty, což je vlastně vnější projev této energie. Právě tento vnější projev energie nazývaný radiační (jasová) teplota je předmětem zájmu metod zpracování tepelných dat DPZ.

Každé těleso emituje záření, jehož spektrální složení a intenzita jsou funkcí typu materiálu a jeho teploty. K pochopení teplotního mapování – tedy zaznamenávání a kvantifikaci tohoto záření – je třeba vycházet ze základních funkčních vztahů. Tedy z Planckovy funkce (absolutně černého tělesa),

Wienova zákona posuvu, Stefan-Boltzmannova zákona, Kirchofova zákona a dalších vztahů. [60] [66]

V konkrétních případech je výpočet povrchové teploty obecně složitější. Důvodem mohou být jak specifika digitálního obrazového záznamu snímku (počet termálních pásem), tak například i potřeba atmosférických korekcí. Do současnosti bylo publikováno množství algoritmů, jež jsou často vyvinuty pro výpočet teplot povrchů z konkrétního senzoru. [68]

Algoritmy používané pro výpočet povrchové teploty lze rozdělit na:

- tzv. split-window algoritmy a multispektrální algoritmy. Z hlediska počtu využívaných termálních pásem se v prvním případě jedná o algoritmy využívající dvě termální pásma, ve druhém případě o algoritmy využívající více termálních pásem;
- mono-window algoritmy využívají na vstupu jedině termální pásmo, což je případ např. starších dat z družice Landsat 7. [68]

5.3.1 Mono-window algoritmy

Jak již bylo zmíněno výše, do mono-window algoritmů pro výpočet povrchové teploty vstupuje pouze jedno termální pásmo. Poměrně jednoduchý algoritmus pro zjištění teplot poskytla NASA. Algoritmus využívající pouze jedno termální pásmo má však obecně tu nevýhodu, že zjištěné teploty nejsou zbaveny vlivu atmosféry, proto pracovníci NASA vyvinuli a aplikovali pro data z družice Landsat 7 algoritmus, který modeluje stav atmosféry pomocí dvou základních meteorologických ukazatelů stavu atmosféry – transmitance (propustnosti) a průměrné teploty atmosféry. [68] [69] [70]

Algoritmus se může rozdělit do tří fází, které jsou dílčími kroky mezi výpočtem LST (*Land Surface Temperature*) z původní DN (*Digital Number*). Za prvé je nutné převést DN hodnotu na spektrální hustotu energie záření o dané vlnové délce L_λ (tedy rozmezí vlnových délek, v nichž pásmo snímá $10,4\text{--}12,5 \mu\text{m}$ dopadající na senzor, v jednotkách $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}\cdot\mu\text{m}^{-1}$):

$$L_{(\lambda)} = \frac{L_{\min(\lambda)} + (L_{\max(\lambda)} - L_{\min(\lambda)})Q_{dn}}{Q_{\max}}$$

kde:

Q_{\max} ... maximální možná DN hodnota ($Q_{\max} = 255$);

Q_{dn} ... DN hodnota pixelu;

$L_{\min(\lambda)}$ a $L_{\max(\lambda)}$... minimální a maximální zaznamatelné hodnoty spektrální hustoty pro $Q_{dn} = 0$ a $Q_{dn} = 255$. [69] [70]

Pro snímek Landsat 7 ETM+ pořízený v módu „low gain“ jsou odpovídající hodnoty $L_{min(\lambda)} = 0$ a $L_{max(\lambda)} = 17,04 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}\cdot\mu\text{m}^{-1}$, zjednodušeně pak platí, že $L_{(\lambda)} = 0,06823529 Q_{dn}$. [69] [70]

Jakmile je známa hodnota spektrálního záření, je možné pomocí Planckovy funkce pro teplotu vypočítat radiční teplotu T_{rad} v Kelvinech zaznamenanou senzorem:

$$T_{rad} = \frac{K_2}{\ln\left(1 + \frac{K_1}{L_{(\lambda)}}\right)}$$

kde:

K_1 a K_2 ... kalibrační konstanty, jejichž hodnoty jsou pro senzor ETM+ $K_1 = 666,09 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}\cdot\mu\text{m}^{-1}$ a $K_2 = 1282,7 \text{ K}$. [69] [70]

Je-li známa emisivita povrchů na mapovaném území, je možné vypočítat přímo teplotu povrchů dle následujícího vztahu:

$$T_{kin} = \frac{T_{rad}}{1 + \left(\frac{\lambda T_{rad}}{\alpha}\right) \ln \varepsilon}$$

kde:

λ ... vlnová délka emitovaného záření (v našem případě odpovídá střední hodnotě mezi vlnových délek pro termální pásmo Landsatu 7, tedy $\lambda = 11,45 \mu\text{m}$);

$$\alpha = \frac{hc}{K} = 1,438 \cdot 10^{-2} \text{ mK}$$

kde:

K ... Stefan-Boltzmannova konstanta ($1,38 \times 10^{-23} \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}$);

h ... Planckova konstanta ($6,26 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$);

c ... rychlost světla ($2,998 \times 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$).

Pokud však chceme opravit teploty o atmosférickou korekci, pak je možné použít vztah:

$$T_{kin} = \frac{a(1-C-D) + (b(1-C-D) + C + D)T_{rad} - DT_a}{C}$$

kde:

a a b ... koeficienty popsané v Tab. 95;

T_a ... průměrná efektivní teplota atmosféry a pro parametry C a D platí:

$$C = \varepsilon\tau$$

$$D = (1 - \tau)[1 + (1 - \varepsilon)\tau]$$

kde:

ε ... emisivita povrchu;

τ ... transmitance atmosféry. [69] [70]

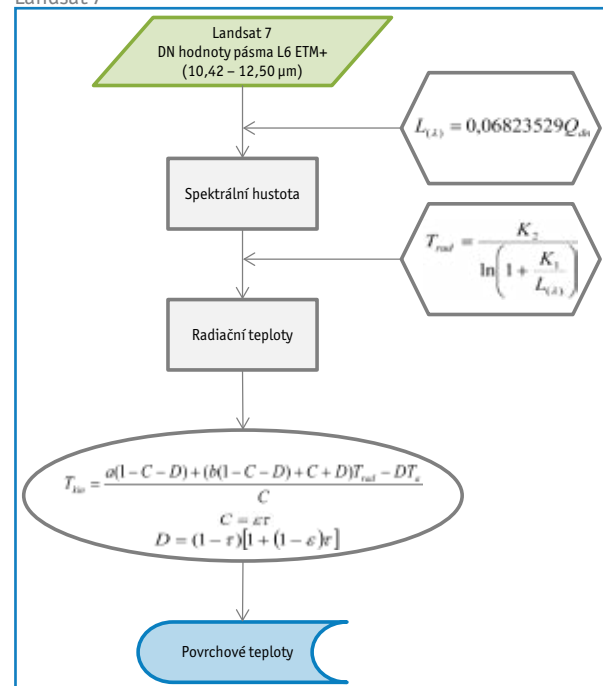
Tab. 95 Koeficienty výpočtu atmosféricky korigovaných povrchových teplot

Rozpětí teplot [°C]	Koeficienty	
	a	b
0 – 30	-60,3263	0,43436
10 – 40	-63,1885	0,44411
20 – 50	-67,9542	0,45987
30 – 60	-71,9992	0,47271

Z předchozího tedy vyplývá, že z radiční teploty lze vypočítat povrchovou teplotu opravenou o vliv atmosféry. K tomu je však nutná znalost emisivity povrchů. Z hlediska atmosféry pak její průměrná teplota a transmitance. Emisivitu povrchů je možné vypočítat například z hodnot NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), nebo hodnoty emisivity stanovit tabelárně pro určitou klasifikaci jednotlivých druhů povrchů.

Co se týče průměrné teploty atmosféry, je možné ji v případě, že nejsou k dispozici přesnější data, odvodit z teploty vzduchu nad povrchem (ve výšce dvou metrů) pomocí modelu standardních atmosfér. Obdobným způsobem je možné vypočítat transmitanci z hodnot obsahu vodních par. [69] [70]

Obr. 54 Technologický postup zpracování tepelných dat z družice Landsat 7

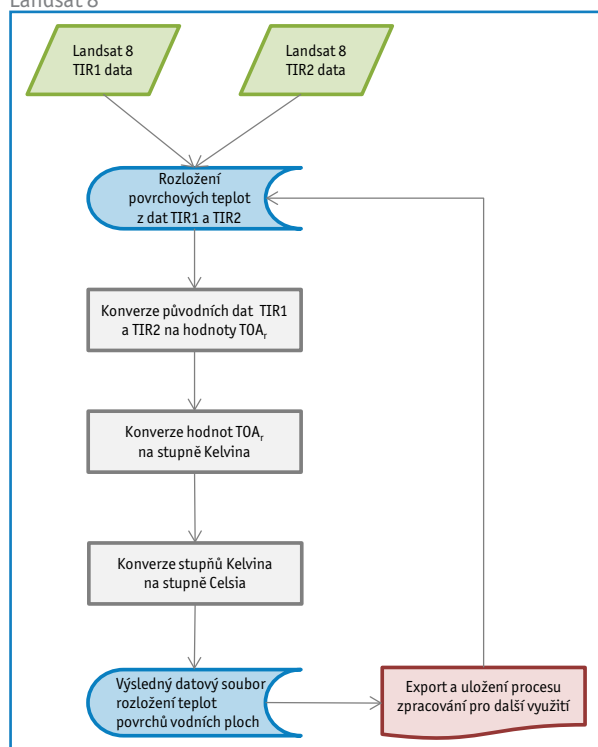


5.3.2 Split-window algoritmy

Pro ověření možností využití družicových dat z oblasti tepelného záření, byla v projektu testována poslední, a z hlediska spektrálního rozlišení i nejpřesnější, tepelná data z družice Landsat 8.

Obrazová data z družice Landsat 8, která poskytuje americká geologická služba (USGS EROS Center), jsou dodávána ve formátu kvantifikovaných a kalibrovaných digitálních hodnot (DN). Data ze systému TIRS jsou kvantifikována na 16bit a mohou být přepočítána pomocí radiometrických koeficientů na spektrální zář horní vrstvy atmosféry (TOA – *Top Of Atmosphere*), které jsou uvedeny u každého datového souboru TIRS v metadatech (*.mtl). Soubory *.mtl obsahují také tepelné konstanty, nutné pro převod dat z TIRS na teplotu jasu. [68]

Obr. 55 Technologický postup zpracování tepelných dat z družice Landsat 8



Kompletní postup zpracování tepelných dat ze systému TIRS družice Landsat 8 je uveden na Obr. 55. Z něho vyplývá, že v rámci zpracování jsou nejdůležitější dvě datové konverze:

Konverze digitálních radiometrických hodnot (DN) na spektrální zář horní vrstvy atmosféry (TOA)

Data z obou tepelných pásem TIRS jsou převedena na spektrální zář TOA pomocí koeficientů uvedených v příslušných metadatových souborech:

$$L_{\lambda} = M_L Q_{cal} + A_L$$

kde:

L_{λ} ... spektrální zář TOA ($W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot \mu m^{-1}$);

M_L ... multiplikační koeficient pro dané spektrální pásmo, který je v metadatovém souboru *.mtl popsán jako RADIANCE_MULT_BAND_x, kde x je číslo spektrálního kanálu;

A_L ... přírůstkový koeficient pro dané spektrální pásmo, který je v metadatovém souboru *.mtl popsán jako RADIANCE_ADD_BAND_x, kde x je číslo spektrálního kanálu;

Q_{cal} ... kvantifikované a kalibrované standardní digitální radiometrické hodnoty (DN). [69]

Konverze spektrální záře horní vrstvy atmosféry (TOA) na teplotu jasu

Hodnoty dat spektrální záře horní vrstvy atmosféry (TOA) mohou být konvertovány na teplotu jasu pomocí tepelných konstant, které jsou také uvedeny v příslušných metadatových souborech:

$$T = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_{\lambda}} + 1\right)}$$

kde:

T ... teplota jasu (K);

L_{λ} ... spektrální zář TOA ($W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot \mu m^{-1}$);

K_1 ... teplotní konstanta pro dané spektrální pásmo, která je součástí metadatového souboru *.mtl (K1_CONSTANT_BAND_x), kde x je číslo spektrálního kanálu (buď TIRS 10, nebo TIRS 11);

K_2 ... teplotní konstanta pro dané spektrální pásmo, která je součástí metadatového souboru *.mtl (K2_CONSTANT_BAND_x), kde x je číslo spektrálního kanálu (buď TIRS 10, nebo TIRS 11). [69]

Pokud již máme spočítanou teplotu jasu v Kelvinech pro jednotlivé typy povrchů, jednoduchým převodem můžeme převést tyto hodnoty na nám bližší stupně Celsia:

$$T_{(C)} = T_{(K)} - 273,15$$

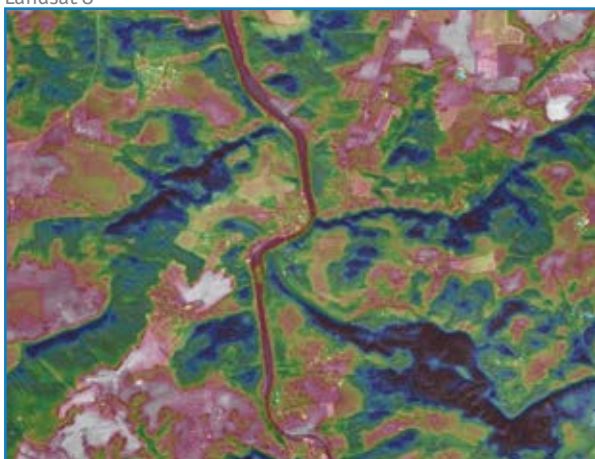
kde:

$T_{(C)}$... teplota ve stupních Celsia;

$T_{(K)}$... teplota v Kelvinech.

Na Obr. 56 je uvedena pseudobarevná kompozice panchromatického pásma B8 a prvního termálního pásma B10 ze senzoru TIRS družice Landsat 8. Jedná se o výřez z oblasti soutoku Vltavy a Sázavy, který ukazuje možnosti vzájemného odlišení vodních mas různých teplot (Vltava má zřetelně vyšší teplotu než Sázava). Zde je navíc velmi zřetelný i tepelný režim krajiny. Barevná stupnice v obraze odpovídá běžně užívanému zobrazení, tzn. červené odstíny představují nejteplejší oblasti, modré a fialové nejchladnější.

Obr. 56 Příklad zpracování dat z tepelné oblasti spektra družice Landsat 8



5.4 ZPRACOVÁNÍ RADAROVÝCH DRUŽICOVÝCH DAT

Pro kompletní přehled možností využití satelitních dat DPZ pro monitoring a následné řešení povodňových situací je nutno uvést i využití radarových dat. V tomto případě se nabízejí dvě možnosti, jak lze radarová data použít.

První možností je nákup radarových dat přímo od provozovatele satelitního systému a jejich zpracování vlastními prostředky (software, hardware a vlastní odborný tým). Tato cesta je jistě náročnější na zdroje, je však flexibilnější a také přesnější na konečné výsledky a výstupy.

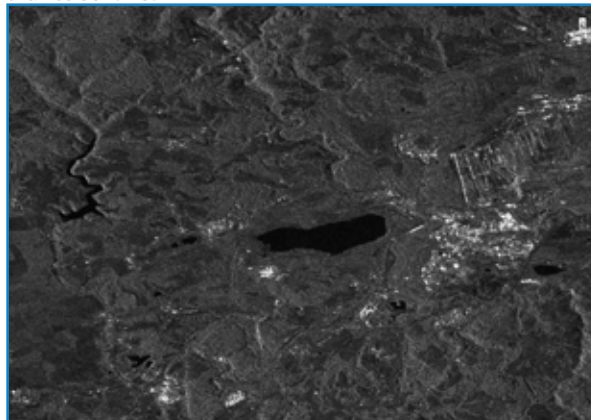
Druhou možností je využít služby krizového řízení GIO EMS – Mapping v rámci programu Copernicus. V rámci projektu byla prověřena možnost využití služby GIO EMS – Mapping. Služba samotná je popsána v kapitole 6.5 Krizové řízení.

V rámci jiných aktivit byla organizací CENIA služba GIO EMS – Mapping otestována právě pro oblast využití při velkých plošných záplavách. Je nutno konstatovat, že data byla dodána sice včas, ale ve špatné kvalitě. Při klasifikaci radarového obrazu došlo k časté záměně vodních ploch a lesních porostů (především jehličnatých lesů), což značně ztěžovalo určování hranice povodně. Také rektifikace satelitních dat do souřadnicového systému S-JTSK nebyla přesná.

Nicméně lze konstatovat, že použití služby GIO EMS – Mapping je do budoucna velmi perspektivní a je zde i oprávněná naděje, že se v rámci zpracování radarových obrazových dat krizové centrum ERC (*European Research Council*) v dohledné době vyvaruje chyb a nepřesností. Než se tak stane, je nutno doporučit, pokud je to možné, pořídit a zpracovat radarová obrazová data vlastními silami a ve vlastní režii.

Na Obr. 57 je detekována vodní masa s využitím radaru družice Sentinel 1. Vodní hladina se na radarovém snímku zobrazí tmavě, protože se od ní díky zrcadlovému odrazu ke snímači nevrací téměř žádný signál, zatímco okolní prostředí vždy určitou část radarového signálu odrazí zpět. Uprostřed výřezu je vidět umělá vodní nádrž Medard, vpravo od ní jasné odrazy od zástavby města Sokolov. Rovné linie nad Sokolovem jsou tvořeny těžebními strukturami povrchového dolu.

Obr. 57 Příklad zpracování dat z radaru se syntetickou aperturou družice Sentinel 1



6

Služby Copernicus a současný stav jejich implementace v ČR

6.1 ROZVOJ SLUŽEB COPERNICUS

V rámci programu Copernicus jsou provozovány, či v nejbližší době budou provozovány služby, které se dají rozdělit do šesti hlavních tematických oblastí:

- monitorování území (Land Monitoring);
- mořské prostředí (Marine Monitoring);
- atmosféra (Atmosphere Monitoring);
- krizové řízení (Emergency Management);
- bezpečnost (Security);
- změna klimatu (Climate Change).

Služby rozvíjené v rámci programu Copernicus dosáhly různého stupně rozvoje. Některé ze služeb jsou již v provozu, jako např. monitorování území a krizové řízení, další služby jsou ve fázi testovacího, či předprovozního režimu – služby monitorování atmosféry a mořského prostředí. Některé služby jsou ještě ve fázi vývoje (monitorování změny klimatu a bezpečnosti). Všechny tyto služby jsou, či budou poskytovány zdarma.

Služby Copernicus jsou založeny na družicových datech i na pozemních měřeních. S vypuštěním

prvních družic Sentinel přejde program Copernicus do plně operační fáze. V této fázi budou služby Copernicus poskytovat jasné a srozumitelné výsledné informace ve formě map, datových sad, reportinguů apod. Získané informace budou pomáhat především jako podpora pro rozhodování v širokém spektru oborů, budou usnadňovat politická rozhodnutí a současně přinesou potenciál pro rozvoj trhu, který bude na produkty Copernicus navázán.

Ve fázi operačního fungování služeb Copernicus se rozlišují dvě základní oblasti – jádrové služby (core services) a navazující služby (downstream services). První typ služeb bude využíván v rámci Evropské unie (EU) především k vyhodnocování plnění evropských politik. Tato data budou volně dostupná pro uživatele v EU. Navazující služby jsou specificky orientované služby, které na základě uživatelské poptávky budou řešit speciální zadání a budou hrazené zadavatelem (institucí, členským státem apod.). [71]

6.2 MONITOROVÁNÍ ÚZEMÍ

Služba monitorování území v rámci programu Copernicus poskytuje geografické informace o krajiněm pokryvu s vazbami např. na stav vegetace nebo koloběh vody v krajině. Služba podporuje aplikace v různých oblastech, jako je např. územní plánování, lesní hospodářství, vodní hospodářství, zemědělství, či potravinová bezpečnost.

Konkrétní monitorovací služby týkající se území byly stanoveny, vyvinuty a implementovány řadou projektů financovaných EU a ESA – příkladem jsou projekty geoland2, HELM, GSE Land a další.

Služba začala rutinně fungovat v roce 2012. Skládá se ze tří hlavních komponent, které byly definovány v průběhu iniciační fáze Copernicus v letech 2011–2013, a to:

- globální komponenty;
- panevropské komponenty;
- lokální komponenty.

Globální komponenta je koordinována Evropskou komisí, konkrétně DG JRC (*Directorate-General Joint Research Centre*). V rámci této komponenty budou produkována data o celé řadě biofyzikálních veličin v globálním měřítku, která budou popisovat stav vegetace (např. index listové plochy), energetickou bilanci (např. albedo), či koloběh vody (např. index půdní vlhkosti).

Panevropská komponenta je koordinována Evropskou agenturou pro životní prostředí (EEA – *European Environment Agency*). Základním kamenem panevropské komponenty je aktualizování datové tematické vrstvy CORINE Land Cover.

CORINE Land Cover představuje unikátní databázi o využití území a jeho změnách v Evropě od roku 1990. Jedná se o projekt iniciovaný Evropskou komisí, který je zpracováván jednotlivými státy podle jednotné metodiky. Vytvořené mapy v měřítku 1 : 100 000 obsahují celkem 44 tříd typů území. CORINE Land Cover existuje pro roky 1990, 2000, 2006 a 2012. Kompletní zpracování za ČR pro rok 2012 provedla CENIA.

Obr. 58 Ukázka vrstvy CORINE Land Cover 2006 pro ČR

zdroj: www.cenia.cz



Databáze CORINE Land Cover je doplňována tzv. vrstvami vysokého rozlišení (High Resolution Layers). Ty obsahují pět zpracovaných tematických vrstev ze satelitních dat s vysokým prostoro-

vým rozlišením, které zobrazují hlavní typy zemského pokryvu: umělé povrchy (např. komunikace a zpevněné plochy), lesní plochy, zemědělské plochy (travní porosty), mokřady, a vodní plochy. Zatímco nejmenší mapovanou jednotkou CORINE je 25 ha, u vrstev vysokého rozlišení je to 1 ha, jsou tedy výrazně podrobnější.

Lokální komponenta je také koordinována EEA. Jejím cílem je poskytovat konkrétní a velmi podrobné informace, které budou rozšiřujícím doplňkem informací získaných prostřednictvím panevropské komponenty.

Prvním příkladem lokální komponenty je Urban Atlas – služba vyvinutá v rámci projektů služby GMES land. Jedná se o sadu map historického i současného využití území v oblasti velkých evropských měst a jejich okolí. Data pro Urban Atlas byla vytvořena na podkladě družicových snímků vysokého rozlišení, čímž vznikly mapy o měřítku 1 : 10 000. Urban Atlas představuje cenný soubor informací, které mohou sloužit pro územní plánování a strategický rozvoj měst či jako podpora rozhodování na regionální úrovni. Urban Atlas pokrývá více než 350 evropských měst (v ČR zahrnuje celkem 13 regionů). První mapování proběhlo v roce 2006 a aktualizováno bylo v roce 2011; další aktualizace jsou plánovány v intervalu 3–5 let.

Kromě aktualizací např. Urban Atlasu, bude lokální komponenta řešit i biologické rozmanitosti v oblastech kolem toků řek.

Další projekty

Příkladem fungujícího projektu v oblasti monitorování území je geoland2. V rámci tohoto projektu je postupně vytvářena sada biofyzikálních parametrů charakterizujících vegetaci.

Jednou z navazujících služeb je projekt EUFODOS, který nabízí přesné a včasné informace o parametrech lesních porostů a o jejich poškození. [71]

6.2.1 Některé příklady aplikací

6.2.1.1 Ochrana lesních ploch pro snížení uhlíkové zátěže

Tento typ služby využívá družicová data pro získání globálních informací o stavu lesů, především ve vztahu ke koloběhu uhlíku v přírodě a jeho vlivu na změny klimatu.

Příklady produktů:

- mapy změn v pokryvu lesních porostů a změn vegetačního krytu obecně;

- globální biofyzikální proměnné veličiny týkající se stavu vegetace, jako například index listové plochy.

Vazby na další aktivity

- vytvoření prostoru pro pomoc rozvojovým zemím pro implementaci dat z družic Sentinel programu Copernicus pro vytváření jejich vlastních vývojových strategií (např. v oblasti dopadu klimatických změn);

- pokračování ve výzkumu a vývoji s cílem zlepšit využívání dat DPZ a dalších podpůrných dat tak, aby např. datové sady pro sledování koloběhu uhlíku v lesních ekosystémech byly přesné, důvěryhodné, transparentní a vzájemně porovnatelné.

Nejvhodnější družicový systém

Pro tuto aplikaci je plánováno využití družic programu Copernicus Sentinel 1 a Sentinel 2 (technické parametry viz Tab. 9 a Tab. 36), protože mj. nabízejí:

- operační evropský systém pro globální monitorování životního prostředí, včetně vegetace;
- zlepšené pokrytí tropických oblastí daty jak z optických, tak radarových sensorů s velkou šířkou záběru;
- vylepšené spektrální a prostorové rozlišení;
- zlepšené termínové rozlišení (zkrácená perioda snímání stejného území). [72]

6.2.1.2 Zvýšení potravinové bezpečnosti

Tento příklad služby popisuje využití družicových dat k pravidelnému poskytování geoprostorových informací o globálním stavu vegetace a koloběhu vody v přírodním prostředí. Tím tato služba pomáhá vytýpat oblasti možného potenciálního nedostatku potravin.

Příklady produktů

- různé celkové biofyzikální proměnné, které mají vztah ke stavu vegetace a výpočtům množství celkové energie a vody v prostředí;
- celkové vlastnosti půdy, jako například půdní vlhkost;
- tvorba map v téměř reálném čase pro monitoring zdravotního stavu zemědělské vegetace v Africe a Jižní Americe;
- tvorba satelitních map s velmi vysokým prostorovým rozlišením pro zemědělské oblasti v Evropě.

Vazby na další aktivity

DPZ se stále více používá k monitorování zemědělských plodin na celém světě, přesto je další výzkum v této oblasti potřebný především pro:

- zvýšení kvality satelitních sensorů (dat)

pro přesnější detekci zemědělských produktů;

- posílení sběru referenčních dat přímo v terénu pro zpřesnění vyhodnocování satelitních dat;

- zachování kvality a kontinuity současného systému pro sledování bezpečnosti potravin založeném na zpracování satelitních dat;

- přesně definované požadavky na budoucí satelitní data využívaná pro monitoring zemědělské produkce;

- integraci dat DPZ do současných (tradičních) systémů pro monitorování zemědělských plodin.

Nejvhodnější družicový systém

V současné době se pro sledování potravinové bezpečnosti využívá dat z družice SPOT, sensor VEGETATION. V okamžiku spuštění družicového systému Sentinel bude tato služba poskytována družicemi Sentinel 1, 2 a 3 (technické parametry viz Tab. 9, Tab. 36–38). Předností dat družic Sentinel bude:

- vysoké termínové rozlišení dat (krátká perioda mezi snímkovacími cykly jednoho území);
- velká šířka záběru sensorů (velké geografické pokrytí);
- rychlá distribuce dat směrem k uživatelům;
- koherentní spolehlivé informace. [73]

6.2.1.3 Sledování růstu měst a vlivu na jejich okolí

Tato služba je příkladem využití družicových dat pro získávání geografických informací o krajinném pokryvu a zároveň o teplotě zemského povrchu. Při použití vhodných technologií zpracování lze velmi účinně tato data využít pro aplikace v územním a městském plánování.

Příklady produktů

- teplota zemského povrchu jako jedna z biofyzikálních proměnných s nízkým rozlišením;
- mapy umělých povrchů s velmi vysokým prostorovým rozlišením;
- periodická aktualizace produktu EEA Urban Atlas.

Vazby na další aktivity

Další aktivity jsou přímo navázány na výše uvedené příklady tří produktů této služby:

- je třeba zvýšit naši znalost faktorů, které ovlivňují klimatické poměry v městských oblastech a s tím související potenciální možnosti využití družicových dat pro monitoring těchto oblastí;

- vytvořit funkční operační systém DPZ pro sledování a především odbornou interpretaci tepelných ostrovů v městských aglomeracích.

Nejvhodnější družicový systém

Pro tento typ aplikace bude z družic zahrnutých do programu Copernicus nejvhodnější družicový systém Sentinel 3, senzor SLST (technické parametry viz Tab. 38), který bude sledovat především:

- teploty povrchu s vysokým rozlišením;
- globální pokrytí území s dvoudenní periodou měření;
- dodání obrazových dat do tří hodin od jejich pořízení. [74]

6.3 MOŘSKÉ PROSTŘEDÍ

Služba monitorování mořského prostředí programu Copernicus zajišťuje pravidelné a systematické referenční informace o aktuálním stavu oceánů a moří. Pozorování a prognózy vytvořené v rámci této služby využijí všechny námořní aplikace.

Například poskytování přesných dat a informací o síle a směru větrů, rychlostech a směrech mořských proudů a pohybu mořského ledu pomůže zpřesnit trasy a načasování lodní dopravy na volném moři i v pobřežních vodách. V neposlední řadě služba umožní zpřesnit pátrací a záchranné operace, což přispívá k námořní bezpečnosti.

Tato služba rovněž přispívá k ochraně a udržitelnému rozvoji živých mořských ekosystémů (potenciálních zdrojů mořské výživy), zejména v oblasti výzkumu rybolovu a podpory místních rybářských organizací.

Sledování interakcí fyzikálních a mořských biogeochemických složek je důležité pro monitorování kvality vody a omezování znečištění. Zvyšování hladiny moří zintenzivňuje pobřežní erozi. Teplota povrchu moře je jedním ze základních fyzikálních dopadů změny klimatu a má přímý dopad na mořské ekosystémy. Z výše uvedeného plyne, že tato služba slouží i k podpoře široké škály aplikací pro sledování pobřežního a mořského životního prostředí.

Mnohé z dat poskytovaných touto službou (např. teplota, salinita, hladina moře, proudy, vítr nebo mořský led) také hrají klíčovou roli v oblasti předpovědi počasí a klimatických analýz.

V současné době jsou produkty služby poskytovány zdarma registrovaným uživatelům prostřednictvím interaktivního katalogu, který je k dispozici na portálu <http://marine.copernicus.eu>. Další produkty, které jsou ještě v předoperačním režimu, jsou v současné době poskytovány prostřednictvím projektu financovaného EU MyOcean2. Tato služba funguje v současné době v předprovozním režimu. [71]

6.3.1 Některé příklady aplikací

6.3.1.1 Monitoring znečištění oceánů ropnými produkty

Služba Copernicus pro monitorování mořského prostředí využívá družicová data především pro získání komplexních informací o fyzikálních procesech probíhajících v oceánech, které slouží jako vstup do modelů jejich znečištění, či do modelů pro posuzování rizik.

Příklady produktů

- fyzikální analýzy mořských procesů a prognózy;
- hydrodynamické předpovědi pro všechna regionální moře.

Vazby na další aktivity

- integrování radarových dat z více různých systémů s cílem zvýšit jejich aktualizaci (zkrátit periodu snímání dané lokality);
- ověření nové techniky a metody zpracování radarových dat pro detekci úniků ropy pomocí nových družicových snímacích systémů SAR;
- zvýšení kombinovaného zpracování multispektrálních optických dat s daty z obrazových SAR radarů pro snížení falešných poplachů detekujících únik ropy;
- prodloužení provozního dohledu nad mořskými ropnými plošinami a dalšími těžebními zařízeními;
- prohloubení spolupráce s mimoevropskými orgány námořní správy.

Nejvhodnější družicový systém

Pro tuto aplikaci bude využíván především systém SAR družic Sentinel 1 (technické parametry viz Tab. 9). Ten nabízí:

- dodání radarových obrazových dat téměř v reálném čase, bez ohledu na počasí, či denní/noční dobu;
- možnost sledování mořských proudů v horních oceánských vrstvách;
- možnost přesnějšího mapování rozsahu ropných skvrn na povrchu moří a oceánů. [75]

6.3.1.2 Sledování pohybu mořského ledu pro bezpečnější dopravu

Satelitní data pro tuto službu Copernicus poskytují pravidelné a systematické referenční informace a prognózy o pohybu a vlastnostech mořského ledu, které jsou nezbytné pro bezpečnost námořní dopravy. Včasné a rutinní zpracování satelitních dat DPZ umožňuje navigování lodí do bezpečných vod prakticky v reálném čase.

Příklady produktů

- monitorování a prognózy pohybu mořského ledu v severních mořích, včetně jeho plošné velikosti, tloušťky, rychlosti a směru pohybu, množství a velikosti prasklin;
- hydrodynamické předpovědi pro všechna regionální moře.

Vazby na další aktivity

- rozšíření služby monitoringu stavu a pohybu mořského ledu k zajištění bezpečné plavby v nově

otevíraném trans-arktickým námořním plavebním koridoru;

- zajištění trvalé dostupnosti levných dat pořízených radary SAR pro kontinuální monitoring stavu a pohybu mořského ledu;
- prosazení takové datové politiky, která v rámci programu Copernicus zpřístupní data o mořském ledu pro všechny uživatele tak, aby mohly vznikat další nové služby a produkty týkající se problematiky monitoringu stavu a vývoje pokrytí Arktidy mořským ledem.

Nejvhodnější družicový systém

Tak jako u předchozí aplikace, bude i u této služby využíváno radarových dat SAR z družice Sentinel 1 (technické parametry viz Tab. 9) z důvodů:

- vysokého termínového rozlišení snímání;
- velké šířky záběru (velká plocha pokrytí);
- rychlé distribuce dat směrem k uživatelům;
- koherentních spolehlivých informací. [76]

6.3.1.3 Družicový monitoring pro podporu udržitelného rybolovu

V rámci služby Copernicus pro monitorování mořského prostředí se obecně využívají družicová data pro pravidelné a systematické sledování stavu oceánů a evropských moří. Tím podporuje námořní aplikace jako je např. ochrana a udržitelný rozvoj mořských ekosystémů a rybolovu.

Příklady produktů

- bio-geochemické analýzy a prognózy mořského prostředí;
- vybrané geofyzikální parametry, včetně povrchové teploty moří a směru a rychlosti mořských proudů.

Vazby na další aktivity

- zlepšení znalosti o odolnosti rybích populací vůči přírodním a antropogenním faktorům (např. klimatické změny vůči dopadům nadměrného rybolovu aj.);
- rozšíření oblastí stálého sledování a kontroly mořských zdrojů v členských státech EU, zvýšení ochrany rybolovných oblastí před nezákonným, nehlášeným, či neregulovaným rybolovem aj.;
- zlepšení detekce bio-chemických parametrů z družic (např. detekce množství kyslíku v mořské vodě);
- zvýšení vzájemného provázání dynamických modelů pracujících s naměřenými satelitními daty a s daty naměřenými in-situ.

Nejvhodnější družicový systém

Data z družic Sentinel 1 a 3 (technické parametry viz Tab. 9, Tab. 37–38) budou pomáhat vytvořit

systém udržitelného rybolovu tím, že:

- mají celosvětové pokrytí a krátkou periodu snímání, takže mohou provádět zvýšený dohled nad kontrolovanými rybolovnými oblastmi (Sentinel 1);
- budou celosvětově měřit povrchovou teplotu moří a oceánů s přesností lepší než 0,3 K (Sentinel 3);
- bude prováděno multispektrální mapování oceánů pro zjišťování koncentrace chlorofylu a sedimentů (Sentinel 3);
- budou měřit rychlost a směr větru nad mořskou hladinou (Sentinel 1);
- bude měřena přesná výška hladiny moří (Sentinel 3). [77]

6.4 ATMOSFÉRA

Služba monitorování atmosféry Copernicus shromažďuje a poskytuje nepřetržitě data a informace o složení atmosféry, krátkodobou předpověď a zpětně důsledně analyzuje datové záznamy za uplynulé roky.

Tato služba podporuje mnoho aplikací v různých, nicméně souvisejících oblastech, včetně lidského zdraví, monitorování životního prostředí, obnovitelných zdrojů energie, meteorologie a klimatologie.

Poskytuje denní informace o celkovém složení atmosféry na základě sledování jednotlivých složek atmosféry, jako jsou emise skleníkových plynů (CO_2 a CH_4), reaktivní plyny (např. CO , NO_x , SO_2), O_3 a aerosoly.

Služba poskytuje téměř v reálném čase analýzy pro třídní předpovědi, stejně jako opakované analýzy kvality ovzduší nad Evropou. Tato služba tedy umožňuje neustálé hodnocení kvality ovzduší. Kontinuální monitorování a vyhodnocování dat o skleníkových plynech a množství aerosolů významně přispívá ke studiu klimatických změn.

Díky každodenním analýzám a prognózám UV záření, množství sluneční energie a stratosférického ozónu služba podporuje politiky veřejného zdraví (např. prevenci rakoviny kůže) a provozovatele solárních elektráren.

Produkty služby monitorování atmosféry Copernicus jsou poskytovány zdarma přes webový portál <http://atmosphere.copernicus.eu>, který je provozován v rámci projektu financovaného prostřednictvím EU MACC-II. Služba je provozována ještě v předprovozním testovacím režimu.

Evropské projekty fungující v rámci GMES/Copernicus služeb monitorování atmosféry:

- MACC-II (navazuje na projekt MACC) – <http://www.gmes-atmosphere.eu/about/project/details>;
- IAGOS – <http://www.iagos.org>;
- NORS – <http://nors.aeronomie.be>;
- Pasodoble – <http://www.copernicus.eu/projects/pasodoble>. [71]

6.4.1 Některé příklady aplikací

6.4.1.1 Monitorování kvality ovzduší

Služba monitorování atmosféry využívá satelitní data pro poskytování informací o látkách znečišťujících ovzduší, jako jsou např. skleníkové plyny a částice (prach, kouř, pyly aj.), zejména pro podporu politiky veřejného zdraví:

Příklady produktů

- denní poskytování informací o složení atmosféry v globálním měřítku;
- analýzy dat v téměř reálném čase a čtyřdenní prognózy stavu kvality ovzduší, včetně opakovaných analýz v rámci evropského monitoringu kvality ovzduší.

Vazby na další aktivity

Pro globální monitoring kvality ovzduší je potřeba:

- zprovoznění satelitních systémů s pokročilým senzorovým vybavením pro kontinuální monitorování rozsáhlých území;
- vytvoření funkčních systémů pro monitorování, hodnocení a ověřování dlouhodobě spolehlivých informací o kvalitě ovzduší;
- vytvoření přeshraničních systémů pro krátkodobé i dlouhodobé předpovědi stavu kvality ovzduší.

Nejvhodnější družicový systém

Pro tuto službu programu Copernicus bude nejvhodnější využít data ze senzorů připravované družice Sentinel 5P (technické parametry viz Tab. 21). Ta bude především měřit vybrané parametry atmosféry, především ty složky, které mají přímý vliv na kvalitu ovzduší. Tuto družici budou následovat družice Sentinel 4 a Sentinel 5 (technické parametry viz Tab. 22–24), které budou plně vybaveny pro meteorologické aplikace v rámci misí organizace EUMETSAT. [78]

6.4.1.2 Zvýšení bezpečnosti letecké dopravy pomocí satelitních dat

V rámci provozování služby monitorování atmosféry se vážně uvažuje o využití satelitních dat pro podporu a zvýšení bezpečnosti letecké dopravy.

Příklady produktů

- monitorování a prostorové simulace pohybu oblaků SO_x a aerosolů při sopečných erupcích;
- sledování rozsahu a výpočty odhadovaného objemu aerosolů a popela v sopečných erupcích.

Vazby na další aktivity

- zpřesnění monitoringu vybraných parametrů sopečné činnosti (např. SO_2 a popela) pomocí satelitních senzorů;
- rozšíření možnosti monitoringu vulkanické činnosti, kterou zabezpečuje síť Evropských vulkanologických observatoří, pomocí operativního využívání satelitních dat;
- zpřesnění disperzních a prognostických mode-

lů, zejména ve vztahu mezi tepelnými prekurzory a prekurzory plynných emisí a vulkanickými erupcemi;

- integrování měření ze satelitů, leteckých nosičů a pozemních měřicích sítí.

Nejvhodnější družicový systém

Pro kontinuální globální sledování vulkanické aktivity a především pak sledování množství aerosolů, popela a plynů v atmosféře, budou využívány družice Sentinel 2, 3, 4, 5 a 5P (technické parametry viz Tab. 36–38, Tab. 22, Tab. 24 a Tab. 21):

- Sentinel 2 bude dodávat multispektrální data s vysokým prostorovým rozlišením;
- Sentinel 3 bude poskytovat multispektrální data s nízkým prostorovým rozlišením pro globální přehled o rozsahu a pohybu mračen při vulkanické činnosti;
- Sentinel 4 poskytne časově a prostorově přesné informace o koncentracích SO₂ a aerosolů nad Evropou;
- Sentinel 5 a Sentinel 5P umožní monitorovat charakteristiky atmosféry v UV oblasti spektra, což umožní získat informace o koncentracích SO₂ a množství sopečného popela. [79]

6.4.1.3 Zpřesnění předpovědí počasí pomocí dat z družic Sentinel

V rámci již zmíněných služeb programu Copernicus, tedy monitorování území, mořské prostředí a atmosféra, se využívají a budou využívat data a informace o parametrech atmosféry a hydrosféry i data o parametrech zemského povrchu. Tyto všechny datové soubory umožňují zpřesnit naše prognózy o počasí.

Příklady produktů

- naměřené aktuální vybrané parametry charakterizující stav atmosféry a oceánů a prognózování změn těchto parametrů;
- opakované analýzy meteorologických parametrů v různých časových horizontech (např. aerosoly a O₃).

Vazby na další aktivity

- vytvoření bezešvé evropské monitorovací a předpovědní služby pro počasí, oceán a parametry složení atmosféry v různých měřítkách – globálním, kontinentálním, regionálním a lokálním;
- zvýšení přesnosti numerických modelů pomocí dostupných dat z integrovaných systémů DPZ;
- pokračování sběru vysoce kvalitních satelitních dat pro inicializaci prediktivních modelů pro zkoumání vazeb oceán – atmosféra a pevný povrch – atmosféra.

Nejvhodnější družicový systém

V rámci programu Copernicus budou tuto službu, tedy zpřesnění předpovědí počasí, podporovat družice Sentinel 3, 4, 5 a 5P, nejdůležitější senzory pro provozování této služby ponese družice Sentinel 3:

- stanovení globální teploty povrchu moří a oceánů pomocí teplotního radiometru SLST (Sentinel 3), technické parametry viz Tab. 37–38;
- přesné topografické měření pomocí radarového altimetru SRAL (Sentinel 3);
- monitorování jednotlivých složek atmosféry, včetně kvality ovzduší, stratosférického O₃ a také slunečního záření senzory UVN, UVNS a TROPOMI (Sentinel 4, 5 a 5P), technické parametry viz Tab. 22, Tab. 24 a Tab. 21. [80]

6.5 KRIZOVÉ ŘÍZENÍ

Služba krizové řízení nabízí včasné a přesné geoprostorové informace získané z družicových obrazových dat, které jsou doplněny daty naměřenými in-situ, nebo i daty z různých veřejných zdrojů. Tato služba je poskytována všem subjektům, které se podílejí na zvládnání přírodních katastrof, krizových situací způsobených lidskou činností a humanitárními krizemi. Cílem této služby je rychlé zajištění dostupných dat při povodních, lesních požárech, průmyslových haváriích, sesuvech půdy aj.

Součástí této služby je tzv. mapovací složka (GIO EMS – Mapping), která má celosvětové pokrytí a poskytuje výše uvedeným subjektům, zejména orgánům civilní ochrany a humanitárním organizacím, mapové podklady vyrobené z aktuálních družicových snímků. Tato služba zahájila svoji činnost již 1. 4. 2012.

Všechny produkty vytvářené v rámci této služby mohou být uživatelům dodávány buď jako digitální, nebo jako tištěné mapové výstupy. Mohou být také kombinovány s jinými zdroji dat (např. přímo v GIS jako součást geoprostorových analýz pro přímou podporu rozhodovacích procesů krizových manažerů).

Mapovací část služby (GIO EMS – Mapping) je nastavena tak, že může podporovat všechny fáze cyklu krizového řízení:

- připravenost;
- prevenci;
- snižování rizika katastrof;
- reakce na mimořádné události;
- a obnovu.

V květnu 2012 byl ukončen projekt Safer, který poskytoval předoperační služby v oblasti krizového řízení. Na něj navazuje výše zmíněná mapovací část služby v krizovém řízení (GIO EMS – Mapping), která je dostupná prostřednictvím portálu <http://emergency.copernicus.eu>. Tato služba je první plně operační službou Copernicus, jejímž úkolem je včasné poskytnutí informací pro podporu krizového řízení v případě nenadálé události.

Služba je poskytována bezplatně v urgentním režimu mapování pro činnosti, které vyžadují okamžitou reakci a také v podpůrném režimu pro činnosti krizového řízení, které nepotřebují okamžitou reakci. Tato služba může být aktivována pouze oprávněným uživatelům. Je provozován veřejně dostupný portál, který umožňuje stahovat mapy a další produkty dodávané v rámci této služby.

Produkty služby

V současnosti jsou k dispozici dva typy produktů – mapování v urgentním režimu a podpůrné mapování. První zmíněné mapy slouží pro podporu bezprostředně po krizové události. Je možné získat podkladové mapy se základním topografickým obsahem, které uživateli poskytnou rychlý souhrn známých informací o území zasaženém katastrofou, nejlépe těsně předtím, než k události došlo. Dále mohou být poskytnuty mapy informující o rozsahu katastrofy, postupu jejího šíření a hodnocení stupně postižení katastrofou (příkladem může být mapa oblasti postižené zemětřesením s počtem poškozených budov na danou plochu). Požadovaná data jsou dodána na základě požadavku v řádu několika hodin až dnů (podle požadované podrobnosti služby), přičemž tato služba funguje nepřetržitě 24 hodin denně kterýkoliv den v roce.

Produkty podpůrného mapování slouží zejména pro dlouhodobou prevenci v oblastech, které jsou dlouhodobě ohroženy některými typy přírodních katastrof (např. povodně, rozsáhlé lesní požáry atd.). Mapy nevznikají v reakci na událost, proto jejich vyhotovení trvá v řádu týdnů až měsíců a nejsou dostupné nepřetržitě, jak je tomu v případě předchozí služby. Uživatel si může vybrat produkt se standardní strukturou, nebo může být na základě jeho požadavků vytvořen produkt na míru. Získané mapy mohou poskytnout srozumitelné informace o území ve snaze o redukci rizika ohrožení katastrofou, pomoci při plánování možností v ohrožených oblastech (např. pro vytváření evakuačních plánů) nebo podrobně zhodnotit dopady katastrofy.

Uživatelé služby

Uživateli služeb jsou instituce na regionální, národní i mezinárodní úrovni, které jsou aktivní v oblasti krizového řízení. Oprávnění aktivovat službu mají pouze tzv. autorizovaní uživatelé, s jejich pomocí tak mohou učinit i přidružení uživatelé. Autorizovaným uživatelem za ČR je Generální ředitelství hasičského záchranného sboru, které spadá pod Ministerstvo vnitra. První úspěšná aktivace služby krizového řízení za ČR proběhla v souvislosti s povodněmi v červnu roku 2013.

EFAS – evropský systém varování před povodněmi

Pro včasné varování před povodněmi, které působí v rámci EU nejrozsáhlejší škody, byl v roce 2011 spuštěn systém EFAS (*European Flood Awareness System*). Tento systém, který umí předpovědět povodeň v předstihu až 10 dnů, přispívá k lepší ochra-

ně lidí a jejich majetku, životního prostředí a kulturního dědictví.

Krizové centrum EU

V květnu 2013 bylo v Bruselu otevřeno ERC. Cílem centra je umožnit členským státům EU reagovat na přírodní i člověkem způsobené katastrofy rychlým a efektivním způsobem. Centrum bude sbírat a analyzovat informace o katastrofách v reálném čase a spolupracovat se členskými státy EU na rychlé a včasné reakci na danou událost. Bude reagovat na výzvy o pomoc z postižených zemí a sloužit jako hlavní středisko pro podporu koordinace na různých úrovních – Evropská komise, členské státy, postižené země, humanitární spolupracovníci a pracovníci civilní ochrany.

Nové centrum, které funguje 24 hodin denně, bylo určeno jako jediný kontaktní bod pro řešení požadavků na aktivaci služby krizového řízení Copernicus. Autorizovaní uživatelé mohou prostřednictvím centra požádat o službu rychlého i podpůrného mapování zasláním formuláře přímo do tohoto centra. Po schválení požadavku spouští ERC ve spolupráci s DG JRC požadovanou službu, jejímž výsledkem jsou vektorová i rastrová data a mapy zasažených oblastí. [71]

6.5.1 Některé příklady aplikací

6.5.1.1 Monitoring území postižených povodněmi

Služba krizové řízení, konkrétně služba EMS GIO – Mapping, využívá satelitní data pro získání včasných a především přesných geoprostorových informací o území před katastrofou, během ní a po katastrofě. Tyto informace slouží pro všechny orgány krizového řízení, které mají na starosti řešení následků přírodních katastrof a mimořádných událostí způsobených lidskou činností.

Příklady produktů

- rychlé situační mapování;
- vymezení hranic povodní a klasifikační mapy míry destrukce;
- situační mapy před povodní a po povodni;
- bleskové analýzy povodňových rizik a podpora systému včasného varování.

Vazby na další aktivity

- vyplnění mezer ve znalostech, především technických, komunikačních, finančních a institucionálních;
- zvýšení provázanosti mezi uživateli a producenty (provozovateli) informačních služeb vázaných na zpracování dat DPZ pro zvládnutí budoucích povodňových nebezpečí;

- posouzení využitelnosti družicových dat pro účely pojišťovnictví, především hodnocení pojistných událostí vzniklých při povodních (pro stanovení odpovídající ceny pojistné události);

- zlepšení využití dat DPZ pro plánování protipovodňových opatření (budování infrastruktury protipovodňových hrází) a monitoringu;

- zvýšení schopnosti poskytovat povodňová data v reálném čase přímo do mobilních zařízení (smart telefonů, notebooků) pro podporu pracovníků v postižených oblastech.

Nejvhodnější družicový systém

Družice Sentinel 1 bude produkovat data pro operativní protipovodňový monitoring a vyhodnocování povodňových škod:

- s globálním pokrytím;
- s prostorovou rozlišovací schopností 5x20 metrů v hlavním modu;
- s krátkou periodou snímání;
- s rychlým dodáním dat ke zpracování;
- s koherentními spolehlivými informacemi;
- s pořizováním dat bez ohledu na denní dobu, počasí, či oblačnost.

Senzor SAR družice Sentinel 1 (technické parametry viz Tab. 9) může přinést výrazné zlepšení při monitoringu povodní a nové možnosti ve využívání radarových dat. [81]

6.5.1.2 Monitoring požárů velkého rozsahu

Služba krizového řízení programu Copernicus využívá satelitní data DPZ pro získávání včasných a přesných lokalizovaných informací o požárech a rozsahu spálených oblastí. Tím přispívá k rychlému posuzování škod a rychlým bezpečnostním rozhodnutím.

Příklady produktů

- tvorba map připravenosti k rychlým zásahům;
- tvorba map pro preventivní opatření;
- data podporující systémy včasné výstrahy pro analýzy rozsahu požárů a detekci zdrojů (jader) právě probíhajících požárů;
- rychlé mapování oblastí zničených požáry na podporu analýz pro hodnocení dopadů požárů;
- posouzení míry poškození vegetace.

Vazby na další aktivity

- posílení mezinárodní spolupráce v oblasti družicového sledování ničivých požárů;
- harmonizování informačních systémů a družicových dat pro stanovení rizik vzniku ničivých požárů;
- integrování družicové mapy ničivých požárů do národních programů pro ochranu lesních porostů;

- vytvoření udržitelných finančních mechanismů pro satelitní monitorování lesních požárů.

Nejvhodnější družicový systém

V rámci programu Copernicus bude vytvořen systém rychlého sběru a zpracování dat, hlavně z družic řady Sentinel. Především družice Sentinel 1, 2 a 3 (technické parametry viz Tab. 9, Tab. 36–38) budou zapojeny do včasné reakce na lesní požáry a vyhodnocování jejich následků tím, že:

- budou detekovat a monitorovat požáry na celém světě;
- budou mapovat následky požárů.

V současné době tuto službu zajišťují družice systému DMC, což je konstelace mikrodružic, které jsou provozovány organizací DMC International Imaging. Ta je podporována alžírskou, nigerijskou, tureckou, britskou, čínskou a španělskou vládou. Družice mají velmi podobné přístrojové vybavení z důvodu co možná nejvyšší kompatibility pořizovaných dat. Základní technické parametry senzorů družic z konstelace DMC viz Tab. 39–42. [82]

6.5.1.3 Monitoring sesuvů půdy

Služba krizového řízení programu Copernicus využívá satelitní data pro posuzování rozsahu škod po živelních katastrofách obecně, tedy i v případě plošných sesuvů většího rozsahu.

Příklady produktů

- tvorba aktuálních referenčních map;
- tvorba map vymezujících hranice sesuvů a stupeň devastace;
- tvorba situačních map popisujících stav terénu před sesuvem a po sesuvu.

Vazby na další aktivity

- zlepšení schopnosti monitoringu Země s ohledem na termínové a prostorové rozlišení;
- zvýšení integrace informací z monitoringu Země s informacemi z pozemních měřicích sítí pro operativnější podporu krizového řízení v oblasti sesuvů půdy;
- služba pro krizové řízení v oblasti sesuvů půdy přesně šitá na míru pro požadavky organizací na národní a lokální úrovni.

Nejvhodnější družicový systém

Pro aplikace dat DPZ v oblasti monitoringu sesuvů půdy lze nejlépe využít data ze zobrazovacích radarů SAR. V současné době se využívají data z komerčních radarových družic, v rámci programu Copernicus bude tato služba využívat data z radarové družice Sentinel 1 (technické parametry viz Tab. 9) pro:

- operativní a rutinní monitorování postižených oblastí s vysokým prostorovým rozlišením;
- každodenní měření bez ohledu na počasí a denní či noční dobu;
- organizace velmi rychlého dodání předzpracovaných nebo zpracovaných dat. [83]

6.6 BEZPEČNOST

Služby Copernicus v oblasti bezpečnosti jsou zaměřeny na tři prioritní oblasti:

- ostrahu hranic;
- námořní dohled;
- podporu opatření zahraniční politiky EU.

V oblasti ostrahy hranic jsou hlavními cíli snížení počtu ilegálních imigrantů, kteří překračují hranici EU, snížení počtu úmrtí ilegálních imigrantů a zvýšení bezpečnosti uvnitř EU prevencí přeshraniční kriminality. Předpokladem je příspěvek služeb Copernicus k implementaci EUROSUR (*Evropského systému kontroly hranic*) podporou mapování a monitorování hraničních oblastí EU.

V případě námořního dohledu je hlavním cílem EU zajištění bezpečného pohybu na moři a střežení mořských hranic EU. Dále je předpokládáno zlepšení bezpečnosti navigace na moři, snížení znečištění mořského prostředí, prosazování práv a celková bezpečnost v této oblasti.

Evropa je svým postavením odpovědná za poskytování stabilních podmínek pro rozvoj lidských zdrojů a ekonomický vývoj, dodržování základních lidských práv a svobod a demokracie. V tomto směru je hlavním cílem EU pomáhat zemím třetího světa při vzniku krizí a při prevenci hrozeb globálního a nadregionálního rozsahu s těžkými následky. Copernicus má silný potenciál podpořit zahraniční politiku EU pomocí detekce a monitorování bezpečnostních hrozeb. Příspěvkem Copernicus může být i zlepšení prevence přírodních a humanitárních katastrof, připravenosti a schopnosti rychlé reakce.

Iniciační fáze služeb Copernicus v oblasti bezpečnosti (zejména v případě ostrahy hranic a podpory zahraniční politiky EU) byla v letech 2009–2011 zajišťována prostřednictvím projektu G-MOSAIC. V lednu 2013 byly spuštěny další projekty pro podporu bezpečnostních služeb Copernicus: G-NEXT a G-SEXTANT. G-NEXT je zaměřen na tři hlavní oblasti – politické či ozbrojené konflikty, situační znalost a monitoring průběhu hranic. Projekt G-SEXTANT je orientován především na scénáře pro humanitární krize, přírodní zdroje, přehled o konfliktech v konkrétních lokalitách, monitorování míst a aktivit spojených s radioaktivitou, pěstování nelegálních plodin a ostrahu hranic. [71]

6.6.1 Družicový monitoring pirátských lodí

Bezpečnostní služba programu Copernicus, jak vyplývá z předešlého textu, je v současné době v iniciační fázi, kdy se diskutují jednotlivé možnosti

aplikací a technické možnosti potenciálně využívané techniky a zpracovatelské technologie.

V rámci těchto aktivit byly vyvinuty techniky pro rychlou lokalizaci a sledování pirátských lodí především v mezinárodních vodách a byl také spuštěn pilotní projekt programu Copernicus s názvem MARISS (*MARitime Security Service*) – Námořní bezpečnostní služba. Pro tuto pilotní službu se využívají data z družic systému COSMO-SkyMed, který je schopen dodávat data rychle a v požadovaném prostorovém i termínovém rozlišení. Tato zpracovaná data jsou pak integrována do informačního systému společně s konvenčními daty ze sledování pobřežní stráže, policie, námořních sil, celních orgánů, pohraniční stráže a zpravodajských služeb.

Jedním z příkladů využití této služby je přepadení a únos tankeru Caylyn Savina v roce 2011 v Indickém oceánu. Italský satelitní systém COSMO-SkyMed díky krátké periodě snímacího cyklu byl ve velmi krátké době schopen lokalizovat unesenou loď. První data byla pořízena 9. 2. 2011 ve 14:44 GMT, druhá sada již 10. 2. 2011 ve 03:17 GMT. Snímky tanker odhalily cca 182 námořních mil od břehů Somálska, určily jeho rychlost na 14 uzlů a také směr jeho pohybu. Tyto informace byly ihned předávány do informačního systému italské pobřežní stráže, která byla v tu dobu zodpovědná za sledování tohoto plavidla. Snímky pokrývaly plochu 10 000 km², což bylo ideální pro sledování veškerého dění v okolí lodi.

Základní technické parametry družic COSMO-SkyMed jsou uvedeny v Tab. 14. [84]

6.7 ZMĚNA KLIMATU

Tato služba se zabývá především environmentálními a sociálními dopady změny klimatu. Bude poskytovat přístup k mnoha indikátorům těchto změn – nárůstu teploty, stoupaní mořské hladiny, tání ledovců apod. Služba bude rovnocenně využívat jak data z pozemních monitorovacích sítí, tak data ze široké škály senzorů umístěných na družicích. Tato data budou sloužit jako vstupní parametry do různých klimatických modelů.

Služba monitorování změn klimatu je stále ve fázi vývoje a její předoperační fáze je podporována výzvou ze 7. rámcového programu Space pro rok 2013. V rámci této výzvy jsou řešeny projekty, které se zabývají především otázkami:

- globální zpětné analýzy klimatických dat 20. století a modelování;
- souhrnný systém regionálních zpětných analýz;
- vytvoření systému pro zabezpečení kvality hlavních klimatologických proměnných;
- zpřístupnění naměřených a simulovaných dat o klimatu a vytvoření souboru nástrojů pro vytváření klimatických indikátorů. [71]

7

Softwarové nástroje pro zpracování a vizualizaci prostorových dat

7.1 ZPRACOVÁNÍ DAT

Software vytvářený v rámci výstupů projektu EnviSec lze rozdělit na dvě základní části, a to nástroje pro zpracování dat a dále webovou aplikaci pro jejich vizualizaci.

Pro hodnocení rizika dodávek a poskytování ekosystémových služeb byl zvolen postup hodnocení různých ohrožení doplněný o indikátor hodnoty ekosystémových služeb a zranitelnost území. Tento postup zahrnuje data od nejrozličnějších institucí ze státní správy a akademické sféry. Vzhledem k rozdílnému původu dat je před samotným hodnocením rizika také nutný jejich převod na jednotný typ prostorové reprezentace. Odlišnost vstupních datových sad je popsána v Tab. 96. Data se liší jak ve svém charakteru (kvalitativní x kvantitativní), tak v typu prostorové reprezentace (bodová data kontaminací, polygonová data povodní, data erozního ohrožení v gridu 1x1 km), ale také ve vstupním formátu (vektor x rastr).

7.1.1 Výsledné vrstvy

7.1.1.1 Ohrožení

Ohrožení představuje kombinaci různých environmentálních zdrojů rizik jako je znečištění (depozice dusíku, kvalita vody), přírodní ohrožení (eroze, povodně, invazivní druhy) a dopady antropogenních aktivit (urbanizace, kontaminovaná místa).

7.1.1.2 Zranitelnost

Zranitelnost společnosti a ekosystémů představuje v analýze důležitou součást, která vystihuje citlivost vůči vnějším faktorům, jako jsou vybrané environmentální zdroje rizik.

7.1.1.3 Hodnota ekosystémových služeb

Ekosystémové služby jsou přínosy, které lidská společnost získává z přírody a ekosystémů. Celková hodnota ES se rovná součtu všech ekosystémových služeb pro konkrétní krajinný pokryv v určitém území. Pro analýzu rizik byla výsledná vrstva vytvořena součtem všech krajinných pokryvů v daném území pro dostupná data z pilotního hodnocení ES v ČR v projektu „Integrované hodnocení ekosystémových služeb v České republice“ (TD010066).

7.1.1.4 Celkové riziko

Riziko je obvykle v každém hodnocení rizik chápáno jako kombinace expozice lidské populace k různým ohrožením a její zranitelnosti, která vyjadřuje kapacitu k přípravě, odpovědi nebo k obnově po události, která způsobuje ohrožení. V tomto případě představuje environmentální riziko expozici dodávek ES k environmentálním rizikům jako je znečištění, přírodní ohrožení a dopady antropogenních aktivit.

7.1.1.5 Hot-spots

Hot-spots a cold-spots představují nejen místa s vysokou (resp. nízkou) mírou environmentálního rizika pro poskytování ES, ale i nadto označují území, kde se prostorově tato místa významně shlukují. Tato území vyžadují větší pozornost, protože označují místa, kde se může negativně změnit úroveň poskytování ES. Naproti tomu cold-spots naznačují, že v daném území vybrané zdroje rizik nepředstavují větší hrozbu.

Tab. 96 Charakteristiky vstupních datových sad pro výpočet rizika dodávek a poskytování ES

Datová sada	Instituce	Formát	Typ	Charakter
Ohrožení				
Eroze	ČVUT	vektor	grid	kvantitativní
Kvalita vody/BSK	ČHMÚ	vektor	grid	kvantitativní
Depozice dusíku	ČHMÚ	vektor	grid	kvantitativní
Povodně	VÚV	vektor	polygon	kvalitativní
Invazivní druhy	AV BÚ	rastr	grid	kvalitativní
Urbanizace (ztráta produkčních vlastností půdy)	CENIA	vektor	polygon	kvantitativní
Kontaminovaná místa	CENIA	vektor	bod	kvalitativní
Zranitelnost				
Hustota zalidnění	CENIA	vektor	polygon	kvantitativní
Fragmentace	CzechGlobe	rastr	grid	kvalitativní
Hodnota ekosystémových služeb				
Ekosystémové služby	CzechGlobe	rastr	grid	kvantitativní

7.1.2 Použitý software

Pro tvorbu nástrojů na zpracování dat byl zvolen software ArcGIS od společnosti ESRI, který patří k nejrozšířenějším GIS softwarům v rámci státní správy, a pro niž jsou určeny i výstupy tohoto projektu. Tento software mimo jiné umožňuje tvorbu vlastních nástrojů pro polo-automatizované a automatizované zpracování dat pomocí aplikace Model-Builder. Výhodou je snadná přenositelnost a rychlé použití vytvořených nástrojů bez nutnosti instalace na jakýkoliv počítač obsahující tento software. Jako hlavní výstupní typ zpracovaných dat byla zvolena souborová geodatabáze s možností exportu výsledných vrstev do formátu Esri shapefile.

7.1.3 Manuální zpracování dat

Data byla zpracována nejprve manuálně, aby se ověřilo, zda navržený postup zpracování je vhodný a také aby existovala referenční data pro kontrolu výstupů z jednotlivých fází automatického zpracování dat.

Z manuálního zpracování dat byly pro jednotlivé výsledné vrstvy vytvořeny také mapové výstupy, které jsou určeny pro připravovanou webovou aplikaci. Hodnoty ve vrstvách ohrožení, zranitelnost, hodnota ES a celkové riziko byly rozděleny do pěti kategorií, aby byly vrstvy vzájemně porovnatelné. Pouze vrstva hot-spots má vlastní dělení do tří kategorií. Následně pro každou vrstvu byla navržena barevná škála tak, aby byly všechny kategorie dobře navzájem rozeznatelné.

7.1.4 Nástroje pro zpracování dat

Samotné zpracování dat lze rozdělit do čtyř navazujících kroků, a to na:

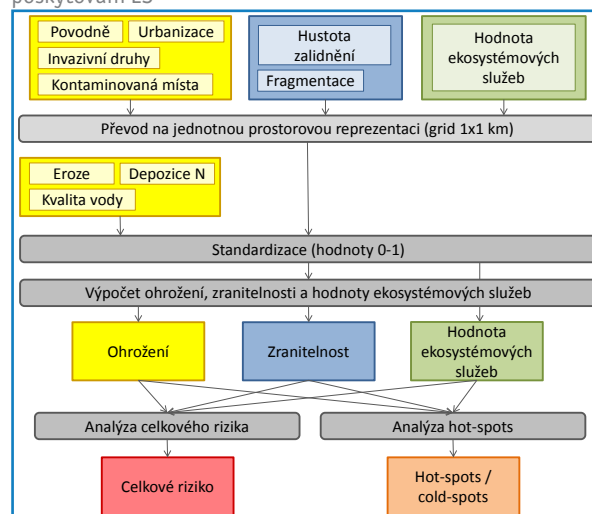
- převod do jednotné prostorové reprezentace (grid);
- standardizaci vstupních dat;
- výpočet ohrožení, zranitelnosti, hodnoty ekosystémových služeb;
- výpočet celkového rizika a hot-spots.

Pro každý krok je vytvořen toolbox nebo sada toolboxů na zpracování jednotlivých datových sad. Hlavním účelem tvorby těchto nástrojů je možnost opakovatelného zpracování vstupních dat, kdy v případě jejich aktualizace bude zaručen vždy totožný způsob jejich zpracování, což zaručí homogenitu výstupních dat. Postup zpracování dat v jednotlivých krocích je zobrazen na Obr. 59.

Před vstupem dat do toolboxů je nutné zkontro-

lovat, zda jsou data v pořádku. Tím je myšleno, zda

Obr. 59 Schéma postupu zpracování dat při analýze rizika pro poskytování ES

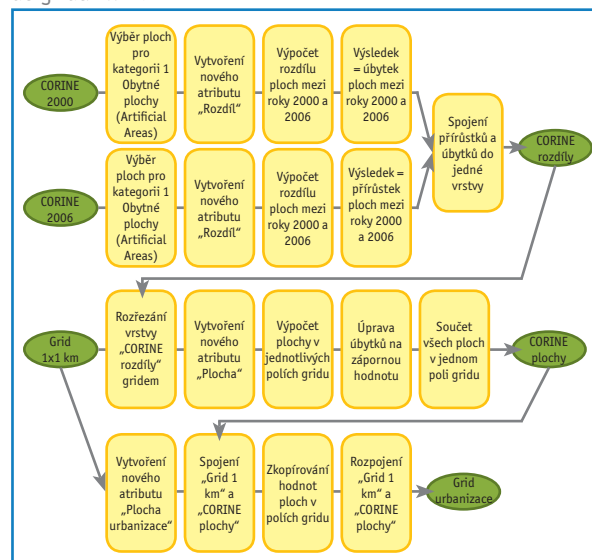


data získaná od poskytovatele mají vyplněny všechny potřebné hodnoty a zda nabývají smysluplných hodnot. Pokud data neprojdou touto kontrolou, může to negativně ovlivnit výsledek analýzy.

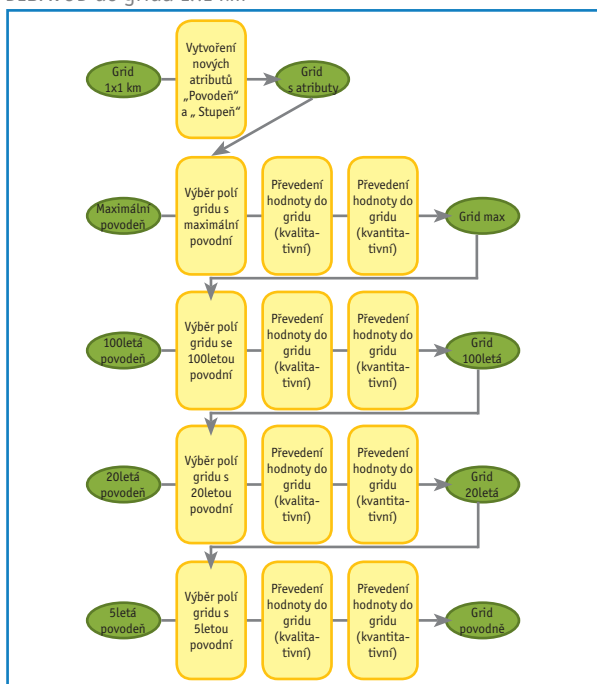
7.1.4.1 Převod na jednotnou prostorovou reprezentaci

Jako jednotná prostorová reprezentace zdrojových dat byla zvolena vektorová polygonová vrstva s gridem o velikosti 1x1 km, ve kterém již někteří poskytovatelé data přímo zpracovali a dodali. Pro tento krok zpracování dat byla vytvořena první sada toolboxů, které převádějí vstupní heterogenní data na zvolený jednotný typ a formát. Příklady modelů převodu dat do gridu viz obrázky 60–62.

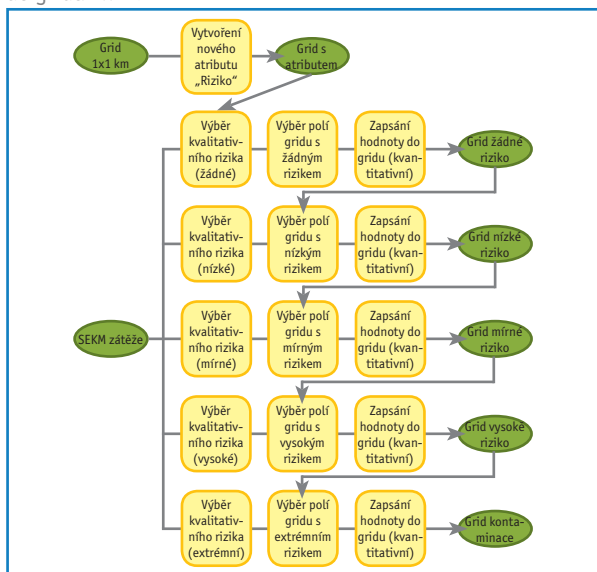
Obr. 60 Schéma toolboxu pro převod urbanizace z dat CORINE do gridu 1x1 km



Obr. 61 Schéma toolboxu pro převod dat povodní z databáze DIBAVOD do gridu 1x1 km



Obr. 62 Schéma toolboxu pro převod dat kontaminace SEKM do gridu 1x1 km



7.1.4.2 Standardizace dat

Pro přímé srovnání různých ohrožení, indikátoru hodnoty ES a indikátorů zranitelnosti území je nutné data dále standardizovat na jednotnou škálu 0,00 až 1,00 (čím vyšší hodnota, tím vyšší ohrožení; resp. zranitelnost, hodnota ES). Byl vytvořen obecný toolbox pro postupnou standardizaci všech datových sad. Kvantitativní data byla standardizována podle vzorce:

$$s = \frac{x - \min_x}{\max_x - \min_x}$$

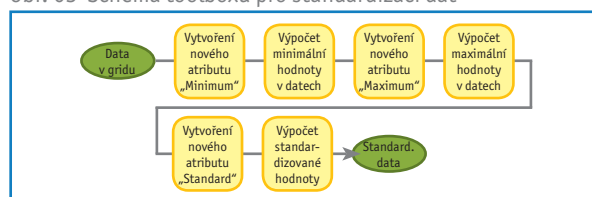
kde:

x ... původní nestandardizovaná hodnota;

\min_x a \max_x ... minimum a maximum z celého souboru dat konkrétního ohrožení; resp. dílčí součásti zranitelnosti nebo celkové monetární hodnoty ekosystémových služeb.

V případě, že šlo o data, která již byla nějakým způsobem kvalitativně klasifikována, jako například invazivní druhy, povodně nebo kontaminovaná místa, byla pro jednotlivé míry ohrožení nejdříve použita odpovídající číselná hodnota (0–4), která byla poté standardizována na škálu 0,00 až 1,00 podle stejného vzorce.

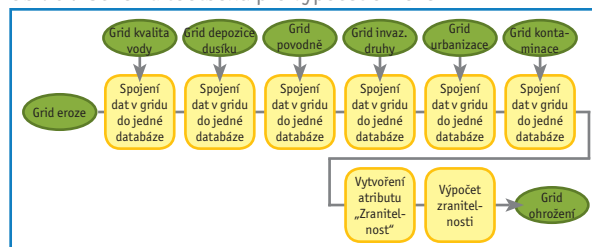
Obr. 63 Schéma toolboxu pro standardizaci dat



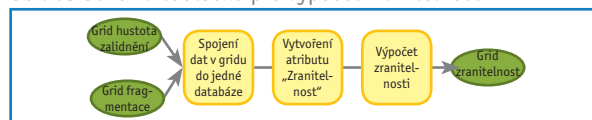
7.1.4.3 Výpočet ohrožení, zranitelnosti a hodnoty ES

Třetí sada toolboxů je určena pro výpočet ohrožení a zranitelnosti. V tomto případě byl pro složení celkového ohrožení a zranitelnosti použit vážený překryv se stejnými váhami jednotlivých indexů představujících dílčí součásti ohrožení a zranitelnosti (viz Tab. 96). Výsledkem jsou vstupy pro závěrečnou analýzu celkového rizika. Hodnotu ekosystémových služeb není v této části nutné již dále zpracovávat, protože pro výslednou hodnotu je použita jedna datová sada a není tedy nutné počítat vážený překryv.

Obr. 64 Schéma toolboxu pro výpočet ohrožení



Obr. 65 Schéma toolboxu pro výpočet zranitelnosti

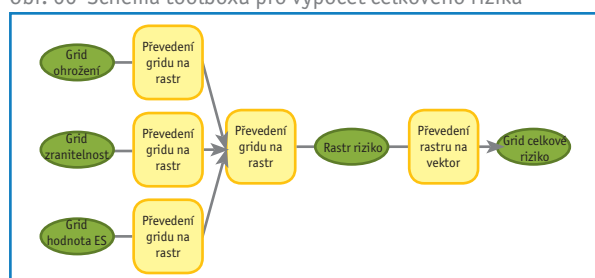


7.1.4.4 Analýza celkového rizika a analýza hot-spots a cold-spots

Pro analýzu celkového rizika pro dodávky a poskytování ekosystémových služeb byla zvolena metoda fuzzy gamma. Vstupními daty pro tento tool-

box jsou výstupy z předchozích kroků a do výpočtu jsou tedy zahrnuty vrstvy ohrožení, zranitelnosti a hodnoty ES.

Obr. 66 Schéma toolboxu pro výpočet celkového rizika



Druhou částí závěrečných výstupů je analýza hot-spots a cold-spots. V toolboxu pro jejich výpočet se využívá analýzy Getis-Ord G_i^* a z odpovídajících hodnot p a z -skóre lze určit, kde se nacházejí hot-spots, resp. cold-spots pro riziko poskytování ES.

7.1.5 Povodňová rizika

V projektu byla řešena možnost podpory krizového řízení v rámci resortu životního prostředí při povodňových situacích a související hrozbě kontaminace vod. Výsledkem je syntetická mapa kombinující všechna dostupná data prezentovaná ve výsledné webové aplikaci. Jako základní podklad jsou použity klasifikované družicové snímky (postup jejich zpracování je popsán v kapitole 5 Postup zpracování družicových dat pro hodnocení povodňových situací), které určují rozsah rozlivů při konkrétní povodňové situaci a dále jsou to data z databáze DIBAVOD (*Digitální báze vodohospodářských dat*), která zobrazují modelová území s předpokládaným rozlivem povodňových vod při pětileté, dvacetileté, stoleté a největší zaznamenané povodni. Spolu s daty průmyslových provozoven uvedených v databázích registrů IPPC a IRZ, vedenými dle zákona č. 76/2002 Sb., o integrované prevenci, popsáných v kapitole 4.2 Sběr a využití dat z registrů IPPC a IRZ pro podporu krizového řízení při povodňových situacích, umožňuje výsledná mapa porovnáním vrstev povodní a průmyslových provozoven identifikovat provozovny potenciálně ohrožené záplavami.

7.2 VIZUALIZACE DAT

Standardním krokem při zveřejňování mapových výstupů je v současné době jejich publikace prostřednictvím sítě internet. A to nejenom zpřístupněním map ve formě digitálních souborů (např. PDF) určených nejen pro prohlížení na monitoru počítače nebo vytváření uživatelských tiskových výstupů, ale především ve webové mapové aplikaci, popř. ve specializované mobilní aplikaci. Uživatelé jsou dnes již zvyklí na interaktivní práci s mapou, možnost přiblížit se na libovolné zájmové území, ovládat zobrazení vrstvy podle potřeby a vytvářet si vlastní mapové kompozice kombinací různých tematických a podkladových vrstev a jejich prolínáním.

V rámci projektu EnviSec byla vyvinuta specializovaná jednoúčelová mapová aplikace dostupná na adrese <http://envisec.cenia.cz>. Tento postup byl zvolen, protože je rychlejší a účelnější vytvářet aplikaci na míru, než se snažit přizpůsobit již existující produkt konkrétním požadavkům. Hlavními požadavky bylo jednoduché a intuitivní ovládání i pro laické uživatele a poměrně rozsáhlé spektrum datových zdrojů, které bylo potřeba setřídit přehledným způsobem.

Prostředí aplikace bylo od samého počátku koncipováno pro potřeby projektu. Aplikace se dělí na dva základní prvky, kterými jsou ovládací panel a mapové okno.

7.2.1 Ovládací panel

V ovládacím panelu na levé straně aplikace se nalézá harmonikové menu, které slouží nejen pro ovládání zobrazení mapových vrstev vytvořených v rámci projektu, ale umožňuje i zobrazení podkladových referenčních dat, jimiž jsou popisky, ortofotomapa, automapa a stínovaný reliéf. Vybrané mapové vrstvy jsou zobrazovány v mapovém okně.

Stěžejními mapami jsou vrstvy vytvořené prostorovými analýzami vstupních dat pocházejících od nejrůznějších poskytovatelů dat (viz Tab. 96), zařazené pod záložku Mapy rizik:

- Celkové riziko, které představuje expozici dodávek ekosystémových služeb k environmentálním rizikům jako je znečištění, přírodní ohrožení a dopady antropogenních aktivit. Je výchozí mapou, která se zobrazí po spuštění aplikace;
- Hodnota ekosystémových služeb, která představuje součet všech ekosystémových služeb pro konkrétní krajinný pokryv v určitém území;
- Hot-spots, která zobrazuje nejen místa s vysokou (resp. nízkou) mírou environmentálního rizika

pro poskytování ekosystémových služeb, ale i nadto označují území, kde se prostorově tato místa významně shlukují;

- Ohrožení ekosystémů kombinuje různé environmentální zdroje rizik jako je znečištění (depozice dusíku, kvalita vody), přírodní ohrožení (eroze, povodně, invazivní druhy) a dopady antropogenních aktivit (urbanizace, kontaminovaná místa);
- Zranitelnost ekosystémů vystihuje citlivost vůči vnějším faktorům, jako jsou vybrané environmentální zdroje rizik.

Následující záložka Mapy povodní obsahuje vrstvy povodňových rozlivů z databáze DIBAVOD a průmyslové provozovny z registrů IRZ a IPPC. Doplnkovými vrstvami je ukázkový snímek z družice Landsat zobrazující rozliv povodní v oblasti středních, východních a severních Čech v roce 2006 a z něj odvozená vrstva povodňových rozlivů. Postup zpracování vrstvy rozlivů je podrobně popsán v kapitole 5.2 Zpracování družicových dat pomocí řízené klasifikace.

Záložka Toolbox obsahuje nástroje a postupy pro zpracování vstupních dat do výsledných vrstev zobrazovaných mapovou aplikací. Pro každou výslednou vrstvu byl v softwaru Esri Model-Builder vytvořen soubor modelů, které obsahují jednotlivé kroky zpracování zdrojových dat. Hlavním účelem je umožnění polo-automatizované aktualizace výstupních vrstev. Model zajistí konzistentnost zpracování dat, jediným předpokladem je poskytnutí vstupních dat v modelem očekávaném formátu a struktuře.

7.2.2 Mapové okno

Mapové okno představuje hlavní součást aplikace, zobrazuje mapové vrstvy vybrané uživatelem, ovládací prvky mapy (její posun, přiblížení a oddálení), mapovou legendu a grafické měřítko. Pro účely publikace map na internetu bylo zvoleno grafické měřítko, které je součástí mapového obrazu a zajišťuje tak správnou měřítkovou referenci bez ohledu na rozlišení monitoru uživatele aplikace, stejně tak při vytváření výřezů z mapové aplikace nebo i jejich tisku. Číselné měřítko by v těchto případech ztratilo jakoukoliv informační hodnotu a bylo by dokonce zavádějící.

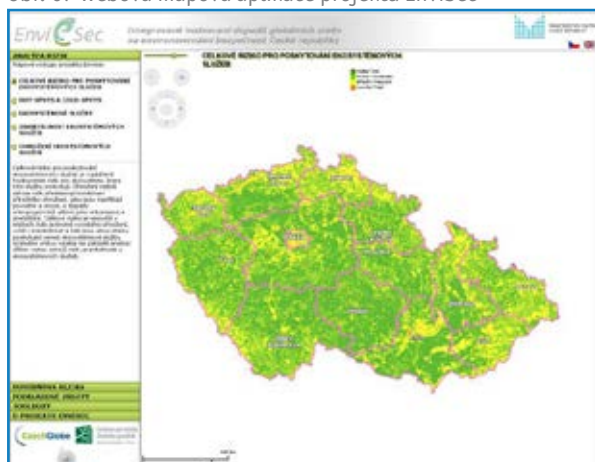
V pravém horním rohu aplikace jsou přepínače na přechod mezi českou a anglickou jazykovou verzí aplikace. Jazykový přechod je bezešvý, jazyk je možné přepnout kdykoliv při používání aplikace, změna

jazyka uživatelského rozhraní se projeví okamžitě.

Mapové služby využívané v aplikaci jsou publikovány ArcGIS Serverem využívaným v rámci Národního geoportálu INSPIRE. Kromě Esri REST a SOAP služeb jsou data EnviSec dostupná i prostřednictvím standardizované WMS/INSPIRE prohlížečské služby. Každý uživatel si služby může připojit do libovolného GIS software podporujícího některý z publikovaných formátů služeb a vytvářet si z nich vlastní mapové kompozice.

Aplikace je postavena nad REST službami ArcGIS Serveru a byla napsána v prostředí Adobe Flash Builder v jazyku Actionscript s využitím Esri Flex API (*Application Programming Interface*) pro ArcGIS Server. Pro uživatele se aplikace jeví jako jakákoliv jiná flashová aplikace, potřebuje tedy ke svému běhu v prohlížeči nainstalované rozšíření Adobe Flash Player. Výhodou tohoto řešení jsou stejný vzhled a funkčnost aplikace napříč různými platformami (Windows, Mac OS X, Linux), o které se stará právě Flash Player. Nevýhodou je nefunkčnost aplikace na mobilních zařízeních, která nepodporují spouštění flashových aplikací.

Obr. 67 Webová mapová aplikace projektu EnviSec



8

Závěr

Na základě představených datových zdrojů z jednotlivých systémů pro DPZ, služeb Copernicus a možností využití a zpracování je patrné, že DPZ je zdrojem širokého spektra datových sad využitelných v oblasti životního prostředí. Značnou výhodou využití dat DPZ je pak zejména nepřetržitá časová řada, u některých systémů je to i několik desítek let. Použitá metodika získávání dat DPZ se během tohoto období principiálně příliš nezměnila, docházelo pouze ke zlepšení spektrálního a prostorového rozlišení jednotlivých senzorů. Datové sady je tak možné analyzovat a zpracovávat dle potřeb rozličného množství cílových uživatelů v různých úrovních integrace, od komplexních až po specifické indikátory využívané například pro hodnocení stavu životního prostředí. S přihlédnutím k jednotným metodickým přístupům získávání dat je možné v dlouhé časové řadě analyzovat a hodnotit environmentální problematiku, a to nejen v oblasti environmentální bezpečnosti, ale také při tvorbě koncepcí preventivních opatření a při tvorbě strategických a územních plánů, a to s ohledem na stav a vývoj jednotlivých složek environmentálního systému. Pro tvorbu těchto materiálů jsou v současné době využívány zejména datové zdroje ze systémů pravidelného monitoringu, prostorová data a data DPZ jsou v součas-

nosti využívána ve velmi omezené míře. Předložená publikace tak prezentuje možnost využití dat DPZ, ale také možnosti využití jednotlivých nástrojů pro jejich zpracování a následnou vizualizaci. Závěrečná prezentace zpracovaných dat na adrese <http://envisec.cenia.cz> je pak jen jednou z mnoha možností, jak výsledek vizualizovat.

Projekt EnviSec, jehož cílem bylo vytvořit společný rámec pro posuzování bezpečnosti životního prostředí s cílem zhodnocení bezpečnostního rizika pro ekosystémy a ekosystémové služby během řešení dané problematiky poukázal na výzvy, možnosti, ale také případná rizika, která jsou spjata s vyhodnocováním dat DPZ pro takto specifické účely. Publikace, jako jeden z výstupů projektu, představuje možné přístupy, které je vhodné aplikovat jak na národní, tak mezinárodní úrovni, a to v návaznosti na plánovaná nebo přijatá opatření a závazky.

Citované zdroje

- [1] ESA – Copernicus Observing the Earth [online]. [Citace: 27. 11. 2013]. Dostupné z: http://www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/Copernicus.
- [2] EUMETSAT Satellites [online]. [Citace: 28. 5. 2015]. Dostupné z: <http://www.eumetsat.int/website/home/Satellites/index.html>.
- [3] NOAA Satellite Missions [online]. [Citace: 27. 11. 2013]. Dostupné z: http://www.nesdis.noaa.gov/about_satellites.html.
- [4] Russian Federal Space Agency [online]. [Citace: 28. 5. 2015]. Dostupné z: <http://en.federal-space.ru/>.
- [5] ESA - Soil Moisture Essential Climate Variable [online]. [Citace: 27. 11. 2013]. Dostupné z: <http://www.esa-soilmoisture-cci.org/>.
- [6] NASA – Global Precipitation Measurement Mission [online]. [Citace: 28. 5. 2015]. Dostupné z: http://www.nasa.gov/mission_pages/GPM/main/index.html.
- [7] ESA – Introducing SMOS [online]. [Citace: 28. 5. 2015]. Dostupné z: http://www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/SMOS/Introducing_SMOS.
- [8] ESA – Sentinel 1 [online]. [Citace: 28. 5. 2015]. Dostupné z: http://www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-1/.
- [9] MetOp Meteorological Missions [online]. [Citace: 28. 5. 2015]. Dostupné z: http://www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/The_Living_Planet_Programme/Meteorological_missions/MetOp.
- [10] CSA – Radarsat 2 [online]. [Citace: 27. 11. 2013]. Dostupné z: <http://www.asc-csa.gc.ca/eng/satellites/radarsat2/>.
- [11] Airbus Defense & Space [online]. [Citace: 28. 5. 2015]. Dostupné z: <http://www.space-airbusds.com/>.
- [12] COSMO-SkyMed [online]. [Citace: 28. 5. 2015]. Dostupné z: <http://www.cosmo-skymed.it/en/index.htm>.
- [13] Aqua Earth-observing satellite mission [online]. [Citace: 28. 5. 2015]. Dostupné z: <http://aqua.nasa.gov/index.php>.
- [14] ESA – Earth Explorers – SMOS [online]. [Citace: 28. 5. 2015]. Dostupné z: http://www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/The_Living_Planet_Programme/Earth_Explorers/SMOS.
- [15] Jet Propulsion Laboratory – Soil Moisture Active Passive [online]. [Citace: 28. 5. 2015]. Dostupné z: <http://smap.jpl.nasa.gov/>.
- [16] Indian Space Research Organisation [online]. [Citace: 28. 5. 2015]. Dostupné z: <http://www.isro.org/>.
- [17] Ottawa – National Capital Region Air Quality Mapping Service [online]. [Citace: 28. 5. 2015]. Dostupné z: <http://amapsenv.com/aqmap.aspx>.
- [18] ESA – Copernicus Contributing Missions – Optical Missions [online]. [Citace: 28. 5. 2015]. Dostupné z: http://www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/Copernicus/Optical_missions.
- [19] ESA – Copernicus Observing the Earth – Sentinels -4/-5 and -5P [online]. [Citace: 28. 5. 2015]. Dostupné z: http://www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinels_-4_-5_and_-5P.
- [20] NASA – CALIPSO [online]. [Citace: 28. 5. 2015]. Dostupné z: http://www.nasa.gov/mission_pages/calipso/main/index.html.
- [21] NASA – CloudSat [online]. [Citace: 28. 5. 2015]. Dostupné z: http://www.nasa.gov/mission_pages/cloudsat/main/index.html.
- [22] eoPortal Directory – Satellite Missions Database [online]. [Citace: 28. 5. 2015]. Dostupné z: <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/>.
- [23] NASA – Aura – Understanding and Protecting the Air We Breathe [online]. [Citace: 28. 5. 2015]. Dostupné z: http://www.nasa.gov/mission_pages/aura/main/index.html.
- [24] NASA – Terra [online]. [Citace: 27. 11. 2013]. Dostupné z: http://www.nasa.gov/mission_pages/terra/index.html.
- [25] Jet Propulsion Laboratory – OCO [online]. [Citace: 28. 5. 2015]. Dostupné z: <http://oco.jpl.nasa.gov/mission/>.
- [26] ESA – Sentinel 2 [online]. [Citace: 28. 5. 2015]. Dostupné z: http://www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-2.
- [27] ESA – Sentinel 3 [online]. [Citace: 28. 5. 2015]. Dostupné z: http://www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-3.

- [28] DMC International Imaging [online]. [Citace: 28. 5. 2015]. Dostupné z: <http://www.dmcii.com>.
- [29] EnMAP – Hyperspectral Imager [online]. [Citace: 28. 5. 2015]. Dostupné z: <http://www.enmap.org/>.
- [30] Airbus Space & Defense – Geostore [online]. [Citace: 28. 5. 2015]. Dostupné z: <http://www.geo-airbusds.com/>.
- [31] ESA – PROBA Missions [online]. [Citace: 28. 5. 2015]. Dostupné z: http://www.esa.int/Our_Activities/Space_Engineering_Technology/Proba_Missions.
- [32] BlackBridge – RapidEye Satellites [online]. [Citace: 28. 5. 2015]. Dostupné z: <http://blackbridge.com/rapideye/>.
- [33] NASA – Landsat Science [online]. [Citace: 28. 5. 2015]. Dostupné z: <http://landsat.gsfc.nasa.gov/>.
- [34] DigitalGlobe – Content Collection [online]. [Citace: 28. 5. 2015]. Dostupné z: <https://www.digitalglobe.com/about-us/content-collection>.
- [35] Israel Space Agency [online]. [Citace: 28. 5. 2015]. Dostupné z: <http://space.gov.il/en>.
- [36] Japan Aerospace Exploration Agency [online]. [Citace: 28. 5. 2015]. Dostupné z: <http://global.jaxa.jp/>.
- [37] Korea Aerospace Research Institute [online]. [Citace: 28. 5. 2015]. Dostupné z: <http://eng.kari.re.kr/>.
- [38] COOK, D.J., DAS, S.K., WILEY, J.: Wireless Sensor Networks: Technologies, Protocols and Applications [online]. 2004. [Citace: 25. 4. 2011]. Dostupné z: <http://citeseerx.ist.psu.edu>.
- [39] CULLER, D., ESTRIN, D., SRIVASTAVA, M.: "Overview of Sensor Networks", Computer, August 2004, IEEE Computer Society, Washington, DC, 2004, str. 40-49.
- [40] Department of Energy, United States (DOE, 2003), The Smart Grid: An Introduction, Washington, DC.
- [41] Chong, C., KUMAR, S. P.: Sensor Networks: Evolution, Opportunities, and Challenges. 2003. Proceedings of the IEEE, 91, 8, str. 1247-1256.
- [42] AKYILDIZ, I. F., SU, W., SANKARASUBRAMANIAM, Y., CAYIRCI, E.: Wireless Sensor Networks: A Survey. 2002.
- [43] BAKSHI, B. A., PRASANNA, K. V.: Architecture-Independent Programming for Wireless Sensor Networks, Wiley & Sons, Ltd, ISBN: 978-0-471-77889-9.
- [44] KOHVAKKA, M., SUHONEN, J., KUORILEHTO, M.: Ultra-Low Energy Wireless Sensor Networks in Practice, John Wiley & Sons, Ltd, ISBN: 978-0-470-05786-5.
- [45] CHRAIBI, Y.: Localization in Wireless Sensor Networks [online]. 2005. [Citace: 20. 10. 2008]. Dostupné z: <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:576409/FULLTEXT01.pdf>.
- [46] LANGENDOEN, K., REIJERS, N.: Distributed localization in wireless sensor networks [online]. 2002 [Citace: 24. 10. 2008]. Dostupné z: http://www.consensus.tudelft.nl/documents_papers/compnw.pdf.
- [47] Libelium [online]. [Citace: 20. 2. 2011]. Dostupné z: <http://www.libelium.com/waspmote>.
- [48] ZigBee Alliance [online]. [Citace: 10. 4. 2011]. Dostupné z: <http://www.zigbee.org/>.
- [49] Crossbow [online]. [Citace: 20. 2. 2011]. Dostupné z: www.xbow.com.
- [50] SOLOBERA, J.: Detecting Forest Fires using Wireless Sensor Networks with Waspmote [online]. 9. 4 2010 [Citace: 25. 10. 2010.]. Dostupné z: <http://www.libelium.com/libeliumworld/articles/101031032811>.
- [51] Sensor-Networks [online]. [Citace: 10. 5. 2011.]. Dostupné z: <http://www.sensor-networks.org>.
- [52] ADAM, R., WINTERSTELLER, W.: From Distribution to Contribution. Commercialising the Smart Grid, Booz & Company, Munich. 2008.
- [53] Integrovaná prevence a omezování znečištění [online]. [Citace: 10. 11. 2014]. Dostupné z: <http://www.ippc.cz/>.
- [54] Integrovaný registr znečišťování [online]. [Citace: 4. 12. 2014]. Dostupné z: <http://www.irz.cz/>.
- [55] Národní geoportál INSPIRE [online]. [Citace: 30. 10. 2014]. Dostupné z: <http://geoportal.gov.cz/>.

- [56] DOUBRAVA, P.: Application of a Likelihood Classification for Comparative Data Testing from MSU-E and Thematic Mapper Scanners. *Kartografie a geoinformatika II*, 2000, No.1, str. 25–43.
- [57] DOUBRAVA, P., ŘEŘIČHA, J.: Ověření metod a technologií dálkového průzkumu Země v oblasti krizových situací. Závěrečná zpráva iniciační fáze projektu. *Geo-Air – Státní ústav radiální ochrany*, 2007. 160 stran a tištěné mapové výstupy.
- [58] SWAIN, P. H., DAVIS, S. M.: *Remote Sensing: The Quantitative Approach*. New York: McGraw Hill Book Company, 1978.
- [59] ERDAS Field Guide. Fifth edition. ERDAS®, Inc., Atlanta, Georgia [online]. [Citace: 23. 10. 2009]. Dostupné z: <http://www.gis.usu.edu/manuals/labbook/erdas/manuals/fieldguide.pdf>.
- [60] JANSEN, J. R.: *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective*. 2nd ed. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall, 1996.
- [61] ŘEŘIČHA, J., DOUBRAVA, P., ČERNOBILA, M.: Ověření metod a technologií dálkového průzkumu Země v oblasti krizových situací. Závěrečná zpráva druhé etapy řešení. *Gemma Trade – Státní ústav radiální ochrany*, 2009. 17 stran a přílohy na DVD a 7 mapových výstupů.
- [62] DOBROVOLNÝ, P.: *Dálkový průzkum Země, digitální zpracování obrazu*. Brno: Masarykova univerzita, 1998. 210 stran. ISBN 80-210-1812-7.
- [63] ERDAS Field Guide. Leica Geosystems, GIS and Mapping, LLC, 2003, 672 stran.
- [64] BENEDIKTSSON, J. A., SWAIN, P. H., ERSOY, O. K.: Neural Network Approaches Versus Statistical Methods in Classification of Multisource Remote Sensing Data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 1990, Vol. 28, No. 4. str. 540–552.
- [65] CÂMARA, G., SOUZA, R. C. M., FREITAS, U. M., GARRIDO, J., MITSUO, F.: *SPRING: Integrating Remote Sensing and GIS by Object Oriented Data Modelling*. National Institute for Space Research (INPE), Brazil, 1996, 17 stran.
- [66] CONGALTON, R. A.: Review of Assessing the Accuracy of Classifications of Remotely Sensed Data. *Remote Sensing of Environment* 37, 1991, str. 35–46.
- [67] ŘEŘIČHA, J., DOUBRAVA, P., ČERNOBILA, M.: Ověření metod a technologií dálkového průzkumu Země v oblasti krizových situací. Závěrečná zpráva první etapy řešení. *Gemma Trade – Státní ústav radiální ochrany*, 2008. 14 stran a přílohy na DVD a 5 mapových výstupů.
- [68] Using the USGS Landsat 8 Product [online]. [Citace: 17. 5. 2013]. Dostupné z: https://landsat.usgs.gov/landsat8_using_product.php.
- [69] USGS Digital Spectral Library 06 [online]. [Citace: 25. 10. 2009]. Dostupné z: <http://speclab.cr.usgs.gov/spectral.lib06>.
- [70] Top Story - NASA's EARTH OBSERVING TECHNOLOGY SATELLITE PROVES A SUCCESS [online]. Goddard Space Flight Center, 24. 6. 2002 [Citace: 2. 11. 2009]. Dostupné z: <http://www.gsfc.nasa.gov/topstory/20020624e01.html>.
- [71] GEO/Copernicus v České republice [online]. [Citace: 11. 12. 2013]. Dostupné z: <http://copernicus.gov.cz>.
- [72] Copernicus briefs, Issue 02: Preserving forests cutting carbon [online]. [Citace: 11. 12. 2013]. Dostupné z: http://copernicus.eu/sites/default/files/documents/Copernicus_Briefs/Copernicus_Brief_Issue2_Carbon_Sep2013.pdf.
- [73] Copernicus briefs, Issue 11: Boosting food security from space [online]. [Citace: 11. 12. 2013]. Dostupné z: http://copernicus.eu/sites/default/files/documents/Copernicus_Briefs/Copernicus_Brief_Issue11_FoodSecurity_Sep2013.pdf.
- [74] Copernicus briefs, Issue 06: Expanding cities - A growing concern [online]. [Citace: 11. 12. 2013]. Dostupné z: http://copernicus.eu/sites/default/files/documents/Copernicus_Briefs/Copernicus_Brief_Issue6_UrbanSprawl_September2013.pdf.
- [75] Copernicus briefs, Issue 21: Space technology reveals where oil pollutes the oceans [online]. [Citace: 11. 12. 2013]. Dostupné z: http://copernicus.eu/sites/default/files/documents/Copernicus_Briefs/Copernicus_Brief_Issue21_OilSpill_Sep2013.pdf.

- [76] Copernicus briefs, Issue 05: Safer shipping through sea ice [online]. [Citace: 11. 12. 2013]. Dostupné z: http://copernicus.eu/sites/default/files/documents/Copernicus_Briefs/Copernicus_Brief_Issue5_SeaIce_Sep2013.pdf.
- [77] Copernicus briefs, Issue 34: Satellites support sustainable fishing [online]. [Citace: 11. 12. 2013]. Dostupné z: http://copernicus.eu/sites/default/files/documents/Copernicus_Briefs/Copernicus_Brief_Issue34_FishMonitoring_Sep2013.pdf.
- [78] Copernicus briefs, Issue 10: Monitoring the air we breathe [online]. [Citace: 11. 12. 2013] Dostupné z: http://copernicus.eu/sites/default/files/documents/Copernicus_Briefs/Copernicus_Brief_Issue10_AirQuality_Sep2013.pdf.
- [79] Copernicus briefs, Issue 18: Improving flight safety with satellite data [online]. [Citace: 11. 12. 2013]. Dostupné z: http://copernicus.eu/sites/default/files/documents/Copernicus_Briefs/Copernicus_Brief_Issue18_AshCloud_Sep2013.pdf.
- [80] Copernicus briefs, Issue 26: How Sentinels can support space-based weather predictions [online]. [Citace: 11. 12. 2013]. Dostupné z: http://copernicus.eu/sites/default/files/documents/Copernicus_Briefs/Copernicus_Brief_Issue26_WeatherForecast_Sep2013.pdf.
- [81] Copernicus briefs, Issue 22: Tracking flood waters from space [online]. [Citace: 11. 12. 2013]. Dostupné z: http://copernicus.eu/sites/default/files/documents/Copernicus_Briefs/Copernicus_Brief_Issue22_Flood_Sep2013.pdf.
- [82] Copernicus briefs, Issue 15: Tracking a burning issue from space [online]. [Citace: 11. 12. 2013]. Dostupné z: http://copernicus.eu/sites/default/files/documents/Copernicus_Briefs/Copernicus_Brief_Issue15_Fires_Sep2013.pdf.
- [83] Copernicus briefs, Issue 13: Landslide warnings from satellite save lives [online]. [Citace: 11. 12. 2013]. Dostupné z: http://copernicus.eu/sites/default/files/documents/Copernicus_Briefs/Copernicus_Brief_Issue13_Landslides_Sep2013.pdf.
- [84] Copernicus briefs, Issue 03: Pirated ship tracked by satellite [online]. [Citace: 11. 12. 2013]. Dostupné z: http://copernicus.eu/sites/default/files/documents/Copernicus_Briefs/Copernicus_Brief_Issue3_Pirate_Sep2013.pdf.

Použité podklady

- JI, X., ZHA, H.: Sensor Positioning in Wireless Ad-hoc Sensor Networks Using Multidimensional Scaling [online]. 2004 [Citace: 21. 11. 2008]. Dostupné z: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download;jsessionid=D-C6E6CB0AE46AF2F25BAC714A2F8C17B?-doi=10.1.1.1.2315&rep=rep1&type=pdf>.
- HE, T., et al.: Range-Free Localization Schemes for Large Scale Sensor Networks [online]. 2003 [Citace: 22. 10. 2008]. Dostupné z: http://www-users.cs.umn.edu/~tianhe/Papers/APIIT_MobiCom03.pdf.
- DIMOKAS, N., KATSAROS, D., MANOLOPOULOS, Y.: Node Clustering in Wireless Sensor Networks by Considering Structural Characteristics of the Network Graph [online]. 2007 [Citace: 1. 10. 2008]. Dostupné z: http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=4151670&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fxppls%2Fabs_all.jsp%3Farnumber%3D4151670.
- CARLSEN, S., PETERSEN, S.: Wireless Sensor Networks. Introduction to Installation and Integration on an offshore Oil & Gas Platform [online]. 2006 [Citace: 1. 10. 2008]. Dostupné z: http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=4483192&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fxppls%2Fabs_all.jsp%3Farnumber%3D4483192.
- MORE, D., BRUNIG, M., WARK, T.: CSIRO. Monitoring Rainforest Regeneration [online]. 2009 [Citace: 11. 10. 2010]. Dostupné z: <http://research.ict.csiro.au>.
- O'REILLY, F., BUCKELY J.: Use of Wireless Sensor Networks for Fluorescent Lighting Control with Daylight Substitution [online]. [Citace: 15. 10. 2010]. Dostupné z: <http://www.sics.se/>.
- AZIZ, I. A., HASAN. M. H., ISMAIL, M. J., MEHAT, M., HARON, N. S.: Remote Monitoring in Agricultural Greenhouse Using Wireless Sensor [online]. [Citace: 17. 10. 2010]. Dostupné z: <http://www.ijens.org>.
- MESTRE, P., SERODIO, C., MORAIS, R., AZEVEDO, J., MELO-PINTO, P.: Vegetation Growth Detection Using Wireless Sensor Networks [online]. 2010 [Citace: 17. 10 2010]. Dostupné z: <http://www.iaeng.org>. ISBN: 978-988-17012-9-9.
- EnOcean [online]. [Citace: 10. 11. 2010]. Dostupné z: <http://www.enocean.com/>.
- IETF Tools [online]. [Citace: 25. 11. 2010]. Dostupné z: <http://tools.ietf.org/>.
- Tinynode [online]. [Citace: 20. 2. 2011]. Dostupné z: <http://www.tinynode.com>.
- Memsic [online]. [Citace: 20. 2. 2011]. Dostupné z: <http://www.memsic.com>.
- VerizonWireless [online]. [Citace: 10. 5. 2011]. Dostupné z: <http://opennetwork.verizonwireless.com>.
- TinyOS [online]. [Citace: 28. 5. 2011]. Dostupné z: <http://docs.tinyos.net>.
- Alberta Transportation: Intelligent Transportation Systems. 2009. [online]. [Citace: 17. 9. 2013]. Dostupné z: <http://www.transportation.alberta.ca/606.htm>.
- BAGGIO, L.: Wireless sensor networks in precision agriculture. REALWSN 2005 proceedings. [online]. [Citace: 24. 11. 2013]. Dostupné z: <http://www.sics.se/realwsn05/papers/baggio05wireless.pdf>.
- Department of Energy, United States (DOE, 2002), Industrial Wireless Technology for the 21st century, Washington, DC.
- European Commission (EC, 2006), European SmartGrids Technology Platform: Vision and Strategy for Europe's Electricity Networks of the Future, Brussels.
- FRANZ, O., WISSNER, M., BÜLLINGEN, F., GRIES, C., CREMER, C., KLOBASA, M., SENSFUß, F., KIMPELER, S., BAIER, E., LINDNER, T., SCHÄFFLER, H., ROTH, W., THOMA, M.: Potenziale der Informations- und Kommunikations-Technologien zur Optimierung der Energieversorgung und des Energieverbrauchs (eEnergy), Bad Honnef, 2006.
- GREEN, K.: A Wireless Sensor City. MIT Technology Review, April 13th 2007, MIT, Cambridge, MA.
- Group on Earth Observations: Geo Members. 2008. [online]. [Citace: 10. 11. 2013]. Dostupné z: www.earthobservations.org/ag_members.shtml.
- Healthy Aims: EU Framework VI project. 2008. [online]. [Citace: 8. 6. 2013]. Dostupné z: www.healthyaims.org.

- Home Plug Alliance: EPRI Collaborates with ZigBee and HomePlug to Define Smart Energy Standard for Consumer Applications. 2009. [online]. [Citace: 23. 11. 2013]. Dostupné z: www.homeplug.org/news/pr/view?item_key=48cbeafda7c48fea53ea088758dd6cfefe4101b1.
- Home Plug Alliance: HomePlug Standard Brings Networking to the Home [online]. 2009 [Citace: 10. 8. 2013]. Dostupné z: www.commsdesign.com/main/2000/12/0012fe-at5.htm.
- Intelligent Transportation Systems Society: About Intelligent Transportation Systems (ITS) [online]. 2009 [Citace: 7. 10. 2013]. Dostupné z: www.itscanada.ca/english/aboutits.htm.
- MORYNE: MORYNE Project, 2008. [online]. [Citace: 10. 11. 2013]. Dostupné z: www.fp6-moryne.org.
- ON World: WSN for Smart Buildings - A Market Dynamics Report, ON World, San Diego, 2007.
- Research and Innovative Technology Administration, U.S. Department of Transportation: Intelligent Transportation Systems – Applications Overview [online]. 2009 [Citace: 23. 11. 2013]. Dostupné z: www.itso-verify.its.dot.gov/.
- Science Applications International Corporation (SAIC, 2006), San Diego Smart Grid Study Final Report, San Diego.
- SIDERIUS, H., DIJKSTRA, A.: Smart Metering for Households: Costs and Benefits for the Netherlands [online]. 2006 [Citace: 19. 10. 2013]. Dostupné z: http://mail.mtprog.com/CD_Layout/Day_2_22.06.06/0900-1045/ID57_Siderius_final.pdf.
- Siemens: Sustainable Buildings – Smart Meters: Stabilizing the Grid [online]. 2008 [Citace: 21. 5. 2013]. Dostupné z: http://w1.siemens.com/innovation/en/publikationen/publications_pof/pof_fall_2008/gebaeude/zaehler.htm.
- SILVA GIRÃO, P., ALGERIA, F., VIEGAS, J. M., LU, B., VIEIRA, J.: Wireless System for Traffic Control and Law Enforcement. IEEE International Conference on Industrial Technology, 15-17 December 2006, str. 1768-1770.
- TAYLOR, J., WHELAN, B.: A General Introduction to Precision Agriculture [online]. 2006 [Citace: 7. 10. 2013]. Dostupné z: www.usyd.edu.au/agric/acpa/pag.htm.
- United States Department of Agriculture: Precision Agriculture: NRCS Support for Emerging Technologies. Agronomy Technical Note No. 1, Greensboro/North Carolina, 2007.
- VELOSO, M., BENTOS, C., CÂMARA PEREIRA, F.: Multi-Sensor Data Fusion on Intelligent Transport Systems. MIT Portugal Transportation Systems Working Paper Series, ITS-CM-09-02, March 2009.
- VERDONE, R., DARDARI, D., MAZZINI, G., CONTI, A.: Wireless Sensor and Actuator Networks. Academic Press/Elsevier, London, 2008.
- VIEGAS, J., LU, B.: Widening the Scope for Bus Priority with Intermittent Bus Lanes. Transportation Planning and Technology, 2001, 24, str. 87-110.
- WANG, N., ZHANG, N., WANG, M.: Wireless Sensors in Agriculture and Food Industry – Recent Development and Future Perspective. Computers and Electronics in Agriculture, 2006, 50, str. 1-14.
- WARK, T., CORKE, P., SIKKA, P., KLINGBEIL, L., GUO, Y., CROSSMAN, C., VALENCIA, P., SWAIN, D., BISHOP-HURLEY, G.: Transforming Agriculture through Pervasive Wireless Networks. Pervasive Computing, April-June 2007, str. 50-57.
- WILSON, J.: Sensor Technology Handbook. Newnes/Elsevier, Oxford, 2008.
- AL-AMRI, S. S., KALYANKAR, N. V., KHAMITKAR, S. D.: A Comparative Study of Removal Noise from Remote Sensing Image. International Journal of Computer Science Issues, 2010, Vol. 7, Issue 1, No. 1.
- CLARK, R. N. et al.: Imaging Spectroscopy: Earth and Planetary Remote Sensing with the USGS Tetracorder and Expert Systems [online]. [Citace: 2009-12-03]. Dostupné z: <http://speclab.cr.usgs.gov/papers/tetracorder/>.
- GIACINTO, G., ROLI, F., BRUZZONE, L.: Combination of Neural and Statistical Algorithms for Supervised Classification of Remote-Sen-

sing Images. Pattern Recognition Letters 21, 2000, str. 385–397.

- ITTVisualInformationSolution. ENVITutorials [online]. [Citace: 2009-12-18] Dostupné z: <http://www.ittvis.com/productservices/envi/tutorials.aspx>.
- ŘEŘIČHA, J., DOUBRAVA, P., ČERNOBILA, M.: Aplikace metod a analýz dálkového průzkumu Země pro klasifikaci vybraných zemědělských plodin na definovaném území v okolí jaderné elektrárny Jaslovské Bohunice. Závěrečná zpráva. Gemma Trade – AB Merit, 2008. 23 stran a přílohy na 2 DVD.
- Reflectance Spectroscopy Lab – SER Arizona State University [online]. [Citace: 2009-11-15]. Dostupné z: <http://ser.sese.asu.edu/spectra/index.html>.

Seznam obrázků

Obr. 1 MSG	14	Obr. 37 GeoEye-1	36
Obr. 2 MTG	15	Obr. 38 Resourcesat-1	37
Obr. 3 MetOp-A	15	Obr. 39 Cartosat 2B	38
Obr. 4 GOES	16	Obr. 40 EROS B	38
Obr. 5 DMSP	16	Obr. 41 Kompsat-2	39
Obr. 6 NOAA-19	17	Obr. 42 Resurs DK1	39
Obr. 7 JPSS	17	Obr. 43 Typy topologií bezdrátových sensorových sítí	43
Obr. 8 Elektro-L	17	Obr. 44 Stávající měřicí síť stanic ČHMÚ a Povodí Moravy, s.p.	45
Obr. 9 Sentinel 1	18	Obr. 45 Schéma procesu zpracování dat bezdrátové sensorové sítě podpůrných dat DPZ	47
Obr. 10 Radarsat-2	19	Obr. 46 Schéma procesu vydávání integrovaného povolení a jeho podstatných změn (duben 2013)	49
Obr. 11 TerraSAR-X a TanDEM-X.....	19	Obr. 47 Převod dat z formátu XLS na prostorovou reprezentaci	50
Obr. 12 Cosmo-SkyMed	20	Obr. 48 Ukázka webové mapové aplikace – povodňová rizika	50
Obr. 13 Aqua	20	Obr. 49 Ukázka mapové kompozice „Provozovny ohlašovatelů do IRZ 2004–2012“ na stránkách Národního geoportálu INSPIRE	51
Obr. 14 SMOS	21	Obr. 50 Technologický postup zpracování družicových dat	54
Obr. 15 SMAP	21	Obr. 51 Schéma vztahu mezi multispektrálním obrazem, spektrálním prostorem a příznakovým prostorem ...	58
Obr. 16 ALOS-2	22	Obr. 52 Příklad vytvoření trénovacích ploch na testovacím území	58
Obr. 17 Mapová aplikace monitorování kvality ovzduší ve městě Ottawa	23	Obr. 53 Příklad výsledku řízené klasifikace (rozsah rozlivu vodních ploch)	62
Obr. 18 Sentinel 5 – Precursor	23	Obr. 54 Technologický postup zpracování tepelných dat z družice Landsat 7	64
Obr. 19 CALIPSO	25	Obr. 55 Technologický postup zpracování tepelných dat z družice Landsat 8	65
Obr. 20 EOS – Aura	25	Obr. 56 Příklad zpracování dat z tepelné oblasti spektra družice Landsat 8	66
Obr. 21 EOS – Terra	26	Obr. 57 Příklad zpracování dat z radaru se syntetickou aperturou družice Sentinel 1	67
Obr. 22 OCO-2	26	Obr. 58 Ukázka vrstvy CORINE Land Cover 2006 pro ČR	71
Obr. 23 Kanopus-V	26	Obr. 59 Schéma postupu zpracování dat při analýze rizika pro poskytování ES	85
Obr. 24 GOSAT	27	Obr. 60 Schéma toolboxu pro převod urbanizace	
Obr. 25 Sentinel 2	28		
Obr. 26 Sentinel 3	29		
Obr. 27 UK-DMC-2	29		
Obr. 28 EnMAP	30		
Obr. 29 SPOT 5	30		
Obr. 30 Pléiades 2	32		
Obr. 31 PROBA-1	32		
Obr. 32 PRISMA	33		
Obr. 33 RapidEye	33		
Obr. 34 SEOSat/Ingenio	33		
Obr. 35 Landsat 7	34		
Obr. 36 QuickBird	35		

z dat CORINE do gridu 1x1 km	85
Obr. 61 Schéma toolboxu pro převod dat povodní z databáze DIBAVOD do gridu 1x1 km	86
Obr. 62 Schéma toolboxu pro převod dat kontaminace SEKM do gridu 1x1 km	86
Obr. 63 Schéma toolboxu pro standardizaci dat ...	86
Obr. 64 Schéma toolboxu pro výpočet ohrožení...	86
Obr. 65 Schéma toolboxu pro výpočet zranitelnosti	86
Obr. 66 Schéma toolboxu pro výpočet celkového rizika	87
Obr. 67 Webová mapová aplikace projektu EnviSec	89

Seznam zkratek

6LoWPAN	IPv6 over Low Power Wireless Personal Area Networks	CDTI	Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial
AATSR	Advanced Along Track Scanning Radiometer	CENIA	CENIA, česká informační agentura životního prostředí
ACDISC	Atmospheric Composition Data & Information Services Center	CERES	Clouds and the Earth's Radiant Energy System
ADEOS	ADvanced Earth Observing Satellite	CHRIS	Infrared Atmospheric Sounding Interferometer
ALADIN	Aire Limitée, Adaptation Dynamique, Development INternational	CLASS	Comprehensive Large Array-data Stewardship System
ALOS	Advanced Land Observing Satellite	CNES	Centre National d'Etudes Spatiales
AMSR	Advanced Microwave Scanning Radiometer		Cloud Profiling Radar
AMSR-E	Advanced Microwave Scanning Radiometer – EOS	CPR	Central Processing Unit
AMSU	Advanced Microwave Sounding Units	CPU	Canadian Space Agency
ANN	Artificial Neural Network	CSA	Copernicus Space Component Data Access
API	Application Programming Interface	CSCDA	Český hydrometeorologický ústav
ASAR	Advanced Synthetic Aperture Radar	ČHMÚ	Česká republika
ASCAT	Advanced SCATterometer	ČR	České vysoké učení technické v Praze
ASI	Agenzia Spaziale Italiana	ČVUT	Distributed Active Archive Center
ASTER	Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer	DAAC	DataBase File
A-Train	Afternoon Train	DBF	Directorate-General Joint Research Centre
AV BÚ	Botanický ústav Akademie věd České republiky	DG JRC	Digitální báze vodohospodářských vat
AV ČR	Akademie věd České republiky	DIBAVOD	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
AVHRR	Advanced Very High Resolution Radiometer	DLR	Disaster Monitoring Constellation
AVNIR	Advanced Visible and Near Infrared Radiometer	DMC	Defense Meteorological Satellite Program
AWiFS	Advanced Wide Field Sensor	DMSP	Digital Number
CALIOP	Cloud-Aerosol LIdar with Orthogonal Polarisation	DN	Dynamic Power Management
CALIPSO	Cloud-Aerosol Lidar and Infrared Pathfinder Satellite Observation	DPM	Dual-frequency Precipitation Radar
CCD/TDI	Charge Coupled Device/Time Delay Integration	DPR	Dálkový průzkum Země
		DPZ	Dynamic Voltage Scaling
		DVS	European Environment Agency
		EEA	European Flood Awareness System
		EFAS	

EnMAP	Environmental Monitoring and Analysis Program	GOSAT	Greenhouse Gases Observing SATellite
	Earth Observation Portal		Global Precipitation Measurement
EOP	Earth Observing System	GPM	Global Positioning System
EOS	Electro-Optical System-D Camera	GPS	Hyperspectral Imaging Instrument
EOS-D Camera	Earth Observation Web	GSA	High-resolution Infrared Radiation Sounder
EOWEB	EUMETSAT Polar System	HIRS	High Resolution Camera
EPS	EUMETSAT Polar System – Second Generation	HRC	Haute Résolution Géométrique
EPS-SG	European Research Council	HRG	High Resolution MultiSpectral Imager
ERC	European Remote-Sensing Satellite	HRMSI	Haute Résolution dans le Visible et l'Infra-Rouge
ERS	Ekosystémové služby	HRVIR	HyperSpectral Imager
ES	European Space Agency		HyperSpectral Imager
ESA	Enhanced Thematic Mapper Plus	HSI	HyperSpectral Imager
ETM+	Evropská unie	HySI	Infrared Atmospheric Sounding Interferometer
EU	the EUropean organisation for the exploitation of METeorological SATellites	IASI	Initial Joint Polar System
EUMETSAT	Evropský systém kontroly hranic	IJPS	Indian MicroSatellite
EUROSUR	Early Warning System	IMS	Směrnice 2007/2/ES o zřízení infrastruktury pro prostorové informace v Evropském společenství
EWS	Far InfraRed	INSPIRE	Integrated Path Differential Absorption LIght Detection And Ranging instrument
FIR	Shizuku; the Global Change Observation Mission – Water		Integrovaná prevence a omezování znečišťování
GCOM-W	Ground Control Point	IPDA LIDAR	InfraRed
GCP	Group on Earth Observations		Indian Remote Sensing
GEO	Geostationary Earth Radiation Budget	IPPC	Integrovaný registr znečišťovatelů
GERB	Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center	IR	Israel Space Agency
GES DISC	GMES/Copernicus Initial Operations Emergency Management Service	IRS	Integrovaný systém plnění ohlašovacích povinností v oblasti životního prostředí
GIO EMS	Geografický informační systém	IRZ	Indian Space Research Organisation
GIS	Global Monitoring for Environment and Security	ISA	Japan Aerospace eXploration Agency
GMES	GPM Microwave Imager	ISPOP	Joint Polar Satellite System
GMI	Geostationary Operational Environmental Satellite	ISRO	
GOES	Global Ozone Monitoring Experiment	JAXA	
GOME			

JPSS	Jena Spaceborne Scanner 56	MSU-GS	Meteosat Third Generation
JSS 56	Kanopus – Vulkan	MTG	Meteosat Third Generation – Imaging satellite
Kanopus-V	Kanopus – Vulkan Infrakrasny	MTG-I	Meteosat Third Generation – Sounding satellite
Kanopus-V-IK	Korea Aerospace Research Institute	MTG-S	Meteosat Visible and InfraRed Imager
KARI	KOrean MultiPurpose SATellite	MVIRI	MidWave InfraRed
KOMPSAT	Landsat Data Continuity Mission	MWIR	MicroWave Radiometer
LDCM	Linear Imaging Self Scanner	MWR	Multispectral Camera
LISS	Land Surface Temperature	Mx-T	Ministerstvo životního prostředí
LST	MARitime Security Service	MŽP	National Aeronautics and Space Administration
MARISS	MacDonald Dettwiler and Associates Ltd.	NASA	Atmospheric Science Data Center
MDA	Meteorological and Environmental Data Assimilating system for Regional Domains	NASA ASDC	Earth Observing System Data and Information System
MEDARD	MEdium Resolution Imaging Spectrometer	NASA EOSDIS	Normalized Difference Vegetation Index
MERIS	MEthane Remote sensing LIdar missioN	NDVI	the National Earth Observation Data Framework – Catalogue
MERLIN	Metorological Operational satellite programme	NEODF-CAT	Near-InfraRed
MetOp	Meteorological Operational satellite programme – Second Generation	NIR	National Oceanic and Atmospheric Administration
MetOp-SG	Microwave Humidity Sounder	NOAA	National Polar-orbiting Operational Environmental Satellite System
MHS	Microwave Imaging Radiometer using Aperture Synthesis	NPOESS	National Remote Sensing Centre
MIRAS	Multi-angle Imaging SpectroRadiometer	NRSC	National Snow and Ice Data Center
MISR	MODerate-resolution Imaging Spectroradiometer	NSIDC	Orbiting Carbon Observatory
MODIS	Measurements Of Pollution In The Troposphere	OCO	Open Geospatial Consortium
MOPITT	MultiSpectral	OGC	Ocean and Land Colour Instrument
MS	Meteosat Second Generation	OLCI	Operational Land Imager
MSG	Multi Spectral Instrument	OLI	Ozone Monitoring Instrument
MSI	MultiSpectral Imager	OMI	Optical & Radar Federated Earth Observation
MSI	MultiSpectral Imaging System	ORFEO	Open Systems Interconnection
MSS	Multispectral Scanner System	OSI	Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar
MSS	Multispectral Scanner Unit	PALSAR	PANchromatic
MSU	Multi-band Scanning Instrument		

PAN	Polarization and Anistropy of Reflectances for Atmospheric Science coupled with Observations from a Lidar	SOAP	Système Pour l'Observation de la Terre
PARASOL	Portable Document Format	SPOT	Sentinel 3 KU/C Radar ALtimeter
PDF	Pléiades High Resolution	SRAL	SuperSpectral
Pléiades-HR	Polar Operational Environmental Satellite	SS	Special Sensor Microwave/Imager
POES	Precipitation Radar	SSM/I	Surrey Satellite Technology Ltd.
PR	Panchromatic Remote-sensing Instrument for Stereo Mapping	SSTL	Suomi National Polar-orbiting Partnership
PRISM	PRecursore IperSpettrale della Missione Applicativa	Suomi NPP	ShortWave InfraRed
PRISMA	PProject for OnBoard Autonomy	SWIR	Thermal And Near infrared Sensor for carbon Observation – Cloud and Aerosol Imager
PROBA	Panchromatic Imaging System	TANSO-CAI	Thermal And Near infrared Sensor for carbon Observation – Fourier Transform Spectrometer
PSS	Random-Access Memory	TANSO-FTS	Transformed Divergence
RAM	REpresentational State Transfer	TD	Thermal InfraRed
REST	Remote Sensing Technology Center of Japan	TIR	Thermal InfraRed Sensor
RESTEC	Radar Imaging SATellite	TIRS	Thematic Mapper
RISAT	Russian Federal Space Agency	TM	TRMM Microwave Imager
Roscosmos	Synthetic Aperture Radar	TMI	Top Of Atmosphere
SAR	SCATterometer	TOA	Total Ozone Mapping Spectrometer
SCAT	SCanning Imaging Absorption spectroMeter for Atmospheric Cartography	TOMS	Tropical Rainfall Measuring Mission
SCIAMACHY	Satélite Español de Observación de la Tierra	TRMM	TROPospheric Ozone Monitoring Instrument
SEOSat	Spinning Enhanced Visible and InfraRed Imager	TROPOMI	TerraSAR-X – Next Generation
SEVIRI	Shapefile	TSX-NG	United States Geological Survey
SHP	Shape index format	USGS	UltraViolet
SHX	Systém jednotné trigonometrické sítě katastrální	UV	Ultraviolet Visible and near-infrared Atmospheric Sounder
S-JTSK	Sea and Land Surface Temperature Instrument	UVAS	Ultraviolet, Visible and Near-infrared spectrometer
SLST	Soil Moisture Active Passive	UVN	Ultraviolet, Visible, Near-infrared, Shortwave Spectrometer
SMAP	Scanning Multichannel Microwave Radiometer	UVNS	Vegetation and Environment Monitoring on a New Micro-Satellite
SMMR	the Soil Moisture and Ocean Salinity mission	VENμS	Very High Resolution Sensor
SMOS	Simple Object Access Protocol	VHR Sensor	VISible

VIS	Visible and Near-InfraRed
VNIR	VEN μ S Superspectral Camera
VSC	Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v.v.i.
VÚV	World Geodetic System 1984
WGS-84	Web Map Service
WMS	Wireless Sensor Network
WSN	Microsoft Excel Spreadsheet
XLS	

Seznam tabulek

Tab. 1 Senzor MVIRI (Meteosat-1 až 7)	15	Tab. 38 Senzor SLST (Sentinel 3)	29
Tab. 2 Senzor SEVIRI (MSG)	15	Tab. 39 Senzor MSI (Beijing-1)	29
Tab. 3 Senzor AMSU-A1/AMSU-A2 (MetOp, NOAA) ...	15	Tab. 40 Senzor Eastman Kodak KLI-14403 Linear CCD (UK-DMC-2, Deimos-1)	30
Tab. 4 Senzor HIRS/4 (MetOp, NOAA)	16	Tab. 41 Senzor VHR Sensor (NigeriaSAT)	30
Tab. 5 Senzor AVHRR/3 (MetOp, NOAA)	16	Tab. 42 Senzor EOS-D Camera (Deimos-2)	30
Tab. 6 Senzor MHS (MetOp, NOAA)	16	Tab. 43 Senzor HSI (EnMAP)	30
Tab. 7 Senzor SSM/I (DMSP)	16	Tab. 44 Senzor HRVIR_MS (SPOT 4)	31
Tab. 8 Senzor MSU-GS (Elektro-L)	17	Tab. 45 Senzor HRVIR_PAN (SPOT 4)	31
Tab. 9 Senzor C-band SAR (Sentinel 1)	19	Tab. 46 Senzor VEGETATION (SPOT 4)	31
Tab. 10 Senzor ASCAT (MetOp)	19	Tab. 47 Senzor HRG_MS (SPOT 5)	31
Tab. 11 Senzor SAR (Radarsat-2)	19	Tab. 48 Senzor HRG_PAN (SPOT 5)	31
Tab. 12 Senzor SAR-X (TerraSar-X)	20	Tab. 49 Senzor HRS (SPOT 5)	31
Tab. 13 Senzor SAR-X (TanDEM-X)	20	Tab. 50 Senzor VEGETATION 2 (SPOT 5)	31
Tab. 14 Senzor SAR 2000 (Cosmo-SkyMed)	20	Tab. 51 Senzor HRG (SPOT 6 a 7)	32
Tab. 15 Senzor AMSR-E (Aqua)	20	Tab. 52 Senzor Pléiades-HR (Pléiades 1A a 1B)	32
Tab. 16 Senzor MIRAS (SMOS)	21	Tab. 53 Senzor CHRIS (PROBA-1)	32
Tab. 17 Senzor L-band Radiometer (SMAP)	21	Tab. 54 Senzor HRC (PROBA-1)	32
Tab. 18 Senzor SAR (SMAP)	21	Tab. 55 Senzor HRG (PROBA-V)	33
Tab. 19 Senzor SAR (RISAT-1)	22	Tab. 56 Senzor PRISMA instrument (PRISMA)	33
Tab. 20 Senzor PALSAR-2 (ALOS-2)	22	Tab. 57 Senzor JSS 56 (RapidEye)	33
Tab. 21 Senzor TROPOMI (Sentinel 5 – Precursor) ..	24	Tab. 58 Senzor UVAS (SEOSat/Ingenio)	33
Tab. 22 Senzor UVN (MTG, Sentinel 4)	24	Tab. 59 Senzor VSC (VEN μ S)	34
Tab. 23 Senzor GOME-2 (MetOp)	24	Tab. 60 Senzor MSS (Landsat 1 až 5)	34
Tab. 24 Senzor UVNS (MetOp-SG, Sentinel 5)	24	Tab. 61 Senzor TM (Landsat 4 a 5)	34
Tab. 25 Senzor CPR (CloudSat)	25	Tab. 62 Senzor ETM+ (Landsat 7)	34
Tab. 26 Senzor CALIOP (CALIPSO)	25	Tab. 63 Senzor HRMSI (Landsat 7)	34
Tab. 27 Senzor IPDA LIDAR (MERLIN)	25	Tab. 64 Senzor OLI (Landsat 8)	35
Tab. 28 Senzor OMI (Aura)	25	Tab. 65 Senzor TIRS (Landsat 8)	35
Tab. 29 Senzor ASTER (Terra)	26	Tab. 66 Senzor MS (QuickBird)	35
Tab. 30 Senzor MODIS (Terra, Aqua)	26	Tab. 67 Senzor PAN (QuickBird)	35
Tab. 31 Senzor OCO-2 (OCO-2)	26	Tab. 68 Senzor PAN (WorldView-1)	35
Tab. 32 Senzor PSS (Kanopus-V)	27	Tab. 69 Senzor MS ((WorldView-2)	35
Tab. 33 Senzor MSS (Kanopus-V)	27	Tab. 70 Senzor PAN (WorldView-2)	36
Tab. 34 Senzor MSU-200 (Kanopus-V)	27	Tab. 71 Senzor SS (WorldView-3)	36
Tab. 35 Senzor TANSO-FTS (GOSAT)	27	Tab. 72 Senzor MS (Ikonos)	36
Tab. 36 Senzor MSI (Sentinel 2)	28	Tab. 73 Senzor PAN (Ikonos)	36
Tab. 37 Senzor OLCI (Sentinel 3)	29		

Tab. 74	Senzor MS (GeoEye-1)	36
Tab. 75	Senzor PAN (GeoEye-1)	36
Tab. 76	Senzor MS (WorldView-4)	37
Tab. 77	Senzor PAN (WorldView-4)	37
Tab. 78	Senzor LISS-4 (Resourcesat-1)	37
Tab. 79	Senzor LISS-3 (Resourcesat-1)	37
Tab. 80	Senzor AWiFS (Resourcesat-1)	37
Tab. 81	Senzor Panchromatic camera (Cartosat-2B)	38
Tab. 82	Senzor Mx-T (IMS-1)	38
Tab. 83	Senzor HySI (IMS-1)	38
Tab. 84	Senzor CCD/TDI (EROS A)	38
Tab. 85	Senzor CCD/TDI (EROS B)	38
Tab. 86	Senzor MSI (KOMPSAT-2)	39
Tab. 87	Senzor PAN (KOMPSAT-2)	39
Tab. 88	Senzor PAN (KOMPSAT-3)	39
Tab. 89	Senzor Geoton-L1 (Resurs)	39
Tab. 90	Spektrální pásma družice Landsat 8	55
Tab. 91	Minimální počty bodů v jednotlivých stupních polynomické transformace	57
Tab. 92	Klasifikační chybová matice	61
Tab. 93	Klasifikační chybová matice s využitím testovacích dat	61
Tab. 94	Spektrální pásma TIRS družice Landsat 8	63
Tab. 95	Koeficienty výpočtu atmosféricky korigovaných povrchových teplot	64
Tab. 96	Charakteristiky vstupních datových sad pro výpočet rizika dodávek a poskytování ES	84

Příloha 1
Hlavní online archivy
družicových dat

Organizace	Název archivu	Adresa archivu
Airbus Defence & Space	GeoStore	http://www.geo-airbusds.com/geostore/
Airbus Defence & Space	TerraSAR-X Archive	http://terrasar-x-archive.infoterra.de/
CSA	NEODF-CAT (<i>the National Earth Observation Data Framework - Catalogue</i>)	https://neodf.nrcan.gc.ca/neodf_cat3/index.php?lang=en
DigitalGlobe	Image Finder	https://browse.digitalglobe.com/imagefinder/
DLR	EOWEB (<i>Earth Observation Web</i>)	https://centaurus.caf.dlr.de:8443/eoweb-ng/template/default/welcome/entryPage.vm
DMC International Imaging	DMCii – Catalogue	http://catalogue.dmcii.com/
Elecnor Deimos Imaging	Deimos 1 – Catalogue	http://www.deimos-imaging.com/extcat2/
ESA	CSCDA (<i>Copernicus Space Component Data Access</i>)	https://copernicusdata.esa.int/web/cscda/home
ESA	Earthnet Online	https://earth.esa.int/web/guest/data-access
ESA	On-Line Archive	https://oa-es.eo.esa.int/ra/
ESA	Sentinels Scientific Data Hub	https://scihub.esa.int/
ESA	Sentinel 1 Collaborative Data Hub	https://colhub.esa.int/
EUMETSAT	EOP (<i>Earth Observation Portal</i>)	https://eoportal.eumetsat.int/userMgmt/login.faces
GES DISC (<i>Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center</i>)	ACDISC (<i>Atmospheric Composition Data & Information Services Center</i>)	http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/acdisc
GES DISC	Mirador	http://mirador.gsfc.nasa.gov/
ImageSat International	EROS Catalogue	http://www.imagesatintl.com/catalogue/
RESTEC (<i>Remote Sensing Technology Center of Japan</i>)	CROSS-EX	https://cross-ex.info/cross-ex/topControl
NASA ASDC (<i>Atmospheric Science Data Center</i>)	Data Ordering Tool	http://eosweb.larc.nasa.gov/HBDOCS/langley_web_tool.html
NASA EOSDIS (<i>Earth Observing System Data and Information System</i>)	Reverb	http://reverb.echo.nasa.gov/reverb/
NASA EOSDIS	EarthData	https://earthdata.nasa.gov/
NOAA	CLASS (<i>Comprehensive Large Array-data Stewardship System</i>)	http://www.nsof.class.noaa.gov/
ISRO	NRSC (<i>National Remote Sensing Centre</i>)	http://www.nrsc.gov.in
NSIDC (<i>National Snow and Ice Data Center</i>)	Polaris	http://nsidc.org/data/polaris/
NSIDC	DAAC (<i>Distributed Active Archive Center</i>)	https://nsidc.org/data/smap
BlackBridge	EyeFind	http://eyefind.rapideye.com/
Roscosmos	Research Center for Earth Operative Monitoring	http://eng.ntsomz.ru/about/deyatelnost_centra
Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics	Space Monitoring Data Center	http://smdc.sinp.msu.ru/index.py
USGS	EarthExplorer	http://earthexplorer.usgs.gov/

Poznámka: Všechny údaje jsou platné k 29. 7. 2015

Příloha 2
Dostupnost
družicových dat
v online archivech

Družice	Přístroj	Organizace	Název archivu	Adresa archivu
ALOS	AVNIR-2 (Advanced Visible and Near Infrared Radiometer), PRISM (Pan-chromatic Remote-sensing Instrument for Stereo Mapping)	ESA	Earthnet Online	https://earth.esa.int/web/guest/data-access
		NASA EOSDIS	Reverb	http://reverb.echo.nasa.gov/reverb/
ALOS	PALSAR	ESA	Earthnet Online	https://earth.esa.int/web/guest/data-access
		NASA EOSDIS	Reverb	http://reverb.echo.nasa.gov/reverb/
ALOS-2	PALSAR-2	ESA	Earthnet Online	https://earth.esa.int/web/guest/data-access
		NASA EOSDIS	Reverb	http://reverb.echo.nasa.gov/reverb/
Aqua	AMSR-E	GES DISC	Mirador	http://mirador.gsfc.nasa.gov/
		NASA	EarthData	https://earthdata.nasa.gov/
Aqua	MODIS	GES DISC	Earthnet Online	https://earth.esa.int/web/guest/data-access
		NASA EOSDIS	EarthData	https://earthdata.nasa.gov/
Aqua	vše	NASA EOSDIS	Reverb	http://reverb.echo.nasa.gov/reverb/
		NASA EOSDIS	EarthData	https://earthdata.nasa.gov/
Aura	OMI	GES DISC	Mirador	http://mirador.gsfc.nasa.gov/
		NASA EOSDIS	Reverb	http://reverb.echo.nasa.gov/reverb/
		NASA EOSDIS	EarthData	https://earthdata.nasa.gov/
CALIPSO	CALIOP	NASA ASDC	Data Ordering Tool	http://eosweb.larc.nasa.gov/HBDOCS/langley_web_tool.html
		NASA EOSDIS	Reverb	http://reverb.echo.nasa.gov/reverb/
		NASA EOSDIS	EarthData	https://earthdata.nasa.gov/
CARTOSAT 2B	PAN	ISRO	NRSC	http://www.nrsc.gov.in
CloudSat	CPR	NASA EOSDIS	Reverb	http://reverb.echo.nasa.gov/reverb/
		NASA EOSDIS	EarthData	https://earthdata.nasa.gov/
COSMO-SkyMed	SAR 2000	ESA	Earthnet Online	https://earth.esa.int/web/guest/data-access
Deimos-1	vše	Elecnor Deimos Imaging	Deimos 1 – Catalogue	http://www.deimos-imaging.com/extcat2/
		DMC International Imaging	DMCii – Catalogue	http://catalogue.dmcii.com/
Deimos-2	vše	Elecnor Deimos Imaging	Deimos 1 – Catalogue	http://www.deimos-imaging.com/extcat2/
		DMC International Imaging	DMCii – Catalogue	http://catalogue.dmcii.com/
DMC Constellation	vše	DMC International Imaging	DMCii – Catalogue	http://catalogue.dmcii.com/
		Airbus Defence & Space	GeoStore	http://www.geo-airbusds.com/geostore/
DMSP	SSM/I	NOAA	CLASS	http://www.nsof.class.noaa.gov/
		NASA	Reverb	http://reverb.echo.nasa.gov/reverb/
Elektro-L	vše	Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics	Space Monitoring Data Center	http://smdc.sinp.msu.ru/index.py
EROS A	CCD/TDI	ImageSat International	EROS Catalogue	http://www.imagesatintl.com/catalogue/

Družice	Přístroj	Organizace	Název archivu	Adresa archivu
EROS B	CCD/TDI	ImageSat International	EROS Catalogue	http://www.imagesatintl.com/catalogue/
GeoEye-1	MS, PAN	DigitalGlobe	Image Finder	https://browse.digitalglobe.com/imagefinder/
GOES	vše	NOAA	CLASS	http://www.nsof.class.noaa.gov/
		EUMETSAT	EOP	https://eoportal.eumetsat.int/userMgmt/login.faces
		NASA	Reverb	http://reverb.echo.nasa.gov/reverb/
GOSAT	TANSO-FTS	GES DISC	ACDISC	http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/acdisc
Ikonos	MS, PAN	DigitalGlobe	Image Finder	<i>momentálně není k dispozici</i>
Kanopus V	vše	Roscosmos	Research Center for Earth Operative Monitoring	http://eng.ntsomz.ru/about/deyatelnost_centra
KOMPSAT-2	MSI, PAN	ESA	Earthnet Online	https://earth.esa.int/web/guest/data-access
KOMPSAT-3	MS, PAN	ESA	Earthnet Online	https://earth.esa.int/web/guest/data-access
Landsat 1-5	MSS	USGS	EarthExplorer	http://earthexplorer.usgs.gov/
		NASA	Reverb	http://reverb.echo.nasa.gov/reverb/
Landsat 4 a 5	TM	USGS	EarthExplorer	http://earthexplorer.usgs.gov/
		NASA	Reverb	http://reverb.echo.nasa.gov/reverb/
Landsat 7	ETM+, HRMSI	USGS	EarthExplorer	http://earthexplorer.usgs.gov/
		NASA	Reverb	http://reverb.echo.nasa.gov/reverb/
Landsat 8	OLI, TIRS	USGS	EarthExplorer	http://earthexplorer.usgs.gov/
		NASA	Reverb	http://reverb.echo.nasa.gov/reverb/
Meteor	vše	NASA	Reverb	http://reverb.echo.nasa.gov/reverb/
		Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics	Space Monitoring Data Center	http://smdc.sinp.msu.ru/index.py
		Roscosmos	Research Center for Earth Operative Monitoring	http://eng.ntsomz.ru/zakaz/data
Meteosat 1-7	MVIRI	EUMETSAT	EOP	https://eoportal.eumetsat.int/userMgmt/login.faces
		NASA	Reverb	http://reverb.echo.nasa.gov/reverb/
Meteosat 8-11	SEVIRI	EUMETSAT	EOP	https://eoportal.eumetsat.int/userMgmt/login.faces
		NASA	Reverb	http://reverb.echo.nasa.gov/reverb/
MetOp-A	AMSU, HIRS/4, AVHRR/3, MHS, ASCAT, GOME-2	NOAA	CLASS	http://www.nsof.class.noaa.gov/
		EUMETSAT	EOP	https://eoportal.eumetsat.int/userMgmt/login.faces
		NASA	Reverb	http://reverb.echo.nasa.gov/reverb/
OCO-2	OCO-2	GES DISC	ACDISC	http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/acdisc/documentation/ACOS.shtml
		NASA EOSDIS	EarthData	https://earthdata.nasa.gov/
Pleiades 1 a 2	Pleiades-HR	Airbus Defence & Space	GeoStore	http://www.geo-airbusds.com/geostore/
POES (NOAA-17 až 19)	AMSU, AVHRR/3, HIRS/4, MHS	NOAA	CLASS	http://www.nsof.class.noaa.gov/
		EUMETSAT	EOP	https://eoportal.eumetsat.int/userMgmt/login.faces
		NASA	Reverb	http://reverb.echo.nasa.gov/reverb/
PROBA-1	CHRIS, HRC	ESA	Earthnet Online	https://earth.esa.int/web/guest/data-access
PROBA-V	Vegetation	ESA	Earthnet Online	https://earth.esa.int/web/guest/data-access

Družice	Přístroj	Organizace	Název archivu	Adresa archivu
QuickBird	MS, PAN	DigitalGlobe	Image Finder	https://browse.digitalglobe.com/imagefinder/main.jsp?
Radarsat-2	SAR	CSA	NEODF-CAT	https://neodf.nrcan.gc.ca/neodf_cat3/index.php?lang=en
		DLR	EOWEB	https://centaurus.caf.dlr.de:8443/eoweb-ng/template/default/welcome/entryPage.vm
RapidEye	JSS 56	RapidEye	EyeFind	http://eyefind.rapideye.com/
Resourcesat-1	LISS-4, LISS-3, AWiFS	ISRO	NRSC	http://www.nrsc.gov.in
Resurs DK1	Geoton-L1	Roscosmos	Research Center for Earth Operative Monitoring	http://eng.ntsomz.ru/zakaz/data
Resurs-P N1 a N2	Geoton-L1	Roscosmos	Research Center for Earth Operative Monitoring	http://eng.ntsomz.ru/zakaz/data
RISAT-1	SAR	ISRO	NRSC	http://www.nrsc.gov.in
RISAT-2	SAR	ISRO	NRSC	http://www.nrsc.gov.in
Sentinel 1	C-band SAR	ESA	CSCDA	https://copernicusdata.esa.int/web/cscda/home
		ESA	Sentinels Scientific Data Hub	https://scihub.esa.int/
		ESA	Sentinel 1 Collaborative Data Hub	https://colhub.esa.int/
Sentinel 2	MSI	ESA	CSCDA	https://copernicusdata.esa.int/web/cscda/home
		ESA	Sentinels Scientific Data Hub	https://scihub.esa.int/
SMAP	L-band radiometer, SAR	NSIDC	DAAC	https://nsidc.org/data/smap
SMOS	MIRAS	ESA	Earthnet Online	https://earth.esa.int/web/guest/data-access
SPOT 4	HRVIR_MS, HRVIR_PAN, VEGETATION	Airbus Defence & Space	GeoStore	http://www.geo-airbusds.com/geostore/
SPOT 5	HRG_MS, HRG_PAN, HRS, VEGETATION2	Airbus Defence & Space	GeoStore	http://www.geo-airbusds.com/geostore/
SPOT 6	HRG	Airbus Defence & Space	GeoStore	http://www.geo-airbusds.com/geostore/
SPOT 7	HRG	Airbus Defence & Space	GeoStore	http://www.geo-airbusds.com/geostore/
TanDEM-X	SAR-X	Airbus Defence & Space	TerraSAR-X Archive	http://terrasar-x-archive.infoterra.de/
		Airbus Defence & Space	GeoStore	http://www.geo-airbusds.com/geostore/
TerraSAR-X	SAR-X	Airbus Defence & Space	TerraSAR-X Archive	http://terrasar-x-archive.infoterra.de/
		Airbus Defence & Space	GeoStore	http://www.geo-airbusds.com/geostore/
Terra	ASTER	NASA EOSDIS	Reverb	http://reverb.echo.nasa.gov/reverb/
		NASA EOSDIS	EarthData	https://earthdata.nasa.gov/
Terra	MODIS	ESA	Earthnet Online	https://earth.esa.int/web/guest/data-access
		NASA EOSDIS	EarthData	https://earthdata.nasa.gov/
WorldView-1	PAN	DigitalGlobe	Image Finder	https://browse.digitalglobe.com/imagefinder/

Družice	Přístroj	Organizace	Název archivu	Adresa archivu
WorldView-2	MS, PAN	DigitalGlobe	Image Finder	https://browse.digitalglobe.com/imagefinder/
WorldView-3	SS	DigitalGlobe	Image Finder	https://browse.digitalglobe.com/imagefinder/

Poznámka: Všechny údaje jsou platné k 29. 7. 2015

Předkládaná publikace je jedním z výstupů projektu „Integrované hodnocení dopadů globálních změn na environmentální bezpečnost České republiky“, jehož byla CENIA, česká informační agentura životního prostředí (CENIA) v letech 2012–2015 spoluřešitelem.

Publikace představuje přehled systémů dálkového průzkumu Země, získávání dat ze sensorových sítí, postup hodnocení družicových dat pro hodnocení povodňových situací. Uveden je také přehled služeb Copernicus a stav jejich implementace v ČR a dále pak postup zpracování a vizualizace prostorových dat pro určení rizika poskytování ekosystémových služeb.



ISBN 978-80-85087-22-2

cenia