

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta elektrotechnická

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2008

Ladislav Chmela

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta elektrotechnická

Katedra telekomunikační techniky

Automatická analýza meteorologické situace

leden 2008

Diplomant: Ladislav Chmela

Vedoucí práce: Ing. Jaroslav Burčík, Ph.D.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem zadanou diplomovou práci zpracoval sám s přispěním vedoucího práce a konzultanta a používal jsem pouze literaturu v práci uvedenou. Dále prohlašuji, že nemám námitek proti půjčování nebo zveřejňování mé diplomové práce nebo její části se souhlasem katedry.

Datum: 18. 1. 2008

.....
Ladislav Chmela

Poděkování

Děkuji mému vedoucímu, panu Ing. Jaroslavu Burčíkovi, Ph.D., za vstřícnou pomoc a podporu při vzniku této práce. Dále velice děkuji zaměstnanci Štefánikovy hvězdárny, panu Ing. Martinu Fuchsovi, díky kterému jsem se této práci vůbec mohl věnovat. Děkuji rovněž zaměstnancům Českého hydrometeorologického ústavu z Družicového oddělení a z Oddělení radiových měření, kteří mi poskytli družicové a radarové snímky a poradili mi, kudy se v práci ubírat. Mé veliké poděkování patří také mé rodině za nemalou pomoc a podporu během studia.

.....Zadání.....

(Originál v originálu diplomové práce,
oboustranná kopie v kopii diplomové práce)

Anotace

Tato diplomová práce se zabývá tvorbou algoritmu pro automatickou analýzu meteorologické situace. Algoritmus je tvořen pro konkrétní podmínky Štefánikovy hvězdárny v Praze a na základě dat senzorů robotického dalekohledu stanoví zda jsou podmínky vhodné či nevhodné pro pozorování. Programy realizující automatickou analýzu meteorologických dat jsou vytvořeny ve vývojovém prostředí Delphi.

Summary

This diploma theses deals with creating of algorithm for automatic analysis of meteorological situation. The algorithm is formed for specific conditions on the Štefánik Observatory in Prague. It is based on sensors data of robotic telescope and will determine whether the conditions fit or do not fit for observing. Computer programs implement automatic analysis of meteorological data and are created in development environment Delphi.

Klíčová slova

Automatická analýza dat, Zpracování obrazu, Meteorologie.

Keywords

Automatic data analysis, Image processing, Meteorology.

Obsah

Seznam obrázků a tabulek.....	9
Úvod	12
1 Automatická analýza meteorologické situace	13
1.1 Analýza meteorologické situace	13
1.2 Automatická analýza meteorologické situace.....	14
1.3 Systém vyhodnocování okolní meteorologické situace.....	15
1.4 Monitorování meteorologické situace	15
2 MARK – Praktická aplikace automatické analýzy meteorologické situace.....	18
2.1 Senzory okolních podmínek	20
2.1.1 Celooblohová kamera	20
2.1.2 Meteorologická stanice	21
2.1.3 Detektor oblačnosti a srážek	22
2.2 Vstupní data pro vyhodnocení meteorologické situace	23
2.2.1 Snímky z celooblohové kamery.....	24
2.2.2 Radarové snímky	25
2.2.3 Družicové snímky	27
2.2.4 Data z meteorologické stanice	32
2.2.5 Data z detektoru oblačnosti a srážek.....	33
3 Použité metody zpracování obrazu	34
3.1 Barevné modely RBG a YUV	34
3.2 Histogram.....	36
3.3 Matematická morfologie.....	37
3.4 Detekce hran	43
4 Zpracování obrazových dat	45
4.1 Zpracování radarových snímků	45
4.2 Zpracování družicových snímků.....	53
4.3 Zpracování snímků z celooblohové kamery	60
5 Zpracování neobrazových dat	67
5.1 Zpracování dat z meteorologické stanice.....	67
5.2 Zpracování dat z detektoru oblačnosti a srážek	68
6 Algoritmus analýzy meteorologické situace	70
6.1 Zprávy ze zpracování jednotlivých dat.....	70
6.2 Výsledný algoritmus	72
6.3 Slabiny algoritmu a celého systému	74
Závěr	76
Seznam použitých pramenů a literatury	77
Seznam příloh.....	79

Seznam obrázků a tabulek

Seznam obrázků

Obr. 1 MARK – základní složení	18
Obr. 2 Celooblohová kamera	20
Obr. 3 Meteorologická stanice	22
Obr. 4 Detektor oblačnosti a srážek	23
Obr. 5 Ukázka nočních snímků celooblohové kamery	24
Obr. 6 Ukázka radarového snímku	25
Obr. 7 Barevná stupnice odrazivosti, lokace Prahy a radiolokátorů	27
Obr. 8 Reálný pohled na ČR z družice MET-9 (RGB 12-12-9i)	28
Obr. 9 Ukázka družicového snímku, kanál IR10.8	29
Obr. 10 Ukázka družicového snímku, produkt 24MF	30
Obr. 11 Ukázka družicového snímku, produkt NF	31
Obr. 12 Aditivní míchání barev RGB	34
Obr. 13 Příklad barevného modelu YUV, kde $Y = 0,5$	35
Obr. 14 Příklad převodu barevných složek RGB na stupně šedi Y	36
Obr. 15 Histogramy jednotlivých složek z obrázku dalekohledu	36
Obr. 16 Strukturální elementy	38
Obr. 17 Speciální strukturální elementy „mezera“	38
Obr. 18 Aplikace strukturálního elementu „mezera 5“	39
Obr. 19 Aplikace transformace dilatace, strukturální element 2	39
Obr. 20 Aplikace transformace dilatace, element „mezera 2“	40
Obr. 21 Aplikace transformace eroze, strukturální element 2	41
Obr. 22 Aplikace transformace otevření, strukturální element 2	42
Obr. 23 Aplikace transformace uzavření, strukturální element 2	43
Obr. 24 Detekce hrany pomocí eroze	44
Obr. 25 Detekce obalu pomocí dilatace	44
Obr. 26 Hranice významné oblasti a vyznačení Prahy (10×10 km)	45
Obr. 27 Výřez významné oblasti a její převod na binární obraz	46
Obr. 28 Eroze	47
Obr. 29 Dilatace	47

Obr. 30	Uzavření.....	48
Obr. 31	Otevření	49
Obr. 32	Dilatace/uzavření	49
Obr. 33	Optimální postup zpracování radarových snímků	50
Obr. 34	Hranice nebezpečné oblasti	50
Obr. 35	Určení směru pohybu nebezpečné oblasti v čase	51
Obr. 36	Vyznačení střežených oblastí kolem Prahy	52
Obr. 37	Ukázky výpadků dat z radiolokátorů v noci ze 7. na 8.12.2006.....	53
Obr. 38	Hranice významné oblasti a vyznačení Prahy (10×10 km)	54
Obr. 39	Detekované oblasti.....	55
Obr. 40	Vyznačení nalezených objektů	56
Obr. 41	Blížící se oblačnost a „ustupující“ terén dne 4.3.2007	56
Obr. 42	Aplikace metody srovnání a vektorů pohybu	58
Obr. 43	Detekované objekty (terén bíle, vertikálně mohutná oblačnost červeně).....	57
Obr. 44	Významné oblasti obrazu pro informování o blížícím se nebezpečí.....	58
Obr. 45	Ukázka chybových snímků z noci ze 13. na 14.3.2007.....	59
Obr. 46	Geometrie celooblohového snímku	60
Obr. 47	Histogramy vzorku hvězdné oblohy	61
Obr. 48	Histogramy vzorku mraku	61
Obr. 49	Výřez významné oblasti	62
Obr. 50	Práce s významnou oblastí.....	63
Obr. 51	Detekce Měsíce.....	64
Obr. 52	Převod stupně šedi na barevnou stupnici.....	65
Obr. 53	Ukázka optických překážek celooblohové kamery	66

Seznam tabulek

Tab. 1	Exponenciální závislost a intenzity srážek na radiolokační odrazivosti.....	26
Tab. 2	Kanály poskytované přístrojem SEVIRI na družicích MSG	28
Tab. 3	Složení produktu 24MF	30
Tab. 4	Složení produktu NM.....	31
Tab. 5	Ukázka dat z meteorologické stanice.....	32

Tab. 6 Základní směsi ze tří barevných složek RGB	34
Tab. 7 Klíč k identifikaci objektů	55
Tab. 8 Škála hodnot složek červené a šedi.....	62
Tab. 9 Korekce červené a šedé složky v závislosti na velikosti Měsíce.....	65
Tab. 10 Ukázky chybových dat (špatné údaje kurzívou).....	68
Tab. 11 Vnitřní logika detektoru oblačnosti a srážek	69
Tab. 12 Zprávy pro systém z vyhodnocení radarových snímků	70
Tab. 13 Zprávy pro systém z vyhodnocení družicových snímků.....	71
Tab. 14 Zprávy pro systém z vyhodnocení celoblohových snímků.....	71
Tab. 15 Zprávy pro systém z vyhodnocení dat z meteorologické stanice	71
Tab. 16 Zprávy pro systém z vyhodnocení dat z detektoru oblačnosti a srážek.....	72
Tab. 17 Nejjednodušší klíč k rozhodování celého systému	72
Tab. 18 Klíč k rozhodování celého systému	73

Úvod

Cílem této diplomové práce je vytvořit algoritmus pro automatickou analýzu meteorologické situace. Algoritmus bude v budoucnu implementován do systému robotického dalekohledu na Štefánikově hvězdárně v Praze, který je neustále zásoben meteorologickými daty různého druhu. Stěžejním úkolem bude zpracování obrazu, resp. snímků z celooblohové kamery, meteorologické družice a radiolokátoru.

Kontakt se Štefánikovou hvězdárnou jsem navázal již při dřívějším projektu zabývajícím se návrhem systému robotického dalekohledu. Na tento projekt navázala má semestrální práce, která řešila problematiku analýzy celooblohových snímků. Prostředí hvězdárny se mi stalo vědecky přívětivým a táhne mě k němu také můj zájem o astronomii samotnou, neboť já sám jsem amatérským astronomem.

V první kapitole mé diplomové práce je nastíněna problematika automatické analýzy meteorologické situace a jsou popsány metody monitorování počasí.

Druhá kapitola představuje již samotný systém, ve kterém bude výsledný algoritmus použit. Detailně je rozebrána část systému, jež se stará o monitorování okolního stavu počasí, stejně jako jsou popsána meteorologická data, která má systém k dispozici.

Ve třetí kapitole jsou shrnuty použité metody zpracování obrazu, se kterými operuje analýza snímků z celooblohové kamery, radiolokátorů a družice.

Čtvrtá kapitola již dopodrobna uvádí aplikaci metod zpracování obrazu na meteorologická data obrazového charakteru a pátá kapitola se zabývá zpracováním dat číselných.

V poslední kapitole jsou uvedeny varianty celkového algoritmu automatické analýzy meteorologické situace s popisem slabých míst systému a návrhy pro jejich odstranění.

Celý algoritmus byl tvořen s ohledem na hardwarové a softwarové vybavení hvězdárny, což vedlo na složitější použití jednodušších matematických aparátů. Práce přejímá již zavedenou terminologii projektu MARK a všechny zkratky jsou vysvětleny v příloze na konci.

1 Automatická analýza meteorologické situace

Meteorologie (z řečtiny: *meteoron* = vysoko v oblacích, *meteora* = věci nadzemské, *logos* = nauka) je obor zabývající se složením a vlastnostmi atmosféry.¹⁾

Lidé se dívali na oblohu s otázkou, jaké je a jaké bude počasí odnepaměti. Pro vyhodnocení aktuálního stavu počasí jim stačila jejich zkušenost, pro predikci budoucího počasí si navíc pomáhali sledováním určitých rytů přírody, jako je příznačné zbarvení mraků, charakteristický vítr, zvláštní chování živočichů či rostlin apod. Mnoho z těchto pomůcek ještě dnes známe v podobě lidových pranostik, ačkoliv na otázku, jaké bude zítra počasí, hledáme odpověď u profesionálních meteorologů, ať již v tisku, v televizi či na internetu.

1.1 Analýza meteorologické situace

Správná **analýza meteorologické situace** není nikterak jednoduchá věc. Meteorolog musí mít patřičné vzdělání a nutnou dávku zkušeností, aby svoji práci vykonával dobře, čili aby správně rozpoznal, jak je, a s velikou pravděpodobností určit, jak bude. Aby práci meteorologa vykonával stejně dobře nějaký stroj, je požadavek stejně náročný, jako když by měl stroj místo lékaře správně vyšetřit pacienta, přišel na to, co mu je a předpověděl, jak pacientovi bude zítra. Existují sice **numerické modely** předpovědi počasí, ale žádný z nich není 100%. A ty modely, které jsou relativně dostatečně spolehlivé, vyžadují jednak přísun obrovského množství specifických informací, které musí stejně předzpracovat člověk, a také jsou velice náročné na používaný hardware.²⁾

Pozn.: Když je řeč o meteorologických modelech, nelze se nezmínit o známém americkém meteorologovi Edwardu Nortonu Lorenzovi, který u dynamických soustav zavedl pojem chaos právě při snaze o popis konvektivního proudění v atmosféře. Vymyslel soustavu tří jednoduchých nelineárních diferenciálních rovnic (Lorenzovy

¹⁾ *Meteorologie* [online]. Wikipedie, otevřená encyklopedie, 2007 [cit. 2007-12-17]. Dostupné z <http://cs.wikipedia.org/wiki/Meteorologie/>.

Meteorology [online]. Wikipedia, the free encyclopedia, 2007 [cit. 2007-12-17]. Dostupné z <http://en.wikipedia.org/wiki/Meteorology/>.

²⁾ Např. uznávaný numerický model Aladin vyžaduje 8 vektorových procesorů a 64 GB operační paměti. Více o modelu Aladin např. zde: <http://www.chmi.cz/meteo/ov/aladin/>.

rovnice), která vykazovala neočekávaně složité chování v závislosti na hodnotách charakteristických parametrů a názorně demonstrovala nemožnost dlouhodobé předpovědi počasí. Sám Lorenz byl velmi překvapen nestabilitou a chaotickým vývojem tohoto meteorologického modelu, protože s velmi nepatrnými změnami výchozích dat se dostavovaly zcela rozdílné meteorologické výsledky.³⁾

1.2 Automatická analýza meteorologické situace

Platí-li, že správná analýza meteorologické situace není jednoduchá věc, o co více musí platit, že správná **automatická analýza meteorologické situace** už vůbec není jednoduchá věc. Na světě existuje řada vědeckých pracovišť, která pracují bez lidské obsluhy a kvůli citlivosti na počasí provádí automatické vyhodnocení meteorologické situace. Co ale ve světě chybí, je veřejně dostupná odborná literatura, která by se skutečně konkrétně a prakticky k této problematice vyjadřovala, mimo to, že automaticky vyhodnotit počasí je problém. Např. pracovník Hongkongské observatoře, Chi Ming Shun, ve své přednášce o automatickém sběru dat o povětrnostních podmínkách uvádí, že pouze 93 % automaticky vyhodnocených dat odpovídá skutečnému stavu.⁴⁾ Ještě o horších výsledcích referuje Maria Mercedes Maruri z Univerzity v Bilbau. Podle její studie o automatických meteorologických stanicích AWS v Baskicku pouze 87 % získaných dat je správných.⁵⁾

Odpojme se nyní od nezdarů při automatickém vyhodnocování počasí a popišme si, jak by měl vypadat systém, který se stará o **vyhodnocování okolní meteorologické situace**, zejm. z jakých komponent se skládá.

³⁾ HABIBALLA, Hashim. *Umělá inteligence*. Ostrava: Ostravská univerzita, 2004. 81 s. Dostupné z <http://www.volny.cz/habiballa/publ/umint.pdf>, s. 59-60.

⁴⁾ SHUN, Chi Ming. Trial Weather Data Exchange under the New CNS/ATM Systems. In *ICAO's Fifth Meeting of CNS/MET Sub-Group of APANPIRG*. Bangkok, Thailand, 16-20 July 2001. International Civil Aviation Organization, 2001. Dostupné z <http://www.weather.gov.hk/publica/reprint/r435.pdf>.

⁵⁾ MARURI, Maria Mercedes, et al. Automatic Validation of Data from AWS : The Experience of Meteorological Basque Service Network. In *Conferencia Internacional sobre Experiencias con EMA*. Torremolinos, Spain, 19-21 February 2003. Dostupné z <http://www.inm.es/web/sup/ciencia/divulga/3ICEAWS/pdf/t3s15.pdf>.

1.3 Systém vyhodnocování okolní meteorologické situace

Systém vyhodnocování okolní meteorologické situace se stará o zjišťování povětrnostních podmínek a stavu okolí určitého objektu. Na základě nich pak vydává rozhodnutí o možnosti či nemožnosti automatické operace dalších částí objektu, které je nutno chránit před případným nežádoucím počasím. Údaje o počasí je dobré ukládat do databáze pro další statistické zpracování a pro informování administrátorů a uživatelů o aktuálním stavu celého objektu. Vhodným, ne-li nutným, doplňkem lokálních povětrnostních sond a monitorovacích zařízení může být analýza snímků dané oblasti z meteorologických družic a radarů, které pro ČR zajišťuje Český hydrometeorologický ústav (ČHMÚ).⁶⁾

Správná analýza počasí je jedna z nejdůležitějších součástí celého automatizovaného systému, neboť špatné vyhodnocení atmosférických podmínek by mohlo vést k destruktivnímu poškození citlivých a drahých částí objektu.

1.4 Monitorování meteorologické situace

K monitorování meteorologické situace lze použít následujících komponent:⁷⁾

Senzor počasí

Senzorů počasí existuje mnoho typů, liší se způsoby posuzování počasí, kvalitou a cenou. Základními měřenými parametry jsou: směr a rychlost větru, teplota vzduchu a půdy, vlhkost vzduchu, tlak vzduchu, sluneční svit, promrzání půdy, výška základny oblačnosti, výpar vody, množství srážek. Pozorované prvky: horizontální dohlednost, pokrytí oblohy oblačností, charakteristiky oblačnosti, stav a průběh počasí, nebezpečné a zvláštní atmosférické jevy a náhlé změny počasí. Optická měření horizontální dohlednosti, stanovení druhu a intenzity padajících srážek, stanovení jevů snižujících dohlednost (mlha, kouřmo, zákal, kouř), atd.⁸⁾

⁶⁾ Více o ČHMÚ zde: <http://www.chmi.cz/>.

⁷⁾ CEJNAR, Zdeněk, CHMELA, Ladislav, VLÁČIL, Petr, VRÁNA, Jaroslav. *Návrh robotizovaného dalekohledu*. Praha: Elektrotechnická fakulta ČVUT, 2006. 10 s. Semestrální práce, s. 7-8.

⁸⁾ *Základní informace o činnosti oddělení přístrojové techniky* [online]. ČHMÚ, 2005, 10.8.2005 [cit. 2007-12-17]. Dostupné z <http://www.chmi.cz/meteo/opss/opt/>.

Kamera

V systému by neměla chybět lokální kamera směřující na oblohu. Automatické vyhodnocování obrazu ovšem není jednoduché a výsledné resumé je třeba brát s rezervou. Je ovšem dobré instalovat webové kamery namířené na oblohu, do okolí i do interiéru monitorovaného zařízení, abychom měli i přes internet vizuální kontrolu toho, jaký je skutečný stav v objektu a kolem něj.

Meteosat

ČHMÚ využívá snímků z geostacionárních družic MSG (Meteosat druhé generace) poskytovaných organizací EUMETSAT⁹⁾ a snímků z polárních družic NOAA poskytovaných stejnojmennou agenturou.¹⁰⁾ Zpracování dat z družic vyžaduje specializovaný software. Mimo komerční software odkazuje ČHMÚ na svých stránkách také na některé volně šiřitelné, ale přesto velmi kvalitní programy pro práci s družicovými daty. Snímky jsou pořizovány v několika speciálních kanálech (MSG - 12 kanálů, NOAA - 6 kanálů) s různou vlnovou délkou pro co nejrozmanitější informace o atmosférických podmínkách. Data z družic je možno získávat a zpracovávat i bez ČHMÚ, ale vyžaduje to další vybavení (parabolická anténa a minimálně další dva až tři počítače s příslušným softwarem). Zpracování družicových dat zahrnuje převod dat do vhodných fyzikálních jednotek (radiační teplota u tepelných kanálů a odrazivost u solárních kanálů), přeprojektování do geografických projekcí (Evropa, střední Evropa a ČR) a grafickou úpravu výsledných snímků (zlepšení kontrastu, barevné úpravy, vytváření RGB kombinací). Výsledkem jsou obrázky ve formátu jpg, které ČHMÚ distribuuje jak uvnitř ČHMÚ, tak vybraným externím uživatelům.¹¹⁾

Radar

ČHMÚ využívá dvou meteorologických radiolokátorů: pro střední Moravu radar Gematronik na Dražanské vrchovině (vrch Skalky) a pro střední Čechy radar EEC na Brdské vrchovině (vrch Praha). Radary slouží k detekci výrazné srážkové oblačnosti (bouřky do cca 250 km) a mohou být použity pro odhad okamžitých intenzit srážek do cca 150 km od jednotlivých radarů. Princip funkce radaru je založen na zpětném

⁹⁾ Více o evropské organizaci EUMETSAT zde: <http://www.eumetsat.int>.

¹⁰⁾ Více o americké vládní agentuře NOAA zde: <http://www.noaa.gov>.

¹¹⁾ *Družicové oddělení ČHMÚ* [online]. ČHMÚ, 1997-2007, 22.10.2007 [cit. 2007-12-17]. Dostupné z <http://www.chmi.cz/meteo/sat/>.

rozptylu mikrovln (vlnová délka jednotky cm) na vodních kapkách a ledových krystalcích ve srážkách a oblačnosti. Vysílač generuje krátké vysokoenergetické pulsy elektromagnetického vlnění, které anténa vyzařuje v podobě úzkého svazku do atmosféry. Část energie se "odrazí" (přesněji: zpětně rozptýlí) od cílů meteorologických (srážky) či jiných (terén, letadla apod.). Část zpětně rozptýlené energie je zachycena anténou a zpracována přijímačem radaru. Podle polohy antény (azimut, elevace) a času mezi vysláním a příjmem pulsu se určuje poloha cíle. Množství odražené energie je úměrné intenzitě (radiolokační odrazivosti) cíle. Meteorologická měření se skládají z cca 15 ÷ 20 otáček antény v azimutu s proměnným výškovým úhlem (elevací). Tato objemová měření jsou opakována každých 5 ÷ 15 minut. Tvorba sloučené radarové informace ČR z dat radarové sítě ČHMÚ se provádí každých 10 minut centrálně na serveru na pracovišti v Praze-Libuši. Pomocí dat radiolokační odrazivosti z radarů je tedy možno určit odhad srážek. Radarová měření poskytují okamžitý přehled o pohybu a struktuře srážkových systémů, umožňují velmi krátkodobou předpověď (na několik minut až hodin dopředu) a varování před nebezpečnými jevy, spojenými s konvektivní oblačností (bouřky, kroupy apod.).¹²⁾

Senzor oblačnosti

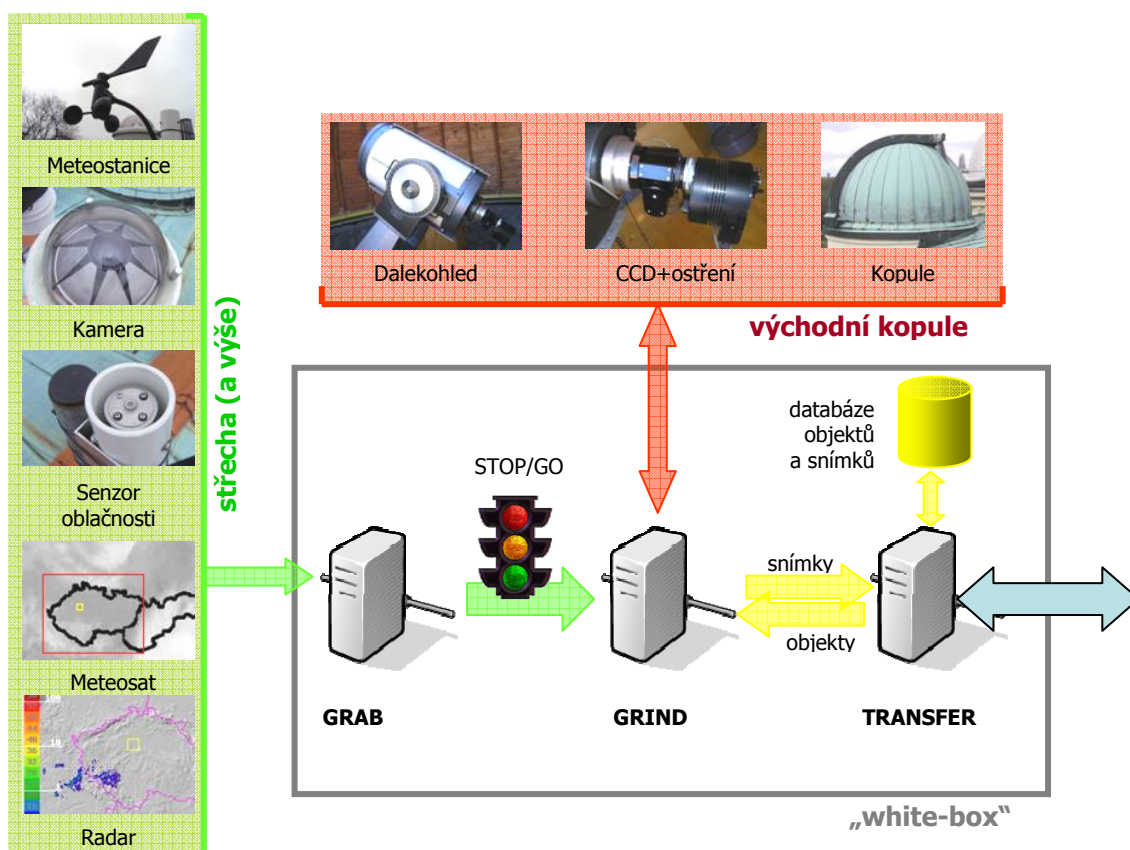
Lokální senzor oblačnosti provádí optická měření pokrytí oblohy oblačností a charakteristik vrstev oblačnosti (množství, výška). Může a nemusí být již součástí senzoru počasí. Také může obsahovat tzv. detektor první kapky. Nejprofesionálnější automatické meteorologické stanice, které v sobě obsahují mj. i senzory oblačnosti i počasí, zajišťují měření a pozorování následujících prvků a jevů: teplota, tlak a vlhkost vzduchu, směr a rychlost větru, charakteristiky oblačnosti, přízemní dohlednost, charakteristiky stavu počasí, množství atmosférických srážek, charakteristiky dna a profilů vodních toků a ploch včetně teploty vody, detekci blesků (atmosférickou elektřinu).

Celkově tedy platí, že informace o počasí musíme mít podložené z co nejvíce zdrojů, pokud možno nezávislých na sobě, lokálních i externích, pracujících na odlišných principech analýzy meteorologických a atmosférických podmínek.

¹²⁾ Oddělení radarových měření ČHMÚ [online]. ČHMÚ, 1997-2007, 14.8.2007 [cit. 2007-12-17]. Dostupné z <http://www.chmi.cz/meteo/rad/>.

2 MARK – Praktická aplikace automatické analýzy meteorologické situace

Na Štefánikově hvězdárně¹³⁾ je uváděn do provozu projekt **MARK** (Malý Autonomní Robotický telesKop),¹⁴⁾ jehož cílem je automatické pozorování oblohy plně robotickým dalekohledem, tedy čapkovsky: „dalekohledem, který pozoruje sám“. Samotný robotický dalekohled je ovšem jen špičkou ledovce, jímž je celý systém MARK tvořený třemi hlavními částmi: kopulí s dalekohledem, senzory pozorovacích podmínek a výpočetním centrem se třemi servery (Obr. 1).



Obr. 1 MARK – základní složení.¹⁵⁾

Servery jsou určeny pro zpracování dat z čidel, řízení kopule, dalekohledu a kamery, zprostředkování komunikace s okolním světem a ukládání dat. Zabezpečené

¹³⁾ Štefánikova hvězdárna se nachází v Praze na Petříně, více zde: <http://obsezvatory.cz>.

¹⁴⁾ FUCHS, Martin. *Robotický dalekohled MARK* [online]. Praha: Štefánikova hvězdárna, 2000-2007 [cit. 2007-12-19]. Dostupné z <http://observatory.cz/mark/>.

¹⁵⁾ Zdroj: FUCHS, Martin. *MARK*. Praha, Štefánikova hvězdárna: 2005, s. 7. Dostupné z <http://observatory.cz/mark/download/mark.pps>.

internetové připojení pak umožňuje dálkové ovládání a řízení pozorovacích programů. Pomyslnou čtvrtou část tvoří již samotný uživatel, který se může nacházet kdekoli na světě u počítače připojeného k internetu. Vlastní montáž dalekohledu (Schmidt-Cassegrain Meade LX200 s průměrem objektivu 406 mm a ohniskovou vzdáleností 4,060 m) je umístěna ve východní motorizované kopuli Štefánikovy hvězdárny o průměru 5 m. Senzory pozorovacích podmínek jsou nainstalovány především na střeše budovy v těsné blízkosti kopule. Výpočetní centrum s počítači (3 servery Pentium 4, 2,8 GHz, operační systém Windows XP Professional), jimiž je systém řízen, se nachází v předsáli východní kopule.

První počítač, **GRAB**, pomocí softwaru **MCM** (Mark Condition Monitor) zajišťuje sběr dat z čidel, analýzu meteorologických dat a provedení algoritmu vyhodnocení podmínek. Vstupem jsou tedy data o okolních podmínkách ze senzorů a výstupem data pro MCP (STOP/GO – smí-li se pozorovat) a data pro MFE (tedy pro uživatele).

Druhý počítač, **GRIND**, pomocí softwaru **MCP** (Mark Control Panel) zajišťuje řízení dalekohledu (řízení pohybu dalekohledu, najíždění na souřadnice, kalibraci, parkování), pořizování snímků (ovládání CCD kamery, ostření obrazu, nastavování filtrů, zpracování a ukládání dat), ovládání kopule (otáčení kopulí, kalibrace, parkování, ovládání štěrbin) a řízení napájení komponent dalekohledu (zapínání/vypínání dalekohledu, kamery, čidel, motorů kopule). Vstupem je program pozorování dodaný plánovacím modulem MFE a STOP/GO signál z MCM a výstupem jsou pořízené snímky z CCD kamery ukládané na třetí server a zápis o výsledcích pozorování do databáze pozorovacích programů MFE.

Třetí počítač, **TRANSFER**, pomocí softwaru **MFE** (Mark Front End) zajišťuje zadávání pozorování (organizace pozorovacích programů, zadávání seznamů objektů k pozorování, definice parametrů pro snímky), plánování programu na úrovni systému (plánování v automatickém režimu), plánování na úrovni uživatele (dlouhodobé plánování pozorování) a datové služby. Vstupem jsou instrukce uživatelů a výstupem data o pozorovaném objektu.

Jelikož se tato práce zabývá právě algoritmem pro software MCM starající se o vyhodnocování meteorologických dat, v další části následuje přehled senzorů okolních podmínek, jimiž je systém MARK vybaven, a dat, která má MCM k dispozici.

2.1 Senzory okolních podmínek

Jelikož má být systém MARK plně automatický, je nutné jej vyzbrojit také senzory a čidly okolních podmínek. Kdyby se totiž např. otevřela kopule za deště, došlo by ke zničení velmi drahého zařízení. Systém MARK využívá dat z profesionální meteorologické stanice, která poskytuje základní údaje o teplotě, tlaku vzduchu, vlhkosti, srážkách, síle větru a intenzitě Slunečního záření. Dále systém obsahuje detektor oblačnosti a srážek, který určuje zda je obloha zatažená či jasná. Součástí detektoru oblačnosti je i detektor první kapky. Systém rovněž zpracovává externí data, jež poskytuje ČHMÚ. Konkrétně jde o meteorologické snímky družic, radarové snímky oblačnosti a srážek nad ČR. Pro další způsob zabezpečení je systém doplněn o celooblohovou kameru.

2.1.1 Celooblohová kamera

Celooblohová kamera je založena na digitálním fotoaparátu Olympus 5060WZ. Optika fotoaparátu je tvořena 8 členy v 7 skupinách, 2 asférickými čočkami a ED členem. Ohnisková vzdálenost je 5,2 – 22,9 mm. Obrazový snímač je 1/1,8" CCD s rozlišením 5,13 MPX (efektivní počet pixelů je 5,10 milionů).¹⁶⁾



Obr. 2 Celooblohová kamera.¹⁷⁾

¹⁶⁾ Více o fotoaparátu Olympus 5060WZ zde: http://www.olympus.cz/consumer/29_C-5060_WideZoom.htm.

¹⁷⁾ Zdroj: FUCHS, Martin. *MARK – senzory pozorovacích podmínek* [online]. Štefánikova hvězdárna, 2000-2007 [cit. 2007-12-19]. Dostupné z <http://observatory.cz/mark/senzory.php>, foto Ing. Martin Fuchs, dostupné z <http://observatory.cz/mark/img/celooblohovka.jpg>.

Díky širokoúhlé předsádce je zorné pole cca 120°, čili při objektivu směřujícím kolmo k nebi lze na jediném snímku zachytit celou oblohu. Primárním úkolem celooblohové kamery je sledovat stav oblohy, tedy atmosféry Země v místě nad hvězdárnou. Sekundárním využitím by mohlo být pozorování vesmírných těles, např. meteorů nebo družic, ale dané rozlišení je pro tuto astronomickou funkci nedostačující.

Kamera je propojena s GRABem prostřednictvím rozhraní USB Auto Connect a komunikace s MCM probíhá za využití speciálního SDK (Software Development Kit) fotoaparátu. Napájení probíhá přes DC konektor ze síťového adaptéru.

Na Obr. 2 je vidět rybí předsádka nad kamerou a také skleněný kryt, který tvoří vodotěsnou, ale průhlednou, ochranu před deštěm. Fotoaparát tedy může operovat za každého počasí, ovšem problém nastává, je-li skleněný poklop pokryt vrstvou ranní rosy či dešťových kapek nebo dokonce vrstvou námrazy či napadaného sněhu. Již při řešení dřívějšího projektu¹⁸⁾ bylo navrženo instalovat pod kryt vytápění, které by v zimě odstranilo námrazu i sníh, ale problém byl prozatím oddálen ignorováním snímků kamery při detekci námrazy.

2.1.2 Meteorologická stanice

Dalším lokálním senzorem systému MARK je meteorologická stanice Davis Vantage Pro2¹⁹⁾ umístěná stejně jako celooblohová kamera na střeše hvězdárny (Obr. 3).

Tato profesionální meteorologická stanice se skládá z několika částí. Venkovní ISS (Integrated Sensor Suite) část tvoří kompaktní celek anemometru (větroměru), srážkoměru, senzoru teploty a vlhkosti, UV a solárního senzoru. Venkovní senzor teploty a vlhkosti je zabudován v tzv. FARS (Fan-Aspirated Radiation Shield) s aktivním větrákem poháněným solárním článkem. Ten zajišťuje optimální obtékání senzoru okolním vzduchem a eliminuje tak negativní vliv dopadu přímých slunečních paprsků na stanici a zároveň zpřesňuje měření teploty a vlhkosti. Proto stanice nemusí být nutně umístěna trvale ve stínu (např. v meteorologické budce), ale může být pod širým nebem přímo na střeše hvězdárny. Další částí je vnitřní konzole, která data ze senzorů stanice sbírá, vyhodnocuje a zobrazuje na přehledném display, kde lze vyčíst spoustu informací. Od grafického znázornění historie každé měřené hodnoty prakticky

¹⁸⁾ CHMELA, Ladislav. *Analýza snímků z celooblohové kamery*. Praha, 2007. 16 s. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická. Dostupné z <http://www.observatory.cz/mark/download/chmela.pdf>.

¹⁹⁾ Více o stanici Davis Vantage Pro2 zde: <http://www.davisnet.com/weather/products/vantage2.asp>.

po čtvrt hodině a hodině, až po jednotlivých dnech, měsících a rocích nazpátek, obrázkové symboly aktuální předpovědi a momentálních srážek, zobrazení velice přesné hodnoty pocitové teploty povrchu lidského těla, výpočty desetiminutových průměrů rychlosti větru, maxima a minima za zvolená časová období, trend tlaku vzduchu až po slovní předpověď počasí.²⁰⁾



Obr. 3 Meteorologická stanice.²¹⁾

Vnitřní konzole se nachází ve výpočetním centru systému MARK a je propojena s počítačem GRAB pomocí sériové linky. MCM načítá pořízená data z paměti stanice a ukládá je do přehledných logů.

2.1.3 Detektor oblačnosti a srážek

Posledním senzorem umístěným na střeše hvězdárny je detektor oblačnosti a srážek Boltwood Cloud Sensor (Obr. 4) firmy Diffraction Limited,²²⁾ který na základě rozdílu úrovně IR vyzařování oblohy a země (střechy hvězdárny) určuje, zda je obloha zatažená či jasná. Komunikace s GRABem probíhá opět pomocí sériové linky. Součástí senzoru je i „detektor první kapky“, jakožto varovného signálu oznamujícího náhlý déšť či přeháňku. Senzor zajišťuje detekci oblačnosti, srážek a kondenzaci vody pomocí vnitřně vyhřívaného čidla, které stanoví čas odpaření vlhkosti. Spadne-li na toto čidlo

²⁰⁾ KALINA, Jiří, PEŠEK, František. *Meteostanice* [online]. Amatérská meteostanice Počátky, c2006 [cit. 2007-12-19]. Dostupné z <http://meteo-jirkalina.com/wx32.php>.

²¹⁾ Zdroj: FUCHS, Martin. *MARK*. Praha, Štefánikova hvězdárna: 2005, s. 8. Dostupné z <http://observatory.cz/mark/download/mark.pps>.

²²⁾ Více o senzoru Boltwood Cloud Sensor zde: http://www.cyanogen.com/products/cloud_main.htm.

kapka, vyhřívání se zapne naplno. Detektor umožňuje použít vlastní algoritmus, jehož výstupem jsou čtyři stavy: jasno, oblačno, zataženo a déšť.



Obr. 4 Detektor oblačnosti a srážek.²³⁾

2.2 Vstupní data pro vyhodnocení meteorologické situace

Jak již bylo výše popsáno, počítač GRAB pomocí programu MCM zajišťuje sběr a vyhodnocování dat ze tří senzorů lokálních (celooblohové kamery, meteorologické stanice a detektoru oblačnosti a srážek) a dvou externích (družice a radar). Jedná se tedy o data charakteru obrazového (snímky z celooblohové kamery, radarové a družicové snímky) i „textového“ (data z meteorologické stanice a z detektoru oblačnosti a srážek).

S přístupem hvězdárny k lokálním datům není žádný netechnický problém, neboť jejich autorem je fyzicky i právně právě ona hvězdárna. Problém je ovšem s daty externími, tedy s radarovými a družicovými snímky. ČHMÚ poskytuje meteorologická data nejenom na svých veřejných, ale také na svých privátních webových stránkách. Tyto stránky se od veřejných liší počtem druhů meteorologických dat, jejich kvalitou a aktuálností. Důvodem pro privátní přístup jsou jednak vnitřní předpisy ČHMÚ, ale také, pokud jde o snímky z družic MSG, hraje zde určující roli přísná datová politika organizace EUMETSAT,²⁴⁾ která si svá data bedlivě hlídá a nechá si za ně platit nemalé částky. Jediným zástupcem EUMETSATu pro ČR je ČHMÚ. Štefánikova hvězdárna je, stejně jako Hvězdárna Dáblice, součástí organizace Hvězdárna a planetárium hlavního

²³⁾ Zdroj: FUCHS, Martin. *MARK – senzory pozorovacích podmínek* [online]. Štefánikova hvězdárna, 2000-2007 [cit. 2007-12-19]. Dostupné z <http://observatory.cz/mark/senzory.php>, foto Ing. Martin Fuchs, dostupné z <http://observatory.cz/mark/img/mraky.jpg>.

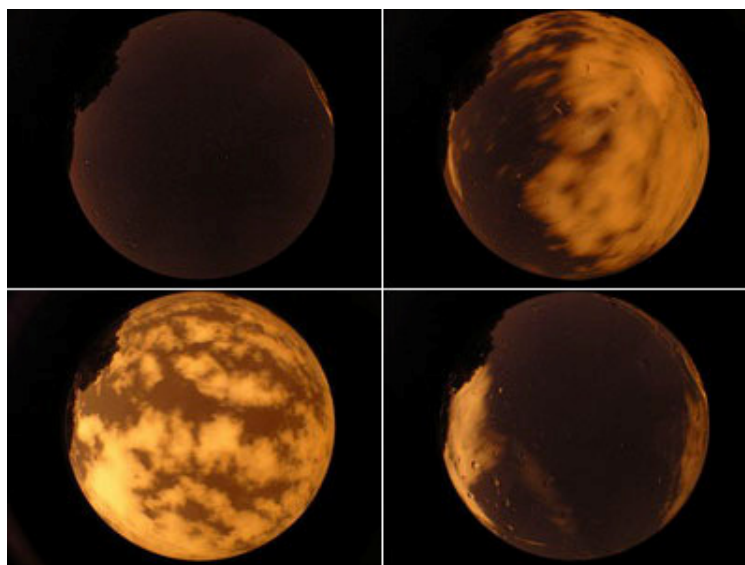
²⁴⁾ Více o datové politice organizace EUMETSAT zde: http://www.eumetsat.int/Home/Basic/Legal_Information/SP_LEGAL_DATA_POLICY.

města Prahy (HaP), jejímž zřizovatelem je hlavní město Praha. Tato hierarchie má své výhody i nevýhody. Organizace HaP (a s ní tedy i Štefánikova hvězdárna) patří mezi vybrané VIP vědecké pracoviště, kterým ČHMÚ poskytuje chráněná meteorologická data na svých privátních webových stránkách. Není však pravdou, že má Štefánikova hvězdárna na tyto stránky skutečně přístup. Více zde rozebírat daný netechnický problém není posláním této práce.

2.2.1 Snímky z celooblohové kamery

Fotoaparát pořizuje snímky čtyřikrát do hodiny a to již od září 2005, ovšem s mnohými pauzami způsobenými laděním celého systému nebo samotné kamery. Např. od srpna 2006 do srpna 2007 je v databázi MARK uloženo téměř 15 tisíc snímků, což je ale jen 40 % z celkového teoretického počtu 35 tisíc. Přesto se jedná o dostačující vzorek pro tvorbu univerzálního algoritmu k analýze jakéhokoli snímku kamery.

Ačkoliv výstupem celooblohové kamery jsou snímky v rozlišení 1944×2592 pixel, pro návrh algoritmu jejich analýzy je použito redukované a plně dostačující velikosti 800×600 pixel. K dispozici jsou sice i denní snímky, ovšem předmětem zkoumání této práce jsou pouze snímky noční oblohy, neboť robotický dalekohled, kterému bude analýza sloužit, je určen pouze pro noční pozorování. Analýza denních snímků bude do systému implementována až později. Na Obr. 5 jsou příklady nočních celooblohových snímků.



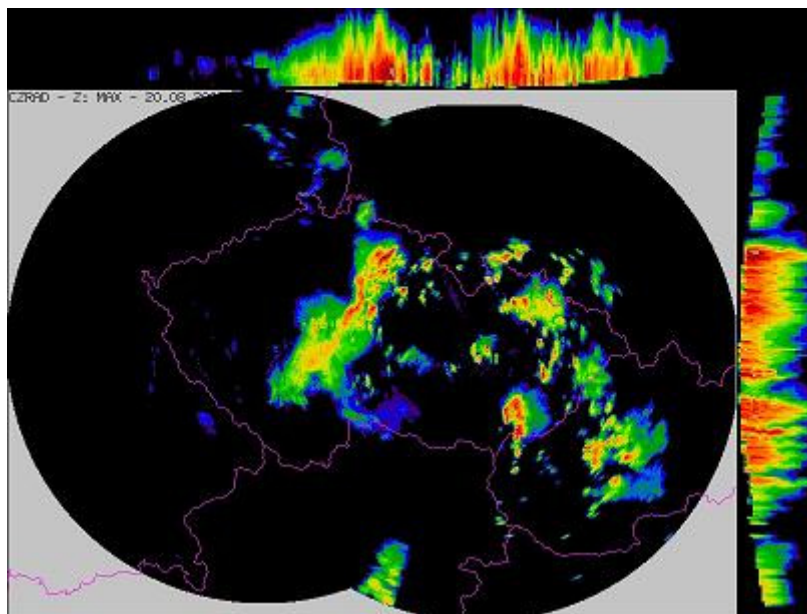
Obr. 5 Ukázka nočních snímků celooblohové kamery.²⁵⁾

²⁵⁾ Zdroj: Archiv dat projektu MARK, Štefánikova hvězdárna.

V zorném poli celooblohové kamery není pouze nebe. Na snímcích lze pozorovat také vršky stromů (vlevo a nahoře) a část vedlejší kopule (vpravo). Tyto objekty je nutno nezahrnovat do analýzy snímku, neboť by mohlo dojít ke zkreslení výsledku. Při konkrétním řešení je tedy nutné tyto objekty ze snímku vymazat, nebo řešení aplikovat pouze na konkrétní oblast snímku zahrnující pouze oblohu.

2.2.2 Radarové snímky

Jak již bylo popsáno v části 1.4, ČHMÚ využívá k sestavení radarových snímků dvou meteorologických radiolokátorů umístěných ve středu Moravy a ve středu Čech. Snímky mají velikost 810×610 pixelů, ovšem jak je vidět na Obr. 6, jde o složení tří obrázků (80×80 pixelů vpravo nahoře je nevyužito). V horních 730×80 a bočních 80×530 pixelech jsou zobrazeny dvě boční (horizontální) projekce maximálních odrazivostí ve směrech sever-jih a východ-západ. Vertikální rozlišení bočních průmětů je 0,5 km do výšky 14 km. Vlastní mapa ČR a nejbližšího okolí je zobrazena pomocí vertikálního průmětu maxim odrazivosti do horizontální roviny s horizontálním rozlišením 1×1 km (1 pixel odpovídá ploše 1 km²).



Obr. 6 Ukázka radarového snímku.²⁶⁾

Snímek je generován jen do vzdálenosti 256 km od obou radarů, přičemž spolehlivý odhad okamžitých intenzit srážek lze provést jen pro oblasti od cca 20 až

²⁶⁾ Zdroj: Archiv dat Oddělení radiových měření, ČHMÚ.

150 km od radarů. Ve větších vzdálenostech (nad cca 150 km) totiž nelze vlivem zakřivení zemského povrchu pozorovat odrazy z malých výšek a naopak nejvyšší elevační úhel použitý při měření omezuje viditelnost horních částí oblačnosti v těsné blízkosti radarů (do cca 20 km).

Radarové informace jsou převedeny do barevné škály pomocí maxim radiolokační odrazivosti Z . Radiolokační odrazivost Z lze určit pomocí radarové rovnice (ve zjednodušeném tvaru):

$$P_R = P_T(Z/R^2),$$

kde P_R značí přijatý výkon, P_T představuje meteorologický potenciál radaru (přístrojová konstanta) a R je vzdálenost cíle. Jednotkou odrazivosti je $1 \text{ mm}^6\text{m}^{-3}$, pro praktické účely se ale užívá logaritmická jednotka dBZ, kde:

$$Z[\text{dBZ}] = 10 \cdot \log(Z[\text{mm}^6\text{m}^{-3}]),$$

tedy 0 dBZ odpovídá $Z = 1 \text{ mm}^6\text{m}^{-3}$. Na radarovém snímku je 256 stupňů intenzit dBZ (od -32 dBZ s krokem 0,5 dBZ).

Měřená radiolokační odrazivost Z má přímý vztah k okamžité intenzitě srážek I v daném místě, který vyjadřuje Marshall-Palmerův vzorec ve tvaru:

$$Z = a \cdot I^b,$$

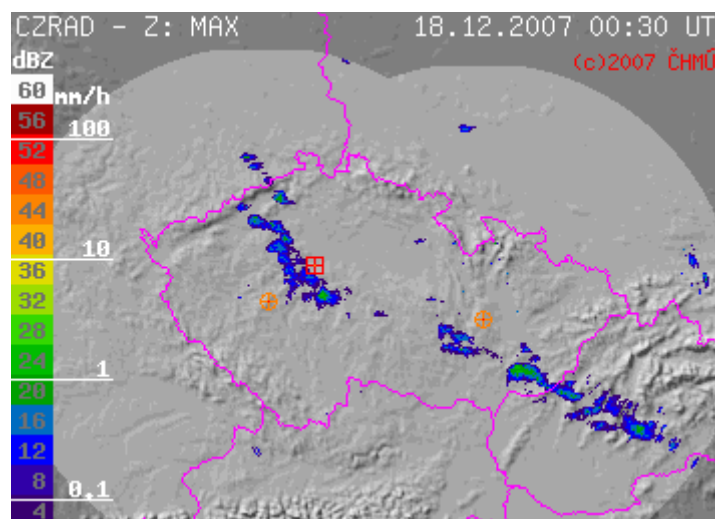
s experimentálně zjištěnými konstantami (např. $a = 200$, $b = 1,6$). Pro přibližný přepočítání odrazivosti na intenzitu srážek platí exponenciální závislost naznačená v Tab. 1.

Z [dBZ]	7	23	39	55
I [mm/h]	0,1	1	10	100

Tab. 1 Exponenciální závislost a intenzity srážek na radiolokační odrazivosti.²⁷⁾

²⁷⁾ Zdroj: *Meteorologické radiolokátory* [online]. ČHMÚ, 1997-2007, 14.8.2007 [cit. 2007-12-17]. Dostupné z <http://www.chmi.cz/meteo/rad/index.html>.

Podrobnější závislost lze vyčíst z Obr. 7 i s barevnou reprezentací. Snímek je převzat z veřejných stránek ČHMÚ, čili je Oddělením radarového měření doplněn mimo barevnou stupnici také o nastínění terénu. Pro ilustraci znázorňují i polohu Prahy a obou meteorologických radiolokátorů na Brdské i Drahanské vrchovině.



Obr. 7 Barevná stupnice odrazivosti, lokace Prahy a radiolokátorů.²⁸⁾

2.2.3 Družicové snímky

Jak již bylo popsáno v části 1.4, ČHMÚ využívá snímků z geostacionárních družic MSG (EUMETSAT) a snímků z polárních družic NOAA. Pro účely projektu MARK jsou využívány snímky z družice MSG Meteosat 9 (MET-9). Tato družice se nachází nad Guinejským zálivem a obsahuje přístroj SEVIRI, který Zemi snímá ve 12 speciálních kanálech s různou vlnovou délkou pro co nejrozsáhlejší informace o atmosférických podmínkách. Kanály jsou uvedeny v Tab. 2, přičemž jejich značení je podle oblasti elektromagnetického spektra a vlnové délky (v μm) na kterých operují.

V Tab. 2 jsou schválně zvýrazněny kanály, kterými se budeme zabývat dále, neboť jsou z nich složeny tři produkty, jež má MARK k dispozici. Jde o tzv. window channels, neboť jejich vlnové délky se nachází v atmosférických oknech.²⁹⁾

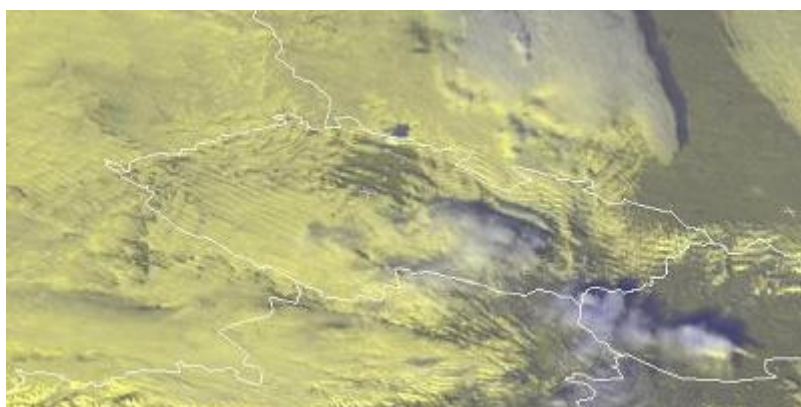
²⁸⁾ Zdroj: Veřejný archiv dat Oddělení radiových měření, ČHMÚ. Dostupné z <http://www.chmi.cz/meteo/rad/data/0712180030.gif>.

²⁹⁾ Více o těchto kanálech zde:

http://oiswww.eumetsat.org/WEBOPS/msg_interpretation/PowerPoints/Channels/Channel_IR39.ppt,
http://oiswww.eumetsat.org/WEBOPS/msg_interpretation/PowerPoints/Channels/windowguide.ppt.

Číslo kanálu	Označení kanálu	Poznámka
1	VIS0.6	solární kanály
2	VIS0.8	
3	NIR1.6	
4	IR3.9	atmosférické okno
5	WV6.2	absorpce vodní páry
6	WV7.3	
7	IR8.7	atmosférické okno
8	IR9.7	absorpce ozónu
9	IR10.8	atmosférické okno
10	IR12.0	
11	IR13.4	absorpce CO ₂
12	HRV	solární kanál, vysoké rozlišení

Tab. 2 Kanály poskytované přístrojem SEVIRI na družicích MSG.³⁰⁾



Obr. 8 Reálný pohled na ČR z družice MET-9 (RGB 12-12-9i).³¹⁾

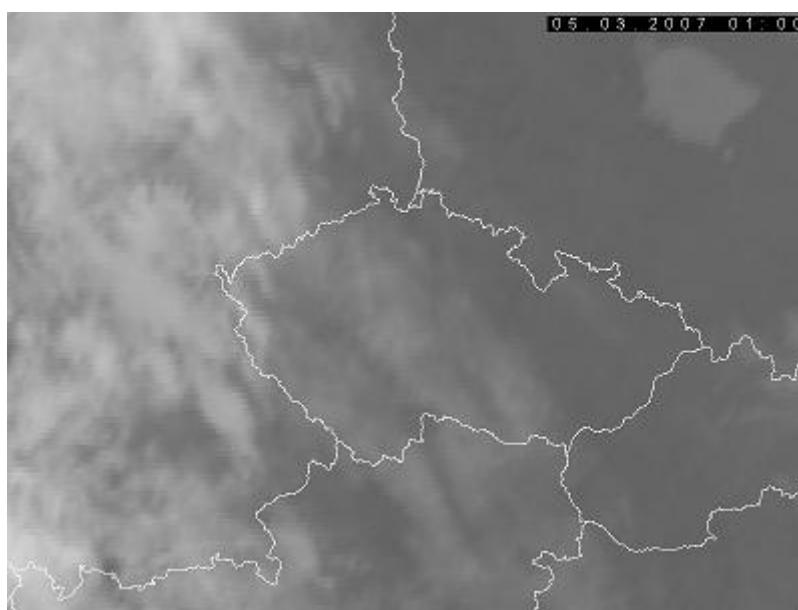
Obr. 8 ukazuje, že na jeden reálný pixel připadá plocha cca 0,5 km² (1 km od západu k východu a 0,5 km od severu k jihu). Družicové snímky níže jsou již upraveny podle geografických map (osa *z* je kolmá k pozorovateli) a ačkoli vykazují rozlišení 1 pixel na 1 km², opravdová informace v jednom takovém pixelu je poloviční. Velikost družicových snímků níže je 800×600 pixelů.

³⁰⁾ Zdroj: *MSG - Meteosat druhé generace : Interpretace kanálů SEVIRI* [online]. Český hydrometeorologický ústav, c2005-2007, 2.1.2007 [cit. 2007-12-13]. Dostupné z <http://www.chmi.cz/meteo/sat/msg/msg07.html>.

³¹⁾ Zdroj: Veřejný archiv dat EUMETSATu. Dostupné z <http://oiswww.eumetsat.org/IPPS/html/DerivedProducts/MSG2/EVIEW/SEGMENT15/index.htm>.

IR BT (kanál IR10.8)

IR BT je označení pro infračervený snímek zpracovaný z dat kanálu IR10.8 v tepelném pásmu atmosférického okna. Zobrazuje radiační teplotu od -80 do $+50^{\circ}\text{C}$ a je použitelný 24 hodin denně. Čím světlejší odstín, tím je teplota nižší. Obvykle platí, že zemský povrch je teplejší než oblačnost, ale rozmezí teplot během roku je příliš velké, než aby se dala stanovit nějaká hranice. Téměř s jistotou se dá mluvit o oblačnosti, pokud je teplota pod -30°C , ale např. nízkou oblačnost nelze téměř rozeznat, neboť rozdíl její teploty oproti povrchu je cca 0 až 5°C . Důležitější než absolutní hodnota teploty je spíše kontrast mezi teplejší zemí a chladnější oblačností.



Obr. 9 Ukázka družicového snímku, kanál IR10.8.³²⁾

24 hodinový mikrofyzikální produkt „Dust“ (24h-MF, 24MF)

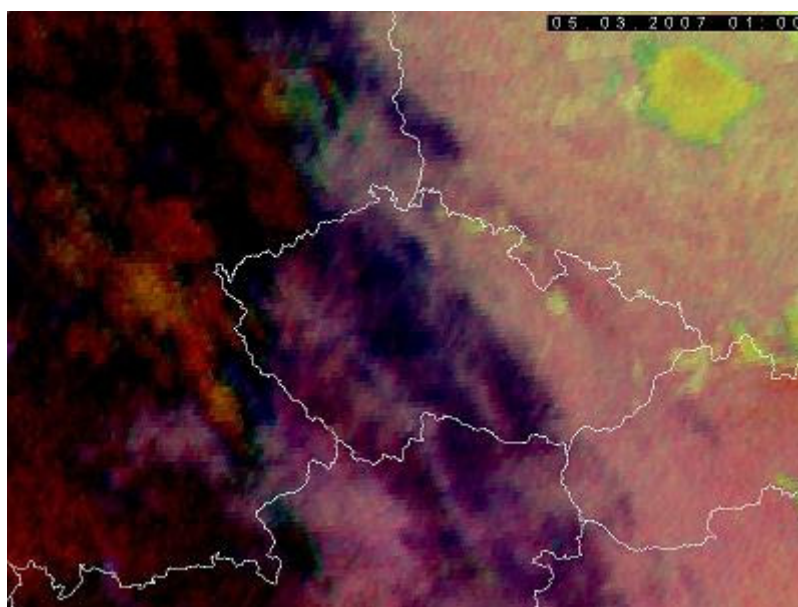
24MF je celodenní mikrofyzikální produkt kombinující informace z termálních kanálů. Jak ukazuje Tab. 3, v červené složce je rozdíl kanálů IR12.0 a IR10.8; čím je oblačnost vertikálně mohutnější, tím je příspěvek červené barvy vyšší. V zelené složce je rozdíl kanálů IR10.8 a IR8.7; největší příspěvek je pro nízkou oblačnost tvořenou drobnými kapičkami. V modré složce je kanál IR10.8; čím je objekt teplejší, tím je vyšší příspěvek modré barvy.

³²⁾ Zdroj: Archiv dat Družicového oddělení, ČHMÚ.

Barevná složka	Kanály	Teplota [°C]		Gamma
		od	do	
Red	IR12.0 - IR10.8	-277	-271	1.0
Green	IR10.8 - IR8.7	-273	-258	2.5
Blue	IR10.8	-12	+16	1.0

Tab. 3 Složení produktu 24MF.³³⁾

V takto zvolené kombinaci je vertikálně mohutná oblačnost zobrazena tmavě červeně, řídké cirry tmavě modře, střední a nízká oblačnost okrově, nejnižší oblačnost přechází přes žlutou až do zelena. Terén se jeví podle teploty do růžova (pokud je chladný) nebo do modra (pokud je teplý). Vodní hladina je modrá.

Obr. 10 Ukázka družicového snímku, produkt 24MF.³⁴⁾

Produkt 24MF je sice použitelný 24 hodin denně, ale během dne (a také během roku) se v závislosti na teplotě mění barevná reprezentace terénu. Zvláštností tohoto produktu je schopnost detekovat prашné (písečné) bouře, které jsou jasně růžové. To je sice pro ČR dost výjimečný jev, ale díky této zvláštnosti je produkt 24MF též označován jako „Dust“.

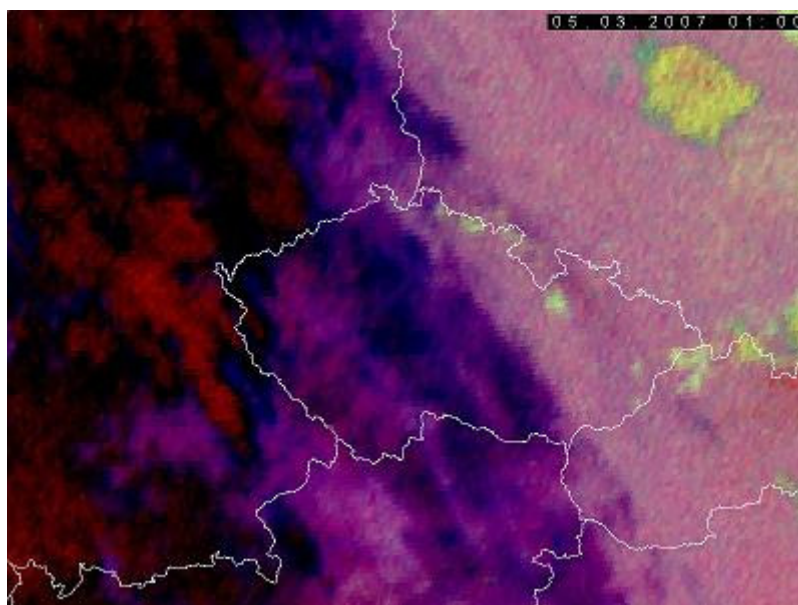
³³⁾ Zdroj: KERKMANN, Jochen. *Applications of Meteosat Second Generation (MSG) : RGB Images: Part4, RGB Composites with Channels 01-11 and Their Interpretation*. EUMETSAT, 2005, s. 63. Dostupné z http://oiswww.eumetsat.org/WEBOPS/msg_interpretation/PowerPoints/Channels/rgbpart04_20050420.ppt.

³⁴⁾ Zdroj: Archiv dat Družicového oddělení, ČHMÚ.

Noční mikrofyzikální produkt (NM)

NM je mikrofyzikální produkt určený speciálně a pouze pro noční snímky. Jak ukazuje Tab. 4, v červené složce je rozdíl kanálů IR12.0 a IR10.8; čím je oblačnost vertikálně mohutnější, tím je vyšší příspěvek červené barvy. V zelené složce je rozdíl kanálů IR10.8 a IR3.9; čím je rozdíl emisivity v těchto kanálech větší, tím je větší příspěvek zelené barvy, přičemž nejvyšší rozdíl je pro nízkou oblačnost tvořenou drobnými kapičkami, tedy především mlhy. V modré složce je pouze kanál IR10.8; vše pod -30°C je černé, čím je objekt teplejší, tím je vyšší příspěvek modré barvy).

Barevná složka	Kanály	Teplota [$^{\circ}\text{C}$]		Gamma
		od	do	
Red	IR12.0 - IR10.8	-277	-271	1.0
Green	IR10.8 - IR3.9	-273	-263	1.0
Blue	IR10.8	-30	+20	1.0

Tab. 4 Složení produktu NM.³⁵⁾Obr. 11 Ukázka družicového snímku, produkt NF.³⁶⁾

³⁵⁾ Zdroj: KERKMANN, Jochen. *Applications of Meteosat Second Generation (MSG) : RGB Images: Part4, RGB Composites with Channels 01-11 and Their Interpretation*. EUMETSAT, 2005, s. 51. Dostupné z http://oiswww.eumetsat.org/WEBOPS/msg_interpretation/PowerPoints/Channels/rgbpart04_20050420.ppt.

³⁶⁾ Zdroj: Archiv dat Družicového oddělení, ČHMÚ.

V takto zvolené kombinaci je vertikálně mohutná oblačnost zobrazena červeně, řídké cirry tmavě modře, střední až nízká oblačnost okrově, mlhy a nejnižší oblačnost světle zeleně, vodní hladina světle modře, terén růžově.

Produkty 24MF a NM jsou si blízké kombinací kanálů i vzhledem, ale produkt NM je použitelný pouze v noci. Po východu slunce se vzhled snímku výrazně mění a většina detailů zaniká (celý snímek je víceméně v odstínech růžové). Velikou výhodou tohoto produktu ale je, že **terén má víceméně stále stejnou barvu**.

2.2.4 Data z meteorologické stanice

Data z meteorologické stanice Davis Vantage Pro2, o které bylo pojednáno v části 2.1.2, jsou zpracovávána každou minutu a jejich průběh je zaznamenáván do souvislých řad. Pro systém MARK jsou v souvislosti s jeho bezpečným chodem prozatím vyhodnocovány pouze informace o síle a směru větru a vlhkosti vzduchu. Archivovány jsou však kompletní sady hodnot naměřených veličin. Dlouhodobě jsou pro program MCM zaznamenávány tyto veličiny:

- venkovní teplota [°C],
- tlak vzduchu [hPa],
- rychlost větru [m/s],
- směr větru [°] (0° sever – jižní vítr, 90° východ – západní vítr),
- vlhkost vzduchu [%],
- úhrn srážek [mm],
- sluneční výkon [W/m²],
- index UV záření [Index].

Teplota [°C]	Tlak [hPa]	Vítr [m/s]	Směr v. [°]	Vlhkost [%]	Děšť [mm]	Slunce [W/m ²]	UV [Index]
15.5	1002.2	0.0	29.0	93.0	2.0	0.0	0.0
15.5	1002.2	0.0	30.0	93.0	2.0	0.0	0.0
15.5	1002.2	0.0	29.0	93.0	2.0	0.0	0.0
15.5	1002.2	0.0	30.0	93.0	2.0	0.0	0.0
15.5	1002.2	0.0	29.0	93.0	2.0	0.0	0.0

Tab. 5 Ukázka dat z meteorologické stanice.³⁷⁾

³⁷⁾ Zdroj: Archiv dat projektu MARK, Štefánikova hvězdárna.

Meteorologickou stanicí stejného typu, který je použit v systému MARK, využívá i řada jiných vědeckých pracovišť a také řada amatérských meteorologů. Z tohoto důvodu lze na internetu najít několik freewarových programů, které data ze stanic zaznamenávají a zobrazují. Jedním z nich je program Meteo³⁸⁾. Meteorologická data z stanice umí vyjádřit v rozličných tabulkách i grafech, takže jejich vyhodnocení je značně ulehčeno. Samotné automatické vyhodnocení však již vyřešeno není.

2.2.5 Data z detektoru oblačnosti a srážek

Data z detektoru oblačnosti a srážek Boltwood Cloud Sensor, o kterém bylo pojednáno v části 2.1.3, jsou stejně jako data z meteorologické stanice zpracovávána každou minutu a jejich průběh je rovněž zaznamenáván. Pro systém MARK jsou v souvislosti s jeho bezpečným chodem dalekohledu prozatím vyhodnocovány pouze rozdíl teploty oblohy a země a číslo stavu, který hlásí samotný detektor. Celkově ale detektor poskytuje tyto údaje:

- teplota oblohy [°C],
- teplota země (střechy hvězdárny) [°C],
- rozdíl těchto teplot [°C] (země - obloha),
- teplota čidla „detektoru první kapky“ [°C],
- energie dodávaná k vyhřívání tohoto čidla [%],
- číslo stavu (0 – chyba, 1 – jasno, 2 – polojasno, 3 – zataženo, 4 – déšť).

³⁸⁾ MÜLLER, Andreas. *Meteo* [online]. c2004 [cit. 2007-12-16]. Dostupné z <http://meteo.othello.ch/>.

3 Použité metody zpracování obrazu

Použité metody zpracování obrazu se odvíjely od matematické morfologie, která je popsána níže. Nejdříve si ale uveďme základní poznatky o barevných modelech RGB a YUV, s nimiž dále budeme operovat.

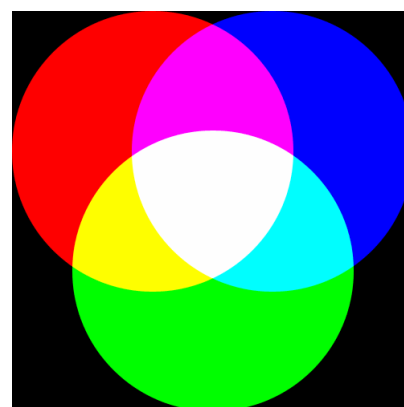
3.1 Barevné modely RBG a YUV

Barevný model RGB

Barevný model RGB, neboli červená-zelená-modrá, je aditivní způsob míchání barev, který lze pozorovat na Obr. 12. Každá barva je udána mohutností tří základních barev – složek (červené, zelené a modré). Základní barvy mají vlnové délky 630, 530 a 450 nm. Jejich mohutnost je možno udávat podle použité barevné hloubky jako určitý počet bitů vyhrazených pro barevnou komponentu (pro 8 bitů na komponentu je rozsah hodnot 0 až 255), přičemž čím větší je mohutnost, tím s vyšší intenzitou se barva komponenty zobrazuje. Čím větší je součet mohutností, tím světlejší je výsledná barva.³⁹⁾ Základní směsi jsou uvedeny v Tab. 6.

R	G	B	Barva
0	0	0	černá ■
255	0	0	červená ■
0	255	0	zelená ■
0	0	255	modrá ■
255	255	0	žlutá ■
255	0	255	purpurová ■
0	255	255	azurová ■
255	255	255	bílá □

Tab. 6 Základní směsi ze tří barevných složek RGB.⁴⁰⁾



Obr. 12 Aditivní míchání barev RGB.⁴¹⁾

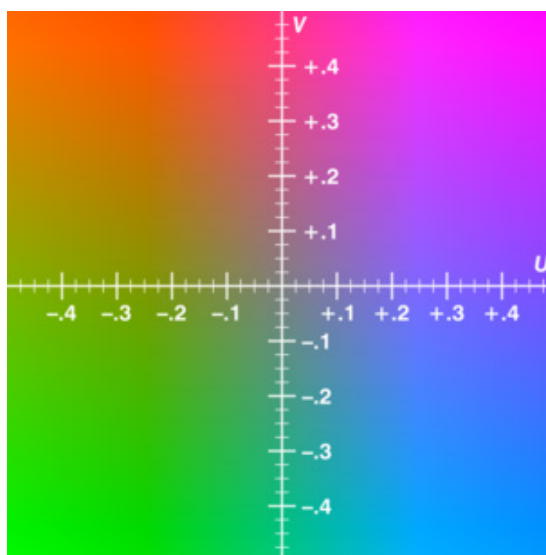
³⁹⁾ RGB [online]. Wikipedie, otevřená encyklopedie, 2007, 27.11.2007 [cit. 2007-12-23]. Dostupné z <http://cs.wikipedia.org/wiki/RGB>.

⁴⁰⁾ Zdroj: Otevřená encyklopedie Wikipedie. Dostupné zde: <http://cs.wikipedia.org/wiki/RGB>.

⁴¹⁾ Zdroj: Otevřená encyklopedie Wikipedie. Dostupné zde: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/14/AdditiveColorMixing.png>.

Barevný model YUV

Jiným barevným modelem je YUV, který k popisu barvy používá tříprvkový vektor $[Y,U,V]$, kde Y je jasová složka a U a V jsou barevné složky. U je také někdy označováno jako $B-Y$ a V odpovídá $R-Y$. Barevné složky se používají v rozsahu od $-0,5$ do $+0,5$, jasová složka má rozsah od 0 do 1 .⁴²⁾



Obr. 13 Příklad barevného modelu YUV, kde $Y = 0,5$.⁴³⁾

RGB a stupeň šedi Y

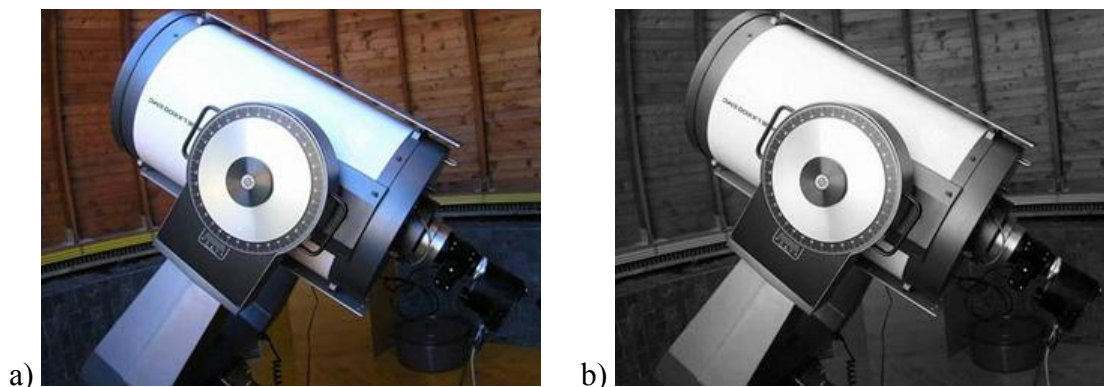
Mezi barevnými modely RGB a YUV existují vzájemné převody. Uvedeme si pouze převod ze složek RGB na jas Y :

$$Y = 0,299 \cdot R + 0,587 \cdot G + 0,114 \cdot B ,$$

kde jasová složka má ale rozsah od 0 do 255 (tedy stejný jako složky RGB) a je takto častěji označována jako stupeň šedi (gray – Y). Zobrazujeme-li potom pomocí modelu RGB barevný obraz převedený do stupně šedi, vypočteme si pro každý pixel hodnotu Y ze složek RGB a takto získanou hodnotu Y zpětně dosadíme za každou ze složek RGB, čímž získáme „model YYY “. Příklad je uveden na Obr. 14.

⁴²⁾ YUV [online]. Wikipedie, otevřená encyklopedie, 2007, 4.10.2007 [cit. 2007-12-23]. Dostupné z <http://cs.wikipedia.org/wiki/YUV>.

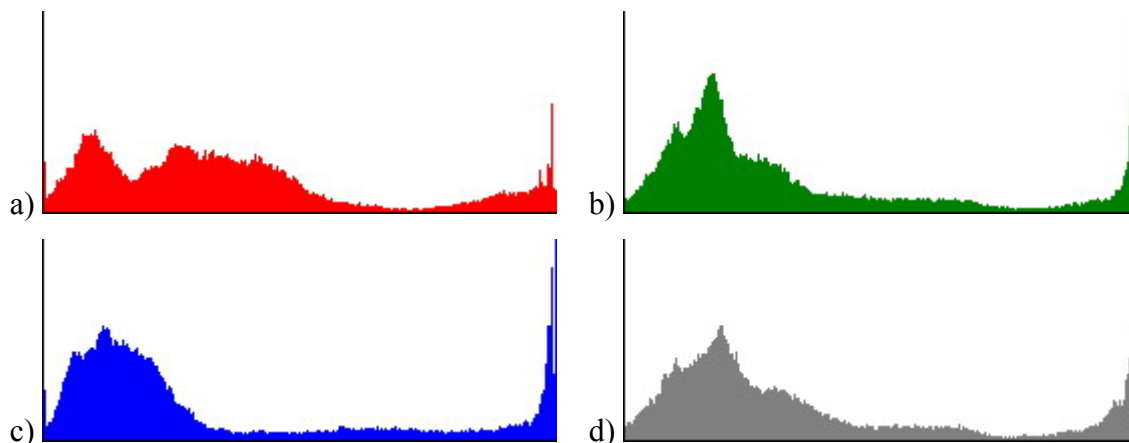
⁴³⁾ Zdroj: Otevřená encyklopedie Wikipedie. Dostupné zde: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/1/1c/YUV_UV_plane.png/305px-YUV_UV_plane.png.



Obr. 14 Příklad převodu barevných složek RGB na stupně šedi Y:⁴⁴⁾ obraz v barevném modelu RGB (a), obraz ve stupních šedi Y (b).

Stejně tak, chceme-li zobrazit pouze jednu z barevných složek, např. R, vhodnějším způsobem, než složky G a B nahradit jakoukoli konstantou, např. nulou, je nahradit zbylé složky toutéž hodnotou, čili vytvořit „model RRR“. V příloze 2 je praktická aplikace výše popsaných operací s barevnými složkami.

3.2 Histogram



Obr. 15 Histogramy jednotlivých složek z obrázku dalekohledu (Obr. 14): složka R (a), složka G (b), složka B (c), složka Y (d).⁴⁵⁾

Nejpřehlednějším ukazatelem barevného spektra je histogram, což je grafické znázornění četnosti stupně šedi či barevné složky. Jak již bylo popsáno v předcházející části, stupně nabývají hodnot 0 až 255 (00_H až FF_H), četnost nabývá hodnot 0 až

⁴⁴⁾ Zdroj: FUCHS, Martin. *MARK*. Praha, Štefánikova hvězdárna: 2005, s. 16. Dostupné z <http://observatory.cz/mark/download/mark.pps>. Obrázek vpravo: Vlastní zpracování.

⁴⁵⁾ Zdroj: Vlastní zpracování. Pozn.: Měřítko osy četnosti je zvětšeno pro lepší ilustraci.

celkový počet bodů daného obrazu či jeho výřezu. Na Obr. 15 jsou znázorněny histogramy vypočtené z Obr. 14 pro barevné složky červené, zelené a modré (R, G, B) a také pro stupeň šedi (Y).

3.3 Matematická morfologie

Matematická morfologie⁴⁶⁾ se začala vyvíjet v šedesátých letech a svým matematickým aparátem vycházejícím z algebry nelineárních operací do značné míry při zpracování signálů či obrazů předstihuje tradiční lineární přístup, který využívá lineární kombinaci (konvoluci) bodových zdrojů představovaných Diracovými impulsy. Jde např. o předzpracování obrazu, o segmentaci s důrazem na tvar hledaných objektů, o kvantitativní popis nalezených objektů. Operátory matematické morfologie se obvykle používají tam, kde je požadavek na krátký čas zpracování.

Matematická morfologie využívá vlastností bodových množin, výsledky z integrální geometrie a topologie. Výchozím předpokladem je představa, že reálné obrázky lze modelovat pomocí bodových množin libovolné dimenze (např. N -rozměrný euklidovský prostor). Dvojměrný euklidovský prostor a systém jeho podmnožin je přirozeným definičním oborem pro popis rovinných útvarů. Binární obraz lze vyjádřit jako 2D bodovou množinu. Body objektů v obraze reprezentují množinu X , což odpovídá pixelům s hodnotou jedna. Body doplňku X^c popisují pozadí a reprezentují se pixely s hodnotou nula.

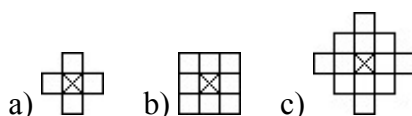
Základními transformacemi matematické morfologie jsou dilatace, eroze, otevření a uzavření.

Strukturní elementy

Morfologická transformace je dána relací mezi obrazem (bodová množina X) s jinou, typicky menší bodovou množinou B , které se říká **strukturní element**. Strukturní element B je vztažen k „lokálnímu“ počátku O , kterému se říká

⁴⁶⁾ HLAVÁČ, Václav, SEDLÁČEK, Miloš. *Zpracování signálů a obrazů*. Praha: ČVUT, 2007. Kapitola 12, Matematická morfologie, s. 211-242.
TUPIN, Florence, et al. *Intensive Course on Image Processing*. Paris, France: Télécom Paris, 2007. Mathematical Morphology, s. 75-107.

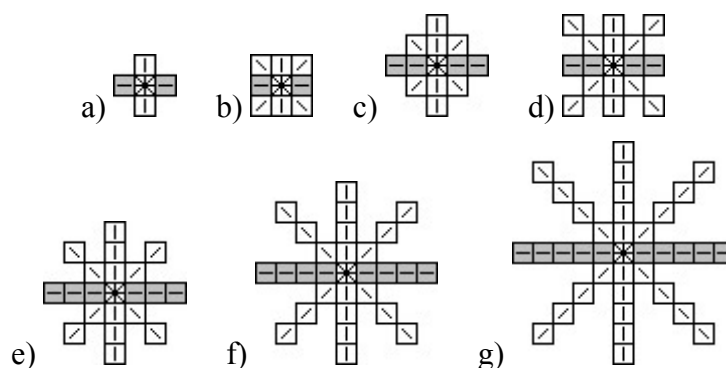
reprezentativní bod. Na Obr. 16 jsou uvedeny tři druhy strukturálního elementu, které mají reprezentativní bod vždy uprostřed a jsou podle něj symetrické.



Obr. 16 Strukturální elementy:
element 1 (a), element 2 (b), element 3 (c).⁴⁷⁾

Aplikaci morfologické transformace na obraz X si představíme, jako bychom strukturální element B systematicky posouvali po obraze. Uvažujme, že B je umístěn v nějaké poloze v obraze. Výsledek relace mezi obrazem X a strukturálním elementem B se zapíše do výstupního obrazu v reprezentativním pixelu. Pro binární obrazy je výsledek relace buď 0 nebo 1, resp. daný bod může nabýt jedné ze dvou barev. Později uvidíme, že přestože jde o binární morfologii, ve výstupním obraze se může objevit i více barev dle konkrétních potřeb.

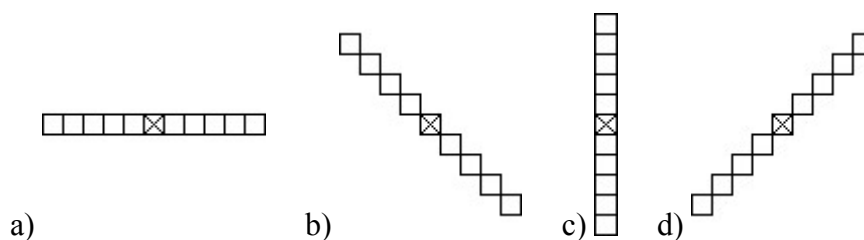
Pro úplnost si již nyní uvedeme i speciální strukturální elementy nazývané „mezera“. Budou využity při zvláštní aplikaci níže probírané morfologické transformace dilatace pro uzavření malých mezer v objektu či zaoblení ostrých zálivů. Na Obr. 17 jsou uvedeny různé varianty strukturálního elementu „mezera“. Ve skutečnosti ale nejde o jeden element, nýbrž o složení čtyř elementů s vlastní logikou, jež se vymyká standardnímu matematickému popisu morfologických transformací. Ostatně všechny praktické příklady mají svoji vlastní logiku, neboť jsou sestavovány pro snadný převod do programovacího jazyka Delphi.



Obr. 17 Speciální strukturální elementy „mezera“:
„mezera 1“ (a), „mezera 1“ (b), „mezera 2“ (c), „mezera 2“ (d),
„mezera 3“ (e), „mezera 4“ (f), „mezera 5“ (g).

⁴⁷⁾ Zdroj: Vlastní zpracování. Stejně tak i ostatní obrázky v části 3.3.

Obr. 18 ukazuje, ze kterých elementů se skládá strukturální element „mežera 5“.



Obr. 18 Aplikace strukturálního elementu „mežera 5“: horizontálně (a), šikmo dolů (b), vertikálně (c), šikmo nahoru (d).

Dilatace

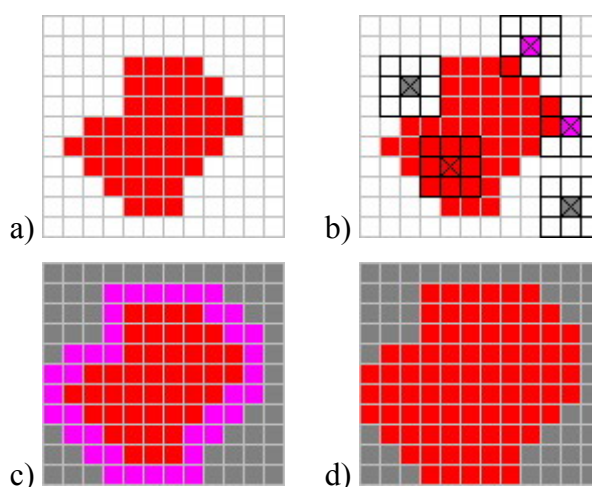
Dilatace \oplus skládá body dvou množin pomocí vektorového součtu. Dilatace $X \oplus B$ je bodovou množinou všech možných vektorových součtů pro dvojice pixelů, vždy pro jeden z množiny X a jeden z množiny B .

Dilataci můžeme vyjádřit jako sjednocení posunutých bodových množin:

$$X \oplus B = \bigcup_{b \in B} X_b .$$

Dilatace je rostoucí transformace a používá se samostatně k zaplnění malých děr, úzkých zálivů a jako stavební kámen složitějších operací. Dilatace zvětšuje objekty. Má-li se zachovat jejich původní rozměr, kombinuje se dilatace s erozí.

Praktický příklad dilatace je uveden na Obr. 19. Na Obr. 19a je původní objekt.



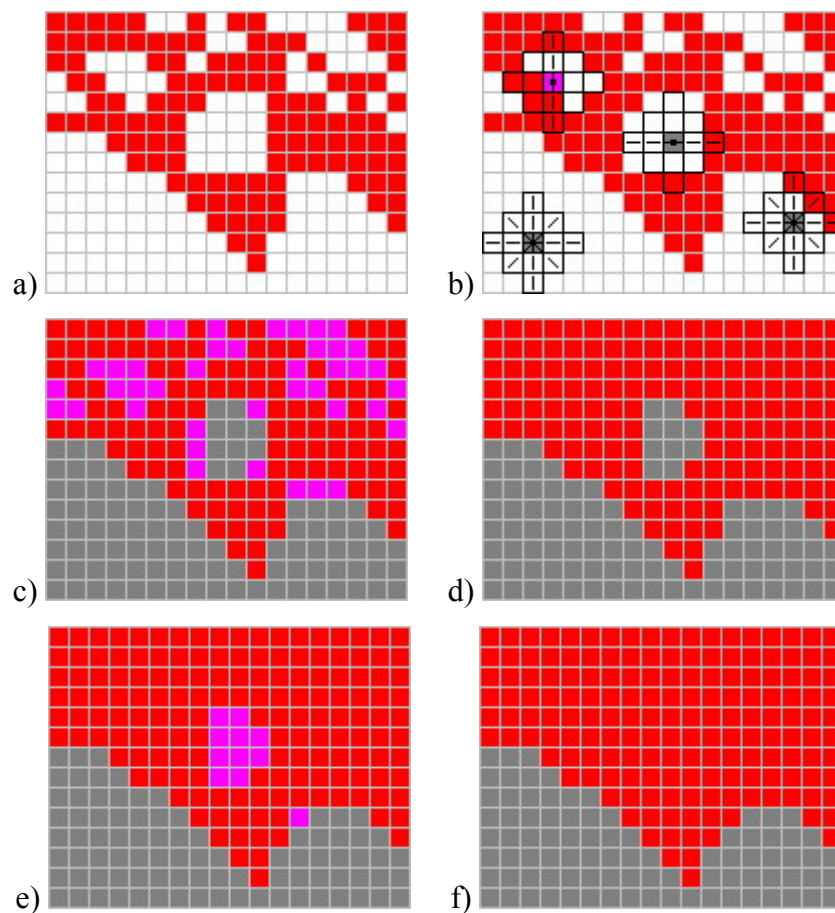
Obr. 19 Aplikace transformace dilatace, strukturální element 2: původní obraz (a), ukázky konkrétních pozic elementu (b), možný mezivýsledek (c), výsledný obraz (d).

Na Obr. 19b jsou ukázky konkrétního použití elementu 2. Je zde použita logika:

- Je-li reprezentativní bod z původního objektu, nemění se.
- Není-li reprezentativní bod z původního objektu, potom se jím stává, ale jen v případě, že alespoň jeden bod strukturálního elementu (mimo bod reprezentativní) je z původního objektu.

Obr. 19c zobrazuje původní objekt (červeně), body přidané dilatací (růžově) a body, jež zůstaly mimo objekt (šedě). Při dodržení binární konvence tedy může výsledný obraz vypadat jako Obr. 19d.

Na Obr. 20 je uvedena užitečná aplikace morfologické transformace dilatace za použití elementu „mezera 2“. Takto lze vyplnit malé mezery, aniž by došlo k velikému narušení vnější hrany objektu.



Obr. 20 Aplikace transformace dilatace, element „mezera 2“: původní obraz (a), ukázky konkrétních pozic elementu (b), mezivýsledek (c), výsledný obraz (d), mezivýsledek po opakování transformace (e), výsledný obraz (f).

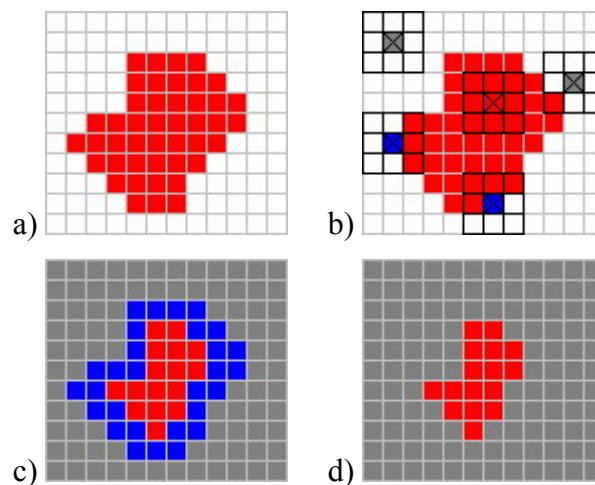
Eroze

Eroze \ominus je duální operací k dilataci. Ani dilatace ani eroze nejsou invertovatelné. Eroze se používá pro zjednodušení struktury objektů – objekty menší jak množina B se ztratí, a tak se složitější objekt rozdělí na několik jednodušších. Erozi obrazu X strukturálním elementem B můžeme vyjádřit jako průnik všech posunů obrazu X o vektory $-b \in B$:

$$X \ominus B = \bigcap_{b \in B} X_{-b} .$$

Praktický příklad eroze je uveden na Obr. 21. Na Obr. 21a je původní objekt. Na Obr. 21b jsou ukázky konkrétního použití elementu 2. Zde je použita logika:

- Není-li reprezentativní bod z původního objektu, nemění se.
- Je-li reprezentativní bod z původního objektu, potom se jím zůstává, ale jen v případě, že všechny body strukturálního elementu jsou z původního objektu.



Obr. 21 Aplikace transformace eroze, strukturální element 2: původní obraz (a), ukázky konkrétních pozic elementu (b), možný mezivýsledek (c), výsledný obraz (d).

Obr. 21c zobrazuje původní objekt (červeně), body odebrané erozí (modře) a body mimo objekt (šedě). Při dodržení binární konvence tedy může výsledný obraz vypadat jako Obr. 21d.

Otevření a uzavření

Kombinace dilatace a eroze jsou dalšími významnými morfologickými transformacemi – otevřením a uzavřením. Výsledkem obou je zjednodušený obraz, který obsahuje méně detailů.

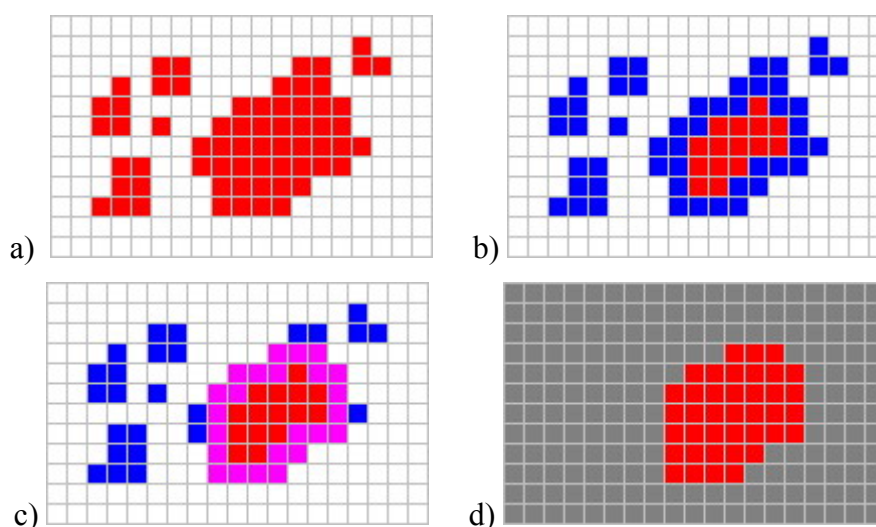
Eroze následovaná dilatací vytváří novou transformaci zvanou **otevření**. Otevření množiny X strukturálním elementem B se označuje $X \circ B$ a je definováno jako:

$$X \circ B = (X \ominus B) \oplus B .$$

Dilatace následovaná erozí je **uzavřením**. Uzavření množiny X strukturálním elementem B se označuje $X \bullet B$ a je definováno jako:

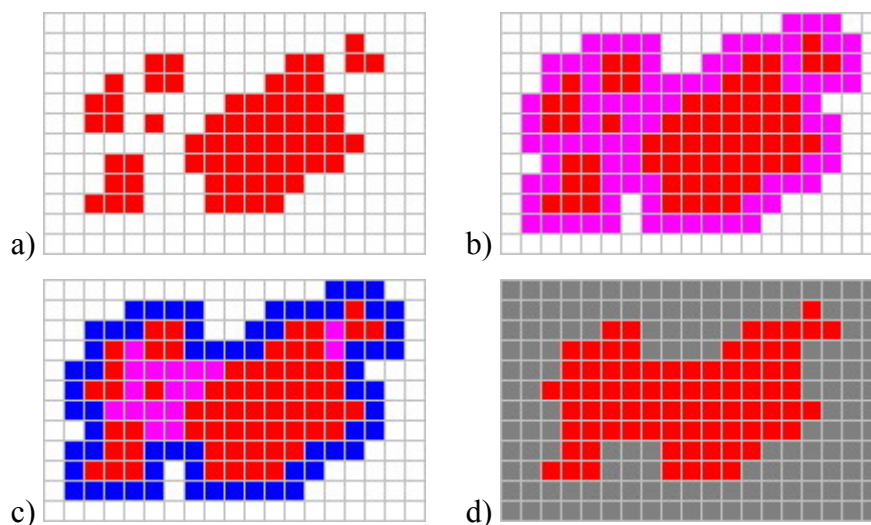
$$X \bullet B = (X \oplus B) \ominus B .$$

Otevření a uzavření izotropickým strukturálním elementem se používá pro odstranění detailů v obraze, které jsou menší než strukturální element. Celkový tvar objektu se tak neporuší. Otevření oddělí objekty spojené úzkou šíjí, a tak zjednoduší strukturu objektů. Uzavření spojí objekty, které jsou blízko u sebe, zaplní malé díry a vyhladí obrys tím, že zaplní úzké zálivy. „Malý“, „blízký“ a „úzký“ je relativní vzhledem k velikosti strukturálního elementu. Jak otevření tak i uzavření jsou rostoucí transformace.



Obr. 22 Aplikace transformace otevření, strukturální element 2: původní obraz (a), mezivýsledek po erozi (b), mezivýsledek po dilataci (c), výsledný obraz (d).

Na Obr. 22 a Obr. 23 jsou uvedeny praktické příklady morfologických transformací otevření a uzavření.



Obr. 23 Aplikace transformace uzavření, strukturální element 2: původní obraz (a), mezivýsledek po dilataci (b), mezivýsledek po erozi (c), výsledný obraz (d).

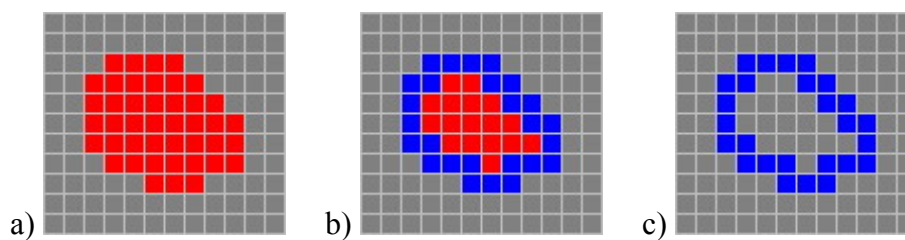
3.4 Detekce hran

Při detekci hran⁴⁸⁾ se často setkáme tradičním lineárním přístupem, který využívá lineární kombinaci (konvoluci) bodových zdrojů představovaných Diracovými impulsy. Použití gradientních operátorů, konvolučních masek, derivací obrazů nebo např. Cannyho hranového detektoru však vede na složitější operace, které jsou jednak časově náročnější, ale hlavně nejsou nejvhodnější pro automatické zpracování obrazu s následným vyhodnocením hran a objektů. Daleko příznivější možnosti s sebou přináší operátory matematické morfologie, které, jak bylo popsáno v předcházející části, se obvykle používají tam, kde je požadavek na krátký čas zpracování. Jejich výsledek je jednoduchý a snadněji automaticky zpracovatelný.

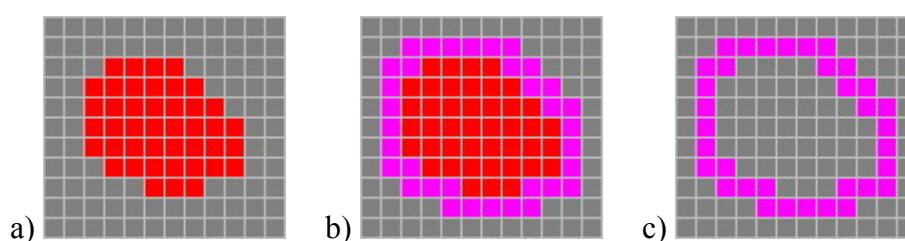
Detekce hran pomocí operátorů matematické morfologie předpokládá předchozí zpracování obrazu, ať již lineárními metodami nebo rovněž pomocí matematické morfologie. Potom lze obecně získat **hranu** (nejkrajnější vrstvu objektu) pomocí

⁴⁸⁾ HLAVÁČ, Václav, SEDLÁČEK, Miloš. *Zpracování signálů a obrazů*. Praha: ČVUT, 2007. Kapitola 11.4, Hledání hran, s. 197-207.
TUPIN, Florence, et al. *Intensive Course on Image Processing*. Paris, France: Télécom Paris, 2007. Edge Detection, s. 108-156.

morfologické transformace eroze (Obr. 24) a **obal** (nejbližší vrstva okolí objektu) pomocí morfologické transformace dilatace (Obr. 25).



Obr. 24 Detekce hrany pomocí eroze:
původní objekt (a), aplikace eroze (b), detekovaná hrana (c).⁴⁹⁾



Obr. 25 Detekce obalu pomocí dilatace:
původní objekt (a), aplikace dilatace (b), detekovaný obal (c).

⁴⁹⁾ Zdroj: Vlastní zpracování. Stejně tak i Obr. 25.

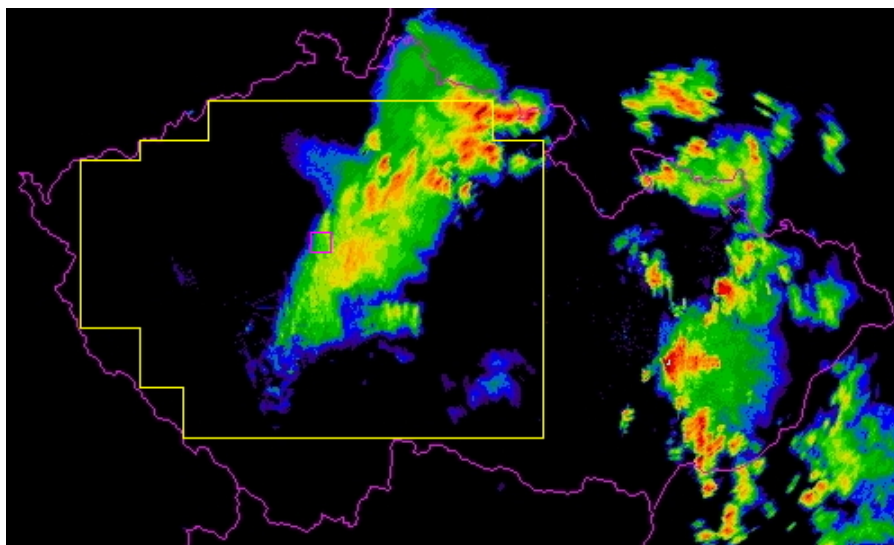
4 Zpracování obrazových dat

Zpracování obrazových dat je stěžejní prací systému pro vyhodnocení stavu meteorologické situace. Zejména družicové snímky hrají pro rozhodování celého systému velkou roli. Snímky z celooblohové kamery jsou sice nejbližším pohledem na okolní počasí, ale obloha je natolik rozmanitá a proměnlivá, že lze jen velmi těžko vytvořit univerzálně se chovající algoritmus, který by rozeznal naprosto každý pohled do nebe. Radarové snímky jsou na první pohled jednoduše vyhodnotitelné a proto jejich zpracováním začneme. Ukážeme si na nich názorně dříve popsané metody zpracování obrazu, jichž budeme dále užívat i při analýze snímků družicových a celooblohových.

4.1 Zpracování radarových snímků

Radarové snímky a jejich vznik jsou popsány v částech 1.4 a 2.2.2. Nyní si popíšeme možný způsob jejich zpracování pro rozpoznání nebezpečí příchodu srážek nad hlídanou hvězdárnou, čili nad Prahu.

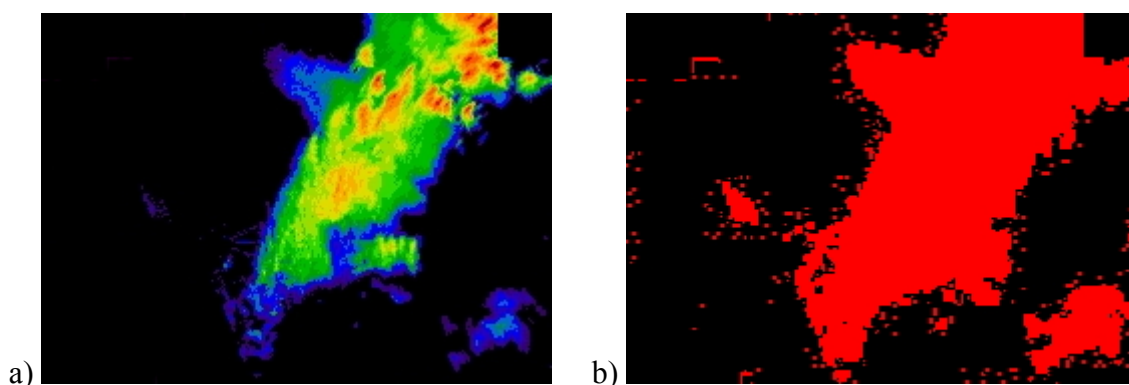
Jelikož jsou snímky k dispozici každých 10 minut, nemusíme sledovat oblasti daleko od hvězdárny a stačí se zaměřit na okolí uvnitř ČR, znázorněné na Obr. 26.



Obr. 26 Hranice významné oblasti a vyznačení Prahy (10×10 km).⁵⁰⁾

⁵⁰⁾ Zdroj: Archiv dat Oddělení radiových měření, ČHMÚ. Vlastní zpracování radarového snímku pořizovaného v 1:00 dne 20.8.2007. Obdobně i ostatní obrázky v části 4.1.

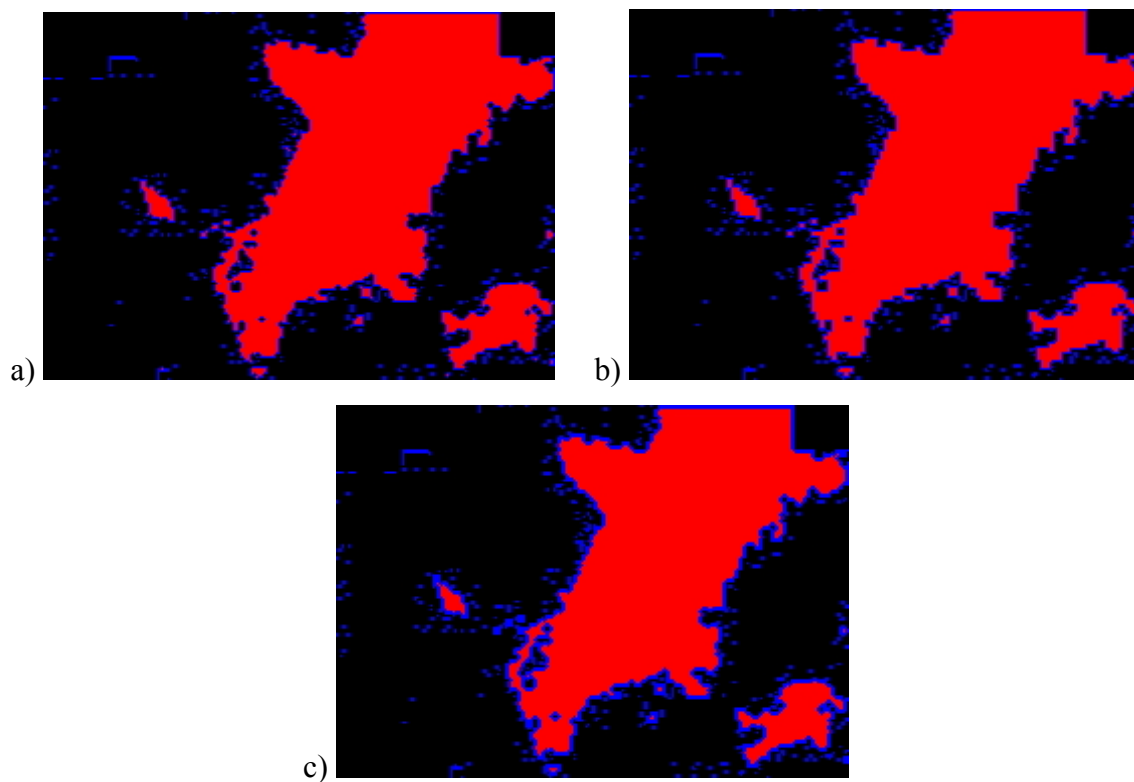
Tuto oblast si prozatím nazveme jako významnou, neboť informace v ní obsažená je právě ta, která nás zajímá. Do **významné oblasti** záměrně nezahrnujeme hranice ČR, neboť informace v jejích blízkosti je porušena. Navíc i nejbližší hranice ČR od Prahy je mimo střeženou oblast okolo hvězdárny. **Výřez významné oblasti** je na Obr. 27, kde také můžeme pozorovat převedení výřezu do **binárního obrazu**. Pro názornost má binární obraz barvu červenou a černou. Převod je velice jednoduchý: vše původně černé zůstává a vše ostatní je červené.



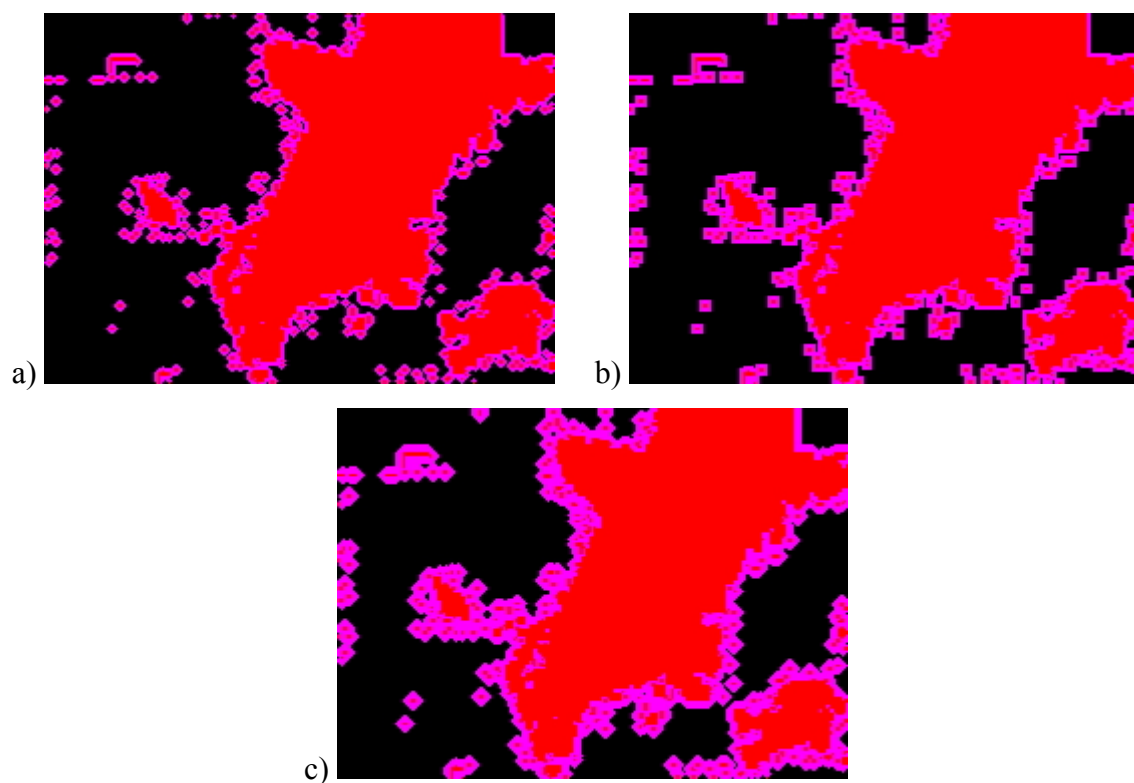
Obr. 27 Výřez významné oblasti a její převod na binární obraz: výřez významné oblasti (a), binární obraz (b).

Nyní přistoupíme ke zpracování binárního obrazu pomocí **binární matematické morfologie**, která byla popsána v části 3.3. Nejdříve si ukážeme, jak lze výřez převedený do binárního obrazu upravit pomocí **eroze**. Obr. 28 obsahuje tři výsledky této transformace, nejdříve elementem 1, potom elementem 2 a nakonec elementem 3. Původní binární obraz byl zobrazen modře a výsledek eroze červeně.

Na Obr. 29 jsou zobrazeny výsledky transformace **dilatace**. Zde má původní binární obraz barvu červenou a oblasti přidané dilatací jsou růžové.

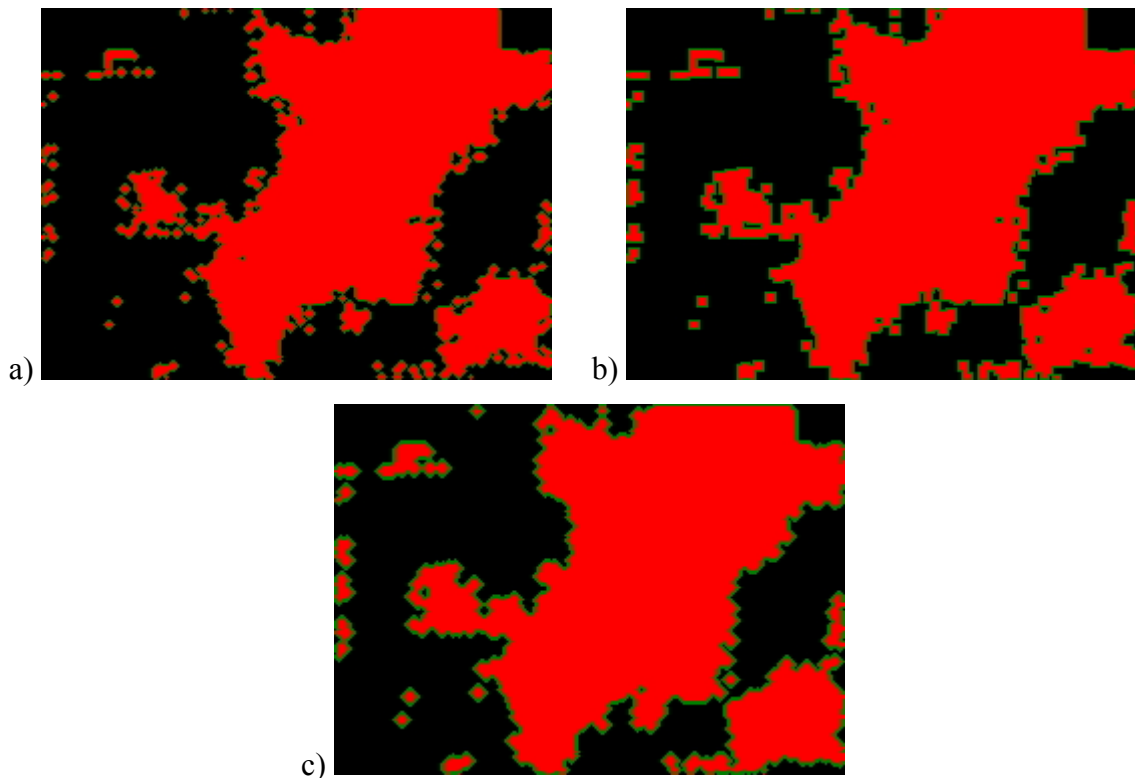


Obr. 28 Eroze:
element 1 (a), element 2 (b), element 3 (c).



Obr. 29 Dilatace:
element 1 (a), element 2 (b), element 3 (c).

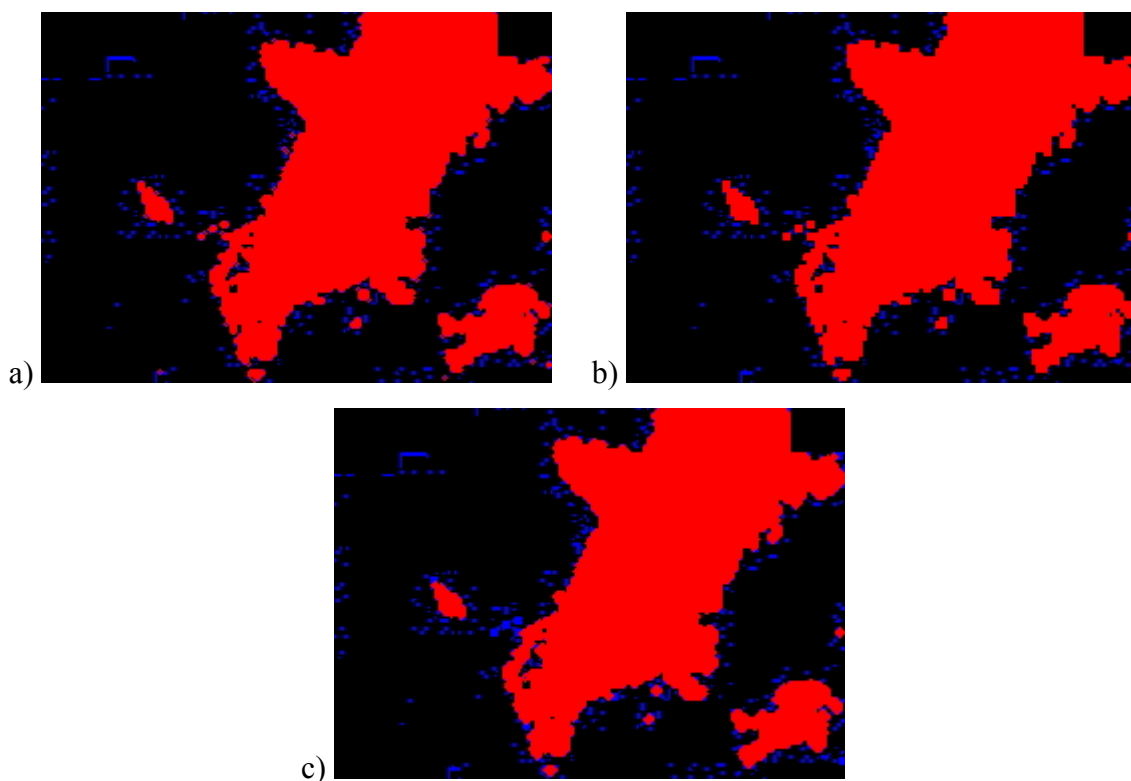
Podrobíme-li binární obraz nejdříve dilataci a na tento výsledek poté aplikujeme erozi, jde o transformaci **uzavření**. Na Obr. 30 jsou uvedeny výsledky uzavření za použití elementů 1, 2, 3, přičemž ve všech třech případech byla provedena jak dilatace, tak eroze stejným elementem. Oblasti přidané dilatací jsou znázorněny zeleně a výsledek po dilataci je červený.



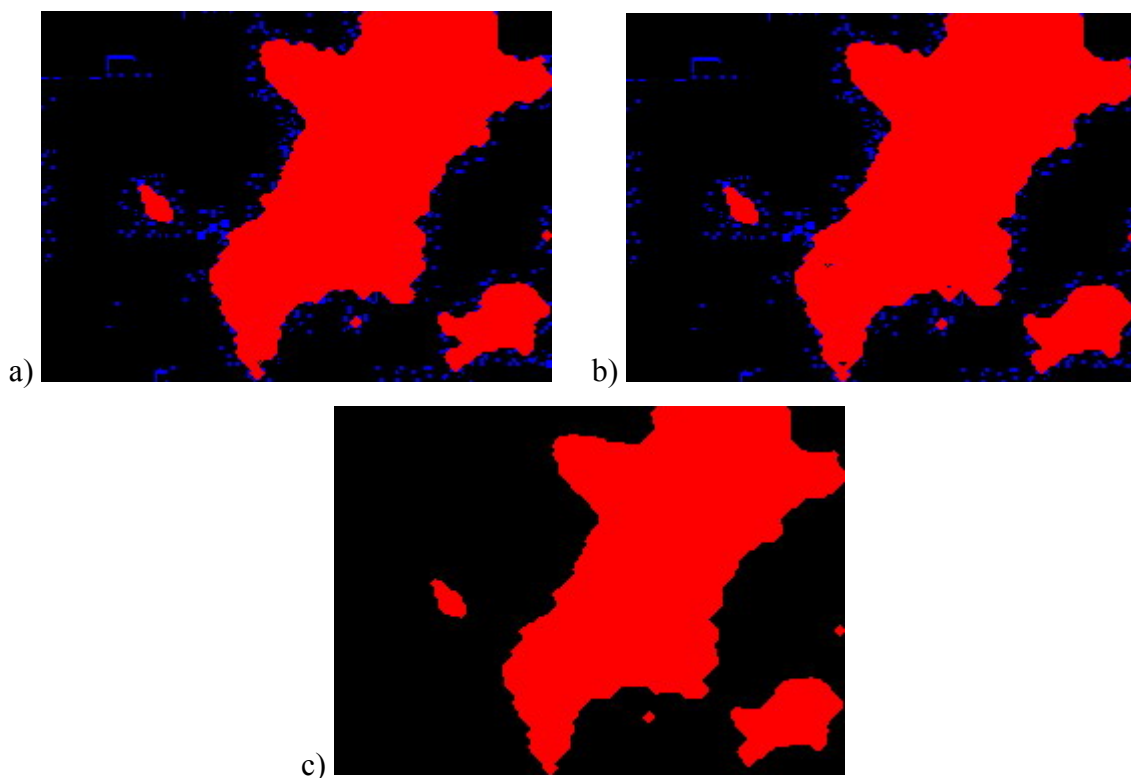
Obr. 30 Uzavření:
element 1 (a), element 2 (b), element 3 (c).

Podrobíme-li binární obraz nejdříve erozi a na tento výsledek poté aplikujeme dilataci, jde o transformaci **otevření**. Obr. 31 znázorňuje výsledky otevření při použití elementu 1, 2, 3. Body odebrané erozí mají modrou barvu a výsledek po následné dilataci je červený.

Poslední transformací, kterou při zpracování radarových snímků použijeme, je speciální případ **dilatace/uzavření** s použitím elementů „mezera 2“, „mezera 3“ a „mezera 5“. Tato transformace nám odstraní drobné nespojitosti výsledků předchozích operací, jak je vidět na Obr. 32.

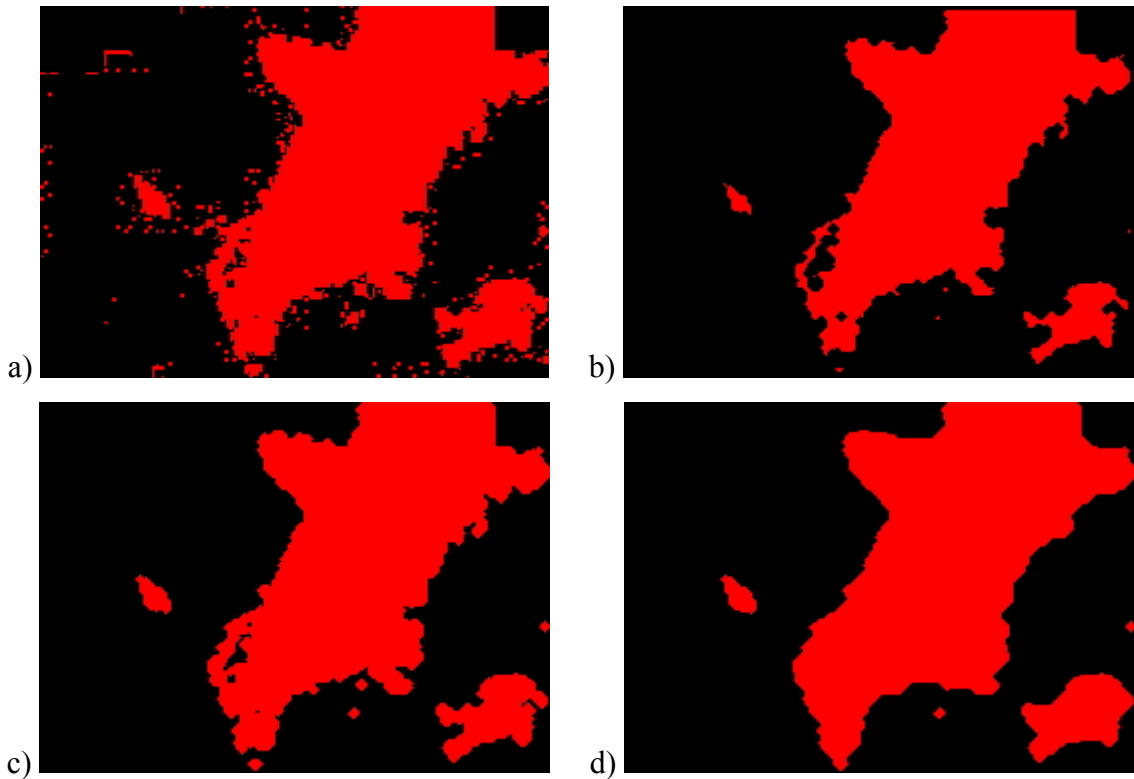


Obr. 31 Otevření:
element 1 (a), element 2 (b), element 3 (c).

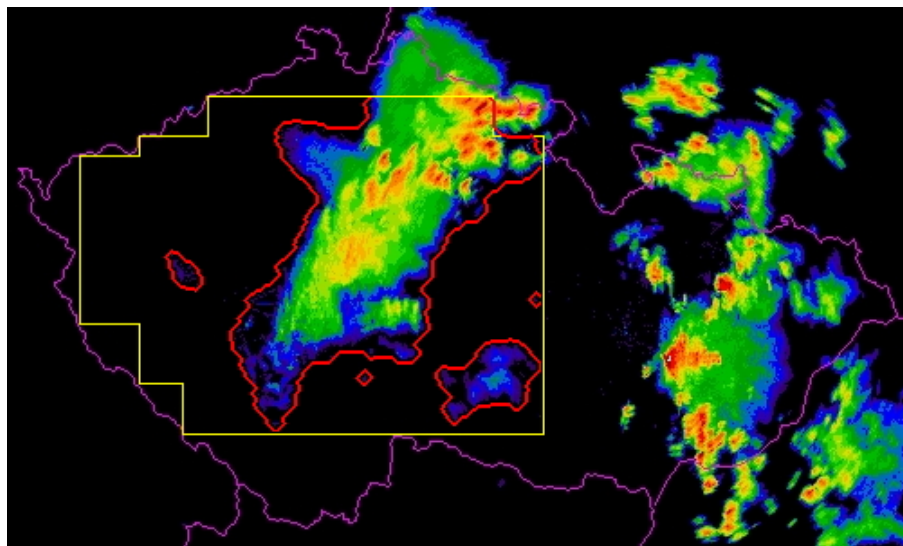


Obr. 32 Dilatace/uzavření:
„mezera 2“ (a), „mezera 3“ (b), „mezera 5“ (c).

Jako **optimální** se ukázal **postup**, při kterém výřez převedený na binární obraz podrobíme nejprve erozi s použitím elementu 3. Na výsledek poté aplikujeme dilataci za využití elementu 3 a pokračujeme speciálním případem dilatace/uzavření s použitím elementu „mezera 5“. Poslední krok opakujeme dvakrát. Jednotlivé mezivýsledky jsou uvedeny na Obr. 33.



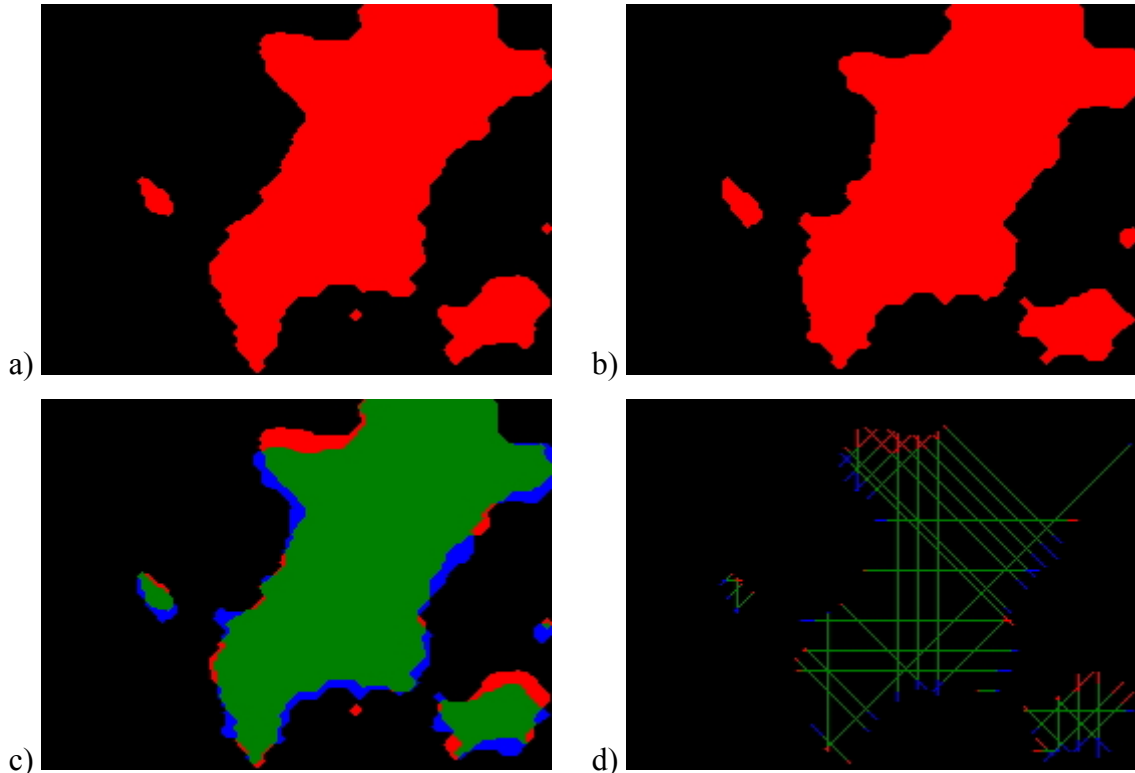
Obr. 33 Optimální postup zpracování radarových snímků: binární obraz (a), eroze – element 3 (b), dilatace – element 1 (c), uzavření – mezera 5 (d).



Obr. 34 Hranice nebezpečné oblasti.

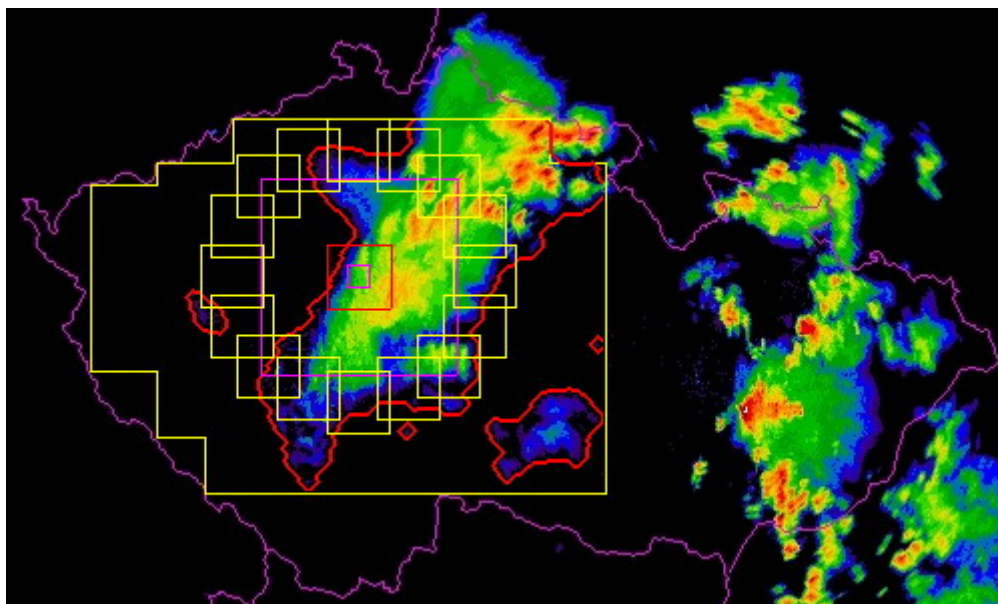
Výše uvedeným postupem jsme získali výsledný **tvár nebezpečné oblasti**. S využitím vlastnosti transformace dilatace si můžeme znázornit hranice nebezpečné oblasti, jak je vidět na Obr. 34.

Nebezpečnou oblast máme tedy identifikovanou, nyní je potřeba určit, kterým směrem se v čase posune, abychom zjistili, jestli se eventuelní nebezpečí náhodou neblíží nad střeženou hvězdárnu. Využijeme k tomu pouze snímku aktuálního a předcházejícího (snímky v čase t a $t-10$ minut). Obr. 35 znázorňuje aktuální i předchozí nebezpečnou oblast a jejich **srovnání**. Zelená oblast je ta, která byla vyhodnocena jako nebezpečná na obou snímcích, červená je oblast nového nebezpečí a modrá je oblast, která již na aktuálním snímku nebezpečná není. Směr pohybu nebezpečné oblasti v čase je vyhodnocen pomocí jednoduché, ale statisticky dostatečně přesné **metody vektorů pohybu**. Metoda je založena na vyhledání všech vektorů pohybu v osmi směrech. Každý vektor musí mít posloupnost předchozí, stejné a aktuální oblasti nebezpečí, tedy posloupnost barvy modré, zelené a červené. Vektorovým součtem všech takto nalezených vektorů pohybu získáme celkový směr pohybu nebezpečné oblasti v čase. Pro případ z Obr. 35 vyšel směr pohybu pod úhlem 332° (jižně-jihovýchodní vítr).



Obr. 35 Určení směru pohybu nebezpečné oblasti v čase: aktuální nebezpečná oblast (a), předchozí nebezpečná oblast (b), srovnání nebezpečných oblastí (c), vektory pohybu (d).

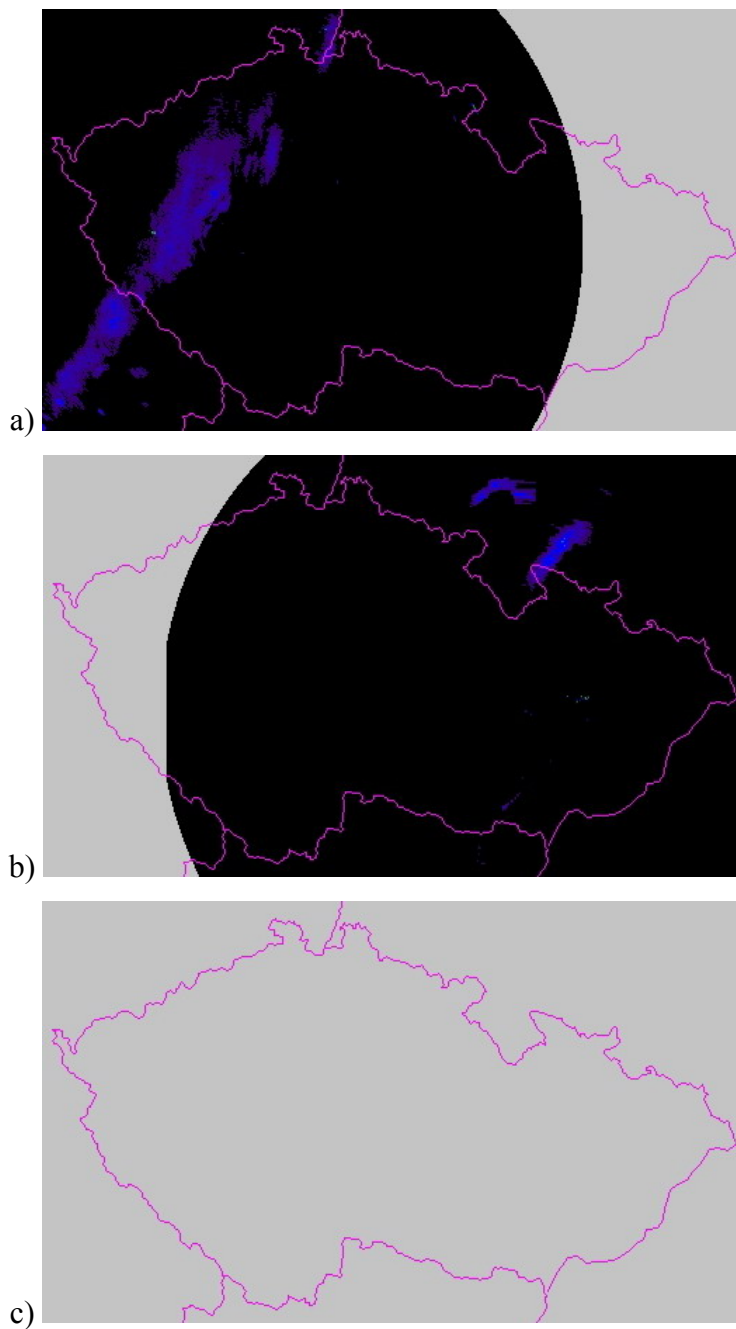
Posledním krokem v analýze radarových snímků je **vyhodnocení zprávy pro celý systém**, tedy vyhodnotit, zda systém může či nemůže pracovat, popřípadě informovat o blížícím se nebezpečí. Nachází-li se nebezpečná oblast ve čtverci 30×30 km okolo hvězdárny, zpráva pro systém je STOP, tzn. zastavení veškeré činnosti a uzavření kopule. Nachází-li se nebezpečná oblast ve čtverci 96×96 km, zpráva pro systém je WARN, tzn. že nebezpečí už je blízko a je třeba zvýšit pozornost systému (bedlivě analyzovat ostatní meteorologické vstupy). Dalším způsobem, jak informovat systém o blížícím se nebezpečí je použití tzv. „ochranného kruhu“, který se skládá z šestnácti čtverců 30×30 km vyobrazených žlutě na Obr. 36. Zde je také vidět čtverec 96×96 km (červeně) i čtverec 30×30 km (purpurově).



Obr. 36 Vyznačení střežených oblastí kolem Prahy.

Princip ochranného kruhu je jednoduchý. Pokud nebezpečná oblast vstoupí do některého ze čtverců ochranného kruhu, porovnáme polohu tohoto čtverce s vyhodnoceným směrem pohybu nebezpečné oblasti a usoudíme, zdali se identifikované nebezpečí pohybuje směrem k hvězdárně či nikoliv. Na základě toho je systém informován o lokalitě možného nebezpečí a stupni jeho akutnosti.

Další zprávou pro systém může být chybové hlášení ERROR, které je generováno, pokud není k dispozici aktuální radarový snímek, nebo došlo k výpadku radiolokátoru v Čechách (Obr. 37b) či obou radiolokátorů (Obr. 37c). Pokud dojde k výpadku pouze radiolokátoru na Moravě (Obr. 37a), systém je chopen jej spolehlivě vyhodnotit.



Obr. 37 Ukázky výpadků dat z radiolokátorů v noci ze 7. na 8.12.2006: výpadek radiolokátoru v Čechách (a), na Moravě (b), obou (c).

4.2 Zpracování družicových snímků

O družicových snímcích bylo pojednáno v částech 1.4 a 2.2.3. Nyní přistupme k jejich zpracování a vyhodnocení, je-li nad hvězdárnou zataženo či nikoliv.

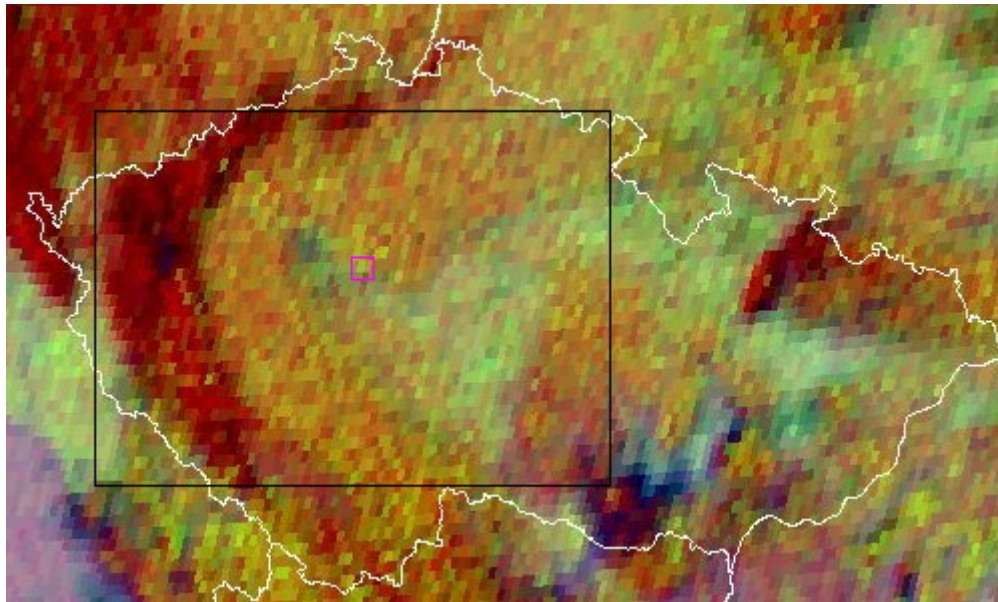
Prvním důležitým rozhodnutím je, které produkty satelitních snímků budeme analýze podrobovat – jestli všechny dostupné či pouze vybrané nebo dokonce jen jeden

jediný. Pracovníci Družicového oddělení ČHMÚ, se kterými jsem daný problém konzultoval, mi doporučili zaměřit se na **produkt NM**, tedy noční mikrofyzikální produkt složený z kanálů IR3.9, IR10.8 a IR12.0. Důvodů je hned několik a všechny jsou více než příznivé:

1. NM je produkt, na kterém lze identifikovat všechny druhy oblačnosti i **terén**.
2. NM je speciálně sestaven pro interpretaci pohledu na **noční** polokouli Země.
3. NM má téměř stále stejné barevné přiřazení viditelnému terénu.

K vyhodnocení meteorologické situace okolo hvězdárny tedy bude analyzován jen produkt NM, neboť projekt MARK je předurčen použitým dalekohledem pouze pro noční pozorování, a co je důležitější, přiřazení téměř stále stejné barvy viditelnému terénu je více než příhodné pro automatické zpracování.

Stejně jako při analýze radarových snímků, i při zpracování snímků satelitních se zaměříme pouze na **významnou oblast** vyznačenou černě na Obr. 38. Nyní se již ale nemusíme zabývat hranicí ČR, neboť její vliv na informaci obsaženou ve snímku bude eliminován v průběhu zpracování, jak si níže ukážeme.



Obr. 38 Hranice významné oblasti a vyznačení Prahy (10×10 km).⁵¹⁾

Na základě dostupných informací o produktu NM byly experimentálně určeny spodní i horní limity příměsí jednotlivých složek barev pro jednotlivé druhy objektů.

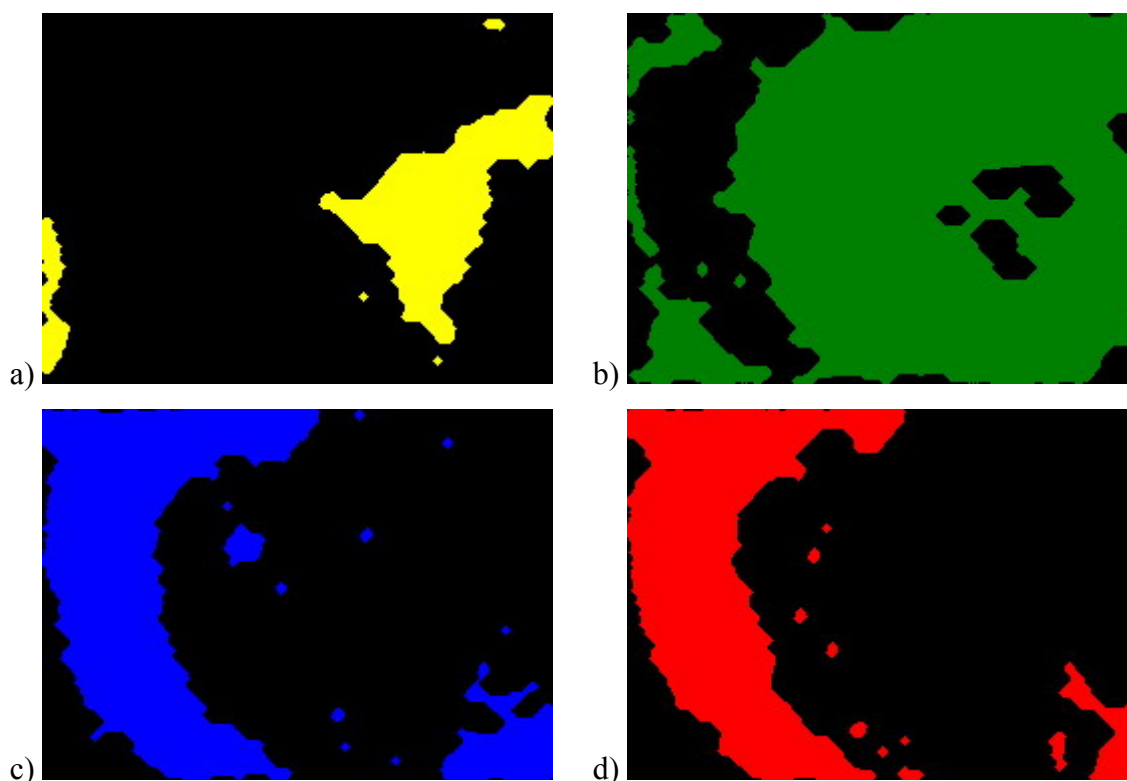
⁵¹⁾ Zdroj: Archiv dat Družicového oddělení, ČHMÚ. Vlastní zpracování družicového snímku (produkt NM) pořízeného v 0:00 dne 4.3.2007. Obdobně i ostatní obrázky v části 4.2.

Složkám barev odpovídají kombinace infračervených kanálů, jak bylo uvedeno v části 2.2.3. Tab. 7 přehledně udává jednotlivé limity RGB příměsí a také barevné označení, které bude dále použito při ilustraci příslušných objektů.

Objekt	R	G	B	Označení
Terén	150 ÷ 210	80 ÷ 150	130 ÷ 170	bílá □
Mlhy a nejnižší oblačnost	150 ÷ 195	140 ÷ 255	80 ÷ 155	žlutá ■
Střední až nízká oblačnost	120 ÷ 190	85 ÷ 190	10 ÷ 85	zelená ■
Řídké cirry	0 ÷ 150	0 ÷ 100	0 ÷ 145	modrá ■
Vertikálně mohutná oblačnost	80 ÷ 255	0 ÷ 80	0 ÷ 70	červená ■

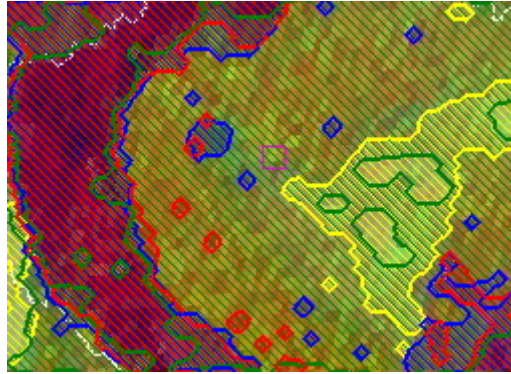
Tab. 7 Klíč k identifikaci objektů.

Převědeme-li významnou oblast z Obr. 38 na **binární obrazy jednotlivých objektů** dle klíče z Tab. 7, získáme pěti binárních obrazů, na které pak aplikujeme již známým způsobem erozi (element 1), dilataci (element 1) a třikrát dilataci/uzavření (element „mezera 5“). Výsledné oblasti jsou znázorněny na Obr. 39.



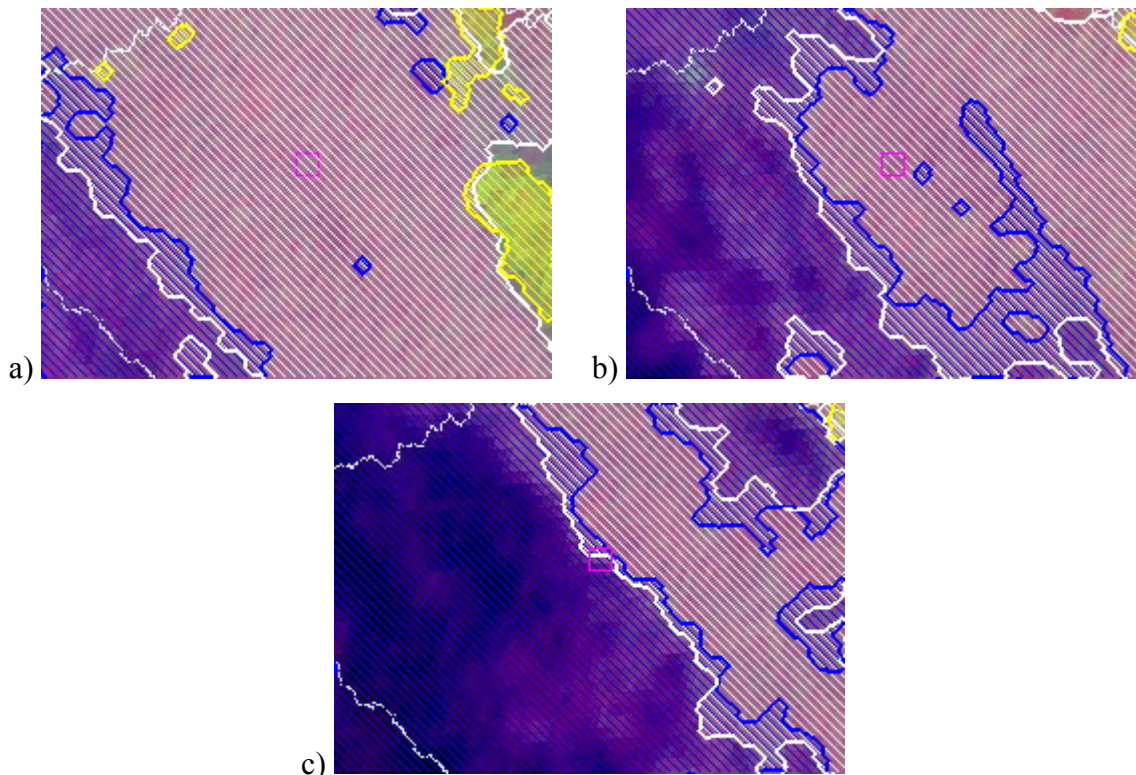
Obr. 39 Detekované oblasti:
mlhy a nejnižší oblačnost (a), střední až nízká oblačnost (b), řídké cirry (c),
vertikálně mohutná oblačnost (d).

Je-li celý výsledek černý, znamená to, že daný druh objektu se na snímku nenachází. Na Obr. 40 jsou vyznačeny všechny nalezené objekty. Každý objekt je reprezentován svou barvou, přičemž plochy objektu jsou dle jejich barev šrafovány. Praha je vyznačena jako purpurový čtverec 10×10 km.



Obr. 40 Vyznačení nalezených objektů.

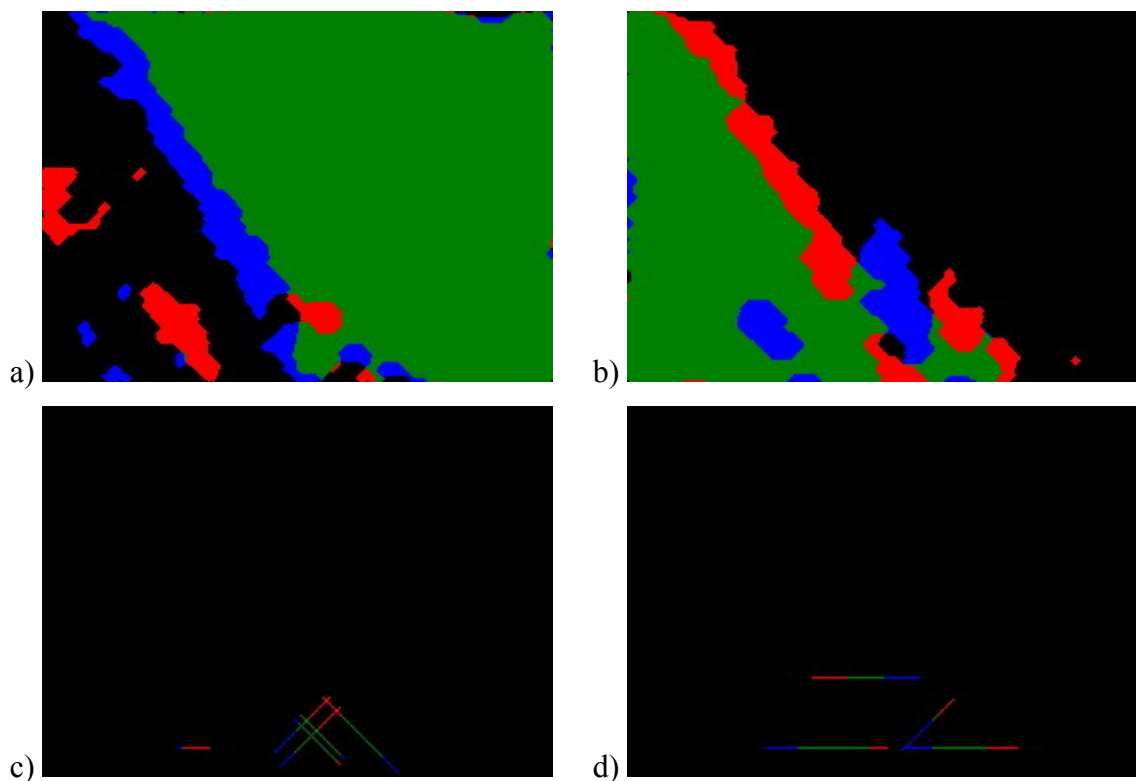
Ačkoliv se všechny objekty posunují v čase téměř shodným směrem i stejnou rychlostí, v určitých situacích dochází k většímu či menšímu **překryvu různých objektů**, zejména terénu s nejnižší, nízkou a střední oblastí, jakož i s řídkými cirry.



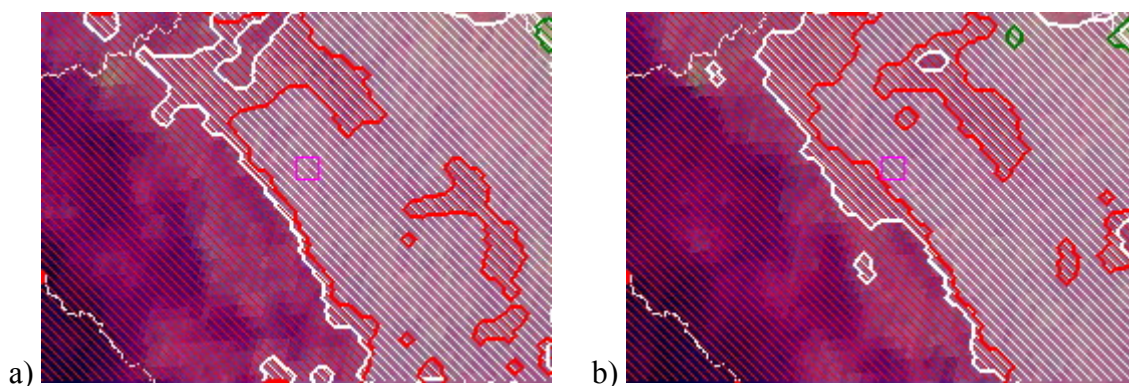
Obr. 41 Blížící se oblačnost a „ustupující“ terén dne 4.3.2007: situace v 19:15 (a), ve 22:15 (b), ve 23:30 (c).

Na Obr. 41 lze pozorovat blížící se oblačnost a její překrývání se s terénem, zejm. na Obr. 41b. Zde lze pozorovat řídké cirry okolo Prahy, ačkoliv terén je identifikován v daleko širším okolí. Z porovnání daných snímků s příslušnými fotografiemi pořízenými celooblohovou kamerou vyplývá, že obloha se stává nepozorovatelnou až v případě, kdy jsou v lokalitě Prahy identifikovány řídké cirry, ale již ne viditelný terén (Obr. 41c).

Nyní se nabízí možnost aplikovat metodu srovnání a vektorů pohybu na dva chronologicky sousední družicové snímky, stejně jako u snímků družicových. Objekty detekované na družicových snímcích jsou ale větší než objekty detekované na snímcích radarových, neboť oblačnost je větší než lokalita srážky. Z tohoto důvodu nám **metoda vektorů pohybu neposkytne správné informace**, jak naznačují následující dva obrázky (Obr. 42 a Obr. 43).



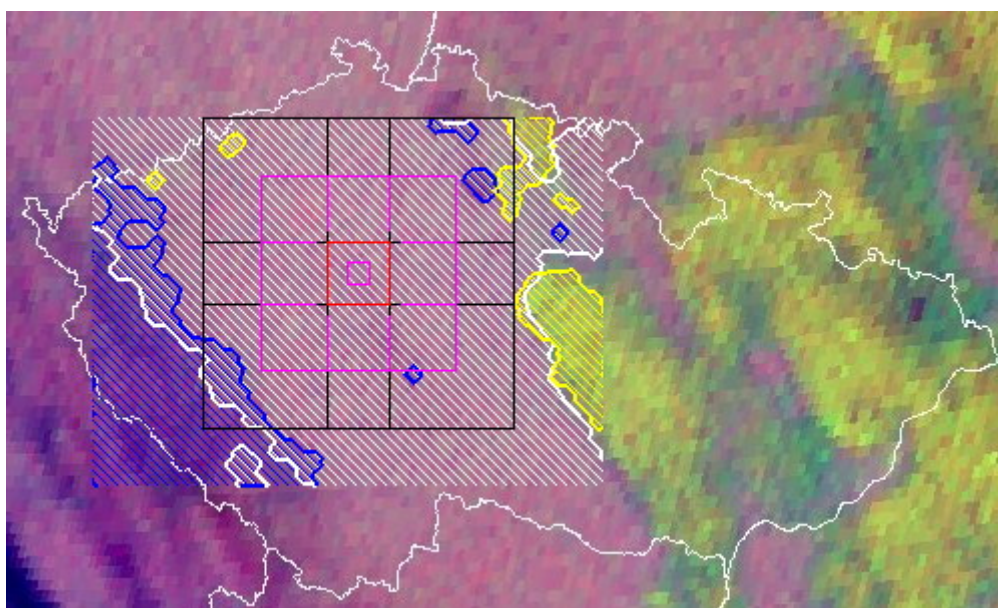
Obr. 42 Aplikace metody srovnání a vektorů pohybu: srovnání objektů terénu (a), srovnání objektů vertikálně mohutné oblačnosti (b), vektory pohybu terénu (c), vektory pohybu vertikálně mohutné oblačnosti (d).



Obr. 43 Detekované objekty (terén bíle, vertikálně mohutná oblačnost červeně):
 Situace ze dne 4.3.2007 ve 20:30 (a), ve 20:45 (b).

Vyhodnocený směr pohybu pro terén je 18° a pro vertikálně mohutnou oblačnost 70° . Nejde sice o zcela špatné výsledky, ale statisticky vykazovala metoda srovnání a vektorů pohybu u družicových snímků daleko větší rozptyly výsledků než u snímků družicových.

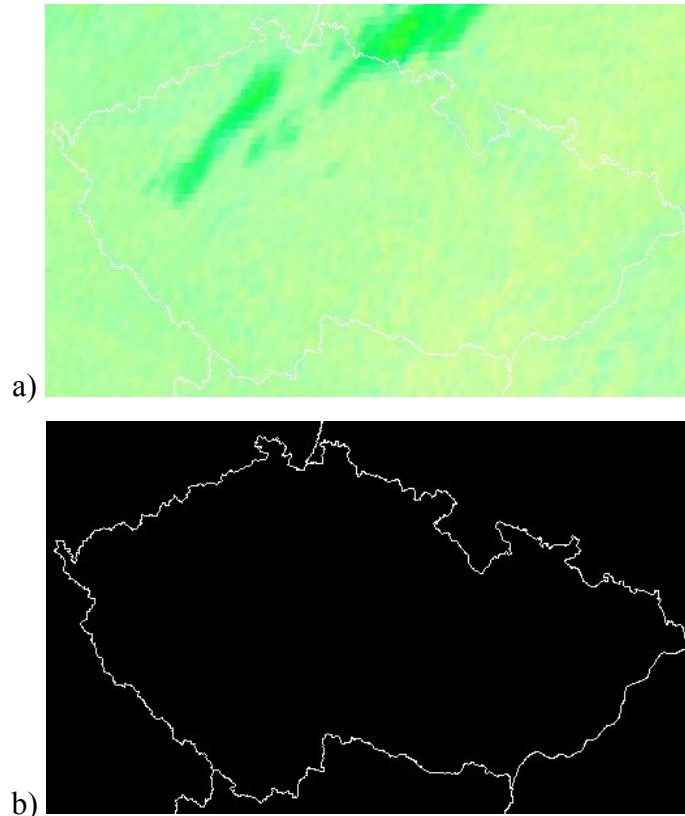
Při statistickém srovnání detekovaných objektů z družicových produktů NM se snímky z celooblohové kamery vyplynula možnost zaměřit se čistě na **přítomnost „objektu“ terénu v lokalitě hvězdárny**, resp. v jejím bezpečném okolí. Nutnost sledovat širší okolí nastává pouze v případě, kdy není hlášeno žádné nebezpečí, tedy při očekávání nebezpečí potenciálního. Jednoduchou možností je sledovat jisté významné části obrazu a z jejich lokality vyhodnotit směr eventuálního příchodu nebezpečí.



Obr. 44 Významné oblasti obrazu pro informování o blížícím se nebezpečí.

Na Obr. 44 je vyznačeno *nejbližší okolí hvězdárny* (purpurový čtverec 10×10 km) a *vzdálenější okolí hvězdárny* (červený čtverec 30×30 km). Okolo vzdálenějšího okolí jsou tzv. *menší ochranný „kruh“* (8 purpurových čtverců 32×32 km, dohromady se vzdálenějším okolím tedy 96×96 km) a *větší ochranný „kruh“* (4 černé překrývající se obdélníky 60×155 km – horizontální na severu a jihu, vertikální na západu a východu).

Dokud je v celém nejbližším okolí detekován terén, je zpráva pro systém GO. V opačném případě je systému nařízeno STOP, pokud i plocha chybějícího terénu ve vzdálenějším okolí je větší jak 100 km². Menší ochranný kruh signalizuje zprávu WARN, pokud terén není detekován na více jak polovině dvou sousedních čtverců z kruhu. Doplnkem této varovné zprávy je i lokalita chybějícího terénu (podle osmi čtverců: S, SV, V, JV, J, JZ, Z, SZ). Možnou predikcí budoucího nebezpečí je detekce jednotlivých typů oblačnosti či detekce chybějícího terénu ve větším ochranném kruhu, opět s údaji o lokalitě (podle čtyř obdélníků a čtyř překryvů: S, V, J, Z, SV, JV, JZ, SZ). Systému může být také oznámena chybová zpráva ERROR, pokud aktuální družicový snímek není k dispozici vůbec, nebo pokud je jeho obsah abnormální (viz. Obr. 45).

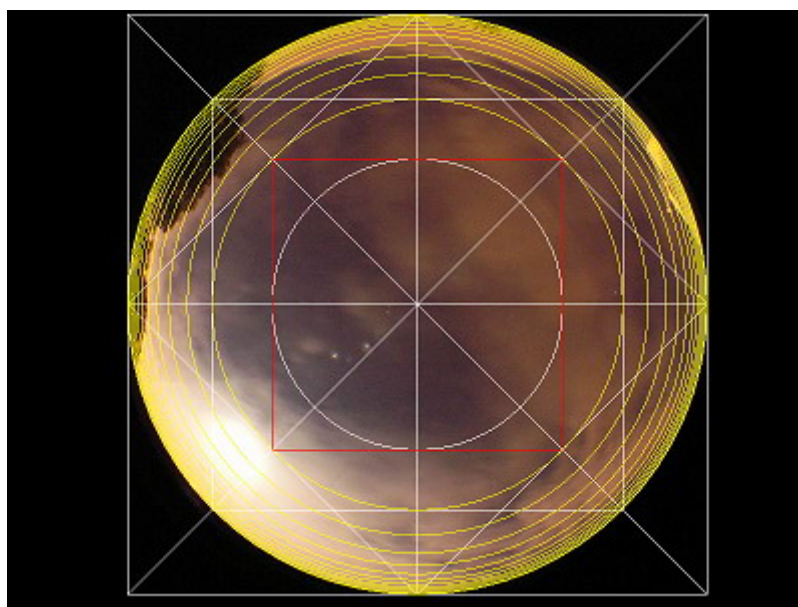


Obr. 45 Ukázka chybových snímků z noci ze 13. na 14.3.2007: chybně vygenerovaný produkt (a), snímek bez žádné informace (b).

4.3 Zpracování snímků z celooblohové kamery

Celooblohová kamera byla popsána v části 2.1.1, základní informace o jejích snímcích byly uvedeny v části 2.2.1. Nyní přistupme ke zpracování těchto snímků.

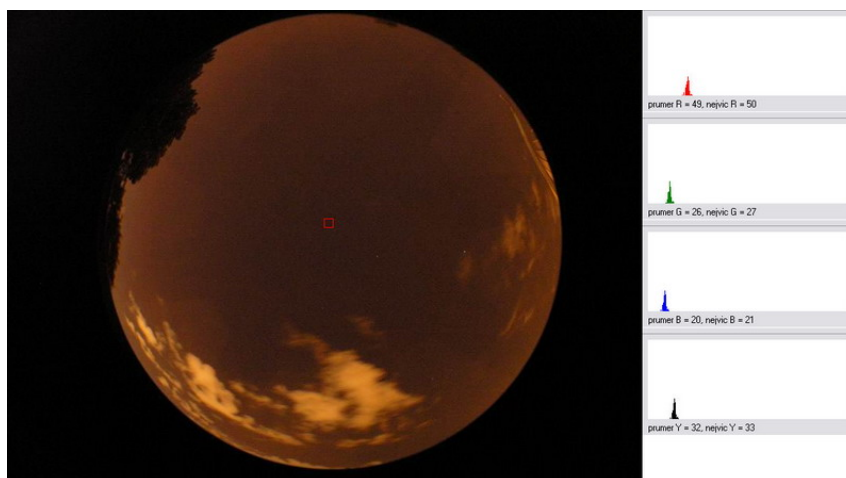
Předně je třeba si uvědomit, že snímek pořízený přes širokoúhlou předsádku sice vizuálně celou oblohu zabírá, ale informace obsažená v celooblohovém snímku má rapidně jinou váhu pro část oblohy přímo nad hvězdárnou oproti váze informace o části oblohy těsně nad horizontem. Obr. 46 znázorňuje **geometrii celooblohového snímku** pomocí vepsaných a opsaných čtverců a kružnic. Žluté kružnice ilustrují přechod snímku do horizontálního „nekonečna“. Červený čtverec opisuje kružnici o poloměru dvakrát menším, než je poloměr kruhového snímku (v pixelech). Plocha červeného čtverce je π -krát menší než plocha kruhového snímku. Právě tato plocha bude rozhodující pro vyhodnocení informace obsažené v celooblohovém snímku. Pro srovnání: jeden prostorový úhel nad hvězdárnou snímá část oblohy cca o 3 řády větší než prostorový úhel nad horizontem. Výběr právě červeného čtverce ale není jen kvůli ubývající hustotě informace od středu snímku. Závažnějším důvodem je akumulace světelného smogu nad obzorem, obzvláště v inverzním období.



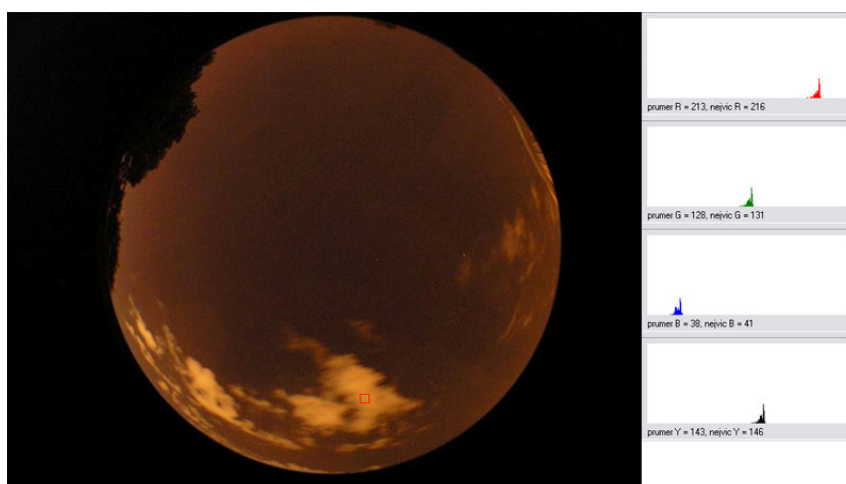
Obr. 46 Geometrie celooblohového snímku.⁵²⁾

⁵²⁾ Zdroj: Archiv dat projektu MARK, Štefánikova hvězdárna. Vlastní úprava snímku ze dne 16.10.2004 ve 22:05. Obdobně i pro ostatní celooblohové snímky v části 4.3.

Rozhodující pro přístup k vyhodnocení objektů na celoblohovém snímku je studium **barevného složení** těchto objektů.



Obr. 47 Histogramy vzorku hvězdné oblohy.⁵³⁾



Obr. 48 Histogramy vzorku mraku.

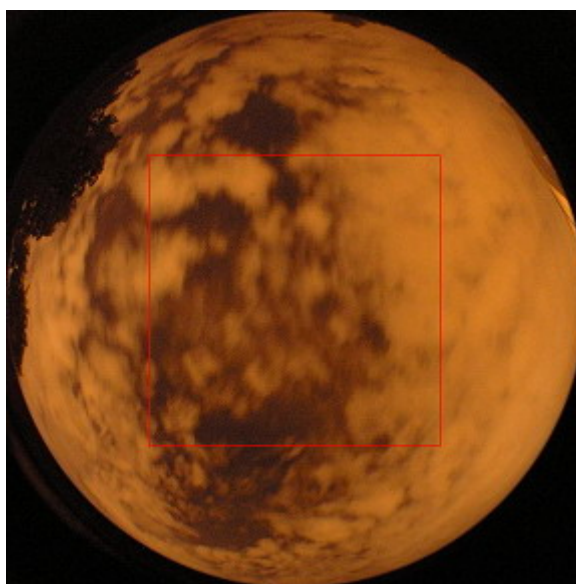
Na Obr. 47 a Obr. 48 lze pozorovat nárůst všech složek R, G, B i Y u mraku oproti složkám hvězdné oblohy. Nejvíce se změnila **složka červené barvy R**. To je dáno osvětlením mraků městem, protože spektrum světla z nočního města má právě největší červenou složku. Při analýze širšího vzorku snímků se ovšem stejně dobře osvědčilo i rozlišování mraků od hvězdné oblohy podle **stupně šedi**. V Tab. 8 jsou uvedeny rozmezí stupně červené složky a složky šedi na 16 kategorií reprezentovaných svými vlastními barvami (false color).

⁵³⁾ Snímek pořízen dne 28.9.2005 ve 22:15. Stejně i následující obrázek.

Rozmezí R	Rozmezí Y	Barva	R	G	B
150 ÷ 255	105 ÷ 255		252	252	252
140 ÷ 149	100 ÷ 104		160	0	0
130 ÷ 139	95 ÷ 99		252	0	0
120 ÷ 129	90 ÷ 94		252	88	0
110 ÷ 119	85 ÷ 89		252	132	0
105 ÷ 109	80 ÷ 84		252	176	0
100 ÷ 104	75 ÷ 79		224	220	0
95 ÷ 99	70 ÷ 74		156	220	0
90 ÷ 94	65 ÷ 69		52	216	0
85 ÷ 89	60 ÷ 64		0	188	0
80 ÷ 84	55 ÷ 59		0	160	0
75 ÷ 79	50 ÷ 54		0	108	192
70 ÷ 74	45 ÷ 49		0	0	252
65 ÷ 69	40 ÷ 44		48	0	168
60 ÷ 64	35 ÷ 39		56	0	112
0 ÷ 59	0 ÷ 34		0	0	0

Tab. 8 Škála hodnot složek červené a šedi.⁵⁴⁾

Obr. 50a znázorňuje převod červené složky z výřezu na Obr. 49 dle Tab. 8.

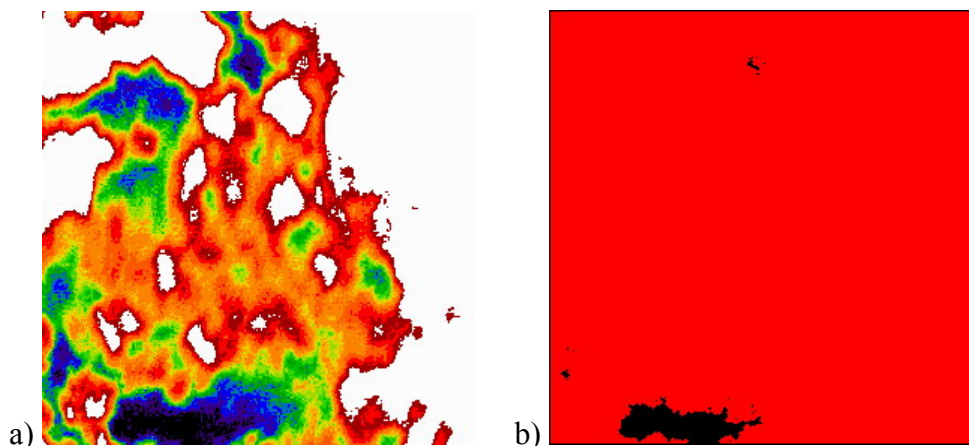


Obr. 49 Výřez významné oblasti.⁵⁵⁾

⁵⁴⁾ Zdroj: Vlastní zpracování.

⁵⁵⁾ Snímek pořízen dne 22.8.2007 ve 3:25. Stejně i následující obrázek.

Dále je dekováný obraz podroben **erozi** s použitím elementu 1. Touto transformací se odstraní především detekované hvězdy, jež by se mohly jevit též jako oblačnost. Nakonec je provedena **dilatace**, jejíž výsledek je na Obr. 50b. Docílíme tím eliminaci „nechtěné“ eroze a takto získaný obraz je již připraven k výpočtu **pokrytí oblohy oblačností** (proto převod detekovaných ploch pouze na jednu barvu).

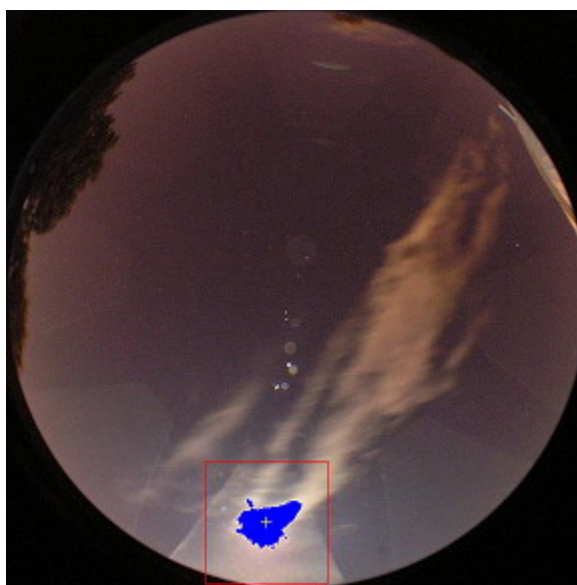


Obr. 50 Práce s významnou oblastí:
převod červené složky na barevnou stupnici (a), pokrytí oblohy 98 % (b).

Pokrytí oblohy se většinou udává v osminách, desetínách či prostě v procentech části oblohy, na které je rozpoznána oblačnost. Po případ z Obr. 50b je pokrytí oblohy 98 %. Takto získaný údaj musíme ovšem v celkovém systému brát s rezervou. Hlavním důvodem je, že celooblohová kamera dosud pracuje v 15 minutovém snímacím režimu, přičemž je použito pouze dvojího fotografického režimu – od 5:00 do 21:00 pro den a od 21:00 do 5:00 pro noc. Lepší algoritmus pro celooblohovou kameru je teprve ve vývoji (souběžná diplomová práce Zdeňka Cejnara). Zdá se, že snímky budou pořizovány každou minutu, což povede na využití statistických metod zpracování. Mimo tento problém je ale nutné, aby se algoritmus vypořádal s **rušícími jevy**, které mohou nastat. Jsou to: Měsíc na obloze, orosená vnitřní strana skleněného krytu a námraza či sníh na vnější straně krytu. Díky poloze a tvaru krytu kamery nejsou problémy s případnými sedavými ptáky či zvědavými veverkami. Sedavý hmyz působí jen zanedbatelnou odchylku ve výpočtu a prach či špína se na snímcích díky pravidelné údržbě krytu nevyskytují.

Eliminace negativního vlivu Měsíce předpokládá nejdříve rozeznat, že na snímku Měsíc působící negativní vliv skutečně je. Je-li na obloze Měsíc okolo úplňku, způsobuje ozáření značné části oblohy, jež se potom může jevit jako oblačnost.

Řešením je Měsíc identifikovat a na základě jeho polohy a velikosti upravit vyhodnocení celooblohového snímku. Měsíc se jeví jako syté světlo a obsahuje všechny složky spektra v maximu. Na Obr. 47 a Obr. 48 je vidět, že mohutnost modré složky vzorku hvězdné oblohy se o mnoho neliší od vzorku oblačnosti. Právě proto je modrá složka využita k identifikování měsíce. Na Obr. 51 je modře označena plocha, jež má stupeň modré větší jak 200. Tato operace probíhá nadvakrát. Poprvé je zpracováván každý bod snímku a ze všech bodů se stupněm modré složky větším jak 200 je vypočtena přibližná lokalita Měsíce (označena červeným rámečkem). Ve druhé fázi je znovu zpracována pouze tato lokalita a je určen přesný střed Měsíce.



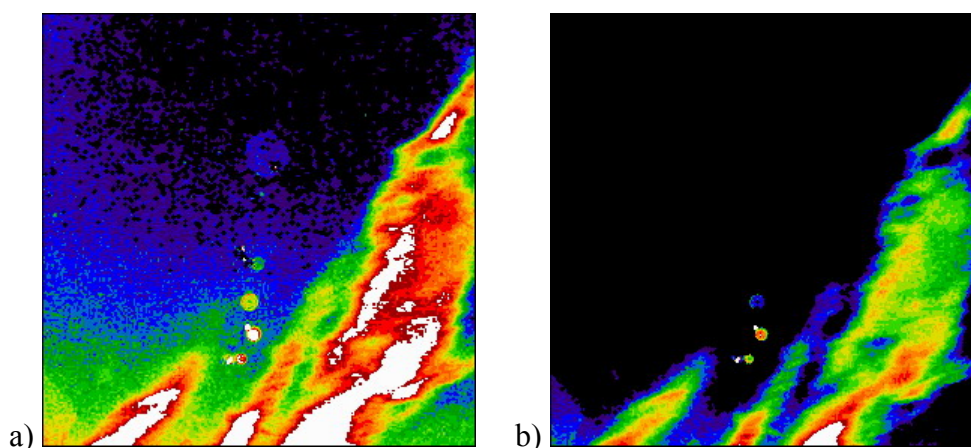
Obr. 51 Detekce Měsíce.

Na základě velikosti plochy Měsíce (resp. detekované plochy) jsou upraveny citlivosti filtrů, podle nichž se detekuje oblačnost. Přesné hodnoty korekcí jsou uvedeny v Tab. 9. Je-li počet modrých bodů větší jak 3000, dá se s vysokou pravděpodobností předvídat, že Měsíc je za oblačností, pokud je ovšem střed Měsíce níže než oblast vyhodnocení (tedy Měsíc je nízko nad obzorem). Je-li Měsíc vysoko nad obzorem a zasahuje již z větší části do oblasti pro vyhodnocení přítomnosti oblačnosti, je jeho vliv již natolik velký, že ani korekce nepomůže. Tato skutečnost je oznámena systému, který do jisté míry může výsledek zpracování celooblohového snímku ignorovat.

Počet modrých bodů	Korekce R	Korekce Y
20 ÷ 700	0	-5
701 ÷ 1000	-5	-10
1001 ÷ 3000	-10	-15
3001 ÷ 5000	-25	-30
5001 ÷ 6000	-20	-25
6001 ÷ 7000	-15	-20
7001 a více	0	-5

Tab. 9 Korekce červené a šedé složky v závislosti na velikosti Měsíce.⁵⁶⁾

Byl-li Obr. 51 zpracován dle stupně šedi, dosáhli jsme výsledku uvedeného na Obr. 52a (pokrytí oblohy 79 %). Po identifikaci Měsíce (velikost 3612 bodů) a provedení korekce citlivosti na mohutnost stupně šedi jsme dosáhli výsledku, který je vidět na Obr. 52b (pokrytí oblohy 29 %).

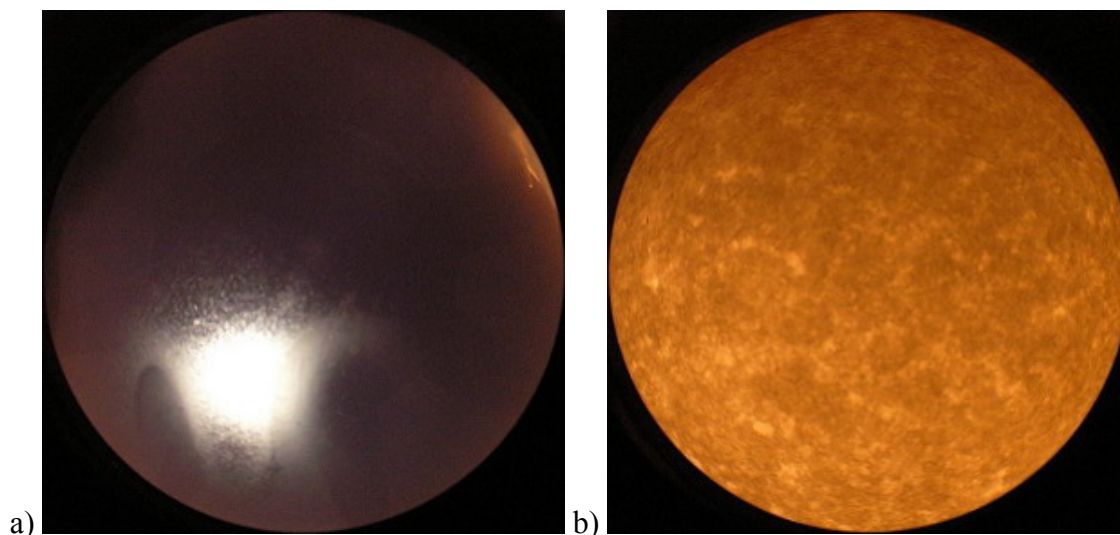


Obr. 52 Převod stupně šedi na barevnou stupnici: bez korekce (a), s korekcí -30 (b).

Nejjistější **výsledný algoritmus** vyhodnocení celooblohových snímků je sloučení vyhodnocení podle stupně šedi a podle stupně červené složky. Matematicky jde o sloučení identifikovaných bodů na obloze, čili výsledná hodnota pokrytí je minimálně větší ze dvou dílčích. Tato hodnota je oznámena systému s doplňujícími údaji i přítomnosti Měsíce. Mimo to je systému poslána zpráva GO, pokud je pokrytí oblohy 20 a méně %, zpráva WARN, pokud je pokrytí oblohy větší jak 20 %, a zpráva STOP, pokud je pokrytí oblohy větší jak 40 %. Na systému je potom dle ostatních zpráv

⁵⁶⁾ Zdroj: Vlastí zpracování.

rozeznat, není-li výsledek kamery ovlivněn případnou námrazou či jiným negativním jevem. Není-li přes kryt pro vrstvu vysrážené vody či námrazy vidět na oblohu, nelze vyhodnotit stav zatažení a systému musí být oznámena chybová zpráva ERROR. Není ovšem snadné vždy rozeznat neprůhledný kryt zpracováním celoblohových fotografií. Proto bude muset být systém doplněn o další techniku, která tento problém odstraní.



Obr. 53 Ukázka optických překážek celoblohové kamery: kryt je zevnitř zamlžen (a), na krytu je vrstva námrazy (b).

5 Zpracování neobrazových dat

Zpracování neobrazových dat již není tolik náročné na výkon systému a jeho hardwarového vybavení, neboť jde o jednoduché matematické operace s několika relativně malými čísly. Meteorologická stanice spolu s detektorem oblačnosti a srážek systém zásobují řadou zásadních meteorologických údajů, ovšem pro účely automatické analýzy počasí pro ochranný systém hvězdárny jsou signifikantní pouze některé z nich. Pro proměnlivost všech údajů je téměř nemožné stanovit obecně platné limity bezpečnosti, proto systém musí vždy brát v úvahu všechny dostupné vstupy od svých senzorů.

5.1 Zpracování dat z meteorologické stanice

V části 2.1.2 bylo pojednáno o meteorologické stanici Davis Vantage Pro2, o datech z této stanice v části 2.2.4. Pro vytvoření algoritmu vyhodnocujícího automaticky meteorologickou situaci kolem hvězdárny jsou k dispozici data zaznamenávaná každou minutu. Konkrétně jde o tyto veličiny: venkovní teplota, tlak vzduchu, rychlost větru, směr větru (0° sever – jižní vítr, 90° východ – západní vítr), vlhkost vzduchu, úhrn srážek, sluneční výkon, index UV záření. Dalo by se tedy říci, že meteorologická stanice systém informuje o zásadních veličinách určujících stav lokální meteorologické situace, ovšem ze statistického zpracování dat nahromaděných systémem MARK z této stanice vyplývají dvě smutné skutečnosti.

První z nich je, že **velká část dat obsahuje chyby** způsobené nemožností stanice dodat systému hodnotu určité veličiny. Druhou skutečností je velice malá korelace mezi hodnotami meteorologických veličin a pokrytím oblohy oblačností. Chyby v datech jdou naštěstí snadno identifikovat, neboť chybné hodnoty nabývají vždy stejných hodnot. Ukázky chybových dat jsou v Tab. 10. Mohou tak nastat tyto možnosti:

1. Jediný chybný údaj je směr větru, za který je dosazeno nesmyslná záporná hodnota -32768.0. Ostatní údaje ve stejném čase jsou správné.
2. Všechny údaje z meteorologické stanice jsou chybné a nebývají hodnot 0.0 nebo 16645.9 nebo -32768.0.

Teplota [°C]	Tlak [hPa]	Vítr [m/s]	Směr v. [°]	Vlhkost [%]	Děšť [mm]	Slunce [W/m ²]	UV [Index]
19.2	1011.6	1.0	-32768.0	75.0	0.0	0.0	0.0
-17.8	-32768.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
-32768.0	-32768.0	-32768.0	-32768.0	0.0	16645.9	-32768.0	-32768.0

Tab. 10 Ukázky chybových dat (špatné údaje kurzívou).⁵⁷⁾

Zjistí-li tedy systém, že určitý údaj je chybný, ignoruje jej a počítá s údajem dřívějším, ovšem vyhodnocení tohoto údaje se již nepřikládá taková váha. Chybí-li některý z údajů po delší čas, systém se bez něj musí obejít.

Skutečnost **malé korelace údajů z meteorologické stanice se stavem pokrytí oblohy** oblačností posunuje meteorologickou stanici na detektor již velké aktuální hrozby. Jednou z těchto hrozeb je velká rychlost větru, která by mohla způsobit poškození otevřené kopule. Za limitní hodnotu bylo určeno 16 m/s. Při tomto mírném až čerstvém vichru je zpráva pro systém STOP, od hodnoty 15 m/s je zpráva WARN. Další výstraha je systému hlášena, je-li naměřena vlhkost okolního vzduchu 89 % a více. V tomto případě je systému opět hlášeno STOP. Zpráva WARN je hlášena, pokud je vlhkost 82 % alespoň 10 minut po sobě, nebo pokud je vlhkost 83 až 88 %, nebo pokud nastane zvýšení vlhkosti o 10 % za méně jak 20 minut. Samozřejmostí je, že systém dostává zprávu STOP, pokud je detekován déšť (úhrn srážek). Teplota ani tlak se neukázaly být pro systém signifikantní. Rovněž údaje o slunečním svitu systém nemusí sledovat, neboť v noci jsou logicky nulové.

5.2 Zpracování dat z detektoru oblačnosti a srážek

Detektor oblačnosti a srážek Boltwood Cloud Sensor byl krátce popsán v části 2.1.3, výstupní data z tohoto detektoru potom v části 2.2.5. Systém je tedy detektorem informován o teplotách oblohy a země, z nichž si vypočítá jejich rozdíl (země - obloha). Dále je systém spravován o teplotě čidla „detektoru první kapky“ a o energii dodávané k vyhřívání tohoto čidla. Posledním údajem, který je pro systém velice důležitý je stav, který vyhodnotí vnitřní logika samotného detektoru (Tab. 11).

⁵⁷⁾ Zdroj: Archiv dat projektu MARK, Štefánikova hvězdárna.

Č. stavu	Hlášení od detektoru	$t_{\text{země-obloha}} [^{\circ}\text{C}]$
0	chyba	libovolná
1	jasno	25 a více
2	polojasno	10 ÷ 25
3	zataženo	0 ÷ 10
4	děšť / mokro	libovolná

Tab. 11 Vnitřní logika detektoru oblačnosti a srážek.⁵⁸⁾

Stejně jako u dat z meteorologické stanice, i u dat z detektoru oblačnosti a srážek může docházet k **chybám**. Systému je v tomto případě hlášena chyba a všechny údaje buďto kopírují poslední správné hodnoty nebo jsou nulové. Chyby od detektoru ovšem nastávají pouze výjimečně. Nicméně nastanou-li, systém se musí bez detektoru oblačnosti a srážek ve svých výpočtech obejít.

Samotné údaje o teplotě oblohy či země jsou relativní, důležitý je rozdíl těchto hodnot. Stejně tak přesná hodnoty teploty čidla a příkonu vyhřívání systému samy o sobě nic neřeknou, neboť důležitý je jejich náhlá změna dle zákona o zachování energie, který ovšem počítá sám detektor a přítomnost kapky signalizuje stavem 4 (děšť / mokro).

Z porovnání záznamu dat z detektoru oblačnosti a srážek s celooblohovými snímky a s nočním mikrofyzikálním družicovým produktem bylo zjištěno, že detektor je správně **citlivý pouze na nízkou a střední oblačnost**, ovšem oblačnost vysokou již nerozezná. Tento fakt znamená, že detektor oblačnosti a srážek systém sice neinformuje o stavu zatažení oblohy, ale dokáže jej informovat, pokud je obloha natolik zatažená, že by se mohlo schylovat k dešti.

Zprávy pro systém tedy mohou vycházet z vnitřní logiky samotného detektoru s malými změnami vyplývajícími z porovnání širšího vzorku dat. Hlásí-li detektor stav 4 (děšť / mokro), je to jasný signál STOP. Klesne-li rozdíl teplot země a oblohy pod 30°C je systém informován o možné přítomnosti vysoké oblačnosti, ale tuto informaci je třeba si podložit i hlášením z jiných meteorologických dat, zvláště ze zpracování družicových snímků. Hlásí-li detektor stav 2 (polojasno), je systém varován zprávou WARN. Hlásí-li detektor stav 3 (zataženo), zpráva pro systém je STOP.

⁵⁸⁾ Zdroj: Vlastní zpracování.

6 Algoritmus analýzy meteorologické situace

V této kapitole je zavedena poněkud zavádějící terminologie pro rychlejší sdílnost textu. Např. místo věty: „Ze zpracování družicového snímku vyplynul stav STOP.“ by byla použita věta: „Družice hlásí STOP.“

Dříve, než si ukážeme možnou podobu výsledného algoritmu, popíšeme si jednotlivé zprávy, se kterými bude algoritmus počítat.

6.1 Zprávy ze zpracování jednotlivých dat

V kapitolách 4 a 5 bylo popsáno, jak by měly být zpracovány a vyhodnoceny jednotlivá meteorologická data, která má systém k dispozici. Systém má tedy k dispozici pětici zpráv, ve kterých jsou jednak detailní meteorologické informace o okolním počasí z pohledu všech pěti „senzorů“, ale obsahují též resumé plynoucí z procesu zpracování jednotlivých dat bez ohledu na data ostatní. V pěti následujících tabulkách je soupis těchto zpráv a jejich význam. Názvy zpráv jsou převzaty z terminologie systému MARK.

Zpráva	Význam zprávy „od radaru“
GO	Nebezpečná oblast se nenachází v okolí hvězdárny 96×96 km.
WARN	Nebezpečná oblast se nachází v okolí hvězdárny 96×96 km.
STOP	Nebezpečná oblast se nachází v okolí hvězdárny 30×30 km.
INFO	Směr pohybu nebezpečných oblastí.
	Výpis čtverců ochranného kruhu, ve kterých se nachází nebezpečná oblast.
ERROR	Aktuální radarový snímek není k dispozici.
	Výpadek středočeského radiolokátoru.

Tab. 12 Zprávy pro systém z vyhodnocení radarových snímků.⁵⁹⁾

⁵⁹⁾ Zdroj: Vlastní zpracování. Stejně tak i pro ostatní tabulky v kapitole 6.

Zpráva	Význam zprávy „od družice“
GO	V okolí hvězdárny 10×10 km je detekován terén.
WARN	Není detekován terén ve více jak polovině dvou sousedních čtverců menšího ochranného kruhu.
STOP	V okolí hvězdárny 10×10 km není detekován terén.
INFO	Výpis čtverců menšího ochranného kruhu a obdélníků většího ochranného kruhu a jejich překryvů, ve kterých není detekován terén.
ERROR	Aktuální družicový snímek není k dispozici.
	Aktuální družicový snímek je chybný.

Tab. 13 Zprávy pro systém z vyhodnocení družicových snímků.

Zpráva	Význam zprávy „od celoblokové kamery“
GO	Obloha není pokryta oblačností z více jak 20 %.
WARN	Obloha je z více jak 20 % pokryta oblačností.
STOP	Obloha je z více jak 40 % pokryta oblačností.
INFO	Počet procent oblohy pokryté oblačností.
	Velikost a poloha Měsíce.
ERROR	Aktuální celoblokový snímek není k dispozici.
	Je detekováno zamlžení či namrznutí krytu.

Tab. 14 Zprávy pro systém z vyhodnocení celoblokových snímků.

Zpráva	Význam zprávy „od meteorologické stanice“
GO	Vlhkost okolního vzduchu je menší jak 83 %, rychlost větru je menší jak 15 m/s a není zaznamenán úhrn srážek.
WARN	Vlhkost okolního vzduchu je 82 % alespoň 10 minut po sobě.
	Vlhkost okolního vzduchu je 83 až 88 %.
	Vlhkost okolního vzduchu se zvýší o 10 a více % za méně jak 20 minut.
	Rychlost větru je 15 m/s.
STOP	Vlhkost okolního vzduchu je větší jak 88 %.
	Rychlost větru je větší jak 15 m/s.
	Je zaznamenán déšť (úhrn srážek).
INFO	Soupis hodnot všech veličin poskytovaných meteorologické stanice.
ERROR	Není možné získat data z meteorologické stanice.
	Hodnoty obsahují chyby.

Tab. 15 Zprávy pro systém z vyhodnocení dat z meteorologické stanice.

Zpráva	Význam zprávy „od detektoru oblačnosti a srážek“
GO	Detektor hlásí stav 1 (jasno).
WARN	Rozdíl teplot oblohy a země klesne pod 30°C.
	Detektor hlásí stav 2 (polojasno).
STOP	Detektor hlásí stav 3 (zataženo).
	Detektor hlásí stav 4 (déšť / mokro).
INFO	Soupis hodnot všech veličin poskytovaných detektorem.
ERROR	Není možné získat data z detektoru.
	Detektor hlásí stav 0 (chyba).

Tab. 16 Zprávy pro systém z vyhodnocení dat z detektoru oblačnosti a srážek.

6.2 Výsledný algoritmus

Nejjednodušším a zároveň nejjistějším řešením by bylo povolit otevření kopule pouze tehdy, pokud všech pět senzorů hlásí GO, jak ukazuje Tab. 17. Šlo by sice o nejbezpečnější možnost, ale ztratili bychom tak mnoho nocí příznačných pro pozorování vesmíru jenom proto, že např. meteorologická stanice doručila chybná data nebo kryt celooblohové kamery je zamlžen a systém o tom neví.

Stav	Podnět pro vstup do tohoto stavu
GO	Všechny senzory hlásí GO.
STOP	Alespoň jeden ze senzorů nehlásí GO.

Tab. 17 Nejjednodušší klíč k rozhodování celého systému.

Složitější, ovšem rizikovější způsob rozhodování ukazuje Tab. 18. Vychází se ze zvýšené důvěry ve zpracování družicových a radarových snímků.

Stav	Podnět pro vstup do tohoto stavu
GO	Všechny senzory hlásí GO.
	GO hlásí alespoň družice a radar a není žádný podnět pro STOP.
	Družice hlásí GO, radar hlásí WARN (nebo naopak) a není žádný podnět pro STOP.
STOP	Všechny senzory hlásí STOP nebo ERROR.
	Meteorologická stanice hlásí STOP z důvodu deště či silného větru.
	STOP hlásí družice nebo radar nebo detektor oblačnosti a srážek.
	STOP hlásí alespoň dva libovolné senzory a zároveň ani družice ani radar nehlásí GO.
	WARN hlásí alespoň tři libovolné senzory a zároveň ani družice ani radar nehlásí GO.

Tab. 18 Klíč k rozhodování celého systému.

Vyjádřeny pseudokódem by podmínky pro rozhodování systému vypadaly např. následovně:

- **If not** (((*Rad=STOP* or *Rad=WARN*) and (*Dnm=STOP* or *Dnm=WARN*) and (*Kam=STOP* or *Kam=WARN*) and (*Met=STOP* or *Met=WARN*) and (*Sen=STOP* or *Sen=WARN*)) or *Met=STOP*[déšť] or *Met=STOP*[déšť] or *Sen=STOP*)
 - **then If** (*Rad=GO* and *Dnm=GO* and *Kam=GO* and *Met=GO* and *Sen=GO*)
 - **then** *Global=GO*
 - **else If** ((*Rad=GO* and *Dnm=GO*) or (*Rad=GO* and *Dnm=WARN*) or (*Rad=WARN* and *Dnm=GO*))
 - **then** *Global=GO*
 - **else If** ((*Rad=GO* and *Dnm=WARN*) or (*Rad=WARN* and *Dnm=GO*))
 - **then** *Global=GO*
 - **else If** (.....)
 - **then** *Global=GO*
 - **else**
 - **else** *Global=STOP*
 - **else** *Global=STOP*;

Výsledný algoritmus je pouze jeden z mnohých a bude třeba ještě mnoho změn a testování, než bude možno jej (alespoň na chvíli) považovat za finální.

6.3 Slabiny algoritmu a celého systému

Kryt celooblohové kamery

Jak již bylo popsáno na konci části 4.3, kryt celooblohové kamery působí potíže, je-li zamlžen, nebo na něm narostla námraza či zůstal napadený sníh. Existují dvě cesty, jak se s tímto problémem vyrovnat. První vede na detekování neprůhledného krytu a signalizaci systému, že kamera nevidí na oblohu. Druhá je operativnější, neboť aktivně působí proti zneviditelnění krytu. Buď se tedy systém doplní o detektory námrazy na krytu a vysrážené vlhkosti pod krytem, nebo se začne vytápět buďto kryt nebo jeho vnitřní prostor. Obě cesty je také vhodné doplnit pravidelnou údržbou krytu, která mimo čištění skla znamená také ošetření povrchu krytem speciálními přípravky proti tvorbě námrazy či proti zamlžování. Je nutno ovšem volit takové přípravky, které samy nebudou působit matné vrstvy či šmouhy.

Režim pořizování celooblohových snímků

Dosud byly celooblohové snímky pořizovány pouze každých 15 minut, což znemožňuje použití korelačních metod mezi jednotlivými snímky, neboť za čtvrt hodiny vypadá obloha naprosto jinak, nehledě na všechny proměny během této doby. Na jednom snímku je jasná obloha a na následujícím se schyluje k dešti. V současné době můj kolega Zdeněk Cejnar pracuje na speciálním algoritmu pro režim celooblohové kamery. V budoucnu tedy kamera bude snímat oblohu pravděpodobně každou minutu, přičemž každý snímek bude předsnímkem pro nastavení režimu pořízení dalšího snímku. Bude tedy snazší vytvořit univerzální algoritmus zpracování těchto snímků.

Pohled vzhůru detektoru oblačnosti a srážek

Jde o podobný problém jako u krytu celooblohové kamery. Pokud detektor oblačnosti a srážek zapadne sněhem nebo se na jeho povrchu vytvoří námraza, hlášený údaj o teplotě oblohy je chybný. Opět se naskytují dvě cesty k řešení problému, tady

buď optickou překážku odstranit (vyhřívání nebo zde i mechanický „stěrač“) nebo ji detekovat a výstupy detektoru ignorovat.

Chyby v radarových snímcích

Na radarových snímcích se občas objeví detekovaná srážka, která ovšem ve skutečnosti není srážkou, ale chybně vyhodnoceným náhodným signálem z antén lokálních bezdrátových sítí pracujících na stejné či blízké frekvenci jako meteorologické radiolokátory. Jde o veliké pochybení ze strany Českého radiokomunikačního úřadu, který uvolnil dané frekvence pro veřejné komerční využití lokálních sítí a nepamatoval na meteorologické radarové „oko“ celého národa, o které se stará ČHMÚ. Řešení jsou opět dvě. První je právnicky složitý a znamená navrácení frekvenčního pásma opět jen radiolokátorům. Druhé znamená propracovanější zpracování radarových snímků, které by ovšem vedlo na použití metod náročnějších na výkon počítače při dodržení rychlosti zpracování všech dat. Nejspíš by se tedy systém musel rozšířit o samostatný počítač pro zpracování radarových snímků, což je ovšem řešení dosti neekonomické.

Časté chyby meteorologické stanice

Přestože meteorologická stanice použitá v systému MARK patří do kategorie poloprofesionálních meteostanic, v záznamu jejích dat je více než málo chybných údajů. Buďto jde o špatný kus, nebo o nekvalitní řadu. Na trhu jsou lepší a přesnější meteorologické stanice, než kterou nyní MARK používá. Jsou sice drahé, ale bude-li provoz systému MARK časem na profesionální úrovni, určitě bych tuto investici doporučil.

Závěr

Stanovený cíl mé diplomové práce byl splněn a na Štefánikově hvězdárně je implementován mnou vytvořený algoritmus a je podrobován testování. Závěr mé práce ovšem není poslední tečkou, neboť problematika automatické analýzy meteorologické situace pro konkrétní systém je zdroj pro řadu podobných studií a projektů.

Je nutné si ale uvědomit, že asi nikdy nebude algoritmus pro automatickou analýzu meteorologické situace finální a univerzální, tedy vždy platný. Jde o „běh na dlouhou trať“, neboť každý nově navržený algoritmus je nejprve potřeba otestovat. Těžko ale otestovat algoritmus na různých druzích reálného počasí, od slunce přes déšť až po mráz, jinak, než nechat jej na hvězdárně běžet celý rok. Po roce získané údaje vyhodnotit, algoritmus poupravit a testovat znovu. Jen pomalu bude přibývat ročních období, pro něž bude algoritmus fungovat opravdu 100%.

Stěžejní prací algoritmu je zpracování obrazových dat, tedy radarových a družicových snímků a snímků z celooblohové kamery. Radarové snímky je možno zpracovávat jako binární obrazy, neboť pro systém je každý výskyt srážkové oblačnosti nebezpečný, bez ohledu na to, jak je intenzivní. Z možných produktů družicových snímků byl zvolen noční mikrofyzikální, neboť je speciálně navržen pro pohled na noční polokouli Země a terénu bez oblačnosti připisuje přibližně stále stejné zbarvení. Toho lze využít při vyhodnocení informace o stavu atmosféry nad hvězdárnou. Spolehlivě a správně vyhodnotit celooblohové snímky je velice problematické. Např. je-li na obloze Měsíc okolo úplňku, má snímek naprosto jiné vlastnosti, než je-li tmavá hvězdná noc. Přítomnost Měsíce lze eliminovat jeho detekováním a spočtením vlivu měsíčního svitu na celý snímek. Problém, který je ovšem nutné řešit jinak než v samotném algoritmu, je zamlžování krytu celooblohové kamery a jeho namrzání. Vhodným řešením by byla např. instalace výtápění do interiéru pod skleněný kryt.

Vyhodnocení neobrazových meteorologických dat je snadné a rychlé, neboť se jedná o jednoduchou kalkulaci s čísly. I zde byly ale odhaleny problémy, které bude muset hvězdárna ještě řešit. Zejména meteorologická stanice často systému poskytuje špatné údaje, čímž může dojít k chybným výsledkům algoritmu.

Celkově mne práce velice bavila a doufám, že můj přínos bude ku prospěchu věci a že na mé výsledky naváží další badatelé.

Seznam použitých pramenů a literatury

1 Automatická analýza meteorologické situace:

CEJNAR, Zdeněk, CHMELA, Ladislav, VLÁČIL, Petr, VRÁNA, Jaroslav. *Návrh robotizovaného dalekohledu*. Praha: Elektrotechnická fakulta ČVUT, 2006. 10 s. Semestrální práce.

Družicové oddělení ČHMÚ [online]. ČHMÚ, 1997-2007, 22.10.2007 [cit. 2007-12-17]. Dostupné z <http://www.chmi.cz/meteo/sat/>.

HABIBALLA, Hashim. *Umělá inteligence*. Ostrava: Ostravská univerzita, 2004. 81 s. Dostupné z <http://www.volny.cz/habiballa/publ/umint.pdf>.

MARURI, Maria Mercedes, et al. Automatic Validation of Data from AWS : The Experience of Meteorological Basque Service Network. In *Conferencia Internacional sobre Experiencias con EMA*. Torremolinos, Spain, 19-21 February 2003. Dostupné z <http://www.inm.es/web/sup/ciencia/divulga/3ICEAWS/pdf/t3s15.pdf>.

Meteorologie [online]. Wikipedie, otevřená encyklopedie, 2007 [cit. 2007-12-17]. Dostupné z <http://cs.wikipedia.org/wiki/Meteorologie/>.

Meteorology [online]. Wikipedia, the free encyclopedia, 2007 [cit. 2007-12-17]. Dostupné z <http://en.wikipedia.org/wiki/Meteorology/>.

Oddělení radarových měření ČHMÚ [online]. ČHMÚ, 1997-2007, 14.8.2007 [cit. 2007-12-17]. Dostupné z <http://www.chmi.cz/meteo/rad/>.

SHUN, Chi Ming. Trial Weather Data Exchange under the New CNS/ATM Systems. In *ICAO's Fifth Meeting of CNS/MET Sub-Group of APANPIRG*. Bangkok, Thailand, 16-20 July 2001. International Civil Aviation Organization, 2001. Dostupné z <http://www.weather.gov.hk/publica/reprint/r435.pdf>.

Základní informace o činnosti oddělení přístrojové techniky [online]. ČHMÚ, 2005, 10.8.2005 [cit. 2007-12-17]. Dostupné z <http://www.chmi.cz/meteo/opss/opt/>.

2 MARK – Praktická aplikace analýzy meteorologické situace:

CHMELA, Ladislav. *Analýza snímků z celooblohové kamery*. Praha, 2007. 16 s. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická. Dostupné z <http://www.observatory.cz/mark/download/chmela.pdf>.

KALINA, Jiří, PEŠEK, František. *Meteostanice* [online]. Amatérská meteostanice Počátky, c2006 [cit. 2007-12-19]. Dostupné z <http://meteo-jirkalina.com/wx32.php>.

KERKMANN, Jochen. *Applications of Meteosat Second Generation (MSG) : RGB Images: Part4, RGB Composites with Channels 01-11 and Their Interpretation*.

EUMETSAT, 2005. Dostupné

z http://oiswww.eumetsat.org/WEBOPS/msg_interpretation/PowerPoints/Channels/rgbp art04_20050420.pps.

FUCHS, Martin. *MARK*. Praha, Štefánikova hvězdárna: 2005. Dostupné

z <http://observatory.cz/mark/download/mark.pps>.

MSG - Meteosat druhé generace [online]. Český hydrometeorologický ústav, c2005-2007 [cit. 2007-12-13]. Dostupné z <http://www.chmi.cz/meteo/sat/msg/index.html>.

MÜLLER, Andreas. *Meteo* [online]. c2004 [cit. 2007-12-16]. Dostupné

z <http://meteo.othello.ch/>.

FUCHS, Martin. *Robotický dalekohled MARK* [online]. Praha: Štefánikova hvězdárna,

2000-2007 [cit. 2007-12-19]. Dostupné z <http://observatory.cz/mark/>.

3 Použitá teorie zpracování obrazu:

HLAVÁČ, Václav, SEDLÁČEK, Miloš. *Zpracování signálů a obrazů*. Praha: ČVUT, 2007. 255 s. ISBN 978-80-01-03110-0.

RGB [online]. Wikipedie, otevřená encyklopedie, 2007 , 27.11.2007 [cit. 2007-12-23]. Dostupné z <http://cs.wikipedia.org/wiki/RGB>.

TUPIN, Florence, et al. *Intensive Course on Image Processing*. Paris, France: Télécom Paris, 2007. 304 s.

YUV [online]. Wikipedie, otevřená encyklopedie, 2007 , 4.10.2007 [cit. 2007-12-23]. Dostupné z <http://cs.wikipedia.org/wiki/YUV>.

Seznam příloh

- Příloha 1:** Seznam použitých zkratk.
- Příloha 2:** Složky RGB produktů 24MF a NM.⁶⁰⁾
- Příloha 3:** Kombinace složek RGB produktů 24MF a NM.
- Příloha 4:** Obsah přiloženého CD (přílohy 5).
- Příloha 5:** CD s aplikacemi pro automatickou analýzu meteorologické situace.

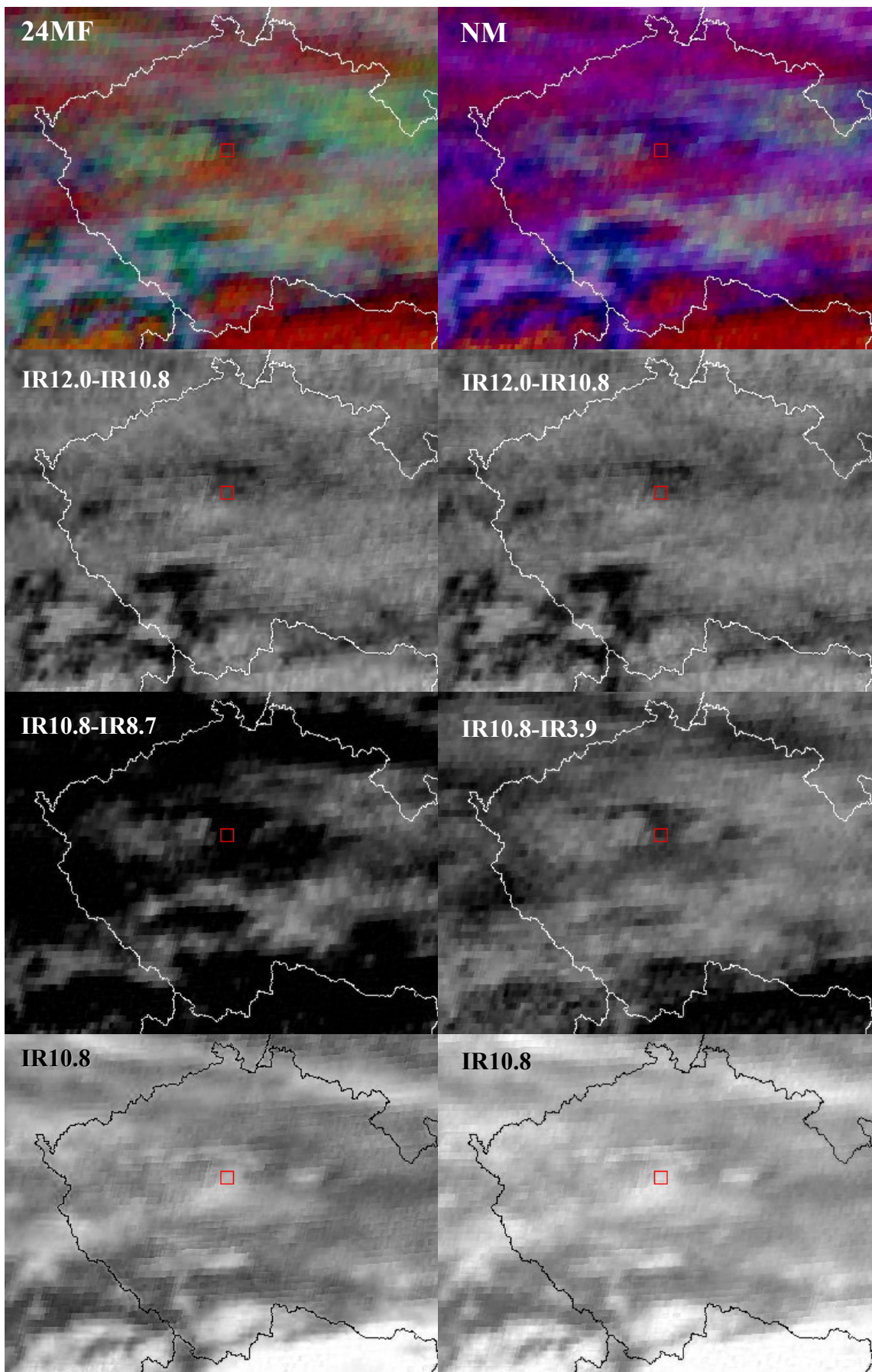
⁶⁰⁾ Zdroj: Archiv dat Družicové oddělení, ČHMÚ. Vlastní zpracování družicových snímků pořízených ve 21:45 dne 28.8.2007. Stejně i příloha 3.

Příloha 1: Seznam použitých zkratk

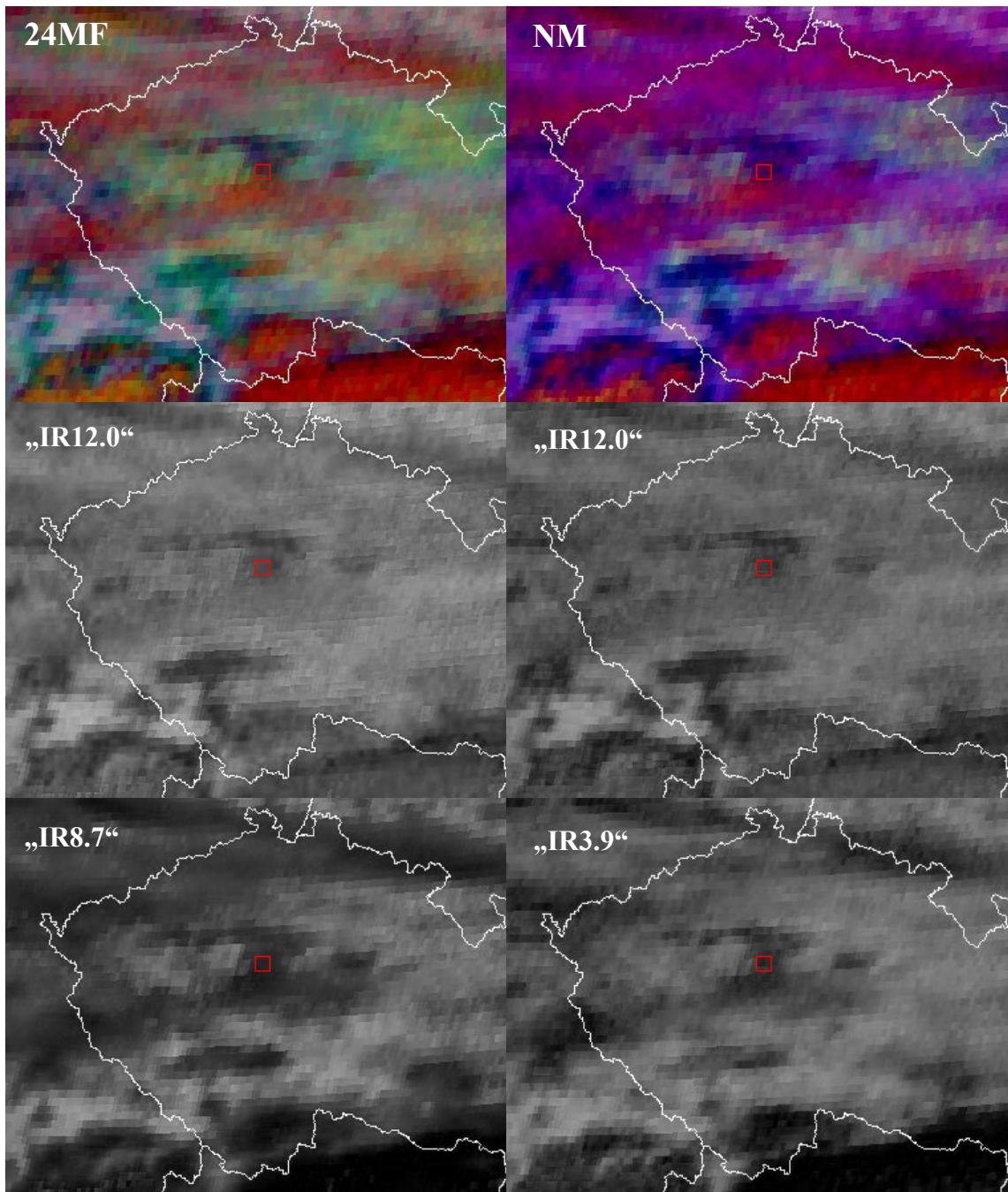
24MF	24 hodinový mikrofyzikální produkt
2D	Dvoudimenzionální
AWS	Automatic Weather Station
B	Blue
BT	Brightness Temperature
ČR	Česká republika
DC	Direct Current
CCD	Charge-Coupled Device
CO ₂	Oxid uhličitý
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
dBZ	Decibels of Z
ED	Extra-low Dispersion glass
EEC	Enterprise Electronics Corporation
EUMETSAT	Europe's Meteorological Satellite Organisation
FARS	Fan-Aspirated Radiation Shield
G	Green
HaP	Hvězdárna a planetárium hlavního města Prahy
HRV	High Resolution Visible
IR	Infra Red
ISS	Integrated Sensor Suite
J	Jih
JJV	Jihojihovýchod
JJZ	Jihojihozápad
JV	Jihovýchod
JZ	Jihozápad
MARK	Malý Autonomní Robotický telesKop
MCM	MARK Conditon Monitor
MCP	MARK Control Panel
MED	Minimal Erythema Dose
MET	Meteosat
MFE	MARK Front End

MPX	Megapixel
MSG	Meteosat Second Generation
NIR	Near InfraRed
NM	Noční mikrofyzikální produkt
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
R	Red
RDC	Research and Development Centre
RGB	Red-Green-Blue
S	Sever
SSV	Severoseverovýchod
SSZ	Severoseverozápad
SV	Severovýchod
SZ	Severozápad
SDK	Software Development Kit
SEVIRI	Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager
t	time; temperature
USB	Universal Serial Bus
UV	Ultra Violet
V	Východ
VIP	Very Important Person
VIS	Visible
VJV	Východojihovýchod
VSV	Východoseverovýchod
WV	Water Vapour
Y	Gray
Z	Západ
ZJZ	Západojihozápad
ZSZ	Západoseverozápad

Příloha 2: Složky RGB produktů 24MF a NM



Příloha 3: Kombinace složek RGB produktů 24MF a NM



24MF:

$$\text{„IR12.0“} = 24\text{MF-R} + 24\text{MF-B} = (\text{IR12.0} - \text{IR10.8}) + \text{IR10.8} = \text{IR12.0}$$

$$\text{„IR8.7“} = 24\text{MF-B} - 24\text{MF-G} = \text{IR10.8} - (\text{IR10.8} - \text{IR8.7}) = \text{IR8.7}$$

NM:

$$\text{„IR12.0“} = \text{NM-R} + \text{NM-B} = (\text{IR12.0} - \text{IR10.8}) + \text{IR10.8} = \text{IR12.0}$$

$$\text{„IR3.9“} = \text{NM-B} - \text{NM-G} = \text{IR10.8} - (\text{IR10.8} - \text{IR3.9}) = \text{IR3.9}$$

Příloha 4: Obsah přiloženého CD (přílohy 5)

Chmela_Ladislav.pdf	Elektronická verze této diplomové práce.
A_CompareData	Program sloužící pro porovnání obrazových dat (celooblohové snímky, radarové snímky a družicové snímky IR10.8, 24MF a NM).
B_CAM	Aplikace realizující zpracování celooblohových snímků.
B_DNM	Aplikace realizující zpracování družicových snímků NM.
B_RAD	Aplikace realizující zpracování radarových snímků.
C_DNM_Channels	Program rozkládající produkt NM na složky RGB a kanály, ze kterých je produkt složen.
C_RAD_DilatationErosion	Program aplikující morfologické transformace dilataci a erozi na radarové snímky.
C_RAD_OpenClose	Program aplikující morfologické transformace otevření a uzavření na radarové snímky.

