

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE
FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

KATEDRA VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ A
ENVIRONMENTÁLNÍHO MODELOVÁNÍ



Dálkový průzkum země v hydrologii

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vedoucí práce: doc. Ing. Martin Hanel, Ph.D.

Bakalant: Daniel Röschel

2017

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Daniel Röschel

Vodní hospodářství

Název práce

Dálkový průzkum Země v hydrologii

Název anglicky

Remote sensing data in hydrology

Cíle práce

Cílem bakalářské práce je popsat princip, využití a metody dálkového průzkumu Země. Dále klasifikovat a popsat hydrologické modely a jejich jednotlivé vstupy. Shrnout produkty meteorologických služeb a využití dálkového průzkumu při monitorování srážek, sněhu, vlhkosti půdy a povodní.

Metodika

Rešerše informací aktuální tuzemské a zahraniční odborné literatury se zaměřením na dálkový průzkum Země a jeho využití v kontextu hydrologie.

Doporučený rozsah práce

40 stran textu včetně ilustrací

Klíčová slova

Dálkový průzkum země, hydrologický cyklus, satelitní data, hydrologický model

Doporučené zdroje informací

DOBROVOLNÝ P., 1998: Dálkový průzkum Země. Digitální zpracování obrazu. Masarykova univerzita, Brno, 208 s.

KEMEL M., 1996: Klimatologie, meteorologie, hydrologie. ČVUT, Praha, 289 s.

PLÁNKA L., 2007: Dálkový průzkum Země. Modul 01 – Teoretické základy. FAST, VUT, Brno, 71 s.

STARÝ M., 2005: Hydrologie (Modul 01). VUT Brno, 213 s.

Předběžný termín obhajoby

2016/17 LS – FŽP

Vedoucí práce

doc. Ing. Martin Hanel, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování

Elektronicky schváleno dne 19. 4. 2017

doc. Ing. Martin Hanel, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 21. 4. 2017

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 21. 04. 2017

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, pod vedením doc. Ing. Martina Hanela, Ph.D.. Další informace mi poskytla Ing. Eva Melišová. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal. Prohlašuji, že tištěná verze se shoduje s verzí odevzdanou přes Univerzitní informační systém.

V Praze dne 24.4.2017

.....

Poděkování

Touto cestou bych chtěl moc poděkovat vedoucímu této bakalářské práce doc. Ing. Martinu Hanelovi, Ph.D. a Ing. Evě Melišové za cenné rady, připomínky, velkou trpělivost a čas strávený při konzultacích. Dále bych chtěl poděkovat své rodině za velkou podporu.

V Praze dne 24.4.2017

.....

Abstrakt

Cílem bakalářské práce je zpracování literární rešerše, která je zaměřena na dálkový průzkum Země (DPZ) v hydrologii. V práci jsou krátce popsány definice DPZ od různých autorů, historie a další využití DPZ v meteorologii, klimatologii, v mapování, geologii, monitorování vegetace a v hydrologii. V další kapitole je vysvětlen princip DPZ – fyzikální podstata, vliv energetické bilance a způsob, jak se data získávají. Data získaná pomocí DPZ v podobě srážek, teplot, směru větru, sněhové pokrývky, půdní vlhkosti atd. mohou být použity jako vstupy do různých hydrologických modelů, např.: předpovědní modely, hydrologické modely nebo bilanční modely. Závěr práce popisuje využití dat v hydrologii. Data získané z DPZ umožňují přesnější odhad složek hydrologické bilance při vyhodnocování vodních zdrojů a při predikci krátkodobého či dlouhodobého vývoje hydroklimatických veličin. DPZ je dále využíván ke sledování složení a znečištění zemské atmosféry, sleduje situaci vodních ploch a jejich znečištění a monitoruje stav ledových ploch na severním a jižním pólu.

Klíčová slova: Dálkový průzkum Země, Hydrologický cyklus, Satelitní data, Hydrologický model

Abstract

The aim of the bachelor thesis is the processing of literary recherche, which is focused on remote sensing of the Earth in hydrology. There are shortly described definitions of from different authors, history and other uses of in meteorology, climatology, mapping, geology, vegetation monitoring and hydrology in the thesis. The next chapter explains the principle of remote sensing - the physical basis, the effect of the energy balance and the way the data are obtained. Data obtained through remote sensing in the form of precipitation, temperature, wind direction, snow cover, soil moisture etc. can be used as inputs to various hydrological models, such as forecasting models, hydrological models or balance models. The conclusion of the thesis describes the use of data in hydrology. The data obtained from the remote sensing allow a more accurate estimation of the components of the hydrological balance in the assessment of water resources and in the prediction of the short or long term development of hydro-climatic values. Remote sensing is also used to monitor the composition and pollution of the Earth's atmosphere, monitors the situation of water areas and their pollution, and monitors the state of icy areas on the North and South Pole.

Key words: Remote sensing, Hydrological cycle, Satellite data, Hydrological model

Obsah

Seznam zkratek	1
1. Úvod	3
2. Cíle práce	4
3. Dálkový průzkum Země (DPZ)	5
4. Možnosti využití DPZ a historie	6
4.1. Historie.....	8
5. Fyzikální podstata DPZ.....	10
5.1. Stefan-Boltzmannův zákon	11
5.2. Radiační bilance Země	12
5.3. Elektromagnetické spektrum.....	14
6. Získávání dat	16
6.1. Aktivní a Pasivní metoda	17
7. Hydrologický cyklus a hydrologické modely.....	18
7.1. Hydrologický cyklus	18
7.2. Hydrologické modely	22
8. Data a hydrologie	25
8.1. ASCAT.....	25
8.2. H-SAF	27
8.3. Copernicus.....	30
8.4. DPZ v hydrologii.....	34
9. Diskuze.....	38
10. Závěr	40
Přehled literatury a použitých zdrojů:	41
Seznam obrázků:.....	49
Seznam tabulek	50

Seznam zkratk

ASCAT	The Advanced Scatterometer
CENIA	Česká informační agentura životního prostředí
CEVRAMOK	Centrum pro virtuální realitu a modelování krajiny
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
DA	Data Assimilation
DMP	Dry Matter Productivity
DPZ	Dálkový průzkum Země
EARS	EUMETSAT Advanced Retransmission Service
ECMWF	European Centre of Medium-Range Weather Forecasts
EMG	Elektromagnetické záření
EMS	Emergency Management Service
EPS	EUMETSAT Polar Systém
ESA	European Space Agency
EU	Evropská unie
EUMETSAT	European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites
FAPAR	Fraction of Absorbed Photosynthetically Active Radiation
FCOVER	Fraction of green Vegetation Cover
FTP	File transport protocol
LAI	Leaf Area Index
LST	Land Surface Temperature
MSS	Multispectral Scanner
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index

NIKM	Národní inventarizace kontaminovaných míst
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
NWP	Numerical weather prediction
OSI SAF	Ocean and Sea Ice Satellite Application Facility
RBV	Return Beam Vidicom
SAF	Satellite Application Facilities
SWI	Soil Water Index
TOC-R	Top Of Conopy Reflectance
VCI	Vegetation Condition Index
VPI	Vegetation Productivity Index
WVC	Wind Vector Cells

1. Úvod

DPZ je důležitou součástí při získávání informací o zemském povrchu, atmosféře a jejich jevech. Princip DPZ je založen na elektromagnetickém záření v podobě různých vlnových délek, které jsou odráženy a emitovány od zemského povrchu. Data jsou získávána pomocí družic, které obíhají kolem Země. Využívají se různé metody k získávání dat dělí se na aktivní a pasivní metody. Aktivní metoda využívá radary s vlastním zdrojem mikrovlnného záření a u pasivní metody je zdrojem elektromagnetického záření Slunce nebo Země. Výsledná data jsou aplikována v mnoha odvětvích.

Sluncem vyzářené elektromagnetické záření je hlavním zdrojem energie pro Zemi. Část záření, které dopadne na zemský povrch a není odraženo zpět, je přeměněno v teplo a podílí se na veškerých procesech na Zemi. Díky tomu je voda v neustálém oběhu a vznikají tzv. hydrologické cykly, jak ve velkém měřítku, tak i v malém v podobě srážko-odtokového procesu povodí. DPZ umožňuje sledovat jednotlivé složky těchto cyklů pomocí meteorologických služeb.

V současnosti existuje velké množství meteorologických služeb, které poskytují různé produkty za pomoci dálkového průzkumu. Produkty jsou získávány díky senzorům, které jsou používány v rozdílných spektrálních částech podle účelu monitorování. Některé výsledné produkty mohou být použity v hydrologických modelech. Ty pomáhají lépe porozumět hydrologickým jevům, které působí např. na povodí, a poskytnout jejich předpověď.

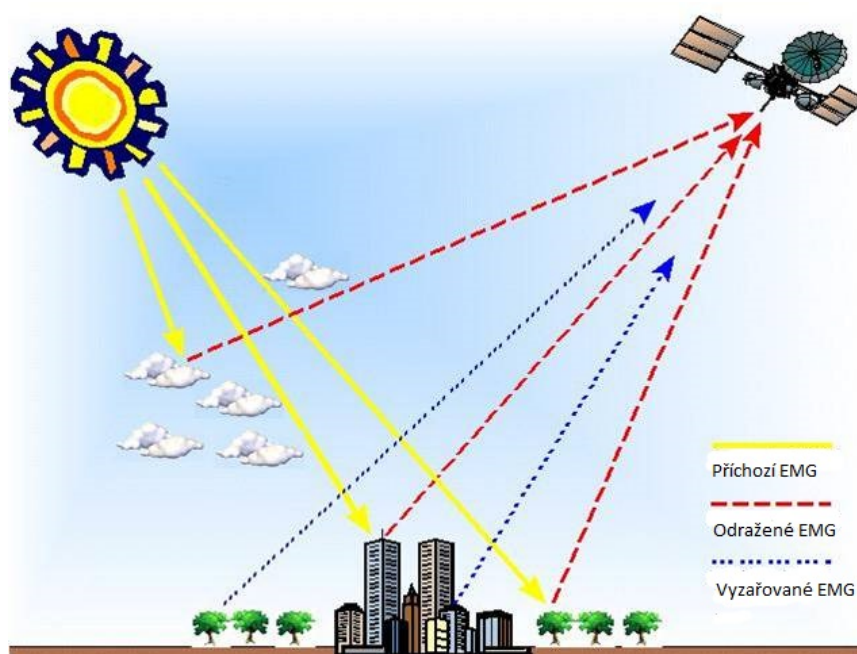
2. Cíle práce

Cílem této bakalářské práce je krátce popsat využití DPZ v jednotlivých oborech, jeho historii a metody, podle kterých se data získávají. Popis je dále zaměřen na princip DPZ, na části elektromagnetického spektra a faktory ovlivňující energetickou bilanci a tím i DPZ. Dále vylíčit a klasifikovat hydrologické modely a popsat jejich jednotlivé vstupy, jako jsou srážky, teploty, vlhkosti půdy, směry větru atd. Shrnout produkty poskytované meteorologickými službami Copernicus a H-SAF a popsat jejich využití. Na závěr prezentovat využití DPZ při monitorování srážek, vlhkosti půdy, sněhové pokrývky a povodní.

3. Dálkový průzkum Země (DPZ)

Dálkový průzkum Země (Remote Sensing) je věda, která získává informace o objektech a jevech bez přímého kontaktu. Využívá se zde metoda elektromagnetického záření, které je odraženo od objektu (obr. 1). Data jsou nejčastěji pořizována z letadla nebo z družic (Reedy, 2008). DPZ zkoumá vodu, souš i dolní vrstvy atmosféry (Dobrovolný, 1998).

DPZ dokáže snímat území ve větším měřítku než pozemské metody a získává informace z celého elektromagnetického spektra a díky tomu můžeme zachytit vlastnosti povrchu, které jsou pro lidské oko neviditelné. Získává velké množství dat, která jsou platná pro určitý časový moment, a umožňuje opakovat záznam. Opakující se snímání v pravidelných intervalech získává časové řady geodat (geografická data, geoprostorová data). A podle těchto dat klasifikujeme změny krajiny (Hofierka a kol. 2014).



Obrázek 1: Princip dálkového průzkumu Země (Hlavatý, 2011), EMG vyznačuje elektromagnetické záření

Definice:

- Dálkový průzkum Země je věda i umění získávat užitečné informace o objektech, plochách či jevech prostřednictvím dat měřených na zařízení, která s těmito zkoumanými objekty, plochami či jevy nejsou v přímém kontaktu (Lillesand, Kiefer, 1994).
- Dálkový průzkum může být definován jako shromažďování informací o objektech bez fyzického kontaktu s nimi. Letadla a družice jsou běžnými nosiči, ze kterých se tato měření z dálky provádějí. Termín dálkový průzkum je omezen na metody, které využívají elektromagnetického záření jako prostředku ke zjišťování objektů a k měření jejich charakteristik (Sabins, 1978).
- Dálkový průzkum je způsob získávání informací o zemském povrchu i vodních plochách s využitím snímků pořízených z ptáčích perspektivy, využívá elektromagnetického záření v jednom nebo více intervalech spektra, toto záření je odraženo nebo emitováno ze Země (Campbell, 1996).

4. Možnosti využití DPZ a historie

Možnost využití dat pořízených metodou DPZ je rozsáhlé a stále se objevují nové. Krom klasického použití v meteorologii, klimatologii, hydrologii, geologii a mapování krajinného pokryvu může být DPZ využito i v dopravě, zemědělství, lesnictví, monitorování nelegálních aktivit, urbanismu a v územním plánování (CENIA, 2016a).

Meteorologie a klimatologie

Meteorologické a klimatologické radary sledují rozložení okamžitých intenzit atmosférických srážek a výskyt jevů, které souvisí s oblačností. Využívá se zde zachycení odražených radioln od meteorologických cílů, jako je např. sněhová vločka nebo vodní kapička. Družice se využívají např. k předpovědi počasí, monitorování aktuálního stavu počasí, měření rychlosti větru, studiu oblačnosti, ke sledování znečištění v atmosféře (množství CO₂), výzkumu tropického proudění větru a cirkulaci vzduchu (Vysoudil, 2014). Díky termální části spektra dokážeme monitorovat i povrchovou teplotu Země (CENIA, 2016a).

Mapování

DPZ dokáže pořizovat mapy různých měřítek, od podrobných map a ortofot. Používají se letecké a družicové snímky vysokého rozlišení. Výhodou těchto dat je rychlé pořizování z velké plochy a snadné mapování ve špatně přístupných oblastech. V zemědělství můžeme mapování např. využít pro odhady výnosů plodin a hodnocení jednotlivých druhů plodin (CENIA, 2016a).

V krajinném pokryvu (Land use) se mapují např. zastavěné plochy, orné půdy, trvalé travní porosty, sady, zemědělské půdy, lesní půdy, dřevinné porosty, bylinné porosty, parky, vodní plochy, mokřady, komunikace atd. Výsledkem je mapa poskytující data o využití krajiny (Mackovčín, 2009).

Hydrologie

Snímky mohou poskytovat informace týkající se výšky sněhové pokrývky a rychlosti její tání. Lze podle nich identifikovat velikost a tvar povodí, erozní rýhy na svazích, druhy říčních sítí a změny meandrujících toků. Posuzuje velikost, tvar a konfiguraci jezer, rybníků a nádrží. Data pořizující v časových intervalech jsou užitečná při monitorování záplav a při odhalování znečištění. Díky těmto snímkům dokážeme sledovat průběh povodní od jejich začátku až do konce (Svatoňová, Lauer mann, 2006).

Geologie

V geologii se DPZ využívá pro mapování geologického složení povrchu nebo složení půdy. Data zobrazují výškové změny v terénu. Ty jsou prováděny metodou radarové interferometrie. Tato metoda umožňuje zjistit výškové pohyby v terénu s přesností na *cm* a *mm* (CENIA, 2016a).

Spektroskopické metody umožňují identifikovat chemické složení a fyzikální vlastnosti různých druhů půd. Používá se zde hyperspektrální senzor. Ten pořizuje záznamy v krátkých na sebe navazujících intervalech. Tyto záznamy jsou pořizovány v oblasti viditelného, blízkého a středního infračerveného elektromagnetického spektra (Česká geologická služba, 2016).

Využití DPZ v geologii je i např. ve sledování kontaminace půd. Příkladem je projekt NIKM. Projekt NIKM se zabývá metodikou plošné inventarizace kontaminovaných a potenciálně kontaminovaných ploch na území České republiky. Ty podle priorit dělí do kategorií. Tato metodika je založena na výsledcích výzkumu

a vývoje metodiky DPZ. Cílem projektu je vytvořit efektivní a jednotný postup při identifikaci, vedení záznamů a hodnocení kontaminovaných a potencionálně kontaminovaných půd (CENIA, 2012b).

Monitorování vegetace

Zde DPZ sleduje biofyzikální parametry vegetace, jako je např. obsah chlorofylu a vody v rostlinách. Podle těchto parametrů dokážeme sledovat zdravotní stav vegetace (CENIA, 2016a).

4.1. Historie

Vývoj a rozvoj dálkového průzkumu souvisí zejména se získáváním informací a vědomostí o elektromagnetickém záření, vývojem fotografie, výpočetní techniky, letectví a kosmonautiky (Halounová, Pavelka, 2005).

Už Issac Newton v roce 1666 dokázal, že světlo se skládá z elektromagnetického záření různých vlnových délek. Později roku 1800 objevil infračervené záření anglický fyzik sir Frederic William Herschel. V roce 1873 pak James Clerk Maxwell sestavil teorii elektromagnetického záření. V roce 1858 vyfotil francouzský fotograf Gaspard Félix Tournachon první známou fotografii z balónu a o dva roky později fotograf James Wallance Black pořídil fotku města Boston (Dobrovolný, 1998).

První snímky pořízené z letadla byly LeMans ve Francii roku 1908 a Centocelli v Itálii roku 1909. Ty vyfotil fotograf W. Wright. K rozvoji leteckému snímkování pomohly světové války, kde bylo využito především pro vojenské účely. Konec druhé světové války přinesl vývoj letů do kosmu, který byl prováděn na území USA a Sovětského svazu. V tomto období byl vynalezen radar a dokázalo se využívat mikrovlnných délek (Halounová, Pavelka, 2005).

V říjnu roku 1957 se podařilo Sovětskému svazu vypustit první družici světa Sputnik 1. První americkou družicí byla Explorer 1 vypuštěná 31. ledna 1958. První meteorologickou družicí se stala TIROS 1. Velký přelom byla ale družice ERST 1 vypuštěná 23. července roku 1972 a sloužila pro topografické mapování. Poslední dvě družice typu ERST poskytovaly oceánské údaje (Plánka, 2007).

TIROS 1

TIROS 1 (ang. Television and Infrared Observation Satellite) je považována za první skutečně meteorologickou stanici. Byla vypuštěna 1. dubna roku 1960 na polární oběžnou dráhu a nesla dvě televizní kamery, které nemohly být použity zároveň. Jedna sledovala povrch země ve viditelném spektru a druhá v infračerveném spektru (Příbyl, 2014). Měla za úkol vyzkoušet a otestovat nové experimentální techniky. Ty měly být následně využity k vytvoření meteorologického satelitního informačního systému. Dalším úkolem bylo otestovat systémy určené k orientaci sondy (senzory určující polohu Slunce a horizontu) (Sainerová, 2005).

Navíc se družice pohybovala na nízké oběžné dráze Země. To mělo za následek, že se družice pohybovala rychle a data nebyla konzistentní. I přesto měla data velkou hodnotu. TIROS 1 byla v provozu pouhých 78 dní a během své činnosti se jí podařilo pořídit a předat 23 tisíc snímků Země ve viditelném spektru (Příbyl, 2014).

ERTS 1 (Landsat)

Družice Landsat 1 byla vypuštěna 23. července roku 1972 (Earth Resources Technology Satellites) a svou činnost ukončila roku 1978. Je známá i pod názvem ERST-1. Ta se pohybovala po subpolární dráze ve výšce okolo 900 km nad Zemí. Šlo o první družici, která poskytovala data DPZ. Landsat nesl dva senzory. První RBV (Return Beam Vidicon) je systém televizních kamer. Ty se zaměřovaly na kartografické aplikace. Druhý MSS (Multispectral Scanner) je skener s geometrickým rozlišením 80 m. Ten byl převážně využíván pro spektrální rozbor zemského povrchu. Družice Landsat poskytovala data, která měla dlouhou časovou řadu, a tedy i dlouhé období srovnatelných sledování. Výhodou Landsat je, že snímky lze získat zcela zdarma (Boldiš, 2007).

EUMETSAT

EUMETSAT je Evropská mezivládní organizace (European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites). Ta se především zabývá vývojem, provozem a využitím meteorologických družic (ČHMÚ, 2012).

Hlavním úkolem EUMETSAT je poskytovat údaje, snímky a základní družicové produkty pro meteorologii a klimatologii. Výsledná data jsou využívána pro potřeby národních meteorologických služeb (předpovědní a výstražné služby), pro sledování životního prostředí, pro potřeby klimatologie, pro hydrologické a pozemní aplikace a

výzkum ozónu. EUMETSAT úzce spolupracuje s ESA (Evropská kosmická agentura). Ta vypustila roku 1977 meteorologickou družici Meteosat 1. Dále spolupracuje s Americkou vládní agenturou NASA (Národní úřad pro letectví a kosmonautiku), NOAA (Národní úřad pro oceán a atmosféru) a s dalšími agenturami jiných států zabývajícími se vesmírnými programy (EUMETSAT, 2017).

Organizace sídlí v Darmstadtu v Německu. Za systém Meteosat převzal od společnosti ESA zodpovědnost v roce 1987 a během následujících dvou let se jim podařilo vyslat na oběžnou dráhu dvě nové družice, Meteosat 3 a Meteosat 4. Plně funkční systém, který obsahoval jednu operační a jednu záložní družici, byl k dispozici až v roce 1991 po vypuštění Meteosat 5 (Lacinová, 2006).

Meteorologické služby členských států mají data k dispozici bezplatně, pokud je uhrazen členský příspěvek. Široká veřejnost členských států má přístup jen k základním datům (Lacinová, 2006).

Satelity EUMETSAT obíhají kolem Země na geostacionární oběžné dráze (36.000 km nad rovníkem). Družice pozorují systematicky stejné části Země za stejné geometrie. Díky tomu dokážou pořizovat snímky zemského povrchu při velmi vysoké frekvenci. V současnosti má EUMETSAT v provozu čtyři satelity METEOSAT. Používají se pro odhalování vysoké proměnlivosti atmosférických vlivů. Satelity METOP dokáží přesněji měřit teplotu vzduchu, rychlost a směr větru a vrstvu ozónu. Satelit JASON – 2 pořizuje detailní oceánské údaje. Ty jsou důležité pro pochopení předpovídání počasí a monitorování změn klimatu. Nově vypuštěný satelit SENTINEL – 3 pomáhá určit parametry mořského prostředí, jako jsou fotografie, teplota nebo barva mořského povrchu (EUMETSAT, 2017).

5. Fyzikální podstata DPZ

Základní princip distančního snímání je založen na poznatku, že každý objekt, který má teplotu vyšší než absolutní nulu ($-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$), tak odráží, absorbuje a vyzařuje elektromagnetické záření. Moderní zařízení dokážou toto záření zachycovat a evidovat i na velmi velké vzdálenosti. Zdrojem elektromagnetického záření je Slunce nebo Země (Plánka, 2007).

Základními vlastnostmi elektromagnetického záření jsou vlnová délka (λ) a frekvence (f). Vlnová délka je definována jako vzdálenost dvou sousedních vrcholů vlny a frekvence jako počet vrcholů vlny za jednotku času. Mezi těmito dvěma

charakteristikami je nepřímá úměrnost. Vlnovou délku získáme ze vzorce (Dobrovolný, 1998):

$$\lambda = \frac{c}{f} \tag{1}$$

λ ... vlnová délka
 c ... rychlost světla ve vakuu (3×10^8 m/s)
 f ... frekvence

5.1. Stefan-Boltzmannův zákon

Veškerá tělesa vyzařují elektromagnetické záření. To vzniká z nabitých rychle kmitajících částic, ze kterých jsou tělesa složena. Všechna tělesa mají schopnost i záření odrážet, pohlcovat a propouštět. Pokud je teplota tělesa menší než cca 530 °C, pak vyzařuje okem neviditelné infračervené záření. Tělesa s teplotou nad 530 °C vyzařují záření i ve viditelné části spektra (Gymnázium Sušice, 2014). Čím víc pevné, kapalné těleso nebo hustý plyn září, tím větší má teplotu. Spektrální složení vyzařovaného záření se s teplotou pomalu mění. Rozklad energie ve spektru pak poskytuje údaje o teplotě, které těleso vyzařuje (Mikulášek, Krtička, 2005).

Absolutně černé těleso je definované jako ideální těleso černé barvy, které neodráží a nepropouští žádné světlo. Pohlcuje záření všech vlnových délek. To znamená, že světlo, které opustilo toto těleso musí být ve formě vyzařovaného záření. Zároveň je ideální zářič, který vyzařuje ze všech těles o stejné teplotě nejvíce zářivé energie (Kohout, 2013).

Stefan-Boltzmannův zákon lze vyjádřit následujícím vztahem:

$$H = \sigma \cdot T \cdot 4 \tag{2}$$

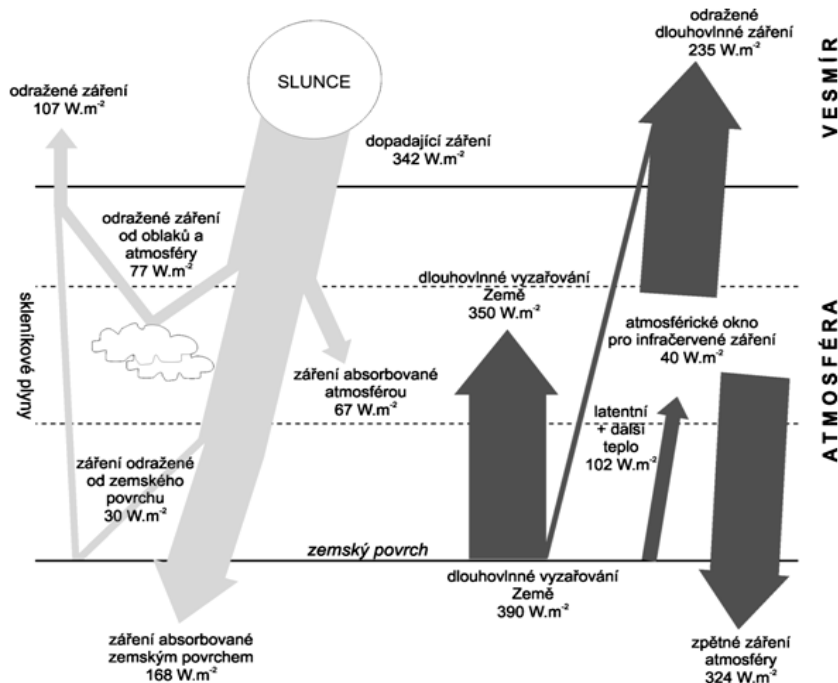
σ ... Stefanova–Boltzmannova konstanta ($\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$ W.m⁻².K⁻⁴)
 T ... Absolutní teplota tělesa
 H ... Intenzita vyzařovaná z povrchu tělesa

Díky tomuto vztahu dokážeme vypočítat celkovou energii, která je vyzářena jakýmkoli tělesem o teplotě T z jednotky plochy za jednotku času (Gymnázium Sušice, 2014).

5.2. Radiační bilance Země

Hlavním zdrojem energie Země je elektromagnetické záření, které vyzařuje Slunce. Země pohlcuje krátkovlnné záření Slunce a zároveň zemský povrch s atmosférou vyzařují dlouhovlnné záření, které vydává méně energie o větších vlnových délkách v porovnání se Sluncem. Při průchodu zemskou atmosférou se sluneční záření mění důsledkem rozptylu a absorpcí (Soukupová, 2009).

Radiační bilance (obr. 2) vyjadřuje rozdíl mezi absorbovaným slunečním zářením a efektivním vyzařováním Země. Efektivní vyzařování je rozdíl vyzářeného záření zemským povrchem a zpětného záření atmosféry. Efektivní vyzařování má za následek ochlazování Země. Vzhledem k vlnovým délkám považujeme efektivní vyzařování za dlouhovlnné záření. Ve dne je radiační bilance kladná, neboť převažuje příjem slunečního záření nad efektivním vyzařováním (Soukupová, 2009).



Obrázek 2: Schéma radiační bilance Země (Ruda, 2014)

Z celkového množství krátkovlnného záření dopadajícího na zemský povrch se díky atmosféře a zemskému povrchu odrazí 30 % zpět do vesmíru, 20 % záření je pohlceno a rozptýleno atmosférou, kde se toto záření mění na teplo. Zemský povrch tím získává 50 % záření a přeměňuje je opět na teplo. Teplo, které bylo přeměněno atmosférou i zemským povrchem, se podílí na fyzikálních, biologických a chemických procesech na Zemi a v atmosféře (Kyselý, 2015).

Rozptyl slunečního záření atmosférou

Sluneční záření, které je rozptýlené atmosférou (difúzí), je díky svým vlnovým délkám považováno za krátkovlnné. Intenzita rozptýleného záření je ovlivňována oblačností, výškou Slunce nad obzorem, nadmořskou výškou a zeměpisnou šířkou. Vliv na zvyšující se intenzitu záření má i množství částic, které zakalují vzduch. Sluneční záření, které není rozptýleno atmosférou, se nazývá přímé a společně s rozptýleným zářením tvoří globální záření (celkové krátkovlnné záření) (Vysoudil, 2014).

Absorpce slunečního záření atmosférou

Atmosféra se skládá z více plynů. Každý z nich pohlcuje záření v určitých vlnových délkách. Největší absorpční vlastnost má vodní pára, dusík, kyslík, ozon a oxid uhličitý. Např. kyslík vstřebává převážně záření krátkých vlnových délkách v oblasti viditelného a ultrafialového spektra. Ozon absorbuje většinu ultrafialového záření, ale naopak špatně vstřebává záření infračervené, které je převážně pohlcováno vodní párou a oxidem uhličitým. Pohlcené infračervené záření zahřívá atmosféru a podílí se na tzv. skleníkovém efektu. Atmosféra pohlcuje i dlouhovlnné vyzařování Země, které z části vyzáří zpět (Ruda, 2014).

Albedo

Albedo (odrazivost) je míra odrazivosti tělesa nebo jeho povrchu. Jde o poměr odraženého záření ke globálnímu záření a označuje se v procentech. Je závislé na úhlu dopadajícího záření, výšce Slunce nad obzorem a na druhu zemského povrchu. Odrazivost je větší při nízké výšce Slunce a u suchého povrchu. U některých povrchů je odrazivost závislá i na vlnové délce. U vodního povrchu je albedo závislé i na oblačnosti, rychlosti větru a kvalitě vody (Kyselý, 2015).

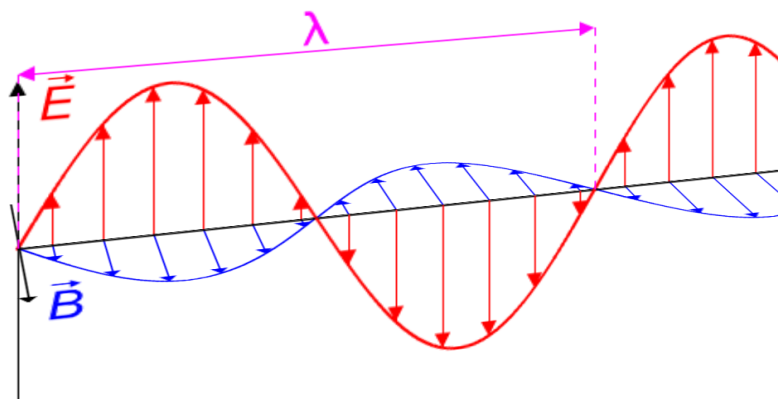
Typické albedo vodního povrchu je 5-15 %. Při výšce Slunce 45° nad obzorem je odrazivost vodní plochy zanedbatelná, jestliže výška Slunce klesne pod 5°, může být odrazivost až 70-80 % (tab. 1). Největší odrazivost má čistý sníh. Jeho albedo je až 70-90 %. U špinavého je menší, přibližně 20-50 %. Povrch půdy neodráží moc záření a jeho albedo je 5-35 %. V atmosféře nejvíce odrážejí záření oblaka typu altocumulus s albedem 55-70 % a stratokumulus s 55-65 % (Ruda, 2014).

Tabulka 1: Závislost albeda vodního povrchu na výšce Slunce nad obzorem (Kyselý, 2015)

výška Slunce [°]	4	6	8	10	15	20	25	30	50	70
A [%]	65	53	43	35	21	14	9	6	2.5	2

5.3. Elektromagnetické spektrum

Elektromagnetické záření je tvořeno elektromagnetickými vlnami, které se šíří prostorem. Vlny jsou složeny ze dvou složek. Sinusoidy F (elektrické) a sinusoidy B (magnetické) (obr. 3). Tyto dvě složky se pohybují rychlostí světla a jsou na sebe kolmé, ale ve směru šíření rovnoběžné (Dobrovolný, 1998).



Obrázek 3: Schéma elektromagnetické vlny (Vaščák, 2017)

Spektrum je rozděleno do několika oblastí (obr. 4). Radiové, mikrovlnné, infračervené, viditelné, ultrafialové, rentgenové, X a gama záření (Hofierka a kol. 2014).

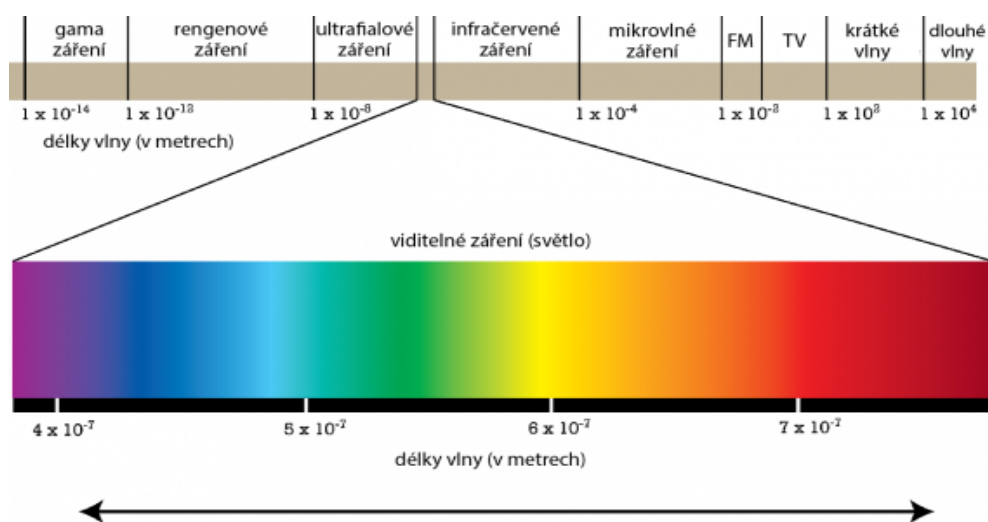
Viditelné záření

Viditelné záření ($0,4-0,7 \mu m$) je historicky nejužívanější část spektra. Jeho nevýhodou je, že neprochází oblačností ani mlhou a monitorování je možné pouze ve dne. Záření je možné dělit na modré světlo, zelené světlo a červené světlo. Dobře prochází vodním sloupcem zejména jeho modrá část viditelného spektra (Řezník, 2008).

Pro některé aplikace není tato část spektra vhodná (Barrett, Curtis, 1976). Nerozeznává odlišnosti jednotlivých hornin, minerálů a půd. Dále je toto krátkovlnné záření v atmosféře pohlcováno a rozptylováno, což má za následek ztrátu kontrastu výsledných snímků (Dobrovolný, 1998).

Infračervené záření blízké

Infračervené záření blízké ($0,7-1,4 \mu m$) má podobné chování jak viditelná část spektra, ale je méně pohlcováno a rozptylováno atmosférou, díky tomu mají snímky dobrý kontrast a jsou ostré. Využívá se hlavně k pořizování topografických map a hraje důležitou roli ve sledování vegetace. Voda je v tomto spektru viditelná v černé barvě (Dobrovolný, 1998).



Obrázek 4: Oblasti elektromagnetického spektra (PION, 2017)

Infračervené záření střední

Infračervené záření střední ($1,4-3 \mu m$) je nejdůležitějším pro studium vegetace a geologie. Záření zahrnuje dvě atmosférická okna. První okno rozpoznává druhy

vegetace, rozlišuje od sebe ledy a sněhy, a monitoruje zdravotní stav vegetace. V této části spektra se od povrchu odrazí vyšší množství záření, než bylo vyzářeno. Díky tomu nemůžeme tyto vlnové délky využít k pozorování teploty povrchu. To umožňuje až tepelné infračervené záření (Dobrovolný, 1998).

Tepelné infračervené záření

Tato část spektra (3 μm až 1 mm) se používá ke sledování povrchové teploty země a oceánů. Zjišťuje se s jeho pomocí tepelné znečištění řek, jezer a krajiny. Je důležitou součástí při lokalizování lesních požárů (CEVRAMOK, 2010).

Mikrovlňné záření

Mikrovlňné záření (1 mm až 1 m) je vhodné jak pro pasivní tak i pro aktivní metodu snímání a je nejméně ovlivňováno meteorologickými podmínkami. Záření je výrazně oslabováno pouze vydatnými dešti. Záření dokáže i za vhodných podmínek pronikat pod zemský povrch a získávat neobrazová data, jako jsou informace o výškových poměrech a meteorologických prvcích (Řezník, 2008).

6. Získávání dat

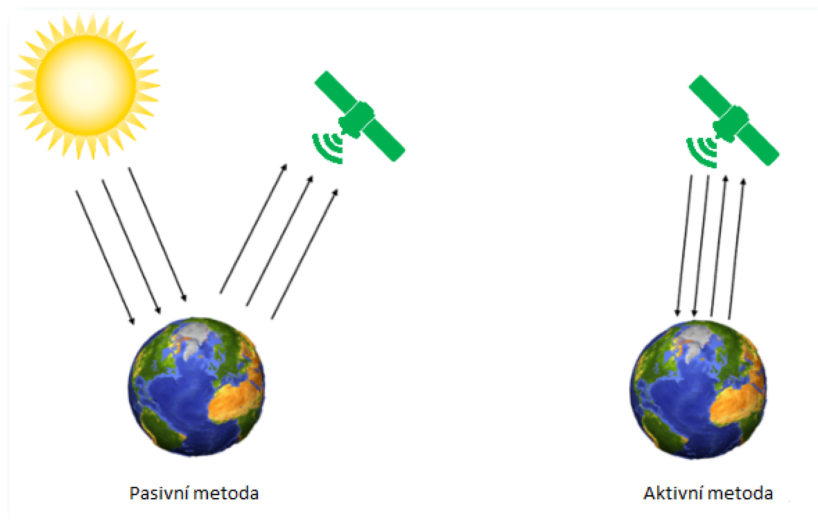
Pomocí dálkového průzkumu dokážeme získávat dva druhy informace. Prvním typem informace je např. poloha, tvar, velikost apod. Dále jsme schopni získávat informace tematické, jako je např. druh vegetace (Železný, 2007).

Podle druhu získávání dat dělíme dálkový průzkum na metodu konvenční, kde DPZ pořizuje fotografické snímky. A na metodu nekonvenční, kde jsou data pořizena postupně v digitální podobě. Tato metoda obsahuje odlišná zobrazení než fotografie (Halounová, Pavelka, 2005).

Konvenční metodou pořizujeme snímky fotografické, tedy fotografie. Snímky vznikají centrální projekcí na filmový materiál pomocí objektivů. Obraz je pořízen v jednom okamžiku. Je historicky starší. Výhoda této metody je, že dokáže zachytit značné detaily a objekty, které nejsou vidět pouhým okem. Ty se dají použít k výrobě topografických map velkých měřítek. Nevýhodou dat je malý rozsah vlnových délek, ve kterých data pořizujeme a kvalita snímku závisí na podmínkách počasí (Dobrovolný, 1998). Metoda je založena na principu fotografie. Tedy na citlivosti některých halogenidů stříbra na světlo (Železný, 2007).

U nekonvenční metody získáváme snímky postupně, tzv. řádkováním. To znamená, že záznam odraženého/vyzářeného elektromagnetického záření je získáván za sebou po řádcích. To umožňují tzv. rozkladové přístroje, které nazýváme skenery. Tato data jsou převážně získávána z družic (Pinkavová, 2008).

Dále můžeme dálkový průzkum dělit podle zdroje elektromagnetického záření na metodu aktivní a pasivní (obr. 5) (Halounová, Pavelka, 2005).



Obrázek 5: Aktivní a pasivní metoda (Grind GIS, 2016)

6.1. Aktivní a pasivní metoda

Pasivní metoda se dále dělí na přímou a nepřímou. O nepřímou se jedná, pokud jde jen o vyzařování Země. Nemají vlastní zdroj záření. Příkladem nepřímé metody je např. termovize, která pořizuje teplotní vlastnosti zkoumaného objektu. U přímé metody je zdrojem záření Slunce. Záření je poté odražené od Země a následně zachycené senzorem (Dobrovolný, 1998).

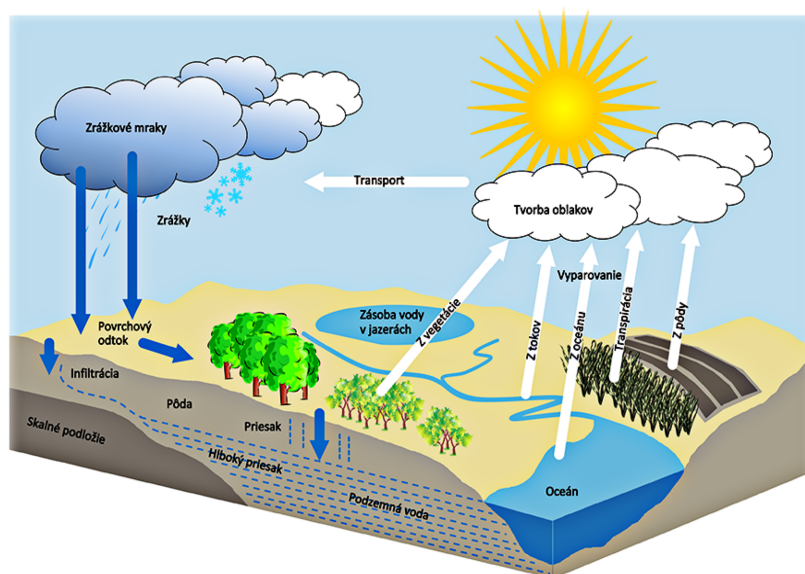
V aktivní metodě dálkového průzkumu jsou využívány zejména radary. Ty jsou vybaveny vlastním zdrojem, který vysílá mikrovlnné záření. V současné době je využíván i laser. Ten pořizuje snímky ve viditelném a infračerveném spektru (Pinkavová, 2008).

7. Hydrologický cyklus a hydrologické modely

7.1. Hydrologický cyklus

Hydrosféra je spojení veškeré vody na Zemi a v atmosféře ve skupenství kapalném, pevném a plynném. Objem hydrosféry je konstantní. Voda na Zemi je v neustálém oběhu, který je způsoben energií ze slunečního záření. Vznikají tzv. hydrologické cykly (velký a malý koloběh vody) (Soukupová, 2009).

Při velkém koloběhu vody v přírodě (obr. 6) dochází vlivem sluneční energie k nepřetržitému výparu vody z vodní hladiny, půdy a vegetace. Nejvíce vody se vypařuje ze světových moří. Vypařená voda v plynném skupenství se dostane do horních vrstev atmosféry. Tam je unášena vzdušnými proudy na jiné místo, kde část vodní páry za příznivých podmínek kondenzuje a v podobě srážek spadne na pevninu. Poté je část spadlé vody vsakována do půdy, kde tvoří podzemní vodu a obohacuje vláhu půdního profilu. Jiná část stéká po povrchu a vytváří vodní toky, kterými doplňuje vodou jezera a rybníky, a z největší části se vrací zpátky do moří a oceánů. Při tom dochází k výparu vody z pevniny a ta je v podobě vodní páry transportována vzdušnými proudy nad oceány a v podobě srážek spadne do moře nebo do oceánu (Starý, 2005).



Obrázek 6: Koloběh vody v přírodě (Náučný chodník Majdán, 2016)

U malého koloběhu vody se vypařuje voda z oceánů a v podobě srážek se hned vrací zpět do oceánů (Soukupová, 2009). Dále sem patří i tzv. bezodtokové oblasti, které se vyskytují na Zemi. Z těchto oblastí neodtéká voda do oceánů a má to za následek, že celkový výpar ze zemského povrchu je roven objemu srážek, které spadly na danou oblast (Kemel, 1996):

$$V_p + V_o = H_{sp} + H_{so} \quad (3)$$

V_p ... Výpar z pevniny
 V_o ... Výpar z oceánu
 H_{sp} ... Srážky spadlé na pevninu
 H_{so} ... Srážky spadlé na hladinu oceánu

Srážko–odtokový proces

Hydrologický cyklus se neodehrává jen ve velkém měřítku, ale i na prostorově menších jednotkách, jako je např. povodí. Srážko–odtokový proces je děj při, kterém dochází k transformaci srážkové vody na odtok z povodí (Pavelková Chmelová, Frajer, 2013).

Povodí je plocha, která se vztahuje k určitému profilu na toku a je ohraničena rozvodnicí. Rozvodnice je pomyslná čára oddělující sousední povodí a vede po obvodových nejvyšších místech (úbočích, sedlech, vrcholech, hřebenech). Srážková voda, která spadne kdekoli na této ploše má možnost stéci do říčního systému a odtéct přes uzávěrový profil (Kemel, 1996).

Vztah mezi dopadajícími srážkami a odtokem z povodí není přímý a je ovlivňován aktivně (klimatickými faktory) a pasivně (fyzikogeografickými činiteli). Klimatické faktory jako je sluneční záření, teplota, vlhkost vzduchu, rychlost a směr větru ovlivňují výpar a tím hydrologickou bilanci povodí. Mezi geografické činitele patří např. plocha velikost, střední nadmořská výška, tvar, reliéf, říční síť, vegetační pokryv atd., které popisují prostředí povodí, ve kterém proces probíhá (Starý, 2005).

Srážko–odtokový proces povodí je rozdělen do dvou dílčích transformací. V první hydrologické transformaci jsou od srážek, které spadnou na povodí, odečítány ztráty. Ztráty jsou v podobě evapotranspirace (celkový výpar z rostlin a půdy), intercepce (srážková voda zadržena vegetací), navlhání, infiltrací (průsak vody do půdy) a povrchovou retencí (voda zadržena na povrchu terénu). Oddělením těchto

hydrologických ztrát od časového průběhu intenzity srážky dostaneme efektivní intenzitu srážky. Tato voda se následně dostává z povodí v podobě plošného povrchového odtoku a tím začíná druhá transformace. V druhé hydraulické transformaci se povrchový odtok soustřeďuje v ronových a erozních rýhách. Následně se dostane do říční sítě, a nakonec odtéká uzávěrovým profilem povodí. Voda, která se vsákla do půdy, odtéká formou podzemního odtoku do říční sítě (Starý, 2005).

Hydrologická bilance

Hydrologická bilance vyjadřuje vztah mezi všemi vstupy a výstupy vody v povodí, kde vstupy jsou v podobě atmosférických srážek a výstupy tvoří evapotranspirace a všechny druhy odtoku z povodí (Domenico, Schwartz, 1997).

Základní rovnice pro hydrologickou bilanci:

$$H_S = H_O + H_V \pm R \quad (4)$$

- H_S ... Množství srážek spadlé na povodí
- H_O ... Množství, které odteče uzávěrovým profilem
- H_V ... Množství vody vypařené z povodí
- R ... Změna zásoby vody v povodí

Všechny jednotlivé bilanční prvky jsou ve formě výšky vrstvy. Je to výhodné a mluvíme tedy o celkové výšce srážek, celkové výšce odtoku, celkové výšce výparu atd. Nedochozí-li k výměně vody mezi povodími, tak je povodí tzv. hydrologicky uzavřené a rovnice je správná pro jakkoli zvolené období. Pokud volíme dlouhé období, které je delší než jeden rok, můžeme prvek R zanedbat a získáme tím rovnicí (Kemel, 1996):

$$H_S = H_O + H_V \quad (5)$$

- H_S ... Množství srážek spadlé na povodí
- H_O ... Množství, které odteče uzávěrovým profilem
- H_V ... Množství vody vypařené z povodí

Všechny prvky bilanční rovnice musí platit pro stejné období, pro tzv. hydrologický rok. Je to délka jednoho kalendářního roku posunutý tak, aby se sníh a ostatní pevné srážky mohly zúčastnit odtokového procesu ve stejném období, ve

kterém spadly. V České republice začíná hydrologický rok 1.11. a končí 31.10. následujícího roku (Kemel, 1996).

Srážky je potřeba měřit a pozorovat, neboť jsou důležitým prvkem bilanční rovnice. Pozorujeme hlavně plošné rozložení, dobu trvání, intenzitu, úhrn a průběh srážky. Množství spadlých srážek nám ukazuje tzv. srážkovou výšku. Jde o výšku vody, která by vznikla ze spadlých srážek na určitou plochu bez odtoku, evapotranspirace a infiltrace do půdy. Srážkový úhrn vyjadřuje výšku vody měřené v bodě (srážkoměrné stanici). Pokud vydělíme úhrn s dobou trvání, vznikne nám intenzita deště (Kemel, 1996).

Výpar

Princip výparu (evaporace) spočívá v molekulách vody, které se neustále pohybují a se zvyšující teplotou se zrychluje i jejich pohyb (Starý, 2005).

Jedním základním druhem výparu je transpirace. Transpirace je výpar vody z povrchu rostlin. Společně s evaporací tvoří evapotranspiraci (Soukupová, 2009). Dalším základním druhem je výpar z vodní hladiny. Je nejjednodušším základním druhem výparu. Je to jedna z částí ztrát vody, která je nejvýznamnější u vodních nádrží. U nás se vypaří z vodní hladiny přibližně 1–3 mm za den (Starý, 2005). Dalším možným dělením je výpar z půdy, který závisí na nasycenosti půdy, a na výparu ze sněhu a ledu (Pavelková Chmelová, Frajer, 2013).

Typy odtoku

Veškerá voda, která odeče z povodí za určitý čas, je celkový odtok a skládá se z povrchového, podpovrchového a podzemního odtoku. Povrchový odtok nastává, když se déšť nestačí vsakovat do půdy a stéká po povrchu terénu. Podpovrchový odtok je odtok, kdy se voda vsákne do nenasycené půdy a následně odeče těsně pod povrchem terénu. Podzemní odtok je voda vsáknutá do země, která odtéká podzemím (Pavelková Chmelová, Frajer, 2013). Pokud je voda vsakována do nasycené půdy, pohybuje se v nepropustném podloží a je tím rychlost odtoku zpomalena oproti dvěma předchozím (Starý, 2005).

Povrchový společně s podpovrchovým odtokem tvoří přímý odtok a zvyšuje vodnost řek, při průběhu a po skončení srážky. Naopak podzemní voda a zpožděný podpovrchový odtok zásobují vodní toky i v době, kdy neprší a tvoří základní odtok (Pavelková Chmelová, Frajer, 2013).

7.2. *Hydrologické modely*

Hydrologické modely jsou matematické modely srážko-odtokového procesu. Matematický model srážko-odtokového procesu je zjednodušený vztah, který vyjadřuje závislost mezi vstupními a výstupními veličinami určitého složitěho hydrologického systému (Daňhelka a kol., 2003). Hydrologický systém je uspořádání fyzikálních procesů. Ten působí na vstupní proměnné a přeměňuje je na výstupní hodnoty. Hydrologický model tedy popisuje strukturu nebo chování povodí během srážko-odtokového procesu (Kulhavý, Kovář, 2000).

Hydrologické modely pomáhají porozumět hydrologickým jevům, které působí na povodí, a vlivům změn v povodí na tyto hydrologické jevy. Dalším cílem je výroba syntetických sekvencí hydrologických dat používaná k předvídání hydrologických jevů (Chong-Yu-Xu, 2002).

Proces hydrologických předpovědních modelů lze rozdělit do tří fází. V první fázi dochází ke sběru, primárnímu zpracování a kontrole dat. Ve druhé fázi se zpracovává předpověď hydrologických prvků pro dané období a prostor. V této fázi někdy může dojít k zásahu obsluhy do výpočtu programu, jako je např. operativní změna parametrů nebo odstranění některých chybných dat, které nebyly zaznamenány v první fázi. Ve třetí fázi dochází k výkladu výstupu předpovědi a určení jejího dalšího využití. Využit se dají např. ve vodohospodářských systémech nebo v protipovodňových opatření (Daňhelka, 2007).

Modely se liší přístupem k jednotlivým složkám srážko-odtokového procesu a ke struktuře daného povodí. Přístupy se liší podle toho, pro jakou oblast a za jakým účelem je model vytvářen. Klasifikace jednotlivých modelů pomáhá s výběrem modelu pro konkrétní problematiku (Becker, Serban, 1990).

Klasifikace podle WMO (World Meteorological Organisation):

- účel aplikace modelu
- typ simulovaného systému
- zhodnocení modelovaného hydrologického modelu
- princip příčiny a důsledku
- míra časové a prostorové diskreditace

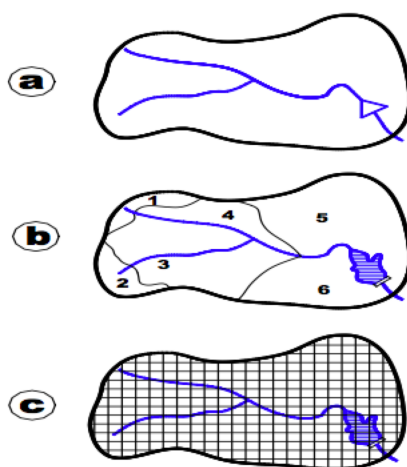
Účel a aplikace modelu dále rozděluje modely do tří kategorií. První kategorií jsou modely používané v operativní hydrologii. Ty obsahují data, které tvoří stavové

veličiny a okamžité údaje z meteorologických stanic a radarů. Data jsou zpracována rychle a poskytují krátkodobou předpověď vodního stavu. V druhé kategorii jsou modely aplikované pro návrhovou a projekční činnost v oblasti vodního hospodářství. Ty se zaměřují na řešení protipovodňových ochran. Ve třetí kategorii jsou modely využívané ve výzkumu (Jeníček, 2012).

Dále se modely klasifikují podle míry časové a prostorové diskretizace (obr. 7). Míra časové diskretizace je především určena podle způsobu modelu, který je použit. Např. pro povodňové studie a operativní předpovědi se používá hodinový až denní krok. U modelů, které zobrazují hydrologickou bilanci, může být délka výpočtového kroku týden nebo i měsíc (Jeníček, 2012).

Prostorová diskretizace dělí modely na celistvé a distribuované. Celistvé modely mají přístup ke geografické schematizaci celého nebo dílčího povodí. Díky tomu dokáží předpokládat zjednodušenou prostorovou informaci (Kadlecová a kol., 2010). Distribuované modely jsou zřízeny na základě distribuovaných parametrů. Tyto modely berou v úvahu variabilitu těchto parametrů v prostoru. Povodí je tedy rozděleno na malé základní odtokové plochy. Každá plocha obsahuje charakteristickou hodnotu parametru (Connolly a kol., 1997).

Semi–distribuované modely jsou kombinací dvou předchozích modelů. Principem je rozdělení povodí na menší topografické celky. To se rozděluje podle vlastností prostorové homogenity, např. podle vegetačního pokryvu nebo půdního druhu (Kadlecová a kol., 2010).



Obrázek 7: Hydrologické modely podle prostorové diskretizace, a) celistvý model, b) semi-distribuovaný model, c) distribuovaný model (Kadlecová a kol., 2010)

Dále můžeme modely klasifikovat podle typu systému a hydrologického procesu. Modely podle typu systému dále dělíme na elementární a komplexní. Elementární systém tvoří konstantní charakteristiky, jako je např. malá odtoková plocha, nádrž nebo jezero. Komplexní naopak tvoří větší odtokové plochy než elementární, systém říčních sítí, nádrží a jezer. Modely, které jsou klasifikovány podle typu hydrologického systému se zabývají výpočtem jednotlivých procesů, jako je např. evapotranspirace, půdní vlhkost a proudění podzemní vody (Jeníček, 2005).

Poslední princip klasifikace je podle stupně kauzality. Vyjadřuje vztah mezi příčinou a důsledkem. Tyto modely dělíme na stochastické a deterministické. Stochastické modely se rozdělují na pravděpodobnostní a na modely generující časové řady. Oproti deterministickým modelům neobsahují vazbu mezi příčinou a důsledkem. Pravděpodobnostní modely operují s pravděpodobnostním rozdělením jednotlivých hydrologických charakteristik, jako jsou např. vodní stavy a průtoky. Modely generující časové řady jsou používány k nalezení chybějících údajů nacházejících se mimo interval známých hodnot (extrapolace) časové řady, který pozorujeme. Při tomto procesu se zachovají statistické vlastnosti parametrů (Jeníček, 2012).

Deterministické modely se dělí podle převládajícího principu své konstrukce na fyzikálně založené (white box), koncepční (grey box) a kybernetické modely (black box) (Kulhavý, Kovář, 2000).

Fyzikálně založené modely (white box) jsou reprezentovány z velké části modely hydrodynamickými. Princip těchto modelů je založen na fyzikálním základě srážko-odtokového procesu a snaží se uznávat principy zachování hmoty, hybnosti a energie. Koncepční modely (grey box) popisují pomocí matematických vztahů hydrologický cyklus nebo jeho jednotlivé části. Kybernetické modely (black box) zkoumají průběh procesu výhradně z hlediska transformační funkce systému. Princip těchto modelů je založen na využití analýzy z oboru kybernetiky ke zkoumání chování systému. Jejich použití lze nalézt u hydrologických systémů, které mají jednotné chování (Kulhavý, Kovář, 2000).

8. Data a hydrologie

8.1. ASCAT

ASCAT (The Advanced Scatterometer) je pokročilý evropský přístroj z nové generace fungujících na družicích METOP, které jsou součástí EUMETSAT polárního systému (EPS). Nástroje se používají k určení informací o větru nad mořem, které pomáhají k předpovídání počasí a výzkumu klimatu. Tyto data se uplatňují i ve sledování pozemního a mořského ledu, sněhu a vlhkosti půdy. Nástroj ASCAT používá radar, který měří elektromagnetický zpětný rozptyl z rozvířeného povrchu oceánu a díky tomu získává údaje o rychlosti a směru větru. Princip měření spočívá v tom, že vítr nad mořem způsobuje malé narušení mořské hladiny, které mění zpětný odraz paprsků typickým způsobem. Vlastnosti tohoto zpětného paprsku jsou závislé na rychlosti i na směru větru nad mořem (ESA, 2006).

Kompletní seznam EPS (EUMETSAT polární systém) produktů:

- ASCAT Level 0 (přístrojové pakety)
- ASCAT Level 1b (normalizovaný radar zpětného rozptylu)
- ASCAT Level 2 globální vítr (vítr na povrchu oceánu)
- ASCAT Level 2 regionální krátkodobý vítr (vítr na povrchu oceánu)
- ASCAT Level 2 vlhkost půdy (povrchová vlhkost půdy)

Produkty ASCAT Level 2 globálních větrů jsou generovány a distribuovány EUMETSAT Ocean and Sea Ice Satellite Application Facility (OSI SAF). Ta je součástí EPS distribuce Applications Ground Segment. Produkty Level 2 regionálních krátkodobých větrů zase pomocí EUMETSAT Advanced Retransmission Service (EARS), se systémem zpracovávající globální řetězce, ale v rámci naplnění systému optimalizace poskytují rychlé produkty v regionálním měřítku (EUMETSAT, 2015).

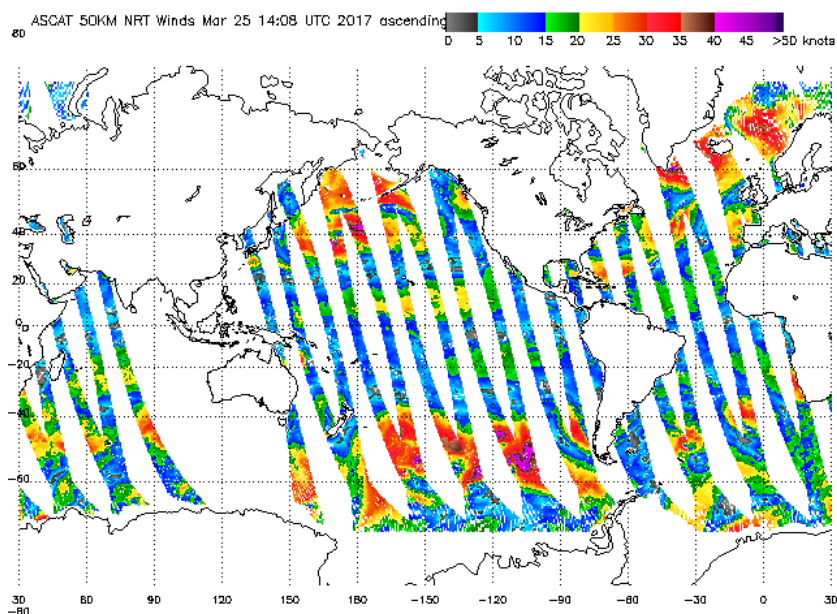
Produkty ASCAT Level 2 vlhkosti půdy jsou vytvářeny v EPS Core Ground Segment. Ty byly vyvinuty v Ústavu Geodézie a Geoinformatiky na Vídeňské Univerzitě Technologie. Tato datová služba je poskytována ve spolupráci s SAF (Satellite Application Facilities) s cílem podpořit Operational Hydrology and Water Management (H-SAF) (EUMETSAT, 2015).

ASCAT vysílá dlouhý puls s lineární frekvenční modulací (“cvrkot“). Pozemní odezvy jsou přijaty přístrojem, kde je zpětně odražený signál spektrálně analyzován a detekován. Dvě sady tří antén jsou použity pro generaci radarových paprsků, které

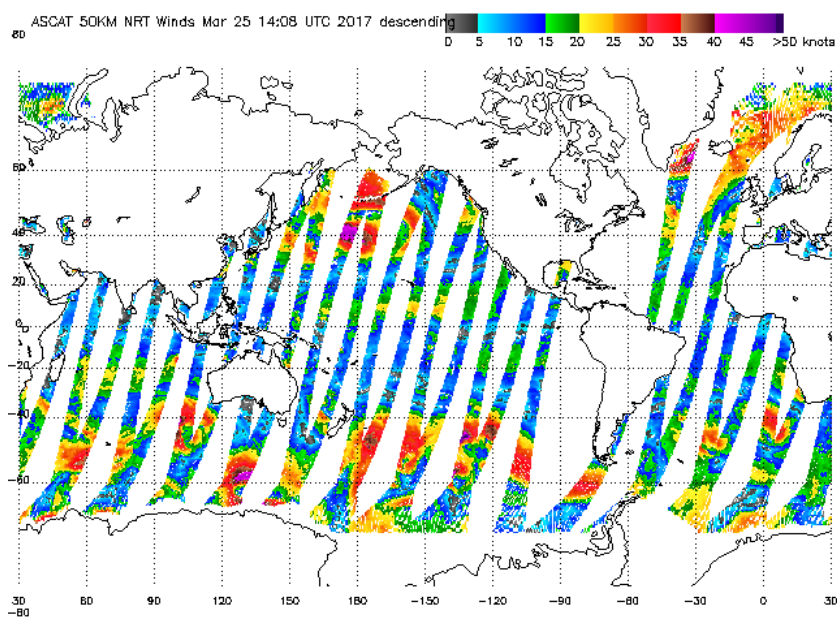
směřují vzhledem ke směru letu družice dopředu, do stran a dozadu v úhlu 45 %. Tyto paprsky vyzařují přibližně 550 km široký pás, zatímco se satelit pohybuje po své oběžné dráze a každý poskytuje měření zpětného rozptylu od mořské hladiny o 25 km nebo 12,5 km gridu. To znamená, že každý pás je rozdělen na 21 nebo 41 takzvaných Wind Vector Cells (WVC). Každý WVC získá tři nezávislé měření zpětného rozptylu pomocí tří různých směrů pohledu odděleny krátkým časovým zpožděním (GLOBAL, O. S. I., 2013).

Tabulka 2: Produkty ASCAT (NOAA, 2013)

Produkt	Popis produktu
ASCAT Ocean Surface Wind data	Určuje rychlost a směr oceánských povrchových větrů. To jsou 10metrové stálé větry. Data jsou tvořena v hodinových intervalech.
ASCAT Storm data (Ultra High Resolution)	Poskytuje denní mapy zobrazující bouře nebo oblast, kde by se mohla vyskytnout. Snímky jsou pořizovány ve třech hodinových intervalech.
ASCAT Ice data	Poskytuje denní mapy pro pět oblastí (Aljaška, Antarktida, Arktida, Ross Ice Shelf, Weddellovo moře).



Obrázek 8: OSF data (Ocean Surface Wind data) zobrazeny vzestupně v 50 km rozlišení (NOAA, 2013)



Obrázek 9: OSF data (Ocean Surface Wind data) zobrazeny sestupně v 50 km rozlišení (NOAA, 2013)

Zpracování dat se provádí téměř v reálném čase. Posledních 22 hodin jsou Ocean Wind data zobrazeny ve dvou samostatných mapách. Ty zobrazují vzestupné a sestupné dráhy (obr. 8 a 9), aby nedošlo k překrytí dat (GLOBAL, O. S. I., 2013). Přístroj ASCAT pracuje stejně jako jeho předchůdci ERS-1 a ERS-2 na frekvenci 5,255 GHz a poskytuje schopnost měřit ve dne i v noci (ESA, 2006). Denní snímky jsou poskytovány v 50 km a 25 km rozlišení a jsou archivována po dobu sedmi dnů (NOAA, 2013).

8.2. H-SAF

H-SAF je služba, kterou řídí meteorologická služba italského letectva (ITAF USAM) a zřízena radou EUMETSAT 3. 7. 2005. Ta pomocí dálkového průzkumu Země poskytuje vysoce kvalitní informace o srážkách, sněhu a půdní vlhkosti. Data získává z mikrovlnných a infračervených nástrojů. Ty jsou kompatibilní s přítomnými i plánovanými satelitními systémy. Spolu s daty poskytuje i průběžné hodnocení jejich stavu. Výsledné produkty a aplikace H-SAF slouží ke zlepšení vodního hospodářství a jsou určeny službám, které potřebují informace o spotřebě vody na Zemi. Produkty jsou zveřejněny na internetových stránkách H-SAF a EUMETSAT (H-SAF, 2017b).

Produkty srážek

Srážky významně ovlivňují hydrologickou bilanci, a proto je zásadní pochopit jejich prostorové a časové rozložení, které jsou důležité pro klimatické a hydrologické aplikace. Srážky se dají měřit pozemními srážkoměry, ale nelze je používat ve vzdálených zemích a na moři. Meteorologické družice dokáží monitorovat srážky i v omezených oblastech s požadovanou přesností. Monitorování je rozděleno do dvou kategorií. V první kategorii se používá infračervené nebo viditelné záření, tam jsou data odvozena z cloud-top (horní část mraku), kde se infračervený jas teploty mění v závislosti na výšce cloud-top. V druhé kategorii se používá mikrovlnné záření, které umí procházet skrz mraky. Druhá kategorie využívá schopnosti mikrovln, jako je vidět skrz mraky při vytváření odhadu srážek. Měření přímo souvisí s vyslaným mikrovlnným zářením, které je rozptýleno od kapalných nebo pevných srážek (H-SAF, 2017b).

Tabulka 3: H-SAF produkty srážek (H-SAF, 2017)

Produkt	Popis produktu
PR OBS 1–H0 (v provozu)	Mapy určující míru okamžitých srážek, generovaných mikrovlnnými kuželovými skenery, umístěné na sluneční synchronní orbitě
PR OBS 2–H02 (v provozu)	Mapy určující míru okamžitých srážek, generovaných mikrovlnnými cross-track skenery, umístěné na sluneční synchronní orbitě
PR OBS 3–H03 (v provozu)	Určuje míru okamžitých srážek z infračervených snímků. Ty jsou kalibrovány z naměřených srážek mikrovlnných snímků
PR OBR 4–H04 (v provozu)	Určuje míru okamžitých srážek z mikrovlnných snímků. Ty jsou podporovány infračervenými snímky, pořízené z geostacionárních družic
PR OBR 5–H05 (v provozu)	Určuje akumulované množství srážek odvozené z map, vytvořené sloučením mikrovlnných a infračervených snímků (produkty PR-OBS-3 a PR-OBS-4)
PR OBS 6A–H15A (před zahájením provozu)	Určuje míru okamžitých srážek vytvořené z infračervených snímků, kalibrovány z naměřených srážek mikrovlnných snímků
PR ASS 1–H06 (pomocný přípravek)	Určuje míru okamžitých a nahromaděných srážek generovaných pomocí NWP (numerické předpovědi počasí) modelu.

Produkty půdní vlhkosti

Půdní vlhkost je důležitý parametr, podle kterého předpovídáme povodně, systém numerické předpovědi počasí a sesuvy půdy. Výsledné produkty poskytují informace o povrchové i kořenové zóně půdní vlhkosti (H-SAF, 2017a).

Tabulka 4: H-SAF produkty půdní vlhkosti (H-SAF, 2017)

Produkt	Popis produktu
SM OBS 01	Určuje množství půdní vlhkosti ve velkém měřítku.
SM OBS 02–H08 (před zahájením provozu)	Určuje množství půdní vlhkosti v malém měřítku pomocí scatterometru (nástroj měřící vracející se paprsek světla nebo radarové vlny).
SM DAS 2–H14 (v provozu)	Ukazatel půdní vlhkosti v kořenové zóně (až do hloubky 2,89 m)
H25–H108–H109–H110 (uvolněný)	Určuje množství vody v horní vrstvě půdy (<2 cm), v relativních jednotkách mezi absolutně suchými podmínkami (0 %) a celkovou kapacitou vody v půdě (100 %)
H101–H102–H16–H103 (v provozu)	Určuje povrchové množství půdní vlhkosti.

Produkty sněhové pokrývky

Monitorování sněhové pokrývky se využívá v předvídání sněhového odtoku a posuzování vodních zdrojů. Velká prostorová variabilita sněhové pokrývky omezuje pozemní pozorování, především v horských oblastech. Družice dokáží sbírat data nezávisle na vlastnostech terénu a v dobrém rozlišení. Sníh má v hornatých oblastech odlišné vlastnosti jak na rovinných a používají se proto dva různé algoritmy. Ty se používají pro danou oblast k výrobě sněhových produktů. Ty jsou pak sloučeny a výsledkem je jediný sněhový produkt (H-SAF, 2017b).

Tabulka 5: H-SAF produkty sněhové pokrývky (H-SAF, 2017)

Produkt	Popis produktu
SN OBS 1–H10 (v provozu)	Zjišťuje velikost sněhové pokrývky. Produkt je zpracováván různými způsoby v závislosti na druhu terénu (rovný, hornatý)

Produkt	Popis produktu
SN OBS 2–H11 (před zahájením provozu)	Určuje stav sněhového pláště. Zda je mokrá nebo suchá.
SN OBS 3–H12 (před zahájením provozu)	Určuje efektivitu sněhové pokrývky.
SN OBS 4–H13 (v provozu)	Mapy určující sněhovou vodu se stejným účinkem.

8.3. Copernicus

Copernicus je program založený Evropskou unií zabývající se vývojem informačních služeb, které jsou založeny na dálkovém průzkumu Země. Používá a shromažďuje údaje i z tzv. systému In-situ. In-situ je systém pozemních stanic, které získávají data za pomoci mnoha senzorů umístěných na zemi, v moři nebo ve vzduchu. Spolu se satelity poskytují informace, které slouží poskytovatelům služeb a dalším mezinárodním organizacím zkvalitnit životní podmínky (Copernicus, 2017a).

Službu Copernicus řídí a koordinuje Evropská komise. Ta spolupracuje s členskými státy ESA, EUMETSAT, ECMWF (Evropské středisko pro předpověď počasí středního rozsahu) a EU agentur (Copernicus, 2016a). Služby Copernicus jsou používány v šesti různých tematických oblastech (Copernicus, 2017a).

Monitoring atmosféry

The Copernicus Atmosphere Monitoring Service je jedna z oblastí Copernicus, která sleduje složení zemské atmosféry. Popisuje a předpovídá její stav až na několik dní dopředu. Dále poskytuje konzistenční retrospektivní datový záznam za aktuální rok. Výsledkem služby jsou geofyzikální produkty, které je třeba dále technicky zpracovat. Služba se zaměřuje na další oblasti, jako je kvalita ovzduší a chemické složení, ozonová vrstva a ultrafialové záření, emise a povrchové toky, sluneční záření a předpovídání klimatu (Copernicus, 2016a).

Produkty poskytované službou jsou: retrospektivní posouzení kvality ovzduší, identifikace znečišťujících látek a jejich zdroj, obsah pylu v ovzduší, mapy a data pro kvalitní leteckou předpověď, zdravotní informace a varování (Copernicus, 2016a).

Monitoring zemského povrchu

The Copernicus Land Monitoring Service sleduje povrch Země a zajišťuje geografická data. V současné době jsou tři hlavní složky této služby (Copernicus, 2016c). První z nich je The Global Land Service. Ta zajišťuje sledování zemského povrchu v globálním měřítku. Tento dálkový průzkum poskytuje bio-geofyzikální produkty o stavu a vývoji zemského povrchu. Ty popisují energetickou bilanci, stav vegetace a koloběh vody na Zemi. Zaměřují se i na jejich změny a poruchy (Copernicus, 2017b).

Tabulka 6: Produkty The Global Land Service (Copernicus, 2017)

Téma	Produkt	Popis produktu
Vegetace	Fraction of Absorbed Photosynthetically Active Radiation (FAPAR)	Určuje zlomkové množství slunečního záření absorbovaného listy pro fotosyntézu.
	Fraction of green Vegetation Cover (FCOVER)	Určuje prostorový rozsah vegetace
	Leaf Area Index (LAI)	Určuje velikost tloušťky vegetačního pokryvu
	Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)	Indikuje zeleň z biomu
	Vegetation Condition Index (VCI)	Porovnává aktuální NDVI s hodnotami pozorovatelnými ve stejném období v minulých letech
	Vegetation Productivity Index (VPI)	Porovnává celkový stav vegetace s dlouhodobými statistikami ze stejného období
	Dry Matter Productivity (DMP)	Představuje celkovou míru růstu nebo zvýšení suché biomasy vegetace
	Burnt Area	Mapuje spálené oblasti a dává informace o sezónních požárech
Energie	Land Surface Temperature (LST)	Určuje teplotu zemského povrchu a vzduchu.
	Top Of Conopy Reflectance (TOC-R)	Určuje zlomek slunečního záření od povrchu země v daném spektrálním pásmu
	Surface Albado	Určuje zlomek množství odraženého slunečního záření od povrchu země
	Soil Water Index (SWI)	Určuje stav vlhkosti půdy v různých hloubkách

Téma	Produkt	Popis produktu
Voda	Water Bodies	Mapuje oblasti vnitrozemských vod v průběhu roku a poskytuje max. a min. rozsah vodní plochy a sezónní dynamiku

Druhou složkou je The pan-European component. Ta má za úkol poskytovat data ve vysokém rozlišení. Popisuje land cover, land use a jejich změny. Poslední složkou je The Local component. Jejím cílem je poskytovat podrobnější informace o oblastech, které jsou náchylné ke specifickým změnám týkajících se životního prostředí v Evropě (Copernicus, 2016c).

Výsledné aplikace služby slouží jako podpora v oblasti územního plánování, lesního a vodního hospodářství, zemědělství, zabezpečení potravin a krizového řízení (Copernicus, 2016c).

Tyto služby v zemědělství pomáhají posoudit využití zemědělské půdy a jejich dopad na biodiverzitu a krajinu. Vyhodnocují podmínky plodin, odhadují výnosy a poskytují lepší řízení zavlažování. V lesnictví pomáhají identifikovat typy lesů a detekovat změny. Posuzují hustotu a zdraví lesů (Copernicus, 2017a).

Monitoring mořského prostředí

The Copernicus Marine Environment Monitoring Service je služba monitorující mořské prostředí. Zobrazuje data o fyzickém a bio-geochemickém stavu oceánů, šesti regionálních mořích a o jejich ekosystému. Data obsahují popis současného stavu, předpověď situace na několik dní dopředu a zpětné datové záznamy. Data jsou pravidelně aktualizována. Služba poskytuje produkty, které popisují proudy, teplotu, vítr, slanost, hladinu moře a mořský led. Tyto faktory podporují mořské a pobřežní aplikace v oblastech: námořní bezpečnosti, námořních a pobřežních prostředí, mořských zdrojů, počasí, sezónní předpovědi a klimatu (Copernicus, 2016b).

Mezi produkty, které poskytuje patří: mapy a data pro oceánografické předpovědi, retrospektivní posouzení stavu moře pro výzkum, vývoj a provozní účely, hraniční podmínky pro pobřežní modely (Copernicus, 2016b).

Monitoring klimatických změn

The Copernicus Climate Change Service je oblast služby Copernicus. Reaguje na změny v životním prostředí a ve společnosti, jichž se změna klimatu týká. Bude poskytovat informace k monitorování a předpovídání změn klimatu pro zemědělství, lesnictví, zdravotnictví, vodního hospodářství a cestovního ruchu. Bude rozpoznávat faktory, jako je tání ledu, zvýšení teploty, oteplování oceánu, vzestup hladiny moří a indexů klimatu, kam patří např. záznam teploty, srážky, období sucha. Služba bude v provozu před koncem roku 2018 (Copernicus, 2016d).

Služba krizového řízení Copernicus

Službu The Copernicus Emergency Management Service řídí evropská komise. Varuje a hodnotí rizika, jako jsou povodně, lesní požáry a poskytuje geoprostorové informace o důsledcích přírodních i člověkem způsobených katastrof. Její prioritou je reagovat na potřeby a zájmy EU a je poskytována bezplatně oprávněným uživatelům. Služba se skládá ze dvou složek: včasné varování a mapování (Copernicus, 2016e).

The European Flood Awareness System je první evropský systém, který monitoruje povodně po celé Evropě. Včetně sledování nabízí předpovědi povodní a posouzení dopadů. The Global Flood Awareness System je podobný systém, který nabízí data v celosvětovém měřítku. The European Forest Fire Information System kontroluje lesní požáry v Evropě, Severní Africe a na Středním východě. Monitoruje celý požární cyklus v reálném čase. Informuje o současném a budoucím stavu a nebezpečí požáru, o spálené ploše a jejím poškození (Copernicus, 2016e).

EMS Mapping Service posuzuje a reaguje na katastrofy způsobené přírodou i člověkem a poskytuje geoprostorová data ze satelitních snímků. Služba má dva režimy. První je rychlé mapování pro mimořádné situace. A druhý je mapování rizik a obnova. Ta analyzuje rizika katastrof a jejich obnovu (Copernicus, 2016e).

Bezpečnostní služba Copernicus

The Copernicus Security Service je bezpečnostní služba, která poskytuje informace o bezpečnostních výzvěch Evropy. Snaží se předcházet krizím připraveností a schopností reagovat (Copernicus, 2016f).

Služby Copernicus lze využít v mnoha dalších oblastech, např. v rybářství podporuje rybářské činnosti a detekuje znečištění vody. V oblasti veřejného zdraví pomáhá předpovídat množství nebezpečného ultrafialového záření. V městském a

krajském plánování informuje o růstu měst, městské zeleně, využití půdy a jejího vývoje. V turistice, kde je hlavní využití v posouzení kvality pobřežní vody a podmínek ke koupání (Copernicus, 2017a).

8.4. DPZ v hydrologii

DPZ v hydrologii monitoruje kromě jednotlivých složek hydrologické bilance i rozsah zaplavovaného území, splaveniny, kvalitu vody a charakteristiky povodí (Buchtele, 1991).

Monitoring srážek

Meteorologické radary a družice se stále více používají pro předpověď krátkodobých srážek. Používané metody jsou především užitečné pro předpověď silných konvektivních bouří. Ty mohou vyvolat i bleskové povodně. Meteorologické radary se používají pro odhad srážek. S nimi získáváme kvalitnější plošnou strukturu srážkových polí. Pro odhad srážkových polí se v dnešní době společně používají radarová a srážkoměrná měření (Bližňák, 2011).

Žádný satelit zatím nedokáže spolehlivě identifikovat srážky a jejich intenzitu za všech okolností. Jenže je více druhů senzorů, které mohou vidět Zemi různými způsoby. Např. kromě odhadování srážek některé senzory dokáží zjistit tloušťku mraků nebo jejich teplotu (Ceccato, 2010).

Snímky ve viditelném spektru jsou ověřenou technikou pro vyhodnocování srážek. Tyto snímky poskytuje např. družice NOAA a Meteosat. Princip odhadu srážkových úhrnů je založen na sledování předchozího vývoje oblačných útvarů (např. teplota). Nevýhodou meteorologických radarů je špatný vliv orografie a prostorová proměnlivost při bouřkách (Buchtele, 1991).

Při použití geostacionárních družic získáme výhodu v podobě lepšího horizontálního a časového rozlišení. Odhady nejsou ovlivňovány zemským reliéfem nebo jinými překážkami. Nevýhodou je ale jejich velká nepřesnost, neboť neprochází oblačností a měří jen vlastnosti horní hranice oblačnosti. Ty nemají jasný vztah ke srážkám na zemi (Bližňák, 2011).

Senzory poskytující data v termálním infračerveném spektru. Ty rozlišují srážkové a nesrážkové mraky na základě jejich teplot v horní hranici oblačnosti. To vychází z poznatku, že veškerý déšť pochází z hlubin konvektivní oblačnosti

s chladnými, vysokými vrcholy. Odhady z termální infračervené části spektra získáváme především z geostacionárních družic. Senzory v tomto spektru poskytují celosvětové pokrytí, vyšší rozlišení a snímky se pořizují v menším intervalu než např. u mikrovlnných senzorů. (Ceccato, 2010).

Mikrovlnné senzory nabízejí přesnější odhad srážek než ostatní senzory, ale mají omezené pokrytí plochy, horší prostorové rozlišení a nízkou opakovací frekvenci. V dnešní době se používá kombinace mikrovlnných a termálních senzorů. To má za následek lepší přesnost senzorů, lepší prostorové a časové pokrytí (Ceccato, 2010).

Monitoring sněhové pokrývky

Sníh ovlivňuje energetickou bilanci a hydrologický cyklus. Základ pro jeho hodnocení je ve sledování albeda. Odrazivost se sleduje ve viditelné, infračervené a mikrovlnné části spektra (Buchtele, 1991).

Spektrální odrazivost a rozptylové vlastnosti sněhu jsou závislé na různých faktorech, např. na velikosti zrn a jejich tvaru, obsahu vody v kapalném skupenství, čistotě sněhu, teplotě a obsahu ledu (Dietz, 2012).

Bylo vyvinuto mnoho nástrojů, které měří a sledují sněhovou pokrývku. Zejména různé senzory s různým spektrálním, prostorovým a časovým rozložením. Každý senzor má ale nějaké technické omezení. Snímky ve viditelné a blízko infračervené části spektra mapují vývoj a rozsah sněhové pokrývky. Ty jsou ovlivňovány oblačností a podmíněny osvětlením. Infračervené snímky určují povrchovou teplotu a pomáhají do jisté míry mapovat sněhovou pokrývku. Jsou však také ovlivňovány oblačností (Pivot a kol., 2002).

Nejlepší informace o sněhové pokrývce poskytuje mikrovlnná část spektra. Výsledná data se týkají plochy, hloubky sněhu a množství kapalné vody. Tato data jsou poskytována pasivním mikrovlnným zářením (Roub, 2014).

V současné době, kvůli výhodám a nevýhodám, jsou používány všechny druhy senzorů společně (viditelná, mikrovlnná, infračervená a blízko infračervená část spektra) (Pivot a kol., 2002).

Monitoring půdní vlhkosti

Může sloužit jako podklad pro předpověď záplav a určuje výskyt suchých míst. Hodnocení vlhkosti půdy se provádí na základě rozdílných denních a nočních teplot, při které se dají používat data z termálního infračerveného pásma. Vzájemný vztah

mezi uvedenými veličinami je ovlivněn vývojem vegetace a půdním typem. Při monitorování vlhkosti se s dobrými vyhlídkami používají mikrovlnné systémy (Buchtele, 1991).

Použití mikrovlnného spektra v oblasti DPZ poskytuje výhody oproti jiným spektrálním oblastem (Schmugge a kol., 2002):

- dobře prochází oblačností
- vegetace je poloprůhledná a umožňuje sledování podkladových ploch
- pozorování lze provádět i v noci
- měření jsou závislé na dielektrických (elektricky nevodivých) vlastnostech cíle

Měření půdní vlhkosti pozemními metodami jsou přesná, ale jejich měření se provádí na malé ploše. Existují ale dvě metody pro odhadování dynamiky půdní vlhkosti, které jsou vhodné pro velké území. První metoda odhaduje půdní vlhkost pomocí hydrologických modelů. Druhá metoda se skládá ze zpětného výpočtu půdní vlhkosti z družicových měření. Výhodou družicových měření je, že poskytují integrální hodnotu plochy než bodové měření (Parajka a kol., 2006).

Při sloučení těchto dvou typů odhadování půdní vlhkosti získáme tzv. postupy Data Assimilation (DA). To jsou kvalitní a objektivní metody, které odvozují stav hydrologického systému z nepravidelně distribuovaných a časově nekonzistentních datových souborů. Ty mají rozdílné přesnosti, poskytují více spolehlivých informací. Systémy DA se používají především pro predikci počasí (McLaughlin, 1995).

Pro sledování půdní vlhkosti se používají scatterometry. To jsou aktivní mikrovlnné sensory. Jsou použity na evropských družicích ERS-1 a ERS-2. Pracují na frekvenci 5,3 GHz. Scatterometry odvozují vlhkost půdy v důsledku silného kolísání dielektrické konstanty půdy s objemovým obsahem vody (Parajka a kol. 2006).

Monitorování povodní

Dálkový průzkum je vhodnou metodou pro sledování povodní. Získává data z rozsáhlých území a umožňuje pořizovat záznamy v pravidelných intervalech. Díky tomu dokážeme zachycovat jednotlivá stadia povodně. Při použití pasivních senzorů komplikuje jejich účinnost oblačnost, proto jsou v současnosti používány aktivní senzory. Ale nevýhodou těchto radarů je ztráta dat v oblasti s členitým reliéfem. Z toho

důvodu se používá kombinovaný přístup. Zde se kombinují radarová data s daty pořízenými pomocí optického dálkového průzkumu (Hais, 2010).

Družicové údaje vyhodnocující povodně se používají především pro jejich vysoké prostorové rozlišení a schopnost pořizovat informace i ve špatně přístupných oblastech. Získáme-li údaje před a po výskytu povodně, můžeme klasifikovat změnu půdního pokryvu a následně určit oblasti, které jsou v záplavové oblasti (Schnebele, Cervone, 2013).

Získaná data můžeme tedy využít před povodněmi, kde s jejich pomocí zjišťujeme potencionální záplavové plochy, předvídáme a sledujeme přívalové deště. Během povodní sledujeme aktuální stav povodně. Po povodních nám získaná data umožňují navrhnout lepší protipovodňová opatření pro vyšší bezpečnost (Halounová, 2016).

Pro modelování povodní je zapotřebí znát několik dalších informací. Jako první potřebujeme znát prostorové a časové rozdělení srážek. Je nutné znát i land cover a půdní typ, protože různé druhy půdního pokryvu a půdního typu dokáží zachytit a zadržet různý objem vody. Dále je potřeba znát stav povrchu půdy, např. suchý povrch neabsorbuje srážkovou vodu okamžitě. Naopak půda s vyšší vlhkostí ano. Poslední informací, kterou je potřeba znát, je morfologie terénu (Halounová, 2016).

9. Diskuze

DPZ je důležitou součástí ve sledování a získávání informací o Zemi, na které žijeme. Údaje lze použít v mnoha oborech např. v hydrologii, klimatologii a meteorologii. Princip je založen na odraženém nebo vyzářeném elektromagnetickém záření od zkoumaného objektu. Záření je pomocí dnešních senzorů přijímáno v jednotlivých spektrálních částech. To umožňuje sledovat nejen vlastnosti ve viditelném spektru, ale i vlastnosti okem neviditelné, jako je např. teplota oceánu a zemského povrchu. V současnosti se čím dál více používají tzv. radary emitující mikrovlnné záření. To umožňuje pořizovat informace neobrazového charakteru (informace o výškových poměrech) a poskytovat kvalitnější monitorování hydrologických složek i za velké oblačnosti. Díky těmto údajům dokážeme lépe porozumět hydrologickým procesům, předvídat je a určit vhodná opatření např. při návrhu protipovodňových opatření. DPZ se rychle vyvíjí, je využíván v stále více odvětvích a hraje důležitou roli v budoucím studiu klimatických změn.

I přes rychlý vývoj technologií používaných v DPZ nejsou výsledná data 100 %, neboť při pořizování družicových snímků vznikají chyby (systematické, náhodné) a zkreslení, které je nutno v průběhu procesu odstranit. DPZ má tu výhodu, že pořizuje informace v globálním měřítku, ve špatně přístupných oblastech, jako jsou např. oceány a získává údaje z celého elektromagnetického spektra. Pozemní metody jsou např. srážkoměrné stanice, které pořizují údaje na zemském povrchu. Ty získávají oproti DPZ bodové měření a data s vyšší přesností. Pro lepší přesnost výsledných údajů se používá DPZ společně s pozemními metodami.

Data jsou dobře přístupná na webových stránkách meteorologických služeb nebo na internetové stránce FTP (File transport protocol). FTP poskytuje data od různých služeb. Ty jsou přístupná po zaregistrování a zaplacení poplatku. Následně stačí zadat název FTP serveru (ftp.nazev-domeny.cz), uživatele a přístupové heslo.

Získaná data v podobě časových řad jsou dále zpracována. Jednou z množností je metoda tzv. dekompozice časové řady, kde je časová řada rozložena na jednotlivé složky (trendová, sezónní, cyklická, náhodná). Trendová složka zachycuje dlouhodobý růst či pokles, sezónní popisuje periodické změny v daném období, cyklická zachycuje dlouhodobou fázi poklesu či růstu delší jak jeden rok a náhodná složka je tvořena náhodnými výkyvy časové řady.

Další metoda zpracování časové řady je tzv. klouzavý průměr. Časová řada je rozdělena na klouzavé části o dané délce. Klouzaví průměr získáme tím, že úhrn v daném úseku vydělíme příslušnou délkou klouzavé části.

Pomocí korelace dokážeme určit sílu lineární závislosti mezi dvěma kvantitativními znaky. Následně pomocí autokorelační funkce získáme poznatek o struktuře sledovaného procesu.

V posledních letech našli uplatnění ve sledování zemského povrchu i tzv. drony. Využívají se zatím především v lesnictví, zemědělství a při sledování oblastí postižených katastrofou. V hydrologii se na území ČR využívají jen při sledování povodní. Hrozí ale nebezpečí zneužití dronu k narušení soukromí lidí, např. v podobě sledování sousedů. Z toho důvodů bude v budoucnu při používání dronů potřeba dané povolení.

10. Závěr

Dálkový průzkum Země za pomoci senzorů, které zaznamenávají odražené a emitované elektromagnetické záření od Země a atmosféry, získává důležité údaje používaná v hydrologii a dalších jiných oborech. Sensory přijímají jednotlivé části elektromagnetického spektra a tím získávají i informace pouhým okem neviditelné.

Světlo se tedy skládá z elektromagnetického záření o různých vlnových délkách. Na to přišel jako první Issac Newton a později James Clerk Maxwell sestavil teorii o elektromagnetickém záření a představil fyzikální princip barevné fotografie. O první snímky z ptačí perspektivy se zasloužil Gaspard Félix Tournachon a následně James Wallance Black. Po druhé světové válce začal vývoj letů do kosmu a vznik umělých družic. První družicí se stal Sputnik 1 Sovětské výroby, ale první meteorologickou družicí se stala až TIROS 1, která pořizovala snímky ve viditelném a infračerveném spektru. Další významnou družicí byla ERST 1 (Landsat). Ta se zaměřovala na kartografické aplikace a na rozbor zemského povrchu.

Elektromagnetické záření se dělí na krátkovlnné a dlouhovlnné. Zdrojem krátkovlnného záření je Slunce a dlouhovlnné vyzařuje Země. Při průchodu zemskou atmosférou je krátkovlnné záření částečně rozptýleno, pohlceno a odraženo. Záření, které projde a není absorbované zemským povrchem je jím odraženo zpět do vesmíru. Každý objekt má jinou odrazivost a jinou vyzařovací schopnost. Sensory dokáží zaznamenat toto záření a určit tak informace o daném objektu.

Je mnoho meteorologických služeb poskytující data z družic v podobě produktů. Produkty jsou v době internetu dobře přístupné. Ty lze použít v hydrologických modelech, které např. pomáhají určit hydrologickou bilanci, předvídat a porozumět hydrologickým jevům.

Získané údaje z DPZ jsou využívány v hydrologii ke sledování atmosférických srážek, vlhkosti půdy a sněhové pokrývky. Ty tvoří základní složky srážko-odtokového procesu a určuje se podle nich např. hydrologická bilance povodí. Podle toho dokážeme předpovídat povodně a použít vhodné protipovodňové opatření. Přijímané záření je hodně ovlivňováno oblačností, a proto se v současné době více používají radary s vlastním zdrojem mikrovlnného záření, které jsou nejméně ovlivňovány. DPZ dále hraje významnou roli ke sledování a předvídání silných konvektivních bouří, k monitorování stavu vodních ploch, ledu a atmosféry.

Přehled literatury a použitých zdrojů:

BARRETT E. C., CURTIS L. F., 1976: Introduction to Environmental Remote Sensing. Chapman and Hall, London, 336 s.

BECKER A., SERBAN P., 1990: Hydrological models for water-resources systém design and operation. Operational Hydrology Report No. 34, WMO, Geneva, 80 s.

BLIŽŇÁK V., 2011: Využití dat z meteorologické geostacionární družice Meteosat second generation k odhadu srážek ze silných konvektivních bouří. Meteorologické zprávy 64. S. 43-51.

BOLDIŠ R., 2007: LANDSAT, Seminární práce z DPZ (online) [cit. 2016.12.09], dostupné z <http://fzp.ujep.cz/kig/dpz/seminarky/0722_Landsat.pdf>.

BUCHTELE J., 1991: Uplatnění metod dálkového průzkumu Země v hydrologii. Vodní hospodářství 41. S. 42-47.

CACCATO P., DINKU T., 2010: Introduction to remote sensing for monitoring rainfall, temperature, vegetation and water bodies. Palisades New York. Internacional Research Insti-tute for Climate and Society, 15 s.

CAMPBELL J. B., 1996: Introduction to Remote Sensing. Taylor & Francis. London, 622 s.

CENIA, ©2016a: Oblasti využití DPZ (online) [cit. 2016.12.15], dostupné z <<http://copernicus.gov.cz/oblasti-vyuziti-dpz>>.

CENIA, ©2012b: O projektu NIKM (online) [cit. 2017.02.18], dostupné z <<http://www1.cenia.cz/www/nikm/o-projektu>>.

CEVRAMOK, 2010: Dálkový průzkum Země. Centrum digitálních služeb MINO, Ústí nad Labem, 18 s.

Connolly R. D., Ciesiolka C. A. A., Silburn D. M. et Carroll C., 1997: Distributed parameter hydrology model (Answers) applied to a range of catchment scales using rainfall simulator data. IV Evaluating pasture catchment hydrology. Journal of Hydrology 201. S. 311-328.

COPERNICUS, ©2017a: Copernicus in Brief (online) [cit. 2017.03.16], dostupné z <<http://copernicus.eu/>>.

COPERNICUS, ©2017b: Global Land Service (online) [cit. 2017.03.16], dostupné z <http://land.copernicus.eu/global/sites/default/files/service/COPERNICUS_Leaflet_FINAL.pdf>.

COPERNICUS, ©2016a: Atmosphere Monitoring Service (online) [cit. 2017.03.16], dostupné z <http://copernicus.eu/sites/default/files/documents/Copernicus_Factsheets/Copernicus_AtmosphereMonitoring_Feb2017.pdf>.

COPERNICUS, ©2016b: Marine Environment Monitoring Service (online) [cit. 2017.03.16], dostupné z <http://copernicus.eu/sites/default/files/documents/Copernicus_Factsheets/Copernicus_MarineMonitoring_Feb2017.pdf>.

COPERNICUS, ©2016c: Land Monitoring Service (online) [cit. 2017.3.16], dostupné z <http://copernicus.eu/sites/default/files/documents/Copernicus_Factsheets/Copernicus_LandMonitoring_13Feb2017.pdf>.

COPERNICUS, ©2016d: Climate Change Service (online) [cit. 2017.03.16], dostupné z <http://copernicus.eu/sites/default/files/documents/Copernicus_Factsheets/Copernicus_ClimateMonitoring_Feb2017.pdf>.

COPERNICUS, ©2016e: Emergency Management Service (online) [cit. 2017.03.16], dostupné z <http://copernicus.eu/sites/default/files/documents/Copernicus_Factsheets/Copernicus_EmergencyMonitoring_Feb2017.pdf>.

COPERNICUS, ©2016f: Security Service (online) [cit. 2017.03.16], dostupné z <http://copernicus.eu/sites/default/files/documents/Copernicus_Factsheets/Copernicus_SecurityMonitoring_Feb2017.pdf>.

ČESKÁ GEOLOGICKÁ SLUŽBA, ©2016: Dálkový průzkum Země (online) [cit. 2016.12.20], dostupné z <<http://www.geology.cz/extranet/vav/zemska-kura/dpz>>.

ČHMÚ, ©2012: EUMETSAT (online) [cit. 2016.12.18], dostupné z <<http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/sat/info/EUMETSAT.html>>.

DAŇHELKA J., 2007: Hydrologické modely a nejistota předpovědí. ČHMU, Praha, 104 s.

DAŇHELKA J., KREJČÍ J., ŠÁLEK M., ŠERCL P., ZEZULÁK J., 2003: Posouzení vhodnosti aplikace srážko-odtokových modelů s ohledem na simulaci povodňových stavů pro lokality na území ČR. ČZU, Praha, 214 s.

DIETZ A. J., KUENZER C., GESSNER U., DECH S., 2012: Remote sensing of snow—a review of available methods. International Journal of Remote Sensing 33.13, S. 4094-4134.

DOBROVOLNÝ P., 1998: Dálkový průzkum Země. Digitální zpracování obrazu. Masarykova univerzita, Brno, 208 s.

DOMENICO P. A., SCHWARTZ F. W., 1997: Physical and chemical hydrogeology. New York: John Wiley & Sons, 528 s.

EUMETSAT, ©2017: (online) [cit. 2016.12.18], dostupné z <<http://www.eumetsat.int/website/home/index.html>>.

EUMETSAT, ©2015: ASCAT Product Guide (online) [cit. 2017.03.20], dostupné z <http://www.eumetsat.int/website/wcm/idc/idcplg?IdcService=GET_FILE&dDocName=PDF_ASCAT_PRODUCT_GUIDE&RevisionSelectionMethod=LatestReleased&Rendition=Web>.

ESA, ©2006: About ASCAT (online) [cit.2017.03.20], dostupné z <http://www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/The_Living_Planet_Programme/Meteorological_missions/MetOp/About_ASCAT>.

GLOBAL, O.S.I., ©2013: Wind product (online) [cit.2017.03.20], dostupné z <<http://www.osi-saf.org/?q=content/wind-products>>.

GYMNÁZIUM SUŠICE, 2014: Záření absolutně černého tělesa (online) [cit. 2017.02.18], dostupné z <http://www.gymsusice.cz/images_users/predmety/fyzika/f_texty-zareni_cerneho_teslesa.pdf>.

HAIS M., 2010: Využití metod dálkového průzkumu Země pro hodnocení povodňových událostí (online) [cit. 2017.04.04], dostupné z <https://web.natur.cuni.cz/geografie/vzgr/monografie/povodne/povodne_hais.pdf>.

HLOUNOVÁ L., 2016: Použití radarových dat pro mapování povodní (online) [cit. 2017.04.04], dostupné z <http://copernicus.gov.cz/documents/19/30234/5_2_Radarova_data_povodne_LH.pdf/e49801e2-9c51-4b00-a056-569b0629e675>.

HALOUNOVÁ L., PAVELKA K., 2005: Dálkový průzkum Země. Vydavatelství ČVUT, Praha, 182 s.

HOFIERKA J., KAŇUK J., GALLAY M., 2014: *Geoinformatika*. Univerzita Pavla Jozefa Šafárika, Košice, 192 s.

H-SAF, ©2017a: (online) [cit. 2017.13.20], dostupné z <<http://hsaf.meteoam.it/>>.

H-SAF, ©2017b: Satellite Application Facility On Support To Operational Hydrology And Water Management (online) [cit. 2017.03.17], dostupné z <<http://hsaf.meteoam.it/documents/news/H-SAF-brochure.pdf>>.

CHONG–YU XU, 2002: Hydrologic models. Uppsala University Department of Earth Sciences Hydrology.

JENÍČEK M., 2005: Možnosti využití srážko-odtokových modelů a malých a středně velkých povodích. In Langhammer J. (ed.): Vliv změn přírodního prostředí povodí a údolní nivy na povodňové riziko. Pff UK, Praha, S. 112-126.

JENÍČEK M., 2012: Klasifikace hydrologických modelů (online) [cit. 2017.03.26], dostupné z <<http://hydro.natur.cuni.cz/jenicek/download.php?akce=dokumenty&cislo=7>>

KADLECOVÁ R., HERRMANN Z., KAŠPÁREK R., VLNAS R., FRYDRYCH V., STIBITZ M., SLAVÍK., MILICKÝ M., OMLMER M., 2010: Sborník geologických věd. Česká geologická služba, 77 s.

KEMEL M., 1996: Klimatologie, meteorologie, hydrologie. ČVUT, Praha, 289 s.

KOHOUT V., 2013: Historie a elementární základy teorie barev III. Školská fyzika 2. S. 41-48.

KULHAVÝ Z., KOVÁŘ P., 2000: Využití modelů hydrologické bilance pro malá povodí. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, Praha, 123 s.

KYSELÝ J., 2015: Atmosférické procesy. (přednáška) Praha: CZU, 2015.

LACINOVÁ, M., 2006: EUMETSAT – Historie a licenční záležitosti (online) [cit. 2016.12.18], dostupné z <<http://www.cmes.cz/cs/node/186>>.

LILLESAND T. M., KIIFER R. W., 1994: Remote sensing and image interpretation. John Wiley & Sons, New York, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore, 750 s.

MACKOVČIN P., 2009: Land use categorization based on topographic maps. Acta Pruhoniciana 91. S. 5–13.

MCLAUGHLIN D., 1995: Recent developments in hydrologic data assimilation. Reviews of Geophysics 33.S2, S. 977-984.

MIKULÁŠEK Z., KRTIČKA J., 2005: Základy fyziky hvězd. ÚTFA PřF MU, Brno, 464 s.

NOAA, ©2013: ASCAT-Advanced Scatterometer (online) [cit. 2017.03.20], dostupné z <<http://www.ospo.noaa.gov/Products/atmosphere/ascats/index.html>>.

PARAJKA J., NAEIMI V., BLÖSCHL G., WAGNER W., MERZ R., SCIPAL K., 2006: Assimilating scatterometer soil moisture data into conceptual hydrologic models at the regional scale. Hydrology and Earth System Sciences Discussions 10.3, S. 353-368.

PAVELKOVÁ CH. R., FRAJER J., 2013: Základy hydrologie. Univerzita Palackého, Katedra geografie, Olomouc, 131 s.

PINKAVOVÁ Š., 2008: Využití metod a dat DPZ při tvorbě KPÚ. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta, Katedra pozemkových úprav, České Budějovice, 63 s. (Diplomová práce). „nepublikováno“.

PIVOT C. F., DUGUAY R.C., BROWN D. R., DUCHIRON B., KERGOMARD C., 2002: Remote sensing of snow cover for climate monitoring in the Canadian subarctic: A comparison between SMMR-SSM/I and NOAA-AVHRR sensors. Proceedings of the Eastern Snow Conference, Stowe, Vermont, USA, S. 15-25.

PLÁNKA L., 2007: Dálkový průzkum Země. Modul 01- Teoretické základy. FAST, VUT, Brno, 71 s.

PŘIBYL T., 2014: Družice, co změnily historii (3): TIROS 1, první meteorologická sonda (1960) (online) [cit. 2016.12.18], dostupné z <http://vesmir.stoplusjednicka.cz/druzice-co-zmenily-historii-3-tiros-1-prvni-meteorologicka-sonda-1960>>.

REEDY M. ANJI, 2008: Textbook Of Remote Sensing And Geographical Information Systems. BS Publications, Centre for Environment Institute of Science and Technology Jawaharlal Nehru Technological University, Kukatpally, India, 476 s.

ROUB T., 2014: Využití dat DPZ pro hydrologické modelování. Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta životního prostředí, Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování, Praha, 58 s. (bakalářská práce). „Nepublikováno“

RUDA A., 2014: Meteorologické prvky a jejich klimatologické charakteristiky (online) [cit. 2017.02.18], dostupné z https://is.muni.cz/do/rect/el/estud/pedf/ps14/fyz_geogr/web/pages/03-prvky.html>.

ŘEZNÍK T., 2008: Úvod do dálkového průzkumu Země (online) [cit. 2016.11.24], dostupné z https://is.muni.cz/el/1431/jaro2008/Z0062/um/5396140/Uvod_do_DPZ.pdf>.

SABINS F. F., 1978: Remote Sensing: Principles and Interpretation. W. H. Freeman, 426 s.

SAINEROVÁ J., 2005: 45 let od vypuštění prvního meteorologického satelitu (online) [cit. 2016.12.18], dostupné z <http://observatory.cz/news/45-let-od-vypusteni-prvniho-meteorologickeho-satelitu.html>>.

SCHMUGEE J. T., KUSTAS P. W., RITCHIE C. J., JACKSON J. T., RANGO A., 2002: Remote sensing in hydrology. Advances in Water Resources 25, S. 1367-1385.

SCHNEBELE E., CERVONE G., 2013: Improving remote sensing flood assessment using volunteered geographical data. Natural Hazards and Earth System Sciences 13.3, S. 669-677.

STARÝ M., 2005: Hydrologie (Modul 01). VUT Brno, 213 s.

SOUKUPOVÁ J., 2009: Atmosférické procesy (základy meteorologie a klimatologie).
ČZU, Fakulta životního prostředí, Praha, 201 s.

SVATOŇOVÁ H., LAUERMANN L., 2006: Dálkový průzkum země z družice.
Katedra geografie PdF MU, Brno, 34 s.

VYSOUDIL M., 2014: Základy fyzické geografie 1: Meteorologie a klimatologie.
Univerzita Palackého, Olomouc, 112 s.

ŽELEZNÝ M., 2007: Dálkový průzkum Země. Katedra kybernetiky, Plzeň, 93 s.

Seznam obrázků:

Obrázek 1: Princip dálkového průzkumu Země (Hlavatý J., 2011: Geoinformatika v hodinách zeměpisu (online) [cit. 2017.02.18], dostupné z

<<http://www.wigym.cz/nv/?p=8463>>.)

Obrázek 2: Schéma radiační bilance Země (Ruda A., 2014: Meteorologické prvky a jejich klimatologické charakteristiky (online) [cit. 2017.02.18], dostupné z

<https://is.muni.cz/do/rect/el/estud/pedf/ps14/fyz_geogr/web/pages/03-prvky.html>.)

Obrázek 3: Schéma elektromagnetické vlny (Vaščák V., 2017: Elektromagnetická vlna (online) [cit. 2017.02.18], dostupné z <<http://www.vascak.cz/?p=2757>>.)

Obrázek 4: Oblasti elektromagnetického spektra (PION, 2017: Elektromagnetické spektrum (online) [cit. 2017.02.18], dostupné z

<<http://www.pion.cz/cs/clanek/elektromagneticke-spektrum>>.)

Obrázek 5: Aktivní a Pasivní metoda (Grind GIS, 2016: Know Basics of Remote Sensing Quickly and Become Expert (online) [cit. 2017.02.18], dostupné z

<<http://grindgis.com/what-is-remote-sensing/know-basics-of-remote-sensing>>.)

Obrázek 6: Koloběh vody v přírodě (Náučný chodník Majdán, 2016: (online) [cit. 2017.03.16], dostupné z <<http://www.horneoresany.sk/naucny-chodnik/naucny-chodnik/les-a-voda>>.)

Obrázek 7: Hydrologické modely podle prostorové diskretizace (Kadlecová a kol., 2010).

Obrázek 8: OSF data (Ocean Surface Wind data) zobrazeny vzestupně v 50 km rozlišení (NOAA, 2013: ASCAT Winds (Online) [cit. 2017.03.25], dostupné z

<<http://www.ospo.noaa.gov/Products/atmosphere/ascat/winds.html>>.)

Obrázek 9: OSF data (Ocean Surface Wind data) zobrazeny sestupně v 50 km rozlišení (NOAA, 2013: ASCAT Winds (Online) [cit. 2017.03.25], dostupné z

<<http://www.ospo.noaa.gov/Products/atmosphere/ascat/winds.html>>.)

Seznam tabulek

Tabulka 1: Závislost Albeda vodního povrchu na výšce slunce nad obzorem (Kyselí J., 2015: Přednáška z Atmosférických procesů, Energie a záření v atmosféře, skleníkový efekt).

Tabulka 2: Produkty ASCAT (NOAA, 2013: ASCAT – Advanced Scatterometer (online) [cit. 2017.03.25], dostupné z <http://www.ospo.noaa.gov/Products/atmosphere/ascat/index.html>.)

Tabulka 3: H-SAF produkty srážek (H-SAF, 2017: PRECIPITATION (online) [cit. 2017.03.25], dostupné z <http://hsaf.meteoam.it/precipitation.php>.)

Tabulka 4: H-SAF produkty půdní vlhkosti (H-SAF, 2017: SOIL MOISTURE (online) [cit. 2017.03.25], dostupné z <http://hsaf.meteoam.it/soil-moisture.php>.)

Tabulka 5: H-SAF produkty sněhové pokrývky (H-SAF, 2017: SNOW (online) [cit. 2017.03.25], dostupné z <http://hsaf.meteoam.it/snow.php>.)

Tabulka 6: Produkty The Global Land Service (Copernicus, 2017: Overview of the product portfolio (online) [cit. 2017.03.26], dostupné z <http://land.copernicus.eu/global/products/>.)